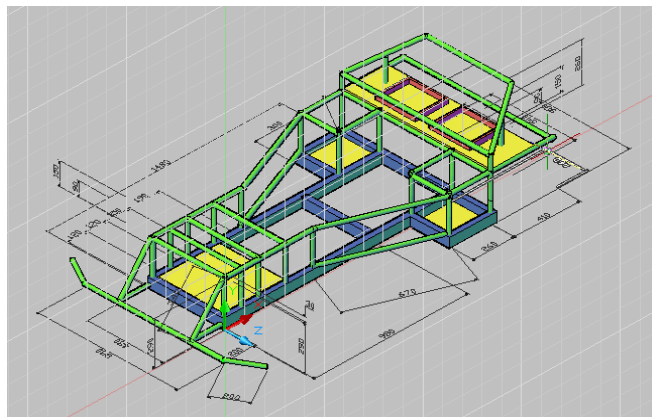


BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Kajian Pustaka

Wibisono dan Yadi (2013) melakukan perancangan desain rangka mobil listrik Garnesa dengan desain rangka tipe *ladder frame*. Hal ini dipilih karena rangka tipe ini memiliki keunggulan selain konstruksinya yang sederhana juga kokoh untuk menopang beban pengemudi juga semua komponen-komponen kendaraan yang melekat. Jenis material yang digunakan untuk proses desain rangka mobil listrik Garnesa ini menggunakan besi berongga kotak dan bulat dengan tipe ST 36. *Software* yang digunakan untuk analisa statik yaitu menggunakan *software AutoCad 2007*. Hasil rancangan rangka kendaraan ini seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.

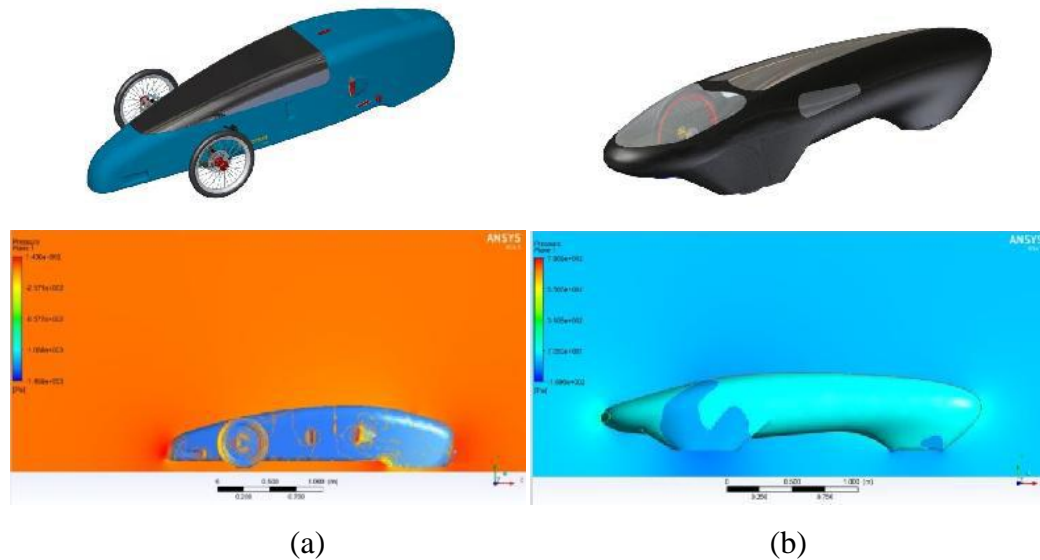


Gambar 2.1. Rancangan rangka mobil listrik Garnesa (Wibisono dan Yadi, 2013)

Berdasarkan hasil hitungan yang didapat dari analisa perancangan rangka kendaraan ini meliputi, beban total rangka normal sebesar 29,63 kg. Rangka penyangganya mampu menahan beban maksimal sebesar 4069,44 kg. Untuk beban pengemudi, rangka kendaraan ini mampu menahan beban hingga 1350 kg.

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.



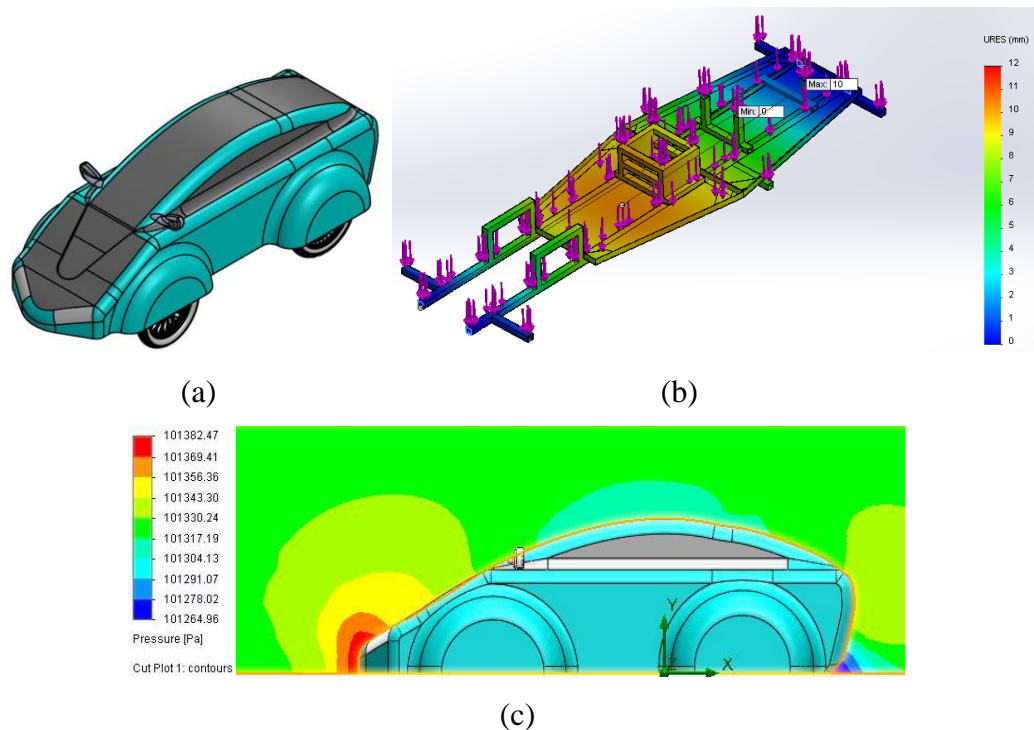
Gambar 2.2. Hasil perancangan dan analisis bodi *prototype* Mataram Proto (a) dan Mataram Proto Modifikasi (b) (Azwir dkk, 2014)

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.

Sapto dan Yamin (2014) melakukan perancangan kendaraan *hybrid* sesuai dengan peraturan perlombaan yaitu *Shell Eco Marathon Global Rules 2014* untuk kategori *Urban Concept* dengan jenis topologi *hybrid* tipe parallel. Bahan yang digunakan untuk perancangan kendaraan ini adalah baja konstruksi jenis AISI 4140. Pada proses perancangan, analisa statik menggunakan *software Solidwork 2012* untuk mengetahui kekuatan dari rangka *prototype* tersebut.

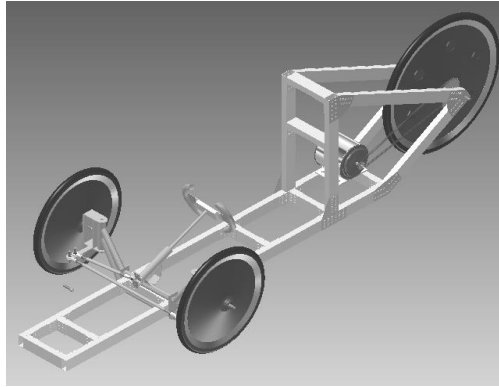
Hasil perancangan kendaraan *hybrid* serta analisis pembebanan rangka dan aerodinamis bodi seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3. Pada simulasi pembebanan rangka, beban total yang diberikan sebesar 441,445 N. Hasil dari simulasi tersebut

didapatkan *von mises stress* maksimal sebesar $1.3 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ dengan nilai *displacement* maksimal sebesar 10 mm. Sedangkan hasil analisis *safety factor* pada rangka didapatkan hasil sebesar 3,21. Berdasarkan hasil analisis aerodinamis bodi kendaraan diperoleh nilai *coefficient drag* (CD) yang dihasilkan yaitu sebesar 0,111.



Gambar 2.3. Hasil perancangan kendaraan *hybrid* (a), analisis pembebanan rangka (b) dan aerodinamis bodi (c) (Sapto dan Yamin, 2014)

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 penguat 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 2.4. 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.

Berdasarkan tinjauan pustaka di atas dapat disimpulkan bahwa dalam perancangan sebuah kendaraan hemat energi harus memiliki berat kendaraan yang seringan mungkin dalam pemilihan komponen-komponennya. Jenis rangka *prototype* mobil hemat energi yang paling ideal ialah seperti desain rangka yang telah dilakukan oleh Setyono dan Gunawan (2015). Hal ini dikarenakan struktur rangka yang sederhana dan ringan juga memiliki kekuatan yang cukup untuk menopang beban sesuai dengan regulasi teknis kendaraan *prototype* hemat energi. Namun *assembly* menggunakan rivet mempunyai kelemahan yaitu pencekaman antara material sambungan dan rivet tidak sekencang sambungan las.

Selain didukung rangka yang kuat dan ringan, *prototype* hemat energi juga harus dirancang se-aerodinamis dan se-*streamline* mungkin untuk meminimalisir gaya *drag* dan *lift* yang terjadi saat kendaraan berjalan. Jenis rancangan bodi yang sesuai seperti yang telah dilakukan oleh Azwir dkk (2014) dengan jenis bodi mataram proto modifikasi karena memiliki gaya *drag* dan *lift* paling kecil yaitu sebesar 0,09 dan 0,17. Akan tetapi dari desain bodi tersebut dinilai kurang kuat karena kurangnya struktur profil pada bodi. Oleh karena itu perlu dilakukan

penyempurnaan desain bodi kendaraan yang lebih kuat yaitu dengan opsi penambahan struktur profil *chamfer* pada permukaan bodi.

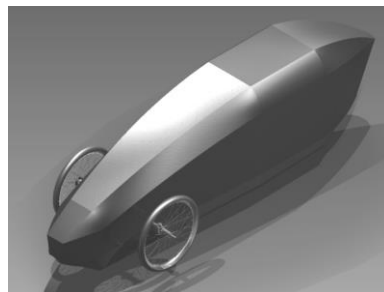
2.2. Dasar Teori

2.2.1. Kontes Mobil Hemat Energi

Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) merupakan event perlombaan mobil kreasi mahasiswa dari berbagai lembaga perguruan tinggi dalam skala nasional yang diselenggarakan oleh DIKTI setiap tahun. Perlombaan ini berorientasi pada efisiensi penggunaan energi dari mobil rancangan mahasiswa hasil pengaplikasian ilmu yang didapat selama kuliah. Jenis sumber energi penggerak yang digunakan dalam kompetisi terbagi menjadi empat yaitu *gasoline*, etanol, diesel, dan listrik. Berdasarkan target perancangan, perlombaan ini dibagi menjadi dua kategori, yaitu:

1. *Prototype*

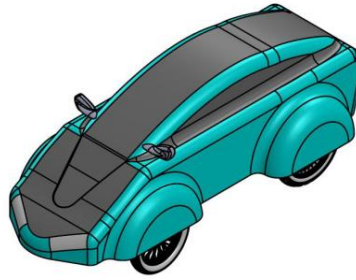
Kategori *prototype* yaitu rancangan kendaraan fokus pada desain yang aerodinamis dan seringan mungkin supaya mobil dapat menempuh jarak terjauh dengan konsumsi energi yang paling efisien. Konsep rancangan kendaraan ini yaitu memiliki dua roda di depan sebagai pengarah laju dan satu roda di belakang sebagai penggerak. Kategori *prototype* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Kategori *prototype* (Setyono dan Gunawan, 2015)

2. Urban

Kategori urban yaitu kendaraan dengan konsep mobil hemat energi masa depan dengan bentuk selayaknya *city car*. mobil tipe urban tetap didesain seringan dan konsumsi energi se-efisien mungkin. Kategori urban seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Kategori urban (Sapto dan Yamin, 2014)

Pada setiap kategori, jenis bahan bakar yang digunakan dalam kompetisi dibagi menjadi empat yaitu:

1. Listrik
2. *Gasoline*
3. Etanol
4. Diesel

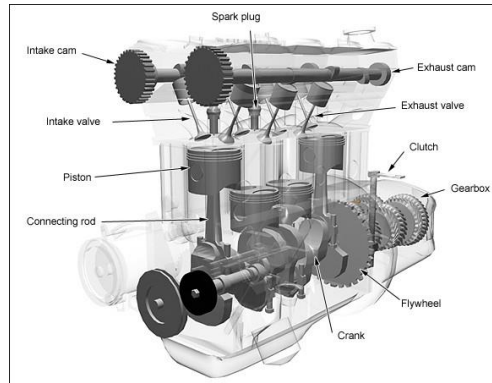
2.2.2. Kendaraan

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 utama penyusun kendaraan yaitu sebagai berikut:

1. Komponen Pembangkit Tenaga

Pembangkit tenaga adalah sekelompok komponen kendaraan yang fungsi utamanya menghasilkan dan merubah tenaga dari pembakaran bahan bakar menjadi tenaga mekanis putar sebagai sumber tenaga penggerak kendaraan dan kebutuhan lain dari kendaraan. Pembangkit tenaga dengan bersumber pada tenaga pembakaran bahan bakar didalam mesin biasa disebut mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*). Macam-macam mesin pembakaran dalam yaitu mesin torak dan mesin *rotary*. Disamping itu tenaga kendaraan dapat bersumber dari tenaga matahari,

listrik, atau gabungan yang sering disebut tenaga *hybrid*. Mesin pembakaran seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Mesin pembakaran

(<https://grabcad.com>)

2. Rangka

Rangka atau *Chassis* merupakan bagian dari kendaraan yang berfungsi sebagai pondasi penyangga komponen-komponen kendaraan serta sebagai penguat konstruksi bodi kendaraan agar mampu menahan beban kendaraan dan beban impak saat terjadi tabrakan sehingga dapat melindungi penumpang. Jenis-jenis *chassis* yang digunakan pada kendaraan antara lain:

a. *Chassis* terpisah dari bodi

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



Gambar 2.8. *Chassis* terpisah

(<https://www.quora.com>)

b. *Chassis* menyatu dengan bodi

Kendaraan yang dirancang untuk 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

(<https://www.quora.com>)

3. Bodi

Bodi merupakan komponen yang berfungsi untuk melindungi dan mengamankan penumpang dari segala gangguan dari luar dan melindungi penumpang dari beban impact yang terjadi akibat kecelakaan atau tabrakan. Bodi kendaraan selain memberi nilai keindahan juga sangat berpengaruh terhadap beban angin yang akan diterima oleh kendaraan. Beban angin terbesar yang diterima kendaraan adalah beban hambat angin yang melawan gerakan kendaraan. Untuk memperkecil beban hambat angin 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. Untuk menjaga ergonomi saat digunakan maka pada sambungan antara bodi dan rangka tersebut diberi bantalan

karet, hal ini untuk meredam getaran yang dihasilkan dari mesin penggerak. Konstruksi bodi terpisah seperti ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.13. 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. Komponen Pengarah Gerak

Komponen pengarah gerak atau kemudi berfungsi untuk mengarahkan gerakan kendaraan sesuai dengan keinginan pengemudi. 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 tenaga untuk membelokkan roda seluruhnya datang dari tenaga pengemudi.

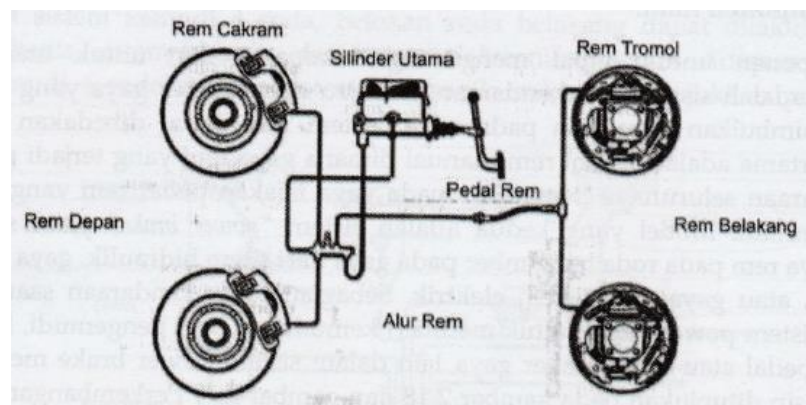
b. Sistem *power steering*

Sistem *power steering* adalah sistem kemudi dimana tenaga untuk membelokkan roda datang dari tenaga fluida, gas, udara, atau tenaga listrik.

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

5. Komponen Rem

Rem berfungsi untuk mengurangi kecepatan dan untuk menghentikan laju kendaraan. Pada umumnya prinsip kerja dari rem ialah disebabkan oleh penggabungan sistem penekanan terhadap gerakan putar. Efek pengereman (*braking effect*) diperoleh dari adanya gesekan yang ditimbulkan antara dua objek. Sistem rem kendaraan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Sistem rem kendaraan (Sutantra dan Sampurno, 2010)

Ditinjau dari sumber gaya yang digunakan untuk menimbulkan gaya rem pada roda, sistem rem dibagi dua macam yaitu:

- a. Sistem rem manual yaitu dimana gaya rem yang terjadi pada setiap roda kendaraan seluruhnya bersumber pada gaya injakan pedal rem yang dilakukan oleh pengemudi.
- b. Sistem rem dengan daya bantu yaitu daya untuk melakukan pengereman datang dari manual dan dibantu oleh sistem hidrolik, pneumatik (*vacuum* udara tekan) dan elektrik.
- c. Sistem *power brake* yaitu sistem rem dimana gaya rem pada roda seluruhnya bersumber pada gaya dari tenaga hidrolik, pneumatik, atau elektrik.
- d. Sistem rem *inertia*, yaitu daya pengereman bersumber dari daya *inertia* misalnya *inertia* dari komponen mesin yang bergerak.

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

- a. Sistem pengereman jenis *lock*
Sistem pengereman jenis *lock* yaitu sistem yang untuk menghentikan kendaraan dilakukan dengan cara membuat roda berhenti berputar (*lock*). Gaya gesek antara ban yang *lock* dengan jalan dimanfaatkan untuk mengurangi kecepatan dari kendaraan.
- b. Sistem pengereman jenis *anti lock* (*anti lock breaking sistem* = ABS)
Sistem pengereman ABS yaitu sistem rem yang untuk menghentikan kendaraan dilakukan dengan cara mempertahankan roda tidak *lock* atau dalam keadaan slip tertentu dimana koefisien adhesi antara jalan dan ban adalah paling besar sehingga jarak berhenti kendaraan lebih pendek dan kendaraan masih tetap stabil walau direm pada saat kendaraan berbelok.

6. Suspensi

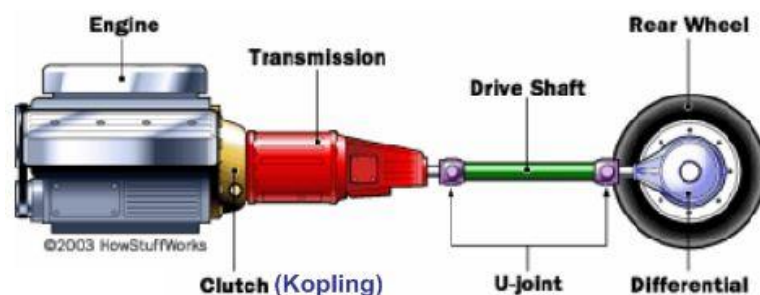
Suspensi adalah komponen kendaraan yang berfungsi untuk menjamin kenyamanan pada penumpang jika kendaraan berjalan pada jalan yang bergelombang, serta berbagai moda gerak dari kendaraan. Sistem

suspensi terdiri dari bagian-bagian yang mencegah kejutan-kejutan yang ditimbulkan oleh keadaan jalan yang terus ke rangka dan termasuk bagian-bagian pegas, peredam kejutan, dan stabilisator. Jenis-jenis suspensi yang digunakan pada mobil antara lain:

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

7. Sistem Penyalur Daya

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



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

a. Kopling

Kopling berfungsi untuk memutus dan menghubungkan putaran dari poros engkol ke transmisi dengan halus. Kopling sangat diperlukan pada motor-motor yang tenaganya diteruskan untuk dimanfaatkan. Hal

ini penting karena pada awalnya motor yang hidup harus dapat berputar bebas tanpa dimanfaatkan terlebih dahulu tenaganya. Jenis kopling yang digunakan pada kendaraan adalah sebagai berikut:

1) Kopling tetap

Jenis-jenis kopling tetap diantaranya:

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

2) Kopling tidak tetap

Jenis-jenis kopling tidak tetap diantaranya:

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

b. Transmisi

Transmisi berfungsi untuk menyalurkan dan merubah torsi mesin sedemikian rupa untuk dapat menghasilkan gaya dorong sesuai dengan kebutuhan kendaraan. Disamping itu transmisi juga berfungsi untuk merubah 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*)

c. Gardan (*Deferensial*)

Deferensial berfungsi untuk memungkinkan terjadinya perbedaan putaran antara roda penggerak kiri dan kanan pada saat berbelok. Disamping itu gardan juga berfungsi untuk meningkatkan torsi yang terjadi pada poros penggerak karena adanya rasio gardan. Rasio gardan adalah perbandingan putaran poros *propeller* yang masuk gardan dengan putaran poros penggerak sebagai keluaran gardan.

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

Poros *propeller* adalah poros yang menghubungkan poros keluar transmisi dengan gardan yang ada pada poros penggerak. Komponen ini terletak antara transmisi dan gardan kendaraan.

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

Poros *axle* (*axle shaft*) berfungsi sebagai penghubung putaran dari gardan menuju masing-masing roda belakang. Komponen ini terletak antara komponen gardan dan roda kendaraan.

8. Pengaman dan penyetabil arah

Komponen pengaman kendaraan adalah dimaksudkan untuk mengamankan penumpang dan menghindari terjadinya kecelakaan. Dengan kemajuan teknologi pengamanan dibidang otomotif, maka dikembangkanlah komponen pengaman kendaraan sebagai berikut:

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

2.2.3. Beban-Beban Angin Pada Kendaraan

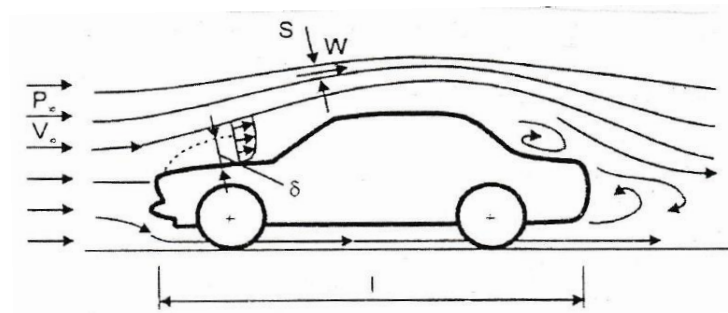
Aliran angin di dalam bodi kendaraan yaitu aliran angin yang masuk ke dalam bodi, jika pintu atau atap dibuka maka sangat erat kaitannya dengan aliran angin di sekeliling kendaraan. Beban-beban angin pada bodi kendaraan sangat dominan dipengaruhi oleh aliran angin di sekeliling dan di dalam bodi kendaraan.

Beban-beban angin yang terjadi pada kendaraan dapat mempengaruhi konsumsi bahan bakar dan juga dapat mempengaruhi kestabilan arah kendaraan. Dengan meningkatnya kemampuan gerak kendaraan yaitu kecepatan dan kemampuan bermanuvernya, maka stabilitas arah kendaraan menjadi sangat penting.

2.2.3.1. Prinsip Dasar Aliran Angin Pada Kendaraan

Aliran udara di sekitar kendaraan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.14. Berdasarkan gambar tersebut secara umum fenomena aliran pada kendaraan dapat dibedakan menjadi dua yaitu:

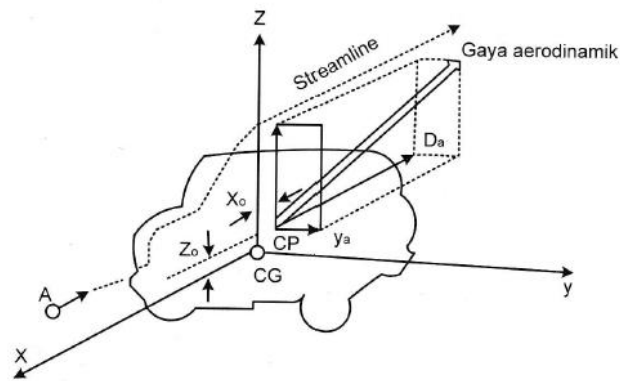
1. Aliran *external* merupakan aliran udara disekitar kendaraan dan aliran udara yang masuk kedalam bagian kendaraan misalkan aliran udara pada pendingin.
2. Aliran *internal* merupakan proses aliran di dalam permesinan misalkan proses aliran fluida di dalam mesin dan sistem transmisi kendaraan.



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

2.2.3.2. Pola Aliran Di Sekitar Kendaraan

Didalam pendekatan terhadap aerodinamika kendaraan, diasumsikan tidak ada angin yang berhembus (atmosfir sebagai kesatuan dengan tanah) dan kecepatan kendaraan dapat dianggap konstan. Pada dasarnya semua fenomena aerodinamis yang terjadi pada kendaraan disebabkan adanya gerakan relatif dari udara di sepanjang 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)

Garis-garis yang dibuat sedemikian rupa di dalam medan kecepatan, sehingga setiap saat garis-garis tersebut akan searah dengan aliran disetiap titik di dalam medan aliran tersebut sering disebut dengan *streamline*. Dengan demikian *streamline-streamline* itu akan membentuk pola aliran udara di sekeliling bodi kendaraan.

1. Pola aliran di permukaan kendaraan

Karena adanya efek viskositas dari udara maka akan menyebabkan timbulnya *boundary layer* di sepanjang permukaan kendaraan sehingga timbul distribusi tekanan di sepanjang permukaan kendaraan karena adanya gradien kecepatan tersebut.

2. Pola aliran di bawah kendaraan

Aliran udara di sekitar suatu profil yang bergerak pada atmosfer bebas berbeda dengan suatu profil yang sama bergerak dekat dengan tanah. Secara umum tekanan yang dihasilkan pada bagian bawah kendaraan lebih besar dibandingkan permukaan atas kendaraan, hal ini disebabkan karena pada kendaraan yang bergerak dekat dengan tanah akan menimbulkan pola aliran yang tidak simetris dengan sumbu kendaraan sehingga akan menimbulkan gaya aerodinamis.

3. Pola aliran di samping kendaraan

Kecepatan aliran udara di sepanjang bagian bawah kendaraan rata-rata lebih cepat dibandingkan bagian bawah kendaraan. Hal ini

menyebabkan adanya gerakan aliran udara dari bawah kendaraan menuju bagian samping kendaraan dan pada kecepatan tinggi akan membentuk rotasi berbentuk pusaran (*vortex*).

2.2.3.3. Persamaan Bernoulli

Jika tekanan atmosfer dinotasikan P , kecepatan V , dan massa jenis ρ maka didapatkan persamaan bernoulli sebagai berikut:

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

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

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

Dimana:

ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)

V = Volume (m^3)

P = Tekanan statis (atmosfir) (N/m^2)

H = Tekanan total yang bernilai konstan (m)

Harga dari konstanta H dapat diperoleh dari kondisi aliran udara yang jauh atas bodi kendaraan. Persamaan bernoulli menunjukkan hubungan antara tekanan atmosfer P dengan kecepatan aliran fluida sepanjang *streamline*. Hubungan ini menunjukkan pola aliran udara yang terjadi di sekeliling kendaraan menghasilkan distribusi tekanan spesifik di sepanjang permukaan kendaraan. Integrasi dari tekanan spesifik menghasilkan gaya resultan pada mobil yang disebut gaya aerodinamis. Gaya inilah yang bekerja pada suatu titik spesifik yang disebut sebagai pusat tekanan (*center of pressure*/ C_p).










2.2.3.4. Gaya dan Momen Aerodinamika

Arah kecepatan relatif angin terhadap kendaraan secara umum tidak selalu bisa sejajar dengan sumbu longitudinal kendaraan, maka akan terjadi gaya aerodinamik sebagai berikut:

1. Gaya hambat (*drag*) aerodinamik

Gaya hambat adalah gaya yang bekerja dalam arah horizontal (parallel terhadap aliran) dan berlawanan arah dengan arah gerak maju kendaraan. Nilai hambat (*drag*) suatu bidang sangat dipengaruhi oleh bentuk penampang seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1. berikut ini:

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

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

Gaya hambat total terdiri dari beberapa jenis gaya hambat (Scybor Rylski, 1975) yaitu:

a. Hambatan bentuk

Gaya hambat yang disebabkan oleh adanya gradien tekanan (*pressure drag*) dan adanya gesekan (*friction drag*).

b. Hambatan pusaran

Karena adanya perbedaan tekanan pada bagian atas dan bagian bawah kendaraan, menyebabkan timbulnya gerakan aliran udara dari permukaan bawah menuju ke permukaan atas kendaraan yang berupa pusaran (*vortex*).

c. Hambatan tonjolan

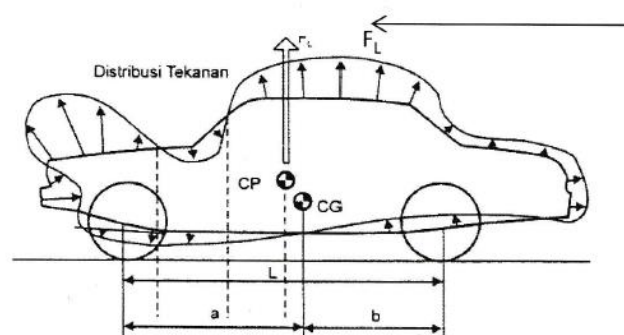
Gaya hambat yang disebabkan adanya tonjolan profil tertentu pada permukaan bodi kendaraan seperti kaca spion, pegangan pintu, antena, dan lain-lain.

d. Hambatan aliran dalam

Gaya hambat oleh aliran udara yang mengalir melalui sistem pendingin mesin seperti radiator.

2. Gaya angkat (*lift*) aerodinamik

Perbedaan bentuk antara permukaan atas dan bagian bawah kendaraan menyebabkan aliran udara pada permukaan atas lebih cepat dari pada aliran udara pada permukaan bawah. Oleh karena itu tekanan yang bekerja bagian bawah mobil secara umum lebih besar dari tekanan yang bekerja pada bagian atas mobil sehingga menimbulkan terbentuknya gaya angkat karena adanya desakan aliran udara dari permukaan bawah ke permukaan atas kendaraan. Gaya ini bekerja dalam arah vertikal dan biasanya ke atas ditandai sebagai arah positif dan ke bawah sebagai arah negatif. Distribusi tekanan penyebab gaya angkat seperti ditunjukkan pada Gambar 2.16.

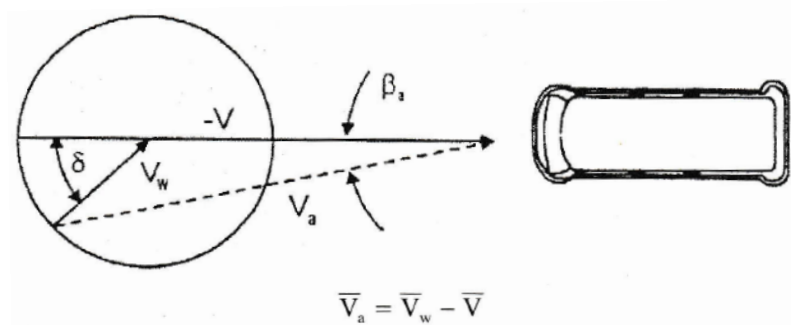


Gambar 2.16. Distribusi tekanan penyebab gaya angkat (Sutantra dan Sampurno, 2010)

3. Gaya samping

Biasanya gaya samping terjadi karena arah datangnya angin tidak sejajar terhadap arah gerak mobil sehingga membentuk sudut

tertentu (δ) terhadap lintasan kendaraan. Sudut serang angin seperti ditunjukkan pada Gambar 2.17.



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

Dengan demikian dihasilkan resultan kecepatan udara (V_a) dari kecepatan kendaraan (V) dan kecepatan angin (V_w), dengan membentuk sudut tertentu (β_a) terhadap lintasan kendaraan. Gaya samping bekerja dalam arah horizontal dan transversal sehingga bersifat mendorong kendaraan kesamping. Gaya samping juga terjadi pada saat kondisi kendaraan berbelok.

Titik kerja ketiga gaya angin tersebut pada umumnya disebut *center of pressure* (C_p) berada di luar titik pusat massa dari kendaraan (C_g). Karena letak C_p dan C_g berbeda maka ketiga gaya aerodinamik di atas dapat menimbulkan momen aerodinamis terhadap sumbu x, y, z yang berpusat pada C_g seperti ditunjukkan pada Gambar 2.18. Momen aerodinamik yang dapat terjadi pada kendaraan yaitu:

1. Momen guling (*rolling*) aerodinamik

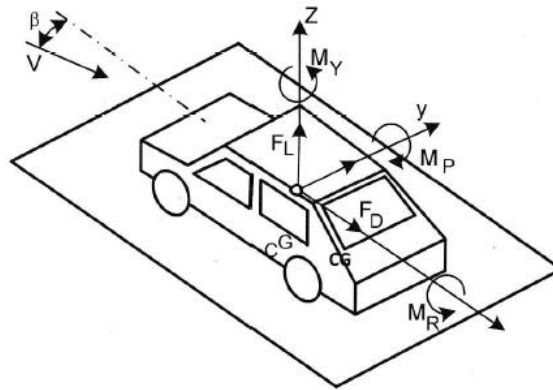
Momen guling (*rolling*) aerodinamik adalah momen terhadap sumbu x pada kendaraan yang disebabkan oleh gaya-gaya aerodinamik yang mempunyai lengan terhadap sumbu x.

2. Momen angguk (*pitching*) aerodinamik

momen angguk (*pitching*) aerodinamik adalah momen gaya aerodinamik terhadap sumbu y dari kendaraan.

3. Momen putar (*yawing*) aerodinamik

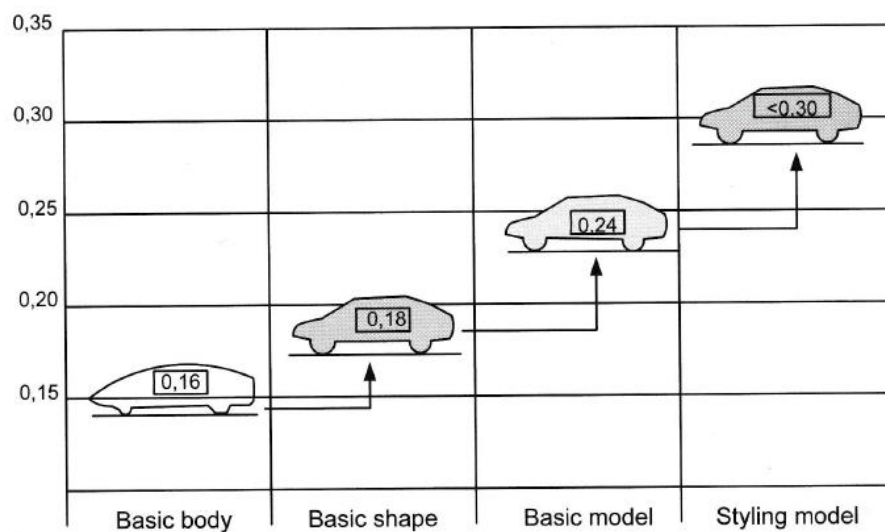
momen putar (*yawing*) aerodinamik adalah momen yang diakibatkan oleh gaya aerodinamik terhadap sumbu z kendaraan melalui titik pusat massa C_g .



Gambar 2.18. Gaya dan momen aerodinamik pada kendaraan
(Sutantra dan Sampurno, 2010)

2.2.3.5. Pengaruh Bentuk Bodi

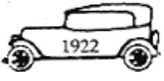

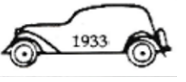



Dasar proses perancangan bentuk bodi kendaraan dapat dibagi dalam lima tahap yaitu *basic body*, *basic shape*, *basic model*, *styling model*, dan *production car*. Tahap perencanaan bodi kendaraan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19. Tahap perencanaan bodi kendaraan (Sutantra dan Sampurno, 2010)

Model kendaraan berkembang dari tahun ke tahun yang utamanya mengarah pada penurunan koefisien hambatan aerodinamik C_d dan tentunya juga tidak mengurangi keindahan dari kendaraan tersebut. Model bodi dan koefisien seperti ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Model bodi dan koefisien (Sutantra dan Sampurno, 2010)

No	Bentuk bodi	Koefisien hambatan (C_d)
1	 1922	0,74
2		0,71
3	 1933	0,55
4		0,24
5		0,15-0,20
6		0,13-0,30

2.2.4. Perancangan

Desain elemen mesin secara garis besar dapat dikategorikan menjadi desain yang optimal dan desain yang memadai. Banyak hal yang harus dipertimbangkan dalam melakukan desain optimal, antara lain: kegunaan atau 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. Desain yang memadai tidak sampai mempertimbangkan semua hal tersebut. Desain yang memadai pada dasarnya dapat diselesaikan dengan prosedur sebagai berikut:

1. Mendeskripsikan karakteristik elemen yang dibutuhkan tersebut, meliputi antara lain besar dan letak atau posisi bebannya, kondisi lingkungan tempat elemen tersebut akan digunakan termasuk suhu,

kelembaban dan fluktuasinya, serta keterbatasan-keterbatasan yang menyangkut ruangan dan berat.

2. Memilih material yang sesuai dengan karakteristik yang telah dideskripsikan pada langkah pertama di atas, termasuk memperoleh data tentang sifat fisik, mekanik maupun kimiawi material tersebut.
3. Menganalisis gaya-gaya yang bekerja menurut statika struktur. Beban mekanis yang bekerja pada suatu elemen mesin tertentu akan dapat ditransformasikan ke dalam bentuk gaya atau komponen gaya yang bekerja pada bagian-bagian tertentu pada elemen tersebut.
4. Mencari penampang kritis pembebanan. Hal ini dapat diperoleh dengan mencari bagian yang paling lemah atau yang paling berisiko akibat adanya gaya-gaya yang bekerja yang telah teridentifikasi pada langkah terdahulu. Penampang ini merupakan tempat akan terjadi awal kegagalan elemen mesin.
5. Menentukan jenis pembebanan berdasar pada gaya dan penampang kritis tersebut. Jenis pembebanan, apakah tarik, tekan, geser, lentur, puntir, atau jenis pembebanan lainnya, pada suatu penampang kritis tertentu dapat ditentukan dengan memperhatikan letak dan arah gaya-gaya yang bekerja tersebut relatif terhadap penampang kritisnya.
6. Memilih rumus yang sesuai untuk penyelesaiannya. Setelah jenis pembebanan pada suatu penampang kritis tertentu diketahui, barulah dapat dipilih rumus tertentu yang tepat untuk menentukan ukuran pada penampang kritis tersebut.
7. Memeriksa tegangan yang terjadi untuk memastikan tidak melebihi tegangan ijin material yang telah dipilih. Hal ini perlu dilakukan sebagai jaminan keamanan desain tersebut.

Menurut Kovacevic (2012), dalam mendesain sebuah mesin perlu mempertimbangkan beberapa kriteria mekanikal, sebagai berikut:

1. Kekuatan (*strength*), sebuah komponen tidak boleh mengalami kegagalan atau deformasi residual karena dampak dari gaya yang

diderita.

2. Kekakuan (*rigidity*), kekakuan adalah kemampuan untuk menahan deformasi yang diakibatkan oleh gaya yang bekerja. Kekakuan yang tepat diperlukan untuk memastikan mesin dapat beroperasi secara efektif.
3. Ketahanan aus (*wear resistance*), keausan adalah faktor penting yang dapat mengakibatkan kegagalan dari sebuah mesin.
4. Ketahanan termal (*heat resistance*), keausan sebuah mesin biasanya terjadi karena mesin tersebut tidak mampu menahan panas yang timbul akibat gesekan antar part. Pelumasan yang baik diperlukan untuk menjaga kestabilan suhu.
5. Ketahanan getaran (*resistance to vibration*), kemampuan mesin untuk dioperasikan dalam kecepatan dan beban tertentu untuk menghasilkan produk yang berkualitas. Jika mesin tidak mampu menahan getaran yang terjadi maka akan berdampak pada kepresisian produk yang dihasilkan.

2.2.5. Bahan Perancangan

Sifat mekanik bahan merupakan satu hal yang sangat penting dan harus dipertimbangkan dalam merancang suatu alat atau mesin. Adapun sifat mekanik bahan yang harus dipertimbangkan adalah sebagai berikut:

1. Elastisitas

Dalam memilih material logam untuk pembuatan rangka mesin, yang harus diperhatikan adalah sifat-sifat material, antara lain kekuatan (*strength*), keliatan (*ductility*), kekerasan (*hardness*), dan kekuatan lelah (*fatigue strength*). Sifat mekanik material didefinisikan sebagai ukuran kemampuan material untuk menahan gaya atau tegangan. Pada saat menahan beban, struktur molekul berada dalam keseimbangan. Gaya luar pada proses penarikan tekanan, pemotongan, penempaan, pengecoran dan pembengkokan mengakibatkan material mengalami tegangan. Hampir semua benda teknik memiliki sifat elastisitas. Apabila gaya dari luar menghasilkan perubahan bentuk (*deformation*) kemudian gaya tersebut

dilepas, maka kembali ke bentuk semula, hal tersebut terjadi karena elastisitas bahan.

2. Deformasi

Deformasi terjadi bila bahan mengalami gaya. Selama deformasi, bahan menyerap energi sebagai akibat adanya gaya yang bekerja sepanjang deformasi. Sekecil apapun gaya yang bekerja, maka benda akan mengalami perubahan bentuk dan ukuran. Perubahan ukuran secara fisik ini disebut sebagai deformasi. Deformasi ada dua macam, yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis. Deformasi elastis adalah deformasi yang terjadi akibat adanya beban yang jika beban dihilangkan, maka material akan kembali seperti ukuran dan bentuk semula, sedangkan deformasi plastis adalah deformasi yang bersifat permanen jika bebannya dilepas maka material tidak kembali seperti ukuran dan bentuk semula.

3. *Yield Point*

Jika beban yang bekerja pada material diteruskan hingga diluar batas elastis akan terjadi perpanjangan atau perpendekan permanen secara tiba-tiba. Kekuatan luluh adalah harga tegangan terendah dimana material mulai mengalami deformasi plastis. Ini disebut *yield point* atau batas luluh dimana regangan meningkat sekalipun tiada peningkatan tegangan (hanya terjadi pada baja lunak). Setelah melewati titik ini, material tidak akan kembali ke bentuk semula, atau material sedang berada dalam daerah plastis. Karena itu didefinisikan kekuatan luluh (*yield point*).

4. Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik adalah kemampuan beban menahan atau menerima beban atau tegangan tarik sampai putus. Kekuatan tarik suatu bahan dapat ditetapkan dengan membagi gaya maksimal dengan luas penampang mula.

5. Keuletan

Menyatakan energi yang di-absorpsi (diserap) oleh suatu bahan sampai titik patah.

6. Kekerasan

Kekerasan yaitu adanya daya tahan suatu bahan (permukaan bahan)

terhadap penetrasi/identasi (pemasukan dan penusukan) bahan lain yang lebih keras dengan bentuk tertentu dibawah pengaruh gaya tertentu.

Pada perancangan kendaraan hemat energi ini, bahan yang akan digunakan untuk membuat profil rangka adalah *Alumunium Alloy* yang banyak tersedia dipasaran. *Alumunium Alloy* memiliki sifat-sifat penting yang membuat material ini banyak digunakan diberbagai bidang. Salah satunya *Alumunium* bersifat ringan, dengan berat jenis rendah (2.7 gr/m^3) yang hanya sepertiga dari berat jenis baja.

Sifat-sifat penting alumunium lainnya 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, Alumunium tuang memiliki sifat negatif antara lain:

1. Mudah tercampur dengan pengotor (*dross*) oksida karena memiliki berat jenis rendah
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%)

2.2.6. Software Perancangan

Pekerjaan perancangan merupakan proses yang sangat rumit dan memerlukan waktu yang panjang untuk menyelesaikan satu perancangan pada saat aplikasi perancangan belum berkembang. Proses perancangan dikerjakan secara manual menggunakan pensil kemudian digambar ulang menggunakan tinta supaya tahan lama. Namun saat ini, sudah banyak berkembang aplikasi-aplikasi untuk perancangan mesin atau kita sebut dengan CAD (*Computer*

Aided Design) seperti:

1. *Solidworks*
2. *Pro/ENGINEER*
3. *AutoCAD*
4. *Autodesk Inventor*
5. *Catia*
6. *Unigraphics*
7. *ZWCAD*
8. Dan masih banyak lainnya.

2.2.6.1. Software Solidworks

Software yang akan penulis gunakan dalam perancangan desain ini adalah *software solidworks*. *Solidworks* adalah salah satu *software* CAD (*Computer Aided Design*) 3D yang dikembangkan oleh *SolidWorks Corporation* yang sekarang sudah diakuisisi oleh *Dassault Systèmes*. Seperti yang diketahui bahwa *Dassault Systèmes* adalah company yang mengeluarkan *the most powerfull CAD software*, *Catia*. Meski dibawah company yang sama, *Solidworks* dan *Catia* tetaplh *software* yang berbeda. *Solidworks* digunakan untuk merancang *part* pemesinan atau susunan part pemesinan yang berupa *assembling* dengan tampilan 3D untuk merepresentasikan part sebelum real part nya dibuat atau tampilan 2D (*drawing*) untuk gambar proses pemesinan.

Software Solidworks memiliki banyak fitur-fitur di dalamnya dan mudah dalam penggunaannya. Berikut merupakan cara membuka *software Solidworks* serta fitur- fitur dan fungsinya:

1. Cara membuka dan menjalankan *software Solidworks 2016*

Sesudah *software Solidworks* ter-*install* dalam komputer maka dengan otomatis akan muncul pada permukaan *Windows* sebagai *shortcut*. Klik *shortcut* tersebut, selanjutnya akan muncul tampilan seperti pada Gambar 2.20.

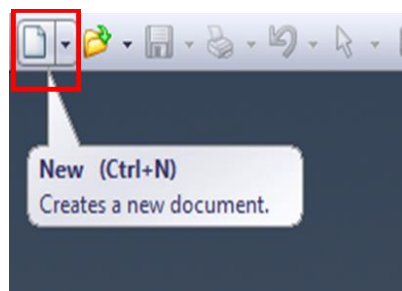


Gambar 2.20. Tampilan awal *software Solidworks*.

2. Membuat *Document Part, Assembly* dan *2D Sketch*

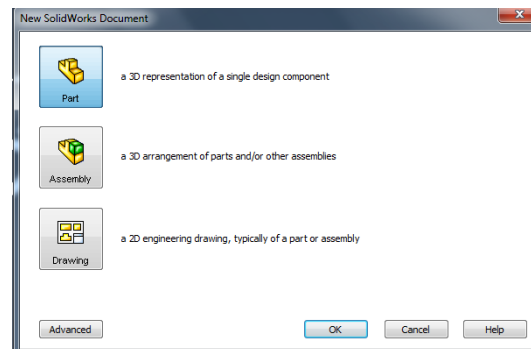
Setelah *software Solidworks* terbuka, langkah selanjutnya yaitu membuat *document* baik itu *document part*, *assembly* atau *2D sketch*. caranya adalah sebagai berikut:

- a. Klik *shortcut* “*new document*” atau dengan menekan (Ctrl + N) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.21.



Gambar 2.21. *Shortcut new document*

- b. Setelah *shortcut* “*New Document*” di klik maka akan muncul tampilan yang diperlihatkan pada Gambar 2.23. kemudian pilih *document* apa yang akan dibuat. Fungsi dari *shortcut part* yaitu untuk membuat komponen baru dalam tampilan 3D. Fungsi dari *shortcut assembly* merupakan untuk perakitan (*assembly*) yang terdiri dari beberapa *part* atau komponen. Fungsi dari *shortcut drawing* yaitu untuk membuat komponen atau komponen *assembly* menjadi gambar 2D.


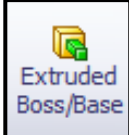
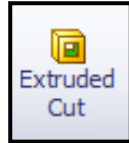
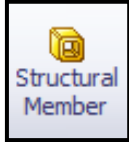








Gambar 2.22. Tampilan *document* yang akan dibuat.

3. Fitur – fitur yang terdapat pada *solidworks*

Berikut merupakan fitur–fitur yang penulis gunakan untuk merancang *prototype gasholine* seperti ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Fitur – fitur pada *solidworks* yang digunakan

No	Nama	Shotcut	Fungsi
1	<i>Sketch</i>		Menggambar komponen dalam bentuk 2D kemudian dijadikan ke dalam bentuk <i>part</i> 3D.
2	<i>Extrude</i>		Mengkonversi gambar 2D ke dalam bentuk gambar 3D
3	<i>Extrude cut</i>		Memotong tampilan 3D yang sudah di <i>extrude</i>
4	<i>Structural member</i>		Membuat struktur berupa <i>piping</i> , <i>piping hollow</i> dan siku
5	<i>Mirror</i>		Membuat <i>part</i> yang sama tapi berlawanan arah
6	<i>Swept cut</i>		Membuat ulir pada <i>part</i>

No	Nama	Shotcut	Fungsi
7	<i>Fillet</i>		Menghaluskan sudut - sudut yang runcing pada <i>part</i> 3D
8	<i>Chamfer</i>		Meruncingkan sudut <i>part</i> yang sudah 3D
9	<i>Linear Pattern</i>		Menduplikat fitur, <i>faces</i> dan <i>bodies</i> berdasarkan arah horizontal dan vertikal
10	<i>Circular Pattern</i>		Menduplikat fitur, <i>faces</i> dan <i>bodies</i> berdasarkan arah radius tertentu

Setiap *software* atau aplikasi yang ada, pasti mempunyai kelebihan dan kekurangan, berikut adalah kelebihan dan kekurangan *software Solidworks* yang menjadi pertimbangan penulis menjadikan *Solidworks* sebagai *software* perancangan *prototype gasholine*. Kelebihan *software Solidworks*:

1. Sangat mudah digunakan.
2. *Solidworks* memiliki perhitungan material yang luas.
3. Mudah mencari referensi maupun tutorial di internet.
4. Penggambaran 3D sangat baik dan rendernya lebih realistis, diatas *Autodesk*.
5. Satu *package* cukup lengkap modulnya selain *simulation*, juga terdapat *piping*, *electrical*, *plastics* dan *molding*.
6. Sangat *aplikatif* dan mudah untuk di gabung dengan *software* analisa yang lain, semisal *Ansys*.
7. Penggambaran detail *drawing 2D*, *annotation*, *section*, *thickness*, *3D View*, cukup mudah dan secara otomatis dapat dilakukan tanpa membuat satu demi satu.
8. *Solidworks* membantu mendesain produk lebih cepat, lebih baik, waktu yang singkat, dan biaya yang lebih rendah.




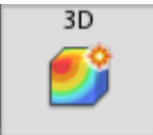




Kekurangan *Software Solidworks* antara lain:

1. Cukup membutuhkan spesifikasi komputer yang besar sekitar 6GB, belum termasuk ketika simulasi dan render.
2. Membutuhkan *graphic card* minimum sekelas spesifikasi untuk *gamers*, akan tetapi yang di rekomendasikan adalah lebih tinggi dari sekedar *gamers*, sekelas NVIDIA Quadro, atau *ATI Firepro*.
3. Minimum 4 GB RAM.
4. Dalam hal simulasi, masih disarankan kepada *Ansys* atau *Catia* yang *high end*, karena level dari *Solidworks* ini sebatas *mid end*.
5. *Maximum* panjang lebar garis adalah 1000 m.

2.2.6.2. 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*. Salah satu produk *software engineering* yang dibuat yaitu *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. *Software Autodesk Flow Design* memiliki banyak fitur-fitur dan sangat mudah dalam penggunaannya seperti ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Fitur-fitur *software Autodesk Flow*

No.	Nama	Gambar	Fungsi
1	<i>Simulation</i>		Membagi <i>wind tunnel</i> menjadi <i>grid</i> yang terdiri dari potongan-potongan kecil (<i>voxel</i>)
2	<i>Wind tunnel</i>		Mengatur <i>flow speed</i> angin dan ukuran <i>wind tunnel</i>
3	<i>Orientation</i>		Mengubah arah model agar sesuai dengan arah aliran angin.
4	2D dan 3D		Menvisualisasikan simulasi mode 2D atau 3D
5	<i>Pressure</i>		Menvisualisasikan distribusi tekanan disepanjang aliran
6	<i>Drag plot</i>		Merepresentasikan hasil simulasi berupa grafik <i>drag force</i>
7	<i>Flow lines</i>		Menunjukkan arah dan kecepatan udara yang mengalir di sekitar model
8	<i>Iso surface</i>		Menunjukkan nilai pada setiap lokasi dalam simulasi 3D