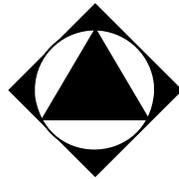


Kodel / Nama Rumpun Ilmu :431/Teknik Mesin  
Bidang Rapid : Teknologi Manufaktur

**LAPORAN AKHIR**  
**RISET ANDALAN PERGURUAN TINGGI DAN INDUSTRI (RAPID)**



**Pengembangan Platform (Casis) Mobil Listrik Jenis *Cross Over* Dalam Rangka Pengembangan Mobil  
Listrik Nasional**

**TIM PENGUSUL**

**Ketua**

**Dr. Tarsisius Kristyadi, ST., M.T. (NIDN : 0415087101)**

**Anggota**

**Dr. Ing.Muh. Alexin P. (NIDN : 0414116601)**

**Liman Hartawan, MT (NIDN : 0418047803)**

**Tito Santika M.Eng (NIDN : 0410067901)**

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL**  
**OKTOBER 2017**

## HALAMAN PENGESAHAN

**Judul** : Pengembangan Platform (Casis) Mobil Listrik Jenis Cross Over Dalam Rangka Pengembangan Mobil Listrik Nasional

**Peneliti/Pelaksana**

Nama Lengkap : TARSISIUS KRISTYADI, S.T, M.T  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Nasional Bandung  
NIDN : 0415087101  
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala  
Program Studi : Teknik Mesin  
Nomor HP : 081320917913  
Alamat surel (e-mail) : kristyadi@gmail.com

**Anggota (1)**

Nama Lengkap : Dr.Ing. MOHAMMAD ALEXIN PUTRA  
NIDN : 0414116601  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Nasional Bandung

**Anggota (2)**

Nama Lengkap : ST. LIMAN HARTAWAN MT.  
NIDN : 0418047803  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Nasional Bandung

**Anggota (3)**

Nama Lengkap : TITO SHANTIKA M.Eng.  
NIDN : 0410067901  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Nasional Bandung

**Institusi Mitra (jika ada)**

Nama Institusi Mitra : PT Betrix  
Alamat : Jl. Kebun Kawung 22 D Bandung  
Penanggung Jawab : Mario Rivaldi  
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 3 dari rencana 3 tahun  
Biaya Tahun Berjalan : Rp 325,000,000  
Biaya Keseluruhan : Rp 975,000,000

Mengetahui  
Rektor



(Dr. Imam Aschuri)  
NIP/NIK 0403026701

Kota Bandung, 30 - 10 - 2017

Ketua



( TARSISIUS KRISTYADI, S.T, M.T)  
NIP/NIK 0415087101

# **DAFTAR ISI**

<b>BAB I</b>	<b>PENDAHULUAN</b>
<b>BAB II</b>	<b>PETA JALAN RISET DAN TEKNOLOGI</b>
<b>BAB III</b>	<b>ANALISA TEGANGAN PADA CHASSIS</b>
<b>BAB IV</b>	<b>PERENCANAAN PEMBUATAN BODY MOBIL LISTRIK</b>
<b>BAB V</b>	<b>MOTOR DAN SISTEM KENDALI</b>
<b>BAB VI</b>	<b>PENGUJIAN SIFAT SIFAT MATERIAL BODY MOBIL LISTRIK</b>
<b>BAB VII</b>	<b>PROTOTYPE MOBIL LISTRIK CROSS OVER</b>
<b>BAB VIII</b>	<b>KESIMPULAN</b>

# **BAB 1. PENDAHULUAN**

## **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan teknologi kendaraan listrik pada era sekarang ini semakin cepat berkembang. Banyak hal yang menyebabkan para ahli meneliti kendaraan Listrik. Beberapa Institusi pemerintah yang sedang mengembangkan kendaraan listrik antara lain Kemenristek, LIPI dan Departemen Perindustrian, serta Kemdiknas melalui perguruan tinggi. Sedangkan salah satu perusahaan swasta yang saat ini mengembangkan kendaraan listrik adalah PT. Betrix Indonesia. Penjajakan kerjasama antara PT.Betrix Indonesia dan Institut Teknologi Nasional (ITENAS) dimulai pada akhir 2003 yang dimulai dengan evaluasi bersama serta kolaborasi desain. Kerjasama tersebut terus berlanjut hingga saat ini terutama dalam hal desain produk kendaraan listrik.

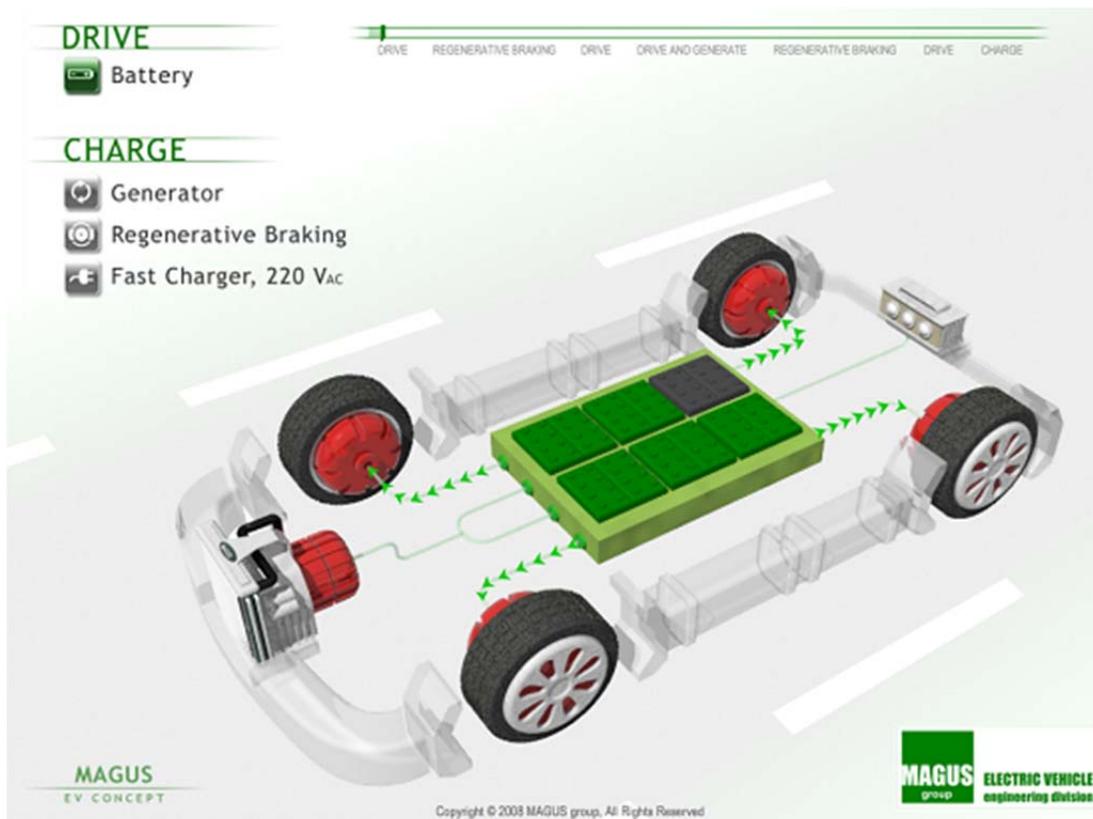
Berdasarkan rekomendasi dari Kemenristek dan instansi terkait maka PT.Betrix Indonesia dan Itenas diberi wewenang untuk melakukan penelitian dan pengembangan mobil listrik Indonesia. Dari amanat tersebut kemudian dibuat MOU antara PT.Betrix Indonesia dan ITENAS dan penelitian semakin intensif untuk meneliti dan mengembangkan :

1. Desain Floor Pan
2. Platform ( Chasis)
3. Desain Body

Penelitian tersebut mengarah pada Safety (struktur), Power Weight Rasio, Servis Ability, Modular Ability, Heat Dissipation dan weight distribution serta kemampuan jarak tempuh. Diharapkan dengan penelitian dan pengembangan ini akan tercipta mobil listrik dengan platform CROSS OVER yang tangguh dengan nilai ekonomis yang memadai dan dapat diproduksi dalam negeri.

## 1.2 Perkembangan Teknologi Platform (chasis) Mobil Listrik

Platform atau sering disebut chasis merupakan suatu perangkat dimana komponen-komponen utama suatu kendaraan listrik ditempatkan. Pada platform tersebut ditempatkan baterai, sistem steering, suspensi, sistem roda beserta sistem rem dan peralatan pendukung lain. Berbagai teknologi platform telah dikembangkan saat ini oleh produsen otomotif dunia. Berbagai model platform berdasarkan hasil penelusuran pada umumnya merupakan platform (chasis) berbasis mobil sedan. Salah satu ciri yang menonjol dari platform tersebut adalah peletakan baterai yang berada di atas dan di bawah lantai. Hal ini sangat menyulitkan dalam proses pemeliharaan. Sebagai gambaran berikut ini adalah contoh-contoh desain platform (chasis) mobil listrik yang telah dikembangkan oleh industri otomotif dari berbagai negara.



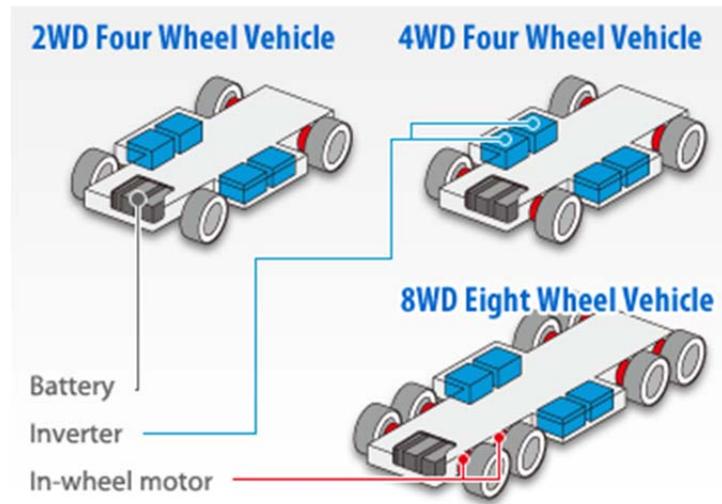
Gambar 1-1 Platform yang dikembangkan MAGUS grup

Sumber <http://magusgroup.si/slike/galerije/picx.png> (diakses tgl 5 Januari 2016)



Gambar 1-2 Platform yang dikembangkan Tesla

Sumber [http://gm-volt.com/wp-content/uploads/2013/05/Tesla\\_Model\\_S\\_skateboard.jpg](http://gm-volt.com/wp-content/uploads/2013/05/Tesla_Model_S_skateboard.jpg)  
(diakses tgl 10 Januari 2016)



Gambar 1-3 Platform yang dikembangkan Toyota

Sumber <http://www.sim-drive.com/english/images/technology1.png> (diakses tgl 10 Januari 2016)



Gambar 1-4 Platform yang dikembangkan KIA grup

Sumber <http://www.blogcdn.com/green.autoblog.com/media/2007/09/kia-fcev-platform.jpg>(diakses tgl 10 Januari 2016)

Dilihat dari struktur platform dari contoh-contoh mobil listrik di atas, menggunakan platform mobil sedan, baterai berada di atas dasar platform.

Di Indonesia beberapa instansi juga sudah mengembangkan mobil listrik seperti dari beberapa perguruan tinggi. Berdasarkan penelusuran atau study yang dilakukan, platform (chasis) mobil listrik yang digunakan adalah menggunakan platform (chasis) mobil berbahan bakar minyak (bensin dan diesel) yang kemudian diadopsi untuk mobil listrik. Hal ini memiliki kekurangan terutama dalam hal stabilitas, titik berat serta dinamika struktur mengingat karakteristik mobil berbahan bakar minyak berbeda dengan mobil listrik.

PT Betrix Indonesia bersama ITENAS bertekad untuk mengembangkan platform (chasis) mobil listrik yang berbeda yang cocok untuk medan di Indonesia yaitu kendaraan listrik berbasis Cross Over. Kendaraan Cross Over ini mempunyai keunggulan antara lain bisa digunakan untuk medan yang tidak terlalu rata namun tetap stabil, serta ground clearance yang memadai. Berdasarkan penelusuran yang telah dilakukan kendaraan dengan basis Cross Over belum pernah diadopsi untuk mobil listrik.

Penelitian ini fokus pada pengembangan platform (chasis) mobil listrik dengan basis Cross Over. Hal yang ditonjolkan adalah desain platform yang mempunyai sifat maintenanceability yang baik yang dicirikan dengan proses pemeliharaan baterai yang mudah. Selain itu platform yang dikembangkan adalah platform yang khusus untuk mobil listrik yang siap dipasarkan secara komersial, tidak mengadopsi chasis mobil berbahan bakar minyak seperti yang digunakan oleh mobil listrik di Indonesia selama ini

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian untuk pengembangan mobil listrik nasional dengan target prototype mobil listrik dengan platform Cross Over yang cocok untuk berbagai medan. Konsentrasi dari penelitian ini adalah pengembangan chasis yang sesuai dengan karakteristik Cross Over. Peran PT. Betrix Indonesia adalah sebagai penyedia sarana (infrastruktur) produksi mengingat PT. Betrix Indonesia adalah produsen kendaraan listrik. Sedangkan peran ITENAS adalah penyediaan sumber daya manusia yang akan berperan dalam penelitian.

### **1.3 Luaran Penelitian**

Target dari penelitian ini adalah prototype platform mobil listrik dengan basis cross over yang siap diproduksi secara komersial. Penelitian dilaksanakan dalam waktu 3 tahun dan saat ini sudah menghasilkan sebuah prototype mobil listrik berbasis cross over.

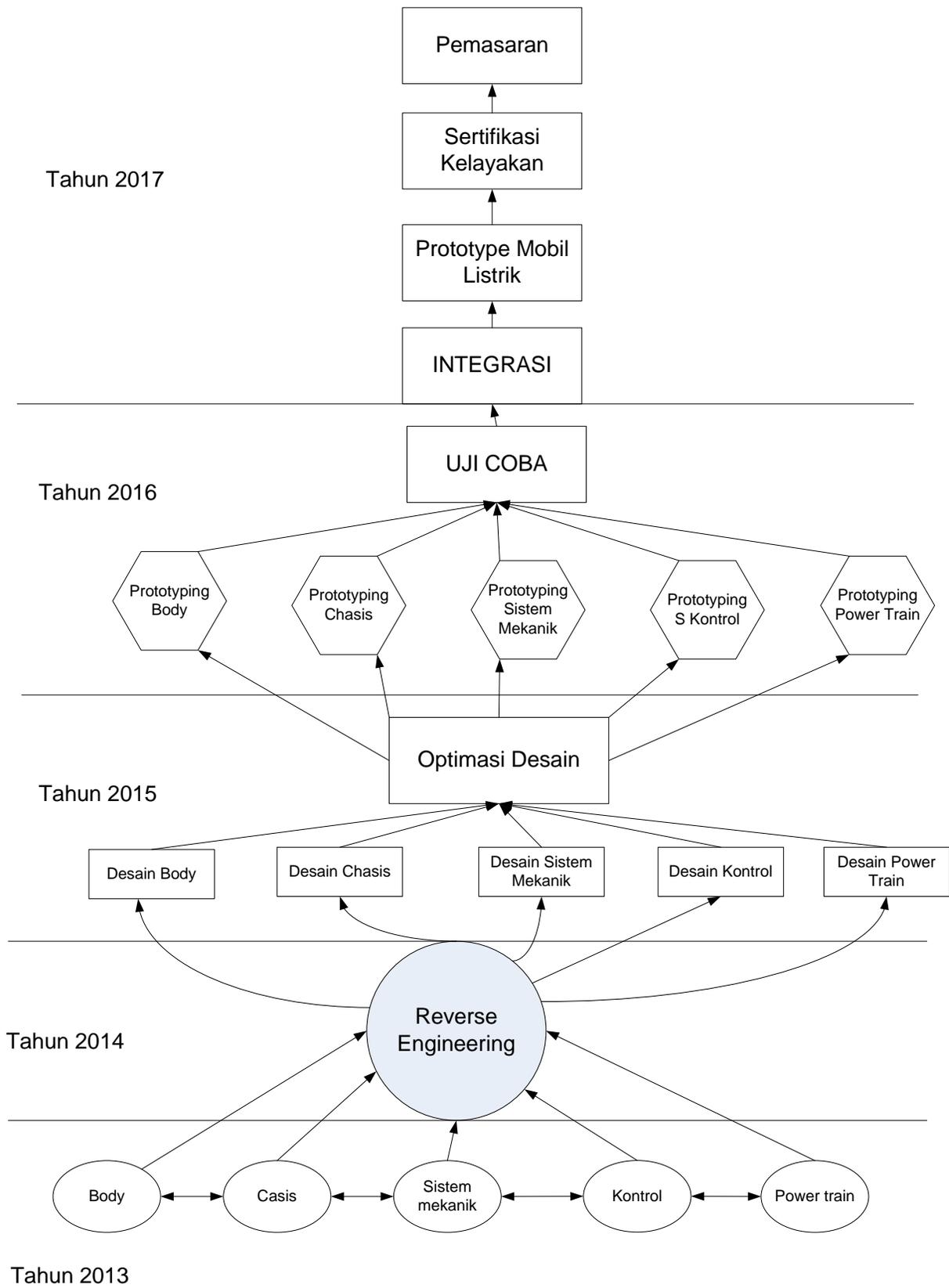


## **BAB 2. PETA JALAN RISET DAN TEKNOLOGI**

### **2.1. Peta Jalan Riset dan Business Plan**

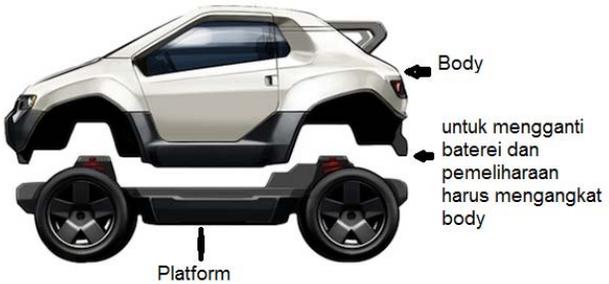
Penelitian ini dimulai tahun 2013 dengan study literatur mengenai mobil listrik dari beberapa sumber. Khusus mengenai platform (chasis) seperti ditelah dijelaskan dalam bab pendahuluan dan telah teridentifikasi beberapa hal yang harus dilakukan perbaikan dan penyesuaian dengan kondisi di Indonesia. Pemodelan serta penyiapan infrastruktur juga sudah dilaksanakan dengan peralatan-peralatan eksisting seperti komputer dan peralatan lab. Target akhir dari penelitian ini adalah mobil listrik yang sesuai dengan karakteristik medan dan pengemudi di Indonesia dan siap secara komersial. Oleh karena itu platform (chasis) mobil listrik yang dihasilkan harus memenuhi syarat kendaraan komersial.

Berikut ini adalah peta jalan penelitian mobil listrik ITENAS dan PT Betrix.



## 2.2. Peta Jalan Teknologi

Hasil identifikasi , kajian literatur dan rencana pengembangan dijelaskan pada tabel berikut ini:

Pengembang	Platform	Karakteristik	Rencana pengembangan yang diusulkan oleh peneliti RAPID
<p>Tesla, VW, KIA, Toyota (ilustrasi dapat dilihat digambar di bawah ini)</p> 	Mobil listrik, sedan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sesuai karakteristik mobil listrik karena merupakan desain platform mobil listrik</li> <li>• Maintenanceability baterai kurang karena untuk mengganti baterai harus mengangkat dan memisahkan body</li> <li>• Ground clearance rendah</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Platform khusus mobil listrik, bukan retrofit dari mobil berbahan bakar minyak</li> <li>• Platform cross over</li> <li>• Maintenance ability yang baik</li> <li>• Penempatan baterai memperhatikan faktor maintenance</li> <li>• Ground clearance mencukupi</li> <li>• Pengaturan posisi peralatan utama pada platform dioptimasi dengan pemodelan</li> </ul>
Mobil listrik yang telah dikembangkan di Indonesia	Mobil berbahan bakar minyak, sedan, Mobil penumpang	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Karakteristik platform sesuai mobil berbahan bakar minyak</li> <li>• Sistem hasil retrofit mobil berbahan bakar minyak</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Platform khusus mobil listrik, bukan retrofit dari mobil berbahan bakar minyak</li> <li>• Platform cross over</li> <li>• Maintenance ability yang baik</li> <li>• Penempatan baterai memperhatikan faktor maintenance</li> <li>• Ground clearance mencukupi</li> <li>• Pengaturan posisi peralatan utama pada platform dioptimasi dengan pemodelan</li> </ul>



# BAB III

## ANALISA TEGANGAN PADA CHASSIS

### 3.1. Diagram Alir

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat keamanan *chassis*, maka dilakukan simulasi menggunakan *stress analysis* di *solidworks*. Berikut ini adalah tahapan untuk melakukan simulasi :

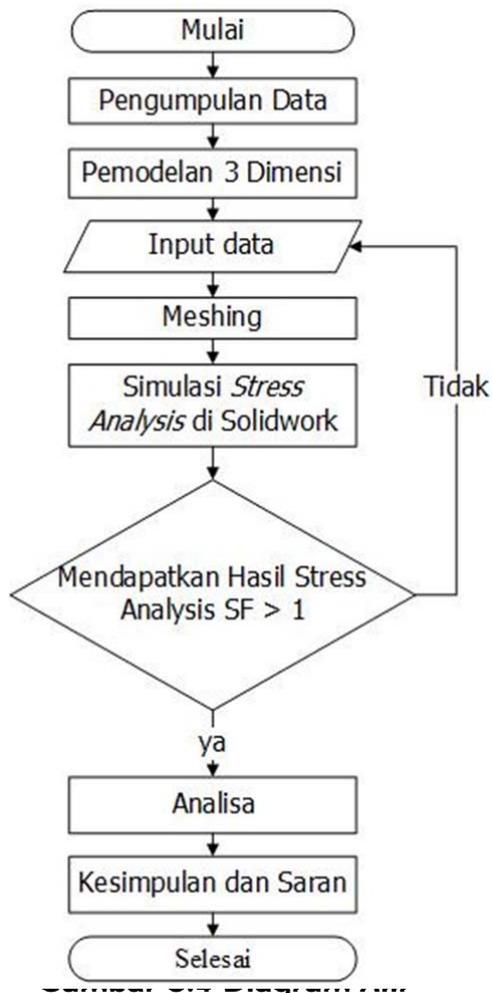


Diagram alir tersebut dapat di jabarkan sebagai berikut :

### 1. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan yaitu data foto *chassis*, berat baterai, berat motor listrik, dimensi *chassis*, dan data material *chassis* pada umumnya, Selanjutnya melakukan sket *chassis* di *software* autocad beserta mencantumkan ukurannya.

### 2. Pemodelan 3 Dimensi

Pemodelan model tiga dimensi di *software* solidworks yang akan dianalisis berdasarkan sket dan ukuran, model yang dibuat ada dua yaitu pertama *chassis* dengan berlubang dan kedua *chassis* tanpa lubang dan selanjut memodelkan kapasitas jumlah baterai yang dapat diletakkan di *chassis*.

### 3. *Input* Data

Data yang di-*input* yaitu berupa data jenis material yang digunakan, data jenis tumpuan yang digunakan beserta lokasi tumpuan, jenis beban dan nilai beban beserta lokasi penempatan beban di *chassis*.

### 4. *Meshing*

Menentukan ukuran *grid* atau pembagian elemen dari *chassis*.

### 5. *Running Stress Analysis*

*Merunning* simulasi *stress analysis*.

### 6. Hasil Simulasi *Safety of factor* lebih besar 1

Mengecek hasil simulasi berupa *Von Misses*, *displacement*, dan *safety of factor* telah melebihi satu atau tidak, jika iya lanjut ke analisa jika tidak balik ke input data.

### 7. Analisa

Melakukan Analisa hasil simulasi dengan teorinya.

### 8. Kesimpulan dan saran

Membuat kesimpulan dari penelitian dan memberikan saran.

## 3.2. Objek Penelitian

Objek penelitian adalah *chassis* yang memiliki khas berlubang yang bertujuan untuk mengurangi massa, seperti pada gambar 3.2. Objek penelitian akan dipakai sebagai *chassis* mobil listrik.



**Gambar 3.2 Objek Penelitian**

### **3.3. Pengumpulan Data**

Pengumpulan data merupakan proses sebelum dilakukan simulasi di-*software*. Pertama data yang dikumpulkan yaitu berat baterai, dimensi baterai, spesifikasi baterai dan foto baterai seperti gambar 3.3, berikut data spesifikasi geometri baterai :

- Nama baterai = Global Deep cycle *battery*
- jenis baterai = Baterai basah
- kapasitas = 12V, 150 Ah / 20 Hr
- Dimensi = 400 x 250 x 300 mm
- Berat = 37 Kg



**Gambar 3.3 Baterai**

Data kedua yang dikumpulkan yaitu data foto motor listrik, berat motor listrik, dimensi motor listrik dan spesifikasi motor listrik, seperti pada gambar 3.4, berikut data motor listrik :

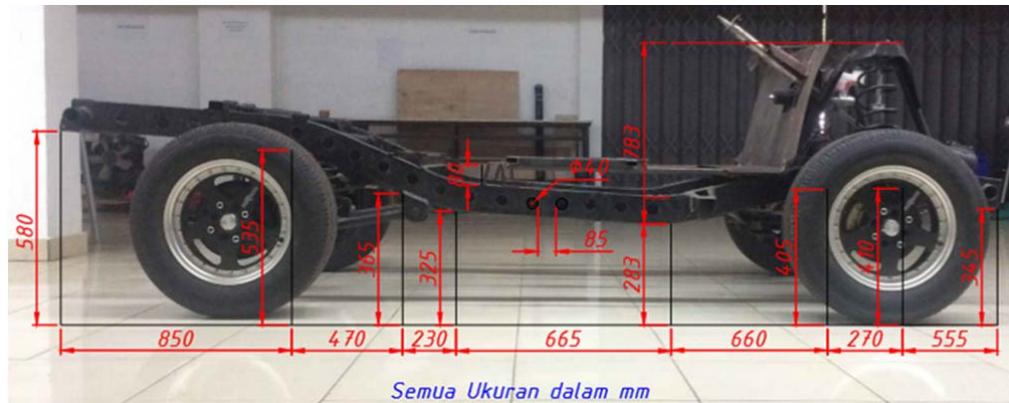
- Nama Motor Listrik = *High Power BLDC liquid cooling Golden Motor*
- kapasitas = 72V, 20 KW
- Dimensi = 300 x 300 x 250 mm
- Berat = 40.3 Kg



**Gambar 3.4 Berat Motor Listrik**

Terakhir pengumpulan data dimensi *chassis* dengan cara di foto, kemudian diukur menggunakan mistar insut dan meteran dan selanjutnya dimasukkan ke aplikasi *software* CAD, dan didapat dimensinya yaitu dengan panjang 3700 mm, lebar

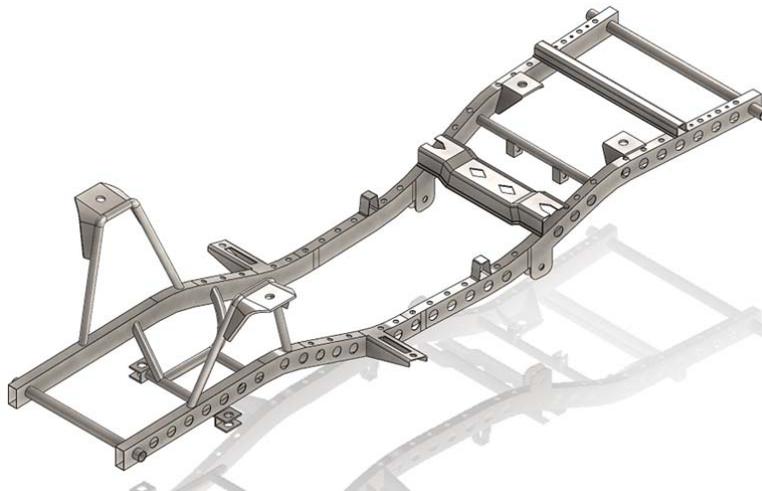
1040 mm dan tinggi 783 mm, seperti Gambar 3.5. Untuk melihat lebih detail dimensi *chassis* dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3.5 Dimensi Chassis

### 3.4. Pemodelan 3 Dimensi *Chassis*

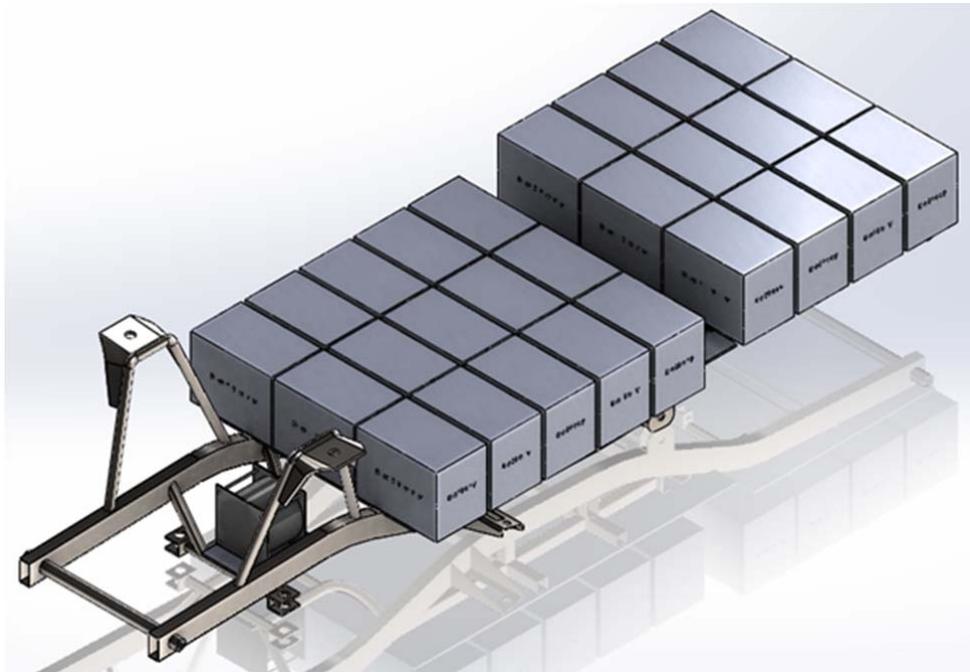
Pemodelan *chassis* dibuat untuk menjalankan simulasi pada *software*, dimana pemodelan 3 dimensi *chassis* dibuat dengan menggunakan *software* CAD (SolidWorks). Hasil pemodelan *chassis* dapat dilihat digambar 3.6 :



Gambar 3.6 Pemodelan 3 Dimensi *Chassis*

Dari hasil pemodelan, diketahui *chassis* memiliki volume 10899266.91 mm<sup>3</sup> dan luas permukaan 7354330.98 mm<sup>2</sup>. Selanjutnya, dilakukan Pemodelan *chassis*

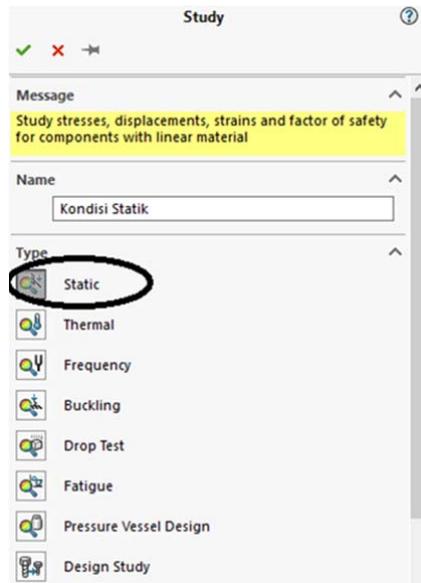
dengan baterai, dengan tujuan untuk mencari kapasitas jumlah baterai yang bisa diletakkan di *chassis* seperti gambar 3.7. Dari hasil pemodelan *chassis* dengan baterai diketahui jumlah baterai yaitu 36 baterai, dimana 15 baterai di bagian tengah *chassis*, dan 12 baterai dibagian belakang *chassis*.



**Gambar 3.7 Pemodelan *Chassis* dengan Baterai**

### **3.5. Analisis Menggunakan Solidworks**

Setelah melakukan pemodelan *chassis* di *software* SolidWorks selanjutnya dilakukan analisis kekuatan dengan 4 keadaan yang berbeda yaitu keadaan statik, tanjakan, turunan, dan pengereman, dengan menggunakan model yang sama. Untuk memulai analisis srtiap keadaan, yang pertama dilakukan yaitu memilih simulasi *study static*, seperti pada gambar 3.8. :



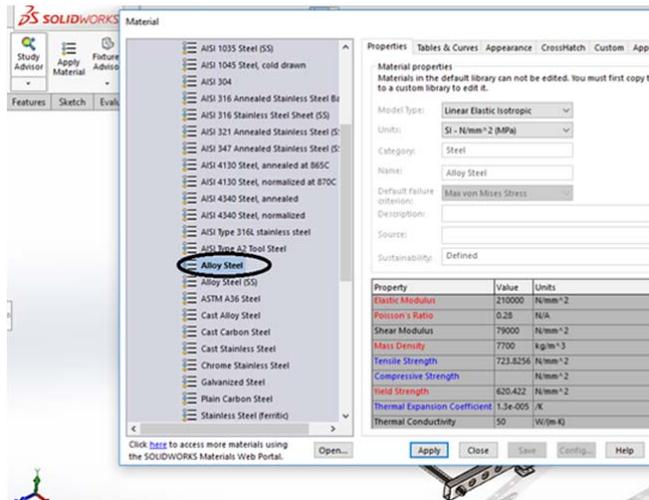
**Gambar 3.8 Jenis Study**

Ada beberapa parameter untuk melakukan proses simulasi yaitu :

1. Material
2. *Fixtures*
3. *Loads*
4. *Meshing*
5. Hasil *Study*

### **3.5.1. Material**

Setelah memilih jenis *study*, selanjutnya memasukkan jenis material di kolom *library* material solidworks seperti pada gambar 3.9. Material yang digunakan pada saat simulasi untuk keadaan statik, tahanan, turunan, dan pengereman adalah *Alloy Steel*, material ini merupakan material *chassis* yang sering digunakan untuk mobil niaga. Selain itu material alloy steel memiliki kekuatan yang lebih tinggi dengan jenis material yang lain.



**Gambar 3.9 Jenis Material Alloy Steel**

Sifat mekanik material dapat dilihat pada tabel 3.1. berdasarkan data di *library material solidworks*.

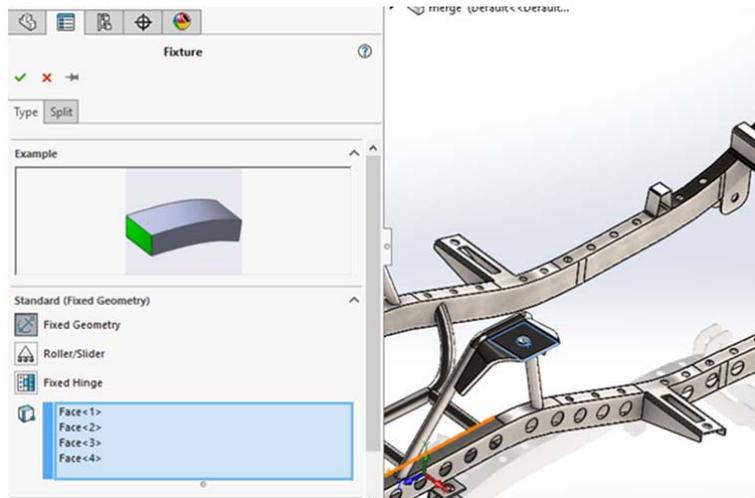
**Tabel 3.1 Sifat Mekanik Material**

<i>Name:</i>	<i>Alloy Steel</i>
<i>Model type:</i>	<i>Linear Elastic Isotropic</i>
<i>Default failure criterion:</i>	<i>Max von Mises Stress</i>
<i>Yield strength:</i>	6.20422e+008 N/m <sup>2</sup>
<i>Tensile strength:</i>	7.23826e+008 N/m <sup>2</sup>
<i>Elastic modulus:</i>	2.1e+011 N/m <sup>2</sup>
<i>Poisson's ratio:</i>	0.28
<i>Mass density:</i>	7700 kg/m <sup>3</sup>
<i>Shear modulus:</i>	7.9e+010 N/m <sup>2</sup>
<i>Thermal expansion coefficient:</i>	1.3e-005 /Kelvin

### 3.5.2. Fixtures

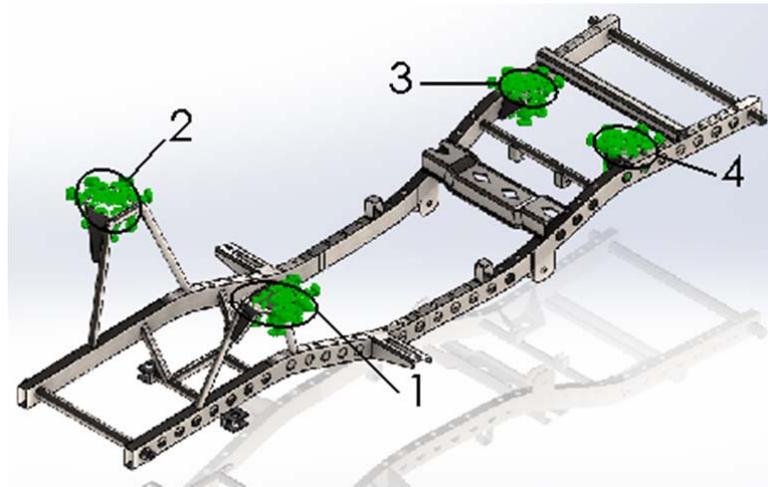
*Fixtures* merupakan istilah lain dari tumpuan di *software solidworks*, tumpuan yang terjadi pada chassis ada empat buah, yaitu *mounting* pegas yang dilas

di rangka utama. Karena *mounting* ini berfungsi mengunci pegas yang dapat menahan gaya vertikal, horizontal, dan momen sehingga tumpuan yang dipilih adalah *fixed geometry* seperti pada gambar 3.10 .



**Gambar 3.10 Fixed Geometry**

Untuk posisi tumpuan berjumlah empat seperti pada gambar 3.11. :

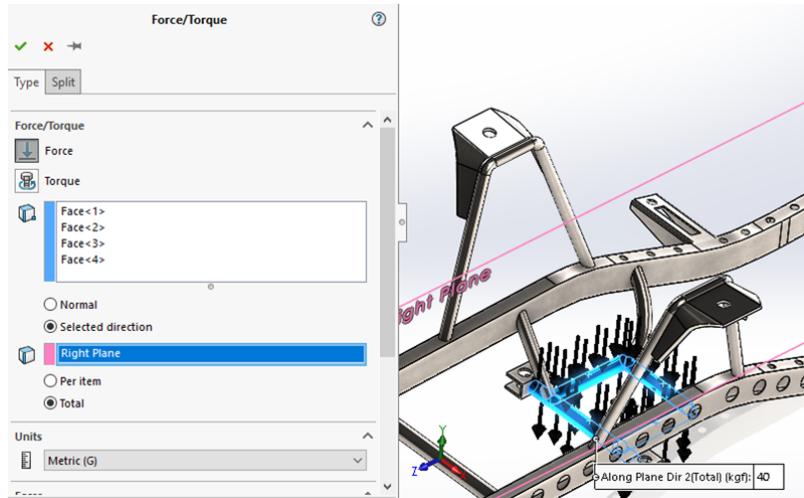


**Gambar 3.11 Posisi Tumpuan**

### 3.5.3. Loads

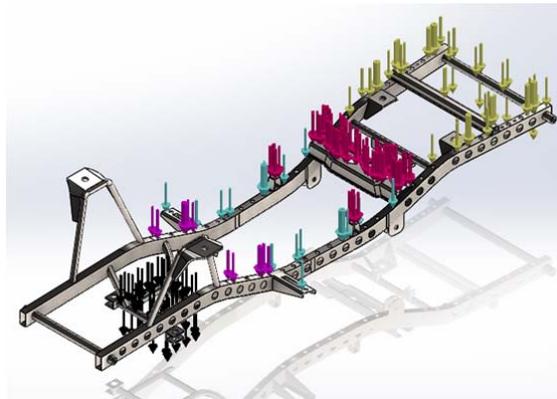
Setelah menentukan posisi dan jenis tumpuan, berikutnya adalah menentukan nilai dan posisi beban, untuk beban yang di-*input* yaitu berat baterai,

berat penumpang, dan berat motor listrik. Beban yang di-input di *software* merupakan gaya terdistribusi seragam, seperti pada gambar 3.12 :



**Gambar 3.12 Gaya Terdistribusi Seragam**

Beban Keseluruhan yang diterima chassis adalah 1514 kgf, beban tersebut terdiri dari 5 gaya (di *software* disebut *force*) yang nilainya berbeda – beda seperti pada gambar 3. 13,

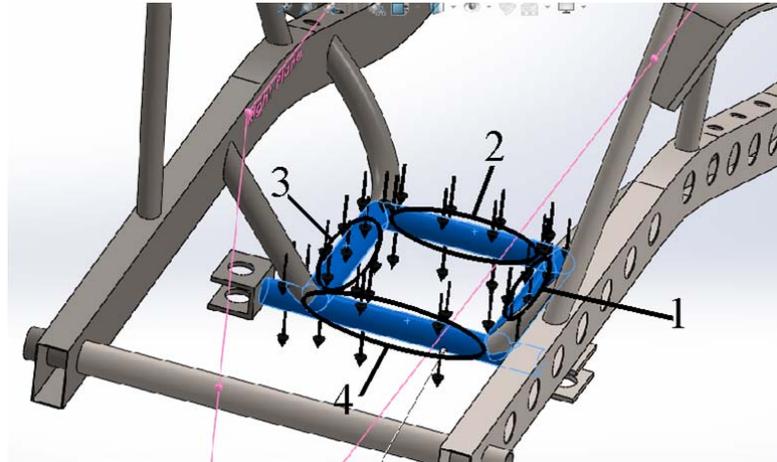


**Gambar 3.13 Beban Keseluruhan di Chassis**

berikut penjelasan tiap *force* :

- *Force 1*

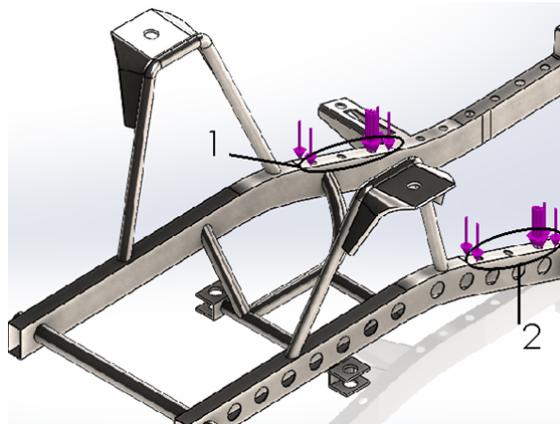
*Force 1* yaitu berat motor listrik di chassis bagian depan, *force 1* ditunjukkan dengan panah warna hitam. Posisi pembebanan dapat dilihat pada gambar 3.14, nilai berat motor listrik yaitu 37 kgf.



**Gambar 3.14 Posisi *Force 1***

- *Force 2*

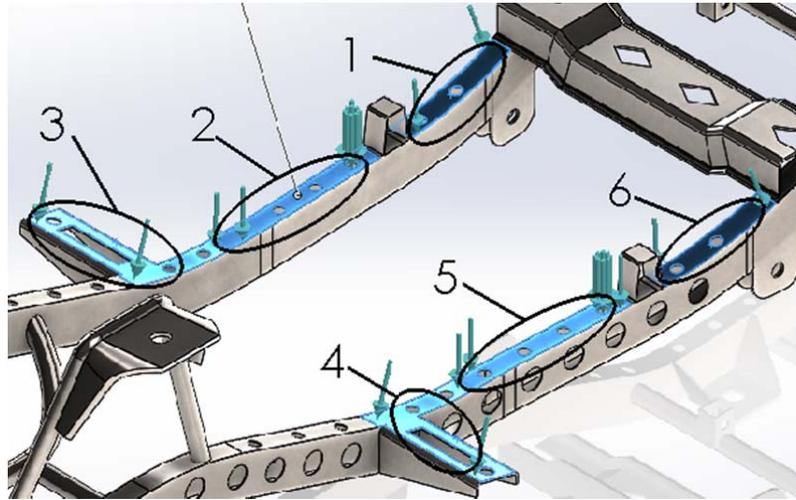
*Force 2* yaitu berat dua orang penumpang di bagian depan dengan berat satu orang yaitu 80 kgf, *force 1* ditunjukkan dengan panah warna ungu dan posisi pembebanan dapat dilihat pada gambar 3.15 :



**Gambar 3.15 Posisi *Force 2***

- *Force 3*

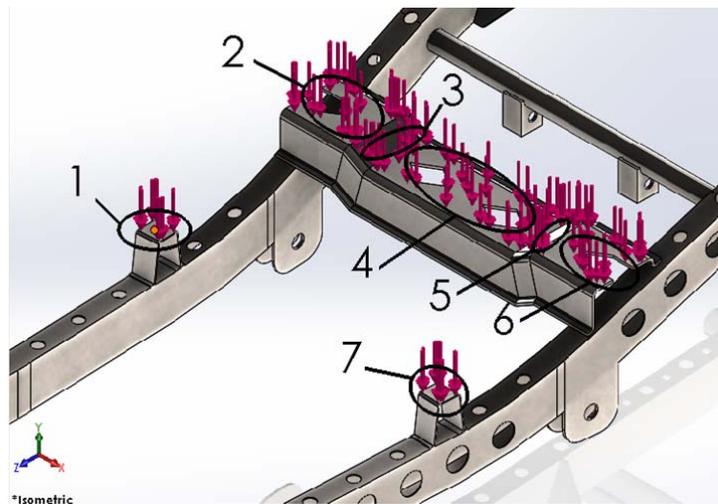
*Force 3* yaitu berat baterai di chassis bagian tengah, dengan jumlah baterainya yaitu 12 sesuai dengan gambar 3.16. *Force 3* ditunjukkan dengan panah warna biru dan posisi pembebanan dapat dilihat pada gambar 3.16 :



**Gambar 3.16 Baterai di *Chassis* bagian Tengah**

- *Force 4*

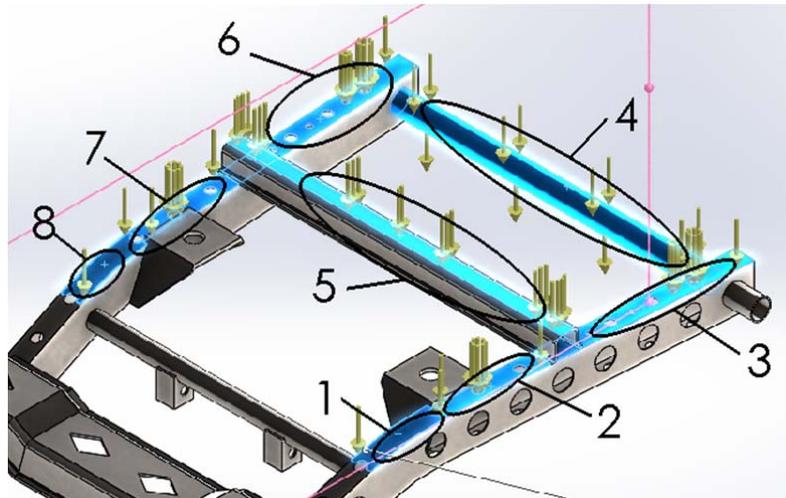
*Force 4* yaitu berat empat orang penumpang di bagian tengah dan belakang dengan berat satu orang yaitu 80 kgf. *Force 4* ditunjukkan dengan panah warna merah dan posisi pembebanan dapat dilihat pada gambar 3.17 :



**Gambar 3.17 Posisi *Force 4***

- *Force 5*

*Force 5* yaitu berat baterai di chassis bagian belakang dengan jumlah baterainya yaitu 15. *Force 5* ditunjukkan dengan panah warna kuning, dan posisi pembebanan dapat dilihat pada gambar 3.18 :



Gambar 3.18 Posisi *Force 5*

berikut penjelasan *force* untuk setiap keadaan :

### 3.5.3.1. Keadaan Statik

Dalam keadaan statik, beban tidak terkonsentrasi bagian belakang maupun depan, akan tetapi diam seperti pada gambar 3.19. Berikut beban yang di-*input* saat keadaan statik :

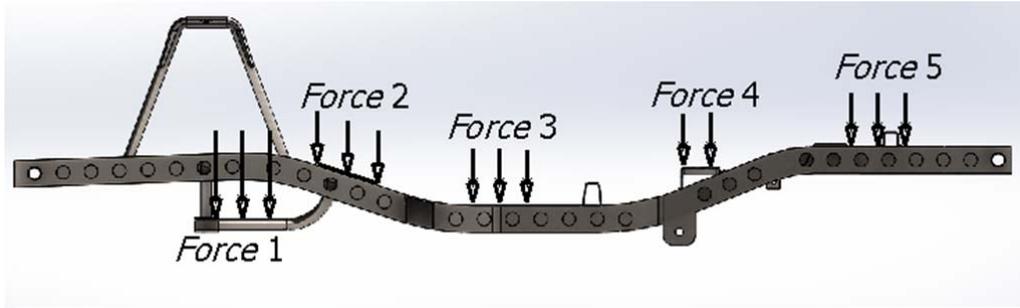
- *Force 1*  
 $Force\ 1 = 40,3\ kgf$
- *Force 2*  
 $Force\ 2 = 80\ kgf \times 2$   
 $= 160\ kgf$
- *Force 3*  
 $Force\ 3 = 37\ kgf \times 15$   
 $= 555\ kgf$
- *Force 4*  
 $Force\ 4 = 80\ kgf \times 4$

$$= 320 \text{ kgf}$$

- *Force 5*

$$\text{Force 5} = 37 \text{ kgf} \times 12$$

$$= 444 \text{ kgf}$$



**Gambar 3.19 Beban Saat Statik**

### 3.5.3.2. Keadaan Tanjakan

Dalam keadaan menanjak, beban dipengaruhi oleh sudut tanjakan sehingga beban terkonsentrasi di bagian belakang seperti pada gambar 3.20.

Berikut nilai beban yang di-*input* saat keadaan menanjak :

$$\text{Force 1} = 40 \text{ kgf} \times 20\%$$

$$= 8 \text{ kgf}$$

$$\text{Force 2} = 160 \text{ kgf} \times 40\%$$

$$= 64 \text{ kgf}$$

$$\text{Force 3} = 555 \text{ kgf} \times 60\%$$

$$= 333 \text{ kgf}$$

$$\text{Force 4} = 320 \text{ kgf} \times 80\%$$

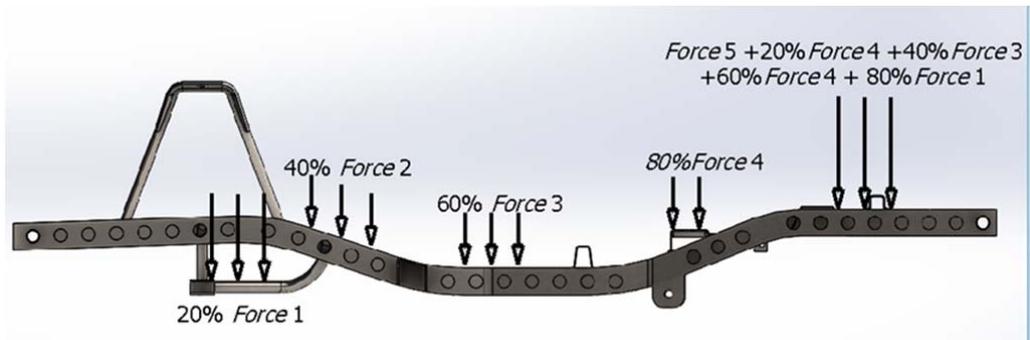
$$= 256 \text{ kgf}$$

$$\text{Force 5} = 444 \text{ kgf} + 80\% \text{ Force 1} + 60\% \text{ Force 2} + 40\% \text{ Force 3} + 20\% \text{ Force 4}$$

$$=$$

$$= 444 \text{ kgf} + 32 \text{ kgf} + 96 \text{ kgf} + 222 \text{ kgf} + 64 \text{ kgf}$$

$$= 858 \text{ kgf}$$



**Gambar 3.20 Persentase Beban Saat Tanjakan**

**3.5.3.3. Keadaan Turunan**

Dalam keadaan menurun, beban dipengaruhi oleh sudut turunan sehingga beban terkonsentrasi di bagian depan, seperti pada gambar 3.21. Berikut nilai beban yang di-input saat keadaan menurun :

$$Force\ 1 = 40\ kgf + 20\% Force\ 2 + 40\% Force\ 3 + 60\% Force\ 4 + 80\% Force\ 5$$

$$= 40\ kgf + 32\ kgf + 222\ kgf + 192\ kgf + 352.2\ kgf$$

$$= 841\ kgf$$

$$Force\ 2 = 160\ kgf \times 80\%$$

$$= 64\ kgf$$

$$Force\ 3 = 555\ kgf \times 60\%$$

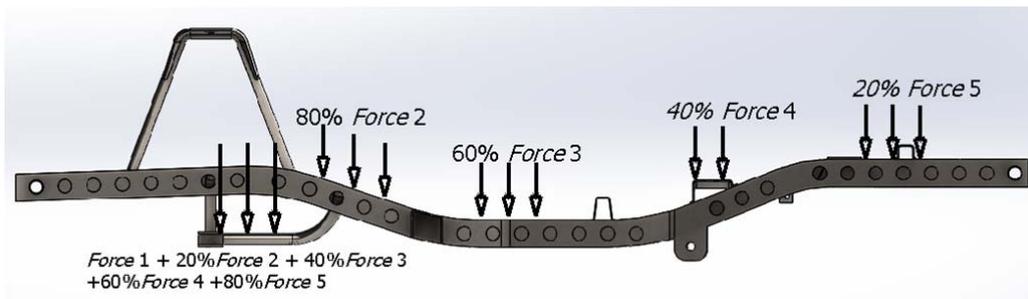
$$= 333\ kgf$$

$$Force\ 4 = 320\ kgf \times 40\%$$

$$= 256\ kgf$$

$$Force\ 5 = 444\ kgf \times 20\%$$

$$= 88,8\ kgf$$



**Gambar 3.21 Persentase beban Saat Turunan**

### 3.5.3.4. Keadaan Pengereman

Dalam keadaan pengerem, beban dipengaruhi oleh perlambatan sehingga beban terkonsentrasi di bagian depan, seperti pada gambar 3.22. Berikut nilai beban yang di-input saat keadaan pengerem :

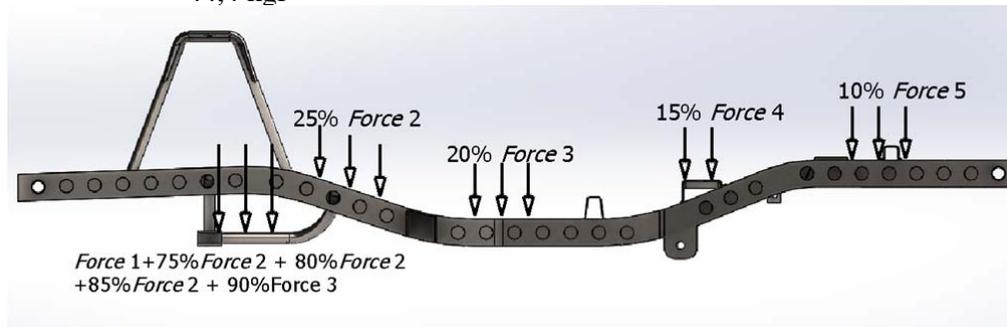
$$\begin{aligned} \text{Force 1} &= 40 \text{ kgf} + 75\% \text{ Force 2} + 80\% \text{ Force 3} + 85\% \text{ Force 4} + 90\% \text{ Force 5} \\ &= 40 \text{ kgf} + 120 \text{ kgf} + 444 \text{ kgf} + 272 \text{ kgf} + 399,6 \text{ kgf} \\ &= 1275,6 \text{ kgf} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Force 2} &= 160 \text{ kgf} \times 25\% \\ &= 40 \text{ kgf} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Force 3} &= 555 \text{ kgf} \times 20\% \\ &= 111 \text{ kgf} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Force 4} &= 320 \text{ kgf} \times 15\% \\ &= 48 \text{ kgf} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Force 5} &= 444 \text{ kgf} \times 10\% \\ &= 44,4 \text{ kgf} \end{aligned}$$



Gambar 3.22 Persentase Beban Saat Pengereman

### 3.5.4. Meshing

Tahapan *meshing* pada model menggunakan *software* SolidWorks, bertujuan untuk mendiskrit model menjadi elemen-elemen kecil yang saling terintegrasi. Dari hasil *meshing* untuk *chassis* mobil listrik didapatkan 448939 total *nodes*, 224123 total elemen. Dengan jumlah elemen sebanyak ini dengan volume yang besar, dapat dikatakan bahwa proses *meshing* dapat menghasilkan keakuratan yang tinggi dalam perhitungan di *software*. Data input parameter *mesh* dapat dilihat di tabel 3.2 :

**Tabel 3.2 Parameter *input* mesh**

Mesh <i>type</i>	Solid Mesh (Tetrahedral <i>element</i> )
Mesher <i>Used</i> :	Curvature-based mesh
Jacobian points	4 Points
<i>Maximum element size</i>	13 mm
<i>Minimum element size</i>	2.6 mm
<i>Mesh Quality</i>	High

Tabel 3.3 menunjukkan hasil meshing

**Tabel 3.3 Hasil *Meshing***

Total <i>Nodes</i>	448939
Total Elements	224123
Maximum Aspect Ratio	159.83
% of elements with Aspect Ratio < 3	36
% of <i>elements with Aspect Ratio</i> > 10	0.906
% of distorted elements (Jacobian)	0

Gambar 3.23 menunjukkan hasil meshing



**Gambar 3.23 Hasil *Meshing***

### 3.6. Hasil Analisis

Setelah dilakukan analisis *chassis* terhadap keadaan statik, tanjakan, turunan, dan pengereman maka hasil yang diperoleh adalah :

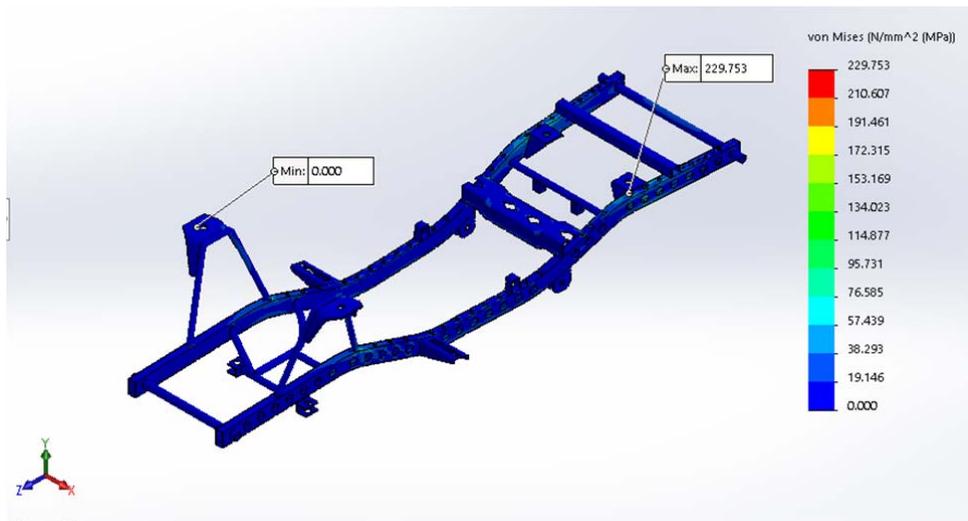
Tegangan (Von Misses Stress)

Defleksi (*Displacement*)

Faktor Keamanan (*Factor of safety*)

#### 3.6.1. Tegangan (Von Misses Stress)

##### 3.6.1.1. Tegangan Saat Keadaan Statik



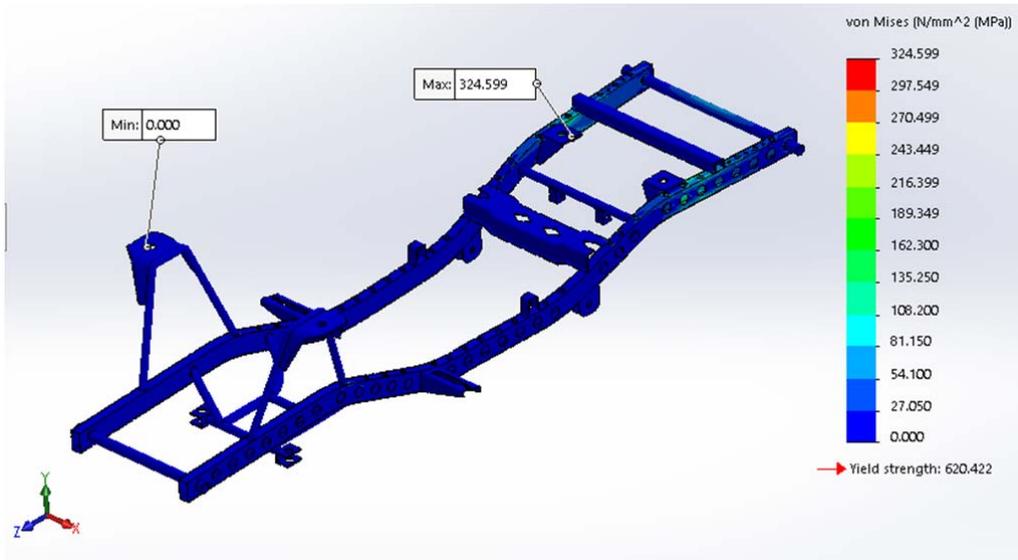
**Gambar 3.24 Tegangan Saat Keadaan Statik**

Gambar 3.24 menunjukkan hasil simulasi tegangan saat keadaan statik, tegangan maksimum yang terjadi saat keadaan statik dengan jenis material alloy steel adalah  $229,753534 \text{ N/mm}^2$  (Mpa) di *node* 87773 atau terletak pada posisi lasan *mounting* pegas belakang (tumpuan). Sedangkan tegangan minimum yang terjadi pada *chassis* sebesar  $0,000427737 \text{ N/mm}^2$  (Mpa) di *node* 226969. Untuk mengetahui lokasi titik koordinatnya dapat dilihat pada tabel 3.4 :

**Tabel 3.4 Lokasi Tegangan Saat Keadaan Statik**

<i>Name</i>	<i>Type</i>	<i>Min</i>		<i>Max</i>
Stress1	VON: <i>Von Mises Stress</i>	0,000427737 Mpa <i>Node 226969</i>		229,75353 Mpa <i>Node 87773</i>
<i>Node</i>	<i>Value</i>	<i>X (mm)</i>	<i>Y (mm)</i>	<i>Z (mm)</i>
226969	0,000427737 Mpa	-530,1034	1084,301	1056,6031
87773	229,75353 Mpa	369,1518	608	-1221,179

**3.6.1.2. Tegangan Saat Keadaan Tanjakan**



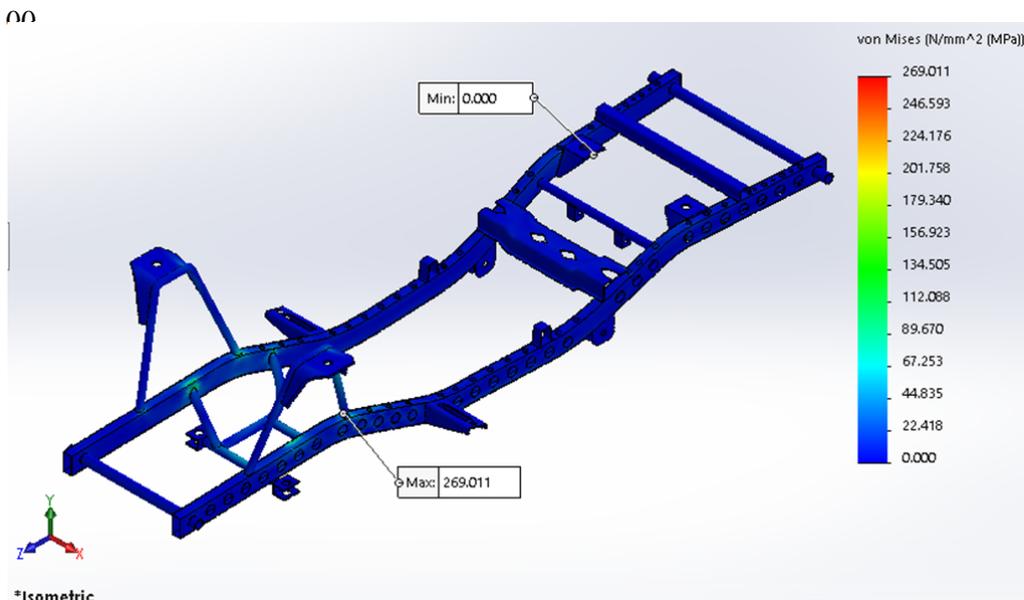
**Gambar 3.25 Tegangan Saat Keadaan Tanjakan**

Gambar 3.25 menunjukkan hasil simulasi tegangan saat keadaan tanjakan, tegangan maksimum yang terjadi saat keadaan tanjakan dengan jenis material alloy steel adalah 324,599 N/mm<sup>2</sup> (Mpa) di *node 20057* atau terletak pada posisi lasan *mounting* pegas belakang (tumpuan). Sedangkan tegangan minimum yang terjadi pada *chassis* sebesar 0,000410951 N/mm<sup>2</sup> (Mpa) di *node 226970*. Untuk mengetahui lokasi titik koordinatnya dapat dilihat pada tabel 3.5 :

**Tabel 3.5 Lokasi Tegangan Saat Keadaan Tanjakan**

<i>Name</i>	<i>Type</i>	<i>Min</i>		<i>Max</i>
Stress1	VON: <i>Von Mises Stress</i>	0,000410951Mpa <i>Node 226970</i>		324,599 Mpa <i>Node 20057</i>
<i>Node</i>	<i>Value</i>	<i>X (mm)</i>	<i>Y (mm)</i>	<i>Z (mm)</i>
226970	0,000410951 Mpa	-528,5016	1074,111	1044,1007
20057	324,599 Mpa	-381,2016	512	-1417

**3.6.1.3. Tegangan Saat Keadaan Turunan**



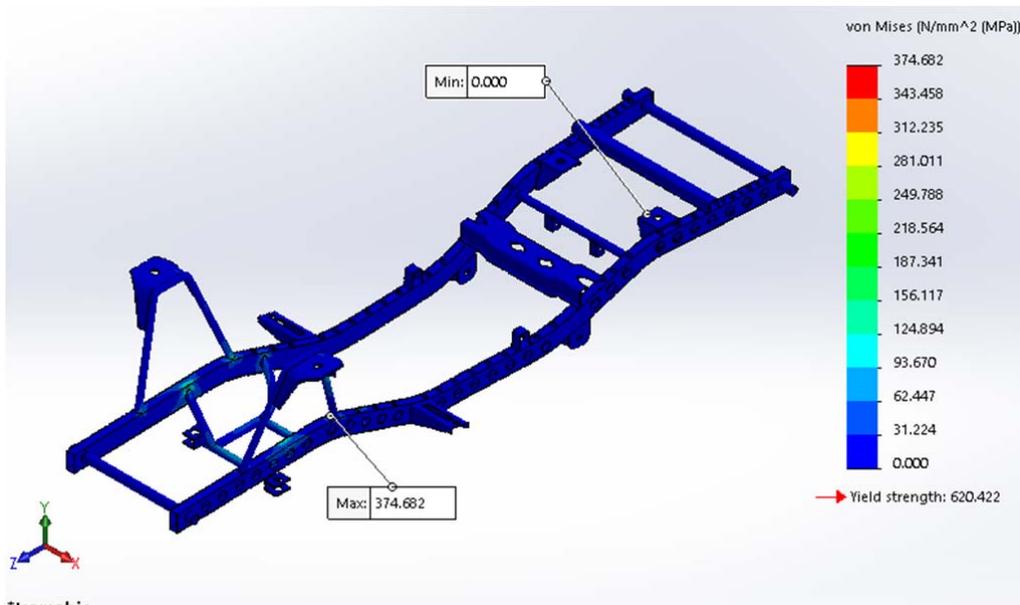
**Gambar 3.26 Tegangan Saat Keadaan Turunan**

Gambar 3.26 menunjukkan hasil simulasi tegangan saat keadaan turunan, tegangan maksimum yang terjadi saat keadaan turunan dengan jenis material alloy steel adalah 269,011 N/mm<sup>2</sup> (Mpa) di *node* 84270 atau terletak di sambungan pipa *hollow* dengan rangka utama, seperti pada gambar 3.26. Sedangkan tegangan minimum yang terjadi pada *chassis* sebesar 7,18828x10<sup>-5</sup> N/mm<sup>2</sup> (Mpa) di *node* 238565. Untuk mengetahui lokasi titik koordinatnya dapat dilihat pada tabel 3.6 :

**Tabel 3.6 Lokasi Tegangan Saat Keadaan Turunan**

<i>Name</i>	<i>Type</i>	<i>Min</i>		<i>Max</i>
Stress1	VON: <i>von Mises Stress</i>	7,1882x10 <sup>-5</sup> Mpa <i>Node 238565</i>		269,011 Mpa <i>Node 84270</i>
<i>Node</i>	<i>Value</i>	<i>X (mm)</i>	<i>Y (mm)</i>	<i>Z (mm)</i>
238565	7,1882x10 <sup>-5</sup> Mpa	-241,6511	615	-1282
84270	269,011 Mpa	305,1273	572,8357	741,2021

**3.6.1.4. Tegangan Saat Keadaan Pengereman**



**Gambar 3.27 Tegangan Saat Keadaan Pengereman**

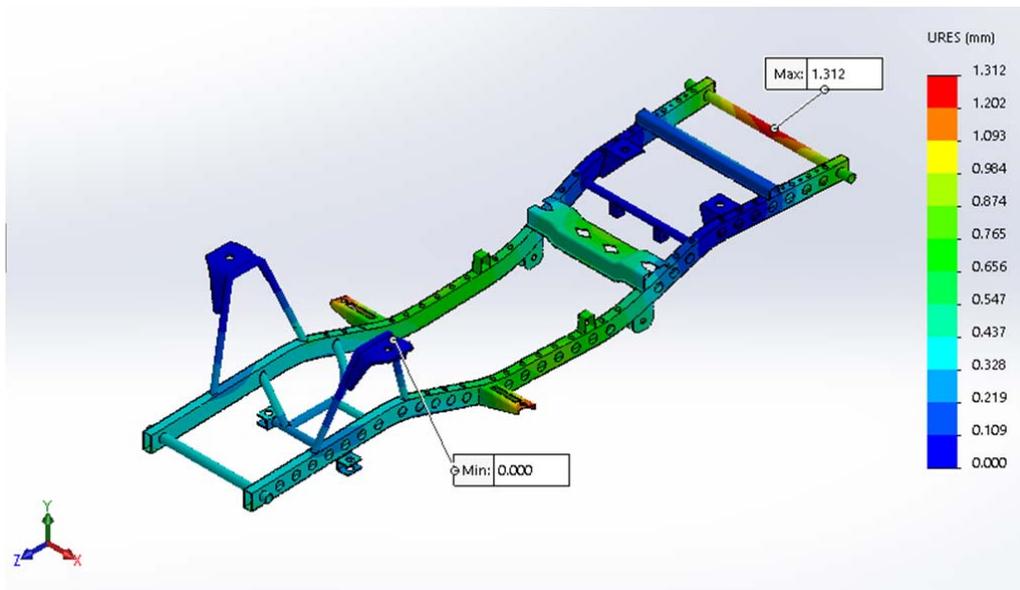
Gambar 3.27 menunjukkan hasil simulasi tegangan saat keadaan Pengereman, tegangan maksimum yang terjadi saat keadaan pengereman dengan jenis material alloy steel adalah 374,682 N/mm<sup>2</sup> (Mpa) di *node 84266* atau terletak di sambungan pipa *hollow* dengan rangka utama, seperti pada gambar 3.24. Sedangkan tegangan minimum yang terjadi pada *chassis* sebesar 8,29509x10<sup>-5</sup> N/mm<sup>2</sup> (Mpa) di *node 81071*. Untuk mengetahui lokasi titik koordinatnya dapat dilihat pada tabel 3.7 :

**Tabel 3.7 Lokasi Tegangan Saat Keadaan Pengereman**

<i>Name</i>	<i>Type</i>	<i>Min</i>		<i>Max</i>
Stress1	VON: <i>von Mises Stress</i>	8,29509x10 <sup>-5</sup> Mpa <i>Node 81071</i>		374,682 Mpa <i>Node 84266</i>
<i>Node</i>	<i>Value</i>	<i>X (mm)</i>	<i>Y (mm)</i>	<i>Z (mm)</i>
81071	8,29509x10 <sup>-5</sup> Mpa	241,6511	620	-1259,5
84266	374,682 Mpa	306,9035	575,2124	753,8295

### 3.6.2. Defleksi (Displacement )

#### 3.6.2.1. Defleksi Saat Keadaan Statik



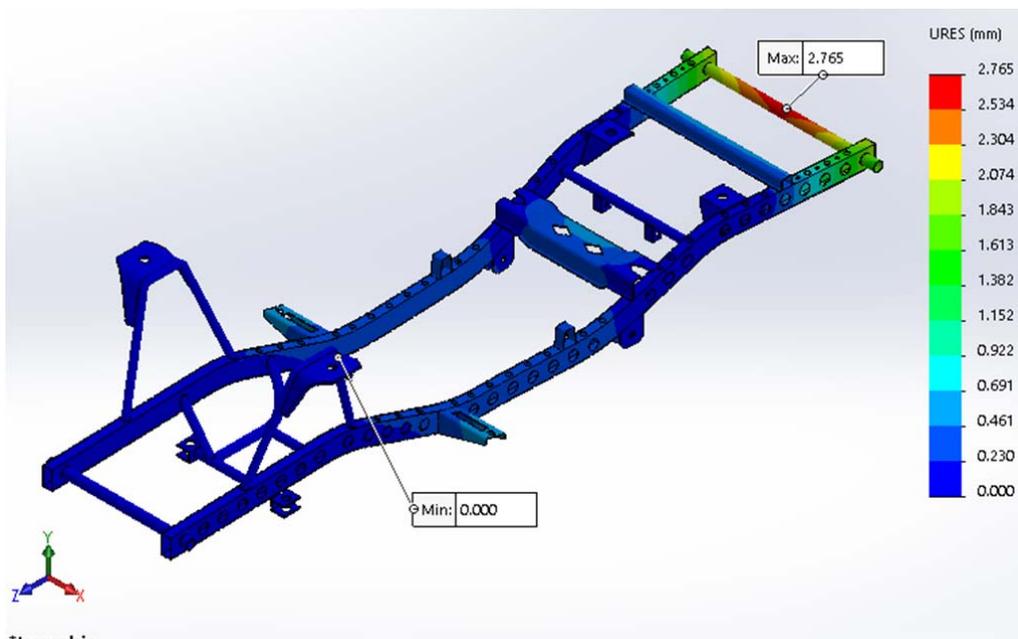
**Gambar 3.28 Defleksi Saat Keadaan Statik**

Gambar 3.28 menunjukkan hasil simulasi defleksi saat keadaan statik, defleksi maksimum yang terjadi saat keadaan statik dengan jenis material alloy steel adalah 1,31163 mm di *node 37047* atau terletak di pipa *hollow* bagian belakang *chassis*, seperti pada gambar 3.25. Sedangkan defleksi minimum yang terjadi pada *chassis* sebesar 0 mm di *node 195*. Untuk mengetahui lokasi titik koordinatnya dapat dilihat pada tabel 3.8 :

**Tabel 3.8 Lokasi Defleksi Saat Keadaan Statik**

<i>Name</i>	<i>Type</i>	<i>Min</i>		<i>Max</i>
Stress1	URES: <i>Resultant Displacement</i>	0 mm <i>Node 195</i>		1,31163 mm <i>Node 37047</i>
<i>Node</i>	<i>Value</i>	<i>X (mm)</i>	<i>Y (mm)</i>	<i>Z (mm)</i>
195	0 mm	474,2431	1079,157	964,6072
84266	1,31163 mm	25,092727	585,3991	-1905,204

**3.6.2.2. Defleksi Saat Keadaan Tanjakan**



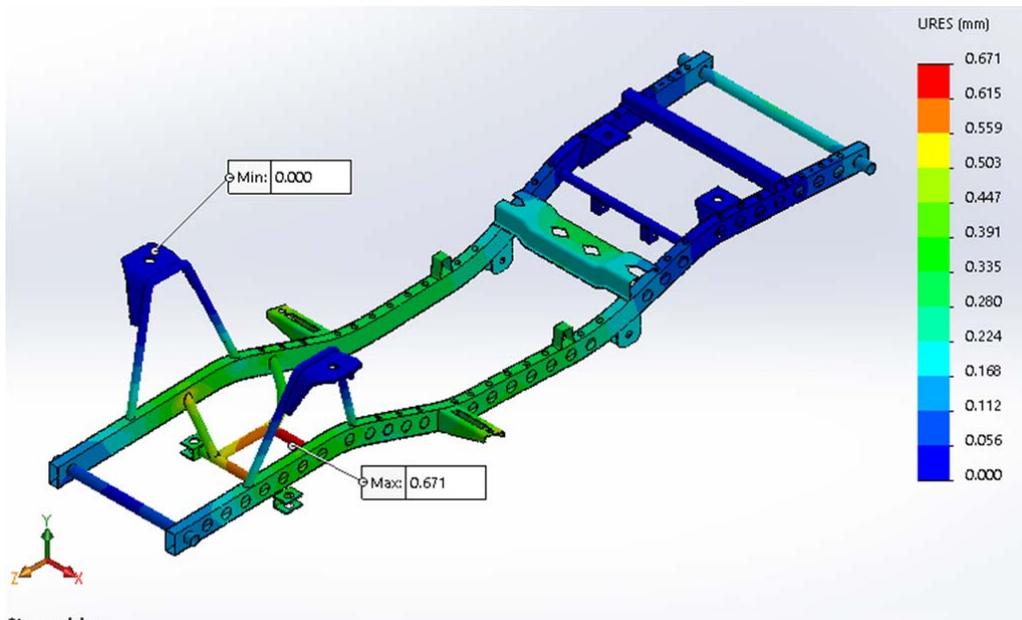
**Gambar 3.29 Defleksi Saat keadaan Tanjakan**

Gambar 3.29 menunjukkan hasil simulasi defleksi saat keadaan tanjakan, defleksi maksimum yang terjadi saat keadaan tanjakan dengan jenis material alloy steel adalah 2,76483 mm di *node 37047* atau terletak di pipa *hollow* bagian belakang chassis, seperti pada gambar 3.26. Sedangkan defleksi minimum yang terjadi pada *chassis* sebesar 0 mm di *node 195*. Untuk mengetahui lokasi titik koordinatnya dapat dilihat pada tabel 3.9 :

**Tabel 3.9 Lokasi Defleksi Saat Keadaan Tanjakan**

<i>Name</i>	<i>Type</i>	<i>Min</i>		<i>Max</i>
Stress1	URES: <i>Resultant Displacement</i>	0 mm <i>Node 195</i>		2.76483 mm <i>Node 37047</i>
<i>Node</i>	<i>Value</i>	<i>X (mm)</i>	<i>Y (mm)</i>	<i>Z (mm)</i>
195	0 mm	478,3720	1079,537	968,3669
37047	2,76483 mm	25,09272	585,3991	-1905,204

**3.6.2.3. Defleksi Saat Keadaan Turunan**



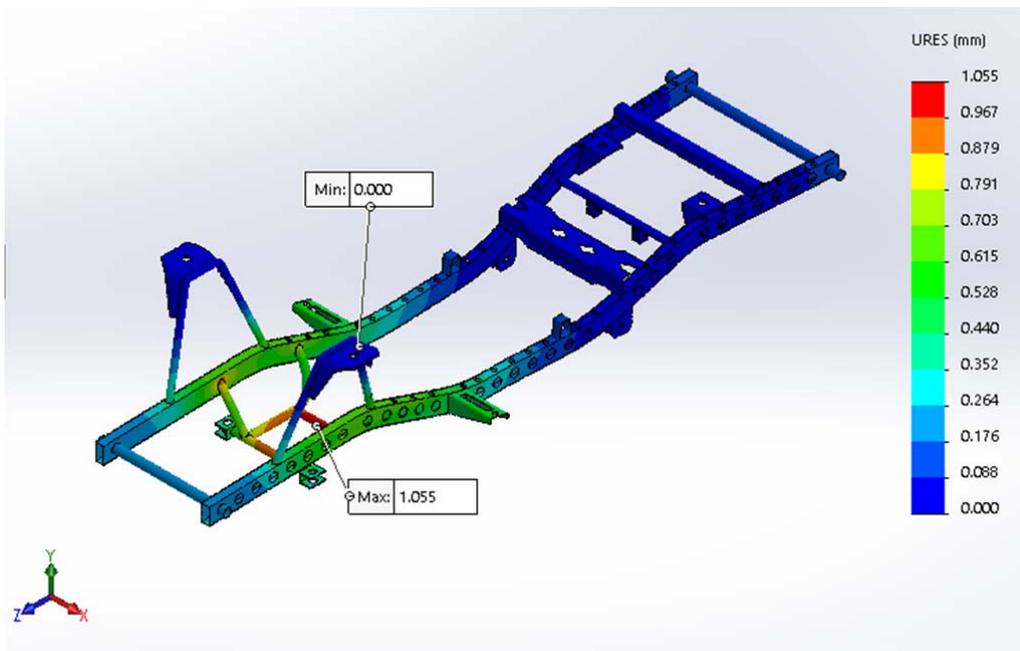
**Gambar 3.30 Defleksi Saat Keadaan Turunan**

Gambar 3.30 menunjukkan hasil simulasi defleksi saat keadaan turunan, defleksi maksimum yang terjadi saat keadaan turunan dengan jenis material alloy steel adalah 0,670864 mm di *node* 214631 atau terletak di pipa *hollow* bagian depan *chassis*, seperti pada gambar 3.27. Sedangkan defleksi minimum yang terjadi pada *chassis* sebesar 0 mm di *node* 195. Untuk mengetahui lokasi titik koordinatnya dapat dilihat pada tabel 3.10 :

**Tabel 3.10 Lokasi Defleksi Saat Keadaan Turunan**

<i>Name</i>	<i>Type</i>	<i>Min</i>		<i>Max</i>
Stress1	URES: <i>Resultant Displacement</i>	0 mm <i>Node 195</i>		0,670864 mm <i>Node 214631</i>
<i>Node</i>	<i>Value</i>	<i>X (mm)</i>	<i>Y (mm)</i>	<i>Z (mm)</i>
195	0 mm	-530,830	1084,3680	980,9586
214631	0,670864 mm	3,21085	319,7719	754,4987

**3.6.2.4. Defleksi Saat Keadaan Pengereman**



**Gambar 3.31 Defleksi Saat Keadaan Pengereman**

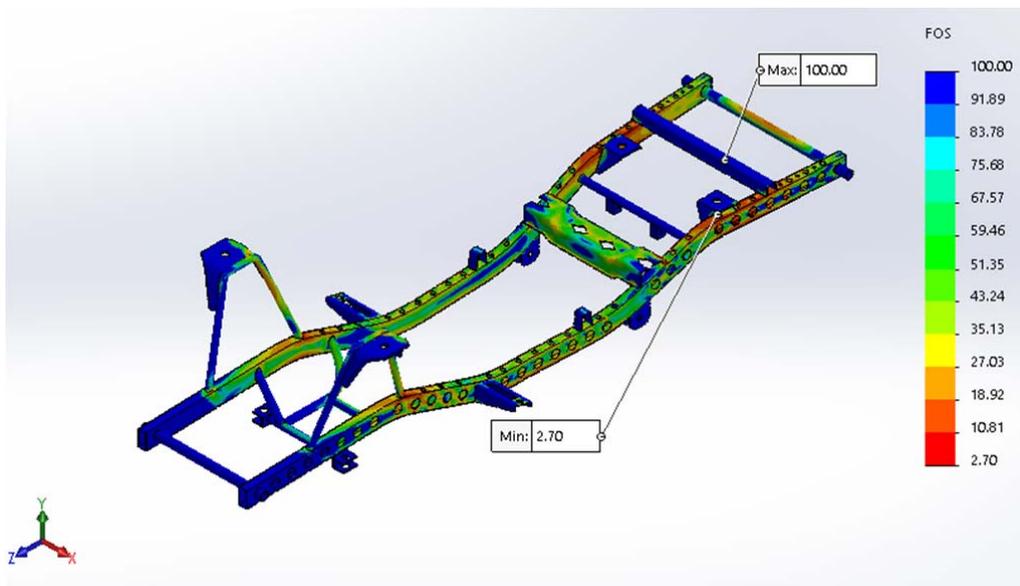
Gambar 3.31 menunjukkan hasil simulasi defleksi saat keadaan Pengereman, defleksi maksimum yang terjadi saat keadaan pengereman defleksi dengan jenis material alloy steel adalah 1,05511 mm di *node* 214664 atau terletak di pipa *hollow* bagian depan *chassis*, seperti pada gambar 3.28. Sedangkan defleksi minimum yang terjadi pada *chassis* sebesar 0 mm di *node* 195. Untuk mengetahui lokasi titik koordinatnya dapat dilihat pada tabel 3.11 :

**Tabel 3.11 Lokasi Defleksi Saat Keadaan Pengereman**

<i>Name</i>	<i>Type</i>	<i>Min</i>		<i>Max</i>
Stress1	URES: <i>Resultant</i> <i>Displacement</i>	0 mm 195		1,05511 mm <i>Node 37047</i>
<i>Node</i>	<i>Value</i>	<i>X (mm)</i>	<i>Y (mm)</i>	<i>Z (mm)</i>
195	0 mm	-3,65328	313,1223	753,2802
214664	1,05511 mm	474,2431	1079,157	964,6072

### 3.6.3. Faktor Keamanan (Factor of Safety )

#### 3.6.3.1. Faktor Keamanan Saat Keadaan Statik



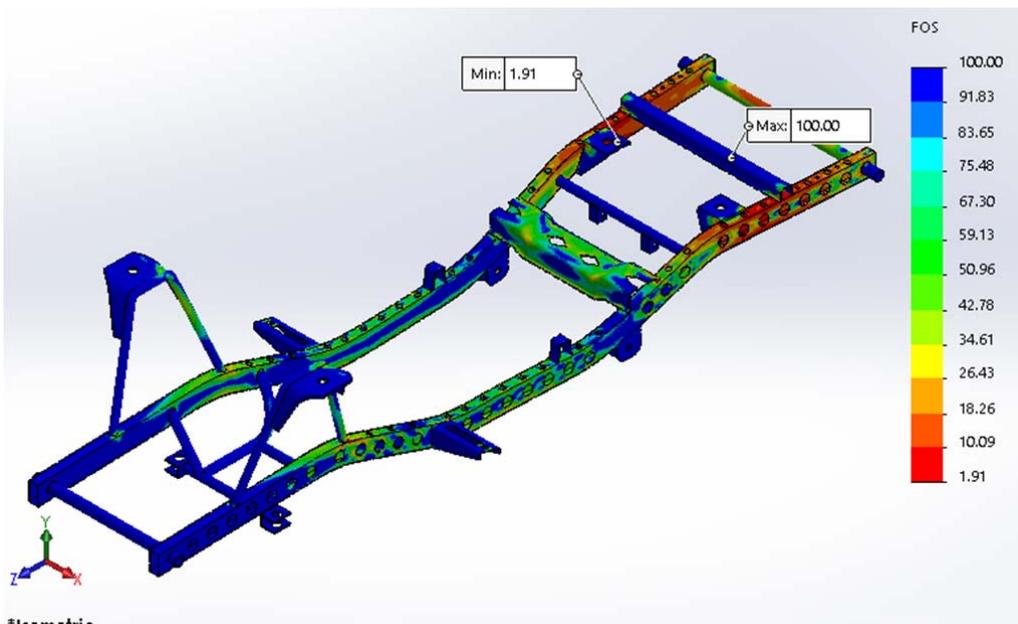
**Gambar 3.32 Faktor Keamanan Saat Keadaan Statik**

Gambar 3.32 menunjukkan hasil simulasi faktor keamanan saat keadaan statik, faktor Keamanan maksimum yang terjadi saat keadaan statik dengan jenis material alloy steel adalah 100 di *node 4*, atau terletak di batang kedua dari belakang *chassis* seperti pada gambar 3.29. Sedangkan faktor keamanan minimum yang terjadi pada *chassis* sebesar 2,70038 di *node 87773*. Untuk mengetahui lokasi titik koordinatnya dapat dilihat pada tabel 3.12 :

**Tabel 3.12 Lokasi Faktor Keamanan Saat Keadaan Statik**

<i>Name</i>	<i>Type</i>	<i>Min</i>		<i>Max</i>
Factor of Safety1	<i>Automatic</i>	2,70038 <i>Node 87773</i>		100 <i>Node 4</i>
<i>Node</i>	<i>Value</i>	<i>X (mm)</i>	<i>Y (mm)</i>	<i>Z (mm)</i>
87773	2,70038	369,1921	608	-1221,291
4	100	146,0937	663	-1490

**3.6.3.2. Faktor Keamanan Saat Keadaan Tanjakan**



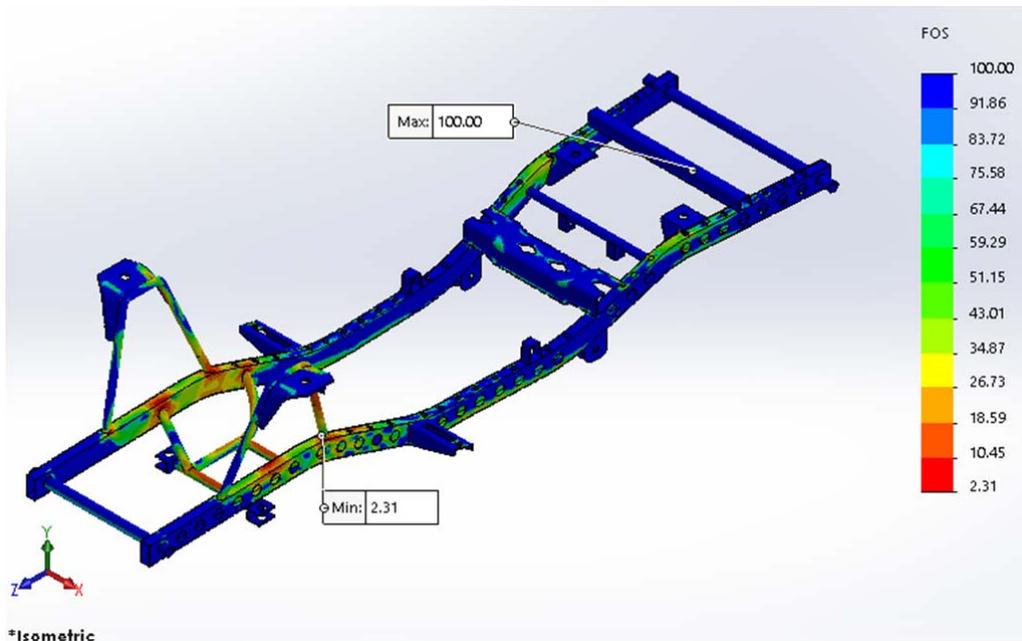
**Gambar 3.33 Faktor Keamanan Saat Keadaan Tanjakan**

Gambar 3.33 menunjukkan hasil simulasi faktor Keamanan saat keadaan tanjakan, faktor Keamanan maksimum yang terjadi saat keadaan tanjakan dengan jenis material alloy steel adalah 100 di *node 4*, atau terletak di batang kedua dari belakang *chassis* seperti pada gambar 3.30. Sedangkan faktor keamanan minimum yang terjadi pada *chassis* sebesar di 1,91135 *node 20057*. Untuk mengetahui lokasi titik koordinatnya dapat dilihat pada tabel 3.13 :

**Tabel 3.13 Lokasi Faktor Keamanan Saat Keadaan Tanjakan**

<i>Name</i>	<i>Type</i>	<i>Min</i>		<i>Max</i>
Factor of Safety1	<i>Automatic</i>	1,91135 <i>Node 20057</i>		100 <i>Node 4</i>
<i>Node</i>	<i>Value</i>	<i>X (mm)</i>	<i>Y (mm)</i>	<i>Z (mm)</i>
20057	1,91135	-381,201	512	-1417
4	100	152,7343	662,4402	-1486,226

**3.6.3.3. Faktor Keamanan Saat Keadaan Turunan**



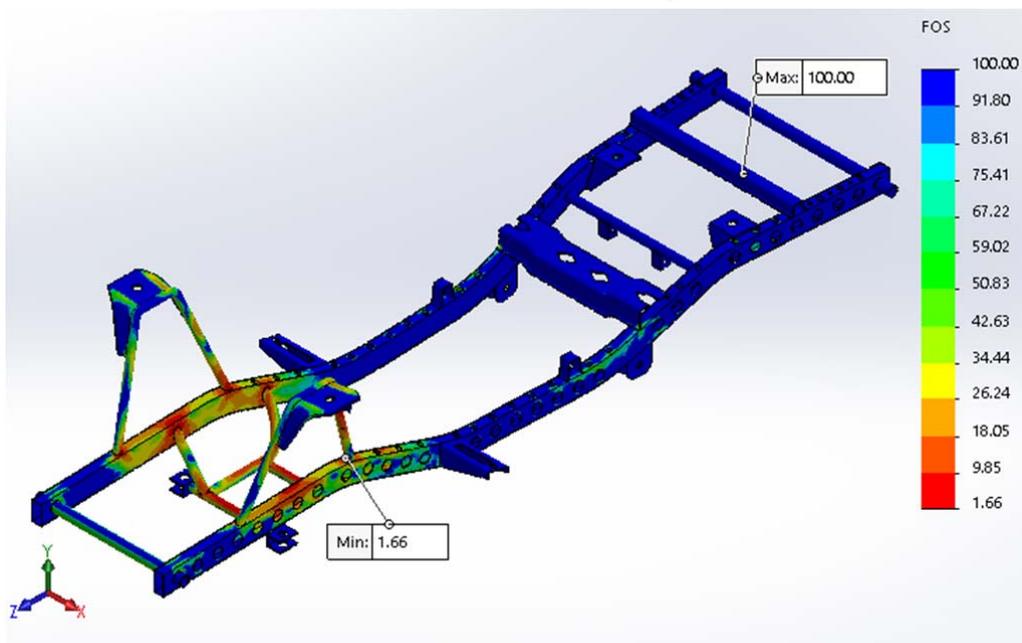
**Gambar 3.34 Faktor Keamanan Saat Keadaan Turunan**

Gambar 3.34 menunjukkan hasil simulasi faktor keamanan saat keadaan turunan, faktor keamanan maksimum yang terjadi saat keadaan turunan dengan jenis material alloy steel adalah 100 di *node 4*, atau terletak di batang kedua dari belakang chassis seperti pada gambar 3.31. Sedangkan faktor keamanan minimum yang terjadi pada *chassis* sebesar di 2,30631 *node 84270*. Untuk mengetahui lokasi titik koordinatnya dapat dilihat pada tabel 3.14 :

**Tabel 3.14 Lokasi Faktor keamanan Saat Keadaan Turunan**

<i>Name</i>	<i>Type</i>	<i>Min</i>		<i>Max</i>
Factor of Safety1	<i>Automatic</i>	2,30631 <i>Node 84270</i>		100 <i>Node 4</i>
<i>Node</i>	<i>Value</i>	<i>X (mm)</i>	<i>Y (mm)</i>	<i>Z (mm)</i>
84270	2,30631	305,1273	572,8357	741,20214
4	100	104,5898	621,6875	-1535

**3.6.3.4. Faktor Keamanan Saat Keadaan Pengereman**



**Gambar 3.35 Faktor Keamanan Saat Keadaan Pengereman**

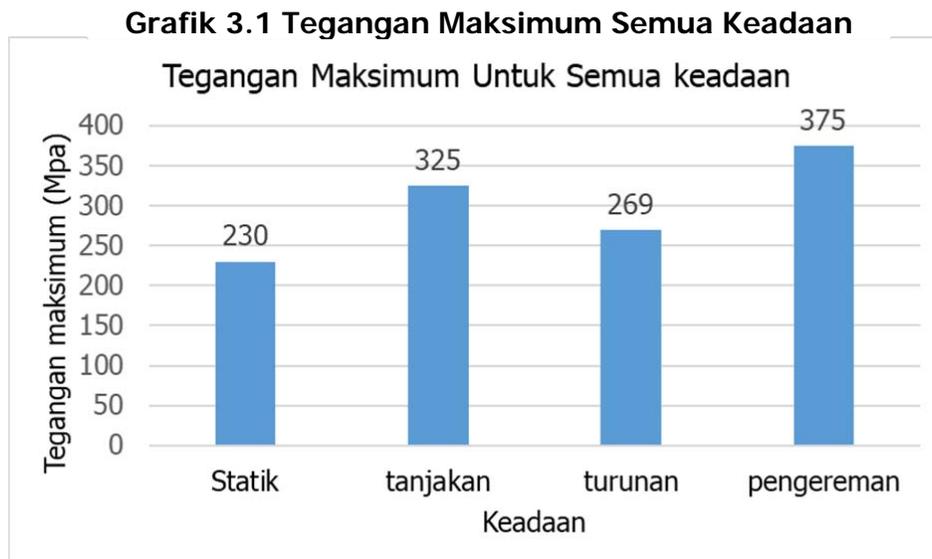
Gambar 3.35 menunjukkan hasil simulasi faktor keamanan saat keadaan Pengereman, faktor Keamanan maksimum yang terjadi saat keadaan pengereman dengan jenis material alloy steel adalah 100 di *node 4*, atau terletak di batang kedua dari belakang chassis seperti pada gambar 3.32. Sedangkan faktor keamanan minimum yang terjadi pada *chassis* sebesar di 1,65586 *node 84266*. Untuk mengetahui lokasi titik koordinatnya dapat dilihat pada tabel 3.15 :

**Tabel 3.15 Lokasi Faktor Keamanan Saat Keadaan Pengereman**

<i>Name</i>	<i>Type</i>	<i>Min</i>		<i>Max</i>
Factor of Safety1	<i>Automatic</i>	1,65586 <i>Node 84266</i>		100 <i>Node 4</i>
<i>Node</i>	<i>Value</i>	<i>X (mm)</i>	<i>Y (mm)</i>	<i>Z (mm)</i>
84266	1,65586	306,9035	575,2124	753,8295
4	100	149,4140	662,8593	-1488,092

Setelah melakukan analisis pada *chassis* mobil listrik untuk semua keadaan, ada beberapa poin yang perlu diketahui:

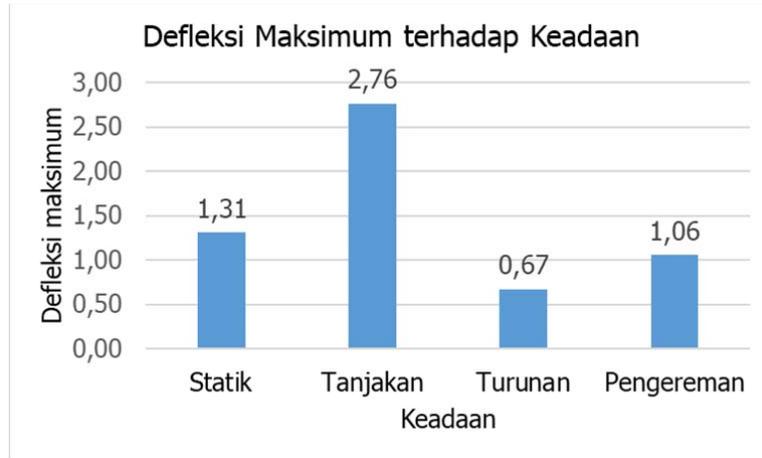
Dari hasil *stress analysis* dengan empat keadaan, tegangan maksimum yang terjadi ada di keadaan pengereman, dengan nilai 374.682 Mpa seperti di grafik 3.1. Hal ini dikarenakan adanya konsentrasi tegangan yang cukup tinggi dibandingkan dengan keadaan yang lain.



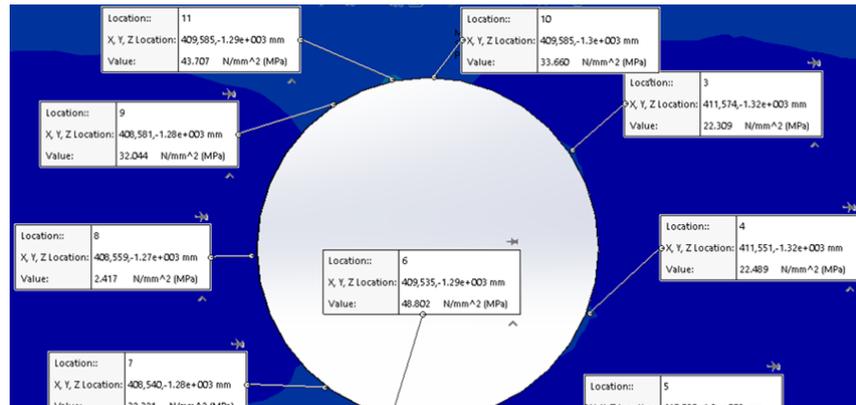
Dari hasil simulasi tiap keadaan, untuk defleksi maksimum yang terjadi ada di keadaan tanjakan dengan nilai 2.76 mm seperti pada grafik 3.2, hal ini

dikarenakan adanya konsentrasi beban di bagian belakang dan jarak yang lebih dengan tumpuan, variabel jarak mempengaruhi nilai defleksi

**Grafik 3.2 Defleksi Maksimum Semua Keadaan**



Setelah dilakukan simulasi keadaan statik, kemudian dilakukan pengecekan di sekitar permukaan yang ada lubangnya, hasilnya menunjukkan bahwa tegangan yang terjadi tidak melewati tegangan maksimum yang terjadi, dapat dilihat pada gambar :



**Gambar 3.36 Tegangan di permukaan lubang**

## **BAB IV**

### **PERENCANAAN PEMBUATAN BODY MOBIL LISTRIK**

#### **4.1 Pemodelan Aerodinamis**

Merancang bentuk mobil secara benar memungkinkan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar dan meningkatkan karakteristik pengendalian kendaraan. Ada tiga pendekatan (teoretis, simulasi dan experimental) yang dapat digunakan untuk memperoleh informasi mengenai gaya gaya fluida yang terbentuk oleh aliran luar.

Teknik teoretis (kajian analitis) dapat memberikan banyak informasi yang diperlukan mengenai aliran luar. Namun demikian karena kompleksitas persamaan pengaturannya dan kompleksitas dari bentuk geometris mobil, maka banyaknya informasi yang diperoleh secara teoretis murni menjadi sangat terbatas.

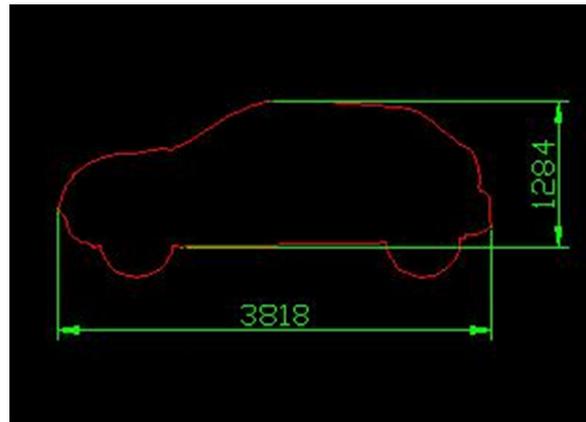
Untuk informasi mengenai aliran luar yang paling valid dapat diperoleh dari eksperimen eksperimen. Kebanyakan eksperimen yang dilakukan menggunakan model model yang diskala dari benda sebenarnya. Pengujian tersebut menggunakan pengujian terowongan angin. Namun untuk membuat model yang akan diuji perlu waktu yang lama dan biaya yang cukup besar.

Dengan kemajuan saat ini dibidang komputasi mekanika fluida, maka simulasi komputer mengenai gaya gaya dan pola aliran yang rumit akan dapat lebih cepat dipeoleh. Untuk itu dalam rangka memperoleh bentuk yang optimal, dilakukan simulasi menggunakan komputer. Setelah mendapatkan bentuk yang optimal maka pada tahap selanjutnya akan dilakukan pengujian eksperimental di terowongan angin.

Pada kajian ini akan disimulasikan tiga bentuk mobil seperti terlihat pada Gambar 4.1 sampai dengan 4.3, dengan dimensi dalam satuan mm seperti yang terlihat di masing masing Gambar. Masing masing akan diberi nama model 1, model 2 dan model 3,.



Gambar 4.1. Model Mobil 1



Gambar 4.2. Model Mobil 2



Gambar 4.3. Model Mobil 3

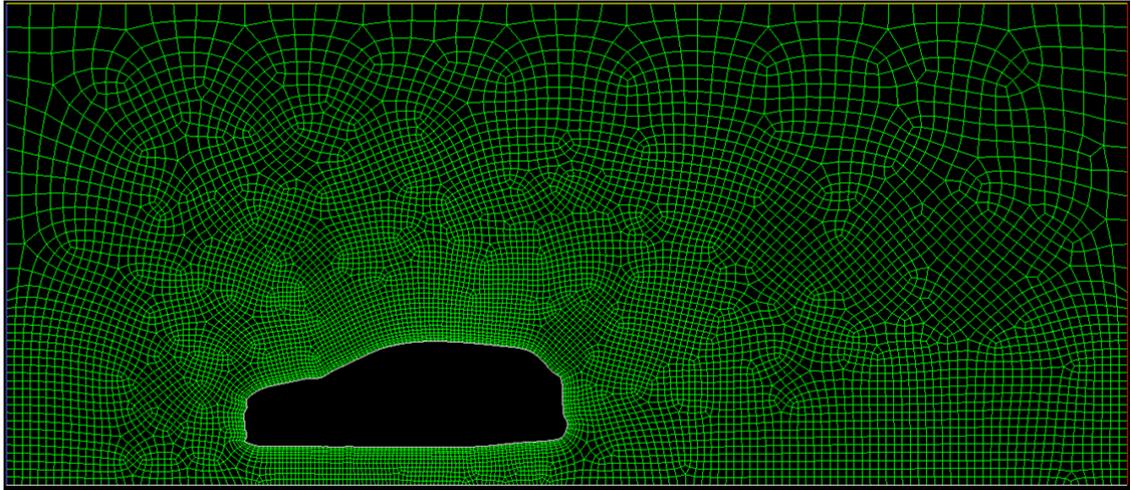
## Metode Pemodelan

Metode analisis yang digunakan adalah metode numerik dimana masalah matematika diformulasikan sedemikian rupa sehingga dapat diselesaikan oleh pengoperasian aritmetika. Metode numerik mencakup sejumlah besar kalkulasi aritmetika yang menjenuhkan, namun dengan perkembangan komputer yang cepat dan efisien, peranan metoda numerik dalam penyelesaian masalah teknik semakin meningkat. Alasan mengapa menggunakan metoda numerik adalah karena metoda numerik sanggup menangani sistem persamaan yang besar, tidak linear serta geometri rumit yang tidak biasa terjadi dalam praktik keteknikan dan seringkali tidak mungkin diselesaikan dengan cara teoretis.

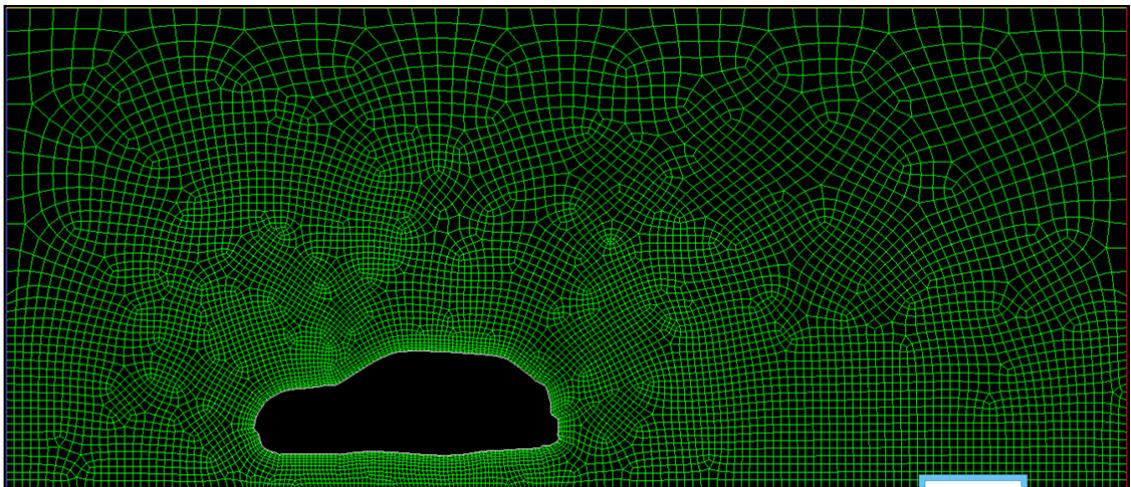
Fluent adalah salah satu jenis program aplikasi metode numerik yang lebih dikenal dengan program CFD (*Computational Fluid Dynamics*) yang dapat mensimulasikan aliran fluida melewati benda terendam seperti aliran udara melewati mobil.

Beberapa tahapan dalam menyelesaikan analisis aliran dengan menggunakan program CFD, yaitu :

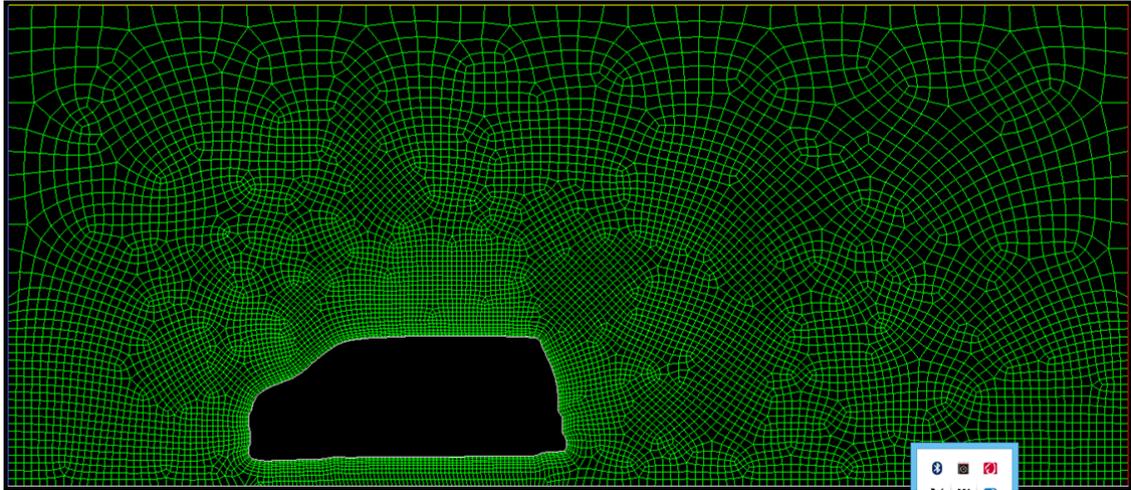
- a. Menentukan tujuan pemodelan; Tujuan pemodelan ini adalah membandingkan pola aliran luar yang meliputi distribusi kecepatan dan *pathlines* serta tekanan drag dari tiga bentuk model yang dikaji.
- b. Membuat model geometri dan melakukan *meshing*. *Meshing* model geometri adalah membagi bagian yang akan disimulasikan menjadi bagian-bagian kecil agar dapat dianalisis pada program CFD. Ukuran mesh diatur sedemikian rupa agar diperoleh hasil yang teliti dan diusahakan daya komputasi yang dibutuhkan tidak terlalu besar. Untuk tahap kajian perbandingan ini hanya dibuat model dua dimensi (2D) saja. Adapun model geometri yang telah di-*meshing* terlihat pada Gambar 4 sampai dengan 6. Untuk model 2D, roda mobil tidak disimulasikan, karena model 2D ini mempresentasikan pola aliran di potongan tengah mobil.



Gambar 4.4. Model Mobil 1 yang telah di *meshing*.



Gambar 4.5. Model Mobil 2 yang telah di *meshing*.



Gambar 4.6. Model Mobil 2 yang telah di *meshing*.

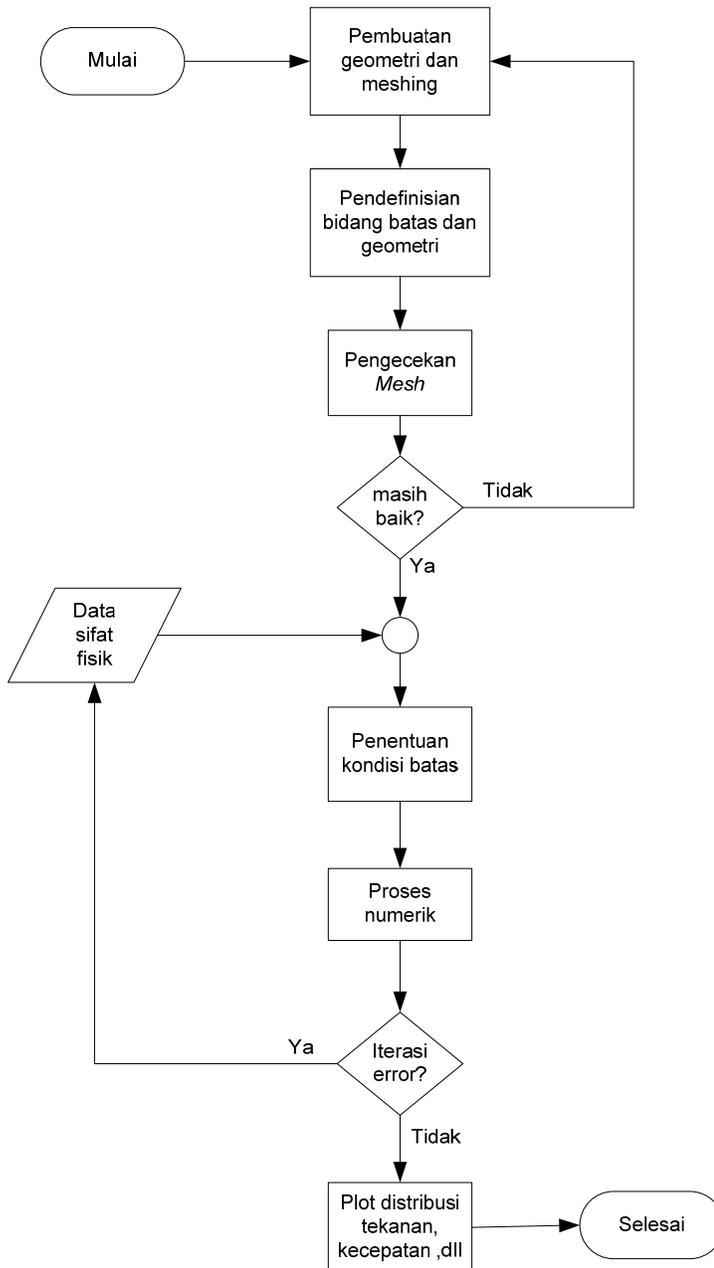
Dalam simulasi ini, model mobil diam sedangkan udara mengalir melalui bagian luar mobil mulai dari batas depan dari mesh (*inlet*) dan keluar dibatas belakang (*outlet*).

Berikut ini adalah data data pada Tabel 4.1 yang digunakan untuk simulasi

Tabel 4.1 Syarat Batas.

Masukan (Inlet)	Kecepatan	30 m/s
Keluaran (outlet)	Tekanan statik gauge	0 Pa

Diagram alir untuk prosedur perhitungan dengan CFD adalah seperti pada Gambar 4.7 berikut ini:

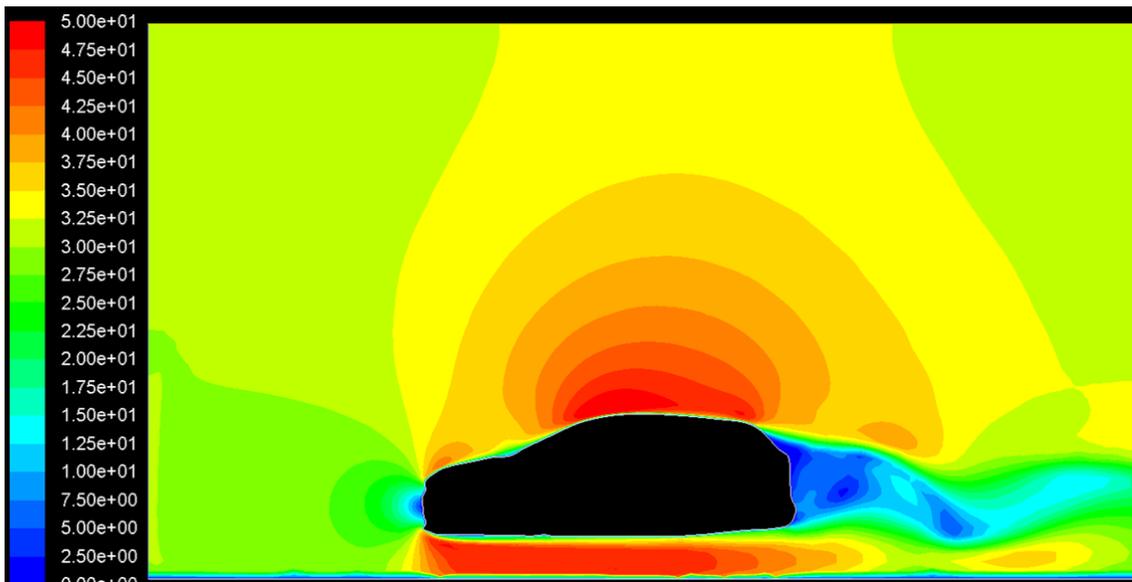


Gambar 4.7. Diagram alir perhitungan CFD

## Hasil Pemodelan

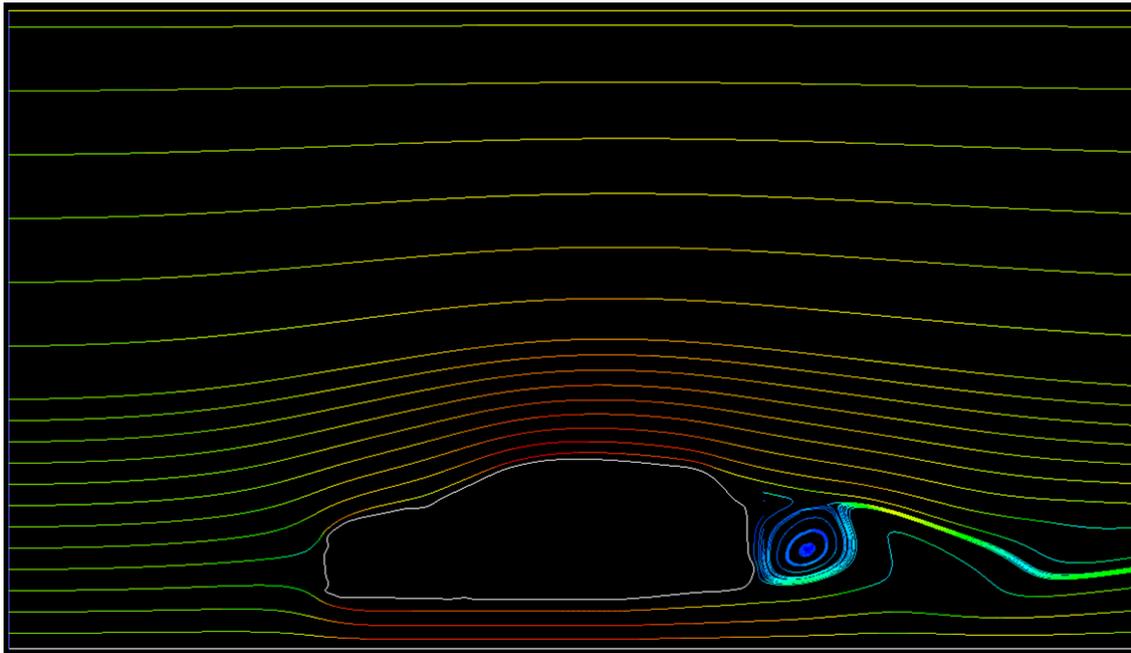
### Model 1

Gambar 4.8 menunjukkan distribusi kecepatan untuk model 1. Kecepatan ditunjukkan dengan skala warna, dimana warna merah menunjukkan kecepatan udara yang tinggi (50 m/s), sedangkan warna biru menunjukkan kecepatan udara yang rendah (0 m/s). Dari distribusi kecepatan ini bisa dilihat terjadi percepatan udara secara bertahap sampai mencapai maksimum di atas mobil. Ini menunjukkan bahwa bentuk mobil bagian depan sudah cukup aerodinamis. Sedangkan bagian belakang terlihat daerah dengan kecepatan rendah atau daerah separasi. Semakin luas daerah separasi akan semakin besar kerugian aliran yang dihasilkan.



Gambar 4.8. Distribusi kecepatan untuk model mobil 1.

Gambar 4.9 menunjukkan *pathlines*, yaitu alur aliran yang disekitar mobil. Disini daerah separasi ditunjukkan oleh *pathlines* yang berputar dibelakang mobil. Daerah ini menandakan aliran tidak terarah dengan baik.

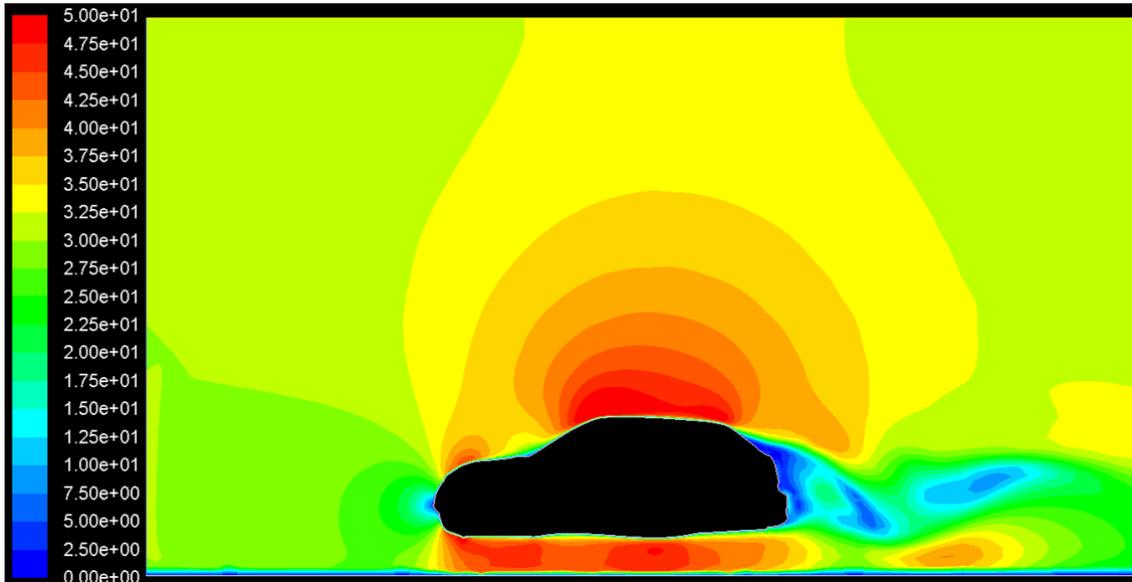


Gambar 4.9. *Pathlines* aliran untuk model mobil 1.

Gaya drag yang dihasilkan oleh mobil model 1 dibagi menjadi dua, yaitu drag tekanan dan drag viskos, yang masing masing adalah 268,5 N dan 20,2 N. Dengan demikian gaya drag total adalah 288,7 N. Gaya drag tekanan terjadi karena bentuk mobil sedangkan gaya drag viskos terjadi karena gesekan antara udara dengan dinding mobil

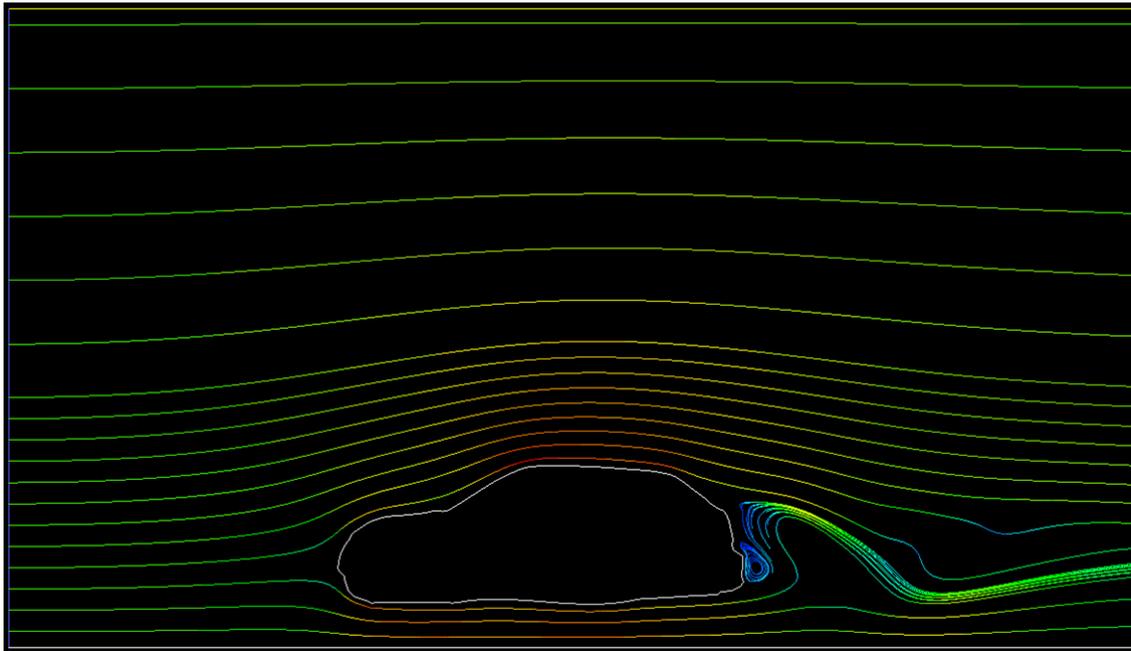
## Model 2

Gambar 4.10 menunjukkan distribusi kecepatan untuk model mobil 2. Seperti halnya pada model 1, terjadi percepatan dari udara secara bertahap pada sisi atas dari model 2 ini. Daerah separasi dibelakang mobil juga terlihat jelas.



Gambar 4.10. Distribusi kecepatan untuk model mobil 2.

Gambar 4.11 menunjukkan *pathlines* aliran disekitar model mobil 2. Dibandingkan dengan model mobil 1, maka luas daerah separasi lebih kecil, sehingga kerugian aliran juga akan menjadi lebih kecil.

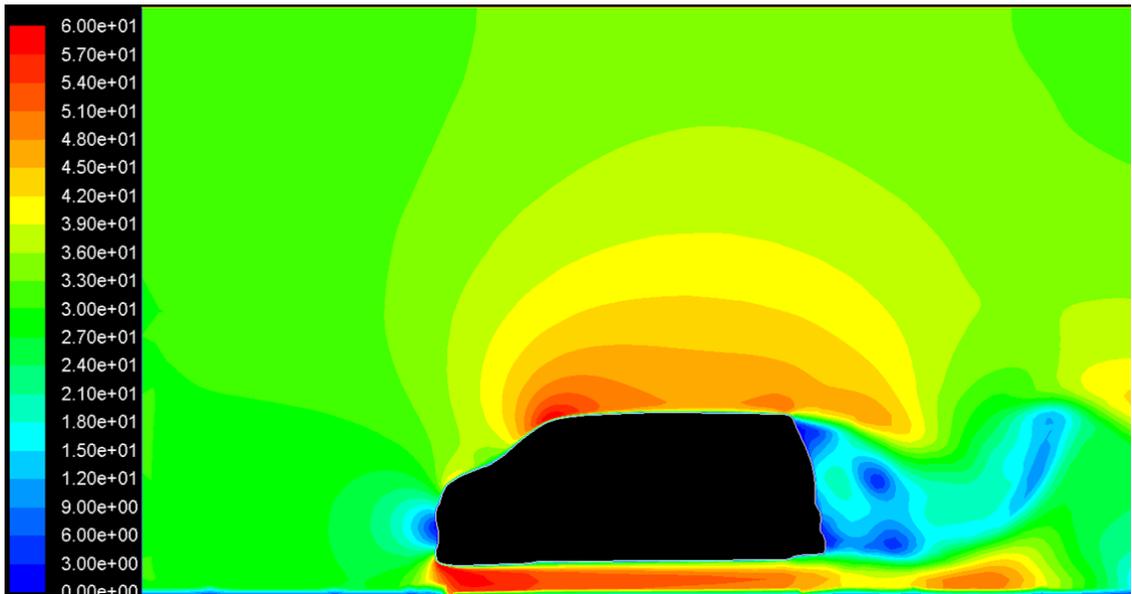


Gambar 4.11. *Pathlines* aliran untuk model mobil 2.

Gaya drag yang dihasilkan oleh mobil model 2 adalah 243,5 N untuk drag tekanan dan 17,8 N untuk drag viskos, sehingga gaya drag total adalah 261,3 N. Dengan demikian gaya drag model 2 lebih kecil dari model 1. Ini menunjukkan bahwa secara aerodinamis, maka model 2 sedikit lebih baik dari model 1.

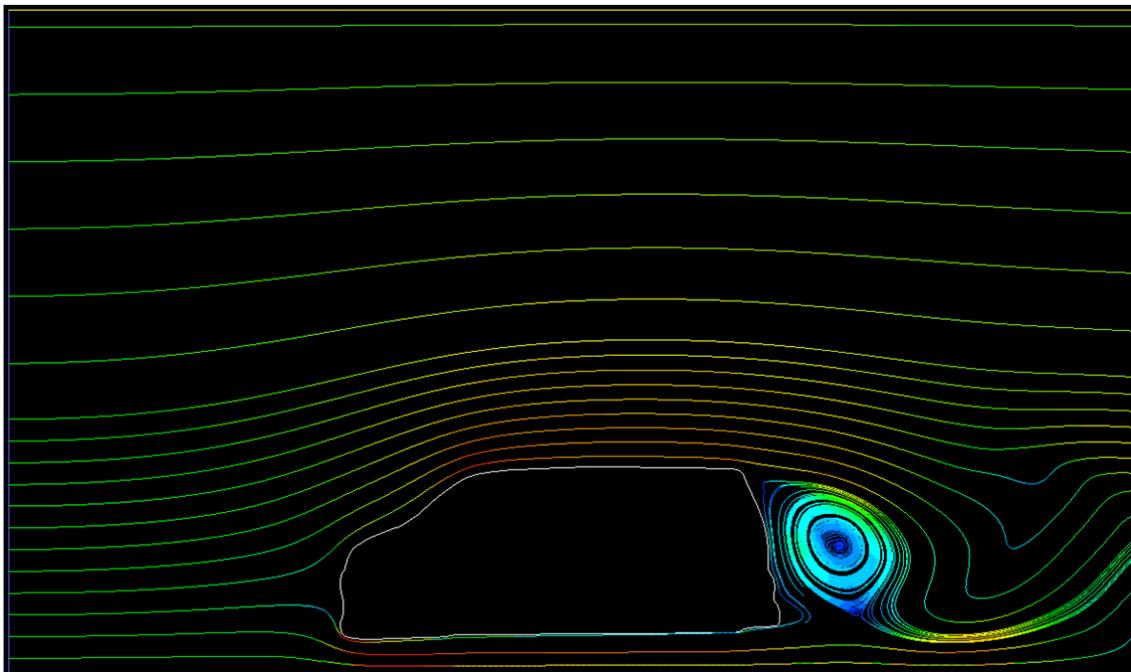
### **Model 3**

Gambar 4.12 menunjukkan distribusi kecepatan untuk model mobil 3. Dibandingkan dengan model model sebelumnya maka percepatan udara yang terjadi di bagian depan mobil lebih cepat dan juga kecepatan maksimum mencapai 60 m/s, lebih tinggi dari model model sebelumnya. Disamping itu luas daerah separasi juga lebih besar. Ini semua menunjukkan kerugian tekanan akan lebih besar dengan model 1 dan model 2.



Gambar 4.12. Distribusi kecepatan untuk model mobil 3.

Gambar 4.13 menunjukkan *pathlines*, yaitu alur aliran yang disekitar model mobil 3. Daerah separasi di belakang terlihat lebih besar yang menandakan bagian belakang model 3 kurang optimal.



Gambar 4.13. *Pathlines* aliran untuk model mobil 3.

Gaya drag yang dihasilkan oleh mobil model 3 adalah 738,5 N untuk drag tekanan dan

23,6 N untuk drag viskos, sehingga gaya drag total adalah 762,1 N. Model mobil 3 mempunyai gaya drag yang paling besar. Hal ini terjadi karena karena bentuk geometri model 3 yang kurang bagus.

### **Kesimpulan Hasil Pemodelan**

Dari hasil analisa aliran yang dilakukan terhadap tiga bentuk model mobil dengan kecepatan udara bebas sebesar 30 m/s, dapat disimpulkan sebagai berikut:

Dari gaya drag total yang dihasilkan seperti terlihat pada tabel 2, maka model yang terbaik adalah model 2 dan model 1 sedikit lebih jelek dari model 2. Model 3 mempunyai gaya drag total yang jauh lebih besar dibandingkan model 1 dan 2, karena bentuknya yang kurang aerodinamis. Hal ini juga terkonfirmasi pada pola aliran dari model 3.

Tabel 4.2: Gaya drag total

Model 1	288,7 N
Model 2	261,3 N
Model 3	762,1 N

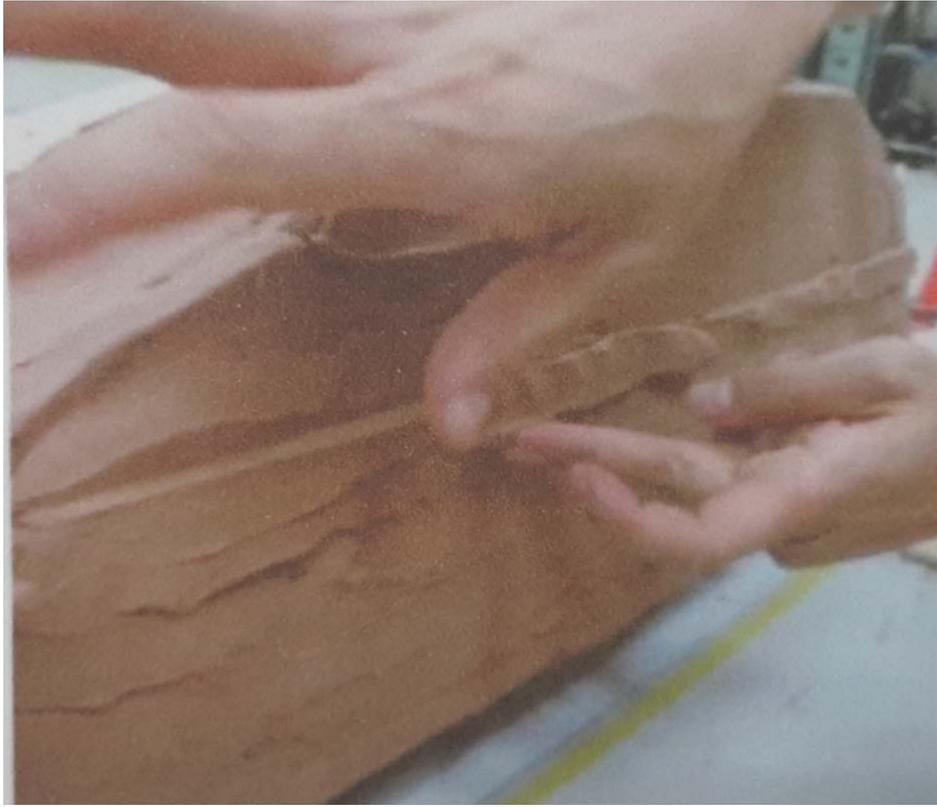
## 4.2 Pembuatan Model Clay

Tahapan yang penting dalam membuat mobil adalah pembuatan model. Salah satu metode yang cukup efektif adalah dengan membuat clay model. Clay model ini dengan ukuran skala 1 : 6.

Pada tahapan ini akan disajikan tahapan-tahapan dalam pembuatan clay model mobil listrik.

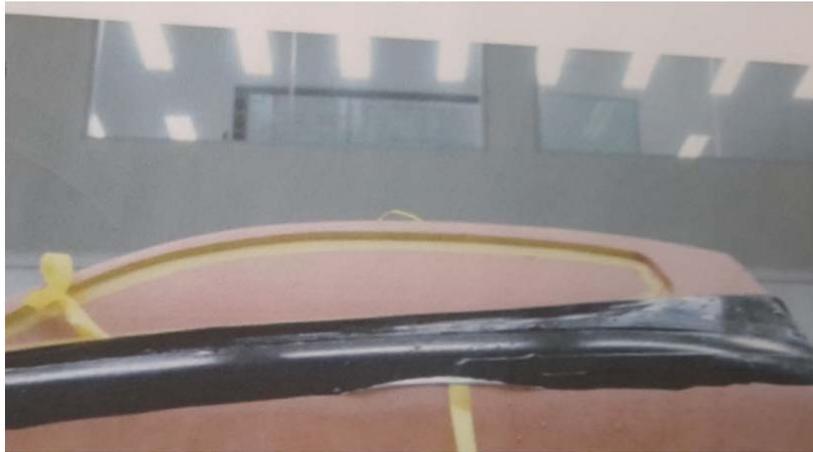
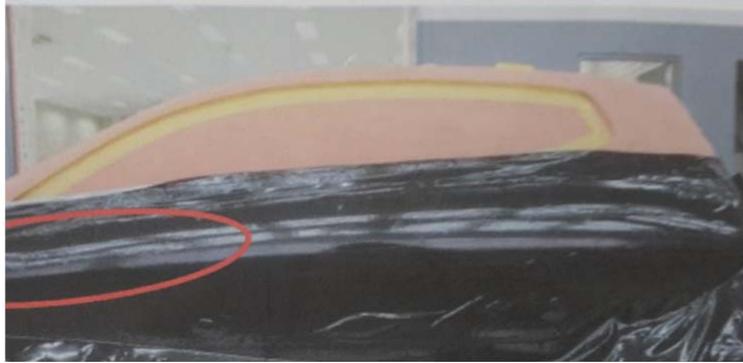






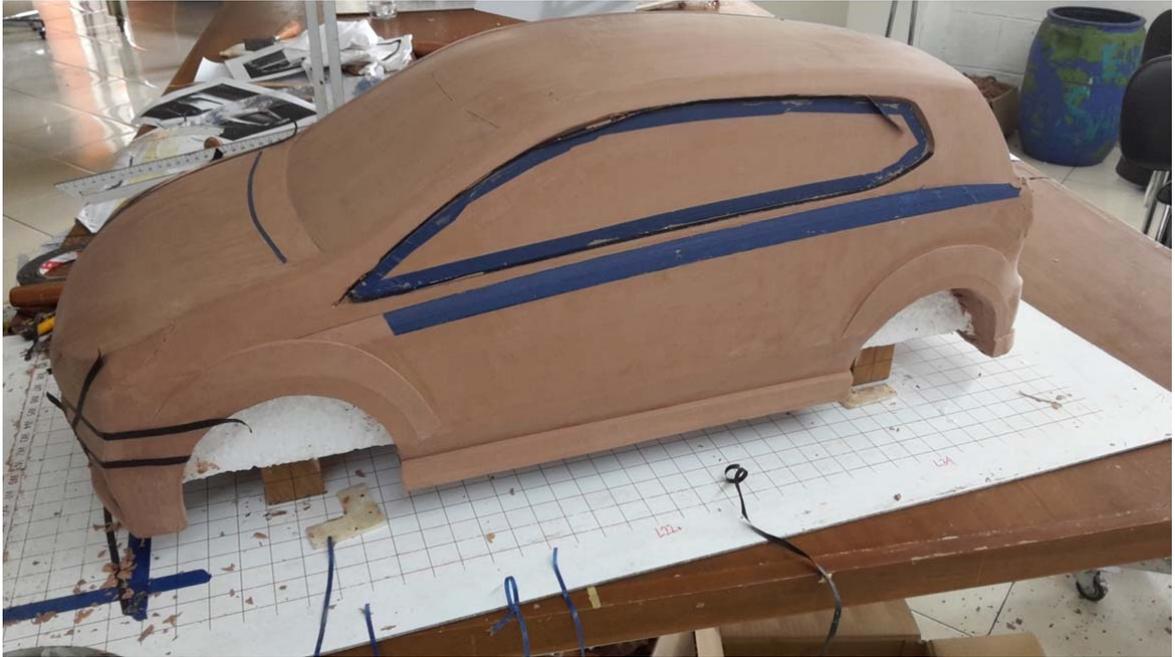
















### 4.3 Pengujian Model

Pengujian aerodinamis model mobil listrik dilaksanakan dalam terowongan angin (wind tunnel)

#### **Wind Tunnel (Terowongan Angin)**

*Wind Tunnel* (terowongan angin) merupakan peralatan uji berbentuk tabung dimana udara dipaksa melaju dengan kecepatan yang diatur untuk mempelajari efek aliran aerodinamis dari suatu benda. Objek atau benda yang diuji diletakkan dibagian tengah seksi uji (*test section*). Udara kemudian digerakkan melewati objek dengan sebuah sistem *fan*. Ada dua tipe wind tunnel yakni dengan sistem dengan saluran tertutup (*closed circuit*) dan sistem dengan saluran terbuka (*open circuit*). Dalam hal ini akan dibuat tipe *open circuit wind tunnel*, karena konstruksinya lebih sederhana dan biaya pembuatan relatif lebih murah dibandingkan dengan tipe *closed circuit wind tunnel*.

Sejak Frank H. Wenham (1824 – 1908), seorang anggota *Aeronautical Society Great Britain* pertama kali membangun *wind tunnel*, terowongan angin telah digunakan dalam waktu yang sangat lama untuk memverifikasi teori aerodinamis dari memfasilitasi desain pesawat, khususnya untuk aplikasi di dunia penerbangan. Hingga saat ini, penelitian aerodinamis telah diperluas ke bidang lain seperti industri otomotif, arsitektur, teknik sipil, lingkungan, dan lain – lain, sehingga uji melalui *wind tunnel* menjadi penting ssebagai sebuah keputusan awal dalam proses desain.

Meskipun teknologi komputasi semakin meningkat dengan penggunaan metode *Numerik Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk aplikasi interaksi benda dengan fluida, pengujian dalam *wind tunnel* masih diperlukan untuk pengembangan inovasi desain baru yang melibatkan interaksi kompleks tersebut. Hal ini karena komputasi numerik belum memberikan solusi yang akurat dalam fenomena fisik interaksi benda dengan fluida. Dan karena meningkatnya minat dari industri dan cabang ilmu – ilmu pengetahuan lain maka pengujian dengan *wind tunnel* menjadi sangat penting dalam desain dan penelitian.

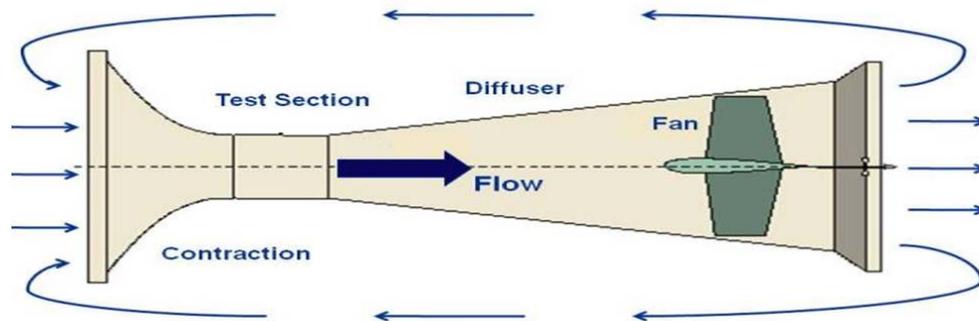
### **Tipe Wind Tunnel**

Berdasarkan dari segi jalur rangkaian untuk *wind tunnel* memiliki beberapa tipe diantaranya adalah :

1. Terowongan rangkaian terbuka (*Open Circuit Wind Tunnel*)
2. Terowongan rangkaian tertutup (*Close Circuit Wind Tunnel*)

### **Open Circuit Wind Tunnel**

Pada terowongan angin tipe ini udara mengikuti jalur lurus dan jalur masuk melalui rumah *fan*, kontraksi ke seksi uji lalu dilanjutkan ke *diffuser* dan diteruskan ke saluran keluar udara terbuka.



**Gambar 4.14** *Open Circuit Wind Tunnel*

Adapun dari tipe *open circuit wind tunnel* ini memiliki keuntungan diantaranya adalah :

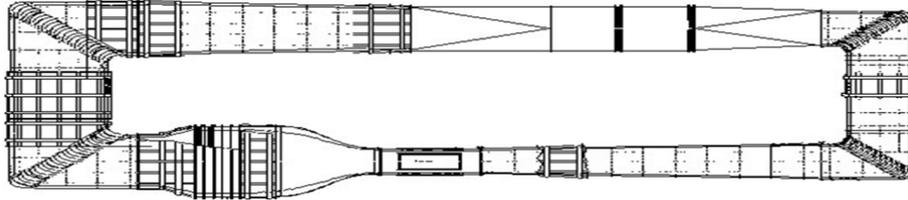
1. Konstruksi sederhana
2. Biaya rancang bangun rendah

Sedangkan kerugian dari *wind tunnel tipe open circuit* ini diantaranya adalah :

1. Jika diletakkan didalam ruangan, berdasarkan pada ukuran terowongan terhadap ukuran ruang bisa jadi dibutuhkan penyaringan tambahan pada inlet untuk mendapatkan aliran agar bertambah tinggi. Dengan cara yang sama *inlet/outlet* terbuka ke atmosfer, yang mana angin dan cuaca dingin dapat mempengaruhi operasi kerja *wind tunnel tipe open circuit*,
2. Secara umum berisik. Untuk ukuran lebih besar ( $A_{\text{Seksi uji}} > 70 \text{ pl}^2$ ), kebisingan mengakibatkan masalah lingkungan dan membatasi jam operasi *wind tunnel*.

### ***Close Circuit Wind Tunnel***

*Wind tunnel* tipe *close circuit* mempunyai tipe rangkaian jalur yang kontinyu untuk aliran udaranya. Sebagian tipe ini adalah jalur tunggal (*single return*).



**Gambar 4.15** *Close Circuit Wind Tunnel*

Adapun kelebihan dari *wind tunnel* tipe *close circuit* ini diantaranya adalah sebagai berikut :

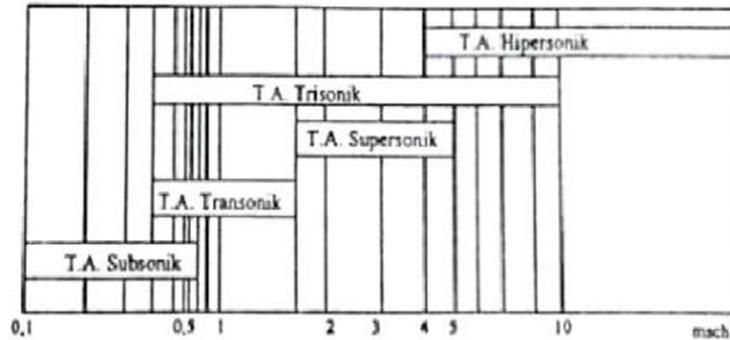
1. Dengan kegunaan *corner turning vanes*, arah dari aliran udara dapat dengan mudah dikontrol.
2. Tidak terlalu berisik

Sedangkan kekurangan dari tipe *closed circuit wind tunnel* ini diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Konstruksi rancang bangun lebih kompleks
2. Biaya awal yang besar akibat penambahan saluran kembali *returns ducts* dan *corner vanes*.
3. Untuk pengujian visualisasi aliran dengan asap harus ada saluran untuk pembuangan.

### **Jangkauan kecepatan**

Klasifikasi yang paling tepat dari terowongan angin ialah dengan jangkauan kecepatannya. Jangkauan kecepatan dari terowongan angin menentukan aturan-aturan similitas yang dominan didalamnya.



**Gambar 4.16** Klasifikasi Terowongan Angin Berdasarkan Bilangan Mach

**Tabel 4.3** Klasifikasi Terowongan Angin Berdasarkan Bilangan Mach

No	Mach	Jenis	Keterangan
1.	$0 < M < 0,3$	Kecepatan Rendah	Gaya – gaya inersia dan viskositas sangat dominan saat efek – efek kompresibilitas diabaikan
2.	$0,3 \leq M < 1,4$	Kecepatan Tinggi	Secara prinsip sangat dominan, begitu juga similaritas Mach.
3.	$1,4 \leq M \leq 5$	Kecepatan supersonic	Pada bagian ini hanya perlu memakai similaritas Mach untuk menjaga efek kompresibilitas.
4.	$M > 5$	Kecepatan	Dimana aliran gan

		supersonic	tidak dapat dengan lama diasumsikan sebagai gas ideal.
--	--	------------	--

### **Manfaat *Wind Tunnel***

*Wind Tunnel* digunakan untuk mensimulasikan keadaan sebenarnya pada benda uji yang berada dalam pengaruh gaya aerodinamik pada bidang aerodinamika kinerja mekanika terbang dari suatu benda terbang yang dapat diuji secara experimental, dengan peralatan sistem pendukung yang memiliki kemampuan ukur derajat kebebasan (*degree of freedom*), yaitu gaya, *Fthrust*, *Fweight*, *Fdrag*, *Flift*, *Fweight*, *momen*, *Mpitch*, *mrdd*, *Myaw*. Objek yang dapat dianalisa sangat luas oleh karna itu dibagi menjadi beberapa sub klasifikasi.

Dalam bidang desain kendaraan moderen menuntut bentuk yang futuristik tetapi hambatan angin dapat direduksi sehingga penggunaan bahan bakar dapat lebih efisien. Reduksi koefisien drag didapat melalui pengujian menggunakan terowongan angin. Selain itu dalam desain kendaraan menuntut kestabilan yang tinggi terutama saat menikung sehingga membutuhkan gaya tekan kebawah (*down force negative lift*) yang optimal.

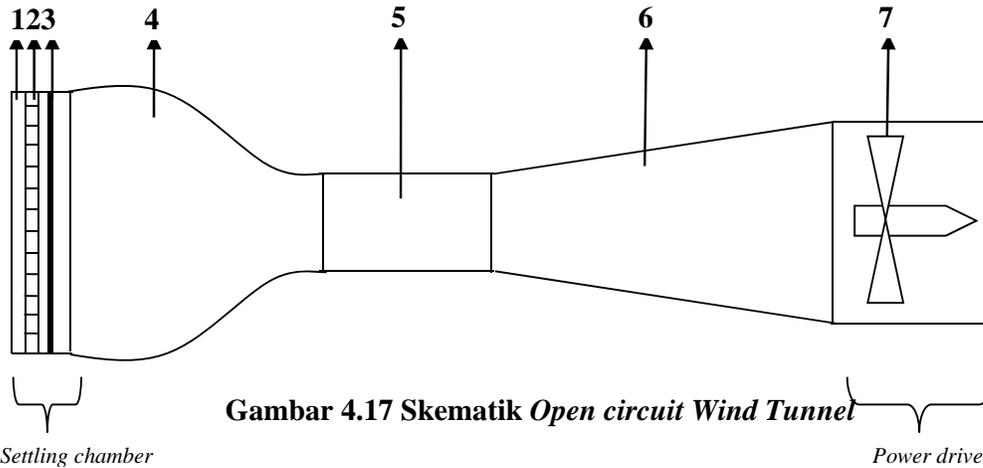
Selain di gunakan untuk desain kendaraan, terowongan angin juga banyak dipakai dalam pengujian berbagai kondisi benda dalam aliran seperti udara pada lingkungan perkotaan, konstruksi pencakar langit dan lain-lain.

### **Kriteria Desain**

Karakteristik sistem *wind tunnel* adalah kualitas aliran didalam *test section* dan kinerja secara keseluruhan. Kriteria utama yang lazimnya digunakan untuk mendefinisikan karakteristik *wind tunnel* adalah maksimum kecepatan aliran udara yang dapat dicapai, keseragaman aliran dan tingkat turbulensi yang rendah. Dengan kata lain tujuan desain *wind tunnel* adalah mendapatkan aliran udara dalam *test section* yang dapat diatur sehingga kinerja dan kualitas aliran dapat dicapai.

Skema *layout open circuit wind tunnel* yang akan dibangun sebagai alat untuk

bahan tugas akhir / skripsi ini diperlihatkan pada gambar dibawah. Secara garis besar ada 5 bagian utama yang terdiri dari *settling chamber* (*inlet*, *honeycomb*, *screen*), *contraction*, *test section*, *difusser* dan *fan*.



**Gambar 4.17 Skematik *Open circuit Wind Tunnel***

Keterangan :

1. *Inlet*
2. *Honeycomb*
3. *Screen*
4. *Contraction*
5. *Test Section*
6. *Difusser*
7. *Fan (Power Drive)*

*Settling chamber* merupakan bagian paling depan sebuah *wind tunnel*, terdiri dari *inlet* (no.1), *honeycomb* (no.2), dan *screen* (no.3). *Honeycomb* digunakan untuk meluruskan arah udara sehingga paralel dan seragam, sedangkan *screen* ditunjukkan untuk mengurangi turbulensi. *Contraction* (no.4) memaksa udara dengan volume besar melalui luas area yang lebih kecil untuk meningkatkan kecepatan angin. *Test section* (no.5) adalah tempat uji dimana model dari suatu benda/objek dipasang. Sebuah *difusser* (no.6) diletakkan setelah *test section* untuk melancarkan aliran udara ketika dialirkan keluar. Disamping itu difusser meningkatkan volume udara sehingga memperlambat aliran udara keluar *wind tunnel*. Bagian terakhir *wind tunnel* adalah penggerak dimana sebuah *fan* (no.7) ditempatkan. Penempatan fan dibagian paling

akhir ditujukan untuk menarik udara ke dalam *wind tunnel*, dan ini lebih baik karena lebih sedikit menghasilkan turbulensi dibandingkan dengan tipe *blow* (tiup).

Spesifikasi utama *wind tunnel* adalah dimensi *test section* dan kecepatan maksimum dengan kualitas aliran yang diharapkan di *test section*. Dimensi *test section* dapat ditentukan dengan model yang akan ditempatkan di *test section* dan tujuan aplikasinya di bidang aeronautika, otomotif dan sebagainya. Sebaliknya, kualitas aliran merupakan hasil dari keseluruhan desain dan hanya dapat diverifikasi setelah *wind tunnel* selesai dibangun. Meski demikian beberapa aturan desain untuk menghasilkan kualitas aliran yang diinginkan dapat diikuti, lihat misalnya (Metha, (1979), Pope (1984)). Aturan tersebut terkait dengan rekomendasi yang berhubungan dengan desain bagian *wind tunnel*, yakni *settling chamber*, *contraction*, *difusser*, dan *fan*.

### **Komponen Wind Tunnel Open Circuit**

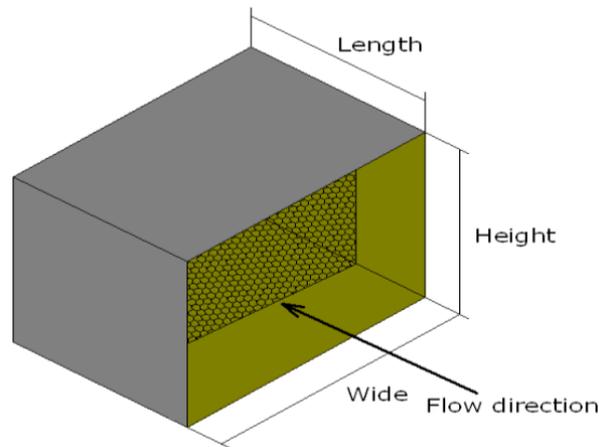
Secara umum desain dan konstruksi *open circuit low speed wind tunnel* harus memperhatikan kualitas aliran di dalam *test section* (yakni keseragaman aliran dan level turbulensi, balik arah axial maupun lateral). Demikian perlu dipertimbangkan juga aplikasi *wind tunnel*, apakah untuk bidang aeronautika, mekanikal, otomotif, atau bidang lainnya seperti sipil, arsitektur dan lingkungan dan sebagainya. Hal ini akan berpengaruh terhadap target bilangan reynolds yang ingin dicapai. Berikut adalah penjelasan desain masing – masing komponen *open circuit wind tunnel*.

### **Settling Chamber**

*Settling chamber* merupakan tempat masuknya aliran pertama kali dalam *open circuit wind tunnel type suction* (hisap). Bagian ini merupakan ruang penyesuaian aliran agar aliran udara di *test section* diperoleh keseragaman aliran dan juga level turbulensi yang rendah, baik dalam arah axial maupun dalam arah lateral. Gambar 2.4, menunjukkan skematik *settling chamber* dengan *honeycomb* didalamnya.

*Honeycomb* dan *screen* diperkenalkan pertama kali oleh Prandti, dan sampai saat ini masih diaplikasikan di setiap *wind tunnel*. *Honeycomb* digunakan untuk menyeragamkan aliran dan mereduksi turbulensi arah lateral, tetapi juga menyebabkan

terjadinya turbulensi dalam arah axial dengan ukuran sama dengan diameter *honeycomb*-nya. Dalam desain *honeycomb*, parameter yang digunakan panjang terhadap diameter *cell honeycomb*, dan rasio yang disarankan berkisar dalam range 6 – 8. Turbulensi dalam arah axial akibat penggunaan *honeycomb* dapat direduksi dengan memasang *screen*.



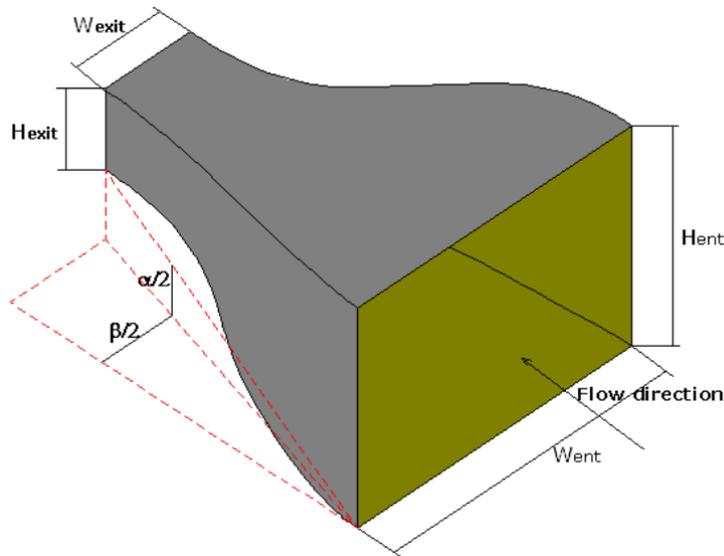
**Gambar 4.18 Settling Chamber**

Dalam desain *settling chamber* direkomendasikan kombinasi penggunaan *honeycomb* dan *screen* (Scheman : 1981). Lebih lanjut Scheman and Brooks (1981) merekomendasikan penggunaan *screen* secara seri. Panjang spasi antara *screen* 0.2 dari diameter *settling chamber* (Metha and Bradshaw : 1979).

### ***Contraction***

*Contraction* atau disebut juga “*nozzle*” mengakselerasi aliran dari *settling chamber* menuju *test section*, juga mereduksi ketidak seragaman aliran di *test section*. Parameter akselerasi dan ketidak seragaman aliran sangat bergantung pada rasio kontraksi, yakni rasio luas penampang pada saat masuk dan keluar *contraction*. Dalam desain rasio kontraksi sedapat mungkin dibuat cukup besar. Hal ini sangat berpengaruh pada dimensi *wind tunnel* secara keseluruhan. Semakin besar rasio maka dimensinya juga semakin tinggi dan tentu akan menambah cost pembuatan *wind tunnel*. Kompromi perlu dilakukan untuk mendapatkan rasio kontraksi yang sesuai dengan harapan, yakni kualitas aliran yang ingin dicapai.

Pengaruh *contraction* terhadap kualitas aliran cukup kompleks, Prandti (1933) menyatakan bahwa rasio rms (*root-mean-square*) fluktuasi kecepatan axial terhadap fluktuasi kecepatan rata – rata akan tereduksi dengan faktor  $1/n^2$ . Sementara dalam arah lateral hanya tereduksi dengan faktor  $n$  ( $n$  adalah nilai kontraksi). Hal ini diperkuat oleh Bradshaw and Metha (1979) yakni dalam komponen kecepatan sumbu  $-x$  (axial) reduksi fluktuasinya ternyata lebih besar dibandingkan fluktuasi transversal (lateral), ini berarti fluktuasi lateral akan meningkat melalui *contraction*. Dengan menambahkan *screen* pada *settling chamber* fluktuasi dapat diminimalkan.



**Gambar 4.19 Contraction**

Umumnya rasio kontraksi antara 6 sampai 10 dan dapat menaikkan kecepatan rata – rata sampai 20 kali atau lebih (Barlow : 1999). Kadang – kadang digunakan rasio kurang dari 6, tetapi sebaiknya tidak lebih kecil dari 4. Hal ini untuk menjaga kualitas aliran yang masih dapat diterima. Dan dengan pembuatan bentuk yang baik (terutama bagian dalam kontraksi) turbulensi dan ketidakseragaman aliran pada level 2% dapat dicapai. Dengan menambahkan *screen* pada *settling chamber* levelnya dapat direduksi sampai 0.5%. Agar level turbulensi dapat dikurangi, disarankan rasio kontraksi diatas 8. Level turbulensi yang dapat dicapai berkisar 0.1% dalam arah axial dan sekitar 0.3% dalam arah lateral. Dengan level ini pengujian akurat aeronautika dapat dilakukan.

Bagian dalam dari *contraction* haruslah *smooth* agar distribusi tekanan pada

dinding contraction tidak terjadi *adverse pressure gradient*. Jika hal ini terjadi maka akan ada daerah di dinding yang mengakibatkan adanya separasi lapisan batas secara lokal. Hal ini berimplikasi kenaikan turbulensi level yang pada akhirnya menghasilkan kualitas aliran yang buruk di *test section*.

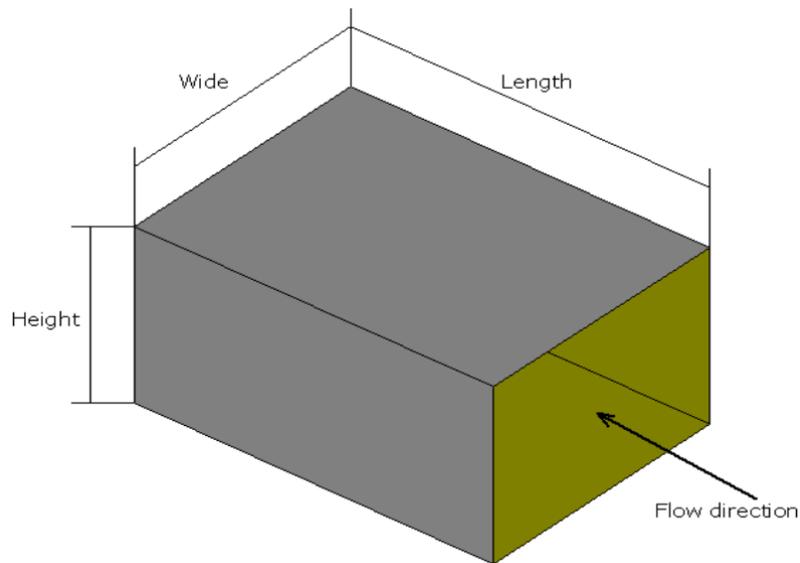
### ***Test Section***

*Test Section* merupakan tempat dimana model yang akan diuji ditempatkan. Oleh karenanya kecepatan yang diinginkan dan kualitas liran pada *test section* harus menjadi perhatian utama ketika mendesain sebuah *wind tunnel*. Ukuran (dimensi) dan kecepatan maksimum dari *test section* ditentukan oleh ukuran model yang digunakan dan nilai bilangan reynolds maksimum yang dapat dicapai.

Ukuran model (*frontal area*) sebaiknya 10% dari ukuran (*frontal area*) *test section*, agar diperoleh aliran yang terbebas dari pengaruh interferensi dinding pembatas dan *wake* di sudut – sudut *test section*. Untuk aplikasi dengan model otomatis, akan selalu ada daerah separasi aliran di model tersebut. Ini karena *frontal area* tidak berbentuk *streamline* seperti pada model aeronautika. Sehingga aliran tertahan oleh adanya geometri model atau disebut juga masalah *blockage*.

Disamping itu rasio lebar terhadap tinggi model otomotif lebih besar dari model aeronautika, sehingga ukuran panjang test section harus mencukupi kondisi terjadinya penyatuan kembali aliran setelah separasi aliran. Hal ini agar tekanan pada daerah separasi menjadi benar dan tidak terjadi pengaruh ke komponen gaya drag. Khusus untuk otomotif, ukuran model bukan 10% seperti di kasus aeronautika, tapi disarankan 5% atau kurang (Barlow et al, 1989).

Metode koreksi untuk interferensi dinding dan *blockage* di model otomotif diberikan misalnya oleh Miskel (1976), Cooper, K. (1986).

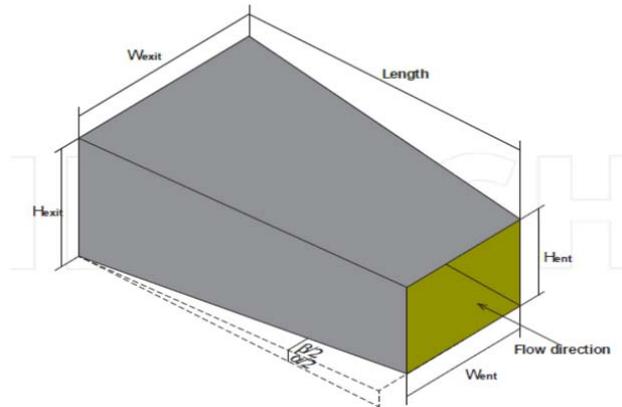


**Gambar 4.20 Test Section**

Penampang *test section* umumnya berbentuk persegi yang direkomendasikan untuk banyak aplikasi seperti aeronautika, teknik sipil, aplikasi industri dan otomotif. Lazimnya digunakan rasio perbandingan lebar terhadap tinggi *test section* adalah 4:3, dengan nilai tersebut diharapkan rasio ketebalan lapisan batas di bagian *test section* menjadi lebih kecil dibandingkan model arah *span* (bentang). Seperti telah diuraikan sebelumnya, panjang *test section* haruslah mencukupi untuk aplikasi otomotif. Barlow et al (1989) merekomendasikan panjang antara 0.5 – 3 dari diameter hidrolis *test section*.

### ***Diffuser***

Fungsi utama *diffuser* adalah *recovery* tekanan statik untuk meningkatkan efisiensi *wind tunnel*. Adalah sangat penting menjaga aliran agar tetap menyatu (*attached flow*). Jika terjadi *detachment flow* (pemisahan) maka tekanan akan ditransmisikan ke *test section*, akibatnya terjadi ketidakseragaman tekanan dan kecepatannya. Untuk menghindari *detachment flow*, direkomendasikan sudut buka *diffuser* tidak melebihi  $5^\circ$ .

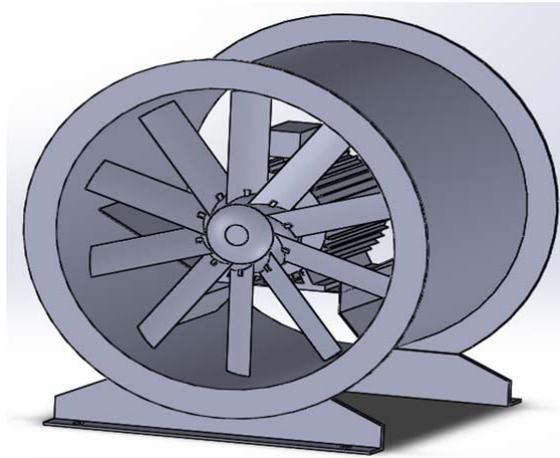


**Gambar 4.21 Difusser**

***Power Drive (Fan dan Motor)***

Fungsi utama penggerak daya adalah menjaga kecepatan aliran udara dalam *wind tunnel* tetap konstan dan mengkompensasi semua kerugian (*loss*) dan disipasi tekanan. Volume udara dapat dihitung dengan hasil kali antara kecepatan pada *test section* yang diinginkan,  $V$  dengan luas penampang *test section*.

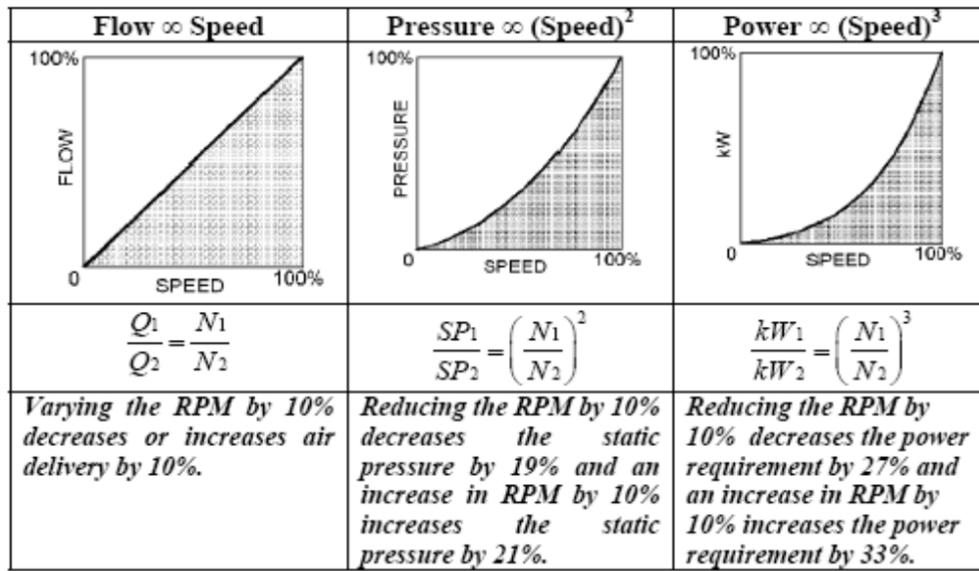
Daya yang diperlukan oleh motor merupakan fungsi dari kenaikan tekanan, volume udara dan efisiensi *fan*.



**Gambar 4.22 Fan dan Motor**

## Kipas (*Fan*)

Kipas (*fan*) adalah sebuah alat yang berfungsi untuk menghasilkan aliran pada fluida gas seperti udara. Dimana kipas menghasilkan aliran fluida dengan debit aliran yang besar pada tekanan rendah, kipas banyak diaplikasikan seperti untuk kenyamanan ruangan (kipas meja/dinding), sistem pendingin pada kendaraan atau sistem permesinan, ventilasi, penyedot debu, sistem pengering (dikombinasikan dengan *heater*), membuang gas-gas berbahaya, dan juga *supply* udara untuk proses pembakaran (seperti pada boiler). Namun dalam hal ini *fan* juga dapat digunakan sebagai alat bantu untuk menghasilkan aliran udara untuk pengujian aerodinamis pada *wind tunnel*.



Where Q – flow, SP – Static Pressure, kW – Power and N – speed (RPM)

**Gambar 4.23 Kecepatan, tekanan, dan daya fan (BEE India, 2004)**

## Klasifikasi *Fan*

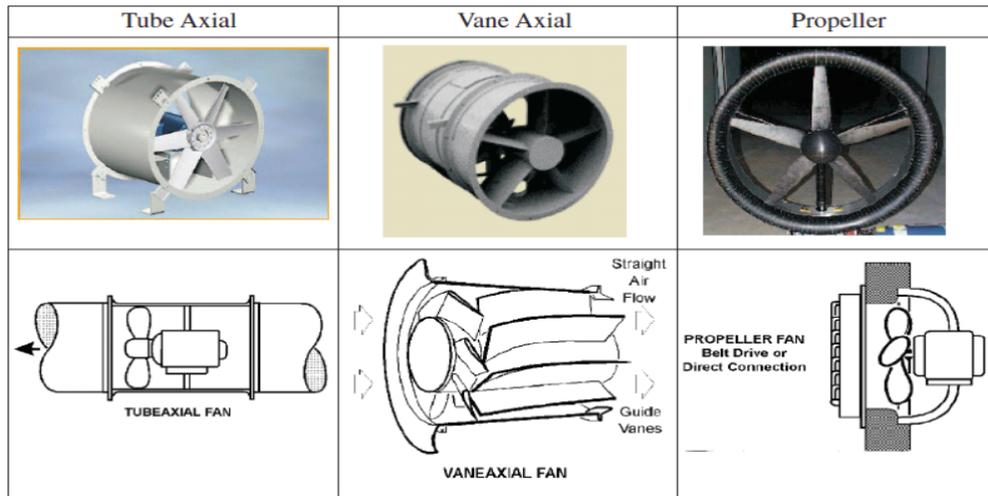
Berdasarkan prinsip kerja aliran udara *Fan* dapat diklasifikasikan dalam 2 (dua) tipe yaitu: *axial fan* dan *centrifugal fan*.

### ***Axial Fan***

Sesuai dengan namanya, *axial fan* menghasilkan aliran fluida gas dengan arah yang searah dengan poros kerja kipas tersebut. Kipas tipe ini adalah yang paling banyak penggunaannya di kehidupan sekitar kita. Hal tersebut tidak terlepas dari kemudahan desain serta harga yang lebih ekonomis jika dibandingkan dengan kipas sentrifugal. Karena desainnya yang tidak terlalu rumit serta dapat menghasilkan *flow* yang besar, kipas ini banyak digunakan sebagai alat pendingin pada berbagai keperluan. Dari pendingin CPU hingga komponen pendingin mesin kendaraan bermotor menggunakan kipas tipe aksial, bahkan dalam pembahasan ini, *fan axial* digunakan sebagai salah satu alat bantu untuk menghasilkan *flow* yang dimanfaatkan untuk pengujian aerodinamis pada *wind tunnel*.

*Axial fan* dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu: *tube-axial fan*, *vane axial fan* dan *propeller fan*.

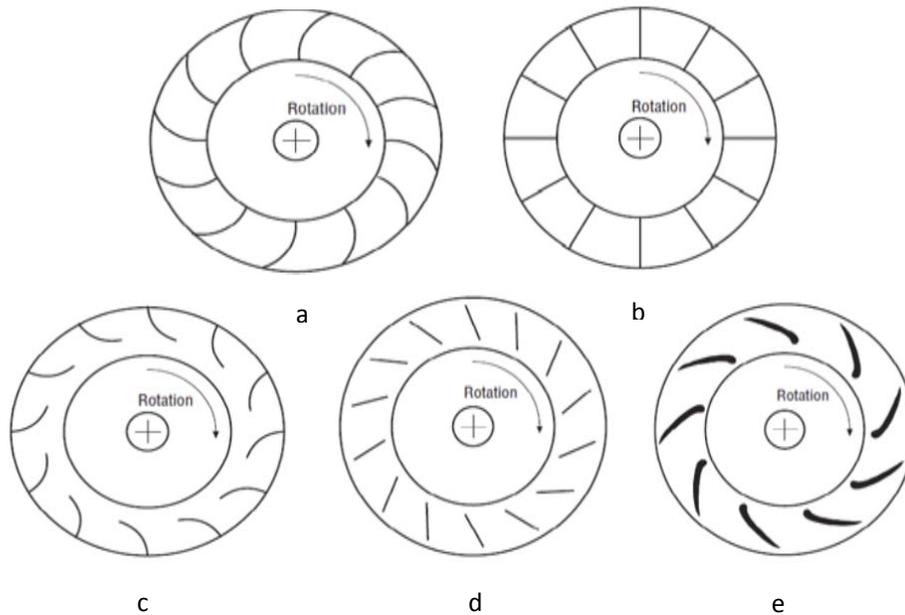
1. *Tube-axial fan* lebih efisien dari pada *propeller fan* dengan ciri *housing fan* yang berbentuk silinder dipasang tepat pada radius ujung *blade*, dan diaplikasikan untuk sistem pemanas, ventilasi, *air conditioning* dan industri serta untuk menghasilkan flow sebagai pengujian aerodinamis pada wind tunnel. Karena *fan* tipe *tube axial fan* memiliki konstruksi *fan* yang sesuai/ cocok untuk diaplikasikan pada *wind tunnel*, dengan tekanan rendah dan jumlah volume udara yang dialirkan besar.
2. *Vane axial fan* merupakan *fan axial* dengan efisiensi tinggi dengan ciri *housing fan* yang berbentuk silinder dipasang tepat pada radius *blade*, dan diaplikasikan untuk sistem pemanas, ventilasi, dan *air conditioning* yang memerlukan aliran lurus dan efisiensi tinggi.
3. *Propeller fan* merupakan desain dasar *fan aksial* yang diaplikasikan untuk tekanan rendah dan volume udara yang dialirkan sangat besar volume. *Fan* jenis ini biasa diaplikasikan untuk sistem ventilasi yang menembus tembok.



**Gambar 4.24 Tipe fan axial dan bentuk bladenya**

***Centrifugal Fan***

*Centrifugal fan* menghasilkan aliran udara dengan mempercepat arus udara secara radial dan mengubah energi kinetik menjadi tekanan. *Centrifugal fan* dapat menghasilkan tekanan tinggi dengan efisiensi tinggi, dan dapat dibuat dalam berbagai tingkat kondisi operasional. *Fan* jenis ini memiliki beberapa jenis *blade*.



**Gambar 4.25 Tipe blade Centrifugal fan**

- a. *Forward curve fan* memiliki kecepatan putar yang sangat rendah untuk mengalirkan sejumlah udara serta bentuk lengkungan *blade* menghadap arah putaran, sehingga kurang efisien dibandingkan tipe *air foil* dan *backward inclined*. *Fan* jenis ini biasanya diaplikasikan untuk sistem pemanas bertekanan rendah, ventilasi, dan *air conditioning radial blade fan* secara umum yang paling efisien diantara *centrifugal fan* yang memiliki bentuk *blade* mengarah titik poros. *Fan* jenis ini digunakan untuk pemindahan bahan dan industri yang membutuhkan *fan* dengan tekanan di atas menengah.
- b. *Radial blade fan* secara umum yang paling efisien diantara *centrifugal fan* yang memiliki bentuk *blade* mengarah titik poros. *Fan* jenis ini digunakan untuk pemindahan bahan dan industri yang membutuhkan *fan* dengan tekanan di atas menengah.
- c. *Radial tip fan* lebih efisien dibandingkan *fan* tipe *radial blade* yang di desain tahan terhadap keausan dan aliran udara yang erosif.
- d. *Backward-inclined fan* memiliki *blade* yang lurus dengan ketebalan tunggal. *Fan* ini diaplikasikan pada sistem pemanas, ventilasi, *air conditioning* dan industri dimana *blade* akan mengalami lingkungan yang korosif dan lingkungan yang erosif.
- e. *Air foil fan* adalah tipe *centrifugal fan* yang dikembangkan untuk memperoleh efisiensi tinggi. *Fan* ini diaplikasikan pada sistem pemanas, ventilasi, *air conditioning* dan udara bersih industri dimana penghematan energi sangatlah penting.

### **Dasar Pemilihan *Fan***

Pemilihan *fan* sangatlah penting untuk diperhatikan, agar mendapatkan *flow* dan kapasitas *fan* sesuai yang diinginkan. Adapun dasar – dasar dari pemilihan *fan* yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut :

1. CFM / CMH

CFM (*Cubic Feet per Minute*) / CMH (*Cubic Meter per Hour*). yang berarti seberapa banyak udara yang *fan* hembuskan, CFM tinggi - berisik begitu juga CFM rendah - silent. tapi tidak semua CFM tinggi berarti berisik, ada beberapa

faktor yg berpengaruh.

2. dBa

dBa kepanjangan dari *decibel adjusted*, ukuran untuk menyatakan tingkat kebisingan. semakin tinggi CFM, biasanya semakin tinggi dBa.

3. RPM

RPM (*Rotation atau Revolutions Per Minute*), besaran RPM mengartikan bahwa berapa banyak *fan* bisa melakukan putaran satu lingkaran penuh selama satu menit. semakin tinggi RPM, semakin besar tingkat kebisingannya.

4. *Static Pressure*

Mungkin ini salah satu yang biasa orang lupakan dalam memilih *fan*. *static pressure* adalah seberapa banyak *fan* menghembuskan dan menghisap udara melewati objek uji coba dalam wind tunnel. semakin besar *static pressure*, semakin besar pula jumlah udara yg melewati *test section* pada *wind tunnel*. *Static pressure* tergantung dari design *fan* dan turbulensi yang dibuat.

### **Motor Listrik**

Motor listrik adalah suatu perangkat yang berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Pada motor listrik tenaga listrik diubah menjadi tenaga mekanik. Perubahan ini dilakukan dengan mengubah tenaga listrik menjadi magnet yang disebut sebagai elektro magnet. Sebagaimana kita ketahui bahwa : kutub-kutub dari magnet yang senama akan tolak-menolak dan kutub-kutub tidak senama, tarik-menarik. Maka kita dapat memperoleh gerakan jika kita menempatkan sebuah magnet pada sebuah poros yang dapat berputar, dan magnet yang lain pada suatu kedudukan yang tetap.



**Gambar 4.26 Motor Listrik**

### **Pelaksanaan Pengujian**

Pengujian dilakukan dengan menggunakan terowongan angina yang ada di lab. Konversi energy ITENAS. Pengujian dilakukan terhadap model yang terbuat dari clay (clay model) yang telah dibuat. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan gaya hambat (drag force) dari model mobil listrik yang akan dibuat.

Parameter pengujian terutama pada variasi kecepatan hembusan udara sehingga akan didapatkan gaya drag . Sampai tahap ini baru dilakukan 1 tahap pengujian.

Dokumentasi pengujian dapat dilihat pada gambar berikut:





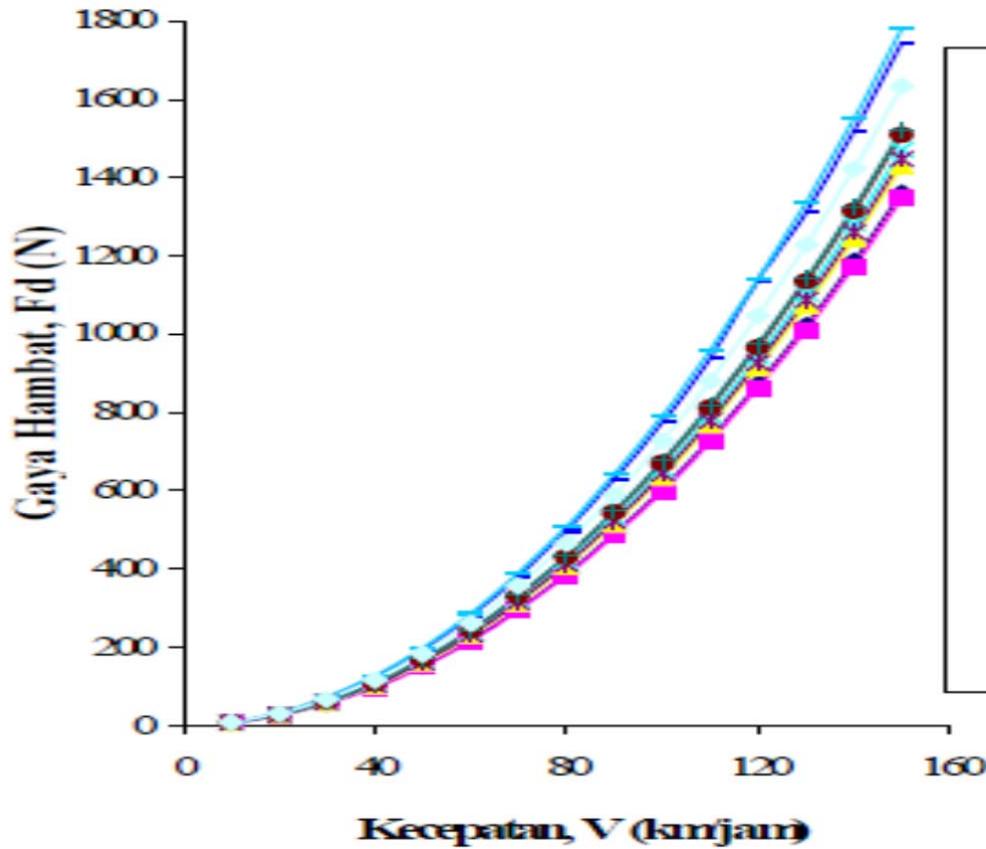
Gambar 4.27 Peralatan pengujian model

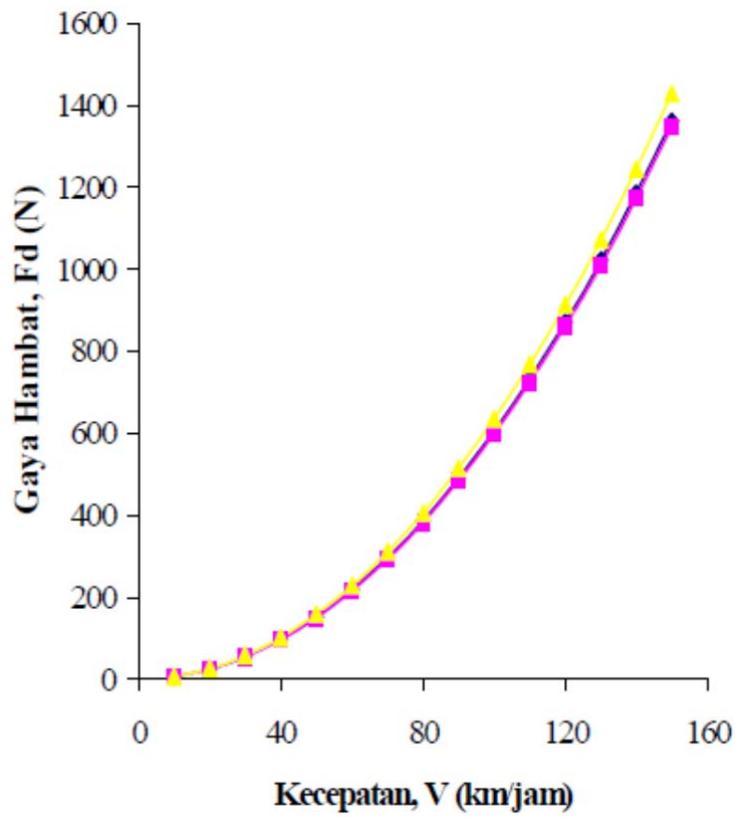
Terowongan angin yang dipakai adalah jenis Open Circuit-Sub Sonic Spesifikasinya: dimensi 2980 x 1830 x 800 mm, kecepatan udara 20 m/det, motor rating 1,5 kW, testing section 310 x 310 x 410 mm, testing section area 88900 mm<sup>2</sup>, lift balance (maks) 7,0 N, drag balance (maks) 2,5 N. Model uji beserta asesorisnya diuji satu persatu di terowongan angina Variasi kecepatan udara 9 m/det, 10 m/det, 12 m/det, 14 m/det, 16 m/det, 18 m/det, 20 m/det.

Model uji ditempatkan minimum 44,2 mm dari ujung depan ground plane, agar dapat

menghadirkan fenomena jalan pada eksperimen yang dilakukan. Dari pengujian terowongan angin ini akan mendapatkan gaya hambat (drag force).

Hasil dari pengujian dapat dilihat pada gambar berikut ini:





Gambar 4.28 Hasil pengujian, Pengaruh kecepatan terhadap gaya hambat

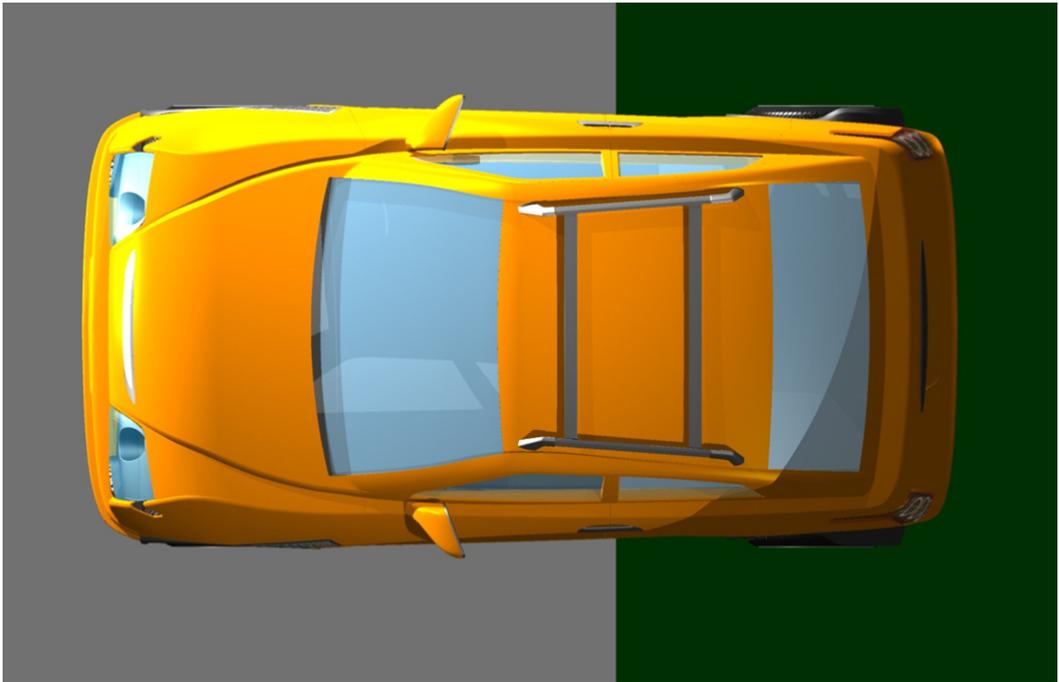
#### 4.4 Pembuatan Body Skala 1 : 1

##### Gambar rancangan

Gambar rancangan body adalah seperti pada gambar berikut:











### **Material Fiberglass Reinforcement Plastic (FRP)**

Fiberglass Reinforcement Plastic (FRP) atau yang lebih dikenal dengan fiberglass merupakan kombinasi dari dua komponen yang mempunyai karakteristik fisik berbeda, tetapi keduanya memiliki sifat saling melengkapi. FRP memberikan keuntungan lebih banyak daripada kayu. mbuatan bahan FRP tidak membutuhkan keahlian yang tinggi, konstruksi yang ringan dibanding dengan kayu, ferrocement, mudah dibentuk dan tidak mudah mbusuk serta tahan lama. Dua komponen yang membentuk FRP yaitu resin stic polyester dan sebuah penguatan serabut gelas (Verweij 1967 diacu dalam berty 1997).

Fungsi dari *fiberglass* adalah untuk (Agustina, 1994) : Meningkatkan rasio kekuatan terhadap berat, meningkatkan ketahanan terhadap pengaruh suhu, menjaga dan mempertahankan kestabilan bentuk memungkinkan dipakai untuk struktur/kerangka

### **Serabut gelas/serabut kaca**

Bermacam *fiberglass* tersedia dengan berbagai komposisi dan spesifikasi, a cocok untuk dipakai pada berbagai proses dan kekuatan yang diinginkan.

beberapa tipe *fiberglass* pada FRP (Agustina, 1994), antara lain :

- *Continous Roving ( Roving)*

Merupakan serabut-serabut gelas yang berbentuk paralel, tidak teranyam sehingga mudah terputus-putus, halus, panjang tidak terbatas dan dalam bentuk gulungan. *Roving* tersedia dalam kemasan silindris.

- *Woven Roving (Gewebe)*

Adalah serabut gelas yang kuat dan berat, berupa lembaran yang fleksibel yang dianyam dari *roving* sehingga berbentuk tikar. Tersedia dalam lembar dan berat yang berbeda yaitu:

- Gewebe 450 (artinya tiap luasan 1 m<sup>2</sup> gewebe maka beratnya 450 gram),
- gewebe 600 (artinya tiap luasan 1 m<sup>2</sup> gewebe maka beratnya 900 gram).  
*Woven roving* memberikan kekuatan yang paling tinggi diantara semua jenis serabut gelas penguat FRP. Gewebe terutama dipakai untuk pembuatan produk yang besar seperti kapal, tangki, *body* mobil.
- *Matt*

Adalah serabut gelas yang tidak teranyam, panjang sekitar 4-5 cm direkat satu sama lain dalam aturan yang tidak menentu. Ada tiga macam *matt* yaitu *matt* 300 (artinya tiap luasan 1 m<sup>2</sup> *matt* maka beratnya adalah 300 gram), *matt* 450 (artinya tiap luasan 1 m<sup>2</sup> *matt* maka beratnya adalah 450 gram) dan *matt* 600 (artinya tiap luasan 1m<sup>2</sup> *matt* maka beratnya 600 gram).

Serabut gelas (*matt*) adalah campuran benang-benang sutera dengan gelas yang diolah dan diproses sedemikian rupa sehingga bentuk akhirnya merupakan serabut-serabut yang berdiameter 5-20 mm. Bahan ini memberikan kekuatan tambahan *polyester*/resin ketika akan dicetak agar hasilnya menjadi lebih kuat dan ak mudah pecah.. Serabut gelas yang biasanya digunakan dalam pembuatan *Body mobil fiberglass* adalah *Matt* 300 dan 450 dan *Woven Roving* 600 (Imron, 2004).

## **Polyester/resin**

*Polyester* merupakan bahan baku yang lebih dikenal dengan nama resin, merupakan cairan kental berwarna kekuning-kuningan menyerupai minyak goreng api agak kental, bening dan baunya spesifik (*styrol*). Sifat dari *polyester* adalah dapat dikombinasikan dengan bahan penguat seperti serabut gelas (yang edakan atas *continous roving*, *woven roving*, dan *mat*), kayu, busa plastik dan lain-lain. Selain itu bahan ini dapat dikombinasikan dengan pigmen.

Polyester memiliki 4 tipe (Agustina, 1994), yaitu :

- Tipe ortho, bersifat tahan terhadap air laut dan asam encer, banyak dipakai oleh umum dan harganya lebih murah dibanding tipe yang lain. Contohnya BQTN-Ex
- Tipe iso, bersifat tahan terhadap panas dan asam, daya tahan cuaca dan kekerasannya lebih tinggi dibandingkan dengan tipe ortho sehingga sering dipakai dalam pembuatan gelcoat, cetakan (mold) dan tangki bahan kimia. Contohnya Yukalaz 150 HR-BQTN.
- Tipe bisphenolic, bersifat tahan kimia yang paling tangguh. Contohnya yukalaz LP-1Q Ex
- Tipe vinyl ester, bersifat tahan kimia yang paling tangguh. Contohnya Ripoxy R-802.

Resin sebagai bahan pembuat FRP yang memiliki sifat-sifat menguntungkan (Norske 1972 diacu dalam Agustina 1994), antara lain :

- Memiliki berat jenis yang lebih kecil dibandingkan dengan berat jenis baja, aluminium atau kayu.
- Memiliki sifat isolasi yang baik terhadap listrik. Memiliki sifat antikorosi.
- Tahan terhadap zat-zat keras. Tidak berbau dan tidak berasa.
- Dapat dicampur dengan bahan-bahan tertentu
- Tahan terhadap air, zat-zat seperti HCl (Asam Khlorida) atau NaOH (Natrium Hidroksida)

(Norske 1972 diacu dalam Agustina 1994) menambahkan selain sifat-sifat yang menguntungkan dari plastik, terdapat juga sifat yang tidak menguntungkan, ara lain :

Kebanyakan tidak tahan panas (*thermoplastic*, umumnya hanya dapat digunakan untuk daerah yang suhunya dibawah 100<sup>0</sup>C)

Memiliki sifat pemuaian yang besar atau lima kali lebih besar daripada baja Mudah terbakar dan mengeluarkan gas beracun

Jenis resin bermacam-macam. Untuk bahan aksesoris *fiberglass*, umumnya menggunakan resin bening atau resin bewarna gelap. Resin bening, biasanya menggunakan untuk bentuk yang menonjolkan kebeningannya, seperti untuk aksesoris visor, kap lampu, dll sebagai pengganti mika, namun penggunaan resin bening yang ada dipasaran untuk pengganti mika, masih belum menghasilkan alitas yang memuaskan. Sedangkan resin jenis bewarna gelap lebih banyak digunakan untuk pembuatan aksesoris, disamping harganya murah, resin ini dapat dengan mudah dibeli di toko-toko kimia (Subianto, 2008). Pada umumnya Resin yang digunakan untuk membuat body mobil adalah 3.115 SHCP *Unsaturated polyester resin*

Sifat-sifat resin maupun *polyester* lainnya adalah dapat dikombinasikan dengan bahan-bahan penguat seperti serabut gelas, kayu, busa plastik dan lainnya, dapat dikombinasikan dengan bahan anti transpatan, bahan pigmen (pewarna), dan *thixo-tropic*.

Material *Fiberglass* adalah salah satu jenis bahan fiber komposit yang memiliki keunggulan yaitu kuat namun tetap ringan. Walaupun tidak sekuat dan seringan bahan carbon fiber, fiberglass lebih ulet dan relatif lebih murah di pasaran.

Material komposit itu sendiri adalah material yang terdiri dari dua komponen yaitu penguat (*reinforcement*) berupa serat dan pengikat (*matrix*) berupa plastik, sehingga menghasilkan kombinasi sifat yang kaku, kuat dan ringan

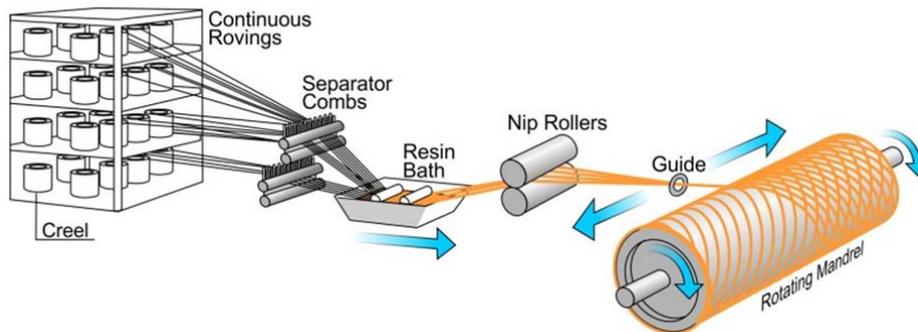
Pada komposit fiberglass, komponen penguat tersebut adalah serat kaca. Kaca yang kita kenal sehari-hari memiliki sifat yang mudah retak dan pecah, hal tersebut diakibatkan karena kekerasan permukaan kaca yang terlalu tinggi, sehingga memudahkan proses perambatan retak pada permukaan kaca walaupun dengan sedikit saja cacat atau beban. Untuk menghindari retak awal atau cacat pada permukaan kaca tersebut, kaca dibuat benang yang sangat tipis dengan diameter sekitar 5-25 mikrometer. Diameter yang sangat kecil tersebut membuat serat kaca yang sangat kuat ini tidak diberikan kesempatan untuk mendapatkan cacat permukaan yang menjadi awal perambatan retak.

Serat-serat kaca yang kecil ini dipintal untuk kemudian disusun menjadi bentuk jahitan (*woven*), bulu-bulu yang disatukan membentuk lembaran (*chopped strand mat*), potongan-potongan kecil (*chopped strand*) ataupun benang panjang yang kontinu (*continuous roving*). Fiberglass sering juga dikenal dengan nama *Glass-reinforced plastic* (GRP) atau *glass-fiber reinforced plastic* (GFRP) karena terdiri dari komponen glass-fiber dan dikuatkan dengan plastik (resin). Namun, diameter yang sangat kecil tersebut membuat serat kaca mudah untuk tertekuk (*buckling*).

Proses pembuatan body mobil listrik berbahan fiberglass pun dijelaskan sebagai berikut:bermacam-macam. Berikut rangkuman dari masing-masing proses tersebut:

### 1. *Filament winding*

Proses ini dilakukan untuk membuat komponen berbentuk silinder dengan arah serat tertentu. Proses filament winding dilakukan dengan memutar cetakan bersamaan dengan menarik serat fiber yang sudah dibasahi dengan resin membentuk pola tertentu. Fiberglass yang digunakan pada proses ini adalah jenis *continuous roving*.



### 2. *Hand Lay-up*

Hand Lay-up merupakan proses fabrikasi fiberglass yang digunakan untuk mencetak bagian mobil yang rata dan melengkung. Proses ini dilakukan dengan cara meratakan fiberglass dengan jenis *woven roving* atau *choped strand mat* yang dibasahi dengan resin cair ke dalam cetakan secara manual menggunakan tangan.

### 3. *Spray lay-up*

Resin dan fiberglass dalam bentuk *chopped strand* dicampur dan disemprotkan ke cetakan kemudian diratakan dengan tangan yang pada umumnya menggunakan alat bantu berupa roller. Sebelum menjadi *choped strand*, fiberglass sebelumnya berbentuk *continuos roving* yang dipotong oleh alat sprayer. Proses ini dapat dilakukan untuk bentuk-bentuk yang kompleks dengan banyak lengkungan, yang sulit dilakukan pada proses hand lay-up biasa karena fiberglass jenis *woven roving* dan *choped strand* mat memiliki keterbatasan untuk cetakan dengan kurva-kurva yang kompleks.

Hasil pembuatan Body Mobil listrik dapat dilihat pada foto-foto berikut:























# BAB V

## MOTOR DAN SISTEM KENDALI

### 5.1 BLDC MOTOR

Brushless DC motor (BLDC motor) yang juga dikenal sebagai *electronically commutated motors* (*ECMs*) adalah tipe motor sinkron yang memakai sumber listrik arus searah sebagai tenaganya. Arus searah yang digunakan umumnya bersumber dari arus bolak-balik yang kemudian disearahkan dengan inverter.

BLDC motor memiliki prinsip kerja yang hampir sama dengan motor stepper namun penggunaan istilah motor stepper kurang tepat bagi BLDC motor karena pengertian dari motor stepper itu sendiri digunakan untuk jenis motor yang di desain secara spesifik untuk dapat dioperasikan dalam mode *positioning* yang akurat dimana bagian motor mampu berhenti di posisi angular yang diinginkan.

Dua parameter performa BLDC motor yang paling utama adalah konstanta motor  $K_v$  dan  $K_m$ . Secara performa, BLDC motor dapat menghasilkan torsi maksimal pada RPM rendah dan secara bertahap akan menurun seiring meningkatnya RPM motor. keunggulan BLDC motor dibandingkan jenis *Brushed* DC motor lainnya diantaranya efisiensi kerja yang lebih tinggi, tingkat keausan atau *mechanical wear* rendah karena tidak menggunakan *brush*, dan frekuensi perawatan yang minimal.

Konstruksi beberapa BLDC motor menggunakan *permanent magnet* dibagian yang berputar rotor dan *armature* pada bagian stator. Sistem *sequencing* arus listrik menggunakan *electronic controller* sebagai sistem pengganti komutator dengan *brushed* pada motor DC konvensional. *Electronic controller* ini mengubah fasa arus listrik yang menuju gulungan kawat untuk mendistribusikan daya listrik sehingga dapat menjaga perputaran motor agar tetap konstan.

Dengan cara ini didapatkan beberapa keuntungan yaitu meminimalkan *energy losses* dan menghilangkan *mechanical wear* antara bagian stator dan rotor.

Keunggulan BLDC motor dibandingkan dengan DC motor konvensional antara lain *torque per weight* dan *per watt* lebih besar, peningkatan efisiensi dan *reliability*, pengurangan *noise* atau kebisingan suara, mengeliminasi percikan ion electron dari komutator dan mengeliminasi *electromagnetic interference* (EMI).

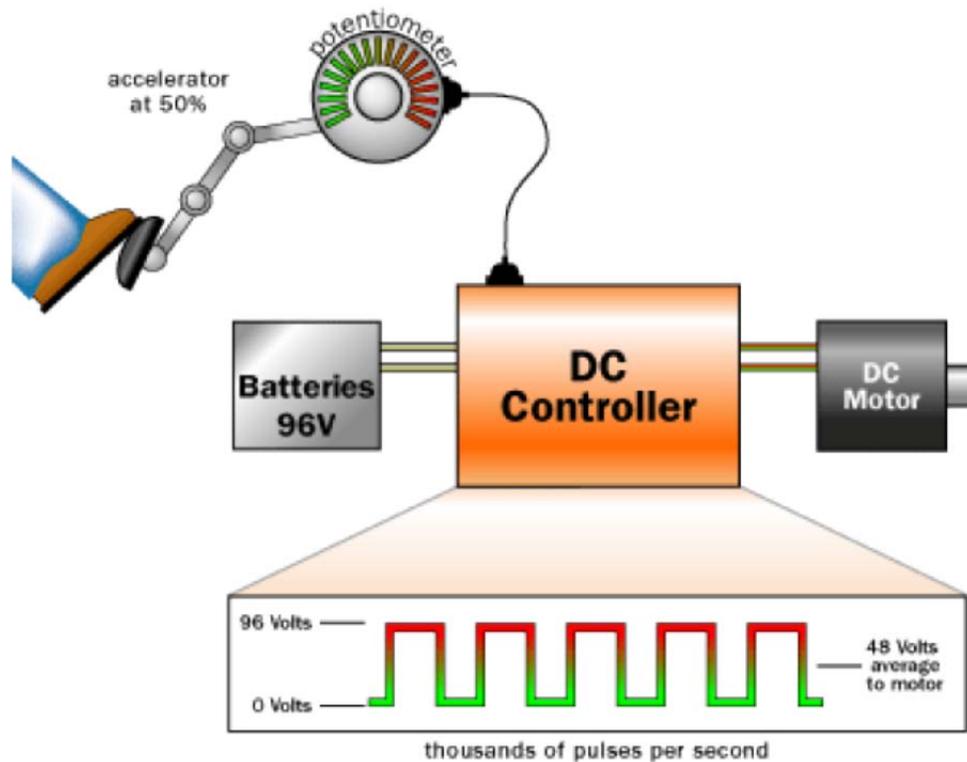
Daya maksimum yang dapat diberikan pada BLDC motor dibatasi hampir hanya oleh energi panas atau *heat* yang dapat melemahkan kekuatan magnet atau merusak selubung insulasinya. Kekurangan utama BLDC motor yaitu harganya yang lebih mahal. Hal ini terjadi karena sistem komutasi motor ini membutuhkan kontrol kecepatan elektronik yang kompleks sementara *brushed* DC motor atau motor DC konvensional dapat menggunakan sistem *rheostat* (variable resistor) yang sangat sederhana untuk bekerja. Selain itu, sistem produksi BLDC motor secara komersial masih menggunakan proses manual penggulangan kawat secara manual dibandingkan penggulangan mesin.

BLDC motor memiliki efisiensi yang lebih tinggi untuk mengkonversi daya listrik dari sumber energi menjadi daya mekanis untuk menggerakkan motor. Peningkatan efisiensi ini dapat tercapai karena tidak adanya *electrical* dan *friction losses* yang disebabkan oleh komponen *brushed*. Efisiensi maksimal terjadi pada daerah tanpa beban atau *no-load* dan *low-load* pada *performance curve* dari motor. Sementara pada beban mekanis yang sangat tinggi, efisiensi BLDC motor dapat setara dengan *high-quality* DC *Brushed* motor.

## 5.2 Sistem Kendali Motor

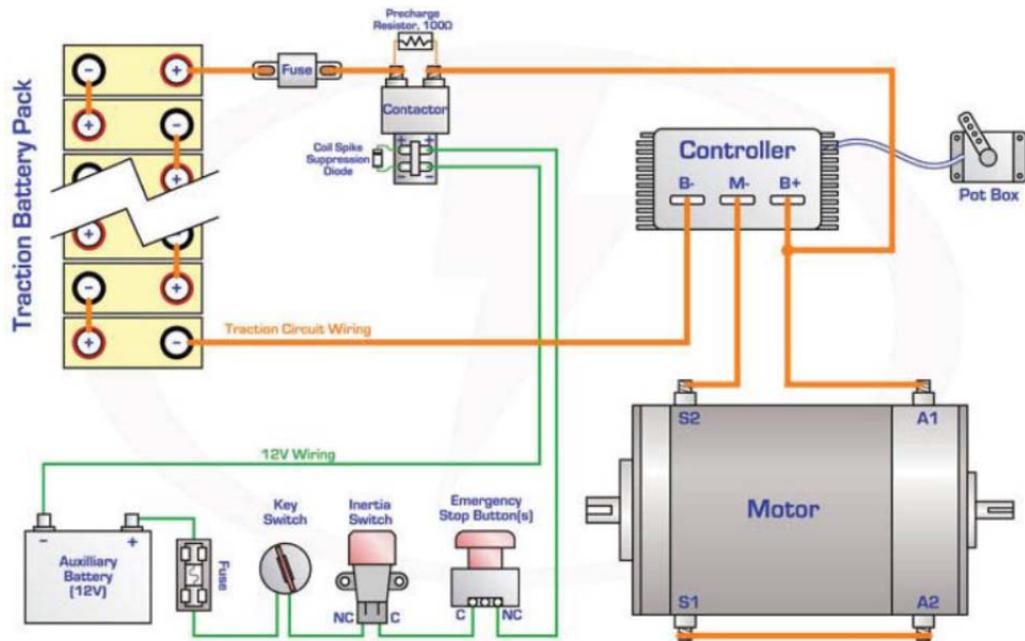
Pada mobil listrik yang akan dikembangkan menggunakan Motor listrik sebagai penggerak utamanya. Kecepatan laju dari kendaraan diatur oleh sistem kendali mobil listrik melalui pengaturan tekanan pada throttle atau pedal gas

Pada mobil listrik, kendali Motor akan mengatur kecepatan dan akselerasi dengan pergerakan mobil listrik dengan menggunakan teknologi Pulse Width Modulation (PWM) dalam pengontrolan motor.



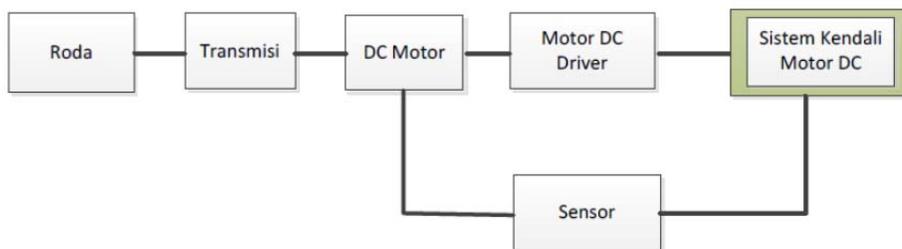
Gambar 5.1. Skema sistem kendali motor

Agar Motor dapat berputar sesuai dengan kecepatan yang diinginkan maka Motor harus dilengkapi dengan sistem Kendali dan Driver Motor yang handal. Sistem kendali Motor merupakan perangkat wajib yang dimiliki oleh setiap kendaraan atau mobil listrik



Gambar 5.2 Wiring system kendali motor listrik

Sebenarnya motor listrik akan memutar roda pada kendaraan melalui transmisi, bukan mengarahkan kendaraan, tetapi efeknya akan berimbas pada arah gerak kendaraan. Motor listrik berkaitan langsung dengan kecepatan atau laju dari mobil listrik.

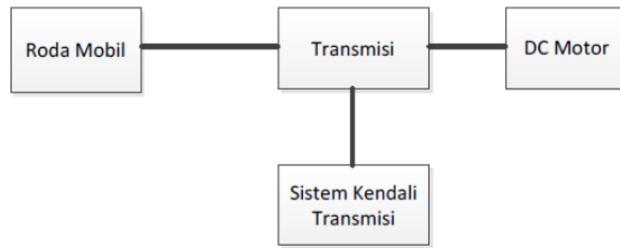


Gambar 5.3 Blok diagram sistem kendali motor

### Kendali Sistem Transmisi

Sistem Transmisi pada mobil berguna untuk mengendalikan arah gerak mobil ke depan atau kebelakang dan dapat juga mengatur perpindahan copling pada mobil listrik. Bila transmisi tidak

bekerja dengan baik maka akan berpengaruh pada kehandalan motor dan juga kenyamanan dalam berkendara

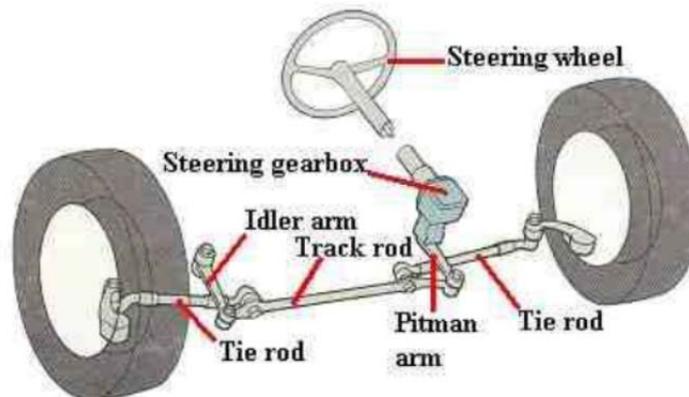


Gambar 5.4 bagan sistem kendali transmisi

### Sistem Kendali Steering

Steer pada mobil berguna untuk mengendalikan arah gerak mobil agar sesuai yang diinginkan, sehingga mobil dapat melaju lurus ke depan maupun ke belakang dan dapat juga berbelok ke arah kiri maupun kanan. Bila steer mobil tidak bekerja dengan baik maka akan berpengaruh pada keselamatan dan kenyamanan dalam berkendara. Steer mobil berkaitan langsung antara pengemudi dengan roda mobil

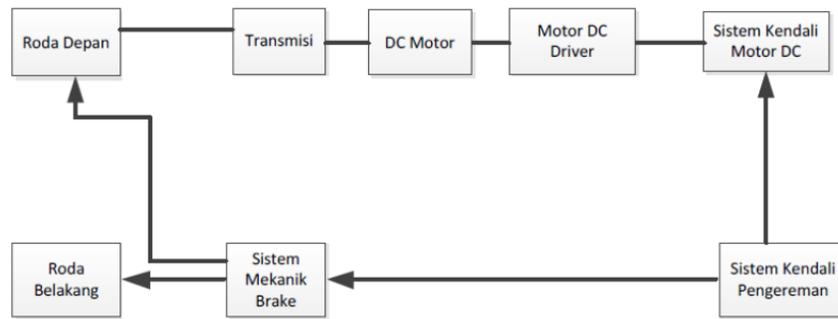
Sistem kemudi merupakan perangkat wajib yang dimiliki oleh setiap kendaraan bermotor. Sebenarnya steer atau sistem kemudi hanya mengarahkan roda pada kendaraan bukan mengarahkan kendaraan, tetapi efeknya akan berimbas pada arah gerak kendaraan. Salah satu bukti bahwa steer hanya menggerakkan roda kendaraan dengan menggerakkan kendaraan ke arah kiri atau kanan pada saat mobil dalam keadaan tidak bergerak atau tidak jalan, pada saat steer digerakkan ke kanan maka roda akan bergerak ke kanan atau pada saat steer digerakkan ke kiri maka roda akan bergerak ke kiri, tetapi tidak pada badan kendaraan tersebut



Gambar 5.5 Diagram steering system

### Sistem Kendali Pengereman

Setiap Mobil wajib memiliki sistem pengereman. Sistem pengereman berkaitan secara langsung dengan laju kendaraan. Sistem pengereman dapat dilakukan dengan mengatur putaran motor dan juga putaran roda pada mobil listrik

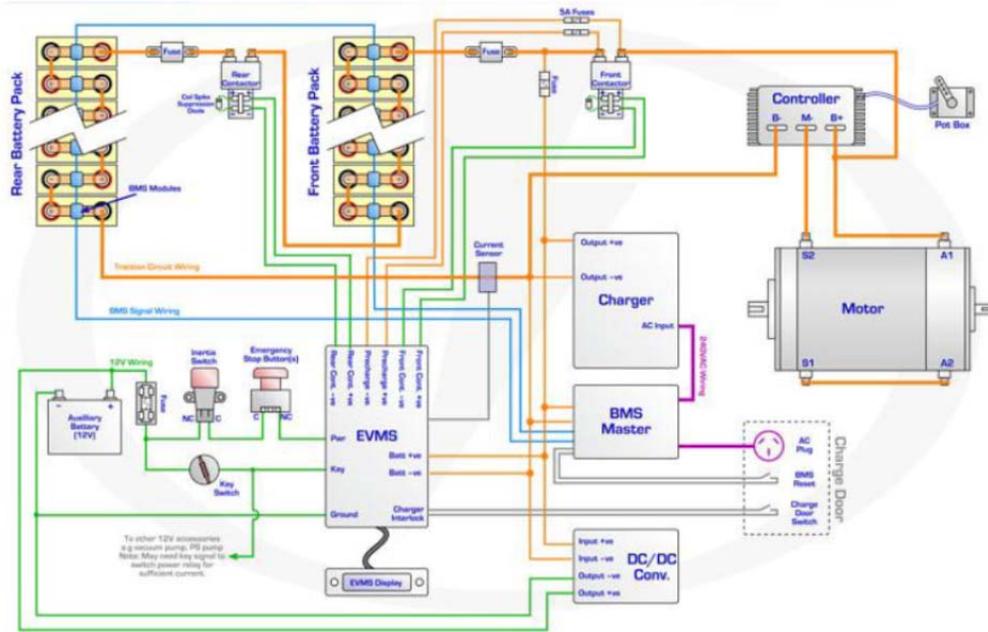


Gambar 5.6 Diagram alir sistem kendali rem

### Sistem Kendali Daya

Pada setiap sistem yang dibangun, semua harus mengimplementasikan konsep daya terkendali dan efisien. Sistem Kendali Daya pada mobil listrik yang akan dibangun, menggunakan komputer sebagai sistem utama untuk pengendalinya. Seluruh subsistem elemen kendali daya akan dihubungkan pada komputer dengan menggunakan komunikasi data via ethernet.

Seluruh aktivitas penggunaan dan pengisian daya pada baterai akan diatur sehingga seluruh aktifitasnya dapat dicatat

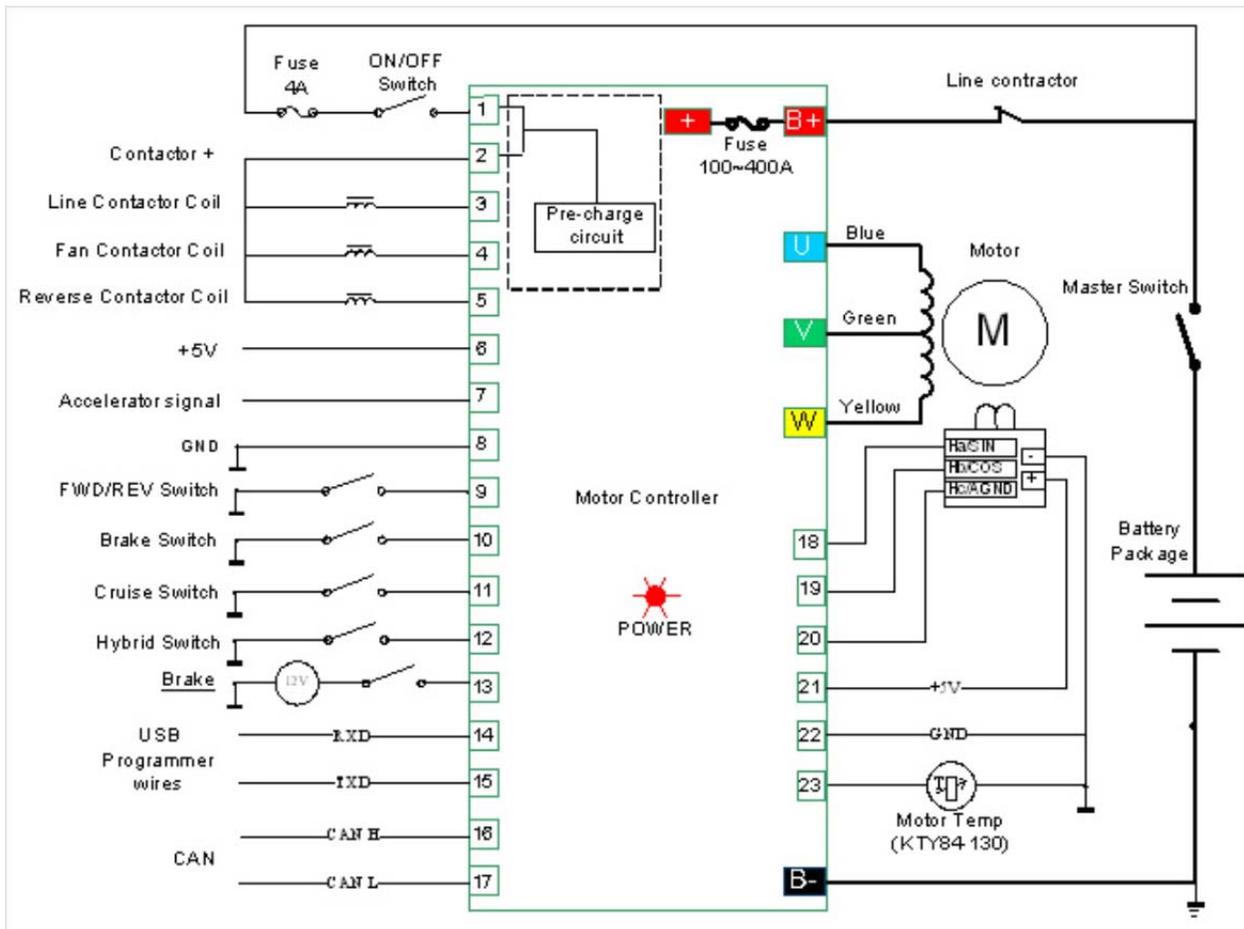


Gambar 5.7 Wiring diagram sistem kendali daya mobil listrik

Pengendalian yang diterapkan dalam mobil listrik ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 5.8 Realisasi Kontroler motor BLDC



Gambar 5.9 Realisasi wiring diagram

# BAB VI

## PENGUJIAN SIFAT SIFAT MATERIAL BODY MOBIL LISTRIK

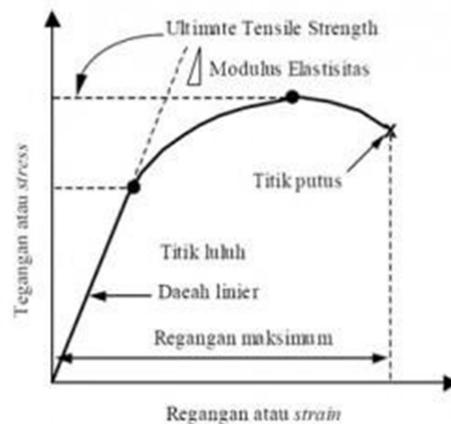
### LISTRIK

Untuk mengetahui karakteristik bahan body mobil listrik maka dilakukan pengujian sebagai berikut:

#### 6.1 Uji tarik

Uji Tarik merupakan salah satu pengujian untuk mengetahui sifat-sifat suatu bahan. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkeraman (grip) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (highly stiff).

Banyak hal yang dapat kita pelajari dari hasil uji tarik. Bila kita terus menarik suatu bahan (dalam hal ini suatu logam) sampai putus, kita akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap yang berupa kurva seperti digambarkan pada Gambar di bawah ini. Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang. Profil ini sangat diperlukan dalam desain yang memakai bahan tersebut.



Gamabr 6.1 Diagram uji tarik

Uji tarik bertujuan untuk mendapatkan informasi-informasi yang dibutuhkan oleh pengguna bahan logam, informasi yang akan diperoleh antara lain :

1. Tegangan Luluh (*Yield Strength*),
2. Tegangan Tarik Maksimum,
3. Kekuatan Patah (*Fracture Strength*),
4. Elongasi,

5. Modulus Elastisitas, dan
6. Kontraksi.

Untuk mengetahui data-data diatas, biasanya mesin penguji yang telah dihubungkan dengan komputer, diprogram untuk mengolah data diatas, namun untuk memberikan informasi data yang lebih beberapa data perlu dihitung secara manual menggunakan rumus persamaan matematis.

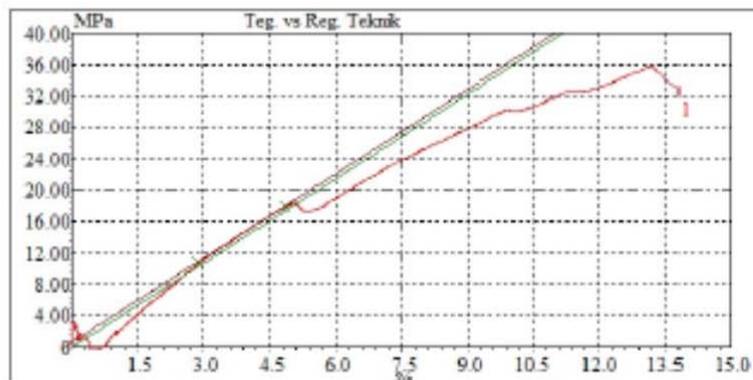
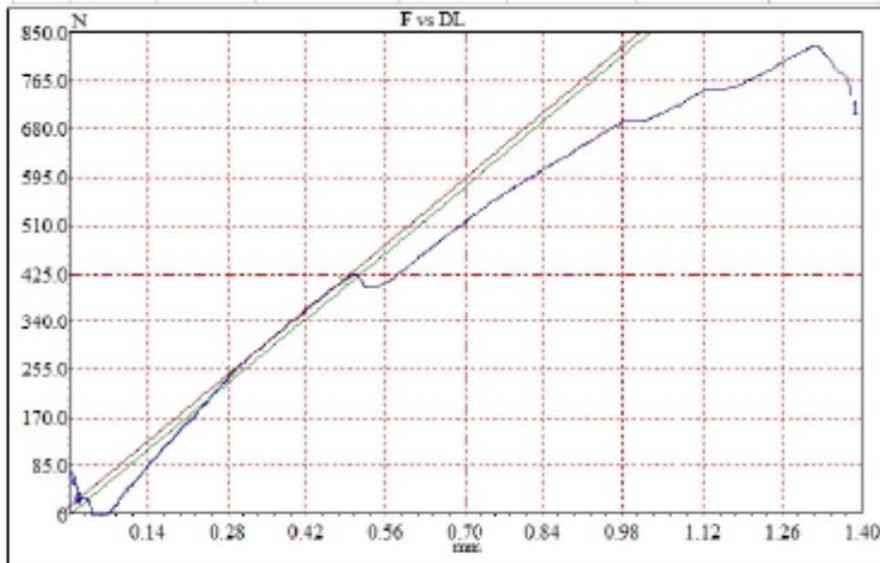
Hasil Uji tarik bahan body mobil listrik dapat dijelaskan sebagai berikut:

<b>Bentuk spesimen</b>	<b>Plate</b>
<b>Width (L)</b>	6.25 mm
<b>Thickness (T)</b>	3.70 mm
<b>Height</b>	10 mm
<b>Grip</b>	32 mm
<b>Length</b>	100 mm



Date : 06/09/17

No.	Material	Elongation %	Tensile Strength MPa	Max. Load N	Yield strength MPa	Elastic modulus MPa	Energy N-mm	Fracture N
1	Composit	13.2	35.765	827.059	18.115	361.412	659.830	736.779



Dokumentasi:



## **6.2. Uji Keras**

### **Uji Keras Brinell**

Pengujian kekerasan dengan metode Brinell bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap bola baja (identor) yang ditekan pada permukaan material uji tersebut (specimen). Idealnya, pengujian Brinell diperuntukan bagi material yang memiliki kekerasan Brinell sampai 400 HB, jika lebih dari nilai tersebut maka disarankan menggunakan metode pengujian Rockwell ataupun Vickers. Angka Kekerasan Brinell (HB) didefinisikan sebagai hasil bagi (Koefisien) dari beban uji (F) dalam Newton yang dikalikan dengan angka faktor 0,102 dan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) bola baja (A) dalam milimeter persegi. Identor (Bola baja) biasanya telah dikeraskan dan diplating ataupun terbuat dari bahan Karbida Tungsten. Jika diameter Identor 10 mm maka beban yang digunakan (pada mesin uji) adalah 3000 N sedang jika diameter Identornya 5 mm maka beban yang digunakan (pada mesin uji) adalah 750 N. Dalam Praktiknya, pengujian Brinell biasa dinyatakan dalam (contoh) : HB 5 / 750 / 15 hal ini berarti bahwa kekerasan Brinell hasil pengujian dengan bola baja (Identor) berdiameter 5 mm, beban Uji adalah sebesar 750 N per 0,102 dan lama pengujian 15 detik. Mengenai lama pengujian itu tergantung pada material yang akan diuji. Untuk semua jenis baja lama pengujian adalah 15 detik sedang untuk material bukan besi lama pengujian adalah 30 detik.

### **Uji Keras Vickers**

Pengujian kekerasan dengan metode Vickers bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap intan berbentuk piramida dengan sudut puncak 136 Derajat yang ditekan pada permukaan material uji tersebut. Angka kekerasan Vickers (HV) didefinisikan sebagai hasil bagi (koefisien) dari beban uji (F) dalam Newton yang dikalikan dengan angka faktor 0,102 dan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) bola baja (A) dalam milimeter persegi. Secara matematis dan setelah disederhanakan, HV sama dengan 1,854 dikalikan beban uji (F) dibagi dengan diagonal intan yang dikuadratkan. Beban uji (F) yang biasa dipakai adalah 5 N per 0,102; 10 N per 0,102; 30 N per 0,102N dan 50 per 0,102 N. Dalam Praktiknya, pengujian Vickers biasa dinyatakan dalam (contoh) : HV 30 hal ini berarti bahwa kekerasan Vickers hasil pengujian dengan beban uji (F) sebesar 30 N per 0,102 dan lama pembebanan 15 detik. Contoh lain misalnya HV 30 / 30 hal ini berarti bahwa kekerasan Vickers hasil pengujian

dengan beban uji (F) sebesar 30 N per 0,102 dan lama pembebanan 30 detik.

### Uji Keras Rockwell

Skala yang umum dipakai dalam pengujian Rockwell adalah :

- a. HRa (Untuk material yang sangat keras)
- b. HRb (Untuk material yang lunak). Indentor berupa bola baja dengan diameter 1/16 Inchi dan beban uji 100 Kgf.
- c. HRc (Untuk material dengan kekerasan sedang). Indentor berupa Kerucut intan dengan sudut puncak 120 derajat dan beban uji sebesar 150 kgf.

Pengujian kekerasan dengan metode Rockwell bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap benda uji (speciment) yang berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekan pada permukaan material uji tersebut.

Data-Data Uji Keras adalah sebagai berikut:

NO	Harga Kekerasan (HRB)
1.	22
2.	33
3.	32
4.	28
5.	40
6.	28
7.	42
8.	29
9.	30.5
10.	36

### Kekerasan Rata - Rata

$$1. \quad HRB = \frac{22+33+32+28+40+28+42+29+30.5+36}{10}$$

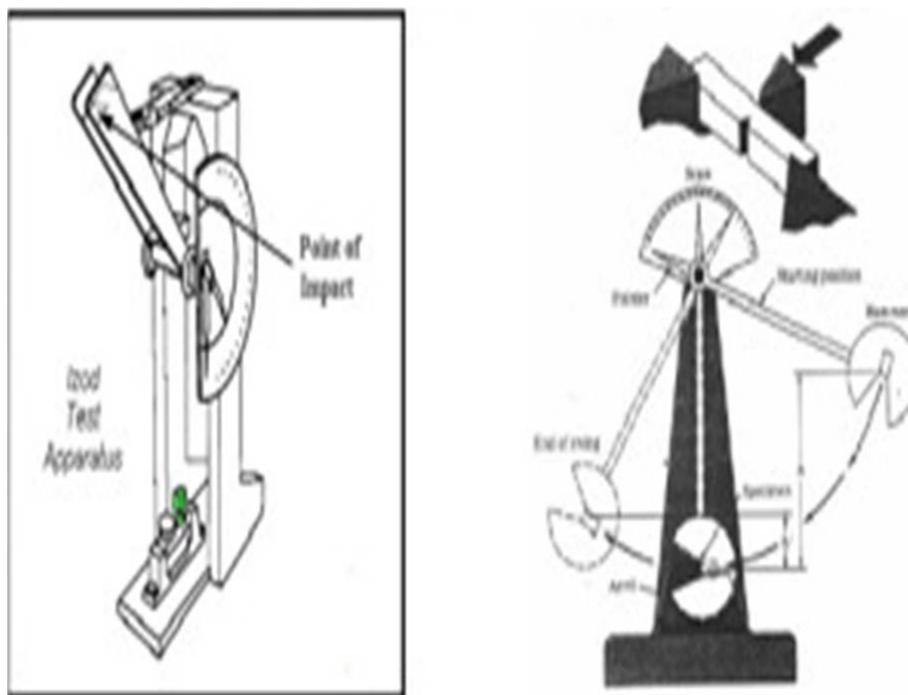
$$HRB = 32.05$$

## Dokumentasi



### 6.3. Uji Impak

Untuk menentukan sifat peretakan suatu material, keuletan maupun kegetasannya, dapat dilakukan suatu pengujian yang dinamakan dengan uji impak. Pengujian impak menggunakan batang spesimen bertakik yang sudah distandarisasi. Berbagai jenis pengujian impak batang bertakik telah digunakan untuk menentukan kecenderungan benda untuk bersifat getas. Dengan pengujian impak dapat diketahui perbedaan sifat benda yang tidak teramati dalam uji tarik. (Anrinal, 2013)



Gambar 6.2 Ilustrasi pengujian impak

Dasar pengujian impak ini adalah penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami deformasi atau patahan. Pada proses tumbukan, dapat dihitung kerja tumbukan yang diterima  $W$ , yakni kerja karena perubahan bentuk dari benda uji sampai mencapai munculnya kepatahan. Kekuatan tumbukan dimana,

$$WS = \frac{W}{A}$$

Keterangan:

A = Penampang patah

W = Kerja tumbukan

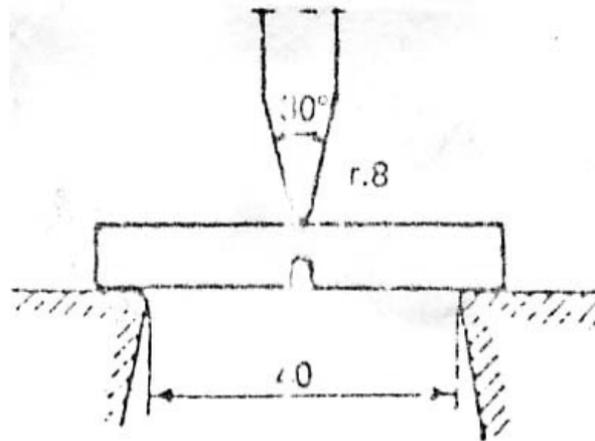
WS = Besaran yang mengontrol karakteristik bahan kerja.

Sifat material yang berhubungan dengan kerja yang dibutuhkan untuk menyebabkan patahan dinamakan ketangguhan dan tergantung pada tipe pembebanan. Walaupun demikian, tingkat dimana energi diserap dengan nyata dapat mempengaruhi sifat material dan ukuran ketangguhan yang berbeda mungkin didapat dari beban impak.

Secara umum benda uji impak dikelompokkan ke dalam dua golongan sampel standar yaitu : batang uji *Charpy* banyak digunakan di Amerika Serikat dan batang uji *Izzod* yang lazim digunakan di Inggris dan Eropa.

#### 1. Metoda *Charpy*

Benda uji *Charpy* memiliki luas penampang lintang bujur sangkar ( $10 \times 10$  mm) dengan panjang 55 mm<sup>2</sup> dan memiliki takik (*notch*) berbentuk V dengan sudut  $45^\circ$ , dengan jari-jari dasar 0,25 mm dan kedalaman 2 mm. Pada pengujian kegetasan bahan dengan cara *impact charpy*, pendulum diarahkan pada bagian belakang takik dari batang uji.



Gambar 6.3 Peletakan spesimen metoda *charpy*

Adapun kelebihan dan kekurangan dari metode *charpy* adalah :

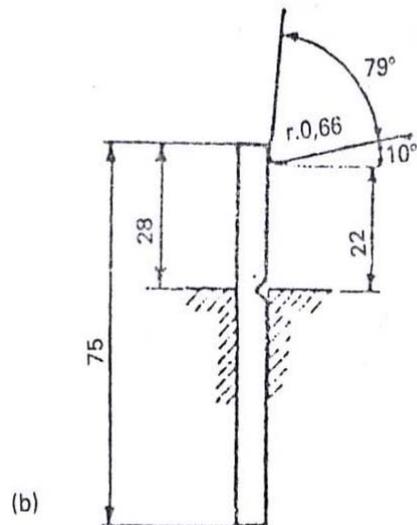
a. Kelebihan :

- 1) Hasil pengujian lebih akurat.
- 2) Pengerjaannya lebih mudah dipahami dan dilakukan.

- 3) Menghasilkan tegangan uniform di sepanjang penampang.
  - 4) Harga alat lebih murah.
  - 5) Waktu pengujian lebih singkat.
- b. Kekurangan :
- 1) Hanya dapat dipasang pada posisi *horizontal*.
  - 2) Spesimen dapat bergeser dari tumpuannya karena tidak dicekam.
  - 3) Pengujian hanya dapat dilakukan pada specimen yang kecil.
  - 4) Hasil pengujian kurang dapat atau tepat dimanfaatkan dalam perancangan karena *level* tegangan yang diberikan tidak rata.

## 2. Metoda *Izzod*

Benda uji *izzod* lazim digunakan di Inggris, namun sekarang mulai jarang digunakan. Benda uji *izzod* mempunyai penampang lintang bujur sangkar atau lingkaran dan bertakik v didekat ujung yang dijepit. Pada pengujian impak cara *izzod*, pukulan pendulum diarahkan pada jarak 22 mm dari penjepit dan takikannya menghadap pada pendulum.



Gambar 6.4 Peletakan spesimen metoda *izzod*

Adapun kelebihan dan kekurangan dari metode *izzod* adalah :

- a. Kelebihan

- 1) Tumbukan tepat pada takikan karena benda kerja dicekam dan spesimen tidak mudah bergeser karena dicekam pada salah satu ujungnya.
  - 2) Dapat menggunakan spesimen dengan ukuran yang lebih besar.
- b. Kerugian :
- 1) Biaya pengujian yang lebih mahal.
  - 2) Pembebanan yang dilakukan hanya pada satu ujungnya, sehingga hasil yang diperoleh kurang baik.
  - 3) Proses pengerjaan pengujiannya lebih sukar.
  - 4) Hasil perpatahan yang kurang baik.
  - 5) Waktu yang digunakan cukup banyak karena prosedur pengujiannya yang banyak, mulai dari menjepit benda kerja sampai tahap pengujian.
  - 6) Memerlukan mesin uji yang berkapasitas 10.000 ton.

Pengerjaan benda uji pada *impact charpy* dan *izod* dikerjakan habis pada semua permukaan. Takikan dibuat dengan mesin fris atau alat *notch* khusus takik.

Prinsip pengujian impak adalah apabila pendulum dengan berat  $G$  dan pada kedudukan  $h_1$  dilepaskan, maka akan mengayun sampai kedudukan posisi akhir 4 pada ketinggian  $h_2$  yang juga hampir sama dengan tinggi semula ( $h_1$ ), dimana pendulum mengayun bebas. Pada mesin uji yang baik, skala akan menunjukkan usaha lebih dari 0,05 kilogram meter ( $\text{kg m}$ ) pada saat pendulum mencapai kedudukan 4 . Apabila batang uji dipasang pada kedudukannya dan pendulum dilepaskan, maka pendulum akan memukul batang uji dan selanjutnya pendulum akan mengayun sampai kedudukan 3 pada ketinggian  $h_2$ . Usaha yang dilakukan pendulum waktu memukul benda uji atau usaha yang diserap benda uji sampai patah dapat diketahui melalui rumus sebagai berikut:

$$W_1 = G \times h_1 \text{ (kg m)}$$

$$W_1 = G \times \lambda(1 - \cos \alpha) \text{ (kg m)}$$

Keterangan :

$W_1$  = usaha yang dilakukan ( $\text{kg m}$ )

$G$  = berat pendulum ( $\text{kg}$ )

$h_1$  = jarak awal antara pendulum dengan benda uji ( $\text{m}$ )

$\lambda$  = jarak lengan pengayun ( $\text{m}$ )

$\cos \lambda$  = sudut posisi awal pendulum

Sedangkan sisa usaha setelah mematahkan benda uji dapat diketahui melalui rumus sebagai berikut :

$$W_2 = G \times h_2 \text{ (kg m)}$$

$$W_2 = G \times \lambda(1 - \cos \beta) \text{ (kg m)}$$

Keterangan :

$W_2$  = sisa usaha setelah mematahkan benda uji (kg m)

$G$  = berat pendulum (kg)

$h_2$  = jarak akhir antara pendulum dengan benda uji (m)

$\lambda$  = jarak lengan pengayun (m)

$\cos \beta$  = sudut posisi akhir pendulum

Besarnya usaha yang diperlukan untuk memukul patah benda uji dapat diketahui melalui rumus sebagai berikut :

$$W = W_1 - W_2 \text{ (kg m)}$$

$$W = G \times \lambda(\cos \beta - \cos \lambda) \text{ (kg m)}$$

Keterangan :

$W$  = usaha yang diperlukan untuk mematahkan benda uji (kg m)

$W_1$  = usaha yang dilakukan (kg m)

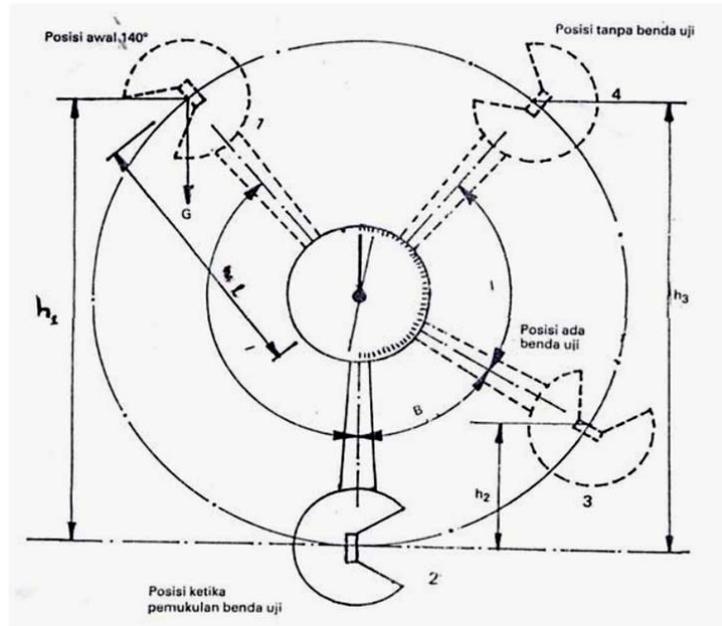
$W_2$  = sisa usaha setelah mematahkan benda uji (kg m)

$G$  = berat pendulum (kg)

$\lambda$  = jarak lengan pengayun (m)

$\cos \lambda$  = sudut posisi awal pendulum

$\cos \beta$  = sudut posisi akhir pendulum



Gambar 6.5 Prinsip dasar mesin uji impact

Pengujian yang dilakukan dengan metode *Charpy* akan menghasilkan harga impact yang lebih valid dibandingkan bila dilakukan dengan metode *Izod*, karena energi yang diserap penyangga tidak terlalu besar sehingga tidak banyak mempengaruhi harga impact.

### Hasil Pengujian Impact

L (lebar spesimen)	3 mm
h (tinggi di bawah takikan)	9 mm
E (energi)	12 joule

### Harga Impact

$$HI = \frac{E}{A} = \frac{12}{3 \times 9} = 0.44 \frac{\text{Joule}}{\text{mm}^2}$$

## Dokumentasi



## **BAB VII**

### **PROTOTYPE MOBIL LISTRIK CROSS OVER**

Penelitian mengenai mobil listrik Itenas dimulai dari pengembangan platform dimana chassis untuk mobil listrik jenis cross over tetap mengacu pada lader chassis namun mempunyai bobot yang lebih ringan. Pengurangan bobot tersebut dilakukan dengan membuat struktur lader berlubang dimana lubang tersebut diatur sedemikian rupa sehingga tidak mengurangi kekuatan chassis itu sendiri. Pengembangan platform diikuti dengan pengembangan body. Pengembangan body dimulai dengan pemodelan aerodinamis, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan clay model dan selanjutnya pembuatan skala 1 : 1. Body harus sesuai dengan chassis cross over. Penggabungan chassis (platform) dan body diikuti dengan pengembangan interior. Rangkaian chassis dan body dilengkapi dengan motor penggerak, baterai, dan sistem kontrol hingga terbentuklah mobil listrik cross over.

Mobil listrik yang dikembangkan Itenas ini adalah penggerak roda belakang. Dengan penggerak roda belakang maka efektivitas penyaluran daya pada roda belakang lebih baik untuk kendaraan cross over ini dimana titik berat mobil berada di belakang. Penempatan penggerak roda belakang ini memerlukan ketelitian desain tersendiri. Dipadu dengan baterai VRLA dengan kapasitas 200 Ah, 72 V, motor BLDC dengan kapasitas 50 kWP serta sistem kontrol mobil ini bisa melaju di jalan dengan karakteristik jalan yang tidak rata.

#### **7.1 Spesifikasi Teknis**

Mobil listrik Itenas merupakan mobil cross over berkapasitas 5 penumpang. Spesifikasi mobil tersebut adalah sebagai berikut:

##### **Dimensi**

Panjang : 3800 mm

Lebar	: 1250 mm
Tinggi	: 1300 mm
Ground clearance	: 40 cm
Jarak sumbu roda	: 2200 mm
Diameter Roda	: 16 inch

### **Penggerak**

Jenis	: Motor BLDC
Daya	: 50 kWP
Putaran	: 3000 – 4800 RPM
Tegangan	: 72 V DC
Pendingin	: Liquid cooling

### **Baterai**

Jenis	: VRLA
Kapasitas	: 200 Ah
Tegangan total seri	: 72 V

### **Performance**

Kapasitas	: 5 penumpang
Kecepatan maksimum	: 70 km/jam
Akselerasi	: 0 – 70km/jam selama 5 detik

### **Suspensi**

Depan	: Macpherson Strut
Belakang	: Pegas daun

## Rem

Depan : Rem cakram berventilasi

Belakang : Tromol



















## 7.2 Pengujian

Pengujian dilakukan dengan 2 metode yaitu metode statis dengan cara menyalakan mesin tanpa beban. Mobil di angkat dan motor listrik dijalankan sehingga ban berputar di tempat. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui performance baterai dan motor. Pengujian dilakukan mulai baterai terisi penuh sampai kosong dengan putaran penuh.

Berikut ini data-data hasil pengujian:

Putaran Motor listrik : 4000 rpm

Putaran roda belakang : 1500 rpm

Waktu sampai isi baterai habis : 120 menit

Tahapan yang kedua adalah uji jalan. Pada pengujian ini mobil di jalankan di lingkungan kampus ITENAS dengan berbagai manufer seperti akselerasi, pengereman, belok kanan, kiri, jalan berlubang dan polisi tidur dan lain-lain. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik mobil listrik secara keseluruhan.

Berdasarkan hasil pengujian:

- Roda depan belakang kiri dan kanan berputar dengan baik
- Sistem kemudi berjalan dengan baik
- Sistem rem berjalan dengan baik
- Sistem suspensi berjaan dengan baik dan nyaman, melewati polisi tidur dan jalan berlubang dengan tenang.
- Proses manufer juga bisa dilaknadakan dengan baik.





Uji jalan yang kedua dilakukan di jalan umum. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui performance mobil listrik secara keseluruhan. Pengujian dilakukan di jalan umum di sekitar kampus. Dan berdasarkan pengujian tersebut dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Roda depan belakang kiri dan kanan berputar dengan baik
- Sistem kemudi berjalan dengan baik
- Sistem rem berjalan dengan baik
- Sistem suspensi berjalan dengan baik dan nyaman, melewati polisi tidur dan jalan berlubang dengan tenang.
- Proses manuver juga bisa dilaksanakan dengan baik.
- Kelistrikan berjalan normal
- Speedometer berjalan normal
- Kecepatan maksimum 70 km/jam
- Akselerasi 0-70 km/jam dalam waktu 5 detik
- Umur baterai 65 menit.





## **BAB VIII**

### **KESIMPULAN**

Platform atau sering disebut chasis merupakan suatu perangkat dimana komponen-komponen utama suatu kendaraan listrik ditempatkan. Pada platform tersebut ditempatkan baterai, sistem steering, suspensi, sistem roda beserta sistem rem dan peralatan pendukung lain.

Penelitian ini dimulai tahun 2013 dengan study literatur mengenai mobil listrik dari beberapa sumber. Khusus mengenai platform (chasis) seperti ditelah dijelaskan dalam bab pendahuluan dan telah teridentifikasi beberapa hal yang harus dilakukan perbaikan dan penyesuaian dengan kondisi di Indonesia. Pemodelan serta penyiapan infrastruktur juga sudah dilaksanakan dengan peralatan-peralatan eksisting seperti komputer dan peralatan lab. Target akhir dari penelitian ini adalah mobil listrik yang sesuai dengan karakteristik medan dan pengemudi di Indonesia dan siap secara komersial. Oleh karena itu platform (chasis) mobil listrik yang dihasilkan dapat memenuhi syarat kendaraan komersial.

Dari pengembangan platform dimana chassis untuk mobil listrik jenis cross over tetap mengacu pada lader chassis namun mempunyai bobot yang lebih ringan. Pengurangan bobot tersebut dilakukan dengan membuat struktur lader berlubang dimana lubang tersebut diatur sedemikian rupa sehingga tidak mengurangi kekuatan chassis itu sendiri.

Setelah platform dikembangkan maka dibuat prototype mobil listrik skala 1 : 1. Perancangan body mobil listrik sendiri dilakukan dengan pemodelan dan optimasi dengan software. Dan mobil listrik yang dihasilkan mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

Mobil listrik Itenas merupakan mobil cross over berkapasitas 5 penumpang. Spesifikasi mobil tersebut adalah sebagai berikut:

#### **Dimensi**

Panjang : 3800 mm

Lebar : 1250 mm

Tinggi : 1300 mm

Ground clearance : 40 cm

Jarak sumbu roda : 2200 mm

Diameter Roda : 16 inch

### **Penggerak**

Jenis : Motor BLDC

Daya : 50 kW

Putaran : 3000 – 4800 RPM

Tegangan : 72 V DC

Pendingin : Liquid cooling

### **Baterai**

Jenis : VRLA

Kapasitas : 200 Ah

Tegangan total seri : 72 V

### **Performance**

Kapasitas : 5 penumpang

Kecepatan maksimum : 70 km/jam

Akselerasi : 0 – 70km/jam selama 5 detik

### **Suspensi**

Depan : Macpherson Strut

Belakang : Pegas daun

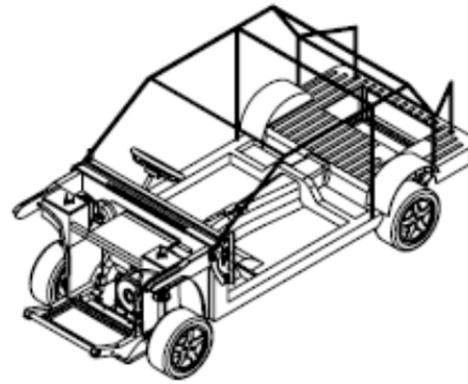
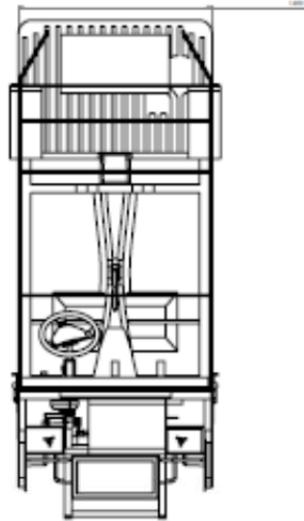
**Rem**

Depan : Rem cakram berventilasi

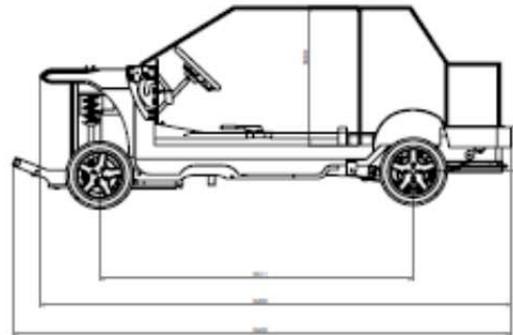
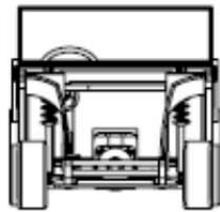
Belakang : Tromol

## DAFTAR PUSTAKA

- Beer, Ferdinand P dan Russell Johnston E Jr. (1991) : Mekanika Untuk Insinyur Statika Edisi Empat, Erlangga, Jakarta, 167, 251
- Popov E P, Zainul Astamar. (1983) : Mekanika Teknik (*Mechanics of Materials*) Edisi Kedua. Penerbit Erlangga. Ciracar, Jakarta, 4-8, 21
- Fadila, Ary. (2013) : ANALISIS SIMULASI STRUKTUR CHASSIS MOBIL MESIN USU BERBAHAN BESI STRUKTUR TERHADAP BEBAN STATIK DENGAN MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK ANSYS 14.5. Universitas Sumatera Utara, Medan
- Naufan, Ilham. (2016) : Perancangan Chassis Type Tubular Space Frame Untuk Mobil Balap Listrik. Itenas : Bandung
- Hidayat, Nur. (2013) : Solidworks 3d Drafting and Design. (ISBN 978-602-1514-30-6), Informatika Bandung.
- Schuring, H dan B. Wasito kusmoyudo. (1982) : Teknik Kendaraan Bermotor 1 Casis, Angkasa offset, Bandung, 2-5.
- User guide's solidworks 2016



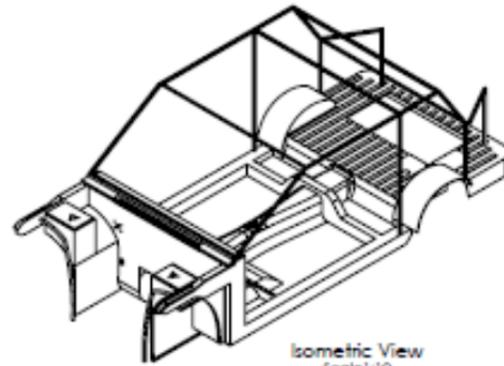
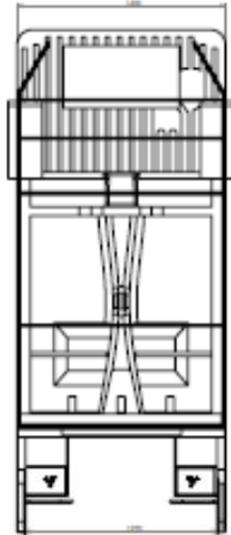
Isometric View  
Scale:1:10



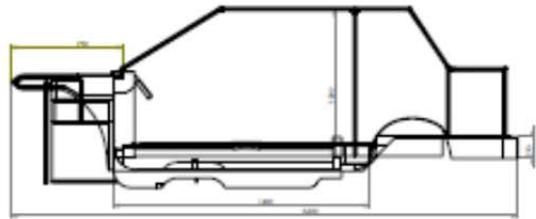
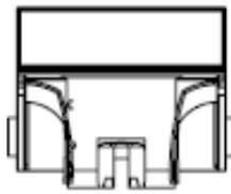
Project Information		Revision History	
Item	Description	By	Date
1	Initial Design		
2	Design Review		
3	Final Approval		

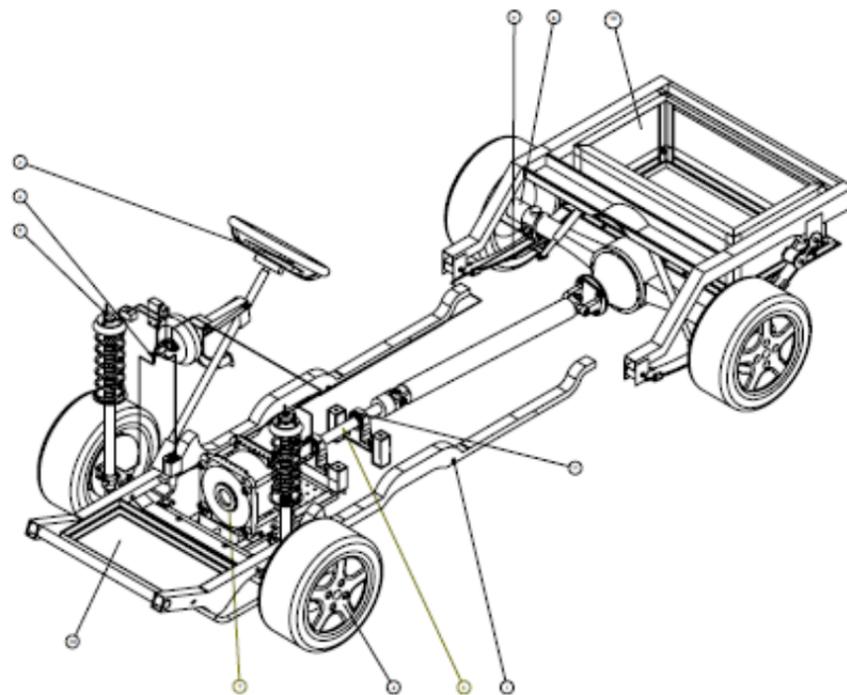
40 Mobil Link Platform 2	
Author	
Checker	
Approver	
Date	



Isometric View  
Scale:1:10



Sl. No.	Particulars	Quantity	Unit
1	Concrete		m <sup>3</sup>
2	Bricks		No.
3	Steel		kg
4	Plaster		m <sup>2</sup>
5	Paint		kg
6	Formwork		m <sup>2</sup>
7	Labour		man-days
8	Other		
Cabin Platform			

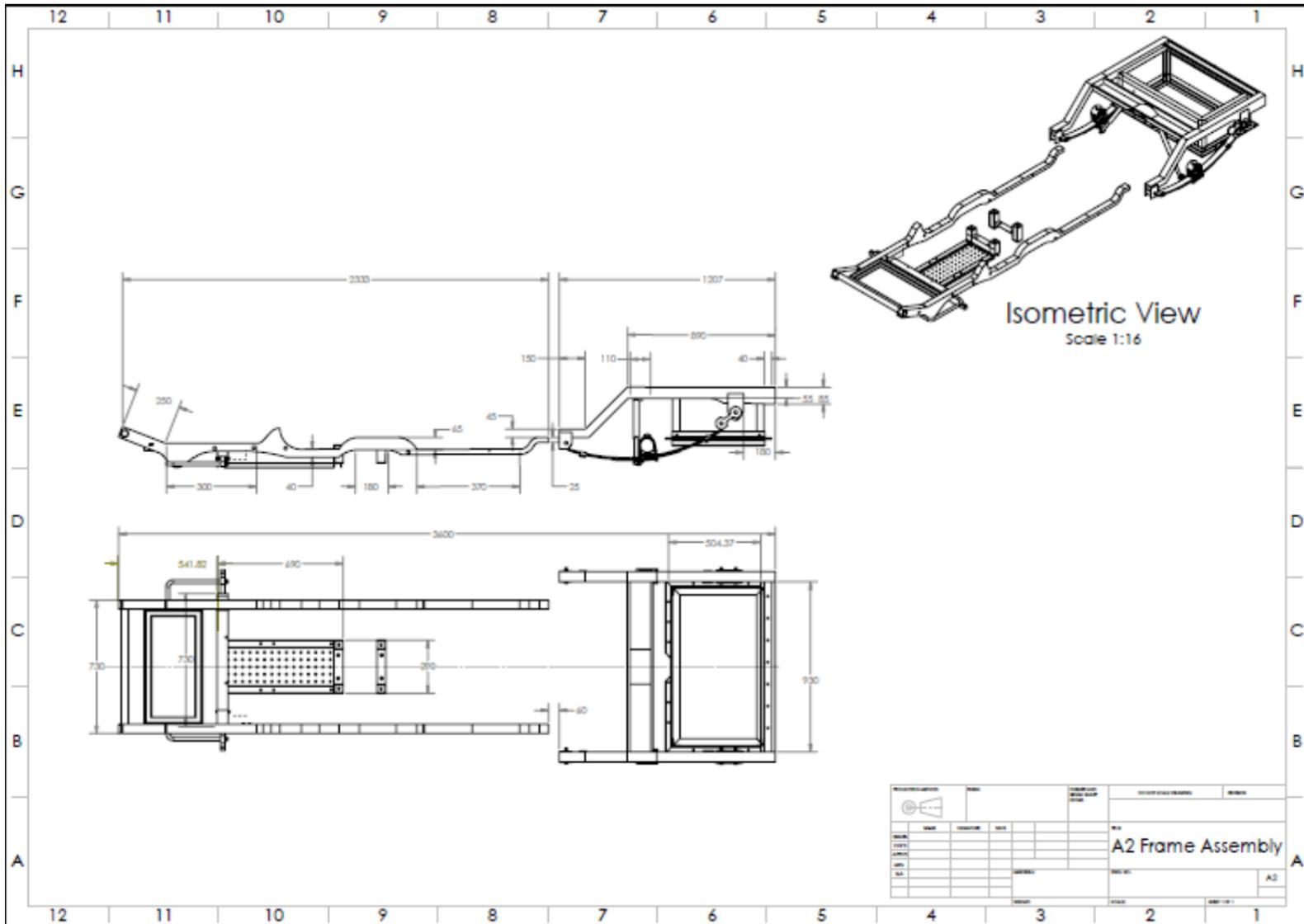


Isometric View  
Scale 1:5

1	Front Spring		1
2	Front Fork		1
3	Front Wheel		1
4	Front Axle		1
5	Front Hub		1
6	Front Brake		1
7	Front Suspension		1
8	Front Frame		1
9	Front Motor		1
10	Front Gear		1
11	Front Drive Shaft		1
12	Front Gear Box		1

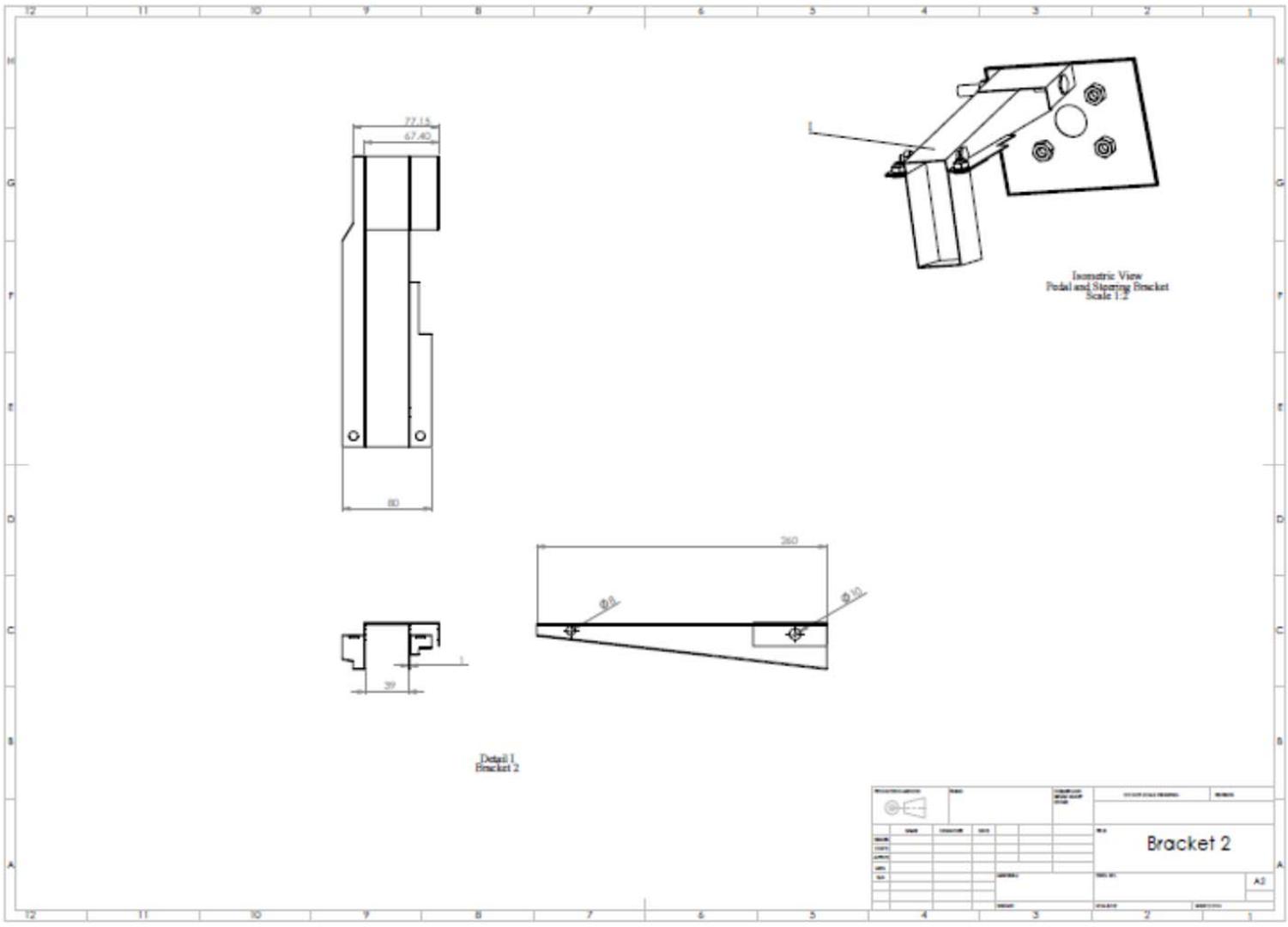
AD Drive Train 1	
Author	
Checked	
Date	
Version	







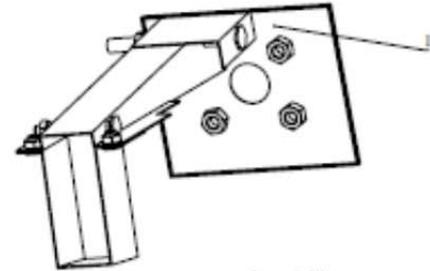
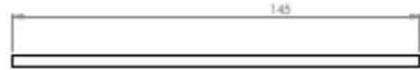




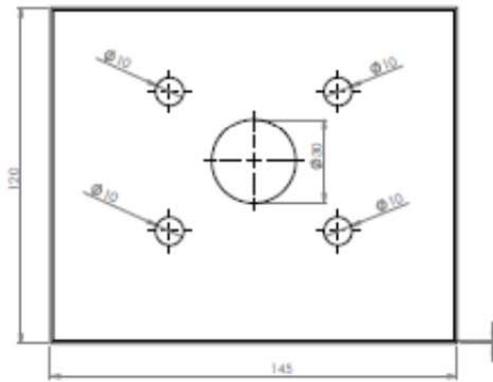
Isometric View  
Pedal and Spacing Bracket  
Scale 1:2

Detail 1  
Bracket 2

		TITLE <b>Bracket 2</b>	SHEET NO. A2
NO. 1	DATE 	DRAWN BY 	CHECKED BY 
DESIGNED BY 	DATE 	PROJECT NO. 	SCALE 
DRAWN BY 	DATE 	PROJECT NO. 	SCALE 



Isometric View  
Pedal and Steering Bracket  
Scale 1:2



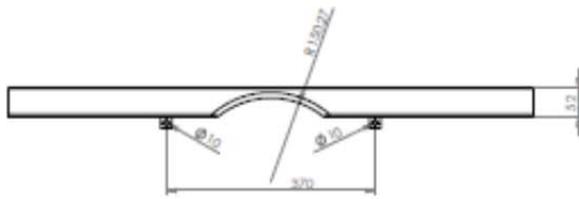
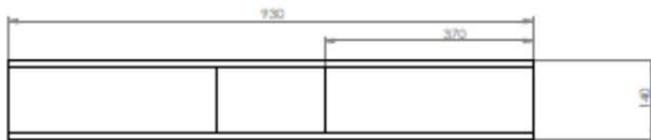
Detail 1  
Bracket 3



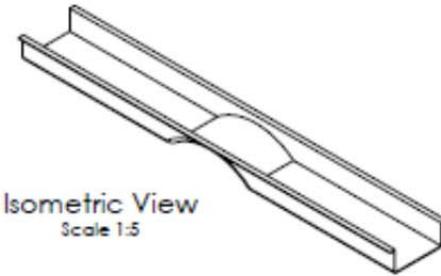
		TITLE <b>Bracket 3</b>	
NAME DATE	DRAWN BY DATE	CHECKED BY DATE	SCALE 1:1
MATERIAL 304 STAINLESS STEEL		QUANTITY 100	
PROJECT MECHANICAL DESIGN		SHEET NO. 10	



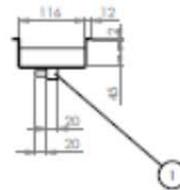




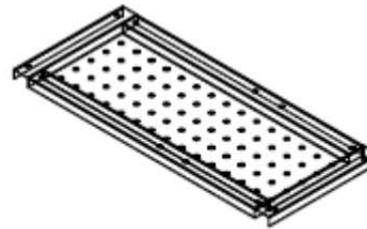
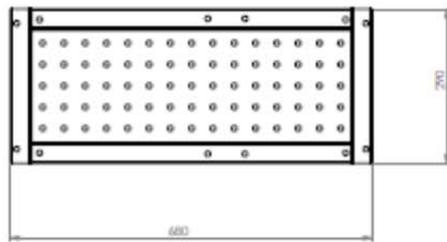
Crossmember 3  
Scale 1:5



Isometric View  
Scale 1:5



NO	PART NAME	DESCRIPTION	QTY																																				
1	Shock Absorber bracket																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO</th> <th>DESCRIPTION</th> <th>QTY</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Crossmember 3</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				NO	DESCRIPTION	QTY	1	Crossmember 3																															
NO	DESCRIPTION	QTY																																					
1	Crossmember 3																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DATE</th> <th>REVISION</th> <th>BY</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>			DATE	REVISION	BY																<table border="1"> <thead> <tr> <th>DATE</th> <th>REVISION</th> <th>BY</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	DATE	REVISION	BY															
DATE	REVISION	BY																																					
DATE	REVISION	BY																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DATE</th> <th>REVISION</th> <th>BY</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>			DATE	REVISION	BY																<table border="1"> <thead> <tr> <th>DATE</th> <th>REVISION</th> <th>BY</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	DATE	REVISION	BY															
DATE	REVISION	BY																																					
DATE	REVISION	BY																																					

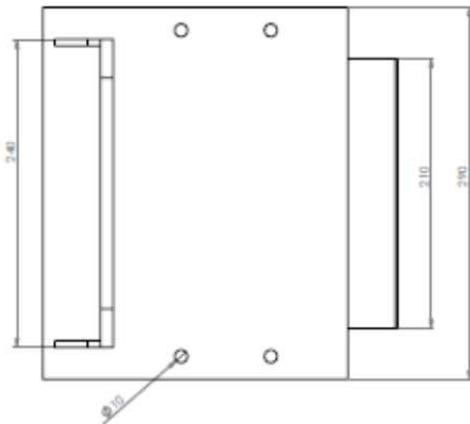


Isometric View  
Scale 1:5

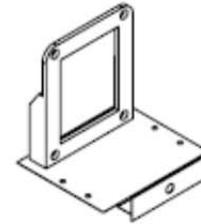


Electric Engine Bracket  
Scale 1:5

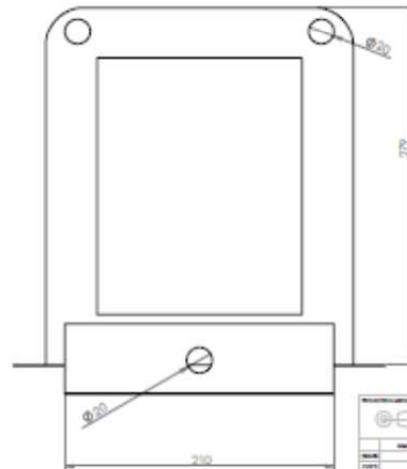
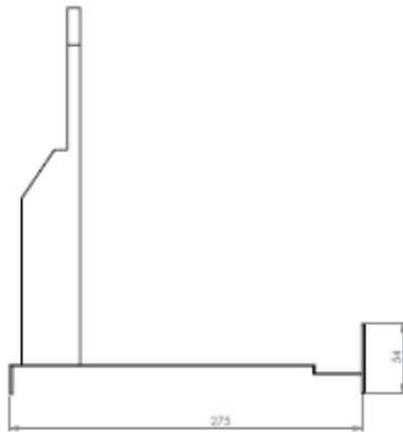
		TITLE BLOCK TITLE DATE DRAWN BY CHECKED BY APPROVED BY	PROJECT NO. SHEET NO.
NAME GRADE COURSE DATE	SUBJECT TOPIC INSTRUCTOR	TITLE <b>Electric Engine Bracket</b>	SHEET NO. <b>A2</b>



Electric Engine Mount  
Scale 1:2

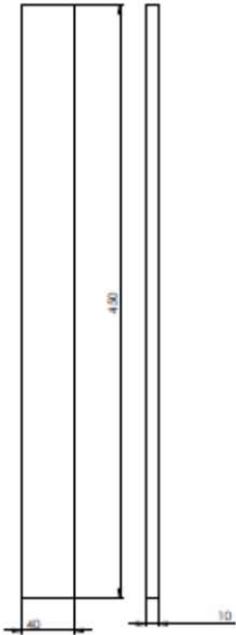


Isometric View  
Scale 1:5

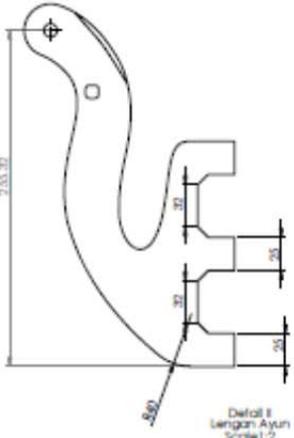


REVISIONS		DATE	DESCRIPTION OF REVISION	BY	APPROVED
NO.	DATE	DESCRIPTION	BY		

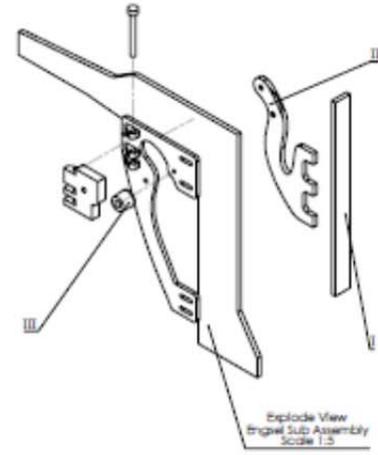
TITLE: Electric Engine Mount  
 SHEET: A2  
 DRAWN: \_\_\_\_\_  
 CHECKED: \_\_\_\_\_  
 DATE: \_\_\_\_\_



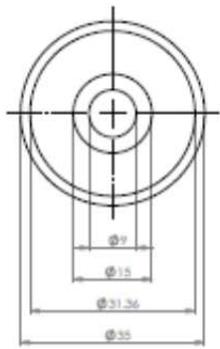
Detail I  
Door Joint  
Scale 1:2



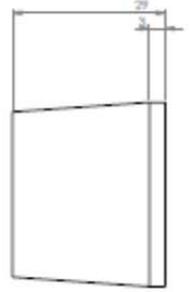
Detail II  
Lengan Ayun  
Scale 1:2



Explode View  
Engsel Sub Assembly  
Scale 1:2



Detail III  
Cam  
Scale 2:1



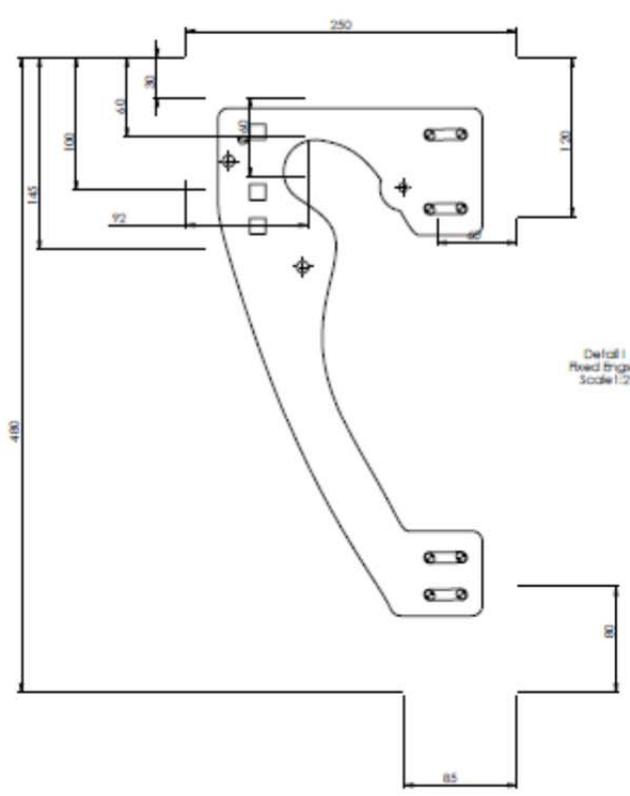
REVISIONS		DATE	REVISIONS	DATE
NO.	DESCRIPTION			
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

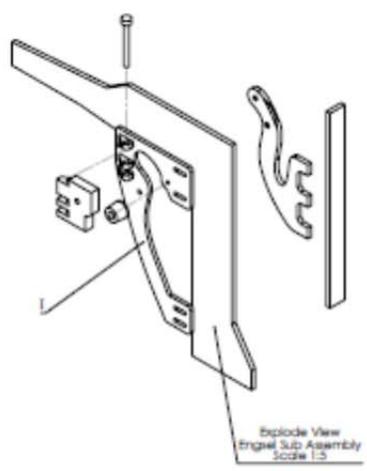
DRAWN BY		CHECKED BY		APPROVED BY	
DATE		DATE		DATE	
SCALE		SCALE		SCALE	
MATERIAL		MATERIAL		MATERIAL	
PART NO.		PART NO.		PART NO.	
QUANTITY		QUANTITY		QUANTITY	
UNIT		UNIT		UNIT	
REVISIONS		REVISIONS		REVISIONS	
DATE		DATE		DATE	
BY		BY		BY	
DATE		DATE		DATE	

Engsel Part 1

A2



Detail 1  
Fixed Engine  
Scale 1:2

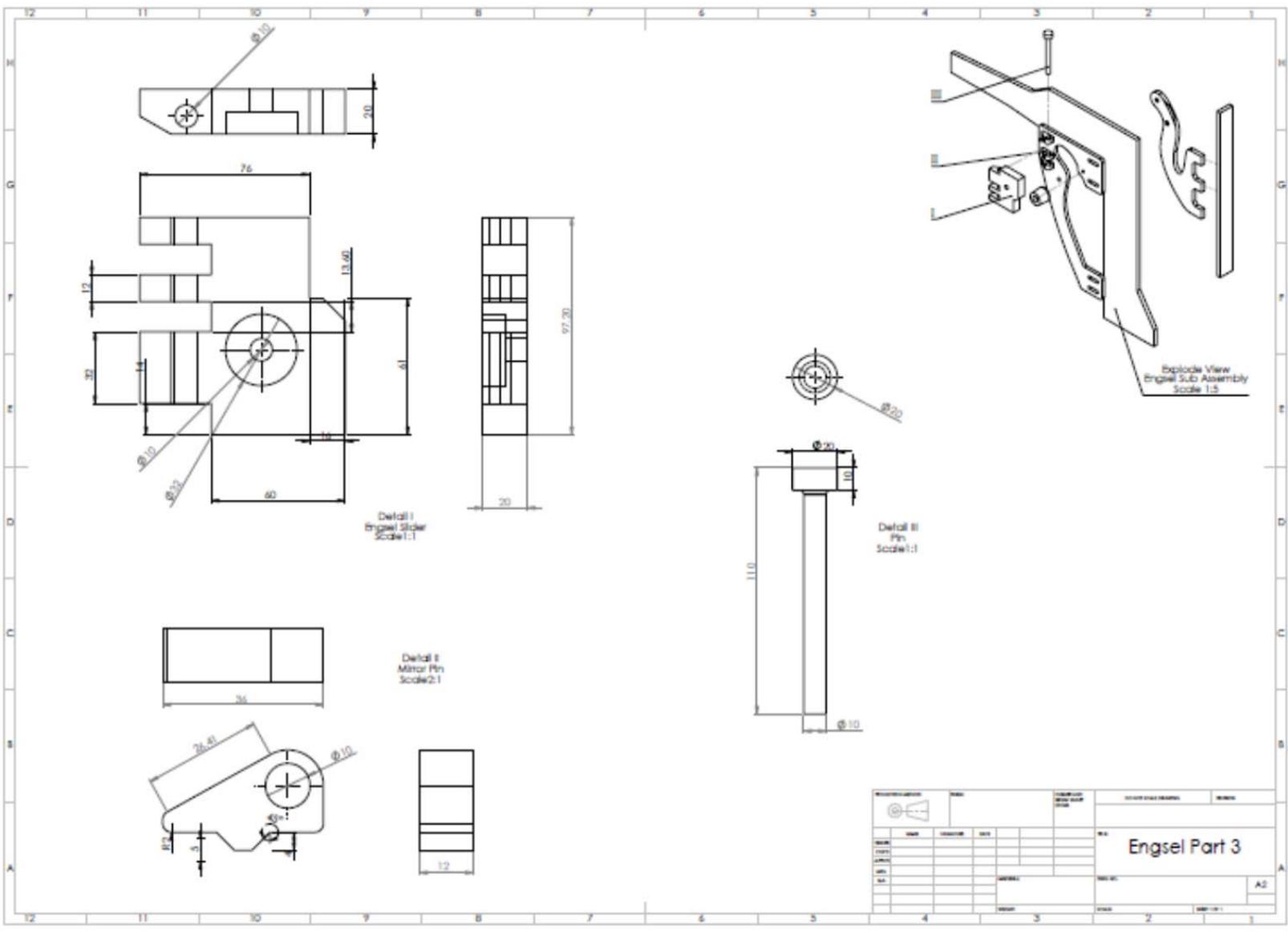


Explode View  
Engine Sub Assembly  
Scale 1:5

REVISIONS		DATE	DESCRIPTION	BY	CHKD
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					

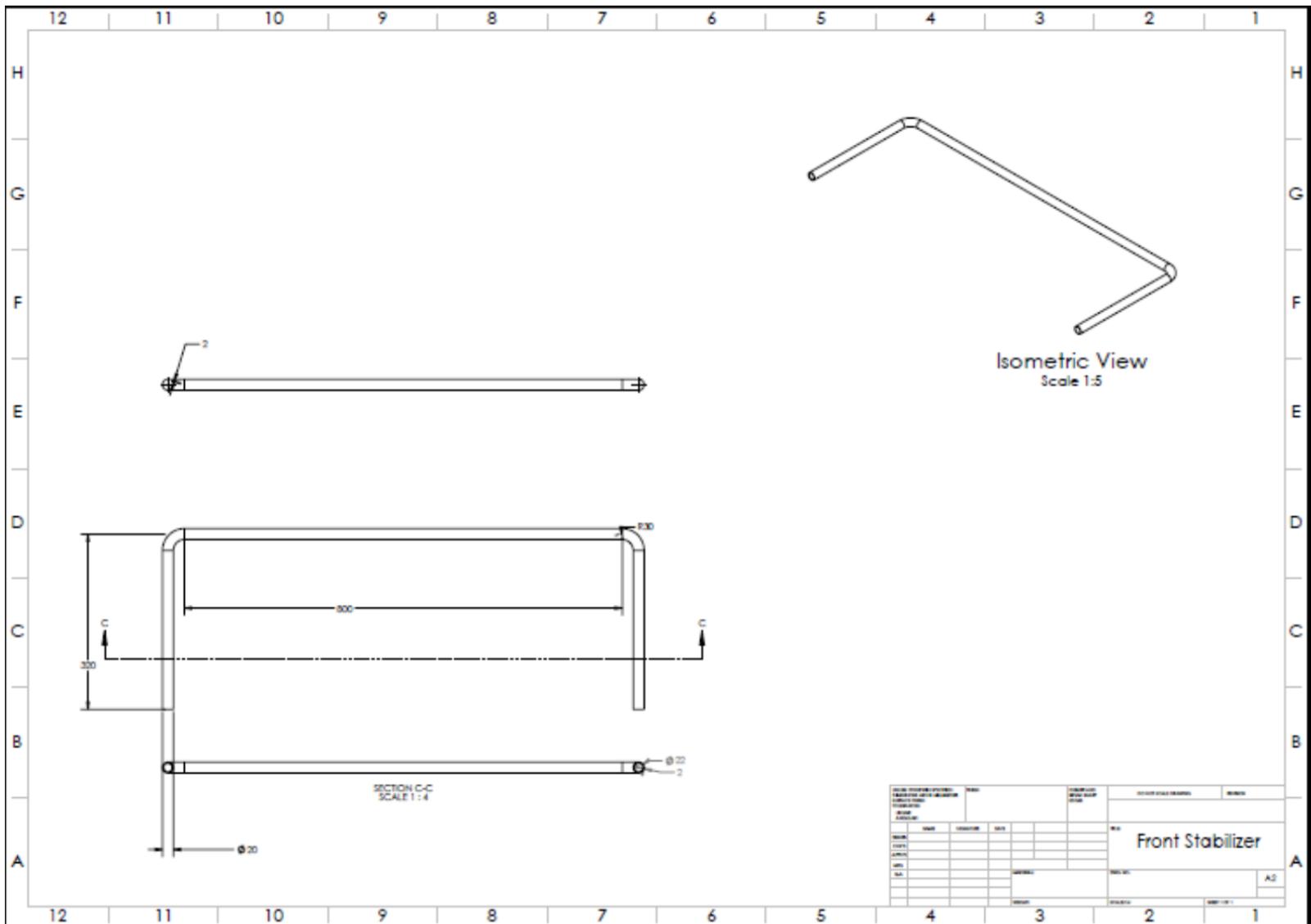
PART NAME		DRAWN		CHECKED	
Engsel Part 2					
PART NO.		DATE		SCALE	
MATERIAL		QUANTITY		UNIT	
SHEET NO.		TOTAL SHEETS		DATE	
A2					



REVISIONS		DATE	BY	CHKD BY	APP'D BY	SCALE	UNIT	NO.
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								

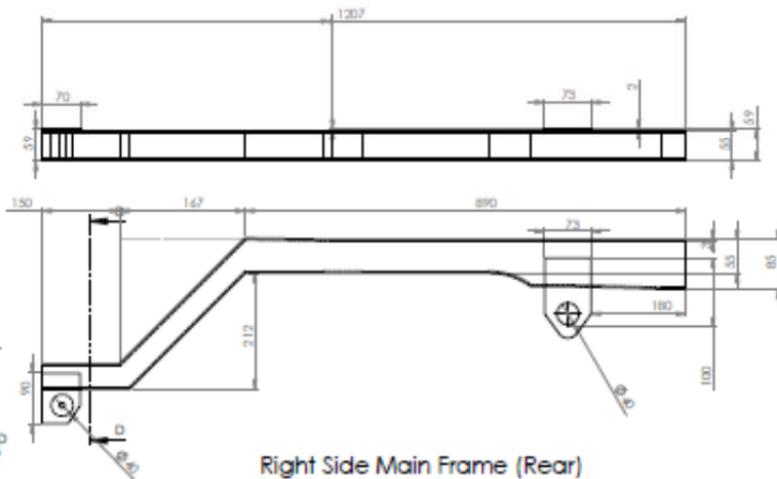
DESCRIPTION		PART NO.		DRAWN BY		CHECKED BY		DATE	
Engsel Part 3									
SCALE		UNIT		NO.		DATE		DRAWN BY	
A2									



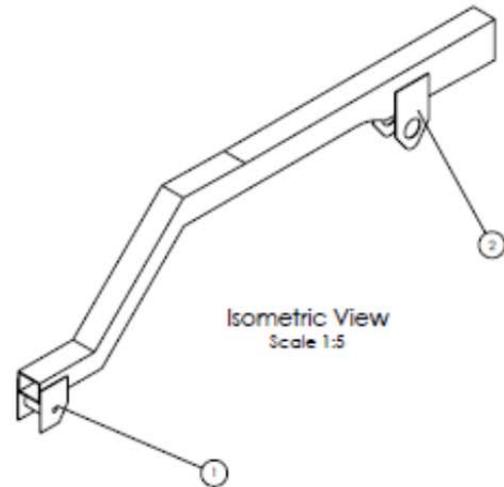
DATE PREPARED/ISSUED		DATE	QUANTITY	BY	SCALE	BY	NO. OF SHEETS	TOTAL
DRAWN BY								
CHECKED BY								
APPROVED BY								
TITLE		PROJECT			SHEET NO.		SHEET TOTAL	
Front Stabilizer					A2			





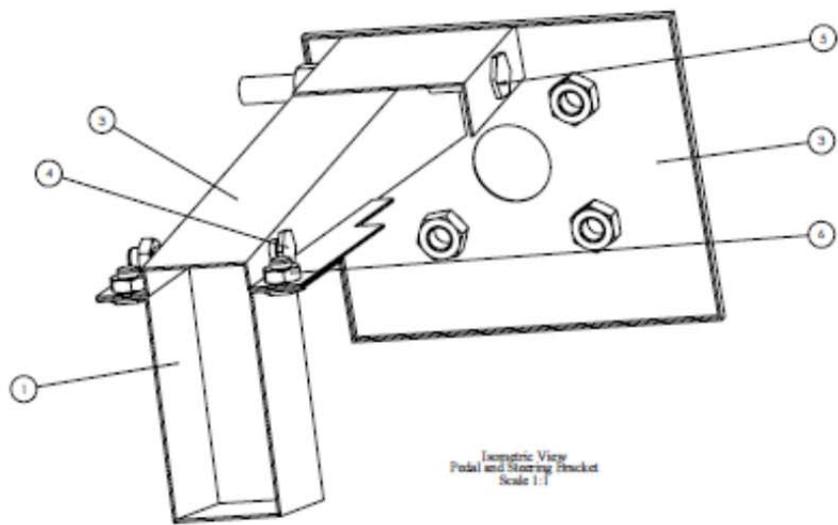


Right Side Main Frame (Rear)  
Left Side Main Frame (Rear)  
Scale 1:5



Isometric View  
Scale 1:5

NO	PART NAME	DESCRIPTION	QTY												
2	Leaf Spring bracket 2		2												
1	Leaf Spring bracket 1		2												
<table border="1"> <tr> <td>NO</td> <td>PART NAME</td> <td>DESCRIPTION</td> <td>QTY</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Main Frame (Rear)</td> </tr> <tr> <td colspan="3">A2</td> <td></td> </tr> </table>				NO	PART NAME	DESCRIPTION	QTY	Main Frame (Rear)				A2			
NO	PART NAME	DESCRIPTION	QTY												
Main Frame (Rear)															
A2															



Isometric View  
Pedal and Steering Bracket  
Scale 1:1

NO	PART NAME	PART DESCRIPTION	QTY
7	Ball Nut		1
6	Pin Pedal Steering		1
5	Ball Nut		1
4	Ball Nut		1
3	Bracket 3		1
2	Bracket 2		1
1	Bracket 1		1

	TITLE <b>Pedal and Steering Bracket</b>
DATE DRAWN BY CHECKED BY APPROVED BY	SHEET NO. <b>A2</b>





