

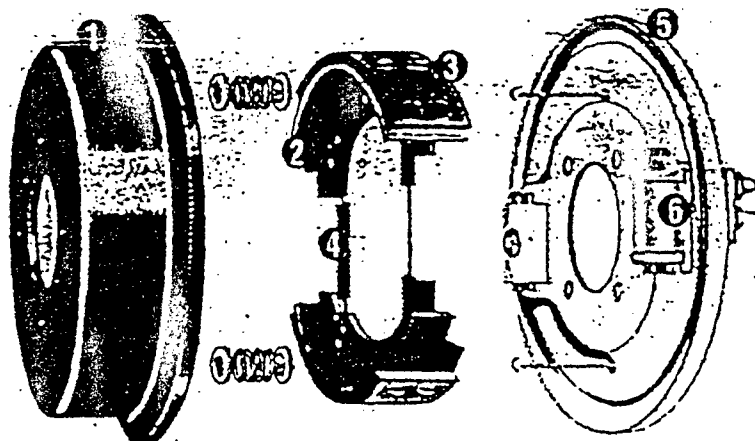
III .TEORI DASAR

3.1 KLASIFIKASI REM MENURUT BENTUK DAN PRINSIP KERJANYA

3.1.1 Rem Tromol (*Drum Brake*)

Tromol dipasang pada poros roda, secara umum sebuah tromol yang berhubungan dengan bagian yang berputar (roda) dengan kecepatan sudut yang sama, sedangkan sepasang kanvas rem yang melekat pada sepatu rem berhubungan dengan bagian yang tetap. Ketika rem ini difungsikan maka sepatu rem bergerak secara radial menuju tromol sehingga terjadi gesekan antara kanvas rem dengan tromol. Dalam hal ini maka energi mekanik (daya dorong sepatu rem) dikonversikan menjadi panas.

Rem yang menggunakan tromol sebagai elemen yang berputar sesuai dengan putaran roda dan kanvas rem yang melekat pada sepatu yang terikat dengan bagian yang tetap. Umumnya kanvas rem berjumlah dua buah.



Gambar 3.1 Rem Tromol

Keterangan gambar:

1. Tromol rem

Tromol rem (brake drum) umumnya terbuat dari besi tuang (gray cast iron). Tromol rem ini letaknya sangat dekat dengan sepatu tanpa bersentuhan dan berputar dengan roda. Ketika kanvas menekan permukaan bagian dalam tromol bila rem bekerja, maka gesekan panas tersebut dapat mencapai suhu setinggi 200 °C sampai 300 °C.

2. Sepatu rem

Sepatu rem ini terbuat dari plat baja yang berfungsi sebagai penyangga kanvas rem.

3. Kanvas rem

Material yang memiliki koefisien gesek yang besar yang akan menggesek bagian dalam dari tromol ketika rem bekerja. Umumnya kanvas rem terbuat dari campuran fiber metalic, lead, plastik dan diproses dengan ketinggian panas tertentu.

4. Pegas tarik

Berfungsi untuk menarik kembali sepatu rem akibat dari tekanan dari silinder roda.

5. Backing plat

Backing plat dibuat dari baja press yang dibaut pada axle housing. Karena sepatu rem terikat pada backing plate, maka aksi daya pengereman tertumpu pada backing plate.

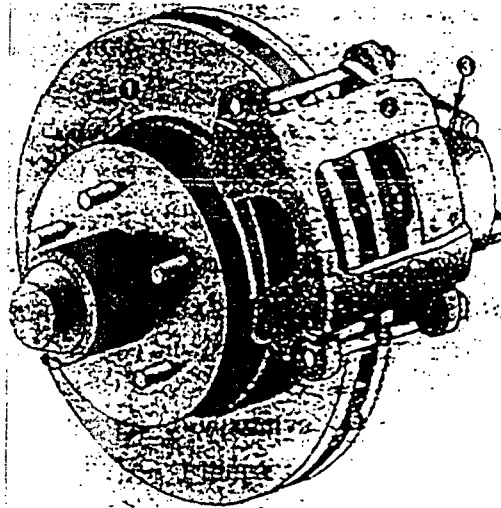
6. Silinder roda

Penerima tekanan dari sirkuit yang kemudian diteruskan untuk menekan sepatu rem ketika terjadi peningkatan tekanan.

3.1.2 Rem Cakram (*Disk Brake*)

Rem yang terdiri dari piringan dan kaliper yang umumnya bekerja dengan sistem hidrolis. Secara umum, sebuah piringan yang berputar dengan kecepatan sudut yang sama dengan putaran roda diapit oleh dua buah kanvas yang terletak di dalam kaliper. Sedangkan kaliper ini sendiri melekat pada bagian yang tetap. Ketika rem difungsikan maka fluida kerja menekan piston kaliper dan diteruskan ke pad sehingga piringan terjepit maka terjadi gesekan antara pad dan piringan.

Rem yang berbentuk piringan yang berputar sesuai dengan putaran roda dan pad yang berada dalam kaliper yang terikat dengan bagian yang tetap. kanvas umumnya berjumlah satu pasang. Penggunaan rem ini secara umum digunakan dari hasil penelitian para pakar pesawat terbang, rem cakram memberikan kemajaun yang lebih baik terutama jika dibutuhkan daya pengereman yang besar dibandingkan rem tromol. Untuk ukuran yang sama, rem ini memberikan keuntungan dengan adanya dua buah bidang gesek sehingga dapat mengurangi ukuran sepatu rem. Jenis rem ini dapat dengan mudah membuang panasnya.



Gambar 3.2 Rem Cakram

Keterangan gambar

1. Piringan.

Terbuat dari cor-coran, menyatu dengan roda oleh ikatan baut sehingga kecepatan sudutnya sama. Proses pengereman terjadi karena bagian ini dihimpit oleh kanvas rem.

2. Kaliper.

Penyangga kanvas rem. Elemen yang tidak ikut berputar dengan roda, terikat dengan bagian badan mobil.

3. Piston kaliper.

Bagian dalam dari kaliper, yang berfungsi untuk menekan kanvas rem ke arah piringan (cakram) seperti sepatu rem menekan ke arah tromol.

4. Kanvas rem.

Material yang memiliki koefisien gesekan yang besar yang akan menggesek bagian bidang piringan (cakram) ketika rem bekerja. Elemen ini terdiri atas

penyangga metalik dimana di atasnya menempel material berkoefisien gesek tinggi yang relatif lunak, umumnya terbuat dari serat metalik, oksida metal serta resin resin karet yang mengikat campuran material tersebut.

5. Batang penghubung.

Batang penghubung pada kaliper yang berfungsi untuk menggelincir ketika rem bekerja.

6. Ventilasi.

Beberapa piringan dari automobil perlu ventilasi. piringan tersebut terbagi atas dua bagian pada tebalnya dimana diantaranya terdapat sudu-sudu yang berfungsi untuk membuang panas akibat gesekan antara piringan dan kanvas.

Rem cakram terdiri atas sebuah disk plat yang terbuat dari besi cor-coran yang dijepit oleh lapisan rem dari dua sisi pada waktu pengereman. Keuntungan dari disk brake bebas dari pengaruh sentrifugal, air akan terlontar keluar akibat gaya sentrifugal, penggantian kampas rem mudah, pengereman yang stabil, radiasi panas yang baik. Adapun kelemahannya adalah ukuran silinder rem yang besar pada roda.

3.2 TITIK BERAT KENDARAAN

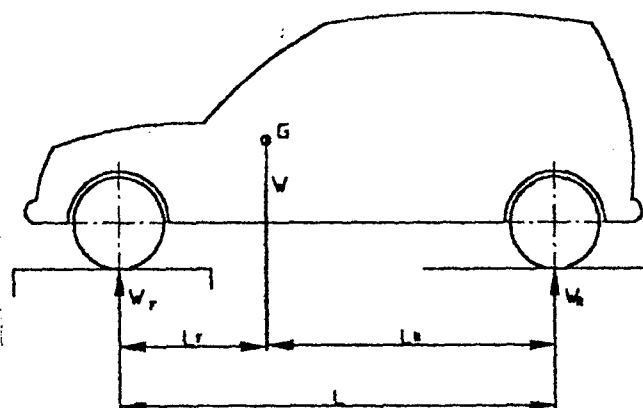
Letak titik berat kendaraan perlu diketahui karena letak titik berat sangat berpengaruh pada kestabilan kendaraan pada saat jalan. Selain itu, titik berat merupakan titik pembagian berat kendaraan ke roda bagian depan dan ke roda bagian belakang, sehingga hal ini sangat mempengaruhi analisa perpindahan beban kendaraan pada saat dilakukan pengereman.

3.2.1 Posisi Longitudinal

Posisi ini dapat dicari dengan cara:

- Memasukan dan menyusun elemen – elemen seperti jumlah orang, battery, motor listrik, gardan, ke dalam mobil sesuai yang direncanakan.
- Menimbang salah satu roda bagian depan atau belakang, dengan cara analisa momen sehingga dapat diperoleh posisi titik berat kendaraan tersebut.

Pada gambar 3.3 terlihat sebuah mobil ditimbang pada roda depan sehingga didapat berat yang ditumpu sumbu tersebut (W_F). bila diketahui jarak antara sumbu roda depan dan sumbu roda belakang kendaraan (L), maka dapat dicari letak berat kendaraan dengan mengambil penjumlahan momen di roda sumbu depan adalah nol.



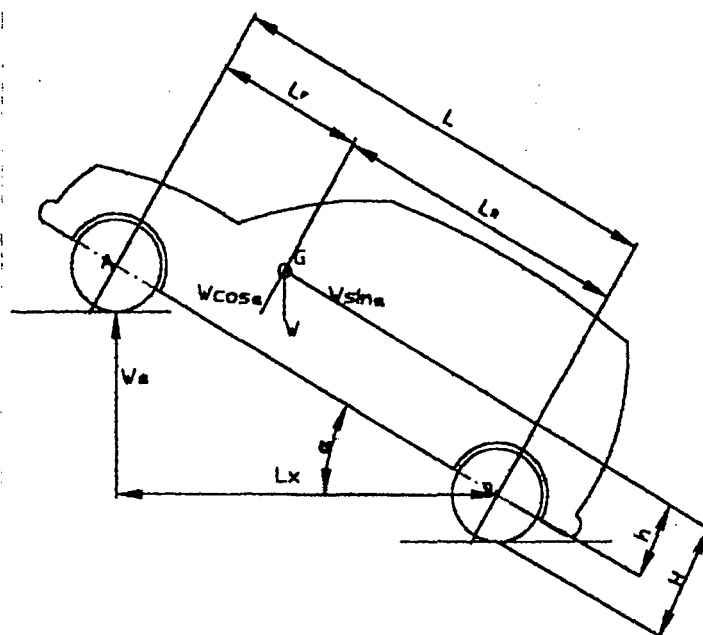
Gambar 3.3 Penimbangan Pada Salah Satu Sumbu Roda Mobil

$$\Sigma M_A = 0$$

$$W * L_F - W_R * L = 0$$

$$L_F = \frac{W_R * L}{W}$$

3.2.2 Posisi Miring



Gambar 3.4 Posisi Kendaraan Dimiringkan Dengan Sudut Tertentu Terhadap Bidang Datar

Secara sederhana bisa dicari dengan mengangkat roda depan atau roda belakang dengan membentuk sudut tertentu terhadap bidang datar seperti pada gambar 3.4

Momen terhadap sumbu belakang sama dengan nol maka diperoleh :

$$\Sigma M_B = 0$$

$$W_\alpha * L_X + W * \sin \alpha * h - W * \cos \alpha * L_R = 0$$

$$h = \frac{W * \cos \alpha * L_R - W_\alpha * L_X}{W * \sin \alpha}$$

Jadi ketinggian titik berat yang dihitung dari lantai ke pusat titik berat sebesar

$$H = h + R_{Ban}$$

Dimana: W = Gaya berat total kendaraan, N

W_α = Gaya berat pada sumbu depan setelah keadaan miring, N

W_F = Gaya berat pada sumbu roda depan, N

W_R = Gaya berat pada sumbu roda belakang, N

L = Jarak sumbu roda depan dan roda belakang, mm

L_X = Jarak antara gaya berat pada sumbu roda depan terhadap sumbu roda belakang, mm

L_F = Jarak titik berat kesumbu roda depan, mm

L_R = Jarak titik berat kesumbu roda belakang, mm

h = Tinggi titik berat dari sumbu ke pusat roda, mm

H = Tinggi titik berat dari aspal ke pusat, mm

α = Sudut kemiringan, °

R_{Ban} = Jari – jari ban mobil, mm

3.3 PRINSIP DASAR KINEMATIKA PARTIKEL

3.3.1 Gerak Lurus Dengan Kecepatan Konstan

Gerakan sebuah partikel atau benda dipercepat yang paling sederhana ialah gerak lurus dengan percepatan konstan, yaitu di mana kecepatan berubah teratur selama gerak berlangsung. Grafik kecepatan – waktu jadinya merupakan garis lurus seperti gambar 3.5, artinya besar pertambahan kecepatan rata-rata sama besar dalam selang waktu yang sama besar pula. Miring tali busur antara sembarang dua titik pada garis itu sama dengan miring garis singgung di sembarang titik dan percepatan rata-rata sama besar dengan percepatan sesaat. Maka percepatan konstan adalah:

$$a = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

Dimana: a = Percepatan konstan, mm/s²

V = Kecepatan sebuah partikel yang bergerak, mm/s

t = Waktu yang dibutuhkan sebuah partikel bergerak, s

sekarang misalkan $t_1 = 0$ dan t_2 sama dengan sembarang waktu t .

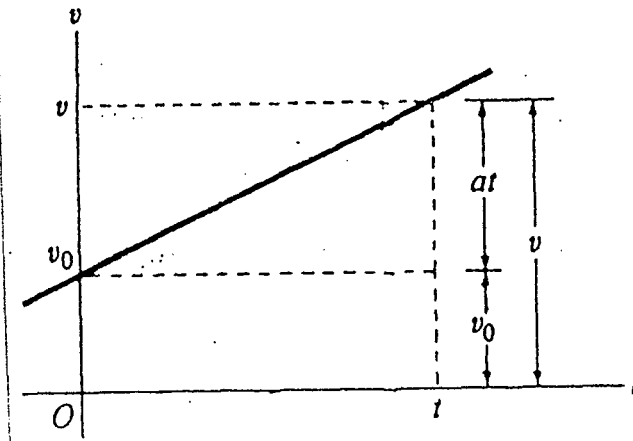
Selanjutnya V_0 ialah kecepatan pada saat $t=0$ (V_0 disebut kecepatan awal),

dan V ialah kecepatan pada waktu t , maka persamaan di atas menjadi

$$a = \frac{V - V_0}{t - 0}$$

(3-3)

$$V = V_0 + a * t$$



Gambar 3.5 Grafik Kecepatan Waktu Untuk Gerak Lurus
Dengan Percepatan Konstan

Persamaan ini dapat ditafsirkan sebagai berikut. Percepatan a itu ialah perubahan kecepatan rata-rata, atau perubahan per satuan waktu. Suku at ialah hasil kali perubahan kecepatan per satuan waktu, dengan lamanya selang waktu. Oleh karena itu at tersebut sama dengan kecepatan v_0 pada saat $t = 0$, ditambahkan dengan perubahan kecepatan at . Dalam grafik, ordinat v pada saat t (pada gambar 3.5), dapat dipandang sebagai jumlah dari dua buah segmen; yang satu panjang v_0 , sama dengan kecepatan awal, yang satu lagi panjang at , sama dengan perubahan kecepatan dalam waktu

Untuk menentukan perpindahan sebuah partikel yang bergerak dengan percepatan konstan, kita pergunakan fakta bahwa bila percepatan konstan dan grafik kecepatan waktu merupakan garis lurus, seperti pada gambar 3.5

Jadi kecepatan rata-rata antara nol dan t adalah

$$V = \frac{v_0 + v}{2} \quad (3-4)$$

$$X = V * t \quad (3-5)$$

Dimana V adalah kecepatan rata-rata. Jadi berdasarkan kedua persamaan (3-4) dan (3-5) adalah

$$X = \frac{V_0 + V}{2} * t \quad (3-6)$$

Jika ungkapan untuk V dalam persamaan (3-3) dimasukkan ke dalam persamaan (3-6), kita peroleh

$$X = \frac{V_0 + V_0 + at}{2} * t$$

$$X = V_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (3-7)$$

Bila harga t dicari berdasarkan persamaan 3-3 dan ini dimasukkan ke dalam persamaan 3-6, akan diperoleh

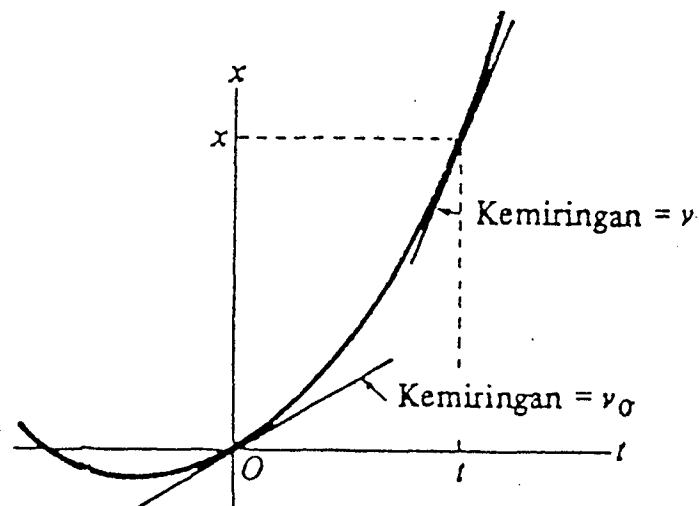
$$X = \frac{V_0 + V}{2} * \frac{V - V_0}{a}$$

$$V^2 = V_0^2 + 2 * a * X \quad (3.8)$$

Maka persamaan (3-3), (3-7), (3-8), ialah persamaan gerak dengan percepatan konstan, khusus untuk kejadian di mana partikel berada di titik pangkal pada saat $t = 0$.

Garis lengkung pada gambar 3.6 ialah grafik koordinat waktu untuk gerak dengan percepatan konstan. Artinya, garis lengkung itu ialah grafik persamaan (3-7).

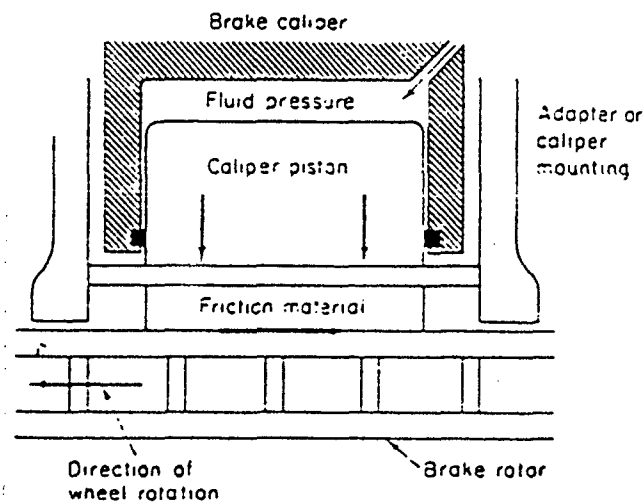
Garis lengkung itu berupa parabola. Miring garis singgung pada $t = 0$ sama dengan kecepatan awal V_0 dan miring garis singgung pada saat t sama dengan kecepatan V pada saat itu. Kelihatanlah bahwa miring terus bertambah, dan jika diukur akan menunjukkan bahwa cepat pertambahan konstan, maksudnya, percepatan konstan.



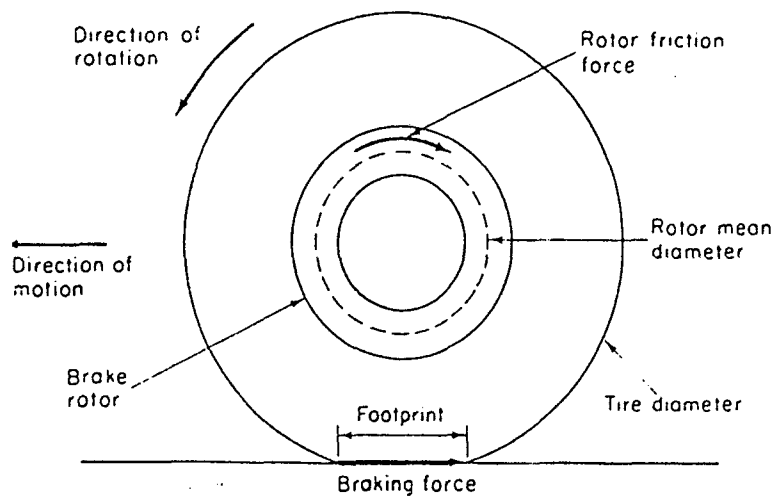
Gambar3.6 Grafik Koordinat – Waktu Untuk Gerak
Dengan Percepatan Konstan

3.4 PRINSIP DASAR Pengereman pada Rem cakram

Sistem rem yang digunakan pada rem depan dan belakang adalah rem piringan atau yang dikenal dengan rem cakram. Prinsip rem cakram ini adalah piringan menjadi satu dengan roda yang dijepit oleh dua buah kanvas rem sehingga bidang gesek yang terjadi pada kedua sisi piringan tadi.



Gambar 3.7 Skema Gaya – Gaya Pengereman Pada Rem cakram



Gambar 3.8 Gaya – Gaya Pengereman Ban Dan Cakram

Gaya yang bekerja untuk menurunkan kecepatan kendaraan terjadi pada telapak ban. Mengingat diameter cakram lebih kecil dari diameter ban, maka gaya gesek yang terjadi pada telapak ban hanyalah sebagian dari gaya gesek di cakram, dimana besarnya adalah sesuai dengan perbandingan diameter ban dan cakram.

Gaya pengereman (*braking force*) (F_{BF}):

$$F_{BF} = F_{KD} * \mu_{kanvas} * 2 \text{ bidang gesek} * \text{Faktor energisasi} * \frac{D_{Cakram}}{D_{Ban}}$$

Dimana ; F_{BF} = Gaya pengereman , N

μ_{kanvas} = Koefisien gesek kanvas dan piringan

D_{Cakram} = Diameter rata-rata piringan cakram, mm

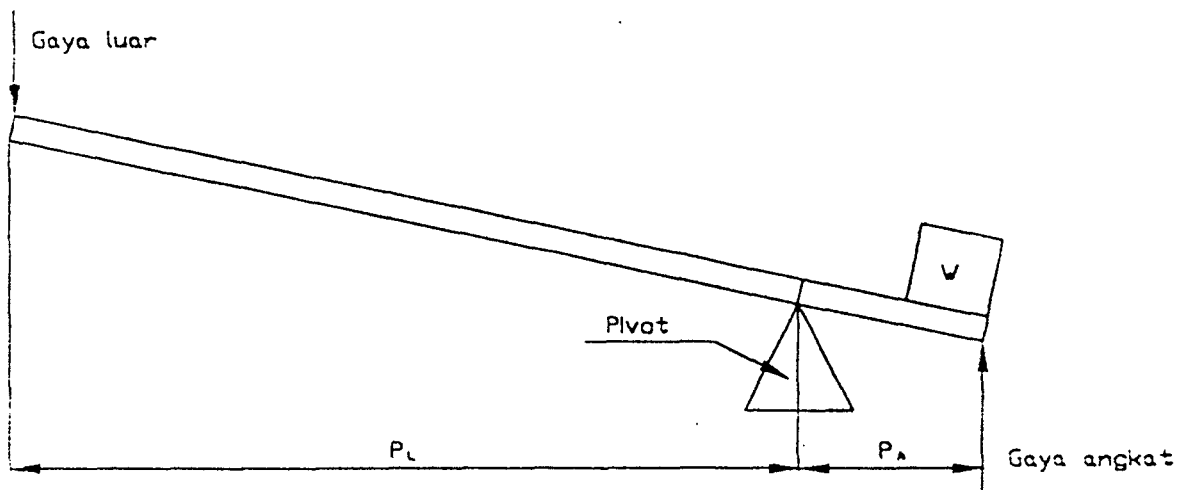
F_{KD} = Gaya tekan minyak rem terhadap piston kaliper, N

D_{Ban} = Diameter ban, mm

3.5 PRINSIP DASAR PENGUNGKIT MEKANIS DAN HIDROLIS

3.5.1 Prinsip Dasar Pengungkit Mekanis

Pada sistem pengereman, prinsip pengungkit mekanis di manfaatkan untuk meningkatkan gaya yang bekerja atau melipat gandakan gaya yang bekerja. Contoh prinsip pengungkit mekanis ini digunakan pada sistem pengereman mobil.

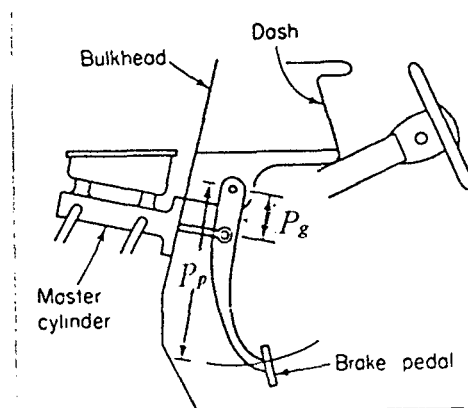


Gambar 3.9 Sistem Pengungkit Dapat Dimanfaatkan Untuk Menggandakan Gaya

$$\frac{\text{Gaya angkat}}{\text{Gaya luar}} = \frac{\text{Jarak pivot ke gaya luar } (P_L)}{\text{jarak pivot ke gaya angkat } (P_A)}$$

Pivot berada pada jarak (P_A) dari satu ujung batang dimana ada beban dan gaya luar bekerja pada ujung lain dari batang pada jarak (P_L) pivot. Dalam hal ini maka gaya luar yang bekerja akan mampu mengangkat beban yang beratnya lebih kecil dari P_L kali besar gaya luar tersebut.

Keuntungan mekanis yang bisa diperoleh adalah perbandingan panjang antara pedal ke pivot dibagi dengan pivot ke batang pendorong piston. Dalam hal ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 3.10 Sistem pengungkit Pada Pedal Rem Mobil

Dengan demikian gaya yang bekerja pada silinder dari master rem adalah sebesar gaya yang bekerja pada pedal rem dikalikan dengan keuntungan mekanis.

$$\text{Keuntungan mekanis} = \frac{\text{Panjang pedal } (P_p)}{\text{Pivot ke batan g } (P_g)}$$

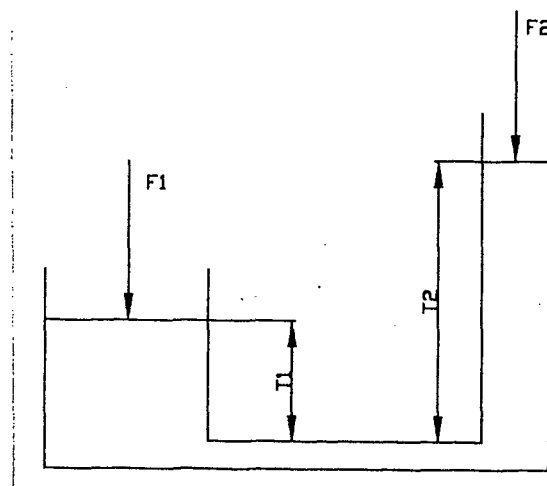
3.5.2 Prinsip Dasar Hidrolis

Untuk sistem hidrolis pada pengereman dengan rem cakram maka dapat dilihat perbandingan antara gaya dengan luasan dan perbandingan antara luasan dengan fluida yang dipindahkan, maka perumusan sebagai berikut :

$$\frac{Gaya_1}{Gaya_2} = \frac{Luasan_1}{Luasan_2}$$

$$\frac{Luasan_1}{Luasan_2} = \frac{Jarak Ketinggian_1}{Jarak Ketinggian_2}$$

Dari perumusan diatas akan tampak lebih jelas dengan melihat gambar dibawah ini:



Gambar 3.11 Piston kecil Berbeban Kecil Balance

Dengan Piston Besar Berbeban besar

Gaya yang bekerja pada piston kecil pada jarak ketinggian tertentu akan sama halnya dengan gaya yang bekerja pada piston besar pada jarak ketinggian tertentu juga, maka perumusannya sebagai berikut:

$$F_1 * T_1 = F_2 * T_2$$

$$F_1 = P_1 * A_1$$

$$F_2 = P_2 * A_2$$

Dimana :	F_1	= Gaya pada piston besar, N
	T_1	= Jarak ketinggian piston besar, mm
	F_2	= Gaya pada piston kecil, N
	T_2	= Jarak ketinggian piston kecil, mm
	A_1	= Luasan pada piston besar, mm ²
	A_2	= Luasan pada piston kecil, mm ²

Tekanannya sama pada sistem ini, $P_1 = P_2$, maka

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

3.5.2.1 Master Silinder

Silinder yang dipergunakan untuk memberikan tekanan pada minyak rem sehingga dapat mengalir dari *reservoir* ke *wheel* silinder. Master silinder dapat dibedakan menjadi:

- Tipe tunggal (*single type*).

Bagian piston yang meliputi:

- Piston dimana kepalanya berlubang untuk menyalurkan minyak rem.
- *Primary cup* adalah untuk mencegah kebocoran.
- *Return spring* adalah untuk mengembalikan piston ke posisi awal.
- *Boot* diperlukan untuk mencegah masuknya kotoran.
- Tangki penyimpanan.

- *Float* yang berfungsi menjaga minyak rem dalam tangki tidak kocak selama kendaraan berjalan

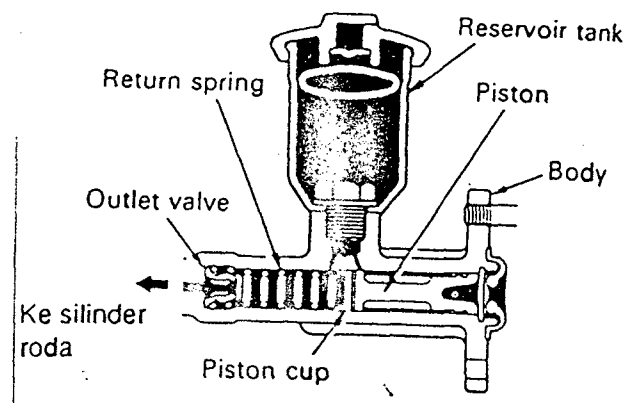
Cara kerja master silinder tipe ini adalah sebagai berikut

- Saat pedal rem ditekan

Piston maju mendorong minyak rem dan setelah piston cup melewati return atau port maka tekanan fluida naik dan tekanannya diteruskan oleh fluida rem ke setiap wheel silinder.

- Saat pedal rem dilepas

Piston didorong mundur oleh pegas sehingga ruang depan piston tekanannya menjadi rendah dan minyak rem dari belakang piston akan mengalir mengisi.



Gambar 3.12 Tipe Tunggal (*Single Type*)

- Tipe Ganda (*Tandem Type*).

Jika terjadi kerusakan pada master silinder tipe tunggal seperti diatas maka sistem rem tidak dapat dioperasikan sama sekali. Untuk menanggulangi hal tersebut maka dibuatlah master silinder tipe ganda (*tandem type*), sehingga apabila

salah satu mengalami kerusakan maka sistem rem dapat bekerja. Cara kerja sebagai berikut:

➤ Pada saat pedal rem ditekan.

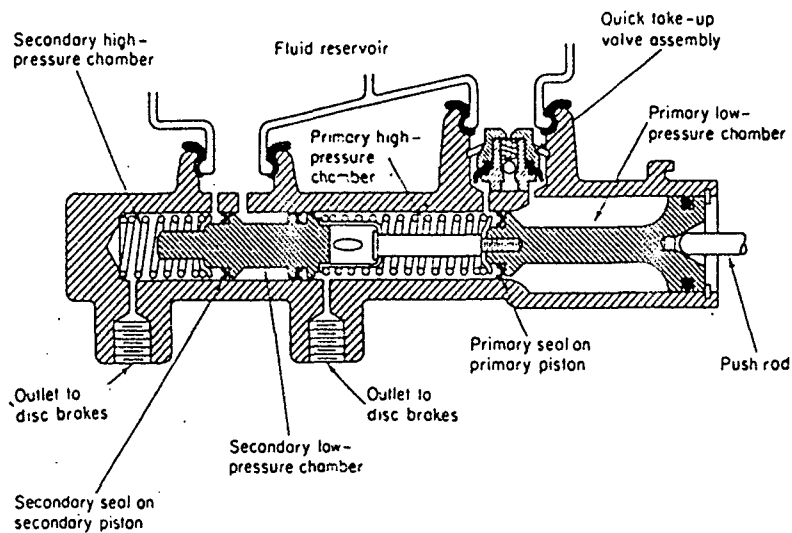
Push rod akan mendorong primary piston setelah piston melewati return spring tekanan fluida didepan akan naik, yang akan mendorong *secondary* piston sehingga secondary piston akan bekerja. Tekanan dari kedua piston tersebut akan diteruskan oleh fluida ke *wheel* silinder.

➤ Pada saat pedal rem dilepas

Kedua piston membuka terdorong mundur oleh pegas tekan sehingga ruang akan bertekanan rendah yang menyebabkan minyak rem di belakang piston akan mengalir mengisinya.

Dalam perencanaan ini dipilih tipe ganda (*tandem type*) sebab:

- Walaupun salah satu seal rusak, master silinder tetap dapat bekerja dengan baik.
- Bila salah satu sytem tidak bekerja, maka sytem lain akan tetap berfungsi dengan baik



Gambar 3.13 Tipe Ganda (*Tandem Type*)

Gaya pedal rem akibat dari keuntungan mekanis sebesar (F_{PEDAL}):

$$F_{\text{PEDAL}} = \text{Keuntungan mekanis} * F_{\text{KAKI}}$$

Luas penampang booster rem sebesar A_{Booster} :

$$A_{\text{Booster}} = \frac{\pi}{4} \cdot D_{\text{booster}}^2$$

Gaya pada booster (F_B) sebesar :

$$F_B = A_{\text{Booster}} \cdot P_{\text{vakum dalam master}}$$

Gaya dari master silinder (F_M) sebesar:

$$F_M = F_B + F_{\text{PEDAL}}$$

Tekanan pada master silinder sebesar :

$$P = \frac{F}{A}$$

$$P_M = \frac{4 * F_M}{\pi * D_M^2}$$

Dimana : P_M = Tekanan Yang bekerja pada master silinder, N/mm²

F_M = Gaya yang bekerja pada master silinder, N

F_B = Gaya yang bekerja pada booster, N

F_{KAKI} = Gaya tekan kaki, N

F_{PEDAL} = Gaya tekan pedal akibat dari keuntungan mekanis, N

D_M = Diameter master silinder, mm

3.5.2.2 Kaliper

Pada umumnya kaliper dari rem cakram terdiri atas rumah kaliper, sebuah piston atau lebih, paking pada piston pelindung debu dan dua buah kanvas. Rem dengan kaliper tetap memiliki 2 piston yang berhadapan yang masing –masing memiliki pad atau kanvas yang menekan piringan.

Panas yang dihasilkan ketika proses pengereman dilakukan secara terus menerus dan dengan kekuatan penuh akan mengurangi kemampuan pengereman, karena kanvas yang terlalu panas akan menurunkan kemampuannya. Selain itu minyak rem juga dapat meningkatkan suhunya sehingga mencapai temperatur didihnya. Akibatnya muncul uap minyak yang membuat vapor lock. Untuk mengatasi hal tersebut maka digunakan piston berongga agar memiliki daya desipasi panas yang lebih besar serta piringan yang berventilasi sehingga berfungsi kipas pendingin.

Piston kaliper umumnya dibuat dari baja yang dilapisi khromium agar terhindar dari korosi pada permukaannya. Material lain yang umumnya digunakan

adalah *compression-molded phenolic*. Piston *phenolic* memiliki bobot setengah dari piston baja. Piston *phenolik* merupakan material yang tahan korosi, kuat dan merupakan isolator yang baik sehingga panas yang terjadi karena gesekan kanvas rem tidak tertransfer ke minyak rem. Selain itu pada kaliper piston juga dapat digunakan bahan aluminium alloy.

Hampir semua dari kaliper memiliki paking piston yang melekat pada piston maupun rumahannya. Disainnya membutuhkan kepresisian yang tinggi agar umur paking dapat lama.

Pada sistem pengereman dengan menggunakan *hydroulik wheel brake* , dimana kanvas menekan piringan yang berputar bersamaan dengan roda. Menurut konstruksi tipe kaliper dapat dibedakan menjadi :

- Tipe *single caliper (single piston)*, yaitu sistem rem tipe piringan yang cara kerjanya hanya memakai satu piston. Penekanan piston atau kaliper hanya dilakukan pada satu arah saja sedangkan pada sisi yang lain dipasang kanvas yang stasioner.
- Tipe *fixed caliper (double piston)* yaitu sistem rem tipe piringan yang cara kerjanya dengan menggunakan dua buah piston untuk menjepit kanvas.

Dalam perencanaan ini dipilih type *single caliper (single piston)* karena

- Ukuran kaliper lebih kecil jika dibandingkan dengan type ganda, maka dalam pemasangannya tidak membutuhkan tempat yang besar.
- Biaya untuk menggantikan spare part lebih murah dan mudah jika terjadi kerusakan elemen-elemen kaliper tersebut.

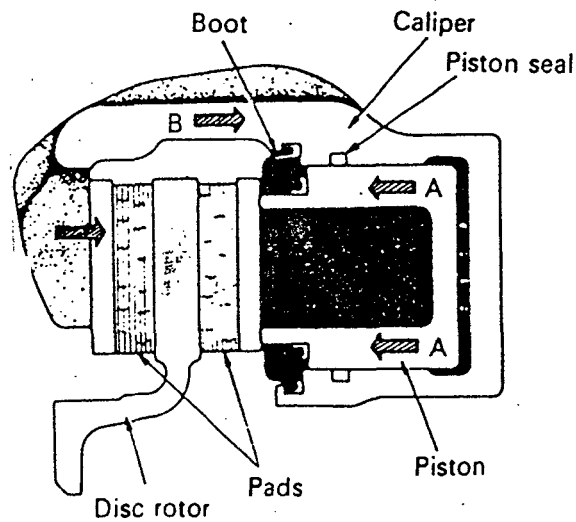
Gaya tekan yang terjadi pada kaliper terhadap kampas pada roda depan dan belakang sebesar:

$$F_{KD} = P_K * A_K$$

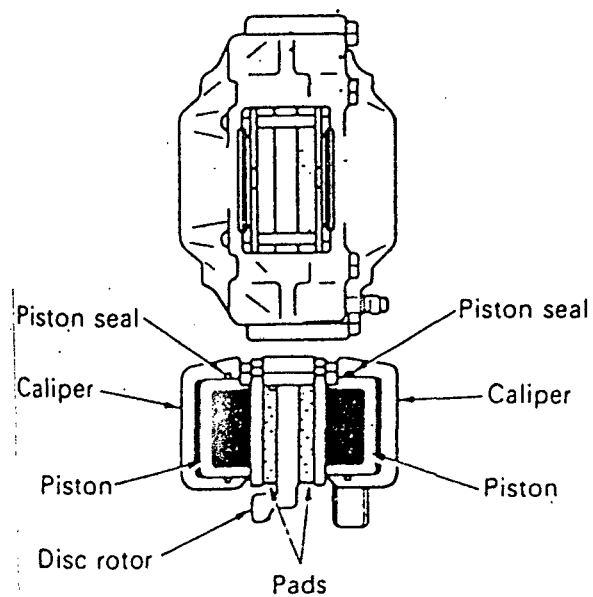
Dimana : P_K = Tekanan yang bekerja pada piston kaliper terhadap kampas rem, N/mm^2

F_{KD} = Gaya tekan yang bekerja pada piston kaliper terhadap kampas rem, N

A_K = Luasan piston kaliper, mm^2



Gambar 3.14 *Type Single Caliper (Single Piston)*



Gambar 3.15 *Type Fixed Caliper (Double Piston)*

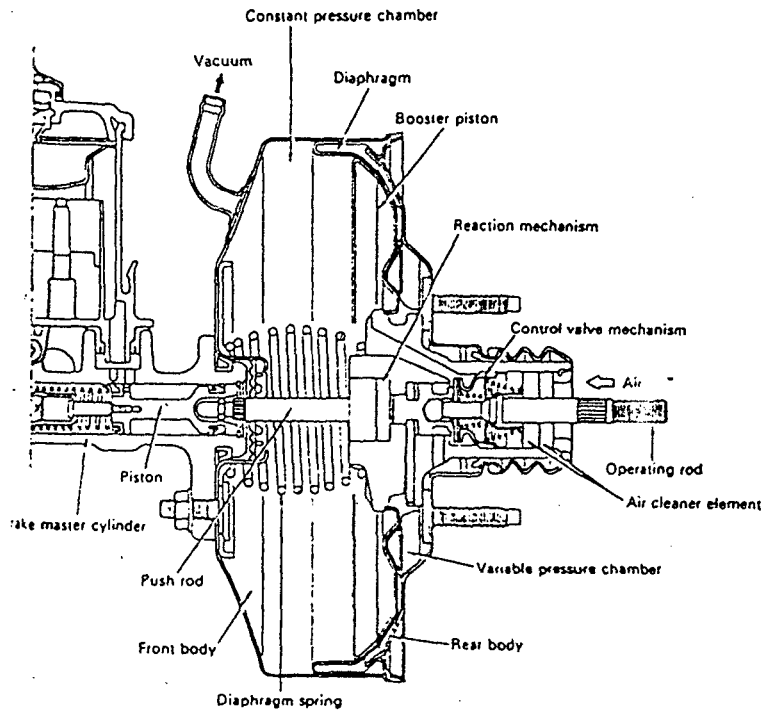
3.5.2.3 Boster Rem (*Brake Booster*)

Tenaga penekanan pada pedal rem dari seorang pengemudi tidak cukup kuat untuk segera dapat menghentikan kendaraan. Boster rem (*Brake booster*) dapat melipat gandakan daya penekanan pedal, sehingga daya pengereman yang lebih besar dapat diperoleh. Boster rem mempunyai diaphram (membran) yang bekerja dengan adanya perbedaan tekanan antara tekanan atmosfer dan kevakuman yang dihasilkan dari dalam intake manifold mesin. Master silinder dihubungkan dengan pedal dan membran untuk memperoleh daya pengereman yang besar dari gaya tekan pedal yang minimum.

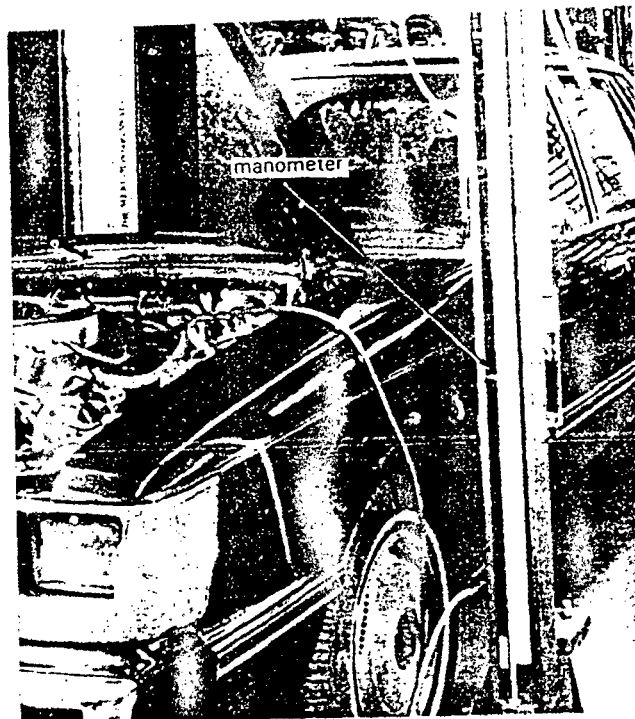
Untuk kendaraan yang digerakan oleh mesin disel, boster remnya diganti dengan pompa vakum karena kevakuman yang terjadi pada intake *manifold* pada mesin disel tidak cukup kuat

Boster rem terdiri dari rumah boster (*booster body*), piston boster, membran (*diaphragm*), reaction mekanism dan mekanisme katup pengontrol (*control valve mechanism*). *Booster body* dibagi menjadi bagian depan (ruang tekan tetap) dan ruang belakang (ruang tekan variasi), dan masing-masing ruang dibatasi dengan membran dan piston boster. Mekanis katup pengontrol (*control valve mechanism*) mengatur tekanan di dalam ruang tekan variasi (*variable pressure chamber*). Termasuk katup udara, katup vakum, katup pengontrol dan sebagainya yang berhubungan dengan pedal rem melalui batang penggerak katup (*valve operating rod*).

Untuk pengujian atau pengukuran dilakukan dengan cara menghubungkan *intake manifold* mesin dan alat pengukur kevakuman (manometer) dengan pipa fleksibel (*flexible pipe*). Setelah pipa fleksible dihubungkan, maka akan diperoleh nilai kevakuman yang ditunjukkan oleh jarum manometer setelah mesin dihidupkan.



Gambar 3.16 Boster Rem (*Brake Booster*)

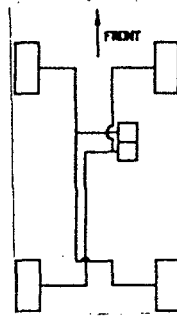


Gambar 3.17 Pengukuran Kevakuman Pada Kendaraan

3.6 SYSTEM BRAKE LINE PADA REM CAKRAM

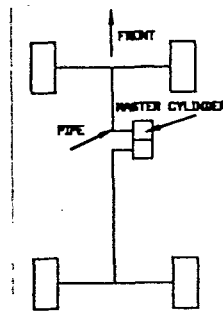
Model dasar dalam pemasangan *brake line* yang menghubungkan master silinder dengan satu *wheel* silinder untuk setiap roda yaitu :

➤ Model silang



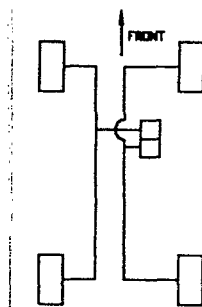
Gambar 3.18 Model silang

➤ Model depan – belakang



Gambar 3.19 Model depan – belakang

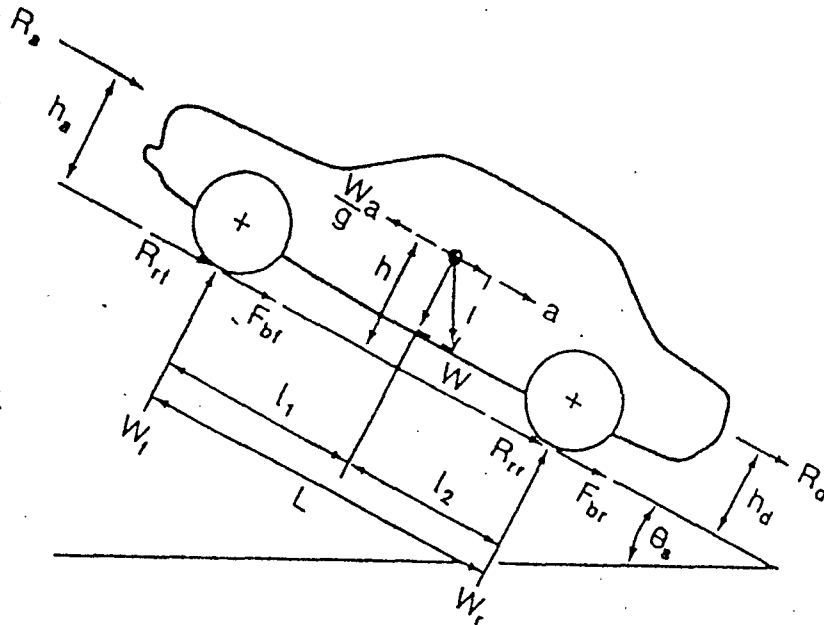
➤ Model kiri - kanan



Gambar 3.20 Model kiri – kanan

3.7 PRINSIP DASAR KENDARAAN DENGAN GERAK LURUS

Gaya-gaya luar yang bekerja pada saat pengereman dapat dilihat pada gambar 3.21



Gambar 3.21 Gaya-gaya yang bekerja pada kedua poros kendaraan

Gaya rem F_B ditimbulkan oleh sistem rem dan berkembang dibidang kontak antara ban dan jalan. Kalau gaya rem berada dibawah limit dari gaya adhesi antara ban dan jalan, maka gaya pengereman F_B dapat dirumuskan:

$$F_B = \frac{M_B - \sum I * \alpha_{AN}}{R_{BAN}}$$

Dimana : M_B = Torsi pengereman, Nmm

I = Momen inersi yang diperlambat, mm^4

α_{an} = perlambatan sudut

R_{BAN} = Jari-jari ban, mm

Selain gaya rem, *rolling resistance* dari ban, aerodynamic resistance, transmission resistance dan *grade resistance* adalah juga mempengaruhi gerak kendaraan pada waktu pengereman. Dengan demikian gaya resultan yang memperlambat F_{res} adalah:

$$F_{res} = F_B + f_r * W \cos \theta + R_a \pm W * \sin \theta + R_t$$

dimana : R_a = Tahanan aerodinamis, N

R_t = Tahanan transmisi, N

θ = sudut tanjakan, °

f_r = koefisien tahanan guling

W = Berat total kendaraan, N

Apabila kendaraan menanjak maka dipakai $-W * \sin \theta$ dan sebaliknya untuk kendaraan menurun. Umumnya tahanan transmisi sangat kecil sehingga dapat diabaikan.

Selama pengereman, terjadi perpindahan beban dari sumbu belakang ke sumbu depan kendaraan. Dengan memperhatikan keseimbangan momen melalui titik tumpu depan dan belakang, gaya normal didepan W_{Nf} dan di belakang W_{Nr} dapat dihitung sebagai berikut:

$$W_F = \frac{1}{L} \left[W * L_2 + H \left(\frac{W}{g} * a - R_a \pm W * \sin \alpha \right) \right]$$

$$W_R = \frac{1}{L} \left[W * L_2 - H \left(\frac{W}{g} * a - R_a \pm W * \sin \alpha \right) \right]$$

Dimana : W = Berat total kendaraan, N

$-W \sin \theta$ = Untuk kendaraan menanjak, N

$+W \sin \theta$ = Untuk kendaraan menurun, N

a = Perlambatan kendaraan, mm/s²

H = Tinggi pusat titik berat kendaraan, mm

L = Jarak antara sumbu roda depan dan roda belakang, mm

L_1 = Jarak titik berat total dari roda depan, mm

L_2 = Jarak titik berat total dari roda belakang, mm

Gaya rem maksimal yang dapat didukung oleh ban adalah ditentukan oleh koefisien gesek dan gaya normal pada ban. Untuk *four wheel brakes* (pengereman pada keempat roda) dengan menganggap gaya pengereman maksimum, $F_{Bmax} = \mu \cdot W$, maka didapat:

$$F_{BFmax} = \mu \cdot W_{Nr}$$

$$= \frac{\mu * W_N(L_2 + H(\mu + fr))}{L}$$

$$F_{BRmax} = \mu \cdot W_{Nf}$$

$$= \frac{\mu * W_N(L_1 - H(\mu + fr))}{L}$$

Dimana μ = koefisien adhesi antara ban dan jalan.

Perlu dicatat bahwa bila gaya-gaya rem mencapai harga maksimum maka ban berada pada situasi akan skid.

Setiap variasi yang ada akan mengakibatkan roda menjadi lock.

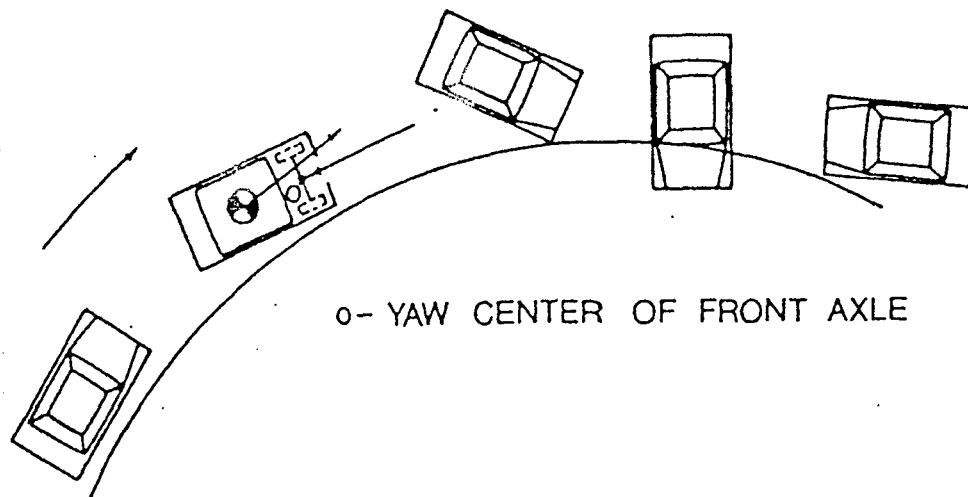
Perlu dianggap bahwa gaya pengereman yang timbul didepan dan dibelakang adalah merupakan fungsi dari sistem rem. Untuk situasi rem yang konvensional, distribusi gaya rem ke sumbu depan dan belakang tergantung pada tekanan atau pneumatis dari silinder rem.

Dari persamaan diatas terlihat bahwa bila gaya rem didepan dan dibelakang berbanding sama dengan perbandingan gaya normalnya, maka gaya maksimum pengereman didepan dan dibelakang akan terjadi pada waktu yang bersamaan.

$$\frac{K_{bf}}{K_{br}} = \frac{F_{bf \max}}{F_{br \max}} = \frac{L_2 + H(\mu + fr)}{L_1 - H(\mu + fr)}$$

Dimana : K_{bf}/K_{br} = Perbandingan gaya rem total didepan dan dibelakang.

Kalau roda belakang lock duluan, kendaraan akan kehilangan kestabilan dan perilaku kendaraan akan terlihat seperti pada gambar 3.18. Pada saat roda belakang lock, maka kemampuan roda untuk menahan gaya samping menjadi sangat kecil, sehingga jika ada gaya samping akan mengakibatkan yaw momen yang tak tertahan. Dengan putaran mobil bertambah maka momen bertambah dan akan menaikkan percepatan yaw. Jika putaran sudah mencapai 90° lengan momen berkurang dan akhirnya mencapai 180°.



Gambar 3.18 Kendaraan lock pada roda belakang

Jika roda depan lock duluan, akan menyebabkan kehilangan kontrol dan pengendara akan tidak mampu lagi menggunakan steer secara efektif. Pengontrolan kembali kendaraan pada kondisi ini adalah dilakukan dengan mengurangi pengereman sebagian atau seluruhnya.

Jika roda belakang lock, dimana kendaraan telah kehilangan kestabilan dan jika deviasinya sudah cukup besar maka sulit diatasi walaupun dengan mengurangi pengereman seluruhnya. Ini menunjukkan bahwa kendaraan dimana roda belakang lock duluan akan sangat berbahaya, khusus untuk gesekan ban dan jalan yang rendah karena gaya rem rendah maka energi kinetik akan berkurang secara perlahan dan kendaraan akan mengalami kestabilan yang serius.

Perlambatan kendaraan dalam unit gravitasi untuk roda depe lock dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\left(\frac{a}{g}\right)_F = \frac{\mu^* L_2 / L + K_{BF}^* f r}{K_{BF} - \mu^* H / L}$$

Dengan cara yang sama dapat ditunjukkan untuk perlambatan bila roda belakang lock duluan:

$$\left(\frac{a}{g}\right)_R = \frac{\mu^* L_1/L + (1 - K_{BF})^* fr}{(1 - K_{BF}) + \mu^* H/L}$$

3.8 PRINSIP DASAR JARAK HENTI AKIBAT Pengereman

Stopping distance adalah salah satu parameter laian yang digunakan secara luas untuk mengevaluasi kemampuan pengereman secara keseluruhan dari pada kendaraan. Untuk memperkirakan *stopping distance*, digunakan prinsip-prinsip dasar dalam dinamika.

Perumusan yang menghubungkan antara *stopping distance*, gaya pengereman, masa kendaraan dan kecepatan kendaraan dalam bentuk persamaan differensial adalah sebagai berikut:

$$a^* ds = \left(\frac{FB + \Sigma R}{\gamma^* W / g} \right) \quad (2.5)$$

dikarenakan pada saat pengereman dilakukan, kecenderungan pengereman adalah menginjak kopling sehingga menjadi netral, maka harga γ yang didekati dengan harga 1,04

persamaan (2.5) diatas dapat diintegrasikan untuk menghitung jarak henti (*stopping distance*) S dari kecepatan awal V_0 hingga kecepatan akhir V_1 , yang menghasilkan persamaan dibawah ini :

$$S = \int_{V_1}^{V_0} \frac{\gamma * W}{g} * \frac{V dV}{F_B + \Sigma R}$$

$$S = \frac{\gamma * W}{g} \int_{V_1}^{V_0} \frac{V dV}{F_B + f_r * \cos \theta \pm W \sin \theta + Ra}$$

$$Ra = \frac{\rho}{2} * Af * C_D * V^2$$

$$S = \frac{W}{2 * g * Cae} * \ln \left(1 + \frac{Cae * V^2}{\eta * \mu * W + f_r * W * \cos \theta \pm W \sin \theta} \right)$$

Dimana: ρ = Massa jenis udara, Kg/mm³

S = Jarak pengereman, mm

Ra = Hambatan aerodinamik, N

V = Kecepatan kendaraan, mm/s

$+W \sin \theta$ = Gaya untuk kondisi jalan menanjak, N

g = Percepatan gravitasi bumi, mm/s²

$$\eta = \frac{(a/g)}{\mu}$$

f_r = Koefisien hambatan rolling

C_D = Koefisien aerodinamik

μ = Koefisien gesek jalan dan ban

Af = Luasan frontal, mm²

3.9 DEFINISI BAN DAN FUNGSI BAN

Ban yang dimaksud disini merupakan elemen yang menghubungkan kendaraan dengan jalan, baik berfungsi untuk menimbulkan traksi (penimbul gerakan relatif antara kendaraan dengan jalan).

Walaupun fungsinya terlihat hanya sederhana saja sebagai penghubung tersebut, tetapi pada kenyataannya dengan kesalahan pemilihan dari pada ban akan berpengaruh pada kenyamanan, kemudi yang berat, umur kendaraan menjadi lebih pendek, bahkan bisa berakibat fatal bagi penumpangnya.

Adapun yang menyebutkan fungsi utama ban terperinci yaitu :

➤ Menampung beban

Ban harus memiliki ketahanan terhadap beban, yaitu menahan berat badan mobil dan muatan tanpa mengalami distorsi. Jadi materialnya harus tahan terhadap tarikan, tekukan, tekanan ataupun puntiran yang dapat terjadi saat akselerasi pengemudian maupun pengereman.

➤ Traction dan braking

Bahan maupun bentuk dari kembangan ban harus sedemikian rupa sehingga kemampuan terhadap traksi maupun pengereman baik, tidak terjadi slip. Karet harus memiliki koefisien gesek cukup tinggi.

➤ Mengurangi gaya karena benturan/shock dari permukaan jalan

Ban harus mampu meredam kejutan beban akibat dari ketidak rataan permukaan jalan ataupun getaran yang ditimbulkan oleh kendaraan. Hal ini berhubungan erat dengan kenyamanan.

➤ Menetapkan dan merubah arah

Ban harus menjamin kestabilan dari pada kendaraan tetapi juga mudah mengikuti perubahan arah sesuai dengan kehendak pengemudi.

Dalam hal ini ban harus mampu menerima beban yang arahnya dari samping atau beban lateral. Jadi jika ban tidak mampu menahan beban kearah lateral ini, maka kendaraan akan tetap melaju lurus walaupun arah ban dibelokan, atau dengan kata lain akan terjadi slip.

Selain yang telah disebutkan diatas, maka sebuah ban yang baik akan dapat memenuhi kriteria:

➤ Komsumsi tenaga yang rendah

Ban harus memiliki rooling resistance yang rendah sehingga kerugian energi dari motor penggerak sesedikit mungkin.

➤ Kebisikan rendah

Kantong udara dibuat sedemikian rupa sehingga suara bising yang ditimbulkan akibat gesekan bagian ban dengan jalan menjadi serendah mungkin.

➤ Larasimbang

Ban haruslah imbang secara statis maupun dinamis sehingga tidak menimbulkan gaya ke arah radial ketika berputar dengan cepat.

➤ Tahan lama, tahan abrasi, aman dan murah

Umur dari ban tergantung dari komposisi bahan baku serta aditive yang ditambahkan. Sebagai contoh, penambahan belerang yang dilakukan pada ban

merek Bridgestone membuat karet lebih elastis dan tahan terhadap suhu tinggi.