

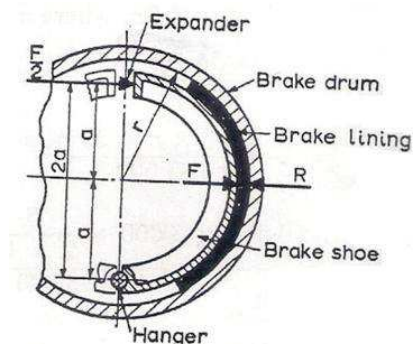
BAB II

PENDEKATAN PEMECAHAN MASALAH

A. Rem

Rem adalah suatu piranti untuk memperlambat atau menghentikan gerakan roda. Karena gerak roda diperlambat, secara otomatis gerak kendaraan menjadi lambat. Energi kinetik yang hilang diubah menjadi panas karena gesekan. Fungsi dari sistem rem adalah untuk memperlambat kecepatan atau menghentikan gerakan roda kendaraan, mengatur kecepatan selama berkendara dan menahan kendaraan saat parkir atau berhenti pada jalan yang menurun atau menanjak.

Upaya memperluas gaya pengereman F yang bekerja pada sepatu rem didapatkan dengan memindahkan tekanan sepatu ke arah luar dengan mekanisme ekspander untuk menekan bagian dalam dari rem tromol (gambar 1). Pada tiap sepatu ada gaya dari $\frac{F}{2}$ bekerja. Reaksi antara *lining* dan *drum* per sepatu (A. L. Martin: 1970).



Gambar 1. Rem Tromol (A. L. Martin: 1970)

$$R \times a = \frac{F}{2} \times 2a \dots \dots \dots (1)$$

$$R = \frac{F}{2} \times \frac{2a}{a} \dots \dots \dots (2)$$

Karena $R = F$

Untuk reaksi dua sepatu = $2 \times F$

Perlambatan gaya pada *drum* = $R \times \mu$

$$= 2F \times \mu$$

Torsi pengereman $T_F = 2 \times F \times \mu \times r \dots \dots \dots (3)$ (A. L. Martin: 1970)

R = gaya pada kampas rem (lbf)

a = Jarak pivot dengan penggerak (mm)

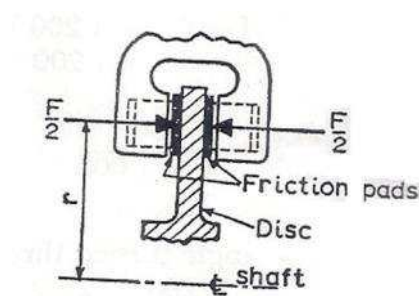
F = gaya pada kampas rem (lbf)

r = Diameter efektif kampas rem (inchi)

T_F = Torsi pengereman (lbf ft)

μ = Koefisien gesekan *lining* dengan tromol

Ini biasanya dikalikan dengan faktor servo di rem modern.



Gambar 2. Rem Piringan (A. L. Martin: 1970)

Pada rem cakram, kampas menekan pada setiap sisi disc yang berputar (gambar 2). Kampas ini dioperasikan oleh cairan hidrolis yang menerapkan gaya F ke kampas-kampas (*friction pad*).

Gaya pada kampas = gaya pada setiap kampas dikali jumlah kampas

Gaya gesekan pada *disc* = $F \times \mu$

Torsi pengereman $T_F = F \times \mu \times r$ (A. L. Martin: 1970)

Dimana r adalah diameter efektif dari kampas rem.

μ = Koefisien gesekan kampas dengan piringan

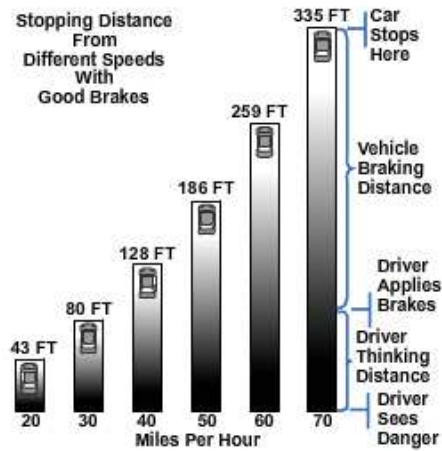
F = Gaya pada kampas rem (lbf)

r = Diameter efektif kampas rem (inchi)

T_F = Torsi Pengereman (lbf ft)

B. Jarak Kendaraan Berhenti

Reaksi *driver* adalah waktu antara operator memutuskan melakukan pengereman dan saat sistem rem diaktifkan. Selama itu *driver* berpikir tentang melakukan pengereman dan memindahkan kakinya untuk melakukan pengereman, kendaraan akan melaju pada jarak tertentu tergantung pada kecepatan kendaraan. Setelah pengereman dilakukan, kendaraan akan menempuh jarak tambahan sebelum kendaraan berhenti. Total jarak berhenti kendaraan merupakan total jarak yang ditempuh selama waktu *driver* bereaksi dan jarak di mana pengereman dilakukan sebelum kendaraan berhenti. Gambar 3 menunjukkan total jarak berhenti yang diperlukan di berbagai kecepatan kendaraan, dengan asumsi rata-rata waktu reaksi adalah 3/4 detik dan rem dalam kondisi baik dan diterapkan di kondisi jalan yang rata.



Gambar 3. Total jarak kendaraan berhenti rata-rata kendaraan. (Charles Lathan:1999)

C. Suhu Pengereman

Rem adalah perangkat yang mengubah energi kendaraan yang bergerak menjadi panas kapan pun rem diterapkan. Panas ini harus diserap dan dihilangkan oleh bagian-bagian rem. Kecuali jika panas terlalu cepat diproduksi, suhu komponen rem akan naik. Karena panas yang dihasilkan oleh aplikasi rem biasanya lebih besar daripada laju menghilangnya panas, hasil suhu rem tinggi. Biasanya, penggunaan rem diberi interval waktu untuk menghindari penumpukan panas. Namun, jika berhenti berulang kali dilakukan, suhu menjadi cukup tinggi untuk merusak lapisan rem, drum rem, dan minyak rem, dalam beberapa kasus ekstrim, bahkan ban dapat dibakar. Faktor-faktor yang cenderung meningkatkan suhu rem meliputi:

1. Muatan kendaraan
2. Penyalahgunaan *driver*
3. Kecepatan kendaraan
4. Ketidamampuan menggunakan rem

5. Pemasangan komponen rem yang salah
6. Pengereman tidak seimbang

Jika kecepatan meningkat atau banyaknya muatan yang ditempatkan di kendaraan, suhu rem akan meningkat. Bahkan, dalam kondisi ekstrem rem tidak seimbang pada *heavy truck* membuat pemberhentian darurat pada kecepatan tinggi, panas yang dihasilkan cukup untuk melelehkan kubus besi seberat 11,2 pound. (Charles Lathan:1999)

D. Rasio Pengereman

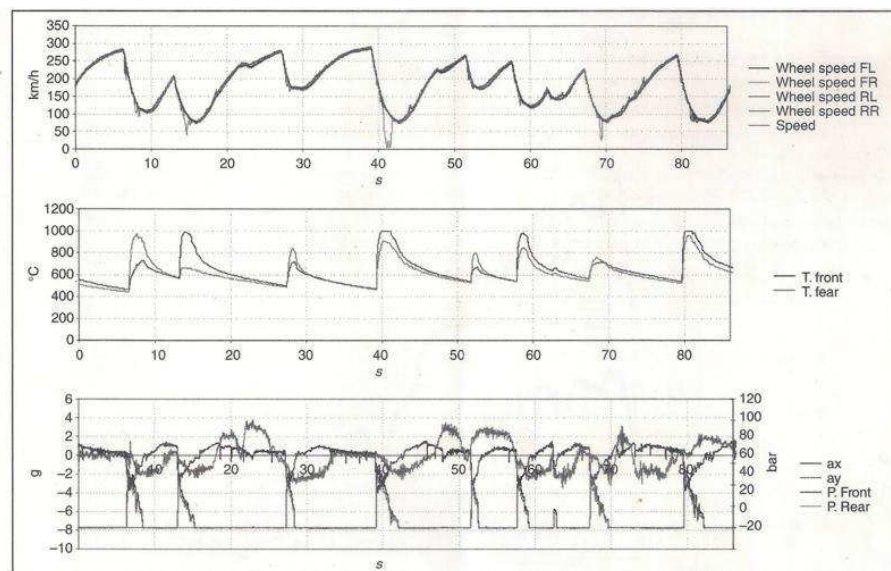
Rasio pengereman mengacu pada perbandingan upaya pengereman roda depan dan belakang. Ketika kendaraan berhenti, bobot kendaraan cenderung berpindah depan. Ban depan akan menempel di jalan dengan kekuatan yang lebih besar. Ban belakang kehilangan cengkraman pada jalan. Ini mengakibatkan roda depan melakukan lebih banyak pengereman daripada bagian belakang. Untuk alasan ini, banyak kendaraan memiliki rem cakram di bagian depan dan rem tromol di belakang. Rem cakram mampu menghasilkan lebih banyak gaya pengereman daripada rem tromol. Jika rem tromol digunakan pada keempat roda, lapisan sepatu rem dan tromol biasanya memiliki luas permukaan yang lebih besar. Biasanya, rem roda depan menangani hingga 60 persen dari daya pengereman pada kendaraan penggerak roda belakang dan hingga 80 persen pada kendaraan penggerak roda depan. Sedangkan roda belakang 20 hingga 40 persen dari pengereman. (Charles Lathan:1999)

E. Sistem Rem Mobil Balap

Sistem rem untuk mobil balap memiliki fitur khusus yang digunakan berdasarkan kinerjanya, kenyamanan dan penghematan biaya. Performa diperlukan untuk jenis sistem yang akan di ilustrasikan, diikuti oleh diagram struktural dan analisis setiap komponen. Dibawah ini akan dijelaskan bahan gesekan yang digunakan pada mobil balap, dengan referensi khusus untuk kampas berbahan karbon (Bert Breuer and Karlheinz H. Bill: 2008)

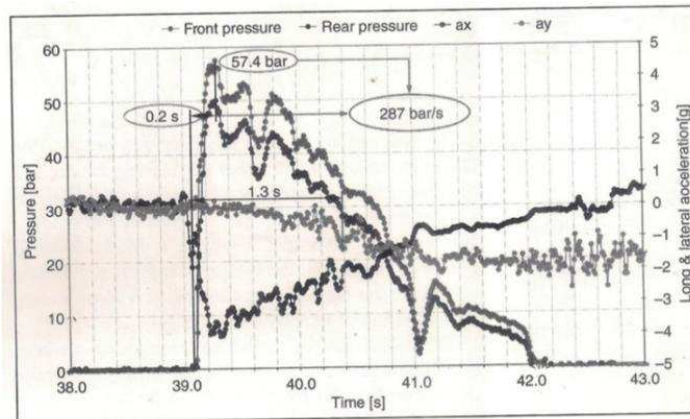
1. Performa Mobil Balap

Dengan menganalisis telemetri dari mobil formula 1 (F1) (gambar 4), dapat dilihat performa apa yang dibutuhkan oleh jenis sistem rem selama fase pengereman khusus. Khususnya, pengereman yang signifikan dan tidak terlalu agresif telah dipilih untuk berbagai aplikasi untuk kedua roda tertutup dan terbuka.

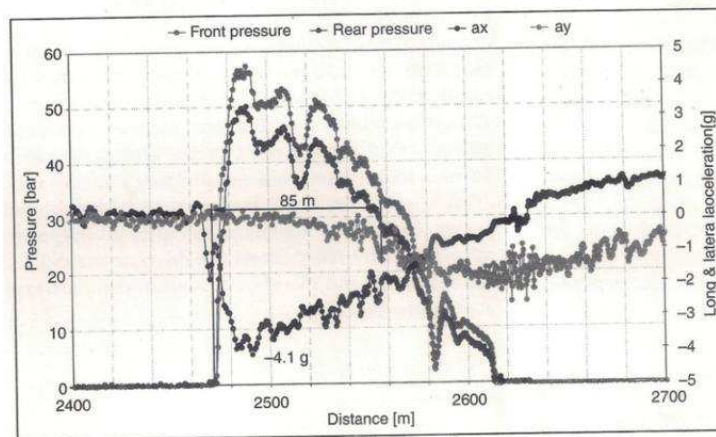


Gambar 4. Telemetri Mobil Balap
(Bert Breuer and Karlheinz H. Bill: 2008)

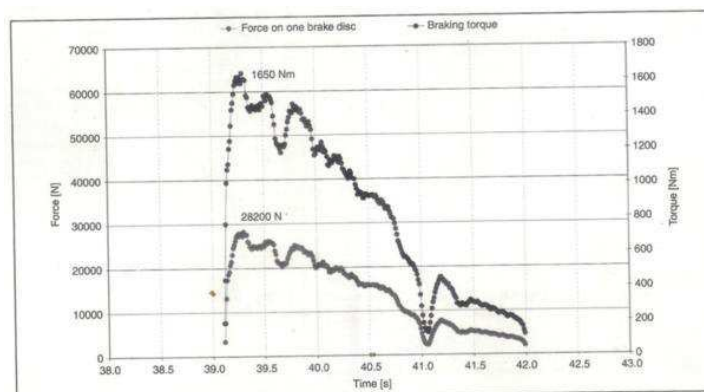
Gambar 5 dan gambar 6 menunjukkan pengukuran berikut: akselerasi longitudinal, akselerasi lateral, tekanan master silinder depan, dan tekanan master silinder belakang. Sebagai salah satu dapat diketahui, *driver* mulai pengereman 85 m sebelum kemudi mobil ke tikungan (titik ini didefinisikan oleh munculnya akselerasi lateral). Maka transisi dari 300 km/h hingga 100 km/h terjadi dalam 1,3 s, dengan perlambatan lebih dari 4 g. Untuk melakukan hal ini, sistem rem harus menghasilkan gradien tekanan lebih 4060 psi/s, dengan tekanan dalam sistem biasanya lebih 725 psi. Perhitungan torsi pengereman pada roda dan gaya melingkar bekerja pada rem cakram tunggal menggambarkan gaya yang selama ini terlibat dari jenis pengereman (gambar 7). Dalam kasus ini, 1650 Nm dapat dicapai, sesuai dengan tekanan sebesar 28.200 N pada permukaan gesekan *disc*. Selama detik kritis ini, *driver* harus mengatur beban pada pedal rem, mengurangi tindakan pengereman saat *downforce* menurun. Sambil mengontrol sistem yang mengelola tenaga yang cukup besar, *driver* harus mencoba untuk tidak mengubah keseimbangan mobil tiba-tiba untuk menghindari gangguan itu. Sebagai hasilnya, sistem rem harus cepat, *reactive*, dan mudah untuk memodulasi, dan menawarkan pengulangan yang lebih cepat. Ini memungkinkan pengemudi untuk mengantisipasi tahap berikutnya dan karena itu untuk memulai pengereman selalu pada titik yang sama.



Gambar 5. Typical berhenti-catatan waktu (Bert Breuer and Karlheinz H. Bill: 2008)

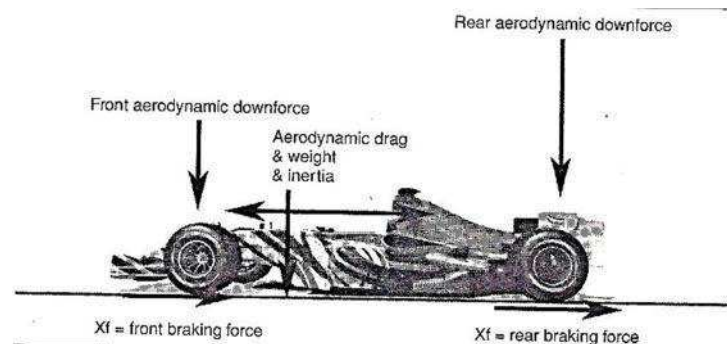


Gambar 6. Tekanan dan akselerasi lawan jarak (Bert Breuer and Karlheinz H. Bill: 2008)



Gambar 7. Torsi rem dan gaya pada satu rem cakram (Bert Breuer and Karlheinz H. Bill: 2008)

2. Garis Besar Pengereman Mobil Balap



Gambar 8. Mobil Balap
(Bert Breuer and Karlheinz H. Bill: 2008)

Seperti yang digambarkan dalam gambar 8, terdapat tiga gaya penting yang bekerja pada mobil saat *braking maneuver*. Yaitu gaya ini juga terdapat pada mobil kendaraan pada umumnya, namun karena nilai-nilai sangat rendah biasanya diabaikan. Namun, di dalam mobil balap 3 gaya tersebut (*downforce* aerodinamis depan dan belakang dan *drag* aerodinamis) memainkan peran utama dan sangat mempengaruhi manuver pengereman secara keseluruhan.

Semakin besar gaya total aerodinamis *downforce* pada mobil, semakin besar deselerasi dapat dicapai saat pengereman, sehingga harus tersedia sistem rem yang mampu menghasilkan torsi pengereman cukup pada ban, yang akhirnya diteruskan ke tanah (gaya pengereman depan dan belakang).

Parameter utama yang paling memerlukan adalah koefisien gesekan antara ban dengan tanah dan beberapa parameter aerodinamis. Asumsi yang disederhanakan akan menyederhanakan rumus yang jelas, salah satu diantaranya adalah drag aerodinamis diasumsikan nol.

Jika, mesin memberikan substansial “torsi negatif” selama *braking maneuver* yang ditingkatkan diporos belakang karena gearbox dan rasio final drive, gaya pengereman ini diasumsikan nol. Asumsi ini dapat ditoleransi karena rumus akhir dapat menjadi terlalu rumit ketika parameter bernilai, meskipun hasil akhir tidak akan berbeda secara signifikan.

Untuk memecahkan beberapa persamaan matematika, dapat di jelaskan untuk bagian depan yang ideal dan gaya pengereman belakang mobil dan,akhirnya untuk distribusi keseimbangan rem $F_{B,dist}$ pada mobil :

$$\begin{aligned}
 F_{B,f}(v, \mu) &= \mu \cdot m_v \cdot \left(\alpha + \frac{h_{CoG}}{l} \cdot \mu \right) \\
 &+ \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{9,81} \cdot A \cdot \mu \cdot \left(c_{L,f}(v) + \mu \right. \\
 &\quad \left. \times \frac{h_{CoG}}{l} \cdot c_L + \mu \cdot c_D \cdot \frac{h_{CoG}}{l} \right) \\
 F_{B,r}(v, \mu) &= \mu \cdot m_v \cdot \left(1 - \alpha - \frac{h_{CoG}}{l} \cdot \mu \right) \\
 &+ \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{9,81} \cdot A \cdot \mu \cdot \left(c_{L,r}(v) - \mu \right. \\
 &\quad \left. \times \frac{h_{CoG}}{l} \cdot c_L - \mu \cdot c_D \cdot \frac{h_{CoG}}{l} \right) \\
 F_{B,dist}(v, \mu) &= \frac{F_{B,f}(v, \mu)}{F_{B,f}(v, \mu) + F_{B,r}(v, \mu)}
 \end{aligned}$$

(Bert Breuer and Karlheinz H. Bill: 2008)

Tiga persamaan ini memberikan gaya pengereman depan dan belakang bahwa mobil dapat menekan kuat pada tanah dan, lebih penting lagi, distribusi kekuatan rem mencapai kondisi ideal mobil. Ketiga

persamaan tersebut bergantung pada kecepatan dan gesekan. Contoh numerik dari mobil F1 beberapa tahun yang lalu (*old*) menunjukkan “nilai-nilai konstan yang khas”

$$\mu = 1.5 \text{ gesekan ban}$$

(Gesekan ban jelas tidak konstan. Itu tergantung pada suhu ban, kecepatan putaran roda, dan beban ban keseluruhan. Namun, hal itu dapat dianggap konstan untuk alasan kesederhanaan.)

$m_v = 600$ kg massa kendaraan (termasuk sopir, kondisi kosong)

$\alpha = 0.42$ distribusi berat depan

$h_{CoG} = 285$ mm tinggi mobil dari CG (*Center of Gravity*)

$l = 2955$ mm *wheelbase* mobil

$\rho = 1,255$ kg/m³ kerapatan udara (lagi, kerapatan udara tidak konstan.

Misalnya, itu tergantung pada suhu udara tetapi dapat diasumsikan konstan)

$A = 1.45$ m² daerah frontal mobil (perhitungan aerodinamis *downforce*)

$CL = 2.4$ total daya angkat koefisien mobil (jumlah koefisien *downforce*)

(nilai ini tidak konstan; itu tergantung pada kenaikan ketinggian mobil, yang tergantung pada faktor-faktor lain, kecepatan mobil.)

$Aero(v) = K_1 v^2 + K_2 v + K_3$ keseimbangan aero mobil, rasio antara *downforce* depan dan total *downforce* mobil. (dalam perkiraan pertama, dapat dihitung dengan $K_1 = 0$, $K_2 = 0$, dan $K_3 = 35\%$)

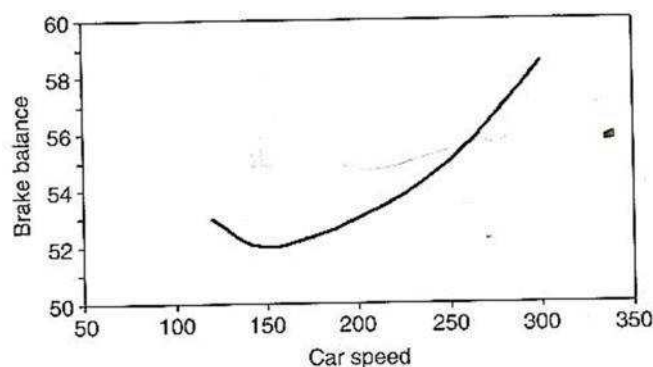
$CL.f = Aero(v) \cdot CL$ total angkatan depan mobil (total koefisien *downforce* depan)

$CL.r = [1 - Aero(v)] \cdot CL$ total angkatan belakang mobil (total koefisien *downforce* belakang)

$CD = 0.98$ total koefisien drag mobil

$v = 300 \text{ km/h}$, 120 km/h kecepatan mobil awal dan akhir

Akhirnya, nilai-nilai dari distribusi gaya rem terhadap variasi kecepatan mobil dapat digambarkan sebagaimana grafik pada gambar 8.



Gambar 9. Keseimbangan distribusi pengereman ideal untuk mobil F1 (Bert Breuer and Karlheinz H. Bill: 2008)

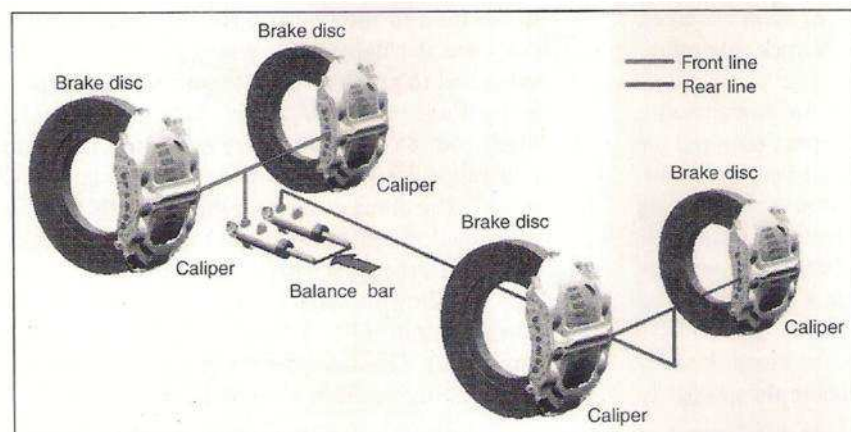
Mobil F1 membutuhkan keseimbangan gaya pengereman antara depan dan belakang yang secara teoritis tidak konstan (gambar 9). Rasio perubahan gaya pengereman depan dan belakang saat pengereman manuver. Gaya pengereman depan lebih diperlukan pada kecepatan tinggi (stabilitas mobil) dan gaya pengereman depan yang rendah diperlukan pada kecepatan rendah (masalah penguncian roda depan).

Untuk lebih jelasnya rumus yang lebih kompleks mempertimbangkan perhitungan sifat ban (gesekan tidak konstant) atau data aerodinamis nyata dari mobil (tergantung kecepatan) atau geometri

suspensi mobil (efek *anti-dive*) dan perubahan dari ketinggian pusat gravitasi dan *wheelbase* karena variasi beban.

Dapat dinyatakan bahwa dalam mobil F1 tidak dapat dianggap benar-benar tetap atau konstan karena mobil tidak pernah dalam kondisi stabil tapi selalu dalam satu transien. Kecenderungan umum keseimbangan rem depan ke belakang bahwa kecepatan tergantung telah dikonfirmasi oleh pengujian trek selama 10 tahun terakhir. Jelas bahwa untuk mengoptimalkan kinerja pengereman, sistem pengereman harus memungkinkan kontrol distribusi kekuatan rem antara depan dan poros roda belakang saat deselerasi. Di masa lalu ini dicapai dengan menggunakan katup elektronik dan kontrol elektronik sebagai bagian sistem pengereman. Sebenarnya aturan FIA (*Federation Internationale de l'Automobile*) mencegah penggunaan sistem yang sama dan sistem rem sangat banyak “disederhanakan”, menjadi sistem berikut.

F. Sistem Rem



Gambar 10. Konfigurasi Sistem Rem
(Bert Breuer and Karlheinz H. Bill: 2008)

Gambar 10 mendeskripsikan konfigurasi sistem rem. Pengemudi mendorong pedal rem, mendorong dua master silinder depan dan belakang, yang menghasilkan tekanan dalam sistem. Dalam banyak kasus, peraturan tidak memungkinkan penggunaan perangkat seperti servo rem (penguat) atau sistem ABS (*Anti-lock Braking System*), yang dipasang dalam mobil jalanan performa tinggi berasal dari produksi massal (misalnya, *Ferrari Challenge*) dan sehingga pengemudi hanya mengandalkan kekuatan otot untuk gaya pengereman.

Dalam diagram yang ditampilkan disini, dua master silinder terhubung melalui linkage kinematik, yang dikenal sebagai “*balancer bar*”, yang dapat mendistribusikan kekuatan yang diteruskan oleh pedal ke *push rod* dari dua master silinder dalam bagian yang berubah-ubah. Pedal bekerja sebagai tuas, meningkatkan gaya yang diterapkan oleh pengemudi. Rasio pedal, biasanya antara 3:1 dan 6:1, dan pemilihan diameter master silinder pasti mempengaruhi pedal rem pengemudi merasa dalam hal gaya yang diterapkan dan karena sensitifitas rem mereka.

Dalam banyak kasus, master silinder rem dialiri oleh dua reservoir yang terpisah. Garis hidrolis mulai awal dari master silinder yang khusus untuk dua poros roda, dan terdiri dari sebagian pipa kaku dan sebagian pipa fleksibel berukuran 2 mm hingga diameter 3 mm. Pipa ini berakhir pada kaliper rem. Kaliper jelas memainkan peran dasar dalam sistem rem, sehingga harus ringan karena menambah berat massa *unsprung*; dan kaku, sehingga tidak mudah deformasi, sehingga kerja cairan di bawah tekanan digunakan untuk

menghasilkan tenaga pengereman bukan untuk deformasi kaliper. Sistem rem harus menjamin dapat melindungi minyak rem dari suhu tinggi yang disebabkan oleh gesekan antara kampas dan piringan. Akhirnya, ia harus dapat menjamin tingkat keselamatan yang tinggi dengan memungkinkan mudah mengeluarkan udara.

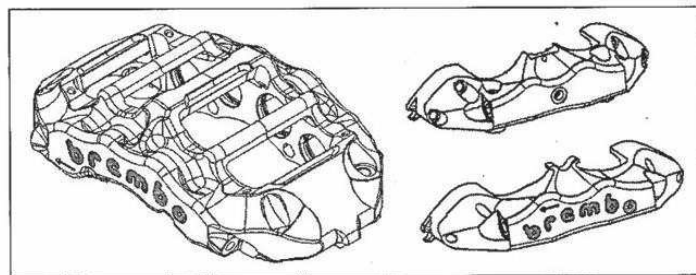
Piringan rem biasanya bukan merupakan bagian yang tidak terpisah, seperti pada mobil standar jalan, tetapi terdiri dari permukaan pengereman dan *bell*, yang mewakili unsur penggerak piringan. Hal itu dijelaskan dimana tekanan gradien pada sistem rem mobil balap diaplikasikan. Dengan keterbatasan desain seperti itu, jelas penting untuk mengetahui dan mempertimbangkan penundaan dan ketinggalan waktu antara selang hidrolis belakang dan depan.

Mengoptimalkan struktur pipa dan alat kelengkapan berarti mengurangi kerugian beban minimum, serta mengendalikan mereka untuk menjamin reaksi dinamis yang memadai dari sistem rem pada dua poros roda. Rekayasa selang hidrolis tidak hanya dengan tes dinamis- statis tertentu tetapi juga dengan model matematik yang juga mengintegrasikan komponen sistem rem, master silinder, dan kaliper, yang dikembangkan menggunakan instrumen *Matlab*® dan *Simulink*®.

1. Kaliper Rem

Kaliper rem untuk mobil balap hampir selalu kaku, yang berarti bahwa melakukan perakitan *disc-bell floating* membutuhkan tambahan jarak ruangan.

Dua persyaratan mendasar digabungkan dalam kaliper rem balap: kekakuan, yang sangat penting untuk memperoleh *stroke* pedal bahkan lebih pendek, dan ringan, merupakan elemen penting pada mobil dimana distribusi massa mempengaruhi kinerja secara signifikan. Kedua aspek juga tergantung pada aturan setiap kejuaraan, yang sering memberi batasan pada sistem rem dalam hal struktur dan material yang digunakan misalnya, di kejuaraan F1 bahan yang digunakan untuk pembuatan kaliper rem harus memiliki modulus elastisitas kurang dari 80 Gpa; ini memerlukan paduan dengan kekakuan bahkan lebih dekat ke batas ini tetapi dengan kemungkinan berat tertentu serendah mungkin.



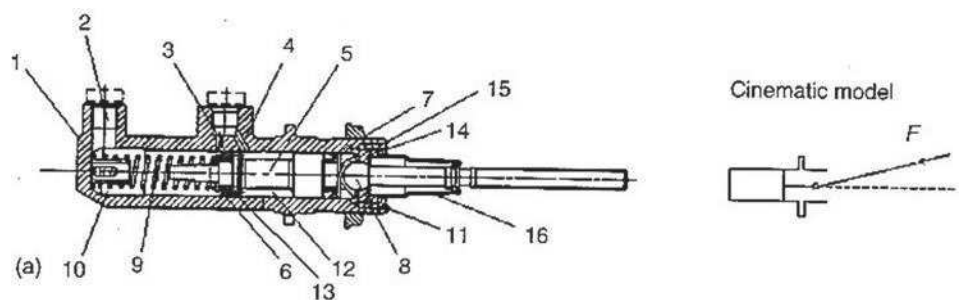
Gambar 11. Monobloc dan dua potong caliper
(Bert Breuer and Karlheinz H. Bill: 2008)

Kaliper terdiri dari :

- a. *Caliper body*. *Monobloc* ini biasanya, berasal dari *billet* atau penempaan, atau dua bagian, yang biasanya dibuat mesin dari *billet* aluminium (gambar 11). Perlakuan pada permukaan bodi kaliper dimaksudkan untuk meningkatkan tingkat kekerasan (pewarnaan keras atau plating nikel) untuk membuatnya lebih tahan terhadap tabrakan dengan pelek roda selama perubahan roda atau kerusakan yang disebabkan oleh benda asing (*stones, rubble*, dan sebagainya).

- b. Piston. Terbuat dari alumunium dan dilakukan perlakuan pada permukaan berupa pewarnaan, lengkap dengan menambahkan titanium yang memisahkan mereka dari panas yang berasal dari pad.
- c. Pipa pembagi. Biasanya terbuat dari stainless steel, memungkinkan fluida untuk mencapai sisi kaliper berlawanan sisi inlet.
- d. *Seals*. *Seals* ini sangat penting untuk menjamin sistem hidrolis pada suhu tinggi dan untuk mengendalikan piston dinamis (*roll- back*). Pada kenyataannya, jika *seals* rusak piston tidak memungkinkan untuk kembali ke posisi semula, mungkin ada sisa torsi antara kampas dan *disk*, dan jika piston kembali terlalu banyak, pengemudi akan merasakan terjadinya perpanjangan travel pedal.
- e. *Bleed screws*. Ini memungkinkan seseorang untuk mengeluarkan udara pada sistem, menghilangkan gelembung udara di kaliper.

2. Master Silinder



Gambar 12. Komponen dasar master silinder (Bert Breuer and Karlheinz H. Bill: 2008)

Berikut ini adalah komponen dasar dari master silinder (gambar 12):

a. Bodi master silinder

Bodi (1) Terbuat dari alumunium untuk casting atau molding, atau kadang-kadang berasal dari blok yang solid, bodi ini memiliki lubang tekanan untuk memberikan tekanan fluida pada pipa-pipa di sirkuit hidrolis (2), dua lubang kecil yang terhubung ke tangki fluida, yang disebut lubang penyuplai (3) dan lubang penyeimbang (4). Seluruh bodi master silinder dilakukan perlakuan permukaan pengerasan yang dikenal sebagai oksidasi keras. Permukaan silinder, di mana piston (atau *floating piston*, 5) meluncur, adalah pada pemakaian, sehingga mengalami *finishing* permukaan yang akurat (*lapping*).

b. *Floater*.

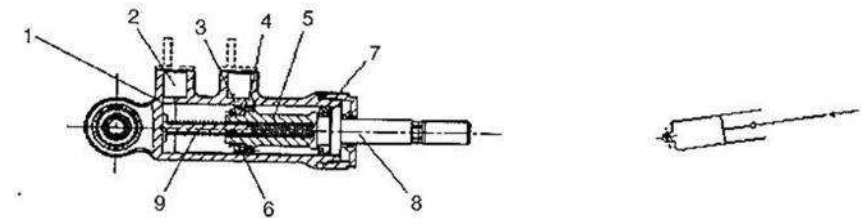
Ini dibuat untuk mengubah sebuah batang alumunium, dengan *housing* untuk dua *seals* yang disebut primer (6) dan *seals* sekunder (7). Selain *housing* bagi bola *push-rod* (8), bahkan bagian yang mengambang, sehingga dilakukan perlakuan permukaan oksidasi keras dan *finishing by lapping*.

c. *Push-rod*

Push rod (8) Elemen penting ini digunakan untuk meneruskan dorongan dari pedal rem untuk *floater* tersebut. Koneksi dengan *floater* adalah *spherical* dan memungkinkan sumbu *push-rod* untuk membentuk sudut tertentu dengan sumbu *floater*. Sudut ini diperlukan untuk mengikuti lengkungan yang dibuat oleh pedal rem selama pengoperasian.

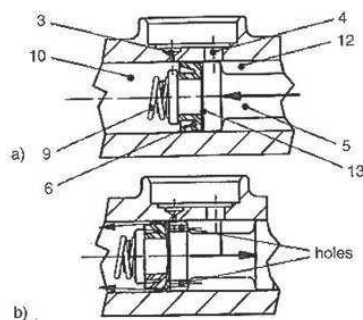
d. *Spring*

Spring (9) Ini diperlukan untuk mengembalikan *float* ke posisi semula ketika kontrol berhenti.



Gambar 13. Desain master silinder tumpuan depan
(Bert Breuer and Karlheinz H. Bill: 2008)

Desain yang ditunjukkan pada gambar 11 adalah bukan satu-satunya untuk master silinder sistem rem. Lebih desain baru (gambar 13) memastikan tidak ada derajat putaran bebas antara *push-rod* dan *float*. Namun, apa yang diperbolehkan dalam master silinder (gambar 12) dengan kontak *spherical* (8) disini diwujudkan oleh seluruh bodi master silinder yang berputar disekitar poros bola di bagian belakang untuk mengikuti lengkungan yang dibuat oleh pedal selama langkahnya. Keuntungan dari desain kedua adalah bahwa semua gaya yang diteruskan oleh pedal ke *push-rod* digunakan untuk membuat tekanan dalam ruangan. Namun, dalam desain bagian pertama dari gaya yang terbuang, seperti yang ditunjukkan oleh model kinematik.



Gambar 14. Cara kerja sil utama (Bert Breuer and Karlheinz H. Bill: 2008)

Gambar 14 mengacu pada desain tradisional (gambar 12) sebuah master silinder dirancang untuk sistem rem balap bekerja dengan cara berikut: ketika kontrol tidak meneruskan tenaga untuk *push-rod*, *float*er ini terletak di posisi semula. Di keadaan ini, area silinder antara bagian untuk pengiriman cairan ke sirkuit dan *seals float*er utama, yang dikenal sebagai ruang tekanan (10) dan yang berisi *spring*, fluida yang terhubung ke tangki melalui lubang pemberi. Fluida pada sistem berada di bawah tekanan atmosfer baik ditangki dan di ruangan.

Dengan *float*er di posisi semula, ada jarak tertentu antara tepi atas *seals* utama dan lubang pemberi. Jarak ini dikenal sebagai *idle stroke*, atau gerak bebas, dan memastikan bahwa kondisi ini tangki fluida benar-benar berhubungan dengan ruang tekanan. Gerak bebas dapat diatur menggunakan ring ulir (11 pada gambar 12) yang terletak di dekat kontak *spherical* antara *push-rod* dan *float*er. Rotasi ring ini memungkinkan pemindahan dari seluruh kelompok dan karena regulasi ruang antara *seals* utama dan lubang pemberi.

Ketika *push-rod* diaktifkan oleh kontrol, hal ini memaksa *floaters* meluncur ke *housing* silinder dari bodi master silinder. Gerakan *floaters* ini terutama berfungsi untuk memulihkan langkah bebas (dalam fase ini, tekanan masih tekanan atmosfer yang sama dan beberapa cairan mengalir kembali dari ruang tekanan ke tangki). *Seals* utama terpasang juga pada blok berlubang pemberi dan mengirimkan pengiriman cairan yang diperlukan untuk rangkaian dalam mengatasi jarak yang tidak dapat dihindari antara piston kaliper dan kampas, dan antara yang terakhir dan permukaan piringan. Dari saat ini, semua gaya yang bekerja pada *floaters* membantu meningkatkan tekanan fluida di dalam ruang tekanan dan karenanya seluruh sirkuit hidrolis.

Area pusat *floaters*, yang terletak diantara dua *seals*, memiliki diameter lebih kecil dari rongga silinder dari bodi master silinder dan membentuk sebuah area yang disebut ruang penyeimbang (12), yang terhubung ke tangki melalui lubang penyeimbang untuk seluruh durasi langkah *floaters*, sehingga cairan di dalam selalu dalam tekanan atmosfer.

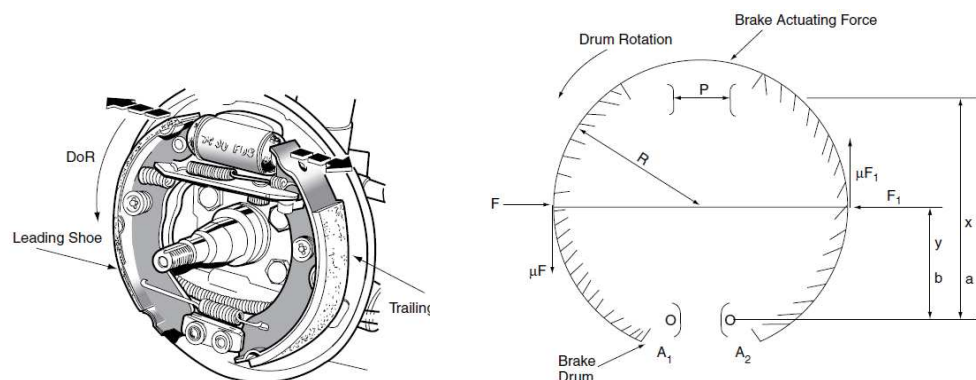
Ketika kontrol rem dilepaskan, *floaters* tersebut dibawa kembali ke posisi awalnya dengan *spring* kembali dan fluida dalam ruang tekanan kembali ke tekanan atmosfer. Seperti yang disebutkan sebelumnya, *floaters* harus cukup menarik kembali untuk memungkinkan hubungan antara tangki dan ruang tekanan untuk mengembalikan volume yang diperlukan dari fluida ke sirkuit dalam

kasus ekspansi termal atau pemakaian. *Seals* utama dirancang sebagai *seals* hanya dalam satu arah, yaitu arah aliran fluida ke ruang tekanan. Dari sisi berlawanan, menyentuh bagian maksimum diameter *floater*, yang memiliki lubang-lubang kecil koaksial dengan *floater* tersebut. Ring logam (13) diposisikan antara *seals* dan *floater* tersebut. Sebagai *floater* yang melakukan langkah kembalinya, tepi luar *seals* utama dapat *ovalize* dan menghubungkan dua ruang melalui lubang tersebut. Tindakan ini membuat aliran fluida dari ruang penyeimbang ke ruang tekanan untuk mengkompensasi peningkatan volume fluida yang diperlukan untuk rangkaian dan karena keausan pad. *Seals* kedua (7 dalam gambar 12 dan 13), berfungsi mencegah cairan dari kebocoran pada ruang penyeimbang serta mencegah zat asing dan udara masuk.

Bola *push-rod* (8) disimpan dalam kontak dengan *floater* dengan piringan dibor (14), ring berulir (11), dan snap ring (15). Ini semua dilindungi terhadap resiko infiltrasi debu dan benda asing oleh karet pelindung (16). Lubang-lubang kecil pada pelindung bertindak sebagai ventilasi udara untuk mencegah tekanan di dalam yang berlebihan selama pemindahan *floater* dengan memungkinkan udara masuk melalui tepi *seals* sekunder.

G. Prinsip Dasar Rem Tromol

Gambar 16 menunjukkan prinsip dasar dari rem tromol dengan *one leading shoe* dan *one trailing shoe*. Kekuatan gaya P disediakan oleh sebuah silinder hidrolis atau *cam*. Sepatu yang berputar di A_1 dan A_2 . Aksi dari gaya P membuat gaya gesekan antara putaran *brake drum* dan *brake lining*. Gaya gesekan pada *leading shoe* adalah μF dan itu bertindak tangensial ke *drum*. Pada *trailing shoe* gaya gesekan adalah μF_1 . Pivot adalah jarak y dari pusat *drum* dan gaya aktuator P berada pada jarak X dari pivot. Radius *drum* adalah R (Allan Bonnick: 2008).



R = Radius tromol
 P = Kekuatan penggerak

Gambar 15. Rem Tromol (Allan Bonnick: 2008)

F dan F_1 = Gaya normal diciptakan oleh P

μF dan μF_1 = gaya gesek Aksi dari *leading shoe*

Akibat momen sekitar poros A_1 $Px = Fy - \mu FR$

$F = Px / (y - \mu R)$ Aksi dari *trailing shoe*

Akibat momen sekitar poros A_2

$Px = F_1y + \mu F_1R$ $F_1 = Px / (y + \mu R)$

Kekuatan F pada *leading shoe* lebih besar dari F_1 pada *trailing shoe*. (b)

F = Gaya pada *leading shoe* (N)

F_1 = Gaya pada *trailing shoe* (N)

μ = Koefisien gesekan

x = Jarak pivot dengan P (cm)

y = Jarak pivot dengan pusat tromol (cm)

R = Radius tromol (cm)

Aksi dari *leading shoe*

Akibat momen sekitar poros A_1 , $Px = Fy - \mu FR$

$$F = Px / (y - \mu R) \dots \dots \dots (4)$$

Aksi dari *trailing shoe*

Akibat momen sekitar poros A_2 , $Px = F_1y + \mu F_1R$

$$F_1 = Px / (y + \mu R) \dots \dots \dots (5) \text{ (Allan Bonnick: 2008)}$$

Gaya pengereman yang efektif pada *leading shoe* lebih besar dari *trailing shoe*.

Efek ini tergantung pada arah rotasi dari *brake drum*, yang merupakan alasan mengapa rem *two leading shoe* kurang efektif ketika kendaraan mundur.

Persamaan 4

Pada rem tromol tertentu jarak x seperti yang ditunjukkan pada gambar 16 adalah 12 cm, jarak y adalah 24 cm, dan jari-jari tromol $R = 14$ cm. Jika kekuatan penggerak P adalah 800 Newton dan koefisien gesekan $\mu = 0.4$ menghitung gaya gesek yang efektif pada masing-masing sepatu rem.

Solusi

Gaya normal pada leading shoe

$$F = \frac{Px}{(y-\mu R)} = \frac{800 \times 12}{(24-0,4 \times 14)}$$

$$F = \frac{9600}{(24-5,6)}$$

$$F = 522 \text{ N}$$

Gaya normal Pada trailing shoe

$$F = \frac{Px}{(y+\mu R)} = \frac{800 \times 12}{(24+0,4 \times 14)}$$

$$F = \frac{9600}{(24+5,6)}$$

$$F = 324 \text{ N}$$

H. Rem Piringan

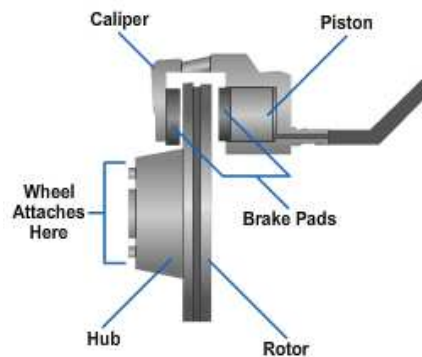
Rem cakram dapat diklasifikasikan sebagai tipe kaliper *floating* atau *fixed*.

1. *Floating Caliper*

Floating caliper dirancang untuk bergerak lateral padaudukannya (Gambar 16). Gerakan ini memungkinkan caliper untuk mempertahankan posisi tepat di tengah pada rotor. Desain ini juga memungkinkan kekuatan pengereman yang diterapkan secara merata pada kedua sisi rotor. *Floating caliper* memiliki konstruksi *one-piece solid* dan menggunakan satu atau dua piston yang terletak di sisi yang sama dari caliper untuk menghasilkan kekuatan pengereman. Pengoperasian *floating caliper* adalah sebagai berikut:

- a) Cairan di bawah tekanan memasuki rongga piston dan mendorong piston keluar. Ini mengakibatkan kampas rem dan rotor bersentuhan.

- b) Tekanan tambahan kemudian memaksa instalasi *caliper* untuk bergerak di arah yang berlawanan dari piston, dengan demikian memaksa kampas rem pada lawannya sisi untuk bersentuhan rotor.
- c) Tekanan diberikan di belakang piston, ini memaksa kampas rem untuk menekan rotor. Tindakan ini menghasilkan kekuatan pengereman tambahan.

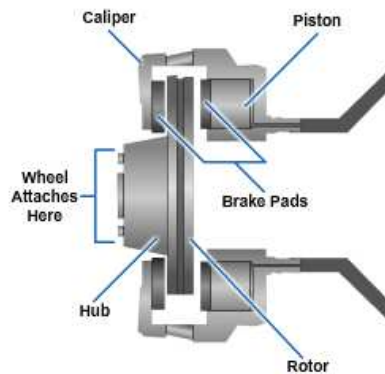


Gambar 16. *Floating Caliper*. (Charles Lathan:1999)

2. *Fixed caliper*

Fixed caliper terpasang dengan kokoh ke poros (Gambar 17). Dalam desain ini, caliper biasanya dibuat dalam dua bagian dan memiliki dua atau lebih piston (dengan angka yang sama di setiap sisi rotor) yang digunakan. Piston melakukan aksi penekanan yang lurus dari *fixed caliper* yang bergerak tetap pada stu tempat. Jika kampas yang dipakai tidak merata pada satu sisi caliper, piston akan mengambil tingkatan terendah ketebalan kampas dengan mendorong lebih dalam. Setelah rem diterapkan, tekanan fluida memasuki caliper di satu sisi dan diarahkan ke sisi yang lain melalui bagian internal atau oleh tabung

eksternal yang terhubung ke sisi sebaliknya dari *caliper*. Saat tekanan meningkat, piston memaksa kampas rem menekan rotor secara merata, oleh karena itu perlu dilakukan perawatan untuk menjaga kesetaraan jumlah tekanan di kedua sisi rotor.



Gambar 17 *Fixed Caliper*. (Charles Lathan:1999)

Rem piringan yang ditunjukkan pada gambar 18 memanfaatkan silinder berlawanan untuk menerapkan gaya untuk gesekan kampas dan kampas ini diaplikasikan sebuah kekuatan untuk menjepit piringan rem. Pada gambar 17 data berikut berlaku :

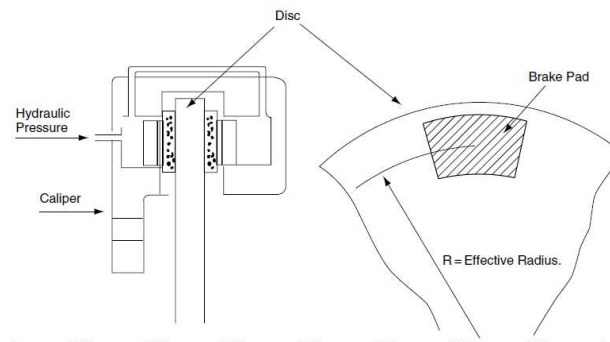
Tekanan hidrolik adalah $P \text{ N/m}^2$; daerah dari piston adalah $A \text{ m}^2$; koefisien gesekan antara kampas dan piringan adalah μ ; radius efektif rem adalah $R \text{ m}$.

Gaya hidrolik pada setiap pad = $P \times A$ newton.

Gaya gesekan pada setiap pad = μPA newton

Torsi pengereman = $2R\mu PA$ newton meter (dua kampas) (6)

Tipe rem cakram yang ditunjukkan pada gambar 16, diameter piston hidrolik 50 mm dan radius efektif piringan rem 150 mm. Hitung torsi rem ketika tekanan hidrolik 20 bar dan koefisien gesekan 0.4.



Gambar 18. Rem Cakram (Allan Bonnick: 2008)

Area piston = A (mm)

Radius efektif piringan rem = R (mm)

Gaya gesekan pada setiap kampas = μPA

Total gaya gesekan = $2 \mu PA$

Tekanan Hidrolik = P (bar)

μ = Koefisien gesekan Ada 2 kampas

Torsi pengereman = $2 \mu PA \times R$

Gaya pada kampas $F = P \times A$

Penyelesaian

Torsi pengereman = $2R\mu PA$

$P = 20 \times 100\,000$

$P = 2\,000\,000 \text{ N}$

$A = \frac{\pi d^2}{4}$

$A = 1.96 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

$R = 0.15 \text{ m}$

Torsi pengereman = $2 \times 0.15 \times 0.4 \times 2\,000\,000 \times (1.96/1000) = 470 \text{ N m}$.

I. Instalasi Rem Piringan

Instalasi sistem rem piringan terdiri beberapa bagian. Paling banyak mempergunakan kaliper dipasang sehingga pemasangan baut yang terletak secara vertikal di atas satu sama lain, dengan kaliper baik terletak di depan atau di belakang piringan. Instalasi ini memastikan bahwa katup pembuangan udara terletak di titik tertinggi dari kaliper, detail penting untuk pemeliharaan rem yang tepat.

Lokasi depan atau belakang memiliki efek signifikan pada kekuatan *bearing hub* terus menerus selama pengereman berat. Dengan lokasi belakang, kekuatan bearing akan meningkat menjadi lebih dari dua kali nilai normal untuk perlambatan 1 g. Lokasi depan dapat meningkatkan kekuatan bearing untuk nilai yang sama dengan empat kali tingkat normal. Untuk depan dan kendaraan empat penggerak roda menggunakan *press fit hub* dan poros koneksi, kekuatan bearing mungkin terlalu tinggi, mungkin mengakibatkan kegagalan hub dan pemisahan roda saat pengereman. Di samping itu, poros yang signifikan lentur saat pengereman berat dapat menyebabkan getaran yang tidak diinginkan dan kebisingan.

Dua kaliper berlawanan akan meningkatkan kekuatan bearing hanya sekitar 170% dari nilai normal. Maksimum diameter luar dari rotor rem adalah fungsi langsung dari ukuran velg. Faktor lainnya adalah radius scrub negatif, dan sejauh mana kontur kaliper dioptimalkan dengan bentuk velg. Tabel berikut menyajikan panduan untuk memilih rotor dan diameter tromol untuk keperluan desain sistem rem

Tabel 2. Perbandingan ukuran velg, rotor dan tromol
(Rudolf Limpert: 1999)

Rim size (in.)	13	14	15	16	17
Inside Flange Diam. (mm)	329.4	354.8	380.2	405.6	436.5
Outer Rotor Diam. (mm)	225/256	245/278	270/308	295/330	320/360
Inner Drum Diam. (mm)	230	250	280	300	325

J. Perbandingan Rem Piringan dan Rem Tromol

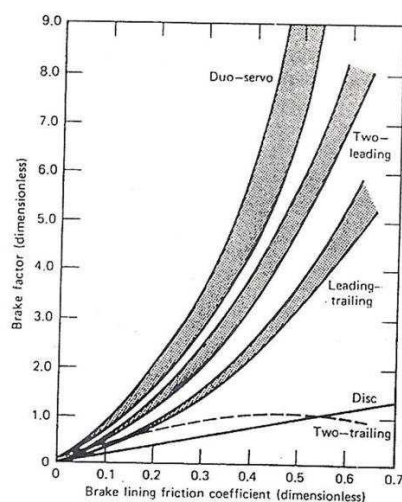
Keuntungan utama dari rem piringan adalah kemampuannya untuk beroperasi dengan sedikit memudar pada suhu tinggi hingga 1073° - 1173° K (1500° - 1600° F). Pemanasan dari rotor rem meningkatkan ketebalan sehingga menyebabkan tidak ada kerugian dalam volume minyak rem, yaitu tidak ada peningkatan langkah pedal atau pedal terasa lembut. Dalam kasus rem cakram udara, rotor tebal mencegah habisnya langkah *pushrod*, masalah keamanan yang signifikan untuk rem udara.

Tambahan penting manfaat dari rem cakram adalah hubungan linear antara torsi rem dan koefisien gesekan kampas/rotor. Misalnya, peningkatan 10% dalam koefisien gesekan kampas meningkatkan torsi rem sebesar 10%. Untuk tipe rem *duo servo*, kenaikan gesekan yang sama meningkatkan torsi rem sebanyak 30 sampai 35%.

Rem tromol sangat sensitif suhu tinggi. Suhu maksimum 673° sampai 700° K (750° sampai 800° F) tidak boleh melebihi. Tidak hanya koefisien gesekan yang terpengaruh, tetapi diameter tromol yang meningkat dengan meningkatnya suhu. Pada 648 K (700 F) diameter rem tromol tipe penumpang

dapat meningkatkan sebesar 1 sampai 1.5 mm (0.05 sampai 0.06 in.), dengan sejalan lebih panjang silinder roda langkah piston cukup untuk meningkatkan langkah pedal sebesar 30% sampai 40% dari nilai normal. Di samping itu, diameter tromol yang lebih besar menyebabkan kontak yang tidak tepat antara *lining* dan tromol, yang menghasilkan puncak tekanan lapisan/tromol dan sehingga suhu lapisan lebih tinggi, dan variasi dalam output torsi rem. Rem tromol untuk rem *S-cam* telah meningkatkan langkah pushrod dari 12 mm (0.5 in.) untuk peningkatan suhu 590° K (600° F) lebih dingin nilai langkah *pushrod*.

Torsi rem atau faktor rem khusus, didefinisikan sebagai rasio tarikan tromol untuk penerapan kekuatan satu sepatu (persamaan 9), adalah indikator umum dari kemampuan rem untuk menghasilkan torsi untuk berbagai koefisien gesekan lapisan/tromol. Perbandingan faktor rem dari desain rem tromol yang berbeda dengan rem cakram ditunjukkan pada gambar 19.

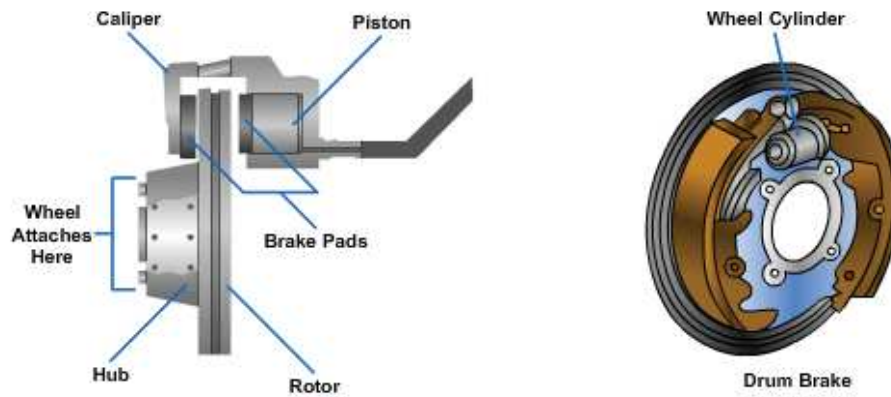


Gambar 19. Faktor rem sebagai fungsi dari koefisien gesekan lapisan (Rudolf Limpert: 1999)

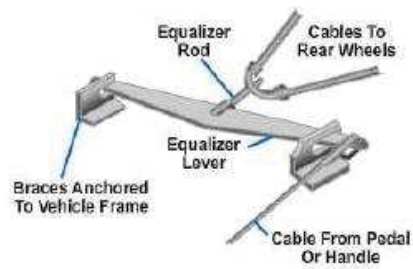
Pemeriksaan angka ini menunjukkan bahwa rem *duo servo* memiliki faktor rem tertinggi untuk setiap koefisien gesekan yang diberikan. Meskipun karakteristik ini diinginkan untuk desain rem parkir, mungkin terbukti tidak aman bila digunakan sebagai rem belakang untuk seperangkat rem. Rem *duo servo* tidak boleh digunakan pada rem depan karena potensi ketidakseimbangan rem kiri ke kanan. Garis lurus faktor rem untuk rem piringan mengungkapkan hubungan linear dengan koefisien gesekan. Rem tromol *two trailing shoe* memiliki kurva faktor rem mirip dengan rem piringan. Meskipun tidak ada aplikasi yang dibayangkan, desain masa depan bisa memanfaatkan desain ini dengan menyediakan seperangkat rem belakang yang stabil dan faktor yang lebih tinggi rem parkir.

K. *Parking Brake*

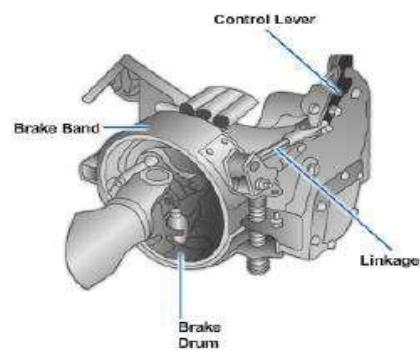
Rem parkir/darurat sangat penting untuk keselamatan dari setiap bagian peralatan otomotif atau konstruksi. Rem parkir saling berhubungan dengan layanan rem biasanya ditemukan pada kendaraan otomotif (Gambar 20). *Foot pedal* atau *dash-mounted handle* yang terpasang mengaktifkan rem parkir/darurat jenis ini. Tuas ini terhubung melalui linkage ke *equalizer lever rod* (Gambar 21) yang terpasang, dan kabel yang terhubung ke mekanisme rem parkir/darurat di dalam drum/cakram (Gambar 20) di roda belakang. Beberapa jenis rem parkir/darurat dibuat untuk peralatan konstruksi, seperti drum dan cakram (Gambar 22). Rem parkir jenis ini adalah rem *drive line* biasa untuk peralatan konstruksi berat. Rem parkir ini biasanya dipasang pada poros keluaran transmisi atau *transfer case* secara langsung di *drive line*.



Gambar 20. *Automotive parking/emergency brake*
(Charles Lathan:1999)



Gambar 21. *Equalizer linkage* (Charles Lathan:1999)



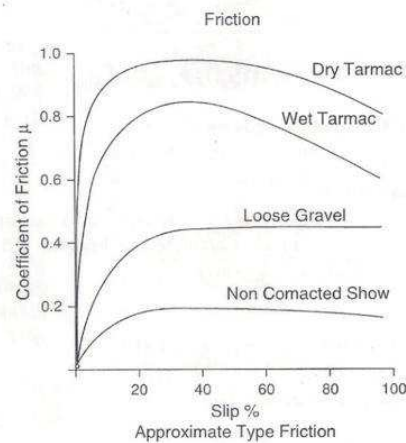
Gambar 22. *Transmission mounted emergency/parking*
(Charles Lathan:1999)

Secara teori, sistem rem jenis ini lebih disukai untuk digunakan pada kendaraan alat berat karena kekuatan pengereman dikalikan dengan rasio *final drive*. Tindakan pengereman juga disamakan dengan sempurna melalui diferensial. Ada beberapa kelemahan pada sistem ini, namun; tekanan berat ditempatkan pada sistem transmisi, dan juga kendaraan mungkin bergerak ketika diangkat karena diferensial tidak dikunci. Rem parkir / rem darurat harus menahan kendaraan pada tingkat berapa pun. Persyaratan ini mencakup kendaraan penumpang dan komersial yang dilengkapi dengan rem tipe tertutup di setiap roda belakang atau rem tunggal yang dipasang pada *drive line*.

L. Ban

Ban mengandalkan gesekan antara tapak ban dan permukaan aspal untuk memberikan grip pada saat berkendara. Koefisien gesekan ban dipengaruhi oleh senyawa karet yang digunakan pada konstruksi ban, pola tapak, dimensi ban, *low profile* (jenis ban) dan kondisi permukaan aspal serta kecepatan kendaraan. Grafik pada gambar 23 memberikan indikasi gesekan ban pada permukaan yang berbeda.

Anti-lock braking system (ABS) memanfaatkan fakta bahwa gesekan yang lebih besar diperoleh ketika jumlah slip dijaga pada tingkat yang rendah. Sistem kontrol traksi juga dirancang untuk mengontrol slip dan dengan demikian memaksimalkan gesekan ban.



Gambar 23. Gesekan ban (Allan Bonnick: 2008)

M. *Bleeding* Sistem Rem

Bleeding sistem rem adalah penggunaan tekanan fluida untuk memaksa udara keluar dari sistem. Sistem rem harus bebas dari udara agar berfungsi dengan baik. Udara dalam sistem akan memampatkan, menyebabkan pedal rem kenyal. Udara dapat memasuki sistem kapan saja melalui hidrolis komponen (silinder roda, master silinder, selang, atau *brake line*) terputus atau dilepas. Ada empat metode *bleeding* rem: manual, tekanan, vakum, dan *forced bleeding*.

1. Manual *Bleeding*

Manual *bleeding* menggunakan master silinder tekanan untuk memaksa cairan dan udara yang terjebak keluar sistem. Untuk mem-*bleeding* sistem, langkahnya sebagai berikut:

- a) Isi *reservoir* master silinder dengan minyak rem sampai 1/4 inci dari atas, dan tetap penuh selama *bleeding* berlangsung.

- b) Pasangkan selang karet pendek ke *screw bleeder* dan biarkan ujung selang yang lain terendam dalam toples yang setengahnya diisi dengan minyak rem (Gambar 24).
- c) Minta asisten mendorong pedal rem untuk memberi tekanan pada sistem rem. Mungkin perlu untuk memompa rem enam sampai tujuh kali untuk membangkitkan tekanan dalam sistem.
- d) Buka *screw bleeder* sambil mengawasi gelembung udara dalam cairan yang terletak di botol
- e) Tutup *screw bleeder* dan beri tahu asisten Anda untuk melepaskan pedal rem. Ulangi prosedur ini sampai tidak ada gelembung udara keluar dari selang.

Bleeding satu silinder roda dalam satu waktu. Lakukan yang paling jauh dari master silinder pertama dan lakukan ke yang terdekat. Ini memastikan bahwa semua udara terbuang pada prose *bleeding* pertama.



Gambar 24. *Manual bleeding*. (Charles Lathan:1999)

2. *Pressure Bleeding*

Pressure bleeding pada sistem rem lebih disukai daripada metode yang tadi dijelaskan tetapi membutuhkan peralatan dari tipe yang

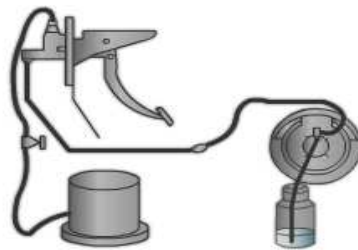
ditunjukkan pada gambar 25. Tekanan *bleeding* sistem rem dilakukan dengan menggunakan tekanan udara yang terperangkap di dalam tangki logam udara (*ball bleeding*). Tekanan *bleeding* cepat dan mudah karena hal-hal berikut:

- a) Tidak memerlukan asisten.
- b) Dapat mempertahankan tekanan konstan dalam sistem.
- c) Membuat master silinder penuh saat *bleeding*

Untuk *pressure bleeding* sistem, lanjutkan lanjutannya sebagai berikut:

- a) Tuang cukup minyak rem ke dalam *bleeder ball* untuk mencapai level yang ditentukan. Isi *bleeder ball* dengan tekanan udara 10 sampai 15 psi.
- b) Isi master silinder dengan minyak rem. Pasang adaptor dan selang pada master silinder. Buka katup pada selang. Diperlukan adaptor *pressure bleeding* khusus pada silinder master menggunakan *plastic reservoir*. Gunakan adaptor yang dipasangkan pada *port* di bagian bawah master silinder. Ini untuk menghindari kemungkinan kerusakan *reservoir*.
- c) Pasang selang *bleeding* ke *screw bleeder* silinder roda terjauh. Rendam ujung selang yang bebas dalam wadah gelas yang setengahnya diisi dengan minyak rem.
- d) Kendurkan *screw bleeder*. Saat minyak mengalir dari ujung selang yang terendam bebas dari gelembung udara, tutup *screw bleeder* dan lepaskan selang *bleeder*. Ulangi proses *bleeding* pada silinder roda

lainnya dalam urutan yang benar. Ketika proses *bleeding* selesai, tutup katup di *bleeder ball* dan lepaskan selang *bleeder* dari master silinder. Periksa level minyak rem di *reservoir*, baik dengan menggunakan tanda yang diseiakan pabrik pada *reservoir* atau dengan memastikannya dalam 1/4 inci dari atas, dan pasang penutup master silinder.



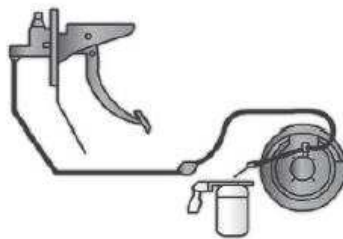
Gambar 25. *Pressure bleeding* sistem rem. (Charles Lathan:1999)

3. *Vacuum*

Vakum *bleeding* sistem rem dilakukan menggunakan pompa vakum yang terpasang pada *screw bleeder* pada silinder roda, dan Anda gunakan kevakuman yang dibuat oleh pompa untuk menyalurkan minyak rem melalui *brake line* bukan mendorongnya (Gambar 26). Vakum *bleeding* juga tidak memerlukan asisten untuk melakukannya. Untuk vakum *bleeding* sistem, proses lanjutkannya sebagai berikut:

- a) Pastikan minyak rem master silinder *reservoir* penuh.
- b) Pasang selang *bleeder* pompa vakum, ke *screw bleeder* silinder roda terjauh.

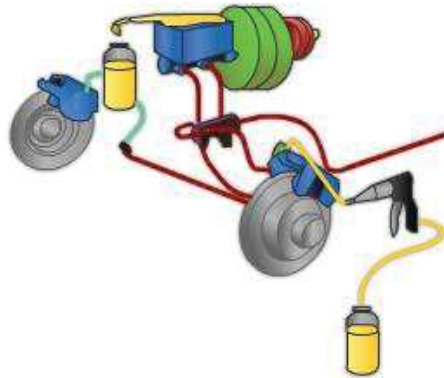
- c) Kendorikan *screw bleeder*. Ketika cairan mengalir dari ujung selang tersebut bebas dari gelembung udara, tutup *screw bleeder* dan lepaskan selang *bleeder*. Ulangi proses *bleeding* pada silinder roda lainnya dalam urutan yang benar. Ketika proses *bleeding* selesai, tutup katup di *bleeding ball* dan lepaskan selang *bleeder* dari silinder roda. Periksa level minyak rem di *reservoir*, baik dengan menggunakan tanda dari pabrikan di *reservoir* atau dengan memastikannya dalam 1/4 inci dari atas, dan pasang penutup master silinder.



Gambar 26. *Vacuum bleeding* sistem rem. (Charles Lathan:1999)

4. *Forced*

Forced bleeding rem, disebut sebagai metode tekanan terbalik. Dalam metode ini, pompa digunakan untuk memaksa cairan rem melalui *screw bleeder* ke master silinder dan luapan minyak didalam wadah (Gambar 27). Metode ini memiliki keunggulan gelembung udara yang terjebak di *brake line* bergerak ke atas, bukan ke bawah. Saat *forced* diterapkan pada silinder roda, tekanan dan pergerakan minyak rem memungkinkan gelembung udara bergerak lebih bebas menuju *reservoir* master silinder rem dan keluar dari sistem.

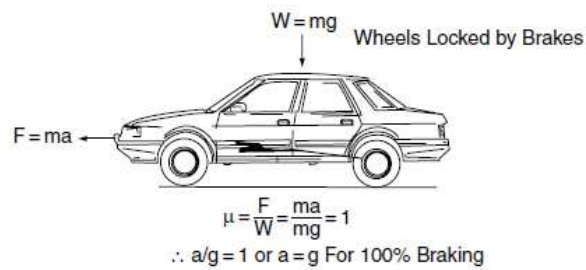


Gambar 27. *Forced bleeding* sistem rem. (Charles Lathan:1999)

N. Efisiensi Pengereman

Kekuatan sistem pengereman pada akhirnya ditentukan oleh gesekan antara ban dan permukaan pengemudian. Konsep efisiensi pengereman didasarkan pada asumsi bahwa koefisien gesekan antara ban dan permukaan pengemudian tidak dapat lebih besar dari 1. Gambar 19 menunjukkan sebuah kendaraan dengan roda yang terkunci oleh rem ditarik sepanjang horizontal dengan kekuatan yang sama dengan berat kendaraan. Hambatan dicapai di bawah kondisi seperti ini sama dengan percepatan gravitasi g ($9,81 \text{ m/s}^2$) dan ini diambil menjadi 100% efisiensi pengereman. Jika hambatan sebenarnya dari sebuah kendaraan di bawah pengereman adalah $a \text{ m/s}^2$ efisiensi pengereman adalah $a/g \times 100\%$.

$$\text{Efisiensi pengereman} = (a/g) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (7)$$



Gambar 28. Efisiensi pengereman (Allan Bonnick: 2008)

μ = Koefisien gesekan

F = Gaya pengereman (N)

m = Massa kendaraan (kg)

a = Hambatankendaraan (g)

g = Gravitasi (m/s^2)

Persamaan 7

Perlambatan pengereman maksimum kendaraan tertentu adalah $7,2m/s^2$.

Menghitung efisiensi pengereman. Mengambil $g = 9,81 m/s^2$

Penyelesaian

Efisiensi pengereman = $(a/g) \times 100\%$

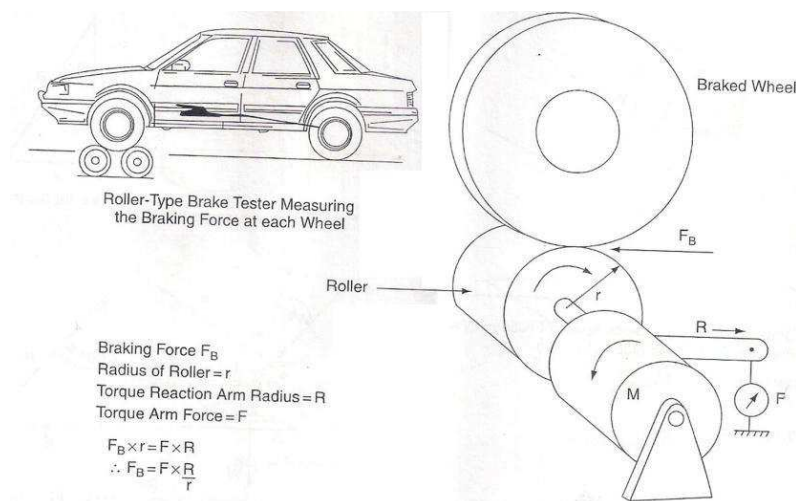
Efisiensi pengereman = $(7,2/9,81) \times 100\%$

Efisiensi pengereman = 73%

O. Pengujian Sistem Rem

Di Inggris, tes efisiensi rem dilakukan pada mesin yang mengukur kekuatan pengereman horizontal pada setiap roda. Kekuatan ini kemudian ditambahkan bersama-sama untuk memberikan total gaya pengereman horisontal untuk kendaran; gaya total ini dibagi dengan berat kendaraan untuk memberikan efisiensi pengereman kendaraan dalam kondisi pengujian.

Gambar 29 menunjukkan prinsip dasar dari dinamometer yang digunakan untuk menentukan kekuatan pengereman pada kendaraan. Kendaraan dikemudikan pada *roller*, satu untuk setiap sisi poros roda, dan poros roda depan dan belakang diuji secara terpisah. Motor listrik memutar *roller* tes. *Roller* diputar oleh poros *armature* dan casing dari motor listrik bebas berputar pada porosnya tapi tertahan dari gerakan oleh lengan torsi dan pegas penyeimbang. Torsi yang diberikan oleh motor dan rol pada roda dan ban adalah sama dan berlawanan dengan torsi yang diukur pada lengan torsi motor listrik.



Gambar 29. Tes rem statis (Allan Bonnick: 2008)

Dalam diagram, F_b = gaya pengereman, r = radius *roller*, F = gaya pada lengan torsi motor listrik, dan R = jari-jari lengan torsi.

Torsi pada titik kontak antara ban dan *roller* = torsi pada motor listrik :

$$F_b \cdot r = F \cdot R$$

$$F_b = \frac{FR}{r}$$

Dalam praktiknya, kekuatan di lengan torsi diukur oleh transduser dan pembacaan diteruskan ke alat ukur di konsol dan kekuatan pengereman untuk sisi kiri dan sisi kanan kendaraan dapat dibandingkan. Total gaya pengereman (depan + belakang) dibagi dengan berat kendaraan untuk memberikan efisiensi pengereman.

Tes ini tergantung pada prinsip-prinsip mekanika berikut.

Perlambatan kekuatan $F = M.a$,

Dimana $F =$ gaya pengereman (N)

$M =$ massa kendaraan (kg) dan

$a =$ hambatan kendaraan (g)

$F = M.a$

$a = F/m$

Efisiensi pengereman = $(a/g) \times 100\%$

Menggantikan F/m untuk a dalam persamaan ini memberikan efisiensi

pengereman = $\frac{F.100}{Mg}$ (8) (Allan Bonnick: 2008)

Dimana $Mg =$ berat kendaraan dalam newton. Efisiensi pengereman = $(F/M) \times 100$, dimana $M =$ berat kendaraan dalam kg $\times 9,81$ dan $F =$ total gaya pengereman dalam newton.

Disebuah tempat pengetesan rem pada kendaraan, total gaya rem depan 2200 N dan total gaya rem belakang 1400 N. Jika kendaraan mempunyai berat sama dengan 1,2 ton, hitung efisiensi pengereman. Dengan $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Penyelesaian

Braking Efficiency (BE) = (total gaya pengereman ÷ berat kendaraan dalam newton) x 100

$$BE = (3600 / 1200 \times 9.81) \times 100$$

$$BE = (3600 / 11772) \times 100$$

$$BE = 31\%$$

P. Pertimbangan Dasar Desain Sistem Rem

Dalam banyak kasus engineer rem memiliki data berikut saat merancang sistem rem kendaraan. Dalam beberapa kasus, data tertentu seperti berat maksimum bisa berubah sebagai kendaraan yang sama sekali baru dikembangkan (Rudolf Limpert: 1999)

- 1) Berat kendaran kosong dan isi
- 2) Distribusi berat statis ringan dan penuh muatan
- 3) Jarak roda
- 4) Tinggi pusat grafitasi ringan dan penuh muatan
- 5) Fungsi kendaraan diharapkan
- 6) Ukuran ban dan velg
- 7) Kecepatan maksimum
- 8) Standar pengereman

Desain sistem rem baru dimulai dengan pemilihan distribusi kekuatan rem, yaitu, berapa banyak kekuatan pengereman yang menghasilkan oleh rem depan dalam hubungan dengan rem belakang.

Pada langkah berikutnya, sistem sirkuit ganda dirancang dengan memilih ukuran yang tepat dari silinder roda depan dan belakang dan master silinder. Di langkah ketiga, roda atau dasar rem dirancang dalam hal ukuran dasar untuk memastikan umur pemakaian, kinerja termal dan kebisingan yang rendah. Maksimum diameter rem yang diijinkan dibatasi oleh ukuran velg dan dengan demikian, ditentukan oleh berat kendaraan. Di langkah terakhir, perakitan pedal dan sistem rem kekuatan dirancang untuk meningkatkan performa pengereman. Desain sistem pengereman harus selalu didasarkan pada pendekatan sistem. Perubahan kecil di satu area dapat mempengaruhi kinerja keseluruhan sistem pengereman di daerah kritis keselamatan. Misalnya, meningkatkan radius tromol pada rem belakang untuk meningkatkan umur pemakaian lapisan akan meningkatkan kekuatan rem belakang dan karena potensi awal mengunci rem belakang dan ketidakstabilan kendaraan saat pengereman.

Desain sistem pengereman harus menyertakan desain berikut:

1. Efektifitas pengereman:
 - a. Maksimum deselerasi garis lurus roda terkunci.
 - b. Efektifitas pengereman, yaitu, karakteristik deselerasi tekanan saluran rem.
 - c. Karakteristik deselerasi gaya pedal.
 - d. Jika sesuai, karakteristik vakum tambahan.
 - e. Jika sesuai, karakteristik daya penuh.
 - f. Jika sesuai, karakteristik penghambat.

2. Efisiensi pengereman:
 - a. Maksimum deselerasi garis lurus roda terkunci untuk koefisien gesekan jalan rendah dan tinggi, baik ringan dan beban penuh.
 - b. Maksimum deselerasi garis tikungan roda terkunci untuk koefisien gesekan jalan rendah dan tinggi, baik ringan dan beban penuh.
3. Jarak berhenti, ringan dan beban penuh;
 - a. Jarak berhenti minimum tanpa roda terkunci.
 - b. Jarak berhenti minimum tanpa kehilangan arah dengan roda terkunci, untuk pengereman kering dan basah, dan untuk pengereman dingin dan panas.
 - c. Jarak berhenti minimum tanpa roda terkunci saat tikungan.
4. Waktu reaksi:
 - a. Untuk rem angin, aplikasi dan keterlambatan waktu melepaskan.
 - b. Untuk rem hidrolis, kelambatan dorongan gaya pedal.
5. Kegagalan sebagian:
 - a. Efektifitas pengereman dengan kegagalan sirkuit sistem pelayanan.
 - b. Efektifitas pengereman dengan sebagian atau penuh kehilangan tambahan tenaga.
 - c. Efektifitas pengereman dengan rem di kondisi termal memudar.
 - d. Stabilitas arah dengan kegagalan pembagian diagonal.
 - e. Peningkatan langkah pedal dengan kegagalan servis sirkuit sistem.
 - f. Peningkatan gaya pedal dengan kegagalan servis sirkuit sistem.

6. Analisis volume minyak rem:
 - a. Diameter master silinder dan langkah piston untuk setiap sirkuit rem.
 - b. Langkah piston silinder roda.
7. Analisis termal:
 - a. Koefisien perpindahan panas untuk tromol atau piringan.
 - b. Suhu rem selama pengereman lanjutan dan pengulangan, dan efektivitas maksimum berhenti.
 - c. Efektifitas pengereman berkurang selama kondisi memudar.
 - d. Tekanan termal untuk menghindari piringan retak dan pengecekan panas.
 - e. Suhu minyak rem di silinder roda untuk menghindari penguapan minyak rem.
8. Darurat atau rem parkir:
 - a. Perlambatan maksimum dengan penerapan tuas rem darurat pada jalan miring dan datar.
 - b. Tingkat maksimum kapasitas pegangan.
 - c. Penentuan dalam kondisi apa aplikasi rem darurat otomatis harus berlaku.
9. Langkah-langkah desain tertentu:
 - a. Aliran panas ke permukaan piringan atau tromol.
 - b. Tenaga kuda diserap oleh kampas rem atau bantalan.
 - c. Memakai ukuran dalam bentuk hasil koefisien lapisan gesekan dan tekanan mekanik.

10. Faktor penggunaan:

- a. Penentuan apakah pemeliharaan praktek tertentu atau kurangnya pemeliharaan dari kelompok-kelompok penggunaan tertentu mungkin memerlukan desain ulang untuk memastikan kinerja komponen yang memadai.
- b. Penentuan apakah lingkungan operasi merugikan bagian dari sistem rem (korosi, debu, lumpur, air, dll).
- c. Penentuan apakah memakai atau menggunakan pengaruh distribusi gaya pengereman dan, karenanya stabilitas pengereman karena lebih awal rem belakang terkunci.

11. Ukuran komponen:

- a. Berdasarkan kelelahan memuat.
- b. Berdasarkan kelebihan beban.

12. Peraturan keselamatan:

- a. Standar lokal.
- b. Standar asing.
- c. Standar industri.
- d. Harapan konsumen dan keterbatasan.