



**ANALISIS ALIRAN PANAS PADA *ELECTRICAL  
COMPARTMENT BUS* LISTRIK PT. MAB UNTUK  
MENGHINDARI *OVERHEATING* MENGGUNAKAN  
*SOFTWARE CFD***

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar  
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif**

**Oleh**

**Deka Danyawan  
NIM.5202414080**

**PENDIDIKAN TEKNIK OTOMOTIF  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
2019**

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

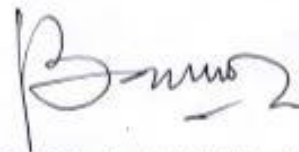
Nama : Deka Danyawan  
Nim : 5202414080  
Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif  
Judul : Analisis Aliran Panas Pada *Electrical Compartment Bus* Listrik PT. MAB

Untuk Menghindari *Overheating* Menggunakan *Software* CFD.

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 19 November 2019

Dosen Pembimbing



Dr. M. Burhan Rubai Wijaya M.Pd.

NIP.196302131988031001

## PENGESAHAN

Skripsi dengan judul *Analisis Aliran Panas pada Electrical Compartment Bus Listrik PT. MAB untuk Menghindari Overheating Menggunakan Software CFD* telah dipertahankan di depan sidang panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 21 Januari 2020.

Oleh

Nama : Deka Danyawan  
NIM : 5202414080  
Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif

Panitia:

Ketua



Ruslyanto, S.Pd., M.T.  
NIP. 197403211999031002

Sekretaris



Wahyudi, S.Pd., M.Eng.  
NIP. 198003192005011001

Penguji 1



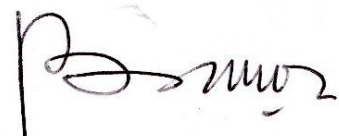
Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197601012003121002

Penguji 2



Angga Septiyanto, S.Pd, M.T.  
NIP. 198709112019031012

Pembimbing



Dr. M. Burhan Rubai W., M.Pd.  
NIP. 196302131988031001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Dr. Nur Qudus, M.T., IPM.  
NIP. 196911301994031001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapat gelar akademik (sarjana), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 09 Februari 2020



buat pernyataan,

Deka Danyawan

NIM. 5202414080

## **MOTTO**

**From succes, you learn absolutely nothing. from failure and setbacks conclusions can be drawn. that goes for your private life as well as your career. Niki Lauda.**

**If one does not fail at times, then one has not challenged himself. Ferdinand Porsche.**

**The most important thing in life will always be family. Dominic Toretto.**

## SARI

**Deka Danyawan 2019.** Analisis Aliran Panas Pada *Electrical Compartment Bus* Listrik PT. MAB Untuk Menghindari *Overheating* Menggunakan *Software* CFD  
Dr. M. Burhan Rubai Wijaya M.Pd. Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif.

Pengaruh panas pada *electrical compartment* di Bus Listrik MAB MD-12E merupakan suatu hal yang perlu diperhatikan, karena kurangnya sumber udara dalam mendinginkan komponen-komponen *electric* yang ada di dalam nya. Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk membuat rancangan saluran udara dan mengetahui distribusi temperaturnya dalam upaya menghasilkan sumber udara yang lebih. *Electrical compartment* merupakan sebuah tempat dimana seluruh komponen *electric* di tempatkan.

Simulasi sistem pendinginan *electrical compartment* ini dilakukan secara komputasi dengan aplikasi *CFD (Computational Fluid Dynamics)*. Variabel bebas dalam penelitian ini meliputi model, laju aliran massa, panas spesifik, suhu awal dan akhir, sumber panas, suhu udara, kecepatan udara, *pressure* dan variabel terikat berupa distribusi temperatur pada *electrical compartment*.

Hasil penelitian ini menunjukkan nilai maksimal temperatur paling rendah terjadi pada desain variasi 2 sebesar 35,98 °C. Dapat disimpulkan bahwa adanya optimasi pada *body* dengan menambahkan lubang udara mampu mendinginkan *electrical compartment* beserta seluruh komponennya dan dapat menghindari dari *overheating*.

**Kata Kunci:** pengaruh panas, *electrical compartment*, CFD, temperatur.

## PRAKATA

Puja dan puji syukur kepada Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “Analisis Aliran Panas Pada *Electrical Compartment* Bus Listrik PT. MAB Untuk Menghindari *Overheating* Menggunakan *Software CFD*”

Skripsi ini dapat terlaksana berkat bantuan dan dorongan dari semua pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini saya menyampaikan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rohman, M.Hum. Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., IPM. Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
3. Rusiyanto, S.Pd., M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin
4. Wahyudi S.Pd, M.Eng., Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif S1 Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
5. Dr. M Burhan Rubai Wijaya. M.Pd. Dosen Pembimbing Skripsi
6. Samsudin Anis S.T., M.T.Ph.D., IPP. Dosen Penguji Skripsi 1
7. Angga Septiyanto, S.Pd, MT. Dosen Penguji Skripsi 2
8. Teman-teman PTO 2014
9. Kedua orang tua yang selalu mendoakan dan memberikan semangat
10. Semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penyusunan skripsi ini

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini, untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi saya dan pembaca.

Semarang, 05 Maret 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN KELULUSAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN .....	iv
MOTTO .....	v
SARI.....	vi
PRAKATA.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	4
1.3 Pembatasan Masalah .....	4
1.4 Rumusan Masalah .....	5
1.5 Tujuan Penelitian.....	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	5
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI</b>	
2.1 Kajian Pustaka.....	7
2.2 Landasan Teori .....	9
2.3 Spesifikasi Bus Listrik PT.MAB.....	27



2.4 Kerangka Pikir .....	28
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan .....	30
3.2 Desain Penelitian .....	31
3.3 Alat dan Bahan Penelitian .....	36
3.4 Parameter Penelitian .....	37
3.5 Teknik Pengumpulan Data .....	39
3.6 Kalibrasi Instrumen .....	39
3.7 Teknik Analisis Data .....	45
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Deskripsi Data .....	47
4.2 Perbandingan Uji Standar .....	53
4.3 Pembahasan .....	56
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Simpulan .....	62
5.2 Saran .....	63
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>64</b>

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 3.1 Metode Pengujian .....	35
Tabel 4.1 Laju Aliran Desain Variasi 1 .....	47
Tabel 4.2 Laju Aliran Desain Variasi 2 .....	48
Tabel 4.3 Perpindahan Panas Pada Desain 1 .....	49
Tabel 4.4 Perpindahan Panas Pada Desain 2 .....	51
Tabel 4.5 Perpindahan Panas Pada Desain Standar .....	54
Tabel 4.6 Data Perbandingan Hasil Analisis.....	58

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Electrical Compartment</i> .....	19
Gambar 2.2 Baterai .....	19
Gambar 2.3 <i>Battery Management System</i> .....	20
Gambar 2.4 <i>Inverter</i> .....	22
Gambar 2.5 <i>Fuse Box</i> .....	25
Gambar 2.6 <i>High Voltage Control Box</i> .....	26
Gambar 2.7 ECU.....	27
Gambar 2.8 Kerangka Pikir.....	29
Gambar 3.1 Alur Penelitian.....	32
Gambar 3.2 Desain Standar <i>Electrical Compartment</i> .....	33
Gambar 3.3 Desain Variasi 1 .....	34
Gambar 3.4 Desain Variasi 2 .....	35
Gambar 3.5 Desain/Model pada Inventor .....	40
Gambar 3.6 Membuka Software CFD 2019 .....	40
Gambar 3.7 <i>Export</i> Desain/Model .....	41
Gambar 3.8 <i>Geometry Tools</i> Untuk Mengaktifkan Bagian Desain .....	41
Gambar 3.9 Tampilan <i>Materials</i> .....	42
Gambar 3.10 Tampilan <i>Boundary Conditions</i> pada <i>Inlet (Velocity)</i> .....	42
Gambar 3.11 Tampilan <i>Boundary Conditions</i> pada <i>Inlet (Temperature)</i> .....	43
Gambar 3.12 Tampilan <i>Boundary Conditions</i> pada <i>Total Heat Generation</i> ...	43

Gambar 3.13 Tampilan <i>Boundary Conditions</i> pada <i>Outlet</i> .....	44
Gambar 3.14 Tampilan <i>Meshing</i> .....	44
Gambar 3.15 Tampilan <i>Solving</i> .....	45
Gambar 4.1 Analisis Perpindahan Panas Desain 1 .....	49
Gambar 4.2 Analisis Perpindahan Panas Desain 2 .....	50
Gambar 4.3 Analisis Aliran Fluida di Dalam Desain 1 .....	52
Gambar 4.4 Analisis Aliran Fluida di Dalam Desain 2 .....	53
Gambar 4.5 Analisis Perpindahan Panas Desain Standar .....	54

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Tugas Dosen Pembimbing .....	67
Lampiran 2. Surat Tugas Dosen Penguji.....	68
Lampiran 3. <i>Drawing Electrical Compartment</i> Desain Standar.....	69
Lampiran 4. <i>Drawing Electrical Compartment</i> Desain 1 .....	70
Lampiran 5. <i>Drawing Electrical Compartment</i> Desain 2.....	71
Lampiran 6. <i>Electrical Compartment Bus Prototype 2 PT. MAB</i> .....	72
Lampiran 7. Tempat Penelitian .....	73
Lampiran 8. Dokumentasi Penelitian.....	73

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan teknologi transportasi pada zaman sekarang semakin maju. Berbagai jenis transportasi yang ada sekarang mempermudah aktivitas manusia dari aspek darat, laut hingga udara. Pada transportasi darat, banyak produsen dari berbagai merek yang memproduksi kendaraan, antara lain yaitu sepeda motor, mobil, bus, truk dan lain-lain. Kendaraan tersebut umumnya menggunakan mesin pembakaran dalam. Salah satu karakter dari mesin pembakaran dalam yaitu menghasilkan emisi gas buang. Emisi gas buang tersebut mengandung berbagai gas yang dapat mencemari lingkungan. Menurut Erwin (dalam Sasongko, 2014: 1) menyebutkan bahwa polusi udara dari kendaraan bermotor, pembangkit listrik, industry dan rumah tangga menyumbang 70% dengan komposisi kuantitas karbonmonoksida (CO) 99%, hidrokarbon (HC) sebanyak 89% dan oksida nitrogen (NO<sub>x</sub>) sebanyak 73% serta partikulat lainnya yang meliputi timah hitam, sulfur oksida dan partikel debu.

Peningkatan populasi juga akan menyebabkan kebutuhan akan alat transportasi turut meningkat. Peningkatan jumlah transportasi ini telah terjadi dan dapat kita amati di Indonesia. Peningkatan jumlah kendaraan ini tidak dapat dihindari, maka dari itu harus dilakukan penghematan bahan bakar untuk menekan emisi gas buang. Polusi udara yang disebabkan oleh transportasi darat yang dinilai sangat dominan salah satunya adalah gas buang kendaraan bermotor (Irawan, 2006:32). Tujuan paling menantang yang dihadapi industri otomotif adalah

mengurangi emisi dan meningkatkan penghematan bahan bakar (Rizzoni, *et al.*, 1999:246).

Berbagai usaha untuk membantu menekan emisi gas buang telah dilakukan. Mulai dari memperbanyak angkutan masal, produksi LCGC (*Low Cost Green Car*), kendaraan *hybrid*, maupun bus listrik. Namun dirasa yang paling berpengaruh untuk dapat mengurangi polusi udara adalah kendaraan berjenis bus listrik karena kendaraan tersebut sama sekali tidak mengeluarkan polusi udara. Bus listrik telah meningkatkan performanya dan dibuat sesuai untuk penggunaan komersial dan domestik selama dekade terakhir (Moreno, *et al.*, 2006:614). Bus listrik jauh lebih hemat energi dibandingkan dengan bus berbahan bakar konvensional. Efisiensi keseluruhan bus listrik adalah 48 persen, secara signifikan lebih baik dibandingkan dengan bus berbahan bakar konvensional yang mencapai efisiensi sekitar 25% (Rochman dan Sembodo, 2014:62). Bus listrik dapat menghadirkan solusi terbaik pada sektor transportasi untuk menanggulangi masalah pemanasan global (Heng dan Razlan, 2015:30).

Salah satu bagian yang paling penting pada bus listrik yaitu *electrical compartment*. *Electrical compartment* adalah bagian yang digunakan untuk menempatkan komponen-komponen *electric*. Di dalamnya terdapat komponen seperti Baterai, *Battery Management system* (BMS), *Electronic Control Unit* (ECU), *Inverter*, *Fuse Box*, dan *High Voltage Control Box*. Semua komponen tersebut berfungsi sebagai penunjang jalannya bus listrik, maka semua komponen tersebut harus kita perhatikan untuk menghindari kerusakan.

Kerusakan pada komponen *electric* dapat terjadi karena banyak faktor, salah satunya temperatur ekstrim. Temperatur tinggi saat beroperasi dapat menurunkan daya tahan komponen, sehingga masa hidup komponen pada suhu lebih tinggi dari suhu normal akan lebih kecil. Pada pengujian awal yang dilakukan dengan kondisi kendaraan berjalan di kecepatan 25-70 km/h selama 2 jam, didapatkan temperatur *electrical compartment* 50 derajat celcius, yang seharusnya suhu maksimal adalah 38 derajat celcius. Hal ini terjadi karena bentuk dari *electrical compartment* yang sangat rapat, sehingga panas yang dikeluarkan oleh komponen-komponen *electrical* tidak bisa bersirkulasi.

Sehingga Jika panas/ temperatur yang ekstrim tersebut dibiarkan maka akan menimbulkan panas yang berlebih (*Overheating*). Panas yang berlebihan/ ekstrim adalah salah satu penyebab berubahnya sifat-sifat mekanis serta bentuk dari komponen mesin. Sifat serta komponen elektrik pada mobil listrik bila telah berubah akan menyebabkan kinerja komponen akan terganggu dan mengurangi usia komponen.

Oleh karena itu, *electrical compartment* pada bus listrik ini perlu dianalisis aliran udaranya, sehingga dapat dimodifikasi untuk menemukan aliran udara terbaik sehingga temperatur komponen-komponen *electrical* saat beroperasi tidak ekstrim. Dengan suhu kerja yang tidak ekstrim, diharapkan komponen lebih tahan lama dengan siklus hidup yang tinggi.

*Computational Fluid Dynamics* (CFD) merupakan program komputer perangkat lunak untuk memprediksi dan menganalisis secara kuantitatif aliran fluida, perpindahan panas dan reaksi kimia. CFD merupakan analisis numerik



dengan kontrol volume sebagai elemen dari integrasi persamaan-persamaan, yang terdiri dari persamaan keseimbangan massa, momentum dan energy.

Penelitian ini menggunakan *Computational Fluid Dynamic* (CFD) dengan *software* AUTODESK CFD untuk menganalisis suhu dan aliran udara pada *electrical compartment* dan menggunakan Autodesk Inventor untuk mendesain permodelan pada *electrical compartment*.

## **1.2. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dipaparkan, maka dapat diidentifikasi masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Temperatur tinggi saat beroperasi dapat menurunkan daya tahan komponen *electrical*.
2. Komponen elektrik pada mobil listrik bila sifatnya berubah karena panas akan menyebabkan kinerja komponen akan terganggu.
3. Bentuk dari *electrical compartment* yang sangat rapat, sehingga panas yang dikeluarkan oleh komponen *electrical* tidak bisa bersikulasi dengan baik.
4. Kurangnya ventilasi pada *electrical compartment*.

## **1.3. Pembatasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini hanya meneliti suhu/ *temperature* dan aliran udara pada *electrical compartment*.
2. Proses analisa hanya pada bagian dalam *electrical compartment*.

3. Analisis dilakukan hanya pada variasi kecepatan 25 km/h, 50 km/h dan 70 km/h selama 2 jam.

#### **1.4. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian kali ini adalah :

1. Bagaimanakah distribusi *temperature* yang terjadi saat ada sumber panas dengan pendinginan udara yang bergerak pada variasi kecepatan 25 Km/h, 50 Km/h dan 70 Km/h selama 2 jam?
2. Bagaimanakah cara untuk menentukan posisi lubang saluran udara dengan ideal?

#### **1.5. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui distribusi *temperature* dan aliran udara yang terjadi saat ada sumber panas dengan pendinginan udara yang bergerak pada variasi kecepatan 25 km/h, 50 km/h dan 70 km/h selama 2 jam.
2. Untuk menentukan cara mencari posisi lubang saluran udara dengan ideal.

#### **1.6. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Penerapan ilmu pengetahuan yang telah dipelajari di bangku kuliah.
2. Untuk mengembangkan ilmu pengetahuan, terutama dalam bidang komputasi pemodelan alat penukar kalor.
3. Untuk membuktikan bahwa *electrical compartment* bus listrik masih dapat dioptimasi melalui permodelan *Autodesk CFD*.

4. Untuk membuktikan bahwa pendinginan dengan udara dapat mengoptimalkan kinerja suatu komponen *electric* yang terdapat pada bus listrik.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Kajian Pustaka

Penelitian yang dilakukan oleh Chang, *et al* (2009:43) yang berjudul “*The Investigation of Motor Cooling Performance*”. yaitu melakukan penelitian secara eksperimen dan numerik menginvestigasi kinerja pendinginan motor. Motor terdiri dari kipas sentrifugal, dua kipas aksial, poros, stator, rotor dan penukar panas dengan 637 tabung pendingin. Laju peningkatan laju aliran (PQ) dari kipas pendingin pada 1800 rpm diuji menggunakan alat uji yang memenuhi Standar Nasional China 2726. Dibandingkan dengan pengukuran eksperimental, hasil analisis numerik menunjukkan bahwa kinerja PQ kurva dari kipas aksial dan kipas sentrifugal dapat diperkirakan sekitar 2% dan 6%. Hasil simulasi menunjukkan bahwa suhu terhitung dari gulungan stator dekat kipas aksial lebih rendah sekitar 5% dari nilai yang terukur, dan suhu terhitung dari inti stator yang terletak di pusat stator adalah sekitar 1% lebih tinggi dari nilai yang diukur.

Penelitian yang dilakukan oleh Ihsan (2008:20) yang berjudul “Analisis bentuk aliran pada kondensor tipe *shell* dan *tube* menggunakan simulasi CFD (*computational fluid dynamics*)”. Peneliti dapat menganalisis aliran fluida pada kondensor tipe *shell* dan *tube* melalui software CFD.

Penelitian yang dilakukan oleh Anisum, *et al* (2016:70) yang berjudul “analisis distribusi suhu dan kelembaban udara dalam rumah jamur (kumbung) menggunakan *computational fluid dynamics* (CFD)” menyimpulkan bahwa hasil simulasi distribusi suhu pada rumah jamur menunjukkan bahwa bangunan dengan

*evaporative cooler* menggunakan air mampu menurunkan suhu udara dan meningkatkan kelembapan udara dalam rumah jamur dan memiliki hasil yang seragam dengan pola aliran udara yang terjadi dari *inlet* menuju *outlet*.

Penelitian yang dilakukan oleh Hisan, *et al* (2016:4948) yang berjudul “Perancangan Dan Realisasi Sistem Manajemen Termal Baterai *Lithium Ion* Menggunakan Metode Pendinginan Semi Pasif”. Peneliti Menjelaskan bahwa baterai adalah salah satu media penyimpan dan penyedia energi melalui reaksi kimia yang fungsi kerja dan umurnya dipengaruhi oleh suhu. Saat suhu meningkat dapat memberikan efek yaitu *overcharge*, *short circuit*, atau bahkan ledakan pada baterai.

Penelitian yang dilakukan oleh Firmansyah (2009:25) yang berjudul “Analisis Perpindahan Panas Pada Pendingin CPU Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga”. Disitu dijelaskan bahwa manajemen thermal adalah bagian penting dari proses desain kebanyakan perangkat elektronik. Manajemen panas penting baik pada tingkat komponen dan tingkat sistem yang memainkan peran penting dalam perangkat kualitas, efisiensi, dan, di atas segalanya, *itsreliability*.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Ahn, *et al* (2009:1) yang berjudul “Cooling System For Battery Pack”. Yaitu membahas tentang Sistem pendinginan *battery* memiliki efek menghilangkan panas secara efektif yang dihasilkan dari *battery cells* dengan memasok zat pendingin (*refrigerant*) ke *battery cells* pada laju aliran yang konstan, dan meminimalkan perbedaan suhu *battery cells* selama proses pendinginan. Hal ini bertujuan untuk mencegah penurunan kinerja *battery cells* serta mencapai kontrol suhu optimal.

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Perpindahan Panas**

Menurut Khuriati (2007: 69) Perpindahan kalor dapat dibagi menjadi 3 yaitu hantaran konduksi, konveksi, dan radiasi. Perpindahan kalor yang terjadi karena perbedaan suhu disebut hantaran kalor, umumnya konduktor listrik yang baik juga konduktor kalor yang baik pula. Panas telah diketahui dapat berpindah dari tempat dengan temperatur lebih tinggi ke tempat dengan temperatur yang lebih rendah. Hukum pencampuran panas juga terjadi karena panas itu berpindah, sedangkan pada kalorimeter, perpindahan panas dapat terjadi dalam bentuk pertukaran panas dengan luar sistem. Jadi pemberian atau pengurangan panas tidak saja mengubah temperatur atau fasa zat suatu benda secara lokal, melainkan panas itu merambat ke atau dari bagian lain benda atau tempat lain. Peristiwa itu disebut perpindahan panas.

Cengel, (2008:17) panas didefinisikan sebagai bentuk energi yang dapat ditransfer dari satu sistem ke sistem lainnya sebagai akibat dari perbedaan suhu. Analisis termodinamika berkaitan dengan jumlah perpindahan panas sebagai suatu sistem yang mengalami proses dari satu keadaan setimbang ke keadaan lain. Ilmu yang berkaitan dengan penentuan tingkat transfer energi seperti itu adalah transfer panas. Perpindahan energi sebagai panas selalu dari media suhu tinggi ke suhu yang lebih rendah, dan transfer panas berhenti ketika dua media mencapai suhu yang sama. Panas dapat ditransfer dalam tiga cara yang berbeda: konduksi, konveksi, dan radiasi. Semua cara perpindahan panas memerlukan adanya perbedaan suhu, dan semua cara berasal dari medium bersuhu tinggi ke suhu yang lebih rendah.

Disini peneliti mengamati peristiwa berlangsungnya perpindahan panas itu. Kalau peneliti menganggap perpindahan panas berlangsung secara mengalir analogi dengan aliran listrik atau aliran fluida, maka aliran panas itu dinamakan arus panas. Mendefinisikan arus panas ini sebagai jumlah tenaga panas per satuan waktu atau daya panas melalui penampang tegak lurus kepada arah arus. Oleh sebab itu arus panas rata-rata adalah:

$$\bar{H} = \frac{\Delta Q}{\Delta \tau} \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan  $\Delta \tau$  sebagai waktu perpindahan panas yang dipandang.

Karena arus panas dapat berubah-ubah menurut waktu, maka arus panas pada setiap saat adalah:

$$H = \lim_{\Delta \tau \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta \tau} = \frac{dQ}{d\tau} \dots\dots\dots (2.2)$$

Perpindahan panas dapat diketahui melalui perubahan temperatur. Oleh karenanya perlu ditentukan hubungan antara arus panas dan perubahan atau perbedaan temperatur. Bagi kalorimeter yang mengalami pertukaran panas dengan luar sistem, akibat perpindahan panas, Newton memberikan suatu koreksi yang dikenal sebagai hukum pendinginan atau pemanasan Newton.

### 2.2.1.1. Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah perpindahan energi yang terjadi pada medium yang diam (padat atau zat yang dapat mengalir) apabila terdapat gradien temperatur dalam medium tersebut.

Menurut Haryadi dan Mahmudi (2012: 5) menyatakan bahwa perpindahan panas konduksi, dimana proses perpindahan panas terjadi antara benda atau partikel-partikel yang berkontak langsung, melekat satu dengan yang lainnya; tidak ada pergerakan relatif diantara benda-benda tersebut. Misalnya panas yang berpindah di dalam sebuah batang logam akibat pemanasan salah satu ujungnya.

$$q_x = - k A \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana:

$q_x$  = Laju perpindahan panas (W)

$dT/d_x$  = Gradien Temperature terhadap jarak dalam arah aliran panas x

A = Luas Permukaan benda ( $m^2$ )

k = Konduktifitas termal ( $W/m^0C$ )

### 2.2.1.2 Konveksi

Konveksi panas terjadi karena partikel zat yang mempunyai temperatur lebih tinggi berpindah tempat secara mengalir sehingga dengan sendirinya terjadi perindahan panas melalui perpindahan massa. Perpindahan panas konveksi terjadi antara permukaan dengan fluida yang mengalir apabila keduanya mempunyai temperatur yang berbeda ketika fluida melaju melalui benda padat, dan dengan temperatur yang berbeda. Perpindahan kalor terjadi antara fluida dan permukaan



padat sebagai hasil dari pergerakan fluida.

Perpindahan panas secara konveksi dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Konveksi Paksa (*Forced Convection*) Terjadi jika pergerakan fluida disebabkan oleh mekanisme dari luar secara paksa seperti oleh blower, pompa, atau fan.
2. Konveksi Alami (*Free Convection*) Terjadi jika pergerakan fluida dikontrol sebagai hasil dari perbedaan massa jenis (densitas) yang disebabkan oleh perbedaan temperatur diantara fluida.

Laju perpindahan panas dengan cara konveksi antara suatu permukaan dengan suatu fluida dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$q_c = h_c \cdot A \cdot \Delta T \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

$q_c$  = Laju perpindahan panas (W).

$h_c$  = Koefisien perpidahan panas konveksi ( $W/m^2$ ) K).

A = Luas penampang ( $m^2$ ).

$\Delta T$  = Beda antara suhu permukaan dengan suhu fluida (K).

### 2.2.1.3 Radiasi

Radiasi adalah energi yang dipancarkan oleh materi dalam bentuk gelombang elektromagnetik (atau foton) sebagai akibat dari perubahan dalam konfigurasi elektronik atom atau molekul. Tidak seperti konduksi dan konveksi, transfer energi oleh radiasi tidak memerlukan kehadiran media intervensi. Bahkan, transfer energi dengan radiasi paling cepat (pada kecepatan cahaya) dan tidak mengalami redaman dalam ruang hampa. Beginilah bagaimana energi matahari mencapai bumi (Cengel, 2008:27).

Setiap benda bisa menyerap kalor yang dipancarkan secara radiasi. Akan tetapi yang menentukan daya serap dan daya bukanlah jenis bahan benda tersebut melainkan warnanya. Semakin hitam sebuah benda maka benda tersebut akan cenderung semakin menyerap panas yang dipancarkan melalui radiasi. Kehitaman inilah yang disebut sebagai emisivitas bahan. Laju penyerapan kalor yang dipancarkan secara radiasi dirumuskan:

$$q = \sigma e A T^4 \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

e = emisivitas bahan

$\sigma$  = konstanta Stefan-Boltzman  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ C}$

A = luas permukaan benda

T = suhu dalam Kelvin

### 2.2.2 Aliran Fluida

Aliran fluida (termasuk uap air dan gas) dibedakan dari benda padat karena kemampuannya untuk mengalir. Fluida lebih mudah mengalir karena ikatan molekul dalam fluida jauh lebih kecil dari ikatan molekul dalam zat padat, akibatnya fluida mempunyai hambatan yang relatif kecil pada perubahan bentuk karena gesekan. Zat padat mempertahankan suatu bentuk dan ukuran yang tetap, sekalipun suatu gaya yang besar diberikan pada zat padat tersebut, zat padat tidak mudah berubah bentuk maupun volumenya, sedangkan zat cair dan gas, zat cair tidak mempertahankan bentuk yang tetap, zat cair mengikuti bentuk wadahnya dan volumenya dapat diubah hanya jika diberikan padanya gaya yang sangat besar.

Gas tidak mempunyai bentuk maupun volume yang tetap, gas akan menyebar dan mengisi seluruh wadah yang ditempatinya (Olson dan Wright). Karena fase cair dan gas tidak mempertahankan suatu bentuk yang tetap, keduanya mempunyai kemampuan untuk mengalir. Dengan demikian keduanya sering secara kolektif disebut sebagai fluida.

### 2.2.2.1 Klasifikasi Aliran

Banyak kriteria yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan fluida sebagai contoh aliran dapat digolongkan sebagai aliran *steady* dan *unsteady*, satu, dua, atau tiga dimensi, seragam atau tidak seragam laminar atau turbulen dan dapat mampat atau tidak dapat mampat. Selain itu, aliran gas ada yang subsonik, transonik, supersonik atau hipersonik, sedangkan zat cair yang mengalir disalurkan terbuka ada yang sub kritis, kritis atau super kritis.

Namun secara garis besar dapat dibedakan atau dikelompokkan jenis aliran adalah sebagai berikut :

1. Aliran tunak (*steady*)

Suatu aliran dimana kecepatannya tidak terpengaruh oleh perubahan waktu sehingga kecepatan konstan pada setiap titik (tidak mempunyai percepatan).

2. Aliran seragam (*uniform*)

Suatu aliran yang tidak terjadi perubahan baik besar maupun arah, dengan kata lain tidak terjadi perubahan kecepatan dan penampang lintasan.

3. Aliran tidak tunak (*unsteady*)

Suatu aliran dimana terjadi perubahan kecepatan terhadap waktu.

4. Aliran tidak seragam (*non uniform*)

Suatu aliran yang dalam kondisi berubah baik kecepatan maupun penampang berubah.

### 2.2.2.2 Tipe-tipe Aliran

a. Aliran Laminer

Aliran laminer didefinisikan sebagai aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan atau lamina-lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Dalam aliran laminer ini viskositas berfungsi untuk meredam kecenderungan terjadinya gerakan relatif antara lapisan, sehingga aliran laminer memenuhi pasti hukum viskositas Newton yaitu :

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \dots\dots\dots(2.6)$$

Aliran laminer ini mempunyai nilai bilangan Reynoldnya kurang dari 2300.

b. Aliran Transisi

Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminer ke aliran turbulen. Ketika kecepatan aliran itu bertambah atau viskositasnya berkurang (dapat disebabkan temperatur meningkat) maka gangguan-gangguan akan terus teramati dan semakin membesar serta kuat yang akhirnya suatu keadaan peralihan tercapai. Keadaan peralihan ini tergantung pada viskositas fluida, kecepatan dan lain-lain yang menyangkut geometri aliran dimana nilai bilangan Reynoldnya antara 2300 sampai dengan 4000.

c. Aliran Turbulen

Aliran turbulen didefinisikan sebagai aliran yang dimana pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain dalam skala yang besar dimana nilai bilangan Reynoldnya lebih besar dari 4000. Dalam keadaan aliran turbulen maka turbulensi yang terjadi membangkitkan tegangan geser yang merata di seluruh fluida sehingga menghasilkan kerugian-kerugian aliran.

### **2.2.3 *Computational Fluid Dynamics (CFD)***

*Computational Fluid Dynamics (CFD)* merupakan program komputer perangkat lunak untuk memprediksi dan menganalisis secara kuantitatif aliran fluida, perpindahan panas, transpor fenomena dan reaksi kimia (Al-Kindi, *et al.*, 2015:11).

Analisis aliran fluida dalam suatu sistem dengan CFD merupakan analisis numerik dengan kontrol volume sebagai elemen dari integrasi persamaan-persamaan, yang terdiri dari persamaan keseimbangan massa, momentum dan energy. CFD mencakup berbagai teknologi termasuk matematika, ilmu komputer, teknik dan fisika, dan disiplin ilmu ini harus disatukan untuk menyediakan sarana pemodelan aliran fluida (Shaw, 1992). CFD semakin menjadi komponen penting dalam desain produk dan proses di dunia industri (Versteeg dan Malalasekera, 2007:1). Dalam CFD penggunaan komputer sangat vital karena harus melakukan

jutaan perhitungan untuk mensimulasikan interaksi fluida dan gas yang digunakan pada bidang *engineering* (Ihsan, 2018:20)

Keuntungan menggunakan CFD antara lain (Xia dan Sun, 2002:7):

1. Memberikan pemahaman rinci tentang distribusi aliran, kekurangan berat, perpindahan panas dan massa, pemisahan partikulat dan lain-lain sehingga dapat memberikan perencanaan rancang bangun yang lebih baik.
2. Memungkinkan untuk mengevaluasi perubahan geometrik dengan sedikit waktu dan biaya.
3. Dapat menjawab banyaknya pertanyaan “bagaimana kalau” dalam waktu singkat.
4. Mengurangi masalah peningkatan skala karena model berdasarkan dari fisika dasar dan skala yang independen
5. Sangat berguna dalam kondisi simulasi dimana tidak mungkin untuk mengambil pengukuran inci, seperti suhu tinggi atau lingkungan yang berbahaya.
6. Dapat mengetahui akar penyebab bukan hanya efek saat evaluasi masalah dalam perencanaan.

Pada prinsipnya, ada tiga tahap yang harus dilakukan untuk menggunakan CFD, yaitu sebelum proses, saat proses, dan setelah proses.

1. Tahap 1 adalah tahap sebelum proses. Semua proses yang dilakukan sebelum proses masuk pada langkah sebelum proses. Masalah pada langkah ini antara lain *thinking*, *meshing*, dan pembuatan suatu model komputasi atau model perhitungan. Sebelum simulasi dilakukan, terlebih dahulu memikirkan tentang fisik dari masalah yang akan dihadapi. Pada tahap *thinking*, analisis harus tentang masalah tersebut. Tahap *meshing* menciptakan bentuk domain masalah

yang akan di analisis. Hal ini biasanya dilakukan dengan program *computer aided design* (CAD). Dimungkinkan untuk mengimpor data yang dihasilkan oleh program CAD ke CFD. Kemudian domain masalah dibagi-bagi menjadi beberapa sel, disebut juga volume dan elemen. Kebanyakan paket CFD memiliki program untuk melakukan *meshing* dan menentukan bentuk secara bersamaan. Kecanggihan CFD antara lain : mendefinisikan *grid points*, dan juga volume dan elemen, mendefinisikan batas-batas geometri, menerapkan kondisi batas, menentukan kondisi awal, pengaturan sifat fisik fluida dan pengaturan parameter kontrol numerik.

2. Tahap 2 adalah tahap saat pengolahan, tahap ini melibatkan komputer memecahkan persamaan matematika aliran fluida. Setelah *meshing* selesai, nilai-nilai model input harus ditetapkan dan kemudian CFD dapat memecahkan persamaan untuk setiap sel hingga suatu konvergensi yang bisa diterima dicapai. Proses ini membutuhkan komputer untuk memecahkan ribuan persamaan. Persamaan diintegrasikan dan kondisi batas yang diterapkan persamaan ini. Proses ini membutuhkan waktu yang lama tergantung banyaknya *meshing* yang dibuat.
3. Tahap 3 adalah tahap setelah pengolahan, tahap ini mengevaluasi data hasil CFD. Model yang telah diselesaikan oleh CFD dapat dianalisis dengan numerik dan grafis. CFD dapat membuat visualisasi dari yang sederhana grafik 2-D hingga gambar 3-D. Arah dari aliran fluida sangat mempengaruhi efisiensi pembuangan panas pada *electrical compartment*.

## 2.2.4 *Electrical Compartment*



Gambar 2.1 *Electrical Compartment*

*Electrical Compartment* adalah suatu bagian dari bodi bus yang digunakan untuk menyimpan komponen-komponen elektrik penunjang bus listrik.

Diantaranya yaitu:

### 1. Baterai



Gambar 2.2 Baterai

Baterai atau *accumulator* adalah sebuah sel listrik dimana di dalamnya berlangsung proses elektrokimia yang *reversible* (dapat berbalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. *Reversible* dapat diartikan dalam baterai terjadi proses



pengubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan), dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (proses pengisian). Pengisian kembali baterai dengan cara regenerasi dari elektroda – elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewati arus listrik dalam arah (polaritas) yang berlawanan di dalam sel (Afif, 2015:95). Baterai memiliki peran penting dalam perkembangan kebutuhan energi. Performa baterai yang baik, akan mendukung perangkat yang ditunjangnya. Energi yang dapat disimpan baterai jumlahnya terbatas, maka baterai akan mengalami siklus *charge* dan *discharge* (Farizy, *et al.*, 2016:278).

Pengelolaan panas baterai sangat penting dalam mencapai performa dan masa pakai baterai yang lebih lama dalam kendaraan listrik dan hybrid dengan kondisi berkendara keseharian. Pemodelan yang tepat untuk memprediksi kerusakan sistem baterai pada kendaraan membantu membuat keputusan untuk memperbaiki suatu desain dan mempersingkat proses pengembangan (Kim dan Pesaran, 2007:126).

## 2. BMS (*Battery Management System*)



Gambar 2.3 *Battery Management System*

*Battery management system* (BMS) adalah penghubung utama antara motor sebagai penggerak dan baterai sebagai penyedia energi. BMS yang baik akan

mengoptimalkan pengoperasian mobil yang efisien dan aman dan menjamin terjaganya baterai sehingga berumur lebih lama.

Sejak tahun 1994 sampai sekarang, *National Energy Resilience Agency* (NREL), Amerika Serikat mengembangkan teknologi baterai terutama untuk meningkatkan siklus hidup (*life cycle*) dan umur baterai. NREL menggaris bawahi bahwa untuk dapat diterima oleh konsumen secara luas, baterai harus dapat bertahan antara 10 sampai 20 tahun dalam pemakaian yang normal. Jika hal itu tidak dapat diwujudkan, dikhawatirkan pemakaian mobil listrik akan mengalami saturasi dengan tidak adanya permintaan di tahun-tahun mendatang. Salah satu yang harus dijaga untuk meningkatkan siklus hidup dan umur baterai adalah dengan BMS yang efisien.

Seperti halnya pada mobil pada umumnya, BMS harus menyediakan informasi untuk mengetahui level energi yang masih tersedia dalam baterai, dan memprediksi sampai kapan atau berapa kilometer lagi energi dapat bertahan. Selain itu karena sifatnya yang kimiawi, baterai harus dijaga jangan sampai terjadi reaksi diisi terlalu lama (*overcharging*) karena akan menimbulkan reaksi kimiawi yang tidak dapat balik (*irreversible*) yang mengakibatkan matinya sel-sel dalam baterai sehingga menyebabkan penurunan performa dan kapasitas penyimpanan energi pada baterai. Pada beberapa kasus, *overcharging* dapat menyebabkan terjadinya kebakaran yang dapat membahayakan keselamatan jiwa manusia. Di lain pihak, baterai juga harus dijaga dari reaksi terbeban lebih yang menyebabkan arus berlebih (*overcurrent*) dan tegangan berlebih (*overvoltage*) yang secara kimiawi juga dapat berpotensi merusak baterai. Suhu baterai juga harus selalu dijaga dan dimonitor

untuk menjaga performa yang optimal dari baterai dan melindungi dari bahaya yang mungkin muncul misalnya kebakaran. BMS juga di lain pihak harus mampu memberi peringatan kepada pengemudi tentang keadaan-keadaan yang darurat yang memerlukan tindakan khusus

### 3. *Inverter*



Gambar 2.4 *Inverter*

*Inverter* (converter DC to AC) merupakan suatu perangkat yang dipakai untuk mengubah daya arus searah (*Direct Current*) menjadi daya arus bolak-balik (*Alternating Current*), yang tegangan dan frekuensinya dapat diatur (presisi). Tegangan bolak-balik yang dihasilkannya berbentuk gelombang persegi dan pada pemakaian tertentu diperlukan filter untuk menghasilkan bentuk gelombang sinus.

Pada umumnya suatu *inverter* terdiri dari rangkaian jembatan *thyristor* dan rangkaian pengatur penyalan. Rangkaian pengatur penyalan digunakan untuk mengatur tegangan dan frekuensi yang dihasilkan oleh *inverter*. Periode pulsa yang memacu *thyristor* akan menentukan frekuensi yang dihasilkan, sedangkan tegangan efektifnya ditentukan oleh lebar pulsa tersebut.

Berdasarkan bentuk gelombang keluarannya terdapat dua jenis inverter yaitu:

1. Inverter dengan tegangan dan frekuensi keluaran konstan. Biasanya daya masukan *system* arus searah yang masuk ke inverter konstan dan tidak terbatas.
2. Inverter dengan tegangan dan frekuensi keluaran berubah-ubah. Pada umumnya perbandingan tegangan dan frekuensi keluaran tetap dipergunakan bila sumber daya searah terbatas karena ketidakmampuan pembangkit listrik untuk menghasilkan tegangan yang konstan. Contohnya seperti pada pembangkit listrik tenaga surya (foto *voltaiic*). Prinsip kerjanya sama seperti inverter yang pertama, kecuali terdapat rangkaian yang dapat mengubah besar perubahan tegangan menjadi perubahan frekuensi keluaran.

Perbandingan tegangan dan frekuensi keluaran inverter dijaga tetap dengan mengubah-ubah jumlah pulsa pemicu pada setiap siklus sinusoidal. Jika tegangan masuk ke inverter besar, maka perioda gelombang sinusoidal diperkecil agar daerah yang dibatasi oleh tegangan dan waktu selalu konstan. Dengan demikian daerah volt detik yang dibatasi oleh setengah siklus gelombang tegangan keluar harus sama pada semua frekuensi.

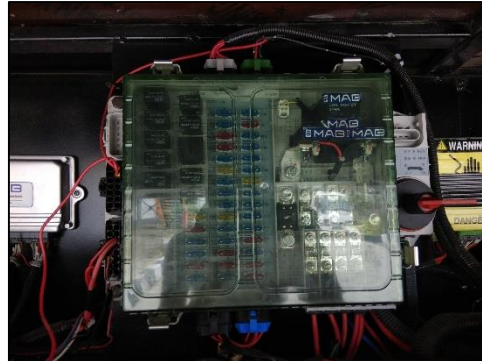
Beban tahanan murni atau induktif sebuah konverter harus menghasilkan tegangan output dan frekuensi yang konstan. Salah satu aplikasinya adalah pada elektro lokomotif yang modern atau pengendalian mesin.

Metode pemicuan dengan saklar elektronik bertujuan untuk mengatur besar dan bentuk gelombang keluaran *inverter*. Salah satu cara penyalan dan pemadaman yang digunakan adalah modulasi lebar pulsa, yakni dengan membangkitkan gelombang tegangan kotak dengan amplitude yang sama untuk membuka dan menutup saklar elektronik dengan cepat secara bergantian. Prinsip kerja modulasi lebar pulsa adalah dengan membandingkan gelombang acuan berbentuk sinusoidal dengan gelombang pembawa berbentuk segitiga sama kaki.

Sehingga dengan demikian saklar bekerja berganti-gantian akan menghasilkan tegangan bolak-balik yang berbentuk persegi yang besarnya ditentukan oleh sumber, dan frekuensinya ditentukan oleh kecepatan perpindahan saklar. Inverter sederhana yang menggunakan saklar mekanik memiliki banyak kekurangan dan kesukaran, oleh karena itu perlu dikembangkan. *Thyristor* dan kapasitor dapat digunakan sebagai pengganti saklar mekanik tersebut.

Penyalan kedua *thyristor* pada saat yang bersamaan akan menyebabkan terjadinya hubungan singkat pada jepitan sumber. Gelombang yang terjadi berbentuk gelombang persegi dan bila diperlukan dapat dibuat menjadi gelombang sinus melalui proses filtrasi dengan menggunakan filter.

#### 4. Fuse Box



Gambar 2.5 Fuse Box

Bagian yang berfungsi sebagai tempat berkumpulnya seluruh sekering dari sistem kelistrikan pada *electric bus*. Didalam *fuse box* terdapat berbagai macam sekering dari mulai 10A,15A hingga 30A. Pengertian dari sekering adalah komponen yang berfungsi sebagai pengaman dalam rangkaian elektronika maupun perangkat listrik. *Fuse* (sekering) pada dasarnya terdiri dari sebuah kawat halus pendek yang akan meleleh dan terputus jika dialiri oleh arus listrik yang berlebihan ataupun terjadinya hubungan arus pendek (*short circuit*) dalam sebuah peralatan listrik/elektronika. Dengan putusya *fuse* (sekring) tersebut, arus listrik yang berlebihan tersebut tidak dapat masuk ke dalam rangkaian elektronika sehingga tidak merusak komponen-komponen yang terdapat dalam rangkaian elektronika yang bersangkutan. Karena fungsinya yang dapat melindungi peralatan listrik dan peralatan elektronika dari kerusakan akibat arus listrik yang berlebihan, *fuse* atau sekering juga sering disebut sebagai pengaman listrik.

## 5. *High Voltage Control Box*



Gambar 2.6 *High Voltage Control Box*

Kotak pengontrol tegangan tinggi adalah suatu perangkat yang berfungsi sebagai tempat distribusi pengaturan tegangan tinggi untuk mensuplai aliran listrik ke seluruh sistem, atau sebagai penghubung antara sistem sel pada baterai dengan system listrik tegangan tinggi pada kendaraan listrik atau hibrida.

Elemen yang terdapat pada *high voltage control box* diantaranya yaitu, elemen pemisah, sekering, pengukur dan kontrol elektronik. Bagian sentral dari kotak pengontrol tegangan tinggi adalah unit pengontrol baterai yang berfungsi untuk merekam semua data yang valid pada sistem seperti sensor tegangan dan daya/ pengontrol sel. Sensor arus/tegangan, singkatnya, menentukan data yang tepat untuk mengatur baterai dan sebagai indikator status pengisian baterai bertegangan tinggi.

Selain sensor arus / tegangan, kotak kontrol tegangan tinggi berisi kontrol untuk mengatur panas pada listrik baterai tegangan tinggi, serta komponen elektronik tambahan yang bertanggung jawab untuk membuka dan menutup sirkuit

tegangan tinggi, pada saat start kendaraan serta perlindungan untuk terhindar dari kerusakan.

## 6. ECU



Gambar 2.7 ECU

*Electronic Control Unit (ECU)* adalah *microcomputer* yang berfungsi mengkoreksi, menghitung dan menerima seluruh informasi/data atau sinyal yang diterima dari masing-masing sensor yang ada dalam *electric bus*. Informasi yang diterima tersebut antara lain berupa informasi mengenai temperatur udara, temperatur semua komponen *electric bus*, temperatur cairan pendingin motor, tekanan udara untuk *air suspension* serta *air brake*, putaran motor, dan informasi lainnya.

## 2.3 Spesifikasi Bus Listrik PT.MAB

### 2.3.1 General Specifications

- a. *Product Name* : E-Bus 12M
- b. *Max Speed (km/h)* : 70
- c. *Mileage* : 250 km/Charging
- d. *Time Charging* : 3 hours (0-100%)
- e. *Passenger Capacity* : 60 Persons



### 2.3.2 Motor

- a. *Series* : HYYQ 800-1200
- b. *Type* : Electrical Motor PMSM
- c. *Max Power* : 200 KW / 268 hp
- d. *Max Torque* : 2400 Nm

### 2.3.3 Baterai

- a. *Type* : LiFePo (Lithium Ferro Phosphate)
- b. *Specification* : 576V 450Ah
- c. *Capacity* : 259.2 KWh
- d. *Total Weight* : 2290 kg

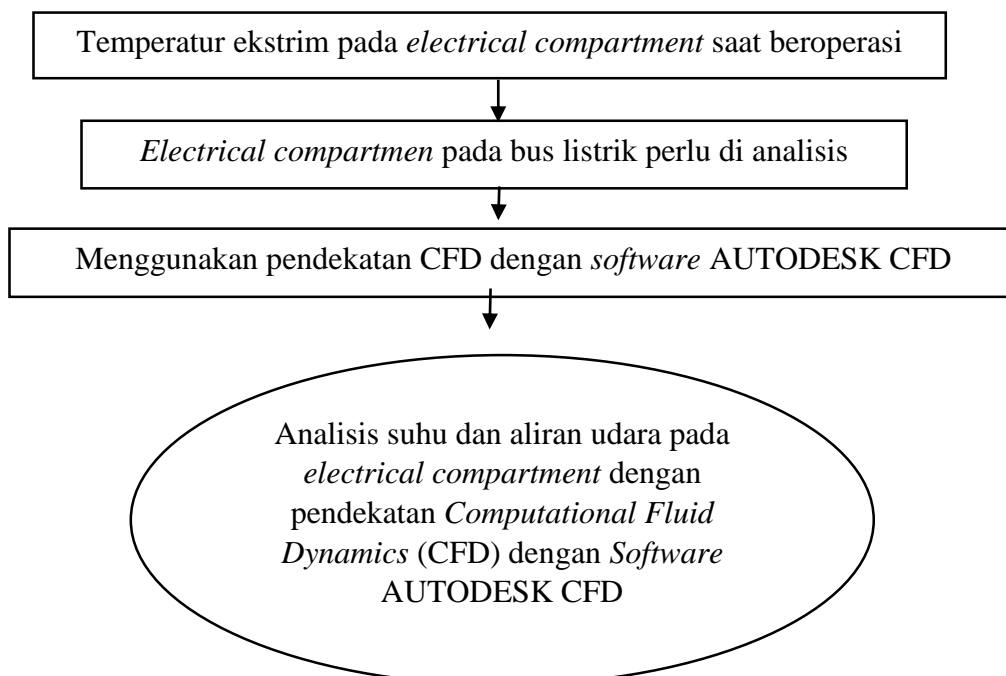
## 2.4 Kerangka Pikir

*Electrical compartment* adalah bagian yang digunakan untuk menempatkan komponen-komponen *electric*, didalamnya terdapat komponen seperti Baterai, BMS (*Baterai Management system*), ECU, *Inverter*, *Fuse Box*, dan *High Voltage Control Box*. Semua komponen tersebut berfungsi sebagai penunjang jalannya bus listrik. Kerusakan pada komponen *electric* dapat terjadi karena banyak faktor, salah satunya temperatur ekstrim. Temperatur tinggi saat beroperasi dapat menurunkan daya tahan komponen, sehingga masa hidup komponen pada suhu lebih tinggi dari suhu normal akan lebih kecil.

Oleh karena itu, *electrical compartment* pada bus listrik ini perlu dianalisis aliran udaranya, sehingga dapat dimodifikasi untuk menemukan aliran udara terbaik sehingga temperatur komponen-komponen *electrical* saat beroperasi tidak

ekstrim. Dengan suhu kerja yang tidak ekstrim, diharapkan komponen lebih tahan lama dengan siklus hidup yang tinggi.

*Computational Fluid Dynamics* (CFD) merupakan program komputer perangkat lunak untuk memprediksi dan menganalisis secara kuantitatif aliran fluida, perpindahan panas, transpor fenomena dan reaksi kimia. CFD merupakan analisis numerik dengan kontrol volume sebagai elemen dari integrasi persamaan-persamaan, yang terdiri dari persamaan keseimbangan massa, momentum dan energi. Pada penelitian ini menggunakan pendekatan CFD dengan menggunakan AUTODESK CFD untuk menganalisis *electrical compartment* dan dibantu menggunakan AUTODESK Inventor untuk mendesain pemodelan pada *electrical compartment*.



Gambar 2.8 Kerangka Pikir

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

Metode penelitian adalah suatu cara ilmiah untuk mendapatkan data yang valid dengan tujuan dapat ditemukan, dikembangkan, dan dibuktikan suatu pengetahuan tertentu sehingga pada gilirannya dapat digunakan untuk memahami, memecahkan, dan mengantisipasi masalah. Penelitian dilaksanakan dengan melakukan studi pustaka terhadap permasalahan pada pendinginan *electrical compartment* untuk menghindari panas lebih (*Overheating*).

Ada dua kegiatan utama dalam tahapan ini yaitu 1) Mensimulasikan dan menganalisa pendinginan *electrical compartment* yang sudah ada, dan 2) mendesain saluran udara untuk menemukan desain model baru yang lebih optimal serta dapat digunakan sebagai pendinginan pada *electrical compartment* di Bus Listrik MAB.

#### **3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan**

Waktu dan tempat penelitian direncanakan agar penelitian yang akan dilaksanakan terjadwal dengan rapi dan dapat selesai dalam waktu yang telah direncanakan. Waktu dan tempat yang direncanakan adalah sebagai berikut:

##### **3.1.1 Waktu Penelitian**

Penelitian ini akan dilaksanakan pada Semester Genap, tahun akademik 2018/2019. Rentang waktu pelaksanaan penelitian lapangan adalah bulan Agustus tahun 2018 sampai bulan Mei tahun 2019.

### 3.1.2 Tempat Penelitian

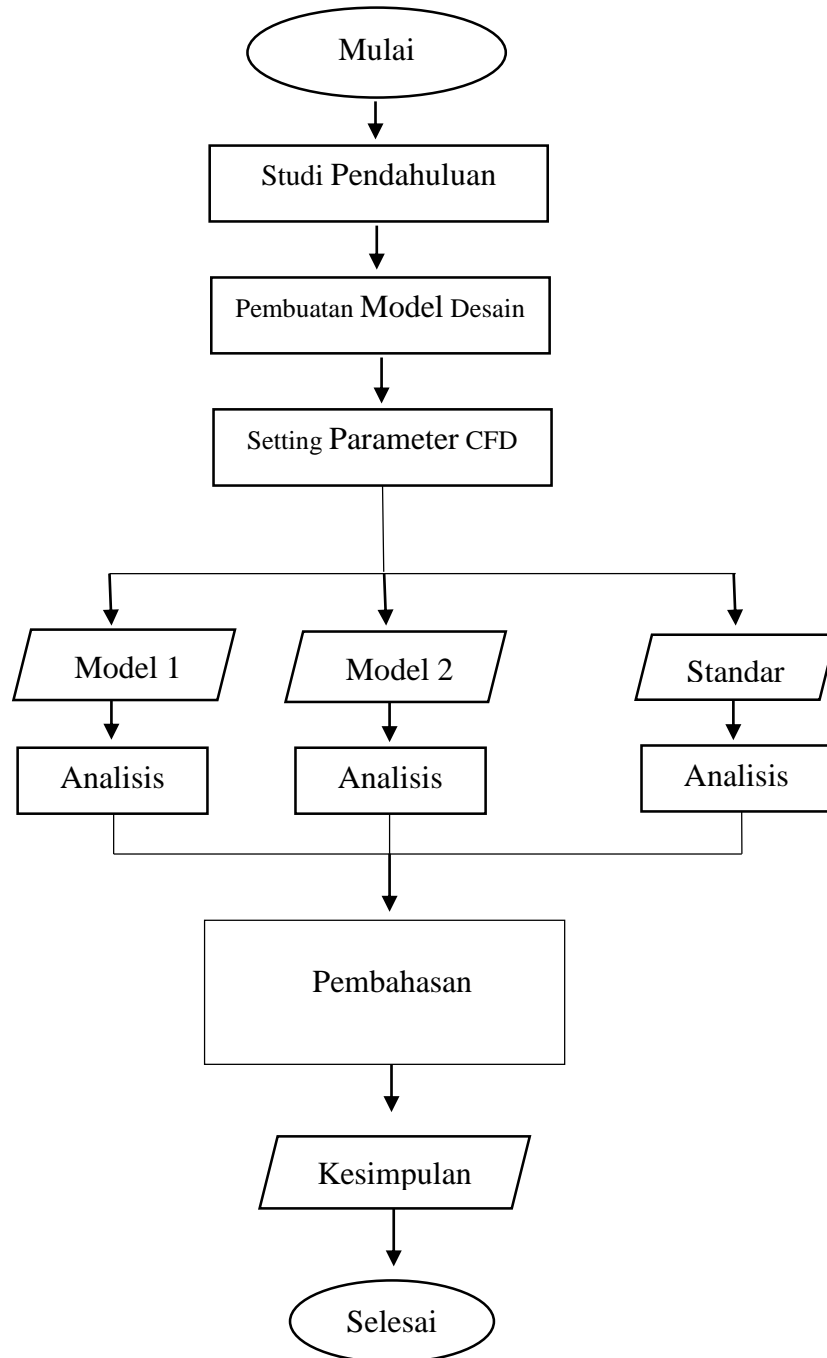
Tempat pelaksanaan eksperimen Analisa aliran udara *electrical compartment* bus MAB dilakukan di *Design Engineering House* PT. MAB yang beralamatkan di Jalan Abdul Majid Raya No.45A Jakarta Selatan.

### 3.2 Desain Penelitian

Model rancangan menggunakan metode penelititan dan pengembangan atau R&D (*Research and Development*). R&D merupakan metode penelitian yang bertujuan untuk menghasilkan suatu produk. Produk yang akan dihasilkan dalam penelitian ini ialah rancangan saluran udara untuk sistem pendinginan pada *electrical compartment* di Bus Listrik MAB. Fungsi dari rancangan tersebut ialah untuk mengarahkan sumber udara dari luar. Dengan adanya saluran udara ini dimaksudkan agar sumber udara bisa terdistribusi secara terarah dan maksimal ke *electrical compartment*, sehingga dapat menghindari dari *overheating* dan kinerja komponen elektrik tetap aman.

Permodelan dilakukan untuk membantu mendapatkan rancangan saluran udara yang akan dibuat agar dapat disesuaikan dengan konstruksi chasis dan *body* Bus Listrik MAB. Rencana pemodelannya yaitu meliputi penambahan lubang-lubang berupa sirip pada samping kanan *body* bus untuk jalan masuknya udara.

Desain penelitian dapat digambarkan pada sebuah diagram alir. Diagram alir digunakan untuk memudahkan peneliti dalam melaksanakan dan memperjelas tahapan-tahapan dalam penelitian. Berikut adalah diagram alir pelaksanaan penelitian:



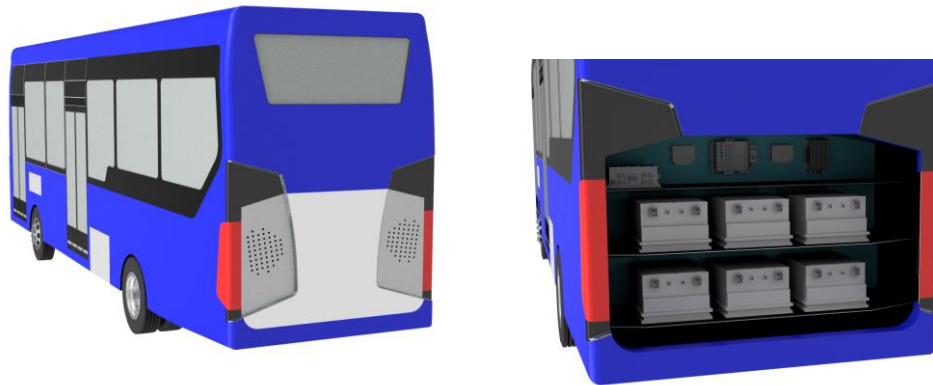
Gambar 3.1 Alur Penelitian

### 3.2.1 Desain Variasi Electrical Compartment

Desain *electrical compartment* digambar menggunakan *software* Autodesk Inventor 2019, secara umum dimensi dari *electrical compartment* yang akan diujikan dibuat sama, sedangkan untuk posisi lubang ventilasi dibuat divariasikan beda setiap model yang akan dianalisis. Desain kemudian diimpor kedalam geometri dalam *software* Autodesk CFD 2019 untuk dianalisis dinamika fluidanya terutama pada perubahan suhunya.

#### 1. Desain Standar

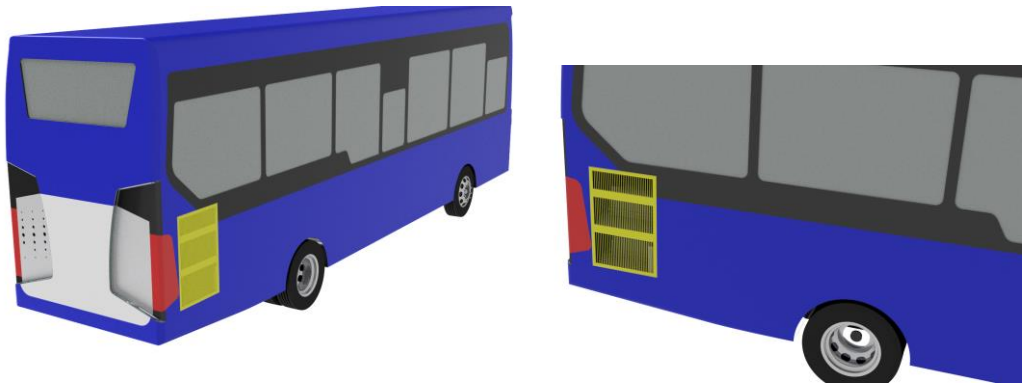
Ventilasi pada desain standar dibuat tertutup bagian samping kanan dan kirinya, hanya terdapat lubang ventilasi dibagian belakang *electrical compartment*. Sehingga *electrical compartment* sulit untuk mendapatkan pasokan udara dari luar yang berguna untuk mendinginkan komponen *electric*.



Gambar 3.2 Desain Standar *Electrical Compartment*

## 2. Desain Variasi 1

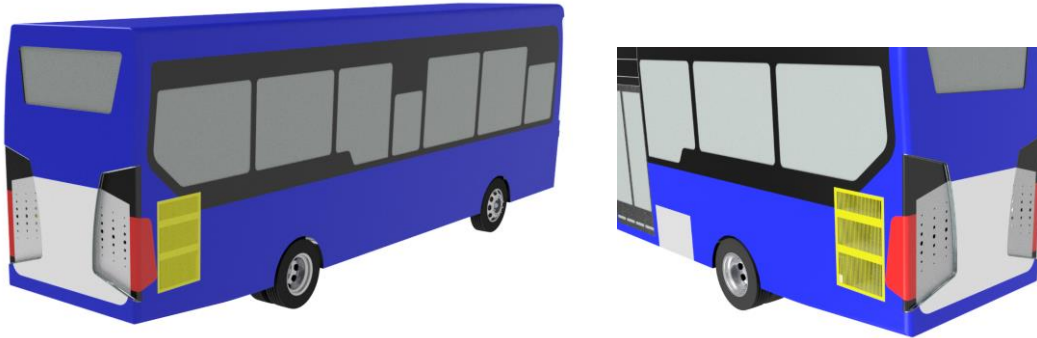
Variasi lubang pada desain pertama ventilasinya dibuat menyilang hanya ada pada sisi samping kanan dan ventilasi belakang hanya ada di sebelah kiri, memungkinkan fluida bergerak merata mengenai semua *electrical component* sehingga terhindar dari *overheating*.



Gambar 3.3 Desain Variasi 1

## 3. Desain Variasi 2

Variasi lubang ventilasi pada desain kedua dibuat aliran udaranya masuk dari sisi sebelah kanan dan kiri kemudian keluar pada bagian belakang *electrical compartment*, Sehingga memungkinkan panas lebih banyak yang terbuang karena terdorong oleh udara segar yang masuk dari sisi kanan dan kiri.



Gambar 3.4 Desain Variasi 2

### 3.2.2 Metode Pengujian

Tabel 3.1 Metode Pengujian

Komponen	Suhu <i>Electrical Compartment</i>		
	Min.	Maks.	Rata-rata
<i>Compartment</i>			
Baterai 1			
Baterai 2			
Baterai 3			
Baterai 4			
Baterai 5			
Baterai 6			
<i>High Voltage</i>			
<i>Control Box</i>			
BMS			
<i>Fuse Box</i>			
ECU			
<i>Inverter</i>			

Pada penelitian ini variabel terikat adalah kalor, maka yang paling diamati pada pengujian melalui analisis CFD adalah suhu, sedangkan variabel lain hanya sebagai pendukung hasil analisis. Penelitian dilakukan pada variasi kecepatan 25 km/h, 50 km/h, dan 70 km/h selama 2 jam.



### 3.3 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.3.1 Alat Penelitian

Alat yang akan digunakan pada proses Analisa aliran udara *electrical compartment* bus listrik PT.MAB adalah sebagai berikut:

- a. Laptop dengan spesifikasi

*Type Prosesor* : Intel(R) Xeon(R) Silver 4112 CPU @ 2.60Ghz

*Memory* : 16384MB RAM

*Direct X Version* : DirectX 12

*Display Memory* : 12070 Mb NVIDIA Quadro P1000

- b. *Software Inventor Profesional 2019*

*Software* sebagai alat yang membantu membuat gambar baterai *compartment* beserta komponen-komponen nya dalam bentuk 3D.

- c. *Software Autodesk CFD 2019*

*Software* sebagai alat yang membantu menganalisa aliran udara *electrical compartment* pada bus listrik PT. MAB.

#### 3.3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Aluminium 6061

Titik Cair : 660°C

Kekuatan Tarik : 12,6 kgf/mm

Berat Jenis : 2,70 g/cm<sup>3</sup>

*Ekspansi Thermal* :  $13,1 \cdot 10^{-6} \text{K}$

*Konduktifitas Thermal* : 25 N/m<sup>2</sup>

### 3.4 Parameter Penelitian

#### 3.4.1 Suhu

Parameter suhu yang dimaksud adalah suhu udara sekitar ketika melakukan pengetesan bus PT.MAB menuju Merak Banten yaitu 28 °C, 30 °C, 32 °C, 34 °C dengan asumsi waktu 2 jam. Nilai suhu tersebut akan digunakan sebagai inputan pada *boundary condition* di software CFD.

#### 3.4.2 Kecepatan/*Velocity*

Kecepatan dijadikan parameter adalah kecepatan kendaraan ketika melaju saat dilakukan pengetesan yaitu 25 km/h, 50 km/h, 70 km/h selama 2 jam, karena erat kaitannya dengan parameter suhu, pada hasil analisis kecepatan akan ditampilkan dalam sajian *vector* dan *streamline*.

#### 3.4.3 *Heat Generation*

*Heat generation* (watt) adalah salah satu bentuk konversi energi menjadi energi panas di dalam suatu padatan. Suhu padatan meningkat selama proses ini. 1 W (watt) merupakan satuan ukuran pembangkitan panas yang sama dengan atau hingga 1,00 J / s (Joule per detik). Untuk menghitung jumlah panas yang dilepaskan, gunakan persamaan:

$$Q = mc \Delta T \dots \dots \dots (2.7)$$

dimana:

Q = Energi panas yang ditransfer (Joule, J),

m = Massa suatu zat (kg)

c = Panas spesifik (J / g · K)

$\Delta T$  = Perubahan suhu

Sumber panas tiap komponen dapat dihitung dengan *hand calculation* yang menghasilkan nilai panas (*total heat generation*) sebagai berikut:

1. Baterai

$$Q = mc\Delta T$$

$$Q = 190.000 \text{ g} \times 0,465 \text{ J/gK} \times 9 \text{ K}$$

$$Q = 795.150 \text{ J} / 7.200 \text{ s}$$

$$Q = 110,43 \text{ watt}$$

2. BMS (*Battery Management System*)

$$Q = mc\Delta T$$

$$Q = 1.500 \text{ g} \times 0,465 \text{ J/gK} \times 11 \text{ K}$$

$$Q = 7.672,5 \text{ J} / 7.200 \text{ s}$$

$$Q = 1,06 \text{ watt}$$

3. *Inverter*

$$Q = mc\Delta T$$

$$Q = 15.000 \text{ g} \times 0,465 \text{ J/gK} \times 23 \text{ K}$$

$$Q = 160.425 \text{ J} / 7.200 \text{ s}$$

$$Q = 22,28 \text{ watt}$$

4. *Fuse Box*

$$Q = mc\Delta T$$

$$Q = 4.000 \text{ g} \times 0,465 \text{ J/gK} \times 14 \text{ K}$$

$$Q = 26.040 \text{ J} / 7.200 \text{ s}$$

$$Q = 3,61 \text{ watt}$$

### 5. *High Voltage Control Box*

$$Q = mc\Delta T$$

$$Q = 12.000 \text{ g} \times 0,465 \text{ J/gK} \times 13 \text{ K}$$

$$Q = 72.540 \text{ J} / 7.200 \text{ s}$$

$$Q = 10,07 \text{ watt}$$

### 6. ECU (*Electronic Control Unit*)

$$Q = mc\Delta T$$

$$Q = 1.500 \text{ g} \times 0,465 \text{ J/gK} \times 12 \text{ K}$$

$$Q = 8.370 \text{ J} / 7.200 \text{ s}$$

$$Q = 1,16 \text{ watt}$$

## 3.5 Teknik Pengumpulan Data

### 3.5.1 Referensi

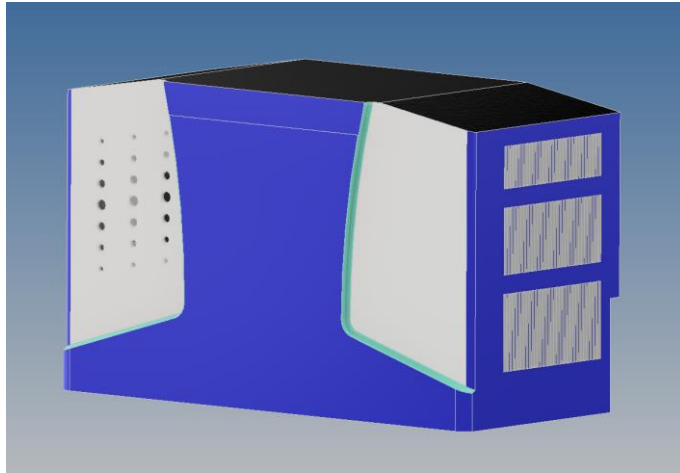
Data yang diambil dengan melihat referensi dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, ataupun artikel yang berkaitan dengan topik penelitian untuk dijadikan sebagai acuan dalam prosedur penelitian.

### 3.5.2 Pengujian Lab

Peneliti mengambil data dengan bantuan software CFD yang digunakan untuk menganalisis model/desain uji sehingga diperoleh data pengujian yang selanjutnya akan diolah menjadi kesimpulan penelitian.

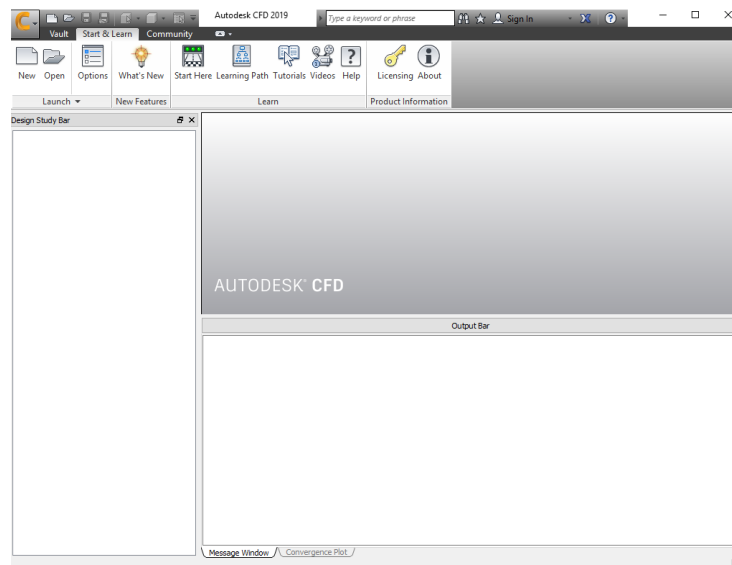
## 3.6 Kalibrasi Instrumen

1. Pembuatan desain/model menggunakan *software* Inventor.



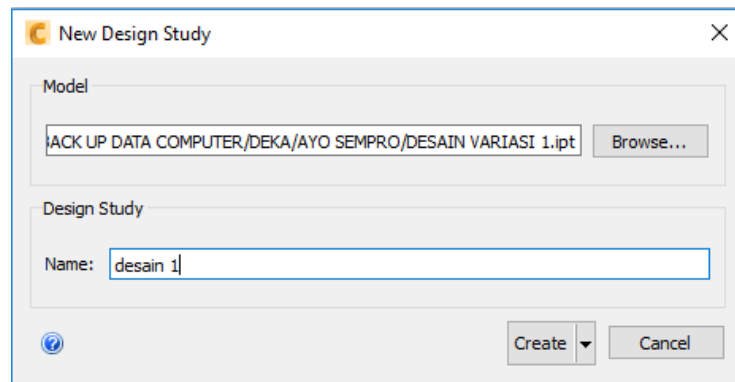
Gambar 3.5 Desain/Model pada Inventor.

2. Membuka *software* Autodesk CFD 2019 pada PC.



Gambar 3.6 Membuka Software CFD 2019.

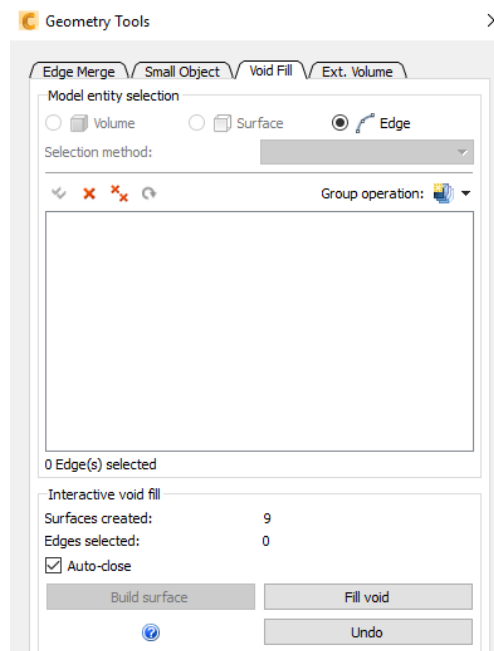
3. *Export* desain/model dari Inventor ke software CFD.



Gambar 3.7 *Export* Desain/Model.

4. Menentukan *inlet* dan *outlet* model

Pada bagian *geometry tools* ada beberapa pilihan untuk menentukan jenis bagian yang akan diaktifkan sesuai kebutuhan, terdiri dari *volume*, *edge*, dan *surface*.

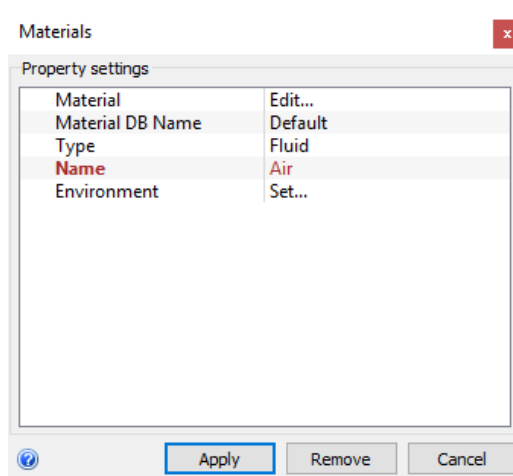


Gambar 3.8 *Geometry Tools* Untuk Mengaktifkan Bagian Desain

Untuk menentukan inlet dan outlet dengan menggunakan Void Fill, kemudian pilih bagian yang akan diaktifkan.

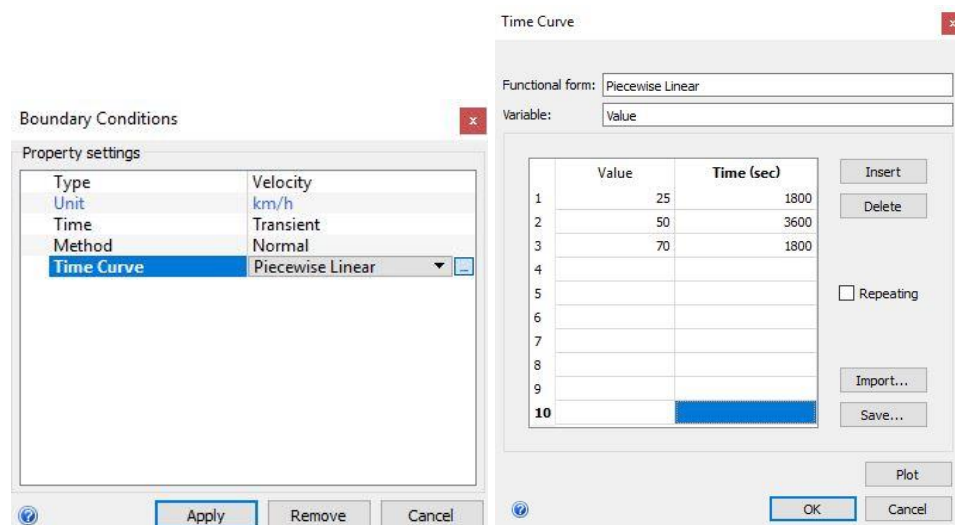
## 5. *Materials*

*Materials* merupakan menu untuk mengatur jenis-jenis material yang akan diujikan. Klik *type* → Pilih *fluid* → Klik *name* → Pilih *Air* → Klik *apply*.

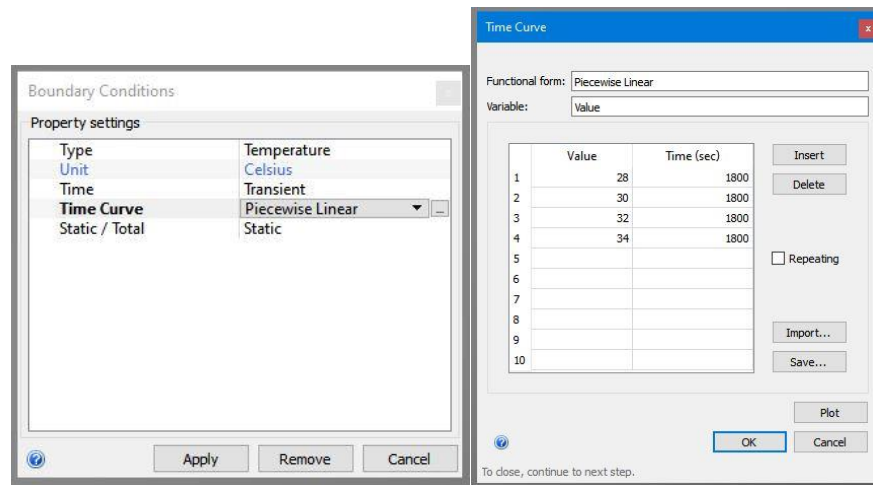


Gambar 3.9 Tampilan *Materials*

## 6. Mengatur *Boundary Conditions*

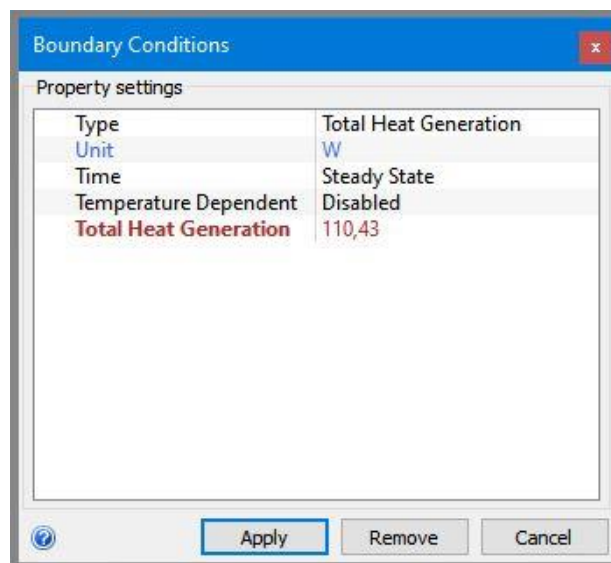


Gambar 3.10 Tampilan *Boundary Conditions* pada *Inlet (Velocity)*



Gambar 3.11 Tampilan *Boundary Conditions* pada *Inlet (Temperature)*

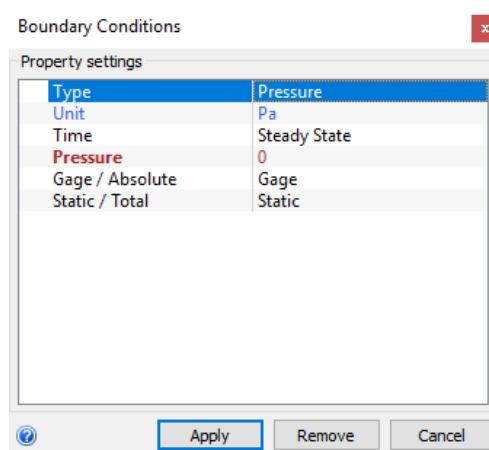
Klik pada *surface inlet* → klik *type* → pilih *velocity/temperature* → klik *unit* → pilih *km/h / Celcius* → klik *Time* → pilih *Transient* → klik *Time Curve* → pilih *Piecewise Linear* → Isi kolom pada *Time Curve* sesuai dengan kecepatan/temperature dan waktu yang akan diteliti → klik OK → klik *Apply*.



Gambar 3.12 Tampilan *Boundary Conditions* pada *Total Heat Generation*



Klik pada *volume part* → klik *type* → pilih *total heat generation* → klik *unit* → pilih W → klik *time* → pilih *steady state* → klik *total heat generation* → masukan daya sesuai dengan spesifikasi tiap komponen → klik *apply*.

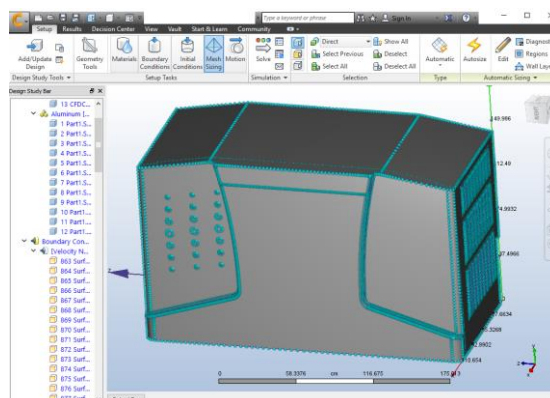


Gambar 3.13 Tampilan *Boundary Conditions* pada *Outlet*

Klik pada *surface outlet* → klik *type* → pilih *pressure* → klik *unit* → pilih Pa → Menentukan *Pressure* sesuai kebutuhan → klik *apply*.

## 7. Meshing

Klik *Mesh Sizing* → Kemudian klik *Autosize*

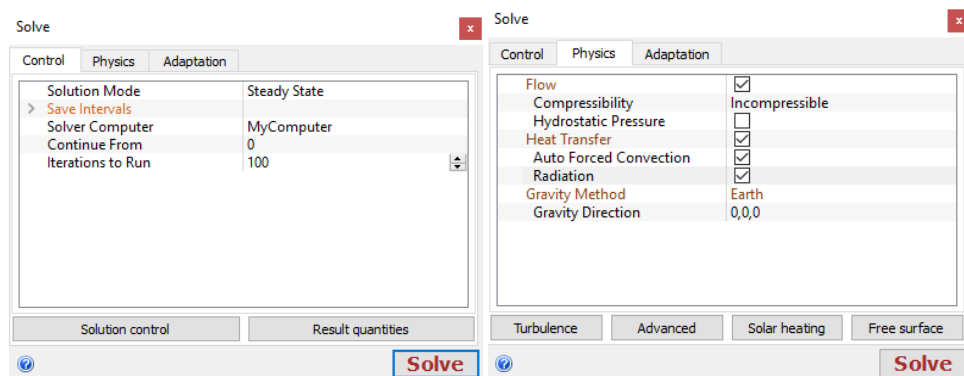


Gambar 3.14 Tampilan *Meshing*.

## 8. *Solving* (Proses Pengujian)

Proses *solving*, yaitu proses menjalankan pengujian perangkat lunak pada komputer atau proses simulasi dengan komputer. Pada proses *solving* harus diperhatikan pesan-pesan yang timbul dari perangkat lunak, karena pesan yang timbul dari perangkat lunak berupa informasi yang terjadi pada proses *solving* agar simulasi berhasil.

Nantinya pada akhir *processing* akan menjelaskan tampilan hasil simulasi dari perangkat lunak *CFD*. Hasil simulasi pada *processing* berupa nilai distribusi temperatur yang terjadi pada *electrical compartment*.



Gambar 3.15 Tampilan *Solving*.

Mengatur *Iterations to Run* ke angka 777 (semakin banyak semakin presisi)  
 → klik Physics → Centang *Flow*, *Heat Transfer*, *Auto Forced Convection*  
 dan *Radiation* → Untuk memulai proses pengujian klik *Solve*.

### 3.7 Teknik Analisis Data

Penelitian ini analisis data yang digunakan adalah metode statistika deskriptif. Metode ini digunakan untuk menganalisis data dengan cara mendeskripsikan atau

menggambarkan data yang telah terkumpul setelah dilakukan uji analisis (simulasi) selama penelitian. Data yang diperoleh berupa nilai temperatur yang terjadi pada *electrical compartment* dengan 3 variasi desain yaitu desain standar, desain 1 dan desain 2.

Data yang telah diperoleh selanjutnya akan disajikan dalam bentuk tabel, kemudian akan dideskripsikan menjadi kalimat yang sederhana, mudah dipahami serta ditarik simpulannya. Sehingga dengan adanya simpulan tersebut dapat diketahui hasil yang efektif dari proses simulasi rancangan saluran udara dengan bantuan *software CFD (Computational Fluid Dynamics)* 2019.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Deskripsi Data

Deskripsi data dalam penelitian ini yaitu menggambarkan hasil simulasi dari macam-macam variasi desain. Hasil simulasi tersebut akan ditunjukkan dalam 3 parameter, yaitu laju aliran massa, aliran panas pada *electrical compartmet* dan *streamline*.

##### 4.1.1 Laju Aliran Massa

Laju aliran massa merupakan suatu substansi yang mengalir persatuan waktu. Satuan untuk laju aliran massa adalah kg/s. Hasil pengujian yang telah dilakukan peneliti pada masing-masing desain variasi lubang dengan menggunakan analisis CFD untuk laju aliran massa ditunjukkan dengan tabel.

Laju aliran massa/perubahan massa adalah jumlah yang mengalir setelah melewati *boundary*/batas selama waktu tertentu atau jumlah massa yang masuk dikurangi jumlah massa yang keluar (selisih), karena perubahan massa akan bernilai 0 jika aliran *balanced*. Nilai laju aliran massa positif menunjukkan fluida yang keluar lebih banyak dibanding jumlah fluida yang masuk, sebaliknya jika nilai laju aliran massa negatif menunjukkan jumlah fluida yang keluar setelah melewati *boundary*/batas lebih sedikit dibanding fluida yang masuk.

#### 1. Hasil Pengujian Desain Variasi 1

Tabel 4.1 Laju Aliran Desain Variasi 1

	IN	OUT
<i>Mass Flow Rate</i>	397,637 kg/s	398,478 kg/s

Tabel 4.1 menunjukkan nilai laju aliran massa di dalam sistem (*electrical compartment*) dengan nilai  $-0.841 \text{ kg/s}$ , sehingga dapat disimpulkan selama proses analisis fluida yang keluar lebih sedikit dibandingkan jumlah fluida yang masuk.

## 2. Hasil Pengujian Desain Variasi 2

Tabel 4.2 Laju Aliran Desain Variasi 2

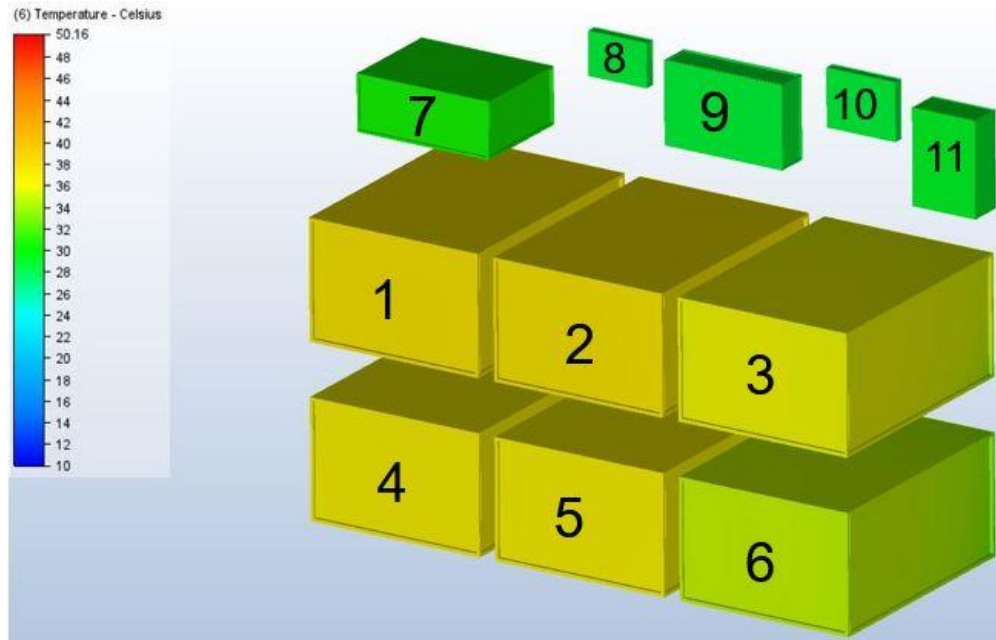
	IN	OUT
<i>Mass Flow Rate</i>	397,568 kg/s	397,765 kg/s

Tabel 4.2 menunjukkan nilai laju aliran massa di dalam sistem (*electrical compartment*) dengan nilai  $-0.197 \text{ kg/s}$ , dari analisis fluida tersebut dapat disimpulkan jumlah fluida yang keluar lebih sedikit dibandingkan jumlah fluida yang masuk, tetapi pada desain 2 aliran nya lebih mendekati angka 0 berarti fluida yang masuk dan keluar lebih seimbang dibandingkan dengan desain 1.

### 4.1.2 Analisis Aliran Panas Pada *Electrical Compartment*

Perubahan warna pada desain yang telah dianalisis menunjukkan perubahan tingkat panas pada komponen *electrical compartment* dimana warna merah menunjukkan tingkat panas semakin tinggi sedangkan warna biru mengindikasikan terjadi penurunan panas, dengan memvariasikan formasi lubang saluran udara ternyata berpengaruh terhadap penyerapan panas/kalor dalam *electrical compartment*, variasi lubang secara langsung dapat merubah kondisi aliran di dalam sistem, perubahan aliran berpengaruh terhadap luas penampang (area yang terkena panas) dan waktu (lama terkena panas) pada komponen *electrical compartment*.

## 1. Hasil Pengujian Desain Variasi 1



Gambar 4.1 Analisis Perpindahan Panas Desain 1

Hasil analisis pindahan panas pada desain 1 menunjukkan penyebaran panas yang kurang teratur di dalam sistem, penyerapan panas di komponen *electrical compartment* lebih kontras perubahan warnanya jika dibandingkan dengan desain 2, jika dilihat dari penyebaran panas di dalam sistem menunjukkan panas terbuang/penurunan panas di dalam sistem lebih sedikit jika dibandingkan dengan desain 2. Tingkat perubahan warna pada tiap bagian komponen menunjukkan perbedaan nilai panas yang berbeda-beda, dimana warna merah mengindikasikan panas yang lebih tinggi sedangkan warna biru mengindikasikan tingkat panas yang lebih rendah.

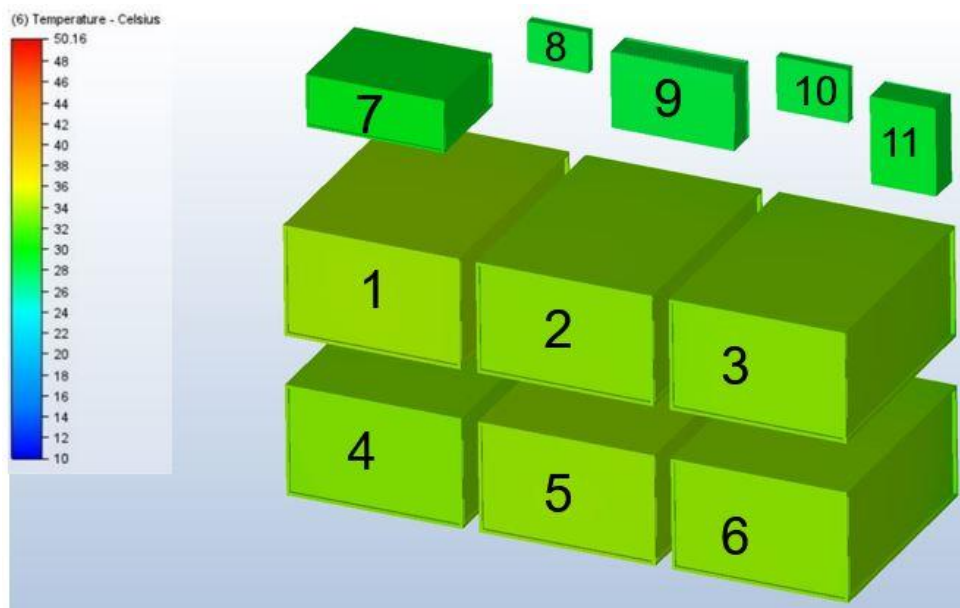
Tabel 4.3 Perpindahan Panas Pada Desain 1

Komponen	Suhu Electrical Compartment			Ket.
	Min.	Maks.	Rata-rata	
Compartment	27.52°C	40.11°C	30.95°C	
Baterai 1	36.00°C	37.55°C	37.46°C	1

Baterai 2	36.06°C	37.48°C	37.37°C	2
Baterai 3	33.40°C	36.20°C	35.84°C	3
Baterai 4	33.87°C	36.71°C	36.50°C	4
Baterai 5	33.83°C	36.61°C	36.39°C	5
Baterai 6	32.34°C	35.19°C	34.66°C	6
High Voltage Control Box	30.17°C	30.60°C	30.56°C	7
BMS	28.59°C	28.66°C	28.63°C	8
Fuse Box	28.64°C	28.74°C	28.71°C	9
ECU	28.60°C	28.74°C	28.67°C	10
Inverter	28.87°C	29.16°C	29.11°C	11

Hasil pengujian pada desain variasi 1 menunjukkan pindahan panas fluida yang kurang teratur, formasi lubang saluran udara yang kurang tepat posisinya memungkinkan fluida terhambat atau bersirkulasi tidak beraturan mengenai komponen, kondisi semacam ini dapat membuat fluida bersirkulasi lebih lama, sehingga sulit untuk membuang udara panas yang dihasilkan oleh komponen *electrical compartment*.

## 2. Hasil Pengujian Desain Variasi 2



Gambar 4.2 Analisis Perpindahan Panas Desain 2

Hasil analisis pindahan kalor pada desain variasi 2 menunjukkan penyebaran kalor yang teratur di dalam sistem dan sedikit kontras perubahan warnanya. Tingkat perubahan warna pada tiap bagian komponen menunjukkan perbedaan nilai kalor yang berbeda-beda, dimana warna merah mengindikasikan kalor yang lebih tinggi sedangkan warna biru mengindikasikan tingkat kalor yang lebih rendah nilainya.

Tabel 4.4 Perpindahan Panas Pada Desain 2

Komponen	Suhu Electrical Compartment			Ket.
	Min.	Maks.	Rata-rata	
Compartment	27.57°C	35.98°C	29.82°C	
Baterai 1	32.30°C	34.32°C	34.17°C	1
Baterai 2	32.66°C	33.91°C	33.69°C	2
Baterai 3	31.94°C	33.73°C	33.56°C	3
Baterai 4	31.52°C	33.66°C	33.38°C	4
Baterai 5	32.30°C	34.09°C	33.91°C	5
Baterai 6	31.52°C	33.83°C	33.60°C	6
High Voltage Control Box	29.08°C	29.47°C	29.45°C	7
BMS	28.41°C	28.47°C	28.44°C	8
Fuse Box	28.45°C	28.54°C	28.51°C	9
ECU	28.44°C	28.56°C	28.50°C	10
Inverter	28.71°C	28.98°C	28.93°C	11

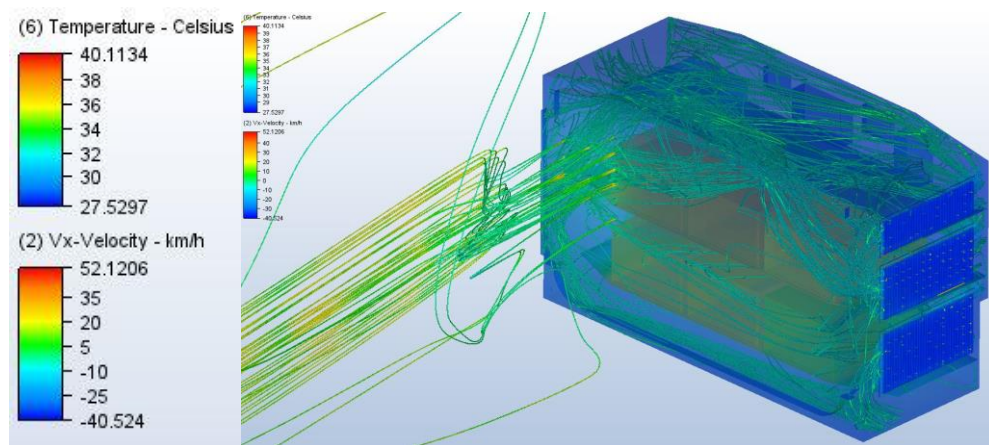
Hasil pengujian pada desain 2 menunjukkan pindahan panas fluida yang lebih teratur, dengan kondisi perubahan warna yang tidak terlalu kontras dibandingkan dengan desain 1, hal tersebut bisa saja terjadi karena formasi lubang saluran udara memungkinkan fluida bergerak mengenai seluruh komponen, hanya saja menyebabkan fluida lebih singkat mengenai permukaan dari komponen-komponen *electrical*, sehingga panas yang diserap oleh komponen kurang banyak.



#### 4.1.3. *Streamline (velocity)*

*Streamline* adalah garis kontinyu yang ditarik pada suatu medan aliran, dimana setiap titik pada garis itu menyatakan arah vektor kecepatan dari aliran. Hasil penelitian menunjukkan aliran fluida sedikit terhambat, hal ini terjadi karena terdapat komponen-komponen yang diletakkan di dalam *electrical compartment*.

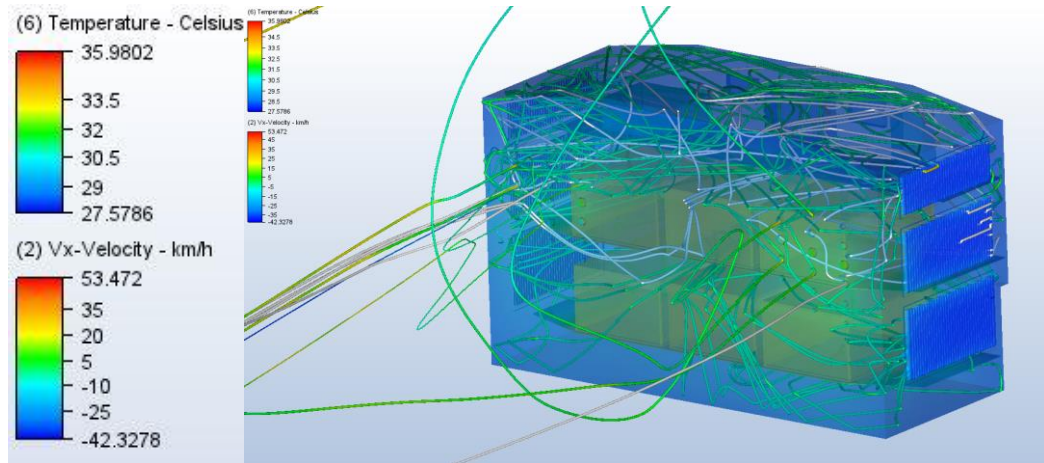
##### 1. Hasil Pengujian Desain Variasi 1



Gambar 4.3 Analisis Aliran Fluida di Dalam Desain 1

Analisis aliran dengan menggunakan *streamline* dapat menunjukkan bagaimana kondisi aliran fluida di dalam sistem, jika diamati kondisi aliran fluida pada desain satu menunjukkan fluida bergerak mengenai komponen lebih banyak.

## 2. Hasil Pengujian Desain Variasi 2

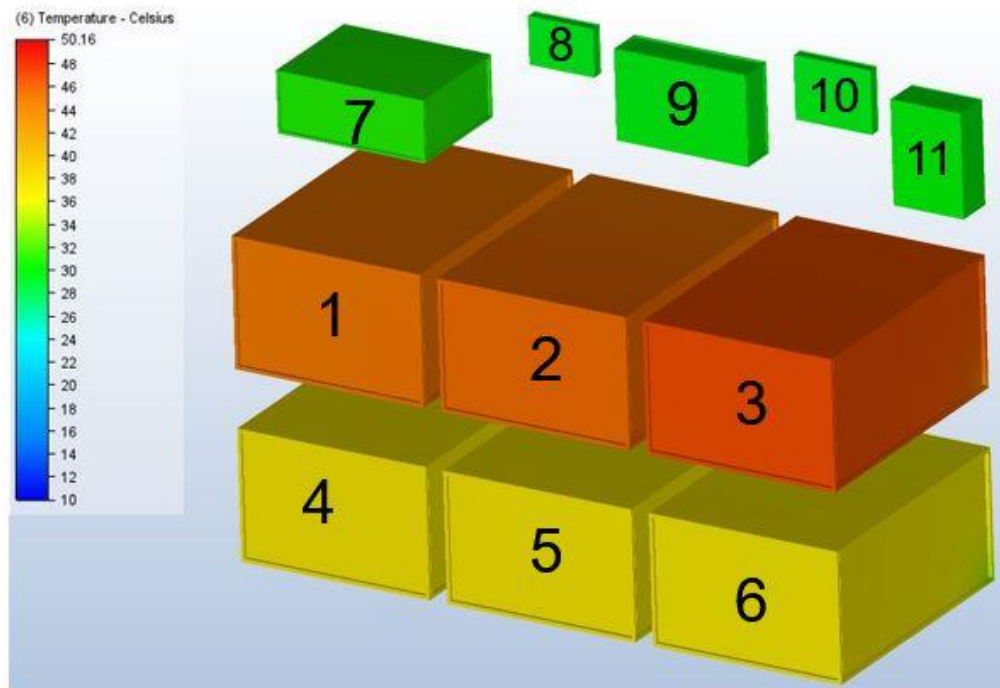


Gambar 4.4 Analisis Aliran Fluida di Dalam Desain 2

Analisis fluida menggunakan *streamline* pada desain 2 menunjukkan fluida bergerak merata keseluruhan komponen, hal ini menunjukkan fluida bergerak lancar jika dibandingkan dengan desain 1, dengan kondisi aliran fluida yang bergerak secara merata akan mengakibatkan panas yang dihasilkan oleh komponen terbuang dengan sempurna, pada aliran *streamline* menunjukkan fluida lebih singkat mengenai komponen yang mengakibatkan jumlah panas yang terbuang lebih sedikit jika dibandingkan desain satu yang memiliki aliran fluida yang sedikit terhambat dengan fluida mengenai komponen lebih banyak.

### 4.2. Perbandingan Uji Standar

Pengujian desain standar dimaksudkan untuk studi perbandingan hasil dengan desain 1 dan 2, pada pengujian standar hasil analisis disajikan dalam bentuk *contour* dan tabel.



Gambar 4.5 Analisis Perpindahan Panas Desain Standar

Hasil analisis pindahan panas pada desain standar menunjukkan penyebaran panas yang tidak teratur di dalam sistem, penyerapan panas di komponen *electrical compartment* lebih ekstrim perubahan warnanya jika dibandingkan dengan desain 1 dan 2, jika dilihat dari penyebaran panas di dalam sistem menunjukkan panas terbuang/penurunan panas di dalam sistem jauh lebih sedikit jika dibandingkan dengan desain 1 dan 2. Tingkat perubahan warna pada tiap bagian komponen menunjukkan perbedaan nilai panas yang berbeda-beda, dimana warna merah mengindikasikan panas yang lebih tinggi sedangkan warna biru mengindikasikan tingkat panas yang lebih rendah.

Tabel 4.5 Perpindahan Panas Pada Desain Standar

Komponen	Suhu Electrical Compartment			Ket.
	Min.	Maks.	Rata-rata	
Compartment	22.77°C	50.16°C	33.51°C	

Baterai 1	41.36°C	45.36°C	45.08°C	1
Baterai 2	41.37°C	46.00°C	45.38°C	2
Baterai 3	43.10°C	46.93°C	46.75°C	3
Baterai 4	33.59°C	37.19°C	36.84°C	4
Baterai 5	34.51°C	37.20°C	36.83°C	5
Baterai 6	33.68°C	37.05°C	36.67°C	6
High Voltage Control Box	30.35°C	31.21°C	30.87°C	7
BMS	29.28°C	29.50°C	29.40°C	8
Fuse Box	29.47°C	29.76°C	29.63°C	9
ECU	29.31°C	29.56°C	29.44°C	10
Inverter	29.57°C	30.01°C	29.90°C	11

Hasil pengujian pada desain standar menunjukkan pindahan panas fluida yang tidak teratur, tidak adanya lubang saluran udara di samping *body bus* membuat fluida tidak bisa mengalir membuang panas yang ditimbulkan oleh komponen *electrical compartment*, kondisi semacam ini dapat membuat komponen *overheating*.

Perbandingan desain 1 dengan desain standar dapat disimpulkan bahwa desain 1 lebih baik menyerap panas, hal ini dapat dibuktikan pada indikator perubahan warna pada masing-masing desain. Indikator warna pada desain 2 setelah dilakukan analisa jauh lebih baik kondisinya, namun jika dilihat secara keseluruhan perubahan indikator warna perpindahan kalor pada desain standar lebih kontras, sedangkan pada desain 1 menunjukkan warna yang lebih dominan dan merata.

Pebandingan desain 2 dengan desain standar dapat disimpulkan bahwa desain 2 jauh lebih baik membuang panas, hal ini dapat dibuktikan pada indikator perubahan warna pada masing-masing desain. Indikator warna pada desain 2 pada

masing-masing komponen menunjukkan perubahan warna yang tidak kontras, namun jika dilihat warna yang dihasilkan dan dibandingkan dengan desain standar, desain 2 berdominan warna hijau yang berarti panasnya banyak yang terbuang.

### 4.3 Pembahasan

Berdasarkan kajian penelitian relevan dan penelitian yang dilakukan peneliti menyimpulkan bahwa variasi lubang ventilasi udara pada *electrical compartment* mempengaruhi suhu kerja (panas) tiap komponen *electrical*, dibuktikan dengan perubahan suhu yang berbeda-beda antara masing-masing desain yang telah diuji. Tujuan peneliti melakukan penelitian tersebut adalah untuk mencari desain yang lebih baik membuang panas yang disebabkan oleh komponen *electrical*, dengan merujuk penelitian yang dilakukan oleh Hisan, *et al.*, (2016:4948) yang berjudul “Perancangan Dan Realisasi Sistem Manajemen Termal Baterai *Lithium Ion* Menggunakan Metode Pendinginan Semi Pasif”. Disitu dijelaskan bahwa baterai adalah salah satu media penyimpan dan penyedia energi melalui reaksi kimia yang fungsi kerja dan umurnya dipengaruhi oleh suhu. Saat suhu meningkat dapat memberikan efek yaitu *overcharge*, *short circuit*, atau bahkan ledakan pada baterai.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Ahn, *et al.*, (2009:1) yang berjudul “*Cooling System For Battery Pack*”. Yaitu membahas tentang Sistem pendinginan battery memiliki efek menghilangkan panas secara efektif yang dihasilkan dari *battery cells* dengan memasok zat pendingin (*refrigerant*) ke *battery cells* pada laju aliran yang konstan, dan meminimalkan perbedaan suhu *battery cells* selama proses pendinginan. Hal ini bertujuan untuk mencegah penurunan kinerja *battery cells* serta mencapai kontrol suhu optimal.

Perkembangan teknologi komputer digital yang sangat pesat telah memberikan banyak manfaat bagi para *engineer* dalam proses desain dan analisis *engineering*. Solusi yang cepat dan hemat biaya diperoleh dengan memanfaatkan kemampuan komputer digital dalam perhitungan *engineering* yang kompleks.

*CFD* adalah cabang ilmu dari mekanika fluida yang menggunakan analisis numerik dan data yang terstruktur untuk menganalisis dan memecahkan problematika yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas ataupun reaksi kimia menggunakan simulasi komputer. *Computational Fluid Dynamics* yang disingkat *CFD* adalah metode yang menggunakan angka, algoritma dan bantuan komputer untuk melakukan analisis perhitungannya. Misalnya, geometri CAD, *mesh* komputasi, sifat material, kondisi batas dan lain-lain.

Menurut Firmansyah (2009:25) Manajemen thermal adalah bagian penting dari proses desain kebanyakan perangkat elektronik. Manajemen thermal penting baik pada tingkat komponen dan tingkat *system* yang memainkan peran penting dalam perangkat kualitas, efisiensi, dan, di atas segalanya, *its reliability*.

Pengujian desain standar dimaksudkan untuk studi perbandingan hasil dengan desain variasi (pengembangan) 1 dan 2. Melalui hasil pengujian inilah akan diketahui desain mana yang dapat menghasilkan suhu paling rendah dan efisien untuk menghindari *overheating* pada *electrical compartment*. Sehingga dengan mengetahui hasil perbandingan tersebut, dapat kita jadikan acuan atau referensi untuk proses pengembangan desain Bus Listrik MAB selanjutnya. Pada hasil akhir pengujian laju aliran massa secara keseluruhan dari masing-masing desain sudah menunjukkan nilainya. Setelah mengamati dan menganalisis untuk hasil yang

mendekati 0 dan alirannya *balanced* adalah desain variasi 2. Hal itu karena perbedaan penggunaan desain *body* antara yang digunakan desain standar dengan desain variasi 1 dan 2. Dapat disimpulkan bahwa penggunaan *body* yang ditambahkan lubang-lubang mampu menghasilkan laju aliran massa yang stabil. Kemudian jika diamati lagi mengapa hasil variasi 2 lebih baik dari pada variasi 1, padahal menggunakan konstruksi *body* yang sama. Hal tersebut karena terdapat lebih banyak lubang udara yang diterapkan pada desain 2. Perubahan warna pada *electrical compartment* yang telah dianalisis menunjukkan perubahan temperatur pada sistem, dimana warna merah menunjukkan tingkat panas semakin tinggi, sedangkan warna biru mengindikasikan terjadi penurunan panas. Parameter utama dalam penelitian ini adalah temperatur ruangan *electrical compartment* yang ingin diketahui dari perbandingan desain lama/standar dengan beberapa macam variasi desain. “Sistem pendinginan untuk baterai di dalam kendaraan tidak menggunakan udara dari *compartment* penumpang kendaraan, melainkan mengambil udara sekitar dari luar kendaraan” (Smith. *et al.*, 2006:1). Pada perbandingan hasil analisis desain ini disajikan dalam bentuk tabel yang ditunjukkan di bawah ini.

Tabel 4.6 Data Perbandingan Hasil Analisis

Variasi Desain	Temperature Electrical Compartment		
	Min.	Maks.	Rata-rata
Standar	22.77°C	50.16°C	33.51°C
Variasi 1	27.52°C	40.11°C	30.95°C
Variasi 2	27.57°C	35.98°C	29.82°C

Berdasarkan data yang ditunjukkan pada Tabel 4.6 dapat diketahui untuk nilai maksimal paling tinggi terjadi pada desain standar sebesar 50.16°C dan paling

rendah pada desain variasi 2 sebesar  $35.98^{\circ}\text{C}$ . Dapat kita simpulkan bahwa desain variasi 2 mempunyai nilai distribusi temperatur yang paling bagus untuk menghindari *overheating*, karena mampu membuang panas yang lebih baik jika dibandingkan dengan desain lainnya. Secara keseluruhan, adanya lubang-lubang atau ventilasi sebagai sumber masuknya udara sekitar yang diterapkan pada desain variasi 1 dan 2 bisa kita terapkan untuk proses pengembangan Bus Listrik MAB dengan jenis *lowdeck* yang selanjutnya.

#### **4.3.1. Desain Variasi 1**

Laju aliran massa pada desain variasi 1 menunjukkan aliran kurang seimbang atau *balanced* antara fluida masuk dan keluar, dimana analisa *mass flow rate* memperoleh hasil  $-0.841 \text{ kg/s}$  tetapi kondisi aliran massa fluida masih dalam batas yang wajar.

Penggunaan sirip-sirip pada *body* samping kanan bus sangat mempengaruhi laju aliran massa fluida, pembuatan variasi lubang seperti pada desain 1 ternyata menghasilkan aliran fluida yang lebih teratur jika dibandingkan dengan desain standar, hal ini menguntungkan panas yang ada di komponen *electrical* tidak kontras. Variasi lubang yang kurang tepat dapat menyebabkan aliran fluida tidak efektif mengenai komponen. Variasi lubang udara dimaksudkan agar aliran fluida bersirkulasi di dalam sistem lebih lancar ataupun lebih merata, sehingga panas yang dihasilkan oleh komponen-komponen *electrical* lebih cepat terbuang, memungkinkan terhindarnya komponen dari masalah *overheating*.

Perpindahan panas pada desain variasi 1 menunjukkan perubahan warna yang kurang sempurna jika dibandingkan desain 2, jika dilihat dari gambar 4.1



menunjukkan kalor fluida yang terbuang pada setiap komponen lebih banyak jika dibandingkan desain standar, hal itu bisa dilihat dari perubahan warna.

#### 1. Kelebihan desain 1

Kondisi laju aliran massa yang lebih teratur pada desain 1 lebih baik jika dibandingkan dengan desain standar. Fluida lebih lama mengenai komponen sehingga panas yang diserap semakin banyak, hal ini dibuktikan dengan perubahan warna yang tidak terlalu kontras pada pengujian kalor.

#### 2. Kekurangan desain 1

Aliran fluida untuk membuang panas dari komponen kurang sempurna pada desain variasi 1 jika dibandingkan dengan desain variasi 2, hal ini disebabkan sirkulasi fluida yang kurang lancar dikarenakan sirip-sirip nya hanya ada di *body* kanan bus, dengan kondisi demikian namun ternyata mampu mensirkulasikan fluida lebih merata ke setiap komponen.

### 4.3.2. Desain Variasi 2

Laju aliran massa pada desain variasi 2 menunjukkan aliran yang lebih seimbang atau *balanced* jika diamati dari hasil perhitungan *mass flow rate* nya, dimana hasil *mass flow rate* menunjukkan  $-0.197 \text{ kg/s}$ , sehingga laju aliran massa pada desain variasi 2 mendekati *balanced*, hal itu menunjukkan kondisi (kecepatan, tekanan, density) fluida masuk dan keluarnya hampir sama.

Penggunaan sirip-sirip lubang udara pada body kanan dan kiri bus sangat mempengaruhi laju aliran massa fluida, pembuatan lubang udara dengan variasi seperti pada desain 2 ternyata menghasilkan aliran fluida yang lebih stabil dan lebih teratur jika dibandingkan dengan variasi lubang udara pada desain 1, hal ini

menyebabkan aliran fluida yang bergerak merata dan sirkulasinya lebih singkat, sehingga panas yang terbuang lebih banyak. Variasi lubang udara yang kurang tepat dapat menyebabkan aliran fluida tidak efektif mengenai komponen atau sebaliknya aliran terhambat menyebabkan panas tidak terbuang sempurna. Variasi lubang udara dimaksudkan agar aliran fluida bersirkulasi di dalam sistem lebih merata ke setiap komponen. Perpindahan panas pada desain variasi 2 menunjukkan perubahan warna yang lebih sempurna dibandingkan desain 1, jika dilihat dari Gambar 4.2 menunjukkan panas fluida yang terbuang pada setiap komponen lebih banyak jika dibandingkan desain standar dan desain variasi 1, hal itu bisa dilihat dari perubahan warna yang tidak kontras.

#### 1. Kelebihan desain 2

Kondisi laju aliran massa yang lebih *balanced* pada desain 2 lebih baik jika dibandingkan dengan desain 1, laju aliran massa lebih *balanced* karena formasi lubang udara pada *body bus* lebih banyak sehingga fluida bergerak lebih lancar, hal ini menguntungkan dari segi kecepatan perpindahan panas.

#### 2. Kekurangan desain 2

Fluida pada desain 2 bersirkulasi lebih cepat jika dibandingkan desain 1, menguntungkan dari sisi kecepatan pembuangan panasnya, hanya saja fluida bergerak kurang merata mengenai komponen *electrical*, menyebabkan terdapat beberapa komponen kurang mendapat suplai udara namun setelah di analisa panas di setiap komponen pada desain 2 masih dalam batas wajar dan tidak berpotensi *overheating*.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Simpulan

Setelah melakukan penelitian analisis aliran panas pada *electrical compartment bus* listrik menggunakan *software* CFD menyimpulkan bahwa:

1. Hasil simulasi *CFD* (*Computational Fluid Dynamics*) mampu memperlihatkan distribusi temperatur yang terjadi pada rancangan saluran udara. Pada pengujian desain variasi 1, 2 dan standar menyimpulkan bahwa desain variasi 2 menunjukkan hasil distribusi temperatur yang paling baik, karena mampu membuang panas yang lebih baik jika dibandingkan dengan desain lainnya. Berdasarkan data perbandingan hasil analisis, dapat diketahui untuk nilai maksimal paling tinggi terjadi pada desain standar sebesar 50,16 °C dan paling rendah pada desain variasi 2 sebesar 35,98 °C.
2. Rancangan saluran udara dengan menyesuaikan konstruksi bus jenis *low deck* sudah diujikan dalam 3 macam variasi. Dari ketiga desain tersebut, desain variasi 2 adalah desain yang mempunyai hasil paling baik. Hal itu karena pada desain variasi 2 terdapat adanya penambahan sirip-sirip pada samping kanan dan kiri serta lubang-lubang pada belakang kanan dan kiri *body bus* sebagai sumber masuknya udara sekitar. Sehingga dapat kita simpulkan bahwa adanya optimasi pada *body bus* mampu mendinginkan *electrical compartment* dan dapat menghindari dari *overheating*.

## 5.2 Saran

Variasi lubang saluran udara lebih diutamakan mampu membuang panas dengan baik, untuk itu PT. MAB sebaiknya menggunakan desain *electrical compartment* variasi 2 pada pembuatan bus berikutnya. Kemudian peneliti selanjutnya diharapkan dapat menemukan variasi lubang yang dapat membuang panas lebih baik dan dapat mensirkulasikan fluida lebih merata sehingga komponen *electrical* terhindar dari *overheating*. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai rujukan atau acuan penelitian selanjutnya.

### DAFTAR PUSTAKA

- Afif, M.T., dan I.A. Pratiwi. 2015. Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel-Metal Hydride pada Penggunaan Mobil Listrik – Review. *Jurnal Rekayasa Mesin* 6(2): 95-99.
- Ahn, J., H. Woo, D.Y. Jung, and J.E. Namgoong. 2009. *Cooling System For Battery Pack*. United States Patent : US 7,560,190 B2.
- Al-Kindi, H., Y.A. Purwanto, dan D. Wulandani. 2015. Analisis CFD Aliran Udara Panas pada Pengering Tipe Rak dengan Sumber Energi Gas Buang. *Jurnal Keteknik Pertanian* 3(1): 9-16.
- Anisum., N. Bintoro, dan S. Goenadi. 2016. Analisis Distribusi Suhu dan Kelembapan Udara Dalam Rumah Jamur Menggunakan CFD. *Jurnal Agritech* 36(1): 64-70.
- Cengel, A.Y. 2008. *Heat Transfer A Practical Approach second edition*. USA: McGraw-Hill.
- Chang, C.C., S.C. Kuo, C.K. Huang, and S.L. Chen. 2009. The Investigation of Motor Cooling Performance. *International Journal of Mechanical, Industrial and Aerospace Engineering* 3(1) : 43-49.
- Farizy, A.F., D.A. Asfani, dan Soedibjo. 2016. Desain Sistem Monitoring State of Charge Baterai pada Charging Station Mobil Listrik Berbasis Fuzzy Logic Dengan Mempertimbangkan Temperature. *Jurnal Teknik ITS* 5(2): 278-282.
- Firmansyah, B. 2009. Analisis Perpindahan Panas Pada Pendingin CPU Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Rekayasa Mesin* 9(2): 25-29.
- Haryadi. dan A. Mahmudi. 2012. *Buku Bahan Ajar Perpindahan Panas*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- Heng, R.G., and Z.M. Razlan. 2015. Review of the Most Recent Literature on the Lithium-ion Polymer Battery for Electric Car. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* 5(1): 30-35.

- Hisan, A., I.P. Handayani, dan R.F. Iskandar. 2016. Perancangan dan Realisasi Sistem Manajemen Termal Baterai *Lithium Ion* Menggunakan Metode Pendinginan Semi-Pasif. *Jurnal Teknik Fisika Universitas Telkom* 3(3): 4948-4955.
- Ihsan, S. 2018. Analisis Bentuk Aliran Pada Kondensor Tipe Shell Dan Tube Menggunakan Simulasi CFD (Computational Fluid Dynamics). *Jurnal JIEOM* 1(1): 19-22.
- Irawan, R. B. 2006. Pengaruh Katalis Tembaga Dan Krom Terhadap Emisi Gas Carbon Monoksida Dan Hidro Carbon Pada Kendaraan Motor Bensin. *TRAKSI* 4(1): 32–41.
- Khuriati, A. 2007. *Buku Ajar Termodinamika*. Semarang: UNDIP.
- Kim, G.H., and A. Pesaran. 2007. Battery Thermal Management Design Modeling. *The World Electric Vehicle Association Journal* 1: 126-133.
- Moreno, J., M.E. Ortuzar, and J.W. Dixon. 2006. Energy-Management System for a Hybrid Electric Vehicle, Using Ultracapacitors and Neural Networks. *Transactions On Industrial Electronics* 53(2): 614-623.
- Olson, R.M., dan S.J. Wright. *Dasar-Dasar Mekanika Fluida Teknik*. 5th ed. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Rizzoni, G., L. Guzzela, and M. Baumann. 1999. Unified Modeling of Hybrid Electric Vehicle Drivetrains. *ASME Transactions On Mechatronics* 4(3): 246-257.
- Rochman, S., dan B.P. Sembodo. 2014. Rancang Bangun Alat Kontrol Pengisian Aki Untuk Mobil Listrik Menggunakan Energi Sel Surya Dengan Metode Sequensial. *Jurnal Teknik WAKTU* 12(2): 61-66.
- Sasongko. 2014. Emisi Gas Buang dan Permasalahannya. VEDC Malang : Otomotif. <http://www.vedcmalang.com/pppptkboemlg/index.php/baru/47-otomotif/999-sasongko1?tmpl=component&print=1&page=>. 18 July 2019 (21:22).
- Shaw, C.T. 1992. *Using Computational Fluid Dynamics*. New Jersey: Prentice Hall.

Smith, M., H. Wijaya, J. Mathews, R. Madhavan, P.D. Maguire, and J. Castellano. 2006. *Cooling System For a Vehicle Battery*. United States Patent : US 7,025,159 B2.

Versteeg, H.K., dan Malalasekera, W. 2007. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics The Finite Volume Method*. 2nd ed. England: Pearson Education Limited.

Xia, B., and D.W. Sun. 2002. Applications of Computational Fluid Dynamics (CFD) in The Food Industry: A Preview. *Journal Computers and Electronics in Agriculture* 34: 5-24.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Surat Tugas Dosen Pembimbing



**KEPUTUSAN  
DEKAN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
Nomor: 1209 / FT - UNNES / 2018**

**Tentang  
PENETAPAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI/TUGAS AKHIR SEMESTER  
GASAL/GENAP  
TAHUN AKADEMIK 2018/2019**

- Menimbang : Bahwa untuk memperlancar mahasiswa Jurusan/Prodi Teknik Mesin/Pend. Teknik Otomotif Fakultas Teknik membuat Skripsi/Tugas Akhir, maka perlu menetapkan Dosen-dosen Jurusan/Prodi Teknik Mesin/Pend. Teknik Otomotif Fakultas Teknik UNNES untuk menjadi pembimbing.
- Mengingat : 1. Undang-undang No.20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional (Tambahan Lembaran Negara RI No.4301, penjelasan atas Lembaran Negara RI Tahun 2003, Nomor 78)  
2. Peraturan Rektor No. 21 Tahun 2011 tentang Sistem Informasi Skripsi UNNES  
3. SK. Rektor UNNES No. 164/O/2004 tentang Pedoman penyusunan Skripsi/Tugas Akhir Mahasiswa Strata Satu (S1) UNNES;  
4. SK Rektor UNNES No.162/O/2004 tentang penyelenggaraan Pendidikan UNNES;
- Menimbang : Usulan Ketua Jurusan/Prodi Teknik Mesin/Pend. Teknik Otomotif Tanggal 28 Agustus 2018
- MEMUTUSKAN**
- Menetapkan :  
PERTAMA : Menunjuk dan menugaskan kepada:  
Nama : Dr. M. Burhan Rubai Wijaya, M.Pd.  
NIP : 196302131988031001  
Pangkat/Golongan : IV/b  
Jabatan Akademik : Lektor Kepala  
Sebagai Pembimbing  
Untuk membimbing mahasiswa penyusun skripsi/Tugas Akhir :  
Nama : DEKA DANYAWAN  
NIM : 5202414080  
Jurusan/Prodi : Teknik Mesin/Pend. Teknik Otomotif  
Topik : Analisa Desain Improvement Pada Battery Compartment Electric Bus PT. MAB Untuk Menentukan Aliran Panas Serta Menghindari Overheating Menggunakan Software CFD
- KEDUA : Keputusan ini mulai berlaku sejak tanggal ditetapkan.

Tembusan  
1. Pembantu Dekan Bidang Akademik  
2. Ketua Jurusan  
3. Petinggal

DITETAPKAN DI : SEMARANG  
PADA TANGGAL : 28 Agustus 2018



5202414080

...: FM-03-AKD-24/Rev. 00 :...



## Lampiran 2. Surat Tugas Dosen Penguji



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
 UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
**FAKULTAS TEKNIK**  
 Gedung Dekanat Kampus Sekaran Gunungpati Semarang 50229  
 Telepon/Fax (024) 8508101 - 8508009  
 Laman : <http://www.ft.unnes.ac.id>, email: [ft@mail.unnes.ac.id](mailto:ft@mail.unnes.ac.id)

**SURAT TUGAS**

Nomor : 2007/UN37.1.5/TU/2019

Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang memberi tugas kepada Saudara yang namanya tersebut di bawah ini sebagai Penguji Seminar Proposal Skripsi Mahasiswa Prodi S1 Pendidikan Teknik Otomotif Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Adapun nama-namanya sebagai berikut:

No	Nama / NIP	Pangkat / Golru	Tugas
1	Samsudin Anis, S.T., M.T., P.hD. 197601012003121002	Penata Tk. I, III/d	Penguji 1
2	Angga Septiyanto, S.Pd., M.T. 198709112011091037	Dosen BLU, .	Penguji 2
3	Dr. M. Burhan Rubal W, M.Pd. 196302131988031001	Pembina Tk. I, IV/b	Pembimbing

untuk menguji mahasiswa :

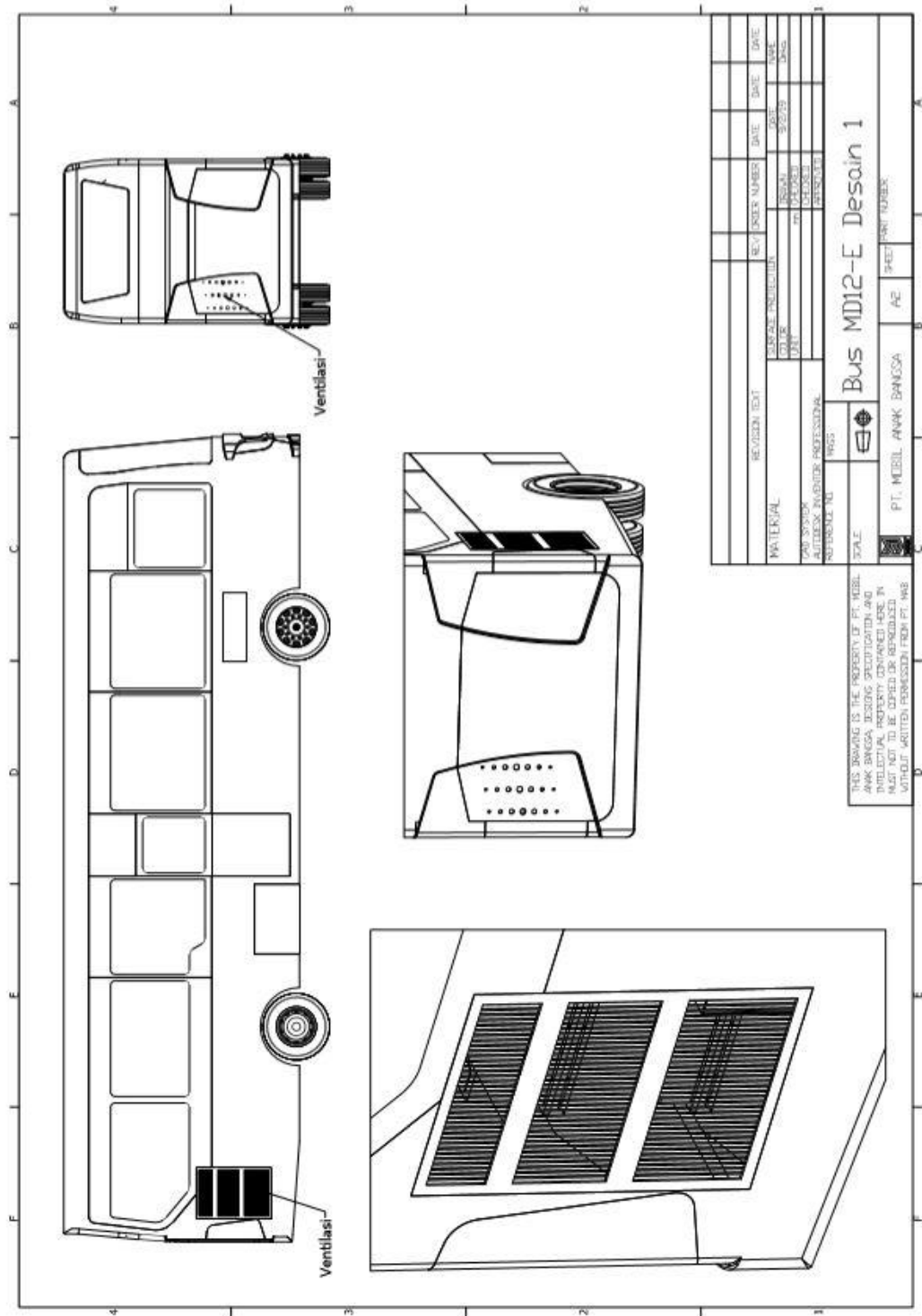
Nama : Deka Danyawan  
 NIM : 5202414080  
 Prodi : S1 Pendidikan Teknik Otomotif  
 Topik : ANALISIS ALIRAN PANAS PADA ELECTRICAL COMPARTMENT BUS LISTRIK PT. MAB  
 UNTUK MENGHINDARI OVERHEATING MENGGUNAKAN SOFTWARE CFD  
 Waktu : Selasa, 26 Februari 2016  
 Jam : 10.00 WIB - selesai  
 Tempat : Gedung ES, Ruang 301, Lantai 3  
 Pakaian : Hitam Putih Jas Almamater

Demikian agar tugas dilaksanakan dengan sebaik-baiknya.

Tembusan :  
 1. Wakil Dekan Bidang II;  
 2. Ketua Jurusan TM;  
 3. Kasubbag Keuangan,  
 Fakultas Teknik UNNES





Lampiran 4. *Drawing Electrical Compartment Desain 1*



Lampiran 6. *Electrical Compartment Bus Prototype 2* PT. MAB





Lampiran 7. Tempat Penelitian



Lampiran 8. Dokumentasi Penelitian

