

## **BAB IV**

### **HASIL PERANCANGAN *PROTOTYPE* MOBIL LISTRIK LINGSAR PROTO 3**

#### **4.1. Pengertian *Prototype* Mobil Listrik Lingsar Proto 3**

*Prototype* mobil listrik Lingsar Proto 3 merupakan *prototype* kendaraan hemat energi bertenaga listrik yang digunakan dalam ajang Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) kategori *prototype* listrik yang mana akan diutamakan efisiensi penggunaan energi, kekuatan, dan keamanan kendaraan terhadap pengemudi dan orang lain di jalan. Konsep pada kategori *prototype* ini yaitu kendaraan menggunakan roda berjumlah tiga buah yaitu dua di bagian depan dan satu buah di bagian belakang. Roda pada bagian depan juga digunakan sebagai pengarah arah kendaraan saat kendaraan bergerak dan roda pada bagian belakang digunakan sebagai penggerak yang berasal dari motor listrik. Pengemudi yang mengemudikan mobil berjumlah satu orang sebagaimana yang terdapat pada regulasi teknis KMHE untuk perancangan kendaraan *prototype*.

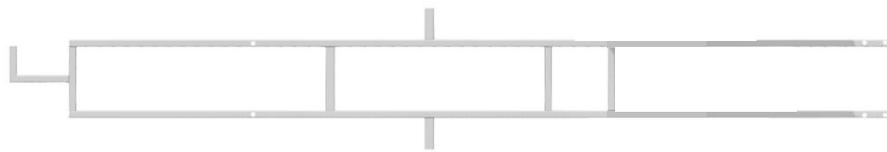
#### **4.2. Perancangan Rangka**

Rangka merupakan bagian penting yang berfungsi menopang beban pengemudi, bodi, dan komponen-komponen lainnya pada kendaraan (Eddy, 2009). Dalam perancangan rangka *prototype* Lingsar Proto 3 ini menggunakan *software Autodesk Inventor 2017* sehingga dapat menghasilkan rancangan yang lebih detail dan dapat diperkirakan kekuatan rangka sesuai dengan kebutuhan. Pada perancangan ini rangka dibagi menjadi dua bagian, yaitu bagian rangka utama dan bagian rangka atas. Perancangan bagian rangka utama dan rangka atas yaitu sebagai berikut:

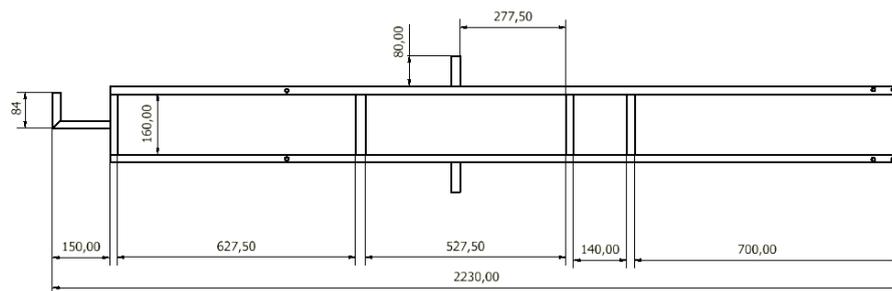
##### **1. Rangka Utama**

Rangka utama pada *prototype* ini merupakan rangka utama yang akan menumpu beban dari badan pengemudi dan komponen yang ada pada *prototype* antara lain: motor penggerak, sistem transmisi, alat pemadam api ringan (APAR) sebagai salah satu komponen *safety*, baterai, dan komponen elektrik lainnya. Perancangan tipe rangka dan dimensi yang sesuai dengan regulasi teknis KMHE 2017 akan digunakan yaitu tipe *ladder frame* karena konstruksinya yang sederhana,

kuat, dan mudah untuk dibuat. Rangka utama *prototype* Lingsar Proto 3 dirancang menggunakan material berjenis aluminium *alloy rectangle hollow* 6061 dengan penampang berukuran 20 x 40 x 1,5 mm. Struktur berupa dua buah batang aluminium panjang sejajar yang saling terhubung oleh batang-batang pendek melintang dan tegak lurus yang disambung menggunakan las untuk proses *assembly*. Spesifikasi dan struktur rangka utama *prototype* Lingsar Proto 3 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4.1. Desain rangka utama



Gambar 4.2. Dimensi rangka utama

Rangka utama ini dirancang dengan ukuran panjang 2230 mm dan lebar 360 mm. Pada beberapa titik dilakukan penyambungan untuk menambah struktur penguat pada rangka dengan tujuan rangka menjadi lebih kokoh dan kuat dalam menerima beban badan pengemudi dan komponen-komponen yang ada pada *prototype* Lingsar Proto 3.

## 2. Rangka bagian atas

Rangka bagian atas pada *prototype* ini berfungsi untuk menjaga atau melindungi pengemudi saat terjadi kecelakaan (*crash*), maka rangka utama dilengkapi dengan rangka atas yaitu *roll bar*. Selain itu *roll bar* berfungsi sebagai pemisah antara ruang kemudi dengan ruang *engine*. Rangka *roll bar* pada perancangan *prototype* Lingsar Proto 3 ini *roll bar* tersusun oleh batang-batang dengan pola segi delapan yang disusun miring terhadap rangka utama. Pola dengan

bentuk segi delapan dipilih untuk mempermudah saat proses pembuatan *prototype* dan untuk memberikan *fillet* pada bentuk bodi. Dari segi ergonominya, *roll bar* dirancang miring ke belakang yaitu dengan sudut sebesar 70 derajat untuk memperluas ruang kemudi dan membuat nyaman posisi pengemudi yang setengah duduk. *Roll bar* juga berfungsi sebagai penopang beban pengemudi bagian kepala, maka pada bagian belakang *roll bar* diberikan batang penguat yang dihubungkan dengan rangka utama. Bentuk rangka *roll bar prototype* Lingsar Proto 3 yang telah dirancang seperti ditunjukkan pada Gambar 4.3 Merujuk pada regulasi teknis KMHE 2017 rangka *roll bar* pada setiap kendaraan harus mampu menahan beban gaya yang telah ditentukan tanpa terjadi deformasi yang besar dan memiliki *safety factor* yang baik. Gaya-gaya yang diberikan pada *roll bar* tersebut yaitu 700 N arah *horizontal* pada sisi kanan dan kiri rangka (pada segala arah) dan 700 N arah *vertikal* (pada segala arah).



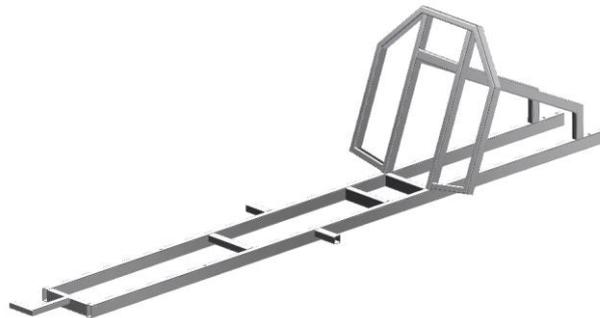
Gambar 4.3. Rangka *roll bar* tampak depan (a), *roll bar* tampak samping (b)

Dalam penyambungan batang-batang rangka *prototype* Lingsar Proto 3, media penyambungan yang akan dilakukan yaitu dengan penyambungan las (*welding*). Pengelasan dalam metode penyambungan ini memiliki kelebihan yaitu lebih cepat, hasil konstruksi penyambungan yang rapi, lebih ringan dari pada sambungan baut atau paku keling. Dalam pengujian *stress analysis* untuk memperkuat rancangan rangka saat diberikan beban-beban yang telah ditentukan, maka perlu diberikan penguat berupa *filler* yang dipasang pada rongga batang rangka utama yaitu pada titik-titik tumpu rangka. Hasil perancangan didapatkan beban total dari rangka *prototype* Lingsar Proto 3 yaitu sebesar 5,60307 kg, ini lebih ringan dari pada perancangan yang telah dilakukan pada *prototype* Lingsar Proto 2.

#### 4.2.1. Analisis Tegangan Rangka (*Stress Analysis*)

Pengujian *stress analysis* yang digunakan pada perancangan ini yaitu dengan menggunakan metode elemen hingga atau *Finite Element Method (FEM)*. *Stress analysis* merupakan suatu *tools* pengujian struktur yang terdapat pada *software CAD Autodesk Inventor 2017* yang dijalankan dengan menerapkan konsep *Finite Element Analysis (FEA)*. Pengujian dengan metode ini adalah dengan memecah suatu objek struktur yang akan dilakukan pengujian menjadi elemen-elemen berhingga yang saling terhubung satu sama lain yang akan dikelola dengan perhitungan khusus oleh *software*, sehingga menghasilkan suatu *result* kondisi struktur setelah diberi input berupa gaya atau tekanan yang lebih akurat (Saddam, 2013)

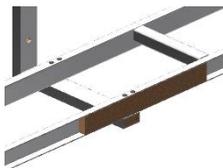
Analisa perancangan rangka ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan dan kemampuan rangka untuk menahan suatu beban yang diterima oleh rangka tersebut. Beban-beban yang diterima oleh rangka tersebut misalnya beban pengemudi, beban bodi kendaraan, beban motor penggerak, dan beban komponen lainnya. Sehingga diharapkan rangka *prototype* Lingsar Proto 3 tidak mengalami kegagalan struktur saat dibuat dan digunakan. Rangka *prototype* Lingsar Proto 3 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Rangka *prototype* Lingsar Proto 3

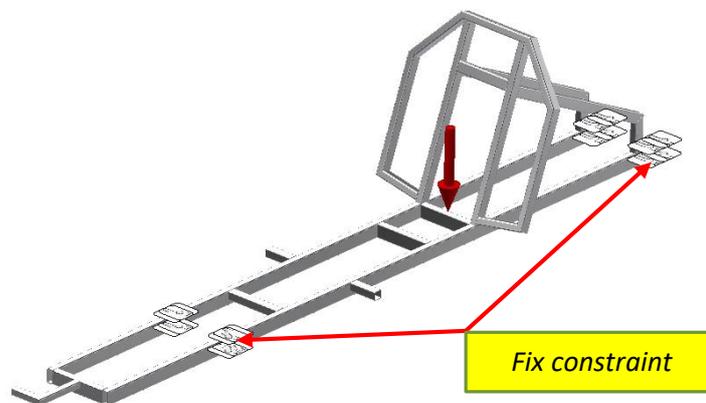
Struktur rangka yang akan dianalisa yaitu rangka dengan material aluminium *rectangular hollow 6061* yang diperkuat dengan *filler* dengan material berupa kayu balsa yang terletak pada titik tumpu rangka. Spesifikasi *filler* ditunjukkan pada Tabel 4.1. Selanjutnya dimensi rangka hasil perancangan dan *assembly* rangka dapat dilihat pada Lampiran gambar teknik nomor 1.

Tabel 4.1. Spesifikasi *filler*

No	Material	Ukuran	Penempatan
1	Kayu balsa	150 x 19,7 x 39,7 mm	
2	Kayu balsa	297 x 19,7 x 39,7 mm	

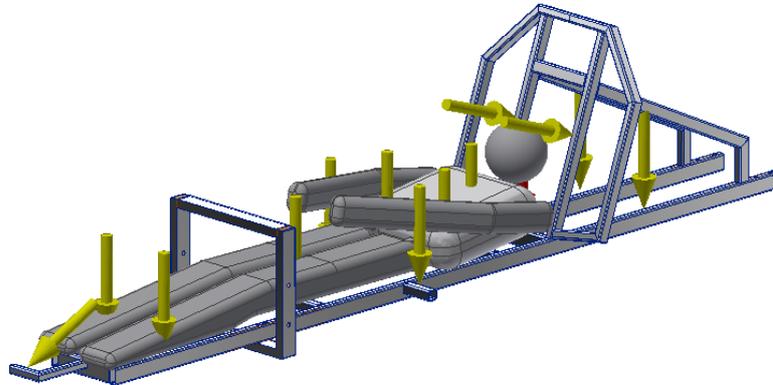
#### 4.2.2. Pemberian Beban dan Tumpuan Rangka

Pada prosesn simulasi, langkah pertama yang dilakukan yaitu menentukan posisi tumpuan pada rangka dengan memberikan *fix* dan memasukkan beban yang diterima oleh rangka (*force*) pada *software Autodesk Inventor 2017*. Tumpuan (*fix constraint*) diberikan pada titik tumpu rangka yaitu pada roda depan dan belakang seperti ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. *Fix constraint* pada rangka *prototype* Lingsar Proto 3

Selanjutnya beban diberikan pada rangka, beban yang diberikan pada rangka yaitu berupa beban pengemudi, beban *engine*, dan komponen lainnya yang terletak dekat dengan *engine*. Beban pengemudi diberikan dan di letakkan pada titik sesuai posisi badan pengemudi saat sedang mengemudi. Posisi pembebanan pengemudi pada rangka saat mengemudi seperti diilustrasikan pada Gambar 4.6.



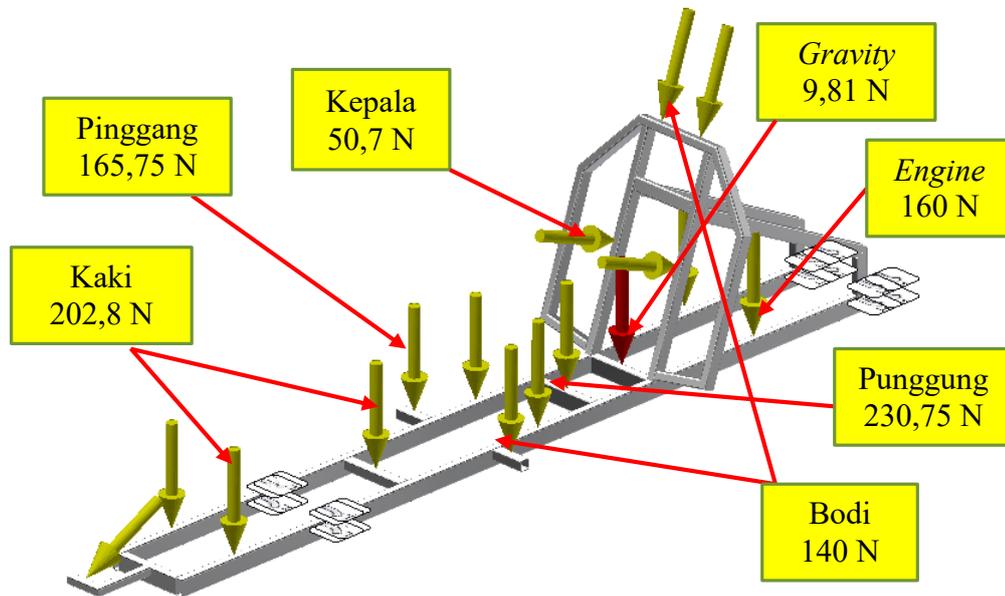
Gambar 4.6 Distribusi beban pengemudi saat mengemudi dan beban *engine*

Merujuk dari regulasi teknis KMHE 2017, pengemudi harus memiliki berat minimal yaitu 50 kg. Dalam peengujian ini penulis mengasumsikan berat penngemudi yaitu 65 kg, hal ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan rangka dalam menerima beban maksimal. Selain itu pemberian beban lebih dari minimal juga bertujuan untuk memastikan bahwa rangka benar-benar kuat jika menerima beban lain dari luar. Menurut Pribadi (2017) gar distribusi beban pada rangka merata, maka asumsi pembagian berat pengemudi seperti ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Asumsi pembagian berat pengemudi

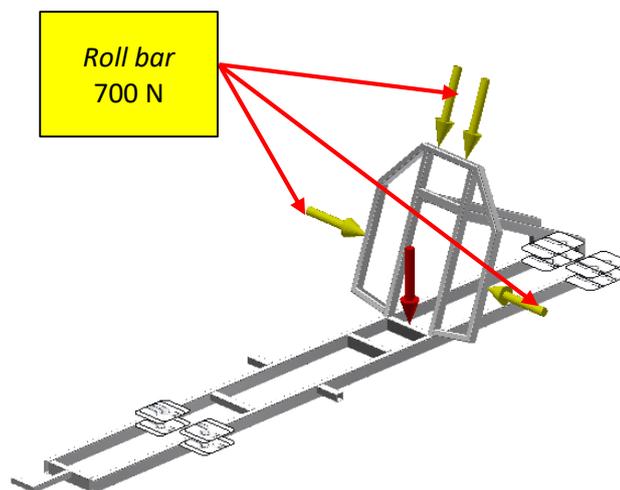
No	Nama bagian	Persentase	Berat (kg)
1	Kepala	7,8 %	5,07
2	Punggung	35,5 %	23,075
3	Pinggang	25,5 %	16,575
4	Kaki	31,2 %	20,28

Secara keseluruhan letak penempatan beban dan *fix constraint* pada pengujian *stress analysis* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7. Letak beban dan *fix constraint* rangka prototype Lingsar Proto 3

Merujuk pada regulasi teknis KMHE 2017, *roll bar* harus mampu menahan beban dari arah *vertical* dan *horizontal* (pada segala arah) yaitu sebesar 700 N. Pemberian dan penempatan beban sebesar 700 N seperti ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Letak beban pada *roll bar*

#### 4.2.3. Meshing

Setelah dilakukan pemberian beban dan *fix constraint* pada rangka, maka selanjutnya yaitu proses *meshing*. *Meshing* merupakan proses penghitungan elemen

dengan cara membagi suatu komponen menjadi beberapa bagian elemen sangat halus sehingga setiap elemen dianalisis dengan sangat kritis (Raghuandan, dkk, 2016). Hasil *meshing* rangka *prototype* Lingsar Proto 3 diperoleh jumlah *nodes* 190555 dan jumlah elemen 95937. Hasil proses *meshing* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.9.



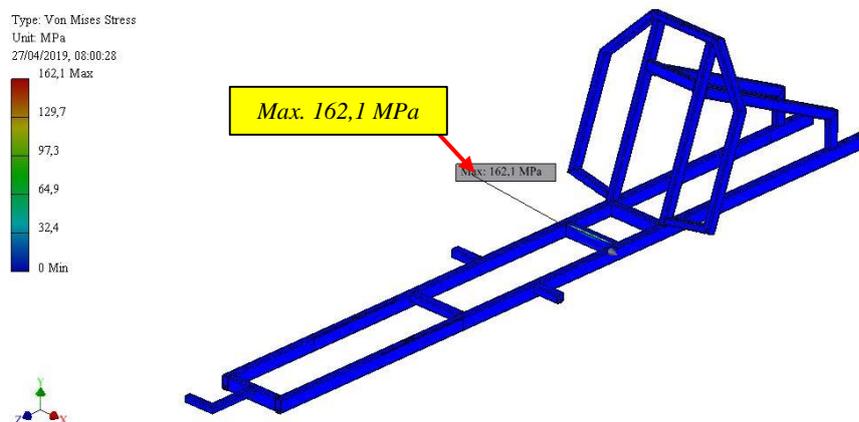
Gambar 4.9. Hasil proses *meshing* rangka

#### 4.2.4. Hasil *Stress Analysis* Rangka

Setelah didapat hasil proses *meshing* maka didapat hasil pengujian *stress analysis* sebagai berikut:

##### 1. *Von Mises Stress* pada Rangka

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, maka diperoleh nilai *von mises* maksimum yang terjadi pada rangka sebesar 162,1 MPa seperti ditunjukkan pada Gambar 4.10.

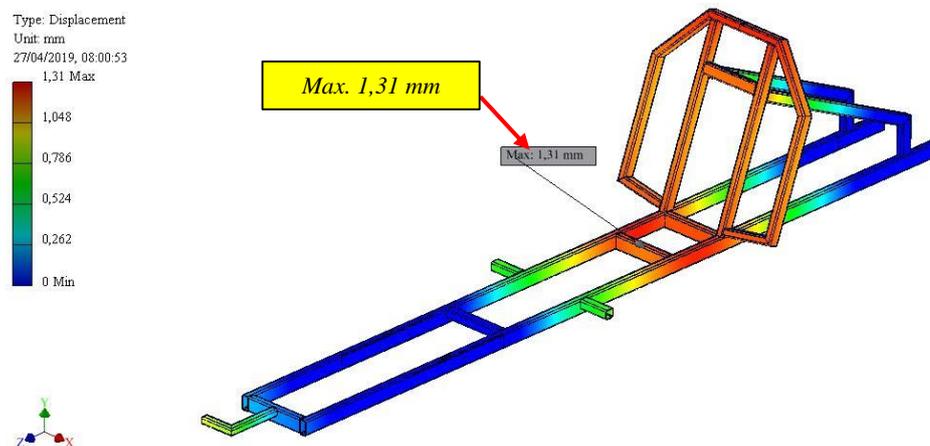


Gambar 4.10. *Von mises stress* rangka

Berdasarkan gambar di atas, nilai *von mises* maksimum pada rangka terjadi pada bagian tengah rangka. Hal ini karena pada bagian tersebut menerima pembebanan searah vertikal ke bawah yaitu beban pengemudi yang paling besar. Merujuk dari hasil analisa *von mises* di atas, maka dapat diketahui bahwa nilai *von mises* maksimum yang terjadi pada rangka masih dibawah dari nilai *yield strenght* dari aluminium 6061 sehingga rangka dapat dinyatakan aman.

## 2. *Displacement* pada Rangka

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, maka diperoleh nilai *displacement* maksimum yang terjadi pada rangka sebesar 1,31 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 4.11.

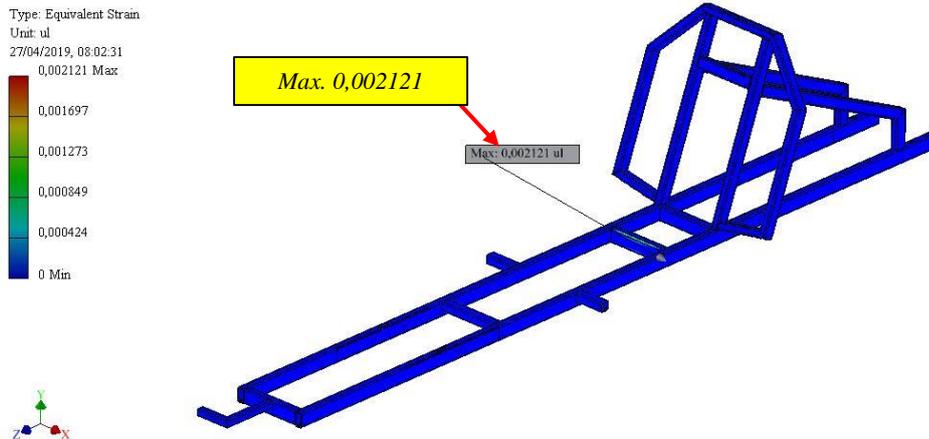


Gambar 4.11. *Displacement* pada rangka

Dari gambar 4.11, nilai *displacement* maksimum pada rangka terjadi pada bagian tengah rangka. Hal ini karena pada bagian tersebut menerima pembebanan searah vertikal ke bawah yaitu beban pengemudi yang paling besar. Merujuk dari hasil analisa *displacement* di atas, maka dapat diketahui bahwa nilai *displacement* berbanding lurus dengan tegangan dan regangan, namun nilai *displacement* yang terjadi pada rangka masih sangat kecil yaitu 1,31 mm.

## 3. *Equivalent Strain* pada Rangka

Nilai regangan pada rangka akan berbanding lurus terhadap nilai tegangan yang terjadi pada rangka. Sehingga komponen rangka yang menerima tegangan paling besar akan mengalami regangan yang besar pula seperti ditunjukkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12. Regangan pada rangka

Berdasarkan gambar 4.12, regangan terbesar yang terjadi pada rangka terletak pada rangka yang mengalami tegangan terbesar, nilai regangan maksimum yang terjadi pada rangka yaitu 0,002121. Untuk mengetahui batas aman regangan yang diijinkan, maka dapat dihitung dengan persamaan 4.1.

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} \dots\dots\dots (4.1)$$

$$\sigma_{ijin} = \frac{Yield\ Strength}{Safety\ Factor} \dots\dots\dots (4.2)$$

$$\epsilon_{ijin} = \frac{\sigma_{ijin}}{E_{Aluminium}} \dots\dots\dots (4.3)$$

Dimana :  $\sigma$  = Tegangan ijin (N/m<sup>2</sup>)

$\epsilon$  = Regangan

E = Modulus elastisitas (N/m<sup>2</sup>)

$$\sigma_{ijin} = \frac{275\ (N/mm^2)}{1,7\ (N/mm^2)}$$

$$\sigma_{ijin} = 159,8837\ (N/m^2)$$

$$E_{Aluminium} = 68900\ (N/m^2)$$

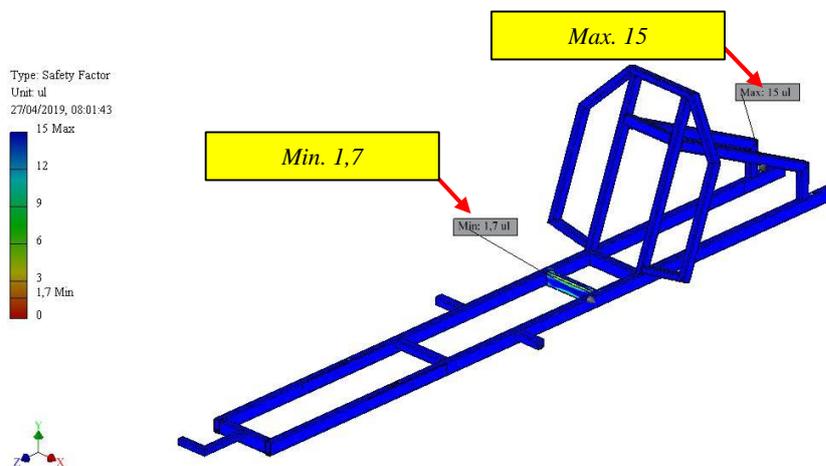
$$\epsilon_{ijin} = \frac{159,8837\ (N/mm^2)}{68900\ (N/mm^2)}$$

$$\epsilon_{ijin} = 0.0023478$$

Mengacu pada hasil perhitungan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan rangka yang telah dirancang masih aman karena nilai regangan maksimum yang terjadi pada rangka lebih kecil dari pada nilai regangan ijin material.

#### 4. Faktor Keamanan (*Safety Factor*) pada Rangka

Besarnya nilai *Safety factor* merupakan perbandingan antara nilai tegangan maksimum suatu material dengan tegangan ijin material tersebut (Popov, 1984). Hasil pengujian *safety factor* rangka *prototype* Lingsar Proto 3 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13. *Safety factor* pada rangka

Berdasarkan gambar di atas, nilai *safety factor* maksimum pada rangka terjadi yaitu sebesar 15 ul ditandai dengan warna biru dan nilai *safety factor* minimum terdapat pada bagian tengah rangka yaitu sebesar 1,7 ul yang ditandai dengan warna merah. Hal ini karena pada bagian tersebut menerima pembebanan searah vertikal ke bawah yaitu beban pengemudi yang paling besar. Merujuk dari hasil analisa *safety factor* di atas, maka dapat disimpulkan bahwa rangka sangat aman karena batas terendah nilai *safety factor* yang tersedia lebih dari atau sama dengan 1 (Popov, 1984).

### 4.3. Perancangan Sistem *Steering*

Tahap selanjutnya pada perancangan *prototype* Lingsar Proto 3 yaitu perancangan sistem *steering*. Pada sub bab ini berisi tentang hasil perancangan sistem *steering* meliputi detail perancangan setiap bagian dan *assembly* setiap komponennya.

#### 4.3.1. Perancangan Komponen *Steering*

Dalam suatu sistem *steering* terdapat beberapa komponen-komponen penyusun *steering* tersebut antara lain sebagai berikut:

#### 1. Setang

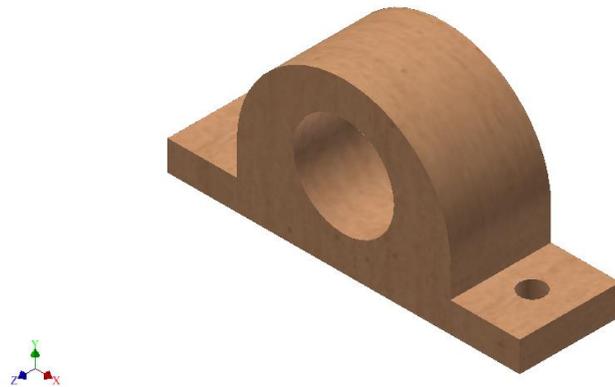
Setang merupakan salah satu komponen penyusun pada sistem *steering* yang berbentuk pipa T maupun lingkaran yang berfungsi sebaga pegangan kemudi saat kendaraan bergerak. Jenis setang yang dirancang untuk digunakan pada *prototype* Lingsar Proto 3 ini adalah pipa yang dibentuk menyerupai huruf T dengan jenis material *stainless steel*. Material ini dipilih karena memiliki massa jenis yang kecil, sehingga memiliki bobot yang ringan. Komponen setang *steering* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.14 dan detail ukuran setang dapat dilihat pada lampiran Gambar Teknik nomor 6.



Gambar 4.14. Setang *steering*

#### 2. *Bracket* setang *steering*

*Bracket* setang *steering* berfungsi sebagai dudukan dan tumpuan setang *steering* agar tetap pada tempatnya saat digerakkan. Jenis material yang akan digunakan adalah kayu balsa, material ini dipilih karena cukup kuat untuk menahan setang *steering* saat setang digerakkan dan juga massa jenis kayu ini kecil sehingga dapat memaksimalkan bobot agar tetap ringan. *Bracket* setang *steering* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.15 dan detail ukuran dapat dilihat pada Lampiran Gambar Teknik nomor 4



Gambar 4.15. *Bracket setang steering*

### 3. Link penghubung *steering*

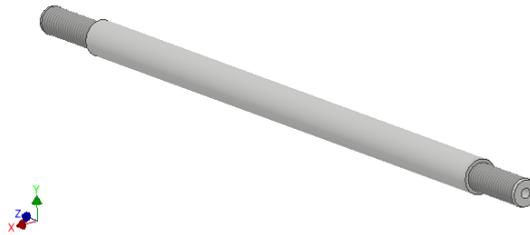
*Link penghubung steering* berfungsi untuk mengubah gerak rotasi setang *steering* menjadi gerakan aksial secara horizontal. Jenis material yang akan digunakan adalah aluminium 6061 silinder pejal dan pelat. Pemilihan material ini dikarenakan aluminium 6061 memiliki massa jenis yang ringan, selain ringan *link penghubung steering* harus mampu menahan momen puntir yang menghubungkan gerakan setang *steering* ke *link steering*, maka juga diperlukan jenis material yang kuat. *Link penghubung steering* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.16 dan detail ukuran dapat dilihat pada Lampiran Gambar Teknik nomor 7



Gambar 4.16. *Link penghubung steering*

### 4. *Link steering*

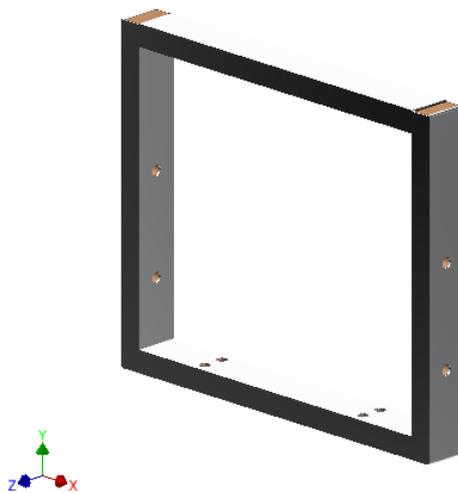
*Link steering* berfungsi untuk meneruskan daya dari *link penghubung steering* ke *bracket shaft* roda. Jenis material yang akan digunakan *prototype* Lingsar Proto 3 ini adalah aluminium *alloy* 6061 berpenampang silinder. *Link steering* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.17 dan detail ukuran dapat dilihat pada Lampiran Gambar Teknik nomor 5.



Gambar 4.17. *Link steering*

#### 5. Penghubung *shaft steering*

Penghubung *shaft* pada kendaraan berfungsi sebagai tumpuan rangka utama terhadap sistem *steering* dan roda. Penghubung *shaft* yang dirancang untuk *prototype* Lingsar Proto 3 ini yaitu akan menggunakan konstruksi berbentuk persegi yang disambung dengan pengelasan dan material yang digunakan yaitu aluminium *rectangle hollow* 6061 berukuran 40x20x1,5 dengan *filler* berupa kayu balsa, penambahan *filler* bertujuan untuk memperkuat konstruksi dari aluminium tersebut.. Konstruksi penghubung *shaft steering* yang telah dirancang ditunjukkan pada Gambar 4.18 dan ukuran detail dapat dilihat pada Lampiran Gambar Teknik 3.

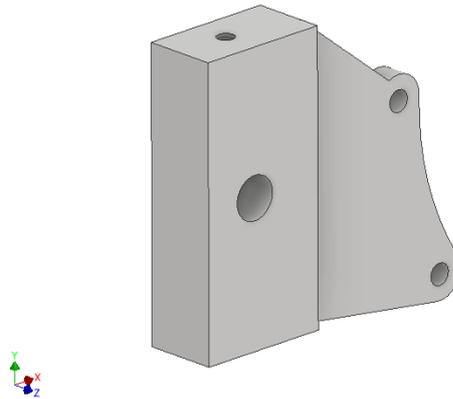


Gambar 4.18. *Penghubung shaft steering*

#### 6. *Bracket shaft* roda

*Bracket shaft* roda berfungsi sebagai tumpuan dari *shaft* pada roda dan tumpuan pada sistem pengereman. Pada perancangan ini material yang digunakan harus mampu menahan beban kendaraan bagian depan serta mampu menahan beban saat melakukan pengereman namun memiliki massa jenis yang ringan. Maka

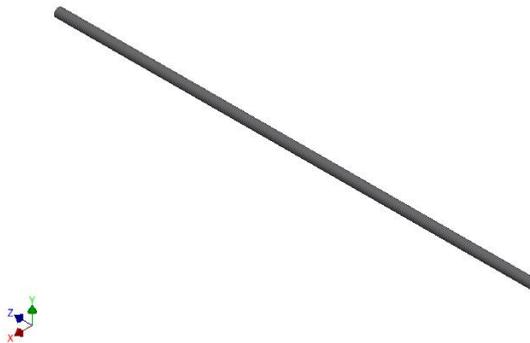
dari itu material yang dipilih pada perancangan ini yaitu aluminium *alloy* 5052 dengan ketebalan karena memiliki sifat yang kuat dan ringan. *Bracket shaft* roda yang telah dirancang seperti ditunjukkan pada Gambar 4.19 dan detail ukuran *bracket shaft* roda dapat dilihat pada Lampiran Gambar Teknik nomor 8.



Gambar 4.19. *Bracket shaft* roda

#### 7. *Link stabilizer steering*

*Link stabilizer steering* berfungsi untuk menjaga kestabilan gerakan *bracket shaft* roda agar tetap sejajar antara *bracket shaft* roda kanan dan roda kiri apabila setang *steering* digerakkan. Pada perancangan ini *link stabilizer steering* terbuat dari aluminium silinder pejal 6061 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.20 dan detail ukuran dapat dilihat pada Lampiran Gambar Teknik 5.

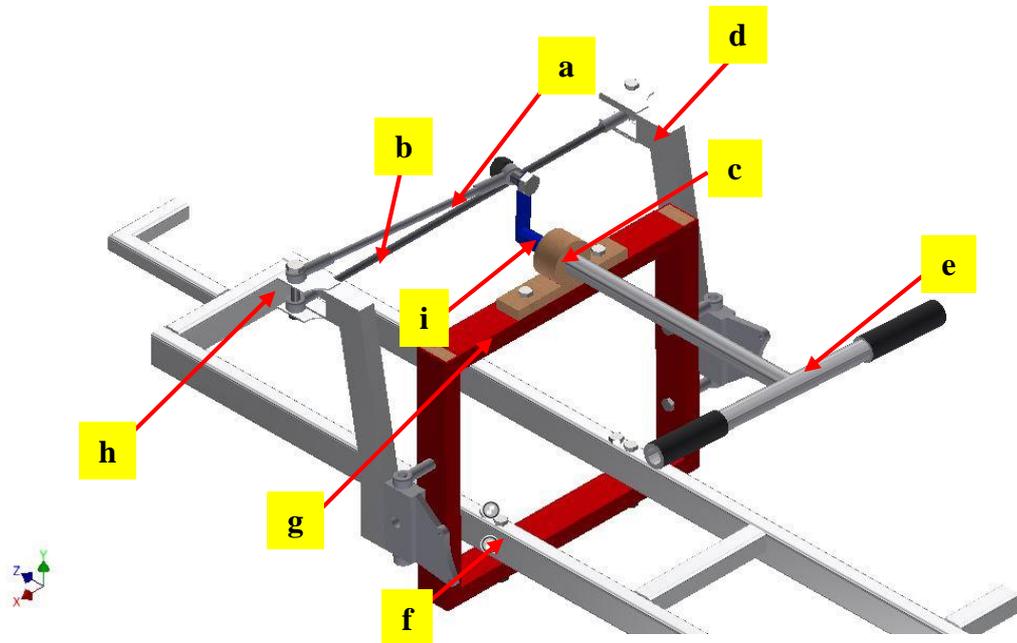


Gambar 4.20. *Link stabilizer steering*

#### 4.3.2. *Assembly Sistem Steering*

Setelah dilakukan perancangan pada setiap komponen, maka tahap selanjutnya adalah penggabungan rancangan komponen hingga menjadi satu kesatuan sistem *steering* menggunakan *software Autodesk Inventor 2017*. Hasil *assembly* rancangan sistem *steering prototype* Lingsar Proto 3 seperti ditunjukkan

pada Gambar 4.21. Berdasarkan rancangan yang telah dilakukan didapat berat total sistem *steering* yaitu sebesar 3,563 kg. Gambar teknik *assembly* sistem *steering* dapat dilihat pada Lampiran Gambar Teknik nomor 2.



Keterangan :

- |                                   |                                     |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| a. <i>Link steering</i>           | f. <i>Bracket shaft roda</i>        |
| b. <i>Link stabilizer</i>         | g. <i>Penghubung shaft steering</i> |
| c. <i>Bracket setang steering</i> | h. <i>Ball joint</i>                |
| d. <i>steering arm</i>            | i. <i>Link penghubung steering</i>  |
| e. <i>setang steering</i>         |                                     |

Gambar 4.21. *Assembly* sistem *steering*

#### 4.3.3. Perhitungan Sudut Belok *Steering*

Setelah hasil rancangan di *assembly*, maka tahap selanjutnya yaitu mengetahui besar sudut putar roda *steering* yaitu menggunakan rumus persamaan

4.4. (Pahlevi dan Wasiwitono, 2014)

$$R = \left(\frac{t_r}{2}\right) + \left(\frac{L}{\sin \delta}\right) \dots\dots\dots (4.4)$$

Dimana : R = radius putar (meter)

$t_r$  = *track width* (meter)

L = *wheel base* (meter)

$\delta$  = sudut belok

Sesuai dengan regulasi teknis KMHE 2017, besarnya sudut belok minimal yang telah ditentukan adalah sebagai berikut:

Diketahui :

$$R = 6 \text{ meter}$$

$$t_r = 0,5 \text{ meter}$$

$$L = 1 \text{ meter}$$

Maka,

$$6 \text{ meter} = \left( \frac{0,5 \text{ meter}}{2} \right) + \left( \frac{1 \text{ meter}}{\sin \delta} \right)$$

$$\delta = \sin^{-1} \frac{1 \text{ meter}}{6 \text{ meter} - \frac{0,5 \text{ meter}}{2}}$$

$$\delta = 10,01^\circ$$

Merujuk pada hasil perhitungan di atas, maka sudut belok yang dirancang untuk *prototype* Lingsar Proto 3 dapat ditentukan sebagai berikut:

Diketahui :

$$R = 6 \text{ meter}$$

$$t_r = 0,515 \text{ meter}$$

$$L = 1,56 \text{ meter}$$

Maka,

$$6 \text{ meter} = \left( \frac{0,515 \text{ meter}}{2} \right) + \left( \frac{1,56 \text{ meter}}{\sin \delta} \right)$$

$$\delta = \sin^{-1} \frac{1,56 \text{ meter}}{6 \text{ meter} - \frac{0,515 \text{ meter}}{2}}$$

$$\delta = 15,75^\circ$$

Berdasarkan hasil rancangan sistem *steering prototype* Lingsar Proto 3, maka untuk berbelok dengan radius putar maksimum sesuai dengan regulasi teknis KMHE 2017 sejauh 6 meter yaitu dengan membelokkan *bracket shaft* roda depan dengan sudut belok minimal sebesar  $15,75^\circ$ . Untuk memenuhi prinsip belok ideal kendaraan, maka sudut belok pada bagian dalam dan luar kendaraan berbeda, perbedaan ini disebut dengan sistem *steering ackerman*. Untuk menghitung analisis kinematik tiap *link steering*, dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\cot(\delta_o) - \cot(\delta_i) = \frac{w}{l} \dots\dots\dots (4.5)$$

$\delta_i$  (*inner wheel*) adalah sudut roda depan untuk mengarahkan roda bagian dalam dan  $\delta_o$  (*outer wheel*) sudut roda depan untuk mengarahkan ke roda bagian luar. Adapun persamaan untuk mencari  $\delta_i$  menggunakan persamaan 4.6.

$$\delta_i > \delta_o$$

$$\cot(\delta_i) = \cot(\delta_o) - \frac{w}{l} \Rightarrow \delta_i = \cot^{-1} \left( \cot(\delta_o) - \frac{w}{l} \right) \dots \dots \dots (4.6)$$

$$\delta_i = \cot^{-1} \left( \cot(15,75^\circ) - \frac{0,51}{1,56} \right) \Rightarrow \delta_i = 17,25^\circ$$

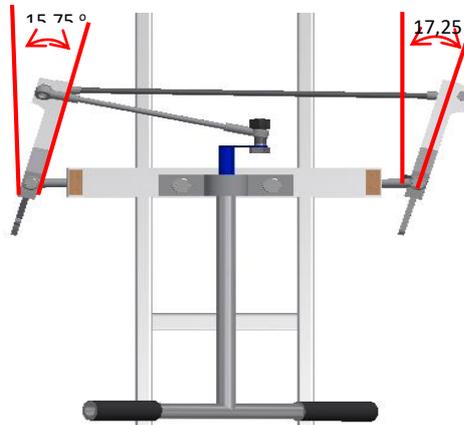
Untuk sudut rata-rata kemudi ditentukan dengan persamaan (4.7).

$$\cot \delta = \frac{\cot \delta_o + \cot \delta_i}{2} = \delta \dots \dots \dots (4.7)$$

$$\cot^{-1} \frac{\cot(\delta_o) + \cot(\delta_i)}{2} \Rightarrow \delta = \cot^{-1} \left( \frac{\cot(15,75) + \cot(17,25)}{2} \right)$$

$$\delta = 16,47^\circ$$

Hasil rancangan sistem *steering* Lingsar Proto 3 saat diberikan sudut belok sebesar  $15,75^\circ$  seperti ditunjukkan pada Gambar 4.22.



Gambar 4.22. *Steering* saat dibelokkan  $15,75^\circ$

#### 4.4. Perancangan Sistem Pengereman dan Roda

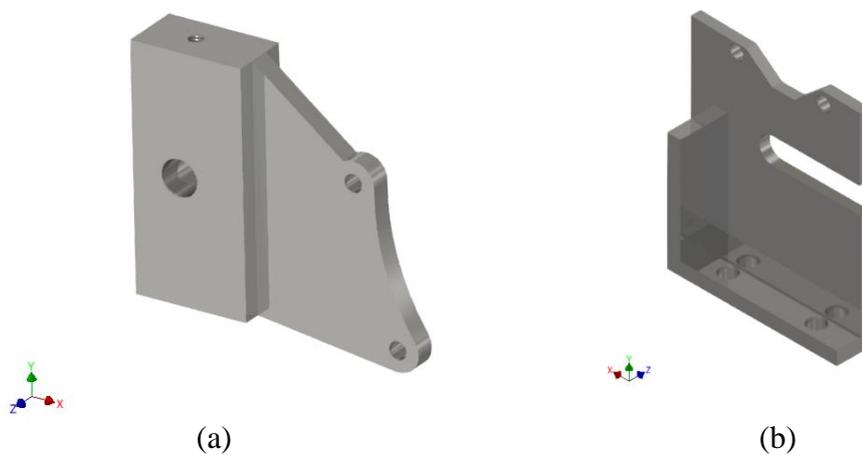
Dalam tahap perancangan sistem pengereman dan roda akan dibahas mengenai hasil perancangan sistem pengereman dan roda yang meliputi detail perancangan komponen dan hasil *assembly*.

##### 4.4.1. Perancangan Komponen Rem dan Roda

Dalam sistem pengereman dan roda terdapat beberapa komponen yang perlu dilakukan perancangan yaitu bagai berikut:

### 1. *Bracket caliper*

*Bracke caliper* berfungsi sebagai tumpuan *caliper* rem agar sistem pengereman dapat bekerja secara optimal. Penempatan komponen ini harus menyesuaikan dengan posisi letak *caliper* rem saat terpasang, belum tersedianya *bracket caliper* untuk jenis *prototype* di pasaran maka diperlukan perancangan (*custom*) yang dapat digunakan pada *prototype* Lingsar Proto 3. Komponen ini dirancang untuk menahan beban saat terjadinya pengereman, maka material yang akan digunakan pada *prototype* Lingsar Proto 3 yaitu aluminium *alloy* 5052 dengan ketebalan 6 mm. *Bracket caliper* yang dirancang untuk *prototype* Lingsar Proto 3 sekaligus digunakan untuk *bracket shaft* roda belakang seperti ditunjukkan pada Gambar 4.23. Ukuran *bracket caliper* rem depan,dan belakang dapat dilihat pada Lampiran Gambar Teknik nomor 8 dan nomor 9.



Gambar 4.23. *Bracket* rem dan *shaft* roda depan (a), *bracket* rem dan *shaft* roda belakang (b)

### 2. *Brake caliper*

*Brake caliper* merupakan komponen sistem pengereman yang berfungsi sebagai aktuator pada sistem hidrolik yang mengubah energi dari tekanan fluida menjadi gerak piston rem yang digunakan untuk menekan *break pad* ke *disk brake* agar terjadi gesekan. *Prototype* Lingsar Proto dirancang menggunakan tiga roda, maka untuk sistem pengereman digunakan *caliper* Shimano BR-M446 yang

dipasang pada setiap rodanya. *Caliper* Shimano BR-M446 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24. *Brake caliper* Shimano BR-M446

### 3. *Brake lever*

Komponen *Brake lever* berfungsi untuk memberikan tekanan fluida (pompa) agar terjadi dorongan pada fluida ke *brake caliper*. *Brake lever* yang akan digunakan pada *prototype* Lingsar Proto 3 yaitu Shimano BL-M445. Komponen sistem pengereman ini dipilih karena banyak tersedia di pasaran dan cocok untuk kendaraan tipe ini yang membutuhkan responsivitas tinggi untuk melakukan pengereman. Komponen *brake lever* Shimano BL-M445 ditunjukkan pada Gambar 2.25.



Gambar 4.25. *Brake lever* Shimano BL-M445

### 4. Selang rem

Selang rem berfungsi untuk jalannya fluida sistem hidrolik dari *break lever* ke *brake caliper*. Selang rem yang akan digunakan pada *prototype* Lingsar Proto yaitu Shimano SM-BH59-1250 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.26. Komponen tipe ini dipilih karena banyak terdapat di pasaran.



Gambar 4.26. Selang rem Shimano SM-BH59-1250

#### 5. *Disk Brake*

Komponen *disk brake* berfungsi sebagai bidang gesek kanvas rem pada *break pad*. Tipe *disk brake* yang akan digunakan pada *prototype* ini yaitu Avid G3CS dengan material *steel alloy*. Komponen *disk break* Avid G3CS seperti ditunjukkan pada Gambar 4.27.



Gambar 4.27. *Disk break* Avid G3CS

#### 6. Roda belakang

Komponen roda merupakan komponen yang berfungsi untuk meneruskan daya dari motor penggerak untuk menggerakkan kendaraan dengan cara bergesekan dengan bidang gesek yaitu jalan. Semakin besar luas permukaan ban maka akan semakin besar koefisien gesek yang terjadi saat kendaraan berjalan, untuk mengurangi gesekan tersebut namun dapat melakukan pencengkraman (*grip*) saat awal kendaraan bergerak maka *prototype* Lingsar Proto 3 akan menggunakan *rim* dengan ukuran diameter 20 inch, lebar penampang 29 mm dan ban dengan jenis Schwalbe Kojak 35-406 (20x1,35). Komponen roda belakang ini juga dilengkapi dengan komponen *hub* tipe Asses dan *single sprocket* dengan *free wheel* untuk memutus daya, serta jari-jari tipe berukuran panjang 18 cm berjumlah 36 buah. Rancangan Komponen roda belakang yang akan digunakan Lingsar Proto 3 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.28.



Gambar 4.28. Roda belakang

### 7. Roda Depan

Komponen roda depan pada *prototype* ini menggunakan jenis dan ukuran yang sama dengan jenis roda depan dengan penampang permukaan kontak ban yang kecil yaitu menggunakan jenis *rim* berukuran 20 inch, lebar penampang 29 mm dan jenis ban Schwalbe Kojak 35-406 (20x1,35) dilengkapi dengan *hub* jenis Asses dan jari-jari tipe berukuran 18 cm berjumlah 36 buah. Pemilihan roda jenis ini bertujuan untuk meminimalkan gesekan yang terjadi pada permukaan ban agar kendaraan dapat bebas bergerak dan lebih hemat dalam penggunaan bahan bakarnya. Komponen roda depan *prototype* Lingsar Proto 3 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.29.



Gambar 4.29. Roda depan

### 8. Poros Roda

Pemilihan poros yang akan digunakan yaitu berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan sebagai berikut (Sularso, 1994):

a) Diameter poros

$$d_s = \left[ \left( \frac{10,2}{\sigma_a} \right) M \right]^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(4.8)$$

b) Tegangan geser yang diijinkan ( $\tau_a$ )

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{Sf_1 \cdot Sf_2} \dots\dots\dots(4.9)$$

c) Momen Puntir (T)

$$T = \frac{d_s^3}{\left[\left(\frac{5,1}{\tau_a}\right) K_t C_b\right]} \dots\dots\dots(4.10)$$

d) Tegangan Geser Poros

$$\tau = \frac{5,1 T}{d_s^3} \dots\dots\dots(4.11)$$

e) Tegangan Lentur

$$\sigma_a = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(4.12)$$

Keterangan:

$T$  = Momen puntir (kg.mm)

$\tau_a$  = Tegangan geser ijin (kg/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_B$  = Kekuatan tarik ijin (kg/mm<sup>2</sup>)

$Sf_1$  = *Safety factor* material (kelelahan puntir)

$Sf_2$  = *Safety factor* material (pembebanan dan kosentrasi tegangan)

$d_s$  = Diameter Poros (mm)

$\tau$  = Tegangan geser poros (kg/mm<sup>2</sup>)

$\sigma$  = Tegangan Lentur (kg/mm<sup>2</sup>)

$M$  = Momen bending (kg.mm)

a. Poros roda belakang

Diketahui :

Berat beban = 42 kg + 65 kg = 107 kg

$\sigma_B = 310 \text{ MPa} = 31,6112 \text{ kg/mm}^2$

Asumsi :

Berat yang ditahan poros =  $\frac{107 \text{ kg/mm}^2}{3} = 35,6 \text{ kg}$

a) Diameter poros ( $d_s$ )

Poros dirancang menggunakan bahan aluminium 6061. Besarnya diameter poros dapat dihitung menggunakan persamaan 4.8 sebagai berikut :

Diketahui

Panjang lengan momen ( $L$ ) = 90 mm

$Sf_1 = 1,5$  (faktor keamanan untuk kelelahan puntir)

$Sf_2 = 1,1$  (faktor keamanan untuk pembebanan dan kosentrasi)

Maka,

$$M = W \times L = 35,6 \text{ kg} \times 90 \text{ mm} \\ = 3204 \text{ kg.mm}$$

$$\sigma_a = \frac{31,6112 \text{ kg/mm}^2}{1,5 \times 1,1} = 19,158 \text{ kg/mm}^2$$

Sehingga,

$$d_s = \left[ \left( \frac{10,2}{19,158} \right) 3204 \text{ kg.mm} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$= 11,94 \text{ mm} \Rightarrow 12 \text{ mm}, \text{ karena menyesuaikan ukuran diameter } \textit{inner hub}$$

b) Tegangan geser yang diijinkan ( $\tau_a$ )

Material yang digunakan sebagai bahan poros ini yaitu aluminium 6061 silinder pejal. Besarnya tegangan geser yang diijinkan ( $\tau_a$ ) pada poros dapat diperoleh dengan persamaan 4.9 :

Diasumsikan:

$$Sf_1 = 1,5 \text{ (faktor keamanan untuk kelelahan puntir)}$$

$$Sf_2 = 1,1 \text{ (faktor keamanan untuk pembebanan dan kosentrasi)}$$

Maka,

$$\tau_a = \frac{31,6112 \text{ kg/mm}^2}{1,5 \times 1,1}$$

$$\tau_a = 19,158 \text{ kg/mm}^2$$

c) Momen Puntir (T)

Dalam menghitung momen puntir (T) poros dapat menggunakan persamaan 4.10 sebagai berikut:

Diasumsikan :

$$K_t = 1 \text{ karena pembebanan sangat halus}$$

$C_b = 1,2 - 2,3$ , maka diasumsikan nilai  $C_b = 1,2$  karena terdapat pembebanan lentur

Maka,

$$d_s = \left[ \left( \frac{5,1}{\tau_a} \right) K_t C_b T \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$T = \frac{ds^3}{\left[\left(\frac{5,1}{\tau_a}\right) K_t C_b\right]}$$

$$T = \frac{12^3}{\left[\left(\frac{5,1}{5409,3 \text{ kg/mm}^2}\right) 1 \times 1,2\right]}$$

$$T = 5409,3 \text{ kg.mm}$$

d) Tegangan geser poros

Untuk mengetahui nilai tegangan geser pada poros dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4.11 :

$$\tau = \frac{5,1 \times 5409,3 \text{ kg mm}}{12^3 \text{ mm}}$$

$$\tau = 15,96 \text{ kg/mm}^2$$

e) Tegangan Lentur

Untuk mengetahui nilai tegangan lentur pada poros dapat dihitung menggunakan persamaan 4.12.

Diketahui :

$$\sigma = \frac{3204 \text{ kg.mm}}{\frac{\pi}{32} \times 12^3}$$

$$\sigma = 18 \text{ kg/mm}^2$$

b. Poros roda depan

Diketahui :

$$\text{Berat beban} = 42 \text{ kg} + 65 \text{ kg} = 107 \text{ kg}$$

$$\sigma_B = 310 \text{ MPa} = 31,6112 \text{ kg/mm}^2$$

Asumsi :

$$\text{Berat yang ditahan poros} = \frac{107 \text{ kg/mm}^2}{3} = 35,6 \text{ kg}$$

a) Diameter poros ( $d_s$ )

Poros dirancang menggunakan bahan aluminium 6061. Besarnya diameter poros dapat dihitung menggunakan persamaan 4.8 sebagai berikut :

Diketahui

$$\text{Panjang lengan momen (L)} = 71,5 \text{ mm}$$

$$Sf_1 = 2,0 \text{ (faktor keamanan untuk kelelahan puntir)}$$

$$Sf_2 = 1,0 \text{ (faktor keamanan untuk pembebanan dan konsentrasi)}$$

Maka,

$$M = W \times L = 35,6 \text{ kg} \times 71,5 \text{ mm}$$

$$= 2545,4 \text{ kg.mm}$$

$$\sigma_a = \frac{31,6112 \text{ kg/mm}^2}{2,0 \times 1,0} = 15,81 \text{ kg/mm}^2$$

Sehingga,

$$d_s = \left[ \left( \frac{10,2}{15,81} \right) 2545,4 \text{ kg.mm} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$= 11,80 \text{ mm} \Rightarrow 12 \text{ mm}, \text{ karena menyesuaikan ukuran diameter } \textit{inner hub}$$

b) Tegangan geser yang diijinkan ( $\tau_a$ )

Material yang digunakan sebagai bahan poros ini yaitu aluminium 6061 silinder pejal. Besarnya tegangan geser yang diijinkan ( $\tau_a$ ) pada poros dapat diperoleh dengan persamaan 4.9 :

Diasumsikan:

$$Sf_1 = 2,0 \text{ (faktor keamanan untuk kelelahan puntir)}$$

$$Sf_2 = 1,0 \text{ (faktor keamanan untuk pembebanan dan kosentrasi)}$$

Maka,

$$\tau_a = \frac{31,6112 \text{ kg/mm}^2}{2,0 \times 1,0}$$

$$\tau_a = 15,80 \text{ kg/mm}^2$$

c) Momen Puntir (T)

Dalam menghitung momen puntir (T) poros dapat menggunakan persamaan 4.10 sebagai berikut:

Diasumsikan :

$$K_t = 1 \text{ karena pembebanan sangat halus}$$

$C_b = 1,2 - 2,3$ , maka diasumsikan nilai  $C_b = 1,2$  karena terdapat pembebanan lentur

Maka,

$$d_s = \left[ \left( \frac{5,1}{\tau_a} \right) K_t C_b T \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$T = \frac{d_s^3}{\left[ \left( \frac{5,1}{\tau_a} \right) K_t C_b \right]}$$

$$T = \frac{12^3}{\left[ \left( \frac{5,1}{15,80 \text{ kg/mm}^2} \right) 1 \times 1,2 \right]}$$

$$T = 4461,17 \text{ kg.mm}$$

d) Tegangan geser poros

Untuk mengetahui nilai tegangan geser pada poros dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4.11 :

$$\tau = \frac{5,1 T}{d_s^3}$$

$$\tau = \frac{5,1 \cdot 4461,17 \text{ kg mm}}{12,5^3 \text{ mm}}$$

$$\tau = 13,16 \text{ kg/mm}^2$$

e) Tegangan Lentur

Untuk mengetahui nilai tegangan lentur pada poros dapat dihitung menggunakan persamaan 4.12.

Diketahui :

$$\sigma = \frac{2545,4 \text{ kg.mm}}{\frac{\pi}{32} \cdot 12^3}$$

$$\sigma = 15 \text{ kg/mm}^2$$

Untuk memastikan kelayakan poros maka dilakukan pemeriksaan kekuatan poros sebagai berikut:

a) Terhadap Tegangan Geser

$$\text{Syarat aman : } \tau < \tau_a$$

Dari hasil perhitungan memberikan bahwa tegangan geser yang dirancang kurang dari tegangan geser yang direncanakan.

Maka,

Kekuatan poros roda belakang :

$$15,96 \text{ kg/mm}^2 < 19,158 \text{ kg/mm}^2$$

Kekuatan poros roda depan :

$$13,16 \text{ kg/mm}^2 < 15,80 \text{ kg/mm}^2$$

Poros roda depan dan belakang dinyatakan aman terhadap tegangan geser.

b) Terhadap Tegangan Lentur

$$\text{Syarat aman : } \sigma < \sigma_a$$

Maka,

Kekuatan poros roda belakang :

$$18 \text{ kg/mm}^2 < 19,158 \text{ kg/mm}^2$$

Kekuatan poros roda belakang :

$$15 \text{ kg/mm}^2 < 15,80 \text{ kg/mm}^2$$

Poros roda depan dan belakang dinyatakan aman terhadap tegangan lentur.

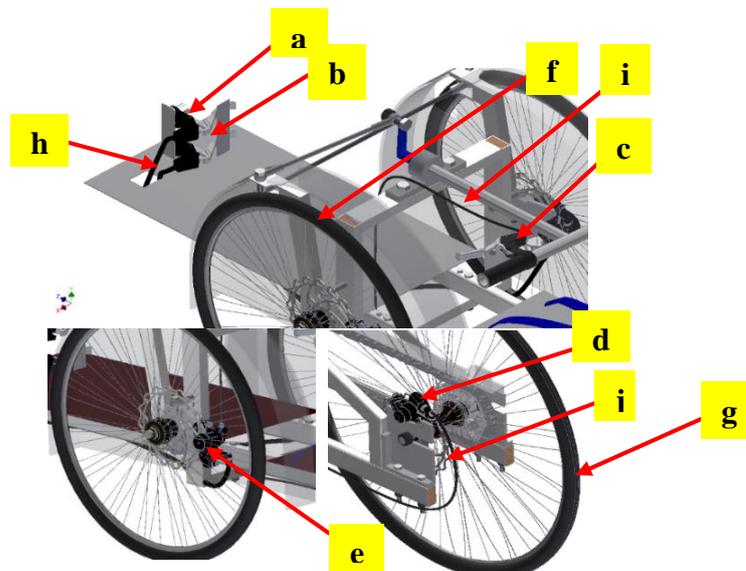
Detail ukuran dan gambar dapat dilihat pada Lampiran Gambar Teknik nomor 17.

#### **4.4.2. Assembly Sistem Pengereman dan Roda**

Setelah proses perancangan dan pemilihan komponen di atas, maka langkah selanjutnya adalah *assembly* antar komponen hingga menjadi sebuah sistem. Proses *assembly* sistem pengereman dan roda yaitu sebagai berikut:

1. Penempatan *brake lever* roda belakang yaitu diletakkan pada setang kemudi sebelah kiri dengan tujuan memudahkan pengemudi untuk menarik tuas rem tanpa melepas setan *steering* dan *trottle* kecepatan kendaraan agar tetap bisa mengontrol arah dan laju kendaraan.
2. Penempatan *brake lever* roda depan yaitu diletakkan dengan sebelah kiri dengan tujuan memudahkan pengemudi untuk menarik tuas rem tanpa melepas setan *steering* dan *trottle* kecepatan kendaraan agar tetap bisa mengontrol arah dan laju kendaraan.
3. Penempatan sistem pengereman roda belakang di sebelah kiri, untuk menyesuaikan dengan sepeda pada umumnya, yang mana sistem transmisi dan *free wheel* terletak disebelah kanan sedangkan sistem pengereman dan *disk break* terletak di sebelah kiri.
4. Sistem pengereman pada roda depan terletak di sisi dalam kendaraan, dengan hasil rancangan yaitu *bracket caliper* menyatu dengan *bracket shaft* untuk pemasangan *caliper* terletak di sisi belakang *bracket shaft* roda. Hal ini bertujuan agar pemasangan komponen lebih efektif dan lebih aman karena saat terjadi proses pengereman, maka tekanan dapat terdistribusi merata pada *bracket shaft* roda.

Dari hasil perancangan sistem pengereman dan roda didapatkan rancangan *assembly* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.29. Detail Gambar *assembly* dapat dilihat pada Lampiran Gambar Teknik nomor 15.



Keterangan :

- |                                    |                        |
|------------------------------------|------------------------|
| a. <i>Brake lever</i> rem depan    | f. Roda depan          |
| b. Pedal rem                       | g. Roda belakang       |
| c. <i>Brake lever</i> rem belakang | h. Selang rem depan    |
| d. <i>Caliper</i> rem belakang     | i. Selang rem belakang |
| e. <i>Caliper</i> rem depan        | j. <i>Disk brake</i>   |

Gambar 4.29. *Assembly* sistem pengereman

## 4.5. Perancangan Sistem Kelistrikan

### 1. Baterai

Baterai merupakan komponen penyuplai energi yang digunakan untuk menggerakkan motor listrik. Baterai yang digunakan jenis baterai *Lithium Polimer* (Li-Po) dengan kapasitas sebesar 10 Ah yang terdiri dari 4 baterai yang masing-masing memiliki tegangan 12 Volt dan dirangkai secara seri. Arus maksimal yang disuplai baterai sebesar 250 A. baterai ini sangat cocok digunakan untuk *controler* dan motor karena memiliki bobot yang ringan. Berat dari baterai sendiri sebesar 3 kg yang sudah dirangkai beserta cover pelindung baterai. Baterai ini dipasang sebuah *BMS* yang bertujuan untuk mengatur arus yang mengalir di rangkaian kendaraan dan untuk mengontrol baterai agar energi pada baterai tidak sepenuhnya habis maupun ketika terjadi pengisian berlebih yang dapat merusak baterai. Spesifikasi baterai ditunjukkan pada Tabel 4.3. sedangkan bentuk baterai ditunjukkan pada Gambar 4.29.

Tabel 4.3. Spesifikasi baterai

Komponen baterai	Spesifikasi
Merk	Tiger
Voltage	12 Volt/unit
Kapasitas	10.000 mAh
Berat	3 kg (sudah dirangkai)
Dimensi	21 x 12 x 14 cm
Arus maksimum	250 Ampere

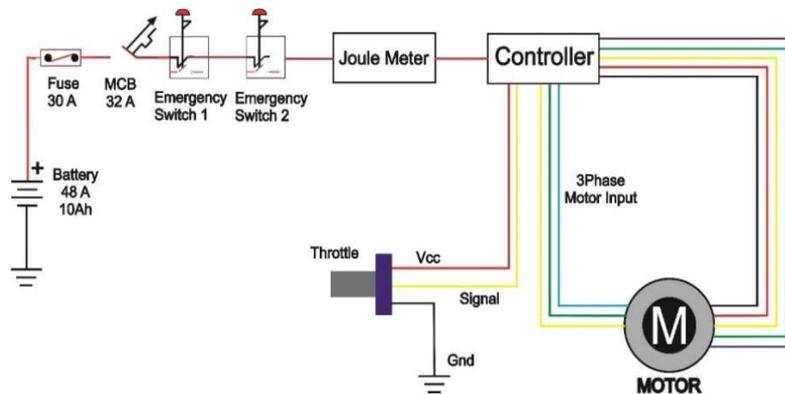


Gambar 4.29. Baterai *Lithium Polimer* (Li-Po)

## 2. Wiring Diagram

Sistem kelistrikan pada mobil merujuk pada aspek keandalan mobil dan keselamatan dari *driver*. Sistem kelistrikan terdiri dari bagian utama dan aksesoris. Bagian utama terdiri dari baterai, *controller*, dan motor penggerak, sedangkan untuk bagian aksesoris terdiri dari *handle gas*, BMS (*Battery Manajement System*), sensor kecepatan, *regulator* tegangan, *fuse*, tombol darurat (*emergency swicth*), dan klakson.

Baterai sebagai komponen utama penyuplai energi yang digunakan untuk menggerakkan motor dengan kapasitas 10 Ah dan tegangan 48 Volt. Suplai energi untuk motor yang berasal dari baterai tersebut diatur oleh *controller* dan untuk mengendalikan kecepatan motor melalui *handle gas*. *Emergency swicth* terdapat dua buah yang terpasang di luar dan di dalam berfungsi untuk menonaktifkan semua sistem kelistrikan pada mobil apabila terjadi keadaan darurat. Selain itu pemasangan *fuse* guna menghindari dari kendala seperti arus yang berlebih atau hubung singkat. *Wiring* diagram seperti ditunjukkan pada Gambar 4.29.



Gambar 4.30. Wiring diagram kelistrikan

#### 4.6. Perancangan Sistem Pembangkit Tenaga dan Penerus Daya

Dalam perancangan sistem pembangkit daya dan penerus daya maka akan dibahas dalam bab ini meliputi detail komponen yang akan digunakan dalam penerus daya dari pembangkit tenaga (*engine*) sampai ke roda dan *assembly* komponen penyusunnya.

##### 4.6.2. Perancangan Komponen

Pada sistem ini terdapat beberapa komponen penyusunnya antara lain sebagai berikut:

##### 1. *Engine* (Motor Listrik)

Dalam pemilihan sistem pembangkit tenaga, maka *prototype* Lingsar Proto 3 menggunakan *engine* yang memiliki bobot yang ringan dan memiliki nilai efisiensi yang tinggi, maka digunakan motor elektrik dengan jenis BLDC *hub* motor dengan daya 1000 Watt dan memiliki arus maksimal 20 A. Motor jenis ini memiliki torsi yang cukup besar yaitu sebesar 40 N.m dengan kecepatan putar hingga 520 rpm. Selain itu, pada motor ini juga terdapat *hall* sensor sehingga meningkatkan dapat meningkatkan nilai efisiensi motor hingga 88%. Spesifikasi BLDC *electric* motor yang akan digunakan seperti ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Spesifikasi BLDC hub motor

Komponen Motor	Spesifikasi
Tipe	BLDC Hub Motor
Daya	1000 Watt
Tegangan	48 Volt
Arus Maksimum	20 Ampere
Torsi Maksimum	40 N.m

Rpm Maksimum	520 rpm
Sensor	Hall sensor
Efisiensi	88 %
Berat	6,2 Kg

Pada motor ini juga dilengkapi dengan *single sprocket* yang akan digunakan sebagai menggerak rantai dalam meneruskan daya putaran motor seperti ditunjukkan pada gambar 4.30.



Gambar 4.30. BLDC *hub* motor

## 2. *Sprocket* dan rantai

Rantai merupakan suatu komponen yang berfungsi untuk meneruskan daya putaran dari *sprocket* pada motor penggerak ke *sprocket* yang terdapat pada roda untuk menggerakkan roda. Dalam perancangan ini, *prototype* Lingsar Proto 3 menggunakan rantai sebagai penerus daya dari motor ke roda. Hal ini dipilih karena rantai dinilai mampu memindahkan daya secara optimal untuk meneruskan daya hingga beban penggerak yang besar. *Prototype* Lingsar Proto 3 menggunakan rantai sepeda dengan penentuan ukuran menggunakan persamaan sebagai berikut: (Sularso, 2004)

### 1. Putaran (*n*) roda belakang

$$V = \pi \times D \times n_2$$

$$n_2 = \frac{V}{\pi \times D} \dots\dots\dots(4.12)$$

### 2. Rasio kecepatan

$$i = \frac{n_1}{n_2} \dots\dots\dots(4.13)$$

### 3. Jumlah gigi *sprocket* besar

$$z_2 = z_1 \times \frac{n_1}{n_2} \dots\dots\dots(4.14)$$

### 4. Jumlah mata rantai

$$C = C_p \times p$$

$$C_p = \frac{c}{p} \dots \dots \dots (4.15)$$

5. Panjang rantai

$$L_p = \frac{z_1+z_2}{2} + 2 \times c_p + \frac{(\frac{z_2-z_1}{6,28})^2}{c_p} \dots \dots \dots (4.16)$$

Keterangan:

V = Kecepatan mobil (km/jam) = 35 km/jam = 583,3 m/menit

D = Diameter roda (m) = 0,48 m

$n_1$  = Putaran motor = putaran *sprocket* kecil = 520 rpm

$n_2$  =  $n_{roda}$  = Putaran *sprocket* besar (rpm)

p = Pitch (mm)

d1 = Diameter pitch *sprocket* kecil (mm)

d2 = Diameter pitch *sprocket* besar (mm)

$L_p$  = Panjang rantai (mm)

$z_1$  = Jumlah gigi kecil

$z_2$  = Jumlah gigi besar

C = Jarak Sumbu *sprocket* depan dan belakang (mm)

$c_p$  = Jarak sumbu antar *sprocket* berdasarkan jumlah mata rantai

$L_p$  = Jumlah mata rantai

L = Panjang rantai

$$1. n_2 = \frac{V}{\pi \times D} = \frac{583,3m/min}{\pi \times 0,48 m} = 386,81 rpm$$

$$2. i = \frac{n_1}{n_2}$$

$$Rasio = \frac{520}{386,81 rpm} = 1,34 = 2$$

$$3. z_2 = z_1 \times \frac{n_1}{n_2} = 27 \times \frac{520}{386,81} = 36,29 = 37$$

Berdasarkan perhitungan di atas maka dipilih jenis rantai dari tabel IS:2403-1991 No.06B seperti ditunjukkan pada Tabel 4.5 dengan spesifikasi sebagai berikut:

(p) = 9,525 mm Breaking Load = 4,4 kN

$d_1$  = 6,35 mm  $p_1$  = 10,24 mm

$$b_1 = 5,72 \text{ mm}$$

Tabel 4.5. Karakteristik rantai *roll* berdasarkan IS: 2403-1991 (Khurmi dan Gupta, 2005)

ISO Chain number	Pitch (p) mm	Roller diameter (d <sub>1</sub> ) mm Maximum	Width between inner plates (b <sub>1</sub> ) mm Maximum	Transverse pitch (p <sub>1</sub> ) mm	Breaking load (kN) Minimum		
					Simple	Duplex	Triplex
05 B	8.00	5.00	3.00	5.64	4.4	7.8	11.1
06 B	9.525	6.35	5.72	10.24	8.9	16.9	24.9
08 B	12.70	8.51	7.75	13.92	17.8	31.1	44.5
10 B	15.875	10.16	9.65	16.59	22.2	44.5	66.7
12 B	19.05	12.07	11.68	19.46	28.9	57.8	86.7
16 B	25.4	15.88	17.02	31.88	42.3	84.5	126.8
20 B	31.75	19.05	19.56	36.45	64.5	129	193.5
24 B	38.10	25.40	25.40	48.36	97.9	195.7	293.6
28 B	44.45	27.94	30.99	59.56	129	258	387
32 B	50.80	29.21	30.99	68.55	169	338	507.10
40 B	63.50	39.37	38.10	72.29	262.4	524.9	787.3
48 B	76.20	48.26	45.72	91.21	400.3	800.7	1201

Diketahui jarak sumbu antar poros sebesar 404 mm, maka dapat dihitung  $c_p$  menggunakan persamaan 4.8 sebagai berikut:

$$4. C_p = \frac{c}{p} = \frac{404 \text{ mm}}{9,525 \text{ mm}} = 42,41 \text{ buah} = 43 \text{ buah}$$

Maka panjang rantai dapat dihitung menggunakan persamaan 4.9 sebagai berikut:

$$5. L_p = \frac{z_1 + z_2}{2} + 2c_p + \frac{[(z_2 - z_1)/6,28]^2}{c_p}$$

$$= \frac{27 + 37}{2} + 2 \times 42,41 + \frac{[37 - 27]}{42,41}^2$$

$$= 116,87 = 117 \text{ buah}$$

$$L_p = L_p \times p$$

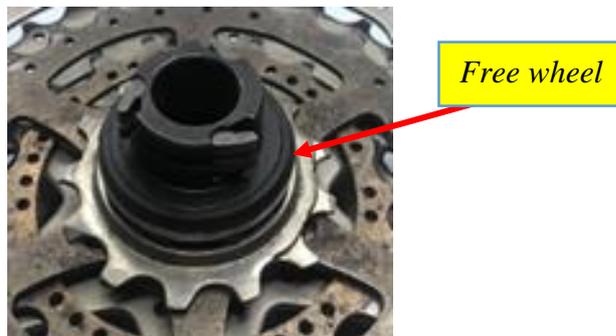
$$= 117 \times 9,525 \text{ mm}$$

$$= 1114,4 \text{ mm}$$

#### 5. Free wheel

*Free wheel* merupakan mekanisme penghubung dan pemutus daya penggerak *driving shaft* yang menggerakkan *driven shaft* pada *hub* sepeda. Cara kerja dari *free wheel* yaitu apabila kecepatan *driving shaft* lebih tinggi dari *driven shaft*, maka *clutch* bekerja menghubungkan *driving* dengan *driven*. Namun sebaliknya jika kecepatan *driving* lebih rendah, maka *clutch* akan memutus *driving* dengan *driven* secara otomatis dan roda akan bergerak bebas tanpa beban dari penggerak. Pada

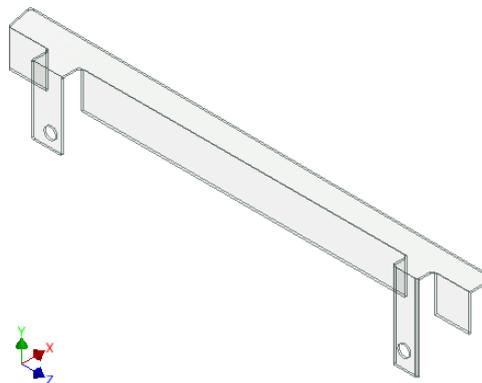
perancangan ini *prototype* Lingsar Prtoto 3 menggunakan jenis *free wheel* yaitu Shimano CS-HG50-10. Jenis ini dipilih karena cocok dengan mekanisme, ukuran dan banyak tersedia di pasaran. Jenis *free wheel* Shimano CS-HG50-10 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.31.



Gambar 4.31. *Free wheel* Shimano CS-HG50-10

#### 6. Penutup transmisi

Merujuk pada regulasi teknis KMHE 2017 tentang transmisi menyebutkan bahwa kendaraan yang dilengkapi transmisi rantai atau *v-belt* harus dilengkapi dengan penutup. Hal ini bertujuan untuk melindungi komponen agar tidak saling bergesekan antar komponen di luar bagian transmisi dengan komponen transmisi. Berdasarkan hal tersebut maka dirancang penutup transmisi *prototype* Lingsar Proto 3 dengan menggunakan jenis material *acrilic* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.32 dan detail ukuran dapat dilihat pada Lampiran Gambar Teknik nomor 18.



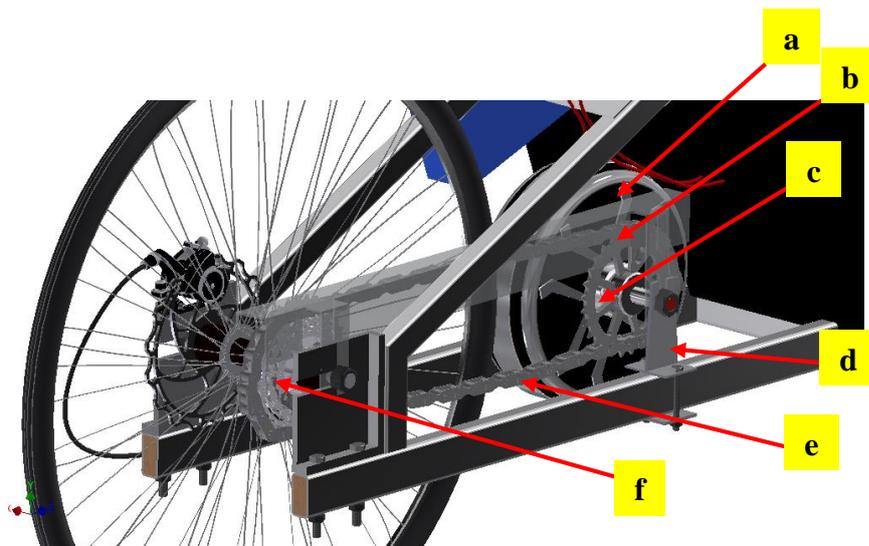
Gambar 4.32. Penutup transmisi

#### 4.5.2. *Assembly* Sistem Pembangkit Daya dan Penerus Daya

Setelah masing-masing komponen dirancang, maka dapat dilakukann *assembly* antar komponen tersebut. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam proses *assembly* ini yaitu sebagai berikut:

1. *Single sprocket* dengan ukuran 24 T dipasang pada poros utama motor
2. *Sprocket* bertingkat dipasang pada *free wheel* roda belakang
3. Pemasangan rantai menyesuaikan posisi *center* dari *sprocket* pada motor dan *sprocket* pada roda belakang.
4. Pengencangan rantai menyesuaikan kebutuhan agar tidak terjadi tegangan yang berlebih pada rantai.

Dari hasil perancangan sistem pembangkit tenaga dan penerus daya menggunakan *software Autodesk Inventor 2017* didapatkan hasil perancangan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.33 dan detail gambar *assembly* dapat dilihat pada Lampiran Gambar Teknik nomor 12.



Keterangan :

- |                               |                               |
|-------------------------------|-------------------------------|
| a. BLDC motor 1000 W          | d. <i>Bracket</i> motor       |
| b. Penutup transmisi          | e. rantai                     |
| c. <i>Sprocket</i> depan 24 T | f. <i>Sprocket</i> bertingkat |

Gambar 4.33. *Assembly* sistem pembangkit daya dan penerus daya

#### 4.6. Perancangan Bodi dan Analisa Aerodinamika

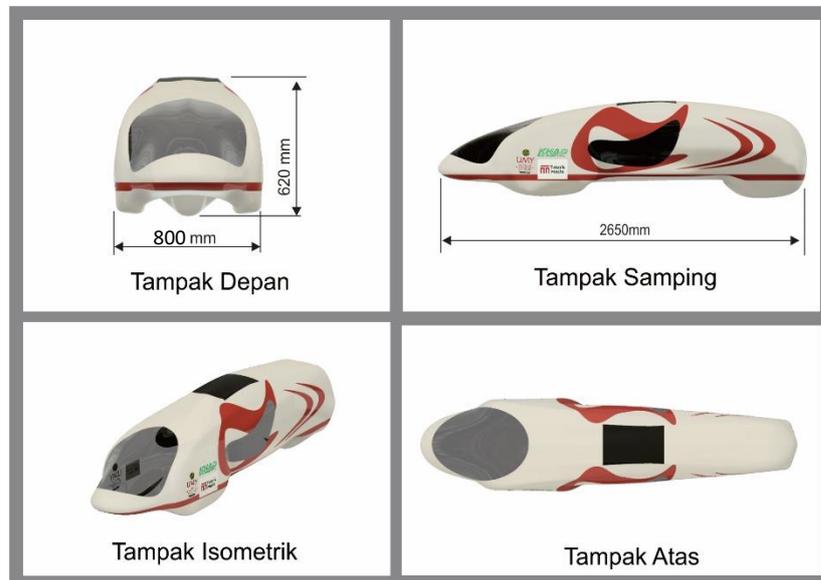
Pada sub-bab ini akan membahas mengenai hasil perancangan bodi *prototype* Lingsar Proto 3 meliputi detail komponen yang ada pada bodi dan analisa aerodinamika bodi.

##### 4.6.1. Perancangan Bodi

Merujuk pada regulasi teknis KMHE 2017, kendaraan dengan kategori *prototype* harus memenuhi beberapa syarat yaitu sebagai berikut:

1. Dimensi maksimal kendaraan yang diijinkan yaitu dengan panjang 350 cm, lebar 130 cm, dan tinggi 100 cm.
2. Bodi kendaraan tidak boleh mudah berubah bentuk karena faktor angin dan tidak diperbolehkan menggunakan perlengkapan *aerodynamic*.

Berdasarkan hal di atas maka bodi kendaraan *prototype* Lingsar Proto 3 dirancang dengan panjang 2500 mm, lebar 750 mm, dan tinggi 550 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 4.34 dan detail ukuran dapat dilihat pada Lampiran Gambar Teknik nomor 21.



Gambar 4.34. Bodi *prototype* Lingsar Proto 3

Pada perancangan bodi *prototype* Lingsar Proto 3 ini penulis menggunakan *software Autodesk Fusion 360* untuk merancang bentuk bodi, konsep yang diterapkan pada *prototype* Lingsar Proto 3 ini yaitu bodi dengan tipe roda berada di dalam. Hal ini dipilih untuk meningkatkan nilai aerodinamis pada bodi serta ruang kemudi yang lebih luas untuk memudahkan pengemudi pada saat posisi mengemudi.

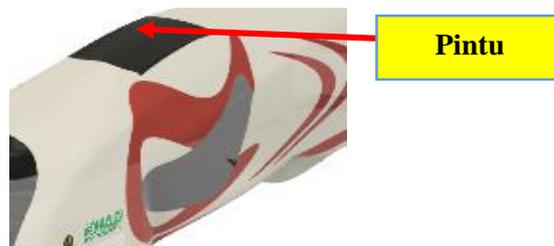
Pemilihan jenis material juga sangat penting untuk kekuatan konstruksi bodi, sebagai pelindung pengemudi dan komponen-komponen yang berada dalam bodi kendaraan dari gangguan luar. Pada perancangan bodi *prototype* Lingsar Proto 3 akan digunakan material jenis komposit dengan komposisi berupa *fiber glass* dan

*lantor coremat* sebagai matrik dan resin *epoxy* sebagai penguatnya. Material tersebut dipilih karena memiliki massa jenis yang cukup ringan, kuat, dan mudah dalam proses pembuatannya serta harga yang lebih murah dibandingkan dengan *carbon fiber*. Oleh karena itu, diharapkan bodi memiliki massa yang lebih ringan sehingga dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi. Pada perancangan bodi ini juga menggunakan material lain yaitu *polycarbonate* yang digunakan pada sisi depan, samping kanan dan kiri. Pada sisi depan, samping kanan, dan kiri penggunaan *polycarbonate* berfungsi untuk memberikan jangkauan pandang yang luas ke pengemudi pada arah depan dan sisi kanan dan kiri kendaraan sejauh  $180^\circ$  untuk mengetahui posisi benda yang berada dekat pada kendaraan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.35.



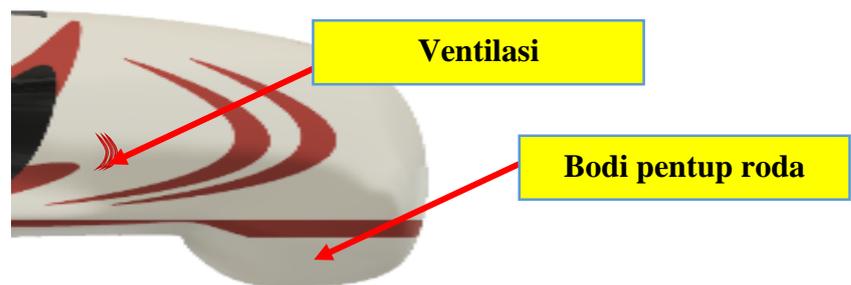
Gambar 4.35. *Polycarbonate* untuk pandangan pengemudi

Pada bodi kendaraan *prototype* juga dilengkapi pintu yang akan digunakan sebagai akses keluar masuk kendaraan, pintu yang dirancang pada *prototype* Lingsar Proto 3 terletak pada bodi bagian atas kendaraan yang dibuka dengan cara mengangkat pintu ke arah luar dan menutup dengan memasang pada bodi lalu terdapat pengunci pada bagian dalam bodi. Pintu pada bodi seperti ditunjukkan pada Gambar 4.36.



Gambar 4.36. Pintu pada bodi

Pada bodi juga dilengkapi dengan ventilasi udara yang terletak pada bagian belakang bodi sebagai sirkulasi dan suplai udara ke ruang kemudi dan ruang *engine*. Bodi bagian belakang dirancang berbentuk tirus kebawah hingga menutupi roda belakang dengan tujuan mengurangi gaya hambat udara yang menabrak bagian roda dan transmisi pada bagian belakang kendaraan *prototype*. Bodi bagian belakang seperti ditunjukkan pada Gambar 4.37.



Gambar 4.37. Ventilasi dan bodi penutup roda

#### 4.6.2. Analisa Aerodinamika Bodi

Konsep aerodinamika pada kendaraan merupakan aspek yang sangat penting yang dapat mempengaruhi penggunaan energi pada kendaraan. Dalam aerodinamika pada kendaraan bertujuan untuk mengetahui tahanan aerodinamika pada kendaraan, gaya angkat aerodinamik, dan momen angguk aerodinamik yang berpengaruh pada kendaraan dengan kecepatan sedang dan tinggi. Berdasarkan hal tersebut maka dirancang bentuk kendaraan yang aerodinamis untuk mengatasi gaya-gaya tersebut. (Jhon dan Utomo, 2017).

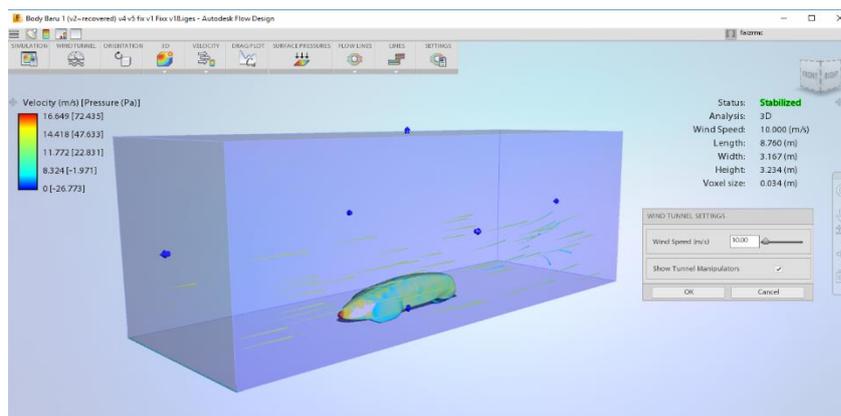
Gaya hambat udara (*drag*) merupakan interpretasi besarnya hambatan udara yang diterima oleh suatu benda saat bergerak melalui udara. Pada gaya (*drag*) juga terjadi *pressure drag* yang merupakan bagian dari *drag* yang disebabkan oleh tekanan ( $P$ ) pada suatu benda. *Drag* ini dipengaruhi oleh bentuk dan kecepatan suatu benda saat bergerak. Pada pengujian yang telah dilakukan oleh Jhon dan Utomo (2017) dengan metode *computational fluid dynamics* (CFD) menggunakan *software Ansys*, selain bentuk bodi suatu kendaraan, kecepatan kendaraan juga sangat berpengaruh terhadap nilai *drag* kendaraan yang biasa disebut dengan *coefficient of drag* ( $C_d$ ). Pada kendaraan yang melaju dengan kecepatan tinggi,

terjadi penurunan nilai *coefficient of drag* sedangkan pada pengujian dengan kecepatan rendah nilai *Cd* pada kendaraan menjadi lebih tinggi.

Dalam melakukan analisis bodi *prototype* Lingsar Proto 3, penulis menggunakan metode CFD dengan *software* CFD yaitu *Autodesk Flow Design* 2017. Konfigurasi pra analisis dan hasil analisis aerodinamis yang telah dilakukan yaitu sebagai berikut:

### 1. Daerah Komputasi (*Computational Domain*)

Daerah komputasi pada proses simulasi ini dapat dilihat pada Gambar 4.38. Dimensi daerah komputasi dinyatakan dengan notasi L. L adalah panjang dari mobil yang akan disimulasikan dengan nilai 8,760 m diberikan lebih panjang dari panjang model mobil yang disimulasikan agar seluruh bagian dapat diketahui nilai aerodinamikanya.



Gambar 4.38. Daerah komputasi pada bodi *prototype*

### 2. Kondisi Batas (*Boundary Condition*)

Kondisi batas pada daerah komputasi dibagi menjadi lima bagian yang meliputi bagian atas, bawah, samping, depan dan belakang. Batas depan yaitu pada sumbu X dimasukkan kecepatan sebesar 10 m/s atau 36 km/jam. Bagian atas, belakang dan samping merupakan kondisi batas tekanan keluar dengan tekanan yang sama dengan tekanan atmosfer. Pemberian kecepatan angin tersebut berdasarkan kecepatan kendaraan maksimal yaitu 35 km/jam.

Fluida yang digunakan dalam simulasi ini adalah udara dengan nilai *density* 1,225 kg/m<sup>3</sup> dan viskositas ( $\mu$ ) 1,7894 . 10<sup>-5</sup> Pa.s. Udara yang mengalir pada mobil ini diasumsikan sebagai gas ideal dan *incompressible*. Asumsi lain yang digunakan

adalah aliran laminar, *steady*, 3 dimensi dan gravitasi, sedangkan efek difusivitas dan temperature diabaikan. Dengan menggunakan asumsi ini, persamaan pembentukan aliran (*governing equations*) yang akan dianalisis ditunjukkan pada persamaan 4.8 dan persamaan 4.9 (Rosyadi, dkk, 2012).

a) Persamaan kontinuitas

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots(4.17)$$

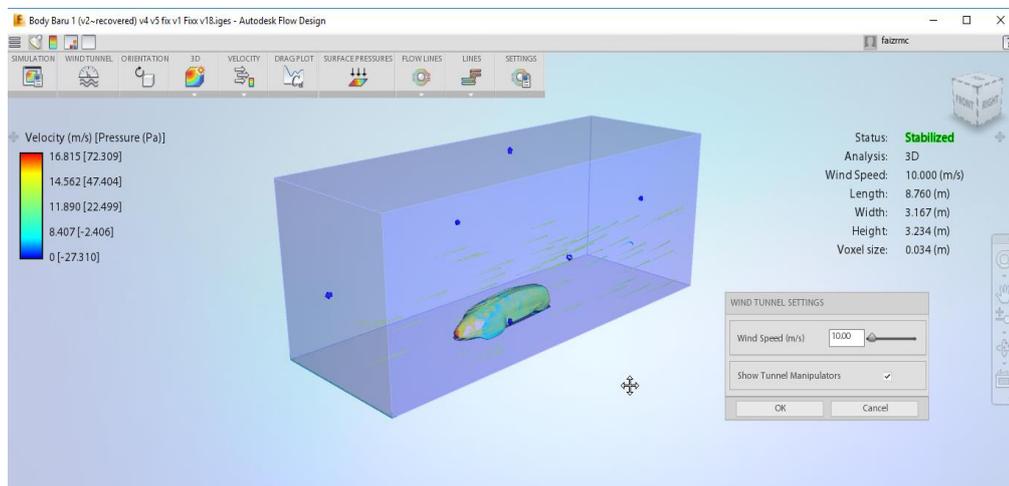
b) Persamaan Momentum

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \dots\dots\dots(4.18)$$

Notasi *u* pada persamaan momentum adalah komponen kecepatan vektor di *x*, *v* adalah komponen kecepatan vektor di *y*, sedangkan *w* adalah komponen kecepatan vektor di *z*,  $\mu$  ( $\rho$ ) adalah massa jenis udara. Setelah selesai melakukan konfigurasi input data, akan diperoleh gambar yang dapat dilihat pada Gambar 4.39.

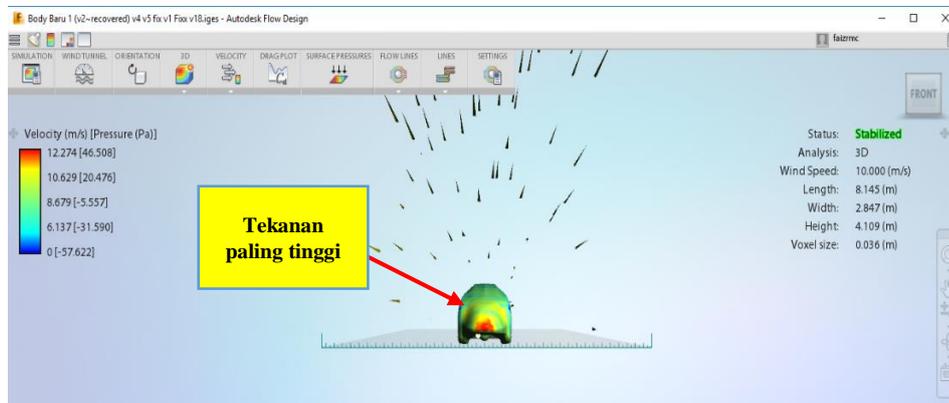


Gambar 4.39. *Boundary condition* pada bodi *prototype*

### 3. Pembahasan dan Hasil (*Solve and Result*)

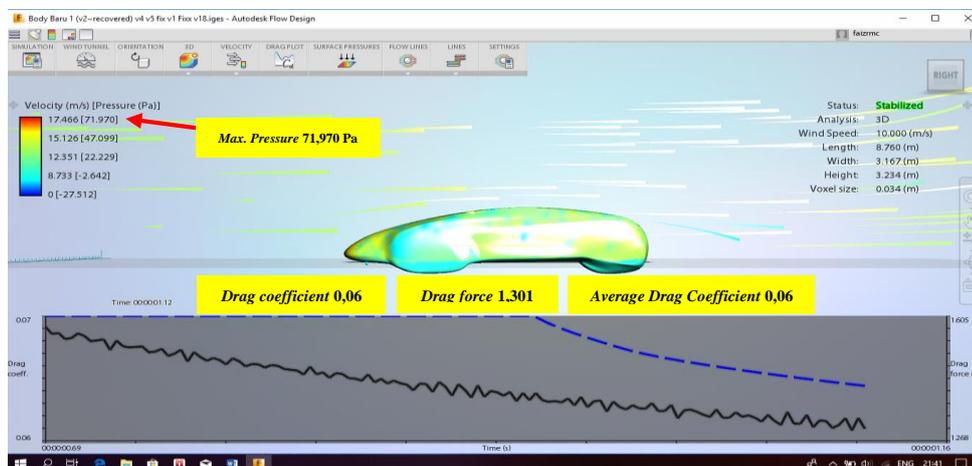
Hasil dari simulasi yang telah dilakukan dapat diketahui perbedaan tekanan dan kecepatan yang terjadi pada bodi kendaraan dengan lokasi yang berbeda. Bagian yang memiliki tekanan tinggi terjadi pada bagian depan bodi, yang ditunjukkan dengan warna merah dikarenakan bagian tersebut merupakan

permukaan yang bertumbukkan langsung dengan aliran udara seperti ditunjukkan pada Gambar 4.40.



Gambar 4.40. Bodi yang mengalami tekanan tertinggi

Pada rancangan bodi *prototype* Lingsar Proto 3 perubahan bentuk bodi kendaraan dengan menempatkan roda pada bagian dalam mobil menyebabkan penurunan nilai  $C_d$  dari pada bodi pada *prototype* Lingsar Proto 2 yaitu dengan nilai  $C_d$  sebesar 0,10 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.41.

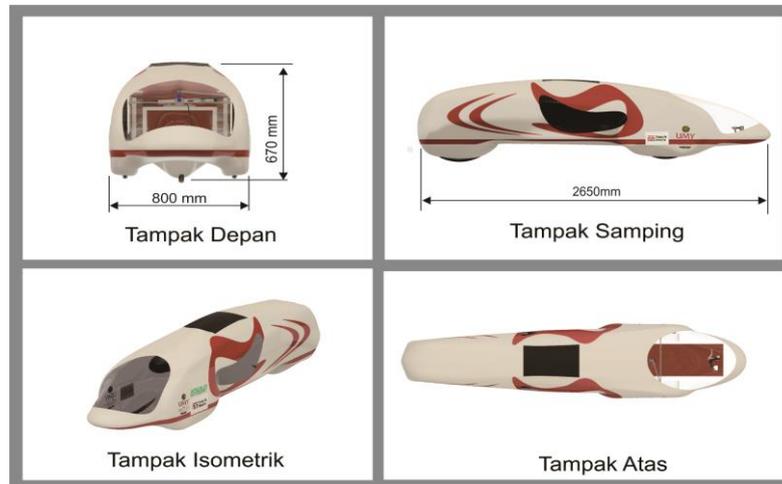


Gambar 4.41. Coefficient of drag

Berdasarkan hasil simulasi di atas, juga diketahui bodi yang telah dirancang memiliki aspek aerodinamika yang cukup baik karena memiliki nilai *drag force* dan  $C_d$  yang kecil yaitu dengan nilai *drag force* sebesar 1,301 N, nilai  $C_d$  sebesar 0,06 dan nilai *average drag coefficient* sebesar 0,06. Dengan *pressure* terbesar yang terjadi pada permukaan bodi sebesar 71,970 Pa.

#### 4.7. Assembly Keseluruhan Komponen-Komponen *Prototype*

Setelah selesai dilakukan perancangan pada semua bagian *prototype*, maka dapat dilakukan penggabungan (*assembly*) bagian-bagian tersebut menjadi sebuah rancangan *prototype* Lingsar Proto 3 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.42.



Gambar 4.42. Hasil rancangan *prototype* Lingsar Proto 3

Berdasarkan hasil rancangan yang telah dilakukan, maka spesifikasi dari *prototype* lingsar Proto 3 dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Spesifikasi *prototype* Lingsar Proto 3

Nama Kendaraan	<i>Prototype Lingsar Proto 3</i>
Bahan Bakar	Listrik
Penggerak	<i>Electric BLDC hub motor 1000 W</i>
Dimensi (PxLxT)	2650 x 800 x 670 mm
Tipe rangka	<i>Ladder frame</i> dengan bahan aluminium <i>rectangular hollow 6061</i> ukuran 40 x 20 mm dan 30 x 20 mm
Sistem <i>Steering</i>	<i>Ackerman</i> dengan sudut belok <i>outer 15,75 °</i> dan <i>inner 17,25°</i>
Sistem Transmisi	<i>Single Sprocket 27 T</i> dan <i>Sprocket</i> bertingkat dengan penghubung yaitu rantai
Kecepatan	Maksimal 35 Km/Jam
Sumber tenaga	Baterai <i>lithium polimer (Li-Po)</i> 4 x 12 Volt kapasitas 10000 mAh
Bodi	<i>Fiberglass</i> dan <i>lantorsorik</i> dengan matriks berupa resin dan <i>epoxy</i>
Berat total kendaraan (tanpa pengemudi)	45 kg
Berat tanpa bodi	30 kg

Berdasarkan spesifikasi di atas, *Prototype* Lingsar Proto 3 memiliki kelebihan dan kekurangan dibandingkan perancangan terdahulu yaitu sebagai berikut:

1. Lingsar Proto 3 memiliki bobot total kendaraan 45 kg ini lebih ringan jika dibandingkan dengan hasil rancangan mobil listrik Ariesto Evo 3 yang memiliki bobot total sebesar 54 kg.
2. Lingsar Proto 3 memiliki dimensi lebih panjang yaitu 2330 mm dengan tinggi yang lebih rendah yaitu 670 mm dibandingkan dengan hasil rancangan kendaraan Semut Abang ITATS dengan panjang 2134 mm dan tinggi 711,5. Hal ini dikarenakan semakin panjang kendaraan maka ruang dimensi ruang kemudi akan semakin panjang ruang kemudi.
3. Nilai *coefficient of drag* bodi Lingsar Proto 3 didapatkan sebesar 0,06 ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai *coefficient of drag* kendaraan Engku Putri yaitu sebesar 0,02017.