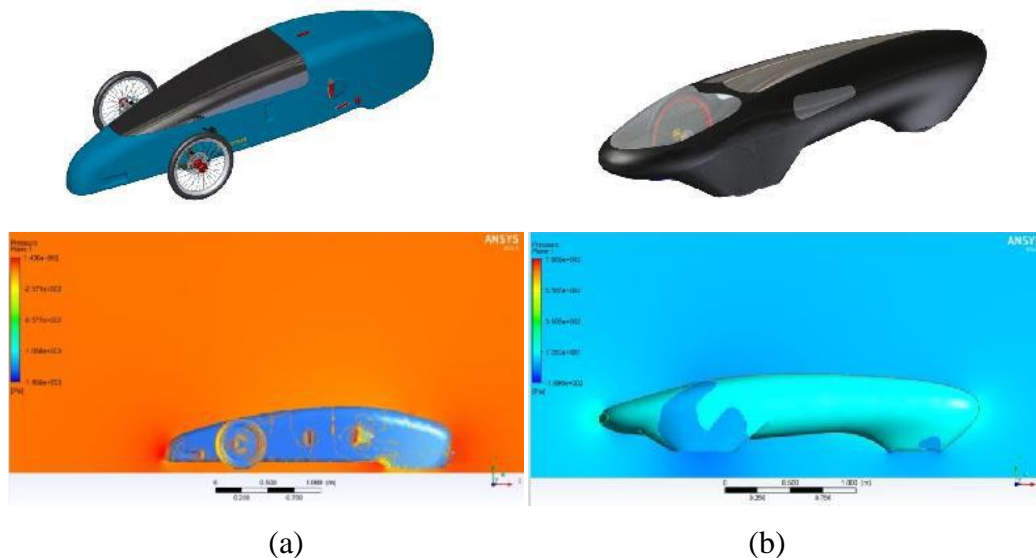


## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Kajian Pustaka

Azwir dkk (2014) melakukan analisa *Computational Fluid Dynamic* pada desain bodi kendaraan *prototype* mobil hemat energi Mataram Proto agar didapatkan bodi *prototype* yang aerodinamis dan *streamline*. Dalam penelitian ini *software* yang digunakan ialah *Ansys* 14.5, dengan asumsi dimensi pengujian kendaraan yang sebenarnya yaitu dengan skala 1:1. Hasil perancangan dan analisis aerodinamis bodi *prototype* Mataram Proto dan Mataram Proto Modifikasi ditunjukkan pada Gambar 2.2.

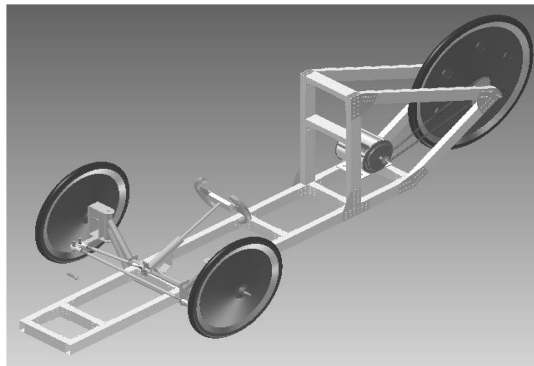


Gambar 2.1. Hasil perancangan dan analisis bodi *prototype* Mataram Proto (a) dan Mataram Proto Modifikasi (b) (Azwir dkk, 2014)

Berdasarkan gambar di atas menunjukkan bahwa nilai *coefficient drag* ( $C_d$ ) pada bodi *prototype* Mataram Proto rata-rata sebesar 0,3. Sedangkan pada bodi *prototype* Mataram Proto Modifikasi diperoleh rata-rata sebesar 0,09. Untuk nilai *coefficient lift* ( $C_l$ ) pada bodi *prototype* Mataram Proto diperoleh rata-rata sebesar

0,18, sedangkan pada bodi *prototype* Mataram Proto Modifikasi diperoleh rata-rata sebesar 0,17.

Setyono dan Gunawan (2015) melakukan perancangan desain rangka mobil listrik semut abang ITATS. Pada perancangan ini jenis *software* yang digunakan yaitu *Autodesk Inventor Pro 2013*. Untuk bahan material yang digunakan ialah aluminium 6061 berbentuk *rectangular hollow* dengan ukuran penampang panjang 50,8 mm, lebar 25,4 mm, tebal 1 mm. Tahap pemodelan rangka kendaraan menggunakan metode *di-assemble* dengan penyambung berupa *rivet*. Dimensi rangka kendaraan hasil rancangan yaitu panjang 2134 mm, lebar 623,5 mm, tinggi 711,5 mm. Hasil rancangan rangka mobil listrik semut abang ITATS seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.2. Rangka mobil listrik semut abang ITATS (Setyono dan Gunawan, 2015)

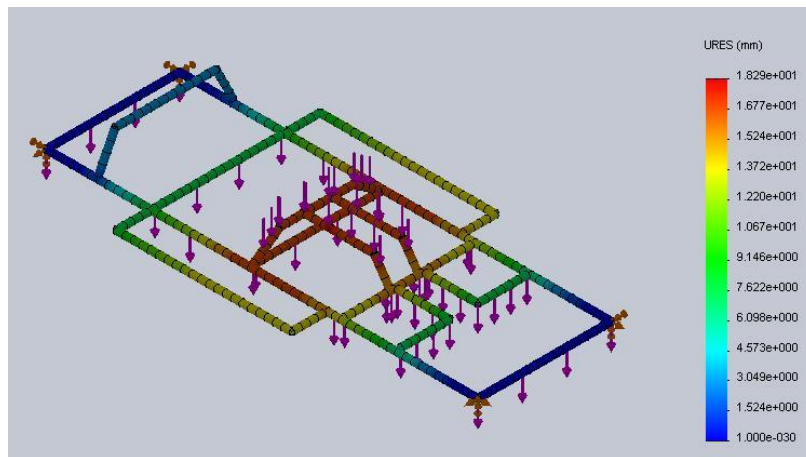
Hasil *stress analysis* diperoleh besar tegangan maksimum *von mises stress* terjadi pada bagian *rivet* plat penyambung pada bagian belakang rangka sebesar 108,8 Mpa. Nilai *displacement* maksimum yang terjadi pada rangka bagian *roll bar* yaitu sebesar 0,7136 mm ke arah sumbu X. Hasil analisa rancangan desain untuk *safety factor* diperoleh sebesar 2,53.

Dwinanto dan Fadhil (2015) menganalisis karakteristik bodi dan *chassis* pada *prototype* kendaraan listrik. Perancangan rangka mobil listrik Aristo Evo 3 yaitu dengan tipe *ladder frame* menggunakan bahan aluminium *hollow* 6061 sedangkan material bodi menggunakan *fiberglass*. Hasil perancangan tersebut mobil listrik Ariesto Evo 3 memiliki bobot 54 kg, hal ini lebih berat jika dibandingkan dengan hasil

rancangan mobil listrik Keris R-VII dengan bobot total 42 kg yang menggunakan bodi berbahan *carbon fiber* dan chassis bertipe *monocoque*.

Wahyudi dan Fahrudi (2016) merancang mobil *sport* dengan desain rangka berbahan baja campuran ST 37 / AISI 1045 berbentuk kotak berongga dengan penampang berukuran panjang 40 mm, lebar 60 mm, dan tebal 1 mm dengan tipe rangka yaitu *ladder frame*. Baja campuran ST 37 / AISI 1045 memiliki sifat kuat, mudah dibentuk dan dilas, rangka jenis *ladder frame* dipilih karena mudah didesain, selain itu *ladder frame* dapat menyokong beban-beban yang terdapat pada kendaraan.

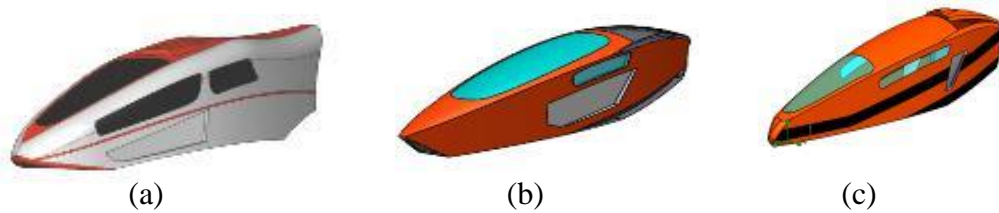
Hasil rancangan kemudian disimulasikan menggunakan *software Solidworks 2010*, sehingga didapat titik kritis pada mobil terletak pada bagian tengah. Bagian tersebut merupakan bagian rangka yang menopang beban paling tinggi yaitu dengan berat total 1706,94 N. bagian tersebut menerima tegangan paling tinggi namun tidak terjadi deformasi, sehingga masih aman. Pada perhitungan *safety factor* didapat nilai *safety factor* sebesar 4,31, ini dianggap aman karena masih bernilai  $> 1$ . Simulasi pembebanan seperti ditunjukkan pada gambar 2.3 Namun hasil dari rangka kendaraan tersebut masih berat yaitu 59 kg, sehingga ini dapat berpengaruh terhadap konsumsi energi yang dibutuhkan.



Gambar 2.3 Pengujian Bagian Kritis rangka (Wahyudi dan Fahrudi, 2016)

Hakim dkk (2016) merancang dan menganalisa bodi kendaraan hemat energi untuk mengikuti ajang kontes mobil hemat energi 2015 yang diberi nama Engku Putri,

perancangan dilakukan untuk tiga buah mobil kelas *prototype* berbahan bakar listrik, *gasoline* dan *ethanol*. Hasil dari perancangan tersebut didapatkan desain mobil *prototype 1*, *prototype 2*, *prototype 3*. Desain bentuk bodi seperti ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Hasil desain bentuk bodi *prototype 1* (a), *prototype 2* (b), *prototype 3* (c) (Hakim,dkk 2016)

Selanjutnya bentuk bodi yang telah didesain dilakukan analisa dengan parameter kecepatan udara yang berbeda, sehingga didapat hasil nilai *coefficient of drag* yang bervariasi, ini dikarenakan perbedaan bentuk dan luas penampang pada bagian depan dan belakang, serta kecepatan angin. Hasil analisa *coefficient of drag* dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Hasil Analisa Koefisien Drag *Prototype* Engku Putri (Hakim, dkk 2016)

Kecepatan Udara (m/s)	Koefisien Drag (Cd)		
	Prototype 1	Prototype 2	Prototype 3
11.11	0.07940	0.01270	0.01056
16.67	0.08040	0.02820	0.02017
22.22	0.08140	0.04070	0.03746

Tsirogiannis, dkk (2019) merancang rangka kendaraan listrik urban *concept* yang akan digunakan dalam event *Shell Eco Marathon*. Rangka dirancang dengan tipe *ladder frame* menggunakan bahan aluminium persegi berongga 6082-T6 dengan ketebalan 1,5 mm dan pada bagian belakang struktur rangka menggunakan besi AISI 9000. Kemudian dilakukan pengujian *stress analysis* menggunakan *software Ansys* sehingga didapatkan hasil pengujian *stress analysis* rangka seperti yang ditunjukkan

pada Tabel 2.2. Namun kendaraan yang dirancangan tersebut masih memiliki berat tanpa pengemudi 82,1 kg dan berat dengan pengemudi yaitu 155,1 kg.

Tabel 2.2 Hasil *stress analysis* (Tsirogiannis, dkk 2019)

Parameter	Hasil Simulasi
<i>Maximum von misses stress</i> (MPa)	317,79
<i>Minimum von misses stress</i> (MPa)	6,5211e-10
<i>Maximum Deformation</i> (mm)	9,55

Berdasarkan tinjauan pustaka di atas dapat disimpulkan bahwa dalam merancang sebuah kendaraan hemat energi memiliki beberapa faktor, antara lain :

1. Berat kendaraan harus seringan mungkin
2. Nilai koefisien hambat udara harus dibuat seminimal mungkin
3. Pemilihan komponen, bahan dan struktur rangka yang harus diperhatikan.

Jenis rangka *prototype* mobil hemat energi yang paling ideal adalah seperti desain rangka yang telah dilakukan oleh Setyono dan Gunawan (2015). Hal ini dikarenakan struktur rangka yang sederhana dan ringan namun memiliki kekuatan yang cukup untuk menopang beban yang sesuai dengan regulasi teknis kendaraan *prototype* mobil hemat energi pada KMHE. Namun penyambungan rangka menggunakan paku *rivet* memiliki kelemahan yaitu kekuatan cekam (sambung) antara material sambungan dengan *rivet* tidak sekuat sambungan menggunakan las.

Selain ringan dan kuat, kategori *prototype* mobil hemat energi juga harus memenuhi regulasi teknis KMHE yang mengacu pada regulasi teknis KMHE tahun 2017 yaitu:

1. Dimensi kendaraan maksimal adalah 3000 mm x 1300 mm x 1000 mm
2. Berat total kendaraan maksimal 130 kg

3. Rangka mampu menahan beban pengemudi dan komponen kendaraan dengan berat minimal pengemudi 50 kg. Serta rangka bagian *rollbar* mampu menahan beban 700N pada arah samping dan vertikal kebawah.

Bentuk bodi yang aerodinamis dengan nilai *coefficient of drag* yang rendah juga diperlukan untuk meminimalisir gaya *drag* yang terjadi saat mobil bergerak. Jenis rancangan bodi yang sesuai yaitu seperti yang telah dirancang oleh Azwir,dkk (2014) dan Hakim,dkk (2016) dimana dihasilkan rancangan bentuk mobil dengan nilai koefisien drag seminimal mungkin.

## **2.2 Dasar Teori**

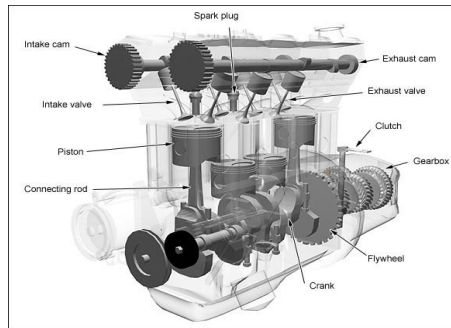
### **1.2.1. Kendaraan**

Kendaraan merupakan alat transportasi yang digerakkan oleh seperangkat teknik dengan sumber daya bahan bakar dan listrik guna menunjang mobilitas manusia sehari-hari. Pada umumnya kendaraan bermotor mempunyai roda penggerak dua atau lebih sesuai dengan kebutuhannya. Dalam sebuah kendaraan tersusun beberapa komponen mulai dari berbahan metal, non metal, komposit, hingga material cerdas (material *hybrid*). Komponen dan sistem utama penyusun kendaraan yaitu sebagai berikut:

#### **1. Komponen Pembangkit Tenaga**

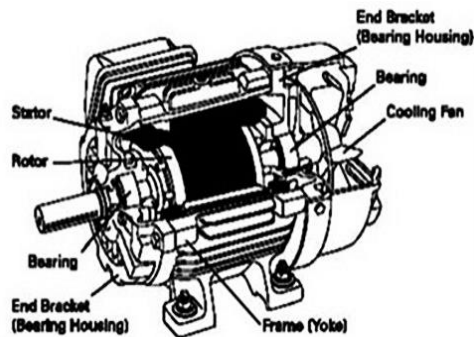
Pembangkit tenaga adalah komponen kendaraan yang fungsi utamanya merubah energi kimia melalui sistem pembakaran bahan bakar maupun energi listrik menjadi tenaga mekanis putar sebagai sumber tenaga penggerak kendaraan dan kebutuhan lain dari kendaraan. Macam-macam pembangkit tenaga berdasarkan sumber energinya yaitu:

- a) Energi kimia, antara lain mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) yaitu mesin torak dan mesin *rotary*. Mesin pembakaran dalam ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Mesin pembakaran dalam (<https://grabcad.com>)

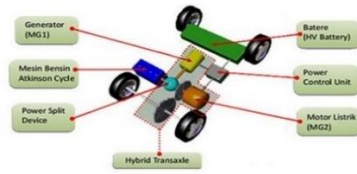
- b) Energi listrik, antara lain motor listrik arus searah (DC) dan arus bolak balik (AC). Motor listrik banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, misalnya pada peralatan rumah tangga dan sebagai penggerak pada alat transportasi yang menggunakan motor listrik. Motor listrik seperti ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Motor listrik

(<http://belajarelektronika.net/pengertian-motor-listrik-3-fasa/>)

- c) Energi gabungan atau mesin tenaga *hybrid*, banyak digunakan pada mobil, pembangkit listrik tenaga *hybrid*. Mobil tenaga *hybrid* seperti ditunjukkan pada gambar 2.7.



Nama Komponen	Fungsi
Baterai	Menyimpan energi listrik Menyimpan energi listrik
Motor Listrik	Mengubah energi listrik menjadi energi putar/gerak dan sebaliknya
Power Control Unit	Mengatur jalanya energi listrik
Mesin Bensin	Menghasilkan tenaga yang besar saat akselerasi tiba-tiba / kecepatan tinggi
Generator	Mengubah energi putar engine menjadi energi listrik
Power Split Device	Mengatur energi dari engine ke Generator / Langsung ke Transmisi
Transmisi	Meneruskan tenaga dari engine / motor listrik

Gambar 2.7. Mobil tenaga hybrid (<http://www.mesincad.com>)

2. Rangka

Rangka (*chassis*) merupakan bagian terpenting pada suatu kendaraan karena berfungsi sebagai penopang beban pengemudi dan beban komponen lain yang berada pada kendaraan. Serta sebagai penguat bodi dan untuk melindungi pengemudi saat terjadi tabrakan sehingga rangka kendaraan harus memiliki kekuatan untuk menopang beban tersebut. Jenis-jenis rangka yang digunakan pada kendaraan antara lain:

a. *Chassis* terpisah dari bodi

*Chassis* terpisah dirancang untuk kendaraan yang dapat beroperasi pada medan yang berat dan untuk mengangkat beban yang berat sehingga beban operasi yang diterima oleh rangka dan bodi sangat besar, maka rangka *chassis* dibuat kokoh dan terpisah dari bodi. *Chassis* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Chassis terpisah (<http://www.toyota.astra.co.id>)

b. *Chassis* menyatu dengan bodi



*Chassis* ini dirancang untuk kendaraan berjalan di jalan rata atau dengan medan yang tidak berat dan tidak mengangkut beban yang berat maka umumnya rangka dibuat atau dipress menyatu dengan lantai dari bodi (*monocoque*). *Chassis* menyatu seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. *Chassis* menyatu

<http://www.ortizaku.com/index.php/Otomotif/perbedaan-sasis-ladder-frame-dan-monokok-unibody>

### 3. Bodi

Bodi merupakan bagian utama pada mobil yang berfungsi untuk melindungi driver dan penumpang dari beban impact akibat kecelakaan atau tabrakan. Bodi juga berfungsi sebagai pelindung konstruksi rangka, komponen dan panel-panel kelistrikan dari faktor eksternal seperti cahaya matahari, hujan, dan lain-lain. Bodi kendaraan selain memberi nilai keindahan juga sangat berpengaruh terhadap beban angin yang diterima kendaraan, bodi berperan sebagai pengatur aliran fluida pada sisi luar mobil sehingga bisa berpengaruh terhadap besarnya gaya hambat (*drag force*) udara saat mobil berjalan melawan arah angin dengan ini bentuk bodi juga akan mempengaruhi performa dan karakteristik mobil (Hakim dkk, 2016).

Dalam memaksimalkan performa dan efisiensi penggunaan bahan bakar pada kendaraan dapat dilakukan salah satunya dengan memperkecil beban hambat angin pada saat kendaraan berjalan, maka dibuat bentuk kendaraan sedemikian sehingga aliran di luar bodi sebaik mungkin, model semacam ini sering disebut bodi yang aerodinamis. Dalam pembuatan bodi kendaraan, bahan baku yang sering digunakan yaitu plat logam (*steel plate*), plastik, *fiber glass*, *carbon fiber*. Jenis konstruksi bodi kendaraan dibagi menjadi dua yaitu:

- a. Konstruksi terpisah (*composite*)

Konstruksi terpisah (*composite*) yaitu komponen antara bodi dan rangka kendaraan terpisah, sehingga dalam penyambungannya memerlukan mur dan baut. Pada sambungan antar bodi dengan rangka diberikan bantalan karet untuk meredam kebisingan dan getaran yang dihasilkan oleh mesin penggerak. Konstruksi ini banyak digunakan pada kendaraan sedan tipe lama, mobil penumpang dan mobil angkutan barang. Konstruksi bodi terpisah seperti ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Konstruksi bodi terpisah (<https://www.serayamotor.com>)

b. Konstruksi menyatu (*monocoque*)

Konstruksi menyatu (*monocoque*) yaitu konstruksi *chassis* dan bodi kendaraan menjadi satu kesatuan sehingga semua beban terbagi rata pada semua bagian bodi kendaraan. Konstruksi ini sama seperti prinsip cangkang telur. Konstruksi bodi menyatu seperti ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Konstruksi bodi menyatu (<https://www.serayamotor.com>)

4. Sistem *Steering* atau Kemudi

Sistem *steering* atau kemudi berfungsi untuk mengatur arah dari laju kendaraan sesuai dengan keinginan pengemudi dengan cara membelokkan roda

depan atau roda belakang maupun roda depan dan belakang (Artika, dkk, 2017).

Sistem kemudi pada kendaraan terbagi menjadi dua model yaitu:

- a. Sistem kemudi dua roda (*2 Wheel Steering-2WS*)
- b. Sistem kemudi empat roda (*4 Wheel Steering-4WS*)

Ditinjau dari tenaga penggerak roda untuk berbelok, sistem kemudi dapat digolongkan menjadi dua yaitu:

- a. Sistem manual

Sistem manual adalah sistem kemudi yang digerakkan menggunakan tenaga pengemudi untuk membelokkan roda seluruhnya.

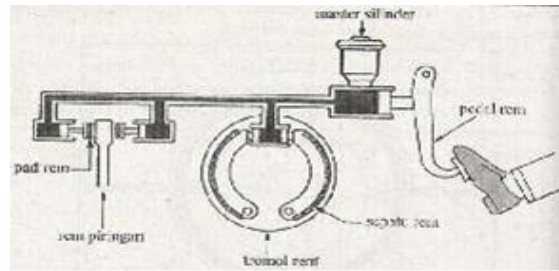
- b. Sistem *power steering*

Sistem *power steering* adalah sistem kemudi yang digerakkan oleh tenaga fluida berupa fluida cair maupun fluida gas, dan juga menggunakan tenaga listrik (*electric power steering*) untuk membelokkan roda.

Sistem kemudi harus memiliki kekuatan untuk membelokkan roda, besaran sudut belok roda kiri dan kanan dirancang sedemikian rupa agar pada saat kendaraan berbelok kendaraan memiliki satu titik putar sementara (*instataneous centre*) agar keausan roda bisa seimbang. Hal ini berarti sudut belokan roda kiri dan kanan besarnya tidak sama, pada saat berbelok roda sebelah dalam harus berbelok lebih besar dibandingkan belokan roda sebelah luar (Sutantra dan Sampurno, 2010).

## 5. Sistem pengereman

Sistem pengereman adalah sistem perangkat untuk memperlambat atau menghentikan laju kendaraan serta mencegah pergerakan kendaraan saat parkir. Prinsip kerja rem yaitu dengan penggabungan sistem penekanan terhadap gerakan putaran, sehingga terjadi gesekan antara dua objek yang mengakibatkan perlambatan laju kendaraan. Sistem rem kendaraan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Sistem Pengereman Mobil (Setyono dan Setiawan, 2015)

Rem yang digunakan pada kendaraan dapat digolongkan menjadi beberapa tipe tergantung dalam penggunaannya.

- a. Rem Kaki digunakan untuk mengendalikan kecepatan dan menghentikan kendaraan. Rem kaki dibagi menjadi dua tipe yaitu :
  1. Rem hidrolik, memiliki respon lebih cepat dibandingkan dengan tipe lainnya. Rem hidrolik menggunakan konstruksi yang sederhana dan fleksibel. Banyak digunakan pada kendaraan ringan
  2. Rem pneumatik, menggunakan udara bertekanan yang dihasilkan dari kompresor untuk menambah daya pengereman. Rem pneumatik banyak digunakan pada kendaraan berat seperti truk, bus, dan lain-lain.
- b. Rem Parkir berfungsi untuk pengereman pada saat memarkirkan kendaraan. Rem parkir dibagi menjadi dua tipe yaitu :
  1. Tipe roda belakang, biasa digunakan pada mobil penumpang, dan kendaraan ringan lainnya.
  2. Tipe *centre brake*, digunakan pada kendaraan berat seperti truk dan angkutan berat lainnya. (Chassis dan Transmisi Unnes 2003 : 3)

Secara umum sistem pengereman yang berkembang untuk kendaraan saat ini ada dua jenis yaitu:

- a. Sistem pengereman jenis *lock*

Sistem pengereman jenis *lock* merupakan sistem pengereman dalam menghentikan kendaraan dilakukan dengan cara mengunci roda untuk

menghentikan putaran roda. Gaya gesek antara ban yang terkunci (*lock*) dengan jalan mengakibatkan kecepatan kendaraan berkurang hingga kendaraan berhenti.

b. Sistem pengereman jenis *anti lock* (*anti lock breaking sistem* = ABS)

Sistem pengereman ABS merupakan sistem pengereman dalam menghentikan kendaraan dilakukan dengan cara menahan roda dalam keadaan slip tertentu atau tidak terkunci (*lock*) sehingga jarak berhenti kendaraan lebih pendek namun kendaraan masih dapat dikendalikan (berbelok) saat dilakukan pengereman.

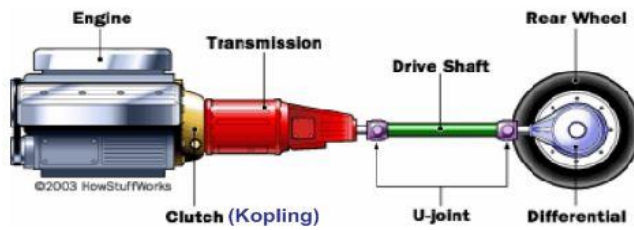
6. Sistem Suspensi

Suspensi adalah suatu sistem pada kendaraan yang berfungsi untuk menambah nilai ergonomi pada kendaraan, selain itu suspensi juga berfungsi untuk menjaga kestabilan kendaraan saat berbelok dan melewati jalan bergelombang. Sistem suspensi terdiri dari bagian-bagian yang berfungsi untuk meredam beban kejut yang ditimbulkan oleh keadaan jalan yang akan diteruskan ke *chassis*. Bagian suspensi, antara lain pegas, peredam kejut, dan stabilisator. Jenis-jenis suspensi yang digunakan pada mobil antara lain:

- a. Suspensi *rigid*
- b. *Torsion beam*
- c. Suspensi *independent*
- d. *Multi link*
- e. Per daun
- f. *Double wishbone*

7. Sistem Penerus Daya

Sistem penerus daya adalah sekumpulan komponen kendaraan yang berfungsi untuk meneruskan dan merubah daya serta torsi mekanis yang dihasilkan mesin menjadi gaya dorong atau gaya traksi yang terjadi pada kontak roda penggerak dengan jalan. Bagian-bagian komponen pada sistem penerus daya pada mobil yaitu kopling, gardan, transmisi, poros *propeller* dan poros *axle*. Sistem penyalur daya pada mobil seperti ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Sistem penerus daya pada mobil (Sutantra dan Sampurno, 2010)

a. Kopling,

Kopling berfungsi untuk menghubungkan dan memutus kontak putaran dari poros engkol ke transmisi dengan halus. Kopling merupakan komponen yang sangat penting karena pada awal motor hidup dibutuhkan putaran bebas tanpa beban dari komponen lainnya. Jenis kopling yang biasa digunakan pada kendaraan yaitu:

1) Kopling tetap

Jenis-jenis kopling tetap antara lain:

- a) Kopling kaku
- b) Kopling luwes
- c) Kopling *universal*

2) Kopling tidak tetap

Jenis-jenis kolling tidak tetap antara lain:

- a) Kopling *freewheel*
- b) Kopling kerucut
- c) Kopling gesek (pelat)
- d) Kopling cakar

b. Transmisi

Transmisi berfungsi untuk meneruskan dan merubah torsi dari mesin sedemikian rupa untuk menghasilkan gaya dorong sesuai dengan kebutuhan kendaraan. Disamping itu transmisi juga digunakan sebagai perubah arah gerak kendaraan

berjalan mundur yaitu dengan cara merubah arah putaran poros *propeller*. Jenis-jenis transmisi yang digunakan pada kendaraan antara lain:

- 1) *Selective gear transmission*
- 2) *Planetary gear transmission*
- 3) Transmisi otomatis (*continuously variable transmission = CVT*)

c. Gardan (*Differential*)

Gardan berfungsi untuk memberikan perbedaan putaran antara roda penggerak kanan dan kiri pada saat berbelok, selain itu gardan berfungsi untuk meningkatkan torsi pada poros penggerak karena adanya rasio gardan.

d. Poros *Propeller* (*Propeller Shaft*)

*Propeller Shaft* adalah poros yang menghubungkan transmisi dengan gardan yang ada pada poros penggerak. *Propeller shaft* terletak antara transmisi dan gardan pada kendaraan.

e. Poros *Axle* (*Axle Shaft*)

Poros *axle* adalah poros yang menghubungkan dan meneruskan putaran dari gardan menuju masing-masing roda penggerak.

f. Pengaman (*safety*) dan Penyetabil Arah

Komponen pengaman kendaraan berfungsi sebagai pengaman pada penumpang dan pengemudi saat terjadi kecelakaan. Dewasa ini komponen pengaman kendaraan telah berkembang pesat. Komponen pengaman kendaraan antara lain:

- a. Sabuk pengaman (*safety belt*)
- b. Bantalan udara (*air bag*)
- c. Teknologi kondisi cerdas (*electronic stability program/ESP*)

### **1.2.2. Beban-Beban Pada kendaraan**

Kendaraan dalam kondisi diam (statis) maupun dalam kondisi bergerak (dinamis) tidak mungkin terbebas dari beban-beban yang ada pada kendaraan. Dalam kondisi bergerak kendaraan mendapat beban-beban yang menghambat kendaraan dalam melakukan perpindahan. Beban-beban yang menghambat tersebut, antara lain

tahanan gelinding dari ban, beban angin sebagai hambatan aerodinamis, dan hambatan kerataan bidang.

### 2.2.2.1. Beban Angin Pada Kendaraan

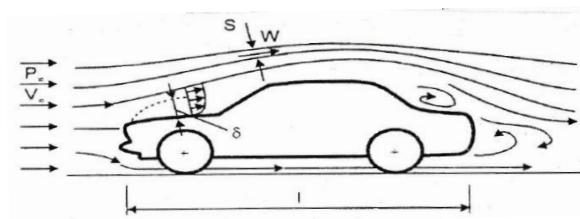
Salah satu beban-beban yang ada pada kendaraan adalah beban-beban angin. Pada saat berjalan hambatan udara yang terjadi pada kendaraan akan menghambat laju kendaraan yang kemudian akan berpengaruh pada konsumsi bahan bakar serta kestabilan arah kendaraan saat melaju pada jalan lurus maupun saat kendaraan bermanuver

Aliran angin di dalam bodi kendaraan yaitu aliran angin yang masuk ke dalam bodi, jika bagian bodi seperti pintu atau atap terbuka maka erat kaitannya dengan aliran angin yang terjadi disekeliling kendaraan.

#### 2.2.2.1.1. Prinsip Dasar Aliran Udara Pada Kendaraan

Aliran udara di sekitar kendaraan seperti ditunjukkan pada gambar 2. Berdasarkan gambar tersebut fenomena aliran udara secara umum dapat dibagi menjadi menjadi dua yaitu:

1. Aliran *internal* merupakan fenomena aliran yang terjadi di dalam bagian mesin. Misalkan proses aliran fluida di dalam mesin dan sistem transmisi kendaraan.
2. Aliran *external* merupakan aliran udara disekitar kendaraan dan liran udara yang masuk pada bagian kendaraan, mialkan aliran udara pada pendingin.



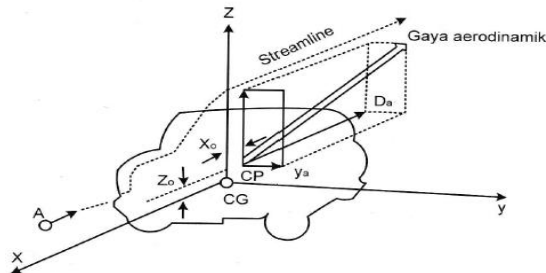
Gambar 2.14. Fenomena aliran udara di sekitar kendaraan (Sutantra dan Sampurno, 2010)

#### 2.2.2.1.2. Pola Aliran Udara Pada Kendaraan

Didalam fenomena aliran udara di sekitar kendaraan, diasumsikan angin dan kecepatan kendaraan dianggap tidak konstan. Fenomena aerodinamis kendaraan pada



dasarnya terjadi akibat adanya gerakan relatif dari udara di permukaan bentuk bodi kendaraan. Pola aliran di sekitar kendaraan seperti ditunjukkan pada gambar 2.15.



Gambar 2.15. Pola aliran di sekitar kendaraan (Sutantra dan Sampurno, 2010)

Dalam medan kecepatan garis-garis dibuat sedemikian rupa di dalam medan kecepatan, sehingga setiap saat garis-garis tersebut akan searah dengan aliran disetiap titik di dalam medan aliran tersebut yang biasa disebut dengan *streamline*. *Streamline* di sekitar kendaraan akan mempunyai pola aliran yang berbeda dengan *streamline* yang jauh dari kendaraan, perbedaan tersebut dikarenakan adanya bentuk permukaan kendaraan yang kompleks sehingga menyebabkan terjadinya gangguan aliran udara. Dengan demikian akan terbentuk pola aliran dari *streamline* di sekeliling kendaraan.

1. Pola aliran di permukaan kendaraan

Adanya viskositas udara dan perbedaan kecepatan aliran udara maka akan menyebabkan timbulnya *boundary layer* di sekeliling permukaan kendaraan sehingga menyebabkan terjadi distribusi tekanan di sekeliling permukaan kendaraan.

2. Pola aliran di bawah kendaraan

Aliran udara di permukaan kendaraan yang bergerak pada atmosfer bebas berbeda dengan aliran udara di permukaan kendaraan yang bergerak dekat dengan permukaan tanah. Tekanan yang terjadi pada bagian bawah permukaan kendaraan yang bergerak dekat dengan tanah akan lebih besar dibandingkan pada permukaan atas kendaraan, hal ini dikarenakan aliran udara pada kendaraan yang bergerak dekat dengan permukaan tanah akan memiliki pola tidak simetris dengan sumbu kendaraan, sehingga akan menimbulkan gaya aerodinamis.

### 3. Pola aliran di samping kendaraan

Kecepatan aliran udara di permukaan atas kendaraan rata-rata lebih cepat dibandingkan bagian bawah kendaraan. Hal ini menyebabkan adanya aliran udara dari bagian bawah kendaraan menuju bagian samping kendaraan dan pada kecepatan tinggi akan membentuk pusaran (*vortex*).

#### 2.2.2.1.3. Persamaan *Bernoulli*

Jika tekanan atmosfer dinotasikan  $P$ , kecepatan  $V$ , dan massa jenis  $\rho$  maka didapatkan persamaan *bernoulli* sebagai berikut:

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz = \text{konstan} \dots \dots \dots (2.1)$$

Bila ketinggian dianggap pada permukaan tanah ( $z=0$ ):

$$P + \rho \frac{V^2}{2} = H \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

$\rho$  = Massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

$V$  = Volume ( $\text{m}^3$ )

$P$  = Tekanan statis (atmosfir) ( $\text{N/m}^2$ )

$H$  = Tekanan total yang bernilai konstan (m)

Harga konstanta  $H$  didapat dari kondisi aliran udara yang jauh pada bodi kendaraan. Persamaan *bernoulli* menunjukkan hubungan antara tekanan atmosfer  $P$  dengan kecepatan aliran udara sepanjang *streamline*. Hubungan ini menunjukkan pola aliran udara yang terjadi pada permukaan kendaraan menghasilkan tekanan spesifik di sepanjang permukaan kendaraan. Integrasi dari tekanan spesifik menghasilkan gaya resultan pada kendaraan yang disebut gaya aerodinamis. Gaya yang bekerja pada titik spesifik ini yang disebut sebagai pusat tekanan (*center of pressure/C<sub>p</sub>*).

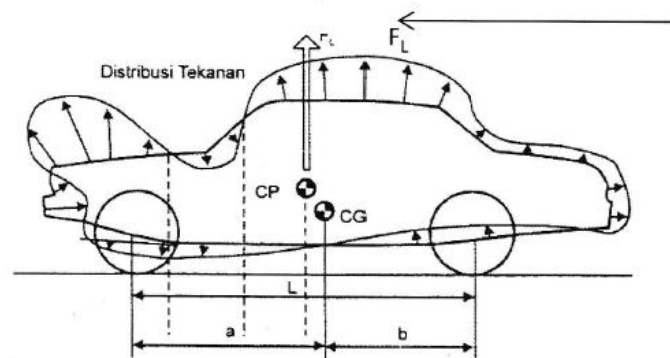
#### 2.2.2.1.4. Gaya dan Momen Aerodinamika

Secara umum arah dan kecepatan relatif angin tidak selalu sejajar dengan sumbu longitudinal kendaraan, maka akan terjadi gaya aerodinamik sebagai berikut:

##### 1. Gaya angkat (*lift*)

Perbedaan bentuk permukaan pada sisi atas dan sisi bawah kendaraan menyebabkan perbedaan kecepatan aliran udara pada kedua sisi tersebut. Aliran

udara pada sisi atas akan lebih cepat dari pada sisi bawah kendaraan sehingga tekanan yang terjadi pada sisi bawah kendaraan akan lebih besar dari pada tekanan pada sisi atas yang menyebabkan terbentuknya gaya angkat. Distribusi tekanan ini ditandai dengan arah positif jika ke atas dan negatif jika ke bawah. Distribusi tekanan penyebab gaya angkat seperti ditunjukkan pada gambar 2.16.






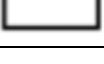


Gambar 2.16. Distribusi tekanan penyebab gaya angkat (Sutantra dan Sampurno, 2010)

## 2. Gaya hambat (*drag*)

Gaya hambat bekerja dalam arah horizontal dan berlawanan arah dengan arah gerak kendaraan. Salah satu faktor yang mempengaruhi nilai gaya hambat suatu bidang adalah bentuk penampang seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1

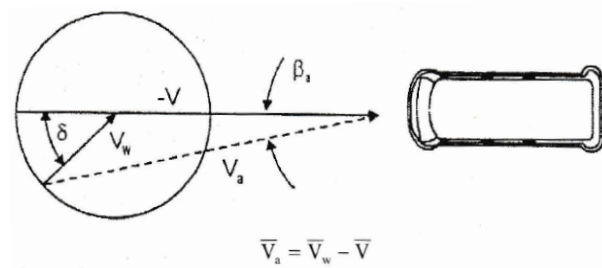
Tabel 2.1 Nilai *drag coefficient standart* (Sutantra dan Sampurno, 2010)

No	Nama	Bentuk	<i>Drag Coefficient</i> (Cd)
1	<i>Sphere</i>		0.47
2	<i>Half - sphere</i>		0.42
3	<i>Cone</i>		0.50
4	<i>Cube</i>		1.05
5	<i>Angled Cube</i>		0.80
6	<i>Long Cylinder</i>		0.82

No	Nama	Bentuk	Drag Coefficient (Cd)
7	Short Cylinder		1.15
8	Streamlined Body		0.04
9	Streamlined Half Body		0.09

### 3. Gaya samping

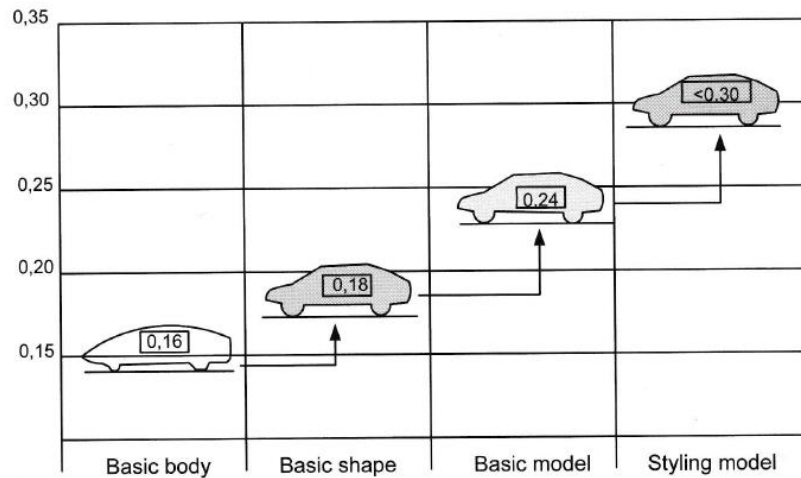
Gaya samping biasanya terjadi karena arah datangnya angin tidak sejajar terhadap gerak kendaraan sehingga akan membentuk sudut tertentu terhadap lintasan kendaraan. Sudut datangnya angin seperti ditunjukkan pada gambar 2.17.



Gambar 2.17. Sudut datang angin (Sutantra dan Sampurno, 2010)

#### 2.2.2.1.5. Bentuk Bodi Kendaraan





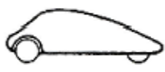

Perancangan bentuk bodi kendaraan dapat dibagi menjadi lima tahapan. Tahapan perencanaan bodi kendaraan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18. Tahap perencanaan bodi kendaraan (Sutantra dan Sampurno, 2010)

Berkembangnya model kendaraan yaitu untuk menurunkan nilai koefisien *drag*  $C_d$  namun tidak mengurangi keindahan dari kendaraan tersebut. Model bodi dan nilai koefisien *drag* seperti ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Model bodi dan nilai koefisien *drag* (Sutantra dan Sampurno, 2010)

No	Bentuk bodi	Koefisien hambatan ( $C_d$ )
1		0,74
2		0.71
3		0,55
4		0,24
5		0,15-0,20
6		0,13-0,30

### 1.2.3. Perancangan

Proses perancangan merupakan salah satu proses penting dalam membuat sebuah benda atau produk. Selain itu, perancangan juga merupakan kegiatan awal dari segala proses merealisasikan benda atau produk. Perancangan dilakukan dengan mengaplikasikan ilmu pengetahuan terhadap ide yang telah dimiliki. Dalam proses ini, dilakukan penyusunan dan perkiraan bagaimana hasil kedepannya. Hal yang perlu dipertimbangkan dalam melakukan desain optimal, antara lain: fungsi, kekuatan, kekakuan, keterhandalan, pelumasan, gesekan, ketahanan aus, ketahanan korosi, berat, kebisingan, karakteristik termal, pemrosesan, biaya, model, bentuk, ukuran, volume, penampilan, pengendalian, keselamatan pemakaian, masa pakai, keluwesan, perawatan, dan dampaknya.

Menurut Pahl dan Beitz yang disebutkan dalam bukunya, *Engineering Design: A Systematic Approach* terdapat 4 tahap dalam perancangan, yaitu:

#### 1. Perencanaan dan Penjelasan Tugas (*Clarification of The Task*)

Pada tahap ini dikumpulkan semua informasi yang berisi tentang semua persyaratan yang harus dipenuhi pada produk sesuai kebutuhan dan apa saja hal-hal yang menjadi kendala pada produk yang akan dibuat.

#### 2. Konsep Rancangan (*Conceptual Design*)

Proses desain terdiri dari beberapa bagian, salah satunya adalah konsep rancangan. Dimana konsep ini membahas tentang abstraksi, pembuatan struktur fungsi, pencarian dalam kombinasi prinsip solusi, pemilihan kombinasi yang sesuai, pembuatan varian konsep dan evaluasi. Terdapat tiga langkah kerja yang menentukan konsep rancangan, antara lain:

- a. Membangun struktur fungsi
- b. Mencari prinsip solusi yang sesuai
- c. Menggabungkan ke varian konsep

#### 3. Perancangan Bentuk (*Embodiment Design*)

Perancangan bentuk memiliki dua tahapan yaitu perancangan desain bentuk awal (*preliminary layout*) dan desain bentuk akhir (*definitive layout*) dengan memperhatikan pemilihan bahan, perhitungan, susunan bentuk, dan kriteria teknis serta ekonomis.

#### 4. Rancangan Rinci (*Detail Design*)

Tahap ini merupakan tahap terakhir dari proses perancangan yang terdiri atas empat proses, yaitu:

- a. Menetapkan semua bagian seperti pengaturan, bentuk, dimensi, dan sifat permukaan
- b. Menetapkan material
- c. Pengecekan ulang kelayakan dari segi teknis dan ekonomis
- d. Mendokumentasikan semua gambar dan produksi lain yang dihasilkan

#### **1.2.4. Pemilihan Bahan**

Dalam merancang suatu alat perlu diperhatikan sifat mekanik dari suatu bahan yang akan digunakan. Adapun sifat mekanik bahan yang perlu diketahui dalam perancangan adalah sebagai berikut:

##### 1. Elastisitas

Dalam memilih material untuk pembuatan rangka dan dudukan mesin, harus diperhatikan sifat-sifat material, antara lain kekuatan (*strength*), keliatan (*ductility*), kekerasan (*hardness*), dan kekuatan lelah (*fatigue strength*). Elastisitas benda didefinisikan jika suatu benda dikenai gaya dari luar kemudian menyebabkan perubahan bentuk (*deformation*) kemudian gaya tersebut dilepas, maka benda akan kembali ke bentuk semula.

##### 2. *Yield Point*

Kekuatan luluh adalah dimana suatu material yang dikenai beban berlebih hingga diluar batas elastis akan terjadi perpanjangan atau diperpendekkan secara permanen secara tiba-tiba atau yang disebut dengan deformasi plastis. Setelah melewati daerah plastis maka material tidak akan kembali ke bentuk semula,

kondisi ini yang menandakan besarnya kekuatan luluh (*yield strength*) suatu material.

### 3. Deformasi

Deformasi terjadi akibat suatu material menerima suatu gaya. Sekecil apapun gaya yang diterima oleh material maka material akan mengalami perubahan bentuk dan ukuran. Perubahan ukuran secara fisik ini disebut dengan deformasi. Deformasi ada dua macam yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis. Deformasi plastis yaitu dimana suatu benda mengalami perubahan bentuk secara permanen akibat adanya gaya yang diterima benda tersebut, sedangkan deformasi elastis adalah perubahan sementara pada saat material menerima gaya tersebut.

### 4. Kekuatan tarik

Kekuatan tarik adalah kemampuan suatu material menahan atau menerima beban atau tegangan tarik sampai mengalami kegagalan. Kekuatan tarik didapatkan dengan membagi gaya maksimal dengan luas penampang dengan membagi gaya maksimal dengan luas penampang awal.

### 5. Keuletan (*ductility*)

Menyatakan kemampuan serap energi pada suatu material sampai mencapai titik patah.

### 6. Kekerasan (*hardness*)

Adanya daya tahan suatu material (permukaan material) terhadap gaya penetrasi/identasi (pemasukan dan penusukan) material lain yang lebih keras dengan bentuk tertentu harga tersebut disebut sebagai harga kekerasan material.

Pada perancangan *prototype* Lingsar *Proto 3* ini, bahan yang akan digunakan sebagai rangka adalah *Aluminium Alloy 6061* yang banyak tersedia di pasaran. *Aluminium* jenis ini memiliki sifat ringan dengan berat jenis rendah yaitu  $2,7 \text{ gr/m}^3$  yang lebih ringan daripada berat jenis baja.

Sifat-sifat penting lainnya pada *Aluminium* antara lain (Damisih, 2008)

1. Memiliki *high strength to weight ratio*
2. Temperature leburnya rendah ( $\pm 660^\circ$ )



3. Sifat mampu cor (*castability*) sangat baik
4. Sifat ampu mesin (*machinability*) baik
5. Sifat permukaan (*surface finish*) baik
6. Ketahanan korosi baik
7. Konduktor panas dan listrik yang baik

Selain sifat-sifat positif yang telah disebutkan di atas, Aluminium memiliki sifat negatif antara lain:

1. Mudah tercampur dengan pengotor (*dross*) oksida
2. Sangat mudah mengikat gas hidrogen dalam kondisi cair
3. Mengalami penyusutan (*shrinkage*) yang cukup tinggi antara 3.5% sampai 8.6% (rata-rata 6%)

#### **1.2.5. Software Perancangan**

Berkembangnya teknologi saat ini membuat pekerjaan perancangan yang sebelumnya memerlukan waktu yang sangat panjang untuk menyelesaikan satu rancangan karena proses perancangan dilakukan secara manual dengan menggunakan pensil, kini dengan mudah seorang perancang atau *designer* merancang menggunakan perangkat komputer yaitu dengan menggunakan aplikasi yang kita sebut dengan CAD (*Computer Aided Design*). Beberapa aplikasi CAD yang kini telah berkembang seperti:

1. *Solidworks*
2. *Pro/ENGINEER*
3. *AutoCAD*
4. *Autodesk Inventor*
5. Dan masih banyak lainnya.

##### **1.2.5.1. Software Autodesk Inventor**

Pada proses perancangan kendaraan *prototype* Lingsar *Proto 3 software* yang digunakan adalah *Autodesk Inventor Pro 2017*. *Autodesk Inventor* merupakan *software* yang dikembangkan oleh perusahaan perangkat lunak yang berbasis di Amerika Serikat, *Autodesk Inventor* merupakan sebuah perangkat lunak CAD mekanik dengan

kemampuan pemodelan tiga dimensi *solid* dan *surface* untuk proses pembuatan objek *prototype* 3D secara visual dan *drafting* beserta dokumentasi data-datanya. Selain itu seorang *designer* dapat melakukan hal yang lebih kompleks lagi, yaitu analisa dan simulasi. Hingga saat ini *Autodesk Inventor* bersaing langsung dengan *Solid Works* dan *Solid Edge* (Waguespack, 2013).

#### 1.2.5.1.1. Analisis Struktur pada *Autodesk Inventor*

##### 1. *Stress Analysis*

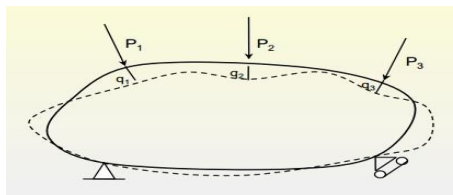
*Stress Analysis* merupakan *tools* simulasi pengujian struktur pada *Autodesk Inventor* yang dilakukan dengan menerapkan konsep *Finite Element Analysis* (FEA). Cara kerjanya adalah dengan memecah suatu objek struktur yang akan diuji menjadi elemen – elemen berhingga yang saling terhubung satu sama lain yang akan dikelola dengan perhitungan khusus oleh *software*, sehingga menghasilkan hasil yang lebih akurat (Waguespack, 2013).

##### 2. *Frame Analysis*

Selain *Stress Analysis*, pada *Autodesk Inventor* juga terdapat *tools* simulasi struktur yang lain, yaitu *Frame Analysis*. Konsep dari pengujian ini adalah dengan menerapkan ilmu mekanika teknik yaitu berkaitan dengan struktur *truss*, *beam*, dan *frame*. Input data berupa beban (terpusat dan merata) dan tumpuan (jepit, roll dan engsel), sedangkan outputnya berupa diagram tegangan, regangan dan *displacement* (Waguespack, 2013).

##### 3. Prinsip Superposisi

Sebuah obyek atau struktur dikenai, katakanlah, tiga buah gaya  $P_1$ ,  $P_2$ , dan  $P_3$ . Pada lokasi dan arah yang sama dengan tiga gaya tsb, terjadilah *displacement* pada komponen sebesar  $q_1$ ,  $q_2$ , dan  $q_3$ . *Displacement* pada prinsip superposisi seperti ditunjukkan pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18. Displacement pada prinsip superposisi (Waguespack dkk, 2013)

Menurut prinsip superposisi, *displacement* yang terjadi bisa ditulis sebagai berikut: (Waguespack, 2013)

$$q_1 = f_{11} P_1 + f_{12} P_2 + f_{13} P_3$$

$$q_2 = f_{21} P_1 + f_{22} P_2 + f_{23} P_3$$

$$q_3 = f_{31} P_1 + f_{32} P_2 + f_{33} P_3$$

yang secara ringkas dapat ditulis sebagai :

$$\{q\} = [f] \cdot \{P\}$$

dimana :

$$\{q\} = \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{Bmatrix} \quad \{f\} = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} \end{bmatrix} \quad \{P\} = \begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{Bmatrix}$$

Dengan  $f_{ij}$  adalah koefisien fleksibilitas yang mendefinisikan displacement di  $i$  karena satu unit beban yang bekerja di  $j$ , dan matrik  $[f]$  disebut sebagai matrik fleksibilitas. Persamaan diatas dapat pula ditulis sebagai : (Waguespack, 2013)

$$\{P\} = [K] \cdot \{q\}$$

dimana :

$$[K] = [f]^{-1}$$

### 1.2.5.2. Software Autodesk Flow Design

*Autodesk, Inc* adalah perusahaan multinasional yang bermarkas di California. Perusahaan ini didirikan oleh John Walker dan Dan Drake pada tahun 1982. Pada perkembangannya *Autodesk, Inc* banyak menghasilkan produk-produk *software* diantaranya *software* untuk *architecture, engineering, construction, manufacturing, media, dan entertainment industries*. *Autodesk Flow Design software* ini banyak digunakan oleh *engineer* untuk mengetahui bagaimana aliran fluida yang terjadi di sekitar benda uji melalui pengujian terowongan angin berjalan (*wind tunnel*) dengan *output* berupa data *drag force, drag coefficient, velocity, pressure, dan lain-lain*.

### 1.2.5.3. Software Autodesk Fusion 360

*Software Autodesk Fusion 360* merupakan *software* berbasis CAD yang dapat secara cepat membuat rancangan terdepan untuk produk rumit, menciptakan antarmuka mudah dipakai dan merupakan solusi yang tepat. Keunggulan yang ada pada *software* ini juga yaitu dapat digunakan secara online, dimana seorang user dapat menyimpan dan melanjutkan pekerjaannya pada *cloud* yang disediakan oleh *Autodesk 360*. *Autodesk Fusion 360* bekerja pada jajaran platform, mulai dari perangkat PC desktop, dan dapat bekerja baik pada Sistem Operasi *Apple Mac* ataupun *Microsoft Windows*. *Autodesk Fusion 360* dapat digunakan pengguna pada satu proyek kerja tanpa perlu membuat *part* yang baru, menawarkan komentar dan masukan sebelum proyek diselesaikan untuk di cetak atau diproduksi. Dalam bisnis manufaktur, *Autodesk Fusion 360* adalah pilihan ideal. Selain itu, juga dapat dimanfaatkan oleh para arsitek, perancang interior dan banyak lagi.