

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Kasus Kecelakaan

Menteri Perhubungan Budi Karya Sumadi mengatakan di sebuah berita CNCB Indonesia “Maraknya kasus kematian karena kegagalan pada sistem pengereman. Selama periode 2001 hingga 2018, angka kematian akibat kecelakaan di Indonesia menunjukkan tren peningkatan, berbeda dengan wilayah Eropa dan Amerika yang justru mengalami penurunan tingkat fatalitas”[4]. salah satunya sebuah kecelakaan truck pada tanggal 24/07/2023 yang dimana penyebabnya adalah kegagalan pada sistem pengereman yang menyebabkan memakan korban 1 orang meninggal dunia dan 4 orang mengalami luka luka, dalam setahun Indonesia telah mencetak sebanyak lebih dari 100 kasus kecelakaan karena rem blong dan mengapa hal ini bisa terjadi karena masih banyak di luar sana pengemudi yang tidak mempunyai tingkat kepedulian terhadap kendaraan yang akan ia kendarai[5]. Berikut dapat dilihat pada Gambar 2.1 yang disajikan di bawah ini.



Gambar 2 1 Kasus kecelakaan

2.2. Kegagalan Rem

Menurut Ahmad Wildan, Selasa (18/10/2022). “Pengemudi merasakan rem kurang pakem. Karena kampas rem sudah tipis, sehingga persediaan udara tekan di tabung berada di bawah ambang batas,” ujar Pelaksana Tugas Ketua Sub Komite Investigasi Kecelakaan Lalu Lintas Angkutan Jalan KNKT[6]. Kampas rem adalah komponen utama yang harus diperiksa secara rutin karena berkaitan dengan

keamanan dan umur pemakaiannya yang relatif pendek. Dari hasil survey pelumas industri di Jawa Tengah dan Jawa Timur pada tahun 2006 – 2008 yang juga mengamati perawatan dan perbaikan komponen bis dan truk[7].

Karena adanya faktor internal yang terjadi, yaitu kerusakan komponen rem. Komponen rem yang paling sering mengalami kerusakan adalah kampas rem. Kampas rem yang aus akan menyebabkan jarak pengereman menjadi lebih panjang dan akhirnya menyebabkan rem blong. Selain kampas rem, komponen rem lainnya yang juga sering mengalami kerusakan adalah piston rem, master rem, dan minyak rem, kebocoran angin dan yang paling penting kepedulian supir terhadap kendaraan yang akan ia kendarai.

2.3. Sistem Pengereman

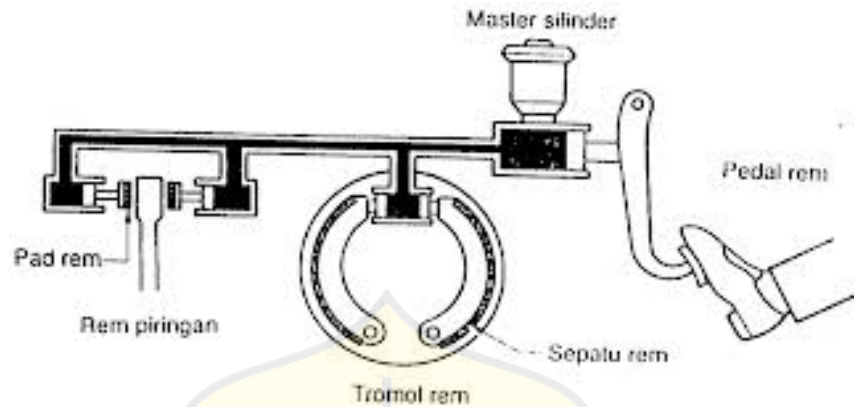
Sistem rem adalah sekumpulan komponen yang bekerja bersama untuk menghentikan atau memperlambat laju kendaraan. Komponen utamanya meliputi *disc brake* (rem cakram), master rem, *drum brake* (rem tromol), pedal rem, *brake booster*, dan *proportioning valve* [8]. Rem kendaraan merupakan salah satu komponen krusial dalam sistem keselamatan berkendara. Apabila rem tidak berfungsi dengan baik, hal ini dapat membahayakan pengemudi dan mengganggu keselamatan saat berkendara. Oleh sebab itu komponen rem yang bergesekan ini harus tahan terhadap gesekan (tidak mudah aus), tahan panas dan tidak mudah berubah bentuk pada saat bekerja dalam suhu tinggi. sistem rem pada kendaraan merupakan salah satu komponen penting untuk keamanan dalam berkendara. Apabila sistem ini tidak berfungsi dengan baik, maka dapat menimbulkan resiko kecelakaan serta mengganggu kenyamanan pengemudi. Adapun fungsi dari sistem rem itu sendiri, yaitu

1. Memperlambat kecepatan atau menghentikan pergerakan roda kendaraan
2. Mengatur kecepatan selama berkendara
3. Menahan posisi kendaraan saat parkir dan berhenti pada jalan yang menurun atau menanjak [9]

2.4. Rem Tromol

Rem tromol, atau dikenal juga sebagai *drum brake*, merupakan salah satu jenis sistem pengereman yang bekerja dengan mengandalkan komponen utama seperti tromol rem, sepatu rem, dan silinder roda. Umumnya, rem tromol yang

digunakan pada roda depan dan belakang memiliki perbedaan dalam konstruksinya. Perbedaan ini bertujuan agar sistem pengereman dapat berfungsi secara optimal. Berikut dapat dilihat pada Gambar 2.2 yang disajikan di bawah ini.



Gambar 2 2 Sistem rem tromol

Cara kerja rem tromol yaitu saat pengemudi menginjak pedal rem, master silinder menekan fluida kemudian fluida meneruskan tekanan ke silinder roda, selanjutnya, silinder roda akan mendorong sepatu rem, yang selanjutnya membuat kampas rem menekan tromol. Tekanan ini menghasilkan gesekan antara kampas rem dan tromol, sehingga menyebabkan kendaraan melambat atau berhenti. Adapun bagian-bagian utama rem tromol adalah sebagai berikut:

1) Silinder Roda (*Wheel Cylinder*)

Wheel cylinder berfungsi untuk menekan *brake shoe* (sepatu rem) agar menekan *brake drum* (tromol rem). Didalam silinder roda terpasang satu atau dua buah piston beserta seal tergantung pada desain sistem rem tromol yang digunakan. Bila brake pedal diinjak, tekanan minyak rem dari master silinder disalurkan ke semua wheel silinsaat pedal rem ditekan, tekanan fluida dari master silinder dialirkan keseluruh silinder roda. Tekanan ini mendorong piston keluar yang kemudian menekan sepatu rem hingga bergesekan dengan tromol, sehingga roda kendaraan melambat atau berhenti. ketika pedal dilepas, maka brake shoe kembali ke posisi semula oleh tarikan pegas, roda bebas.

2) Sepatu Rem (*Brake Shoe*)

Sepatu rem berfungsi untuk menghentikan putaran tromol rem melalui proses gesekan. Bagian luar dari sepatu rem dilapisi dengan bahan yang tahan panas, seperti campuran asbes, tembaga, atau bahan plastik khusus yang dirancang untuk menahan suhu tinggi akibat gesekan saat pengereman.

3) Pegas pengembali (*Return Spring*)

Komponen ini berperan untuk mengembalikan posisi sepayu rem ke keadaan awal ketika tekanan pada silinder roda berkurang..

4) *Backing Plate*

Komponen ini berfungsi sebagai penopang untuk menahan putaran tromol serta sebagai tempat pemasangan silinder roda. Tipe rem tromol sendiri memiliki beragam variasi sesuai dengan desain dan fungsinya. Diantaranya adalah:

a) *Tipe Leading and Trailing*

Jenis ini hanya menggunakan satu silinder roda yang didalamnya terdapat dua piston. Sepatu kiri disebut *leading shoe* dan sepatu kanan disebut *trailing shoe*. Sepatu rem yang tidak terhubung langsung dengan silinder roda ditopang oleh anchor pin, sehingga posisinya tetap dan tidak dapat bergerak. Gaya pengereman ini menghasilkan gaya pengereman yang seimbang baik saat kendaraan bergerak maju atau mundur, sehingga lebih cocok untuk rem roda belakang.

b) *Tipe Uniservo*

Konstruksi model ini dilengkapi dengan dua buah silinder di bagian atas sepatu primer dan sekunder. Saat pedal rem ditekan, piston dalam silinder akan mendorong sepatu rem yang mengikuti arah putaran tromol, sehingga menimbulkan gesekan yang kemudian diteruskan ke sepatu sekunder. Pergerakan sepatu rem *trailing* dikendalikan oleh silinder roda, menghasilkan daya pengereman yang cukup besar. Namun, apabila arah putaran tromol berbalik, kedua sepatu rem akan berfungsi sebagai *trailing*, sehingga efektivitas pengereman menurun. Oleh karena itu, jenis rem ini memberikan performa pengereman yang lebih baik saat kendaraan bergerak maju, dan lebih sesuai digunakan pada roda depan.

c) *Tipe Duoservo*

Tipe rem ini memiliki kemiripan dengan tipe *leading and trailing*, namun perbedaannya terletak pada sepatu rem yang tidak terhubung dengan silinder roda. Pada tipe ini sepatu tersebut tidak dipasang secara tetap, melainkan dalam kondisi mengambang sehingga masih dapat bergerak. Seperti hanya pada tipe *uniservo*, tekanan hidrolik yang diterima oleh salah satu rem akan diteruskan ke sepatu rem lainnya. Sistem ini menghasilkan gaya pengereman yang seimbang, baik saat kendaraan maju maupun mundur, sehingga lebih sesuai digunakan pada rem roda

belakang. Meskipun begitu, daya pengereman yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan tipe *leading* dan *trailing*.

d) *Tipe Two Leading Single Action*

Pada konstruksi model ini, sebuah silinder roda dipasang dibagian atas sepatu rem primer dan sekunder, disertai dengan mekanisme penyetel sepatu rem. Ketika roda berputar maju, sepatu rem akan berfungsi sebagai *leading shoe*. Namun, saat arah putaran berbalik, kedua sepatu rem akan berperan sebagai *trailing shoe*

e) *Tipe Two Leading Double Action*

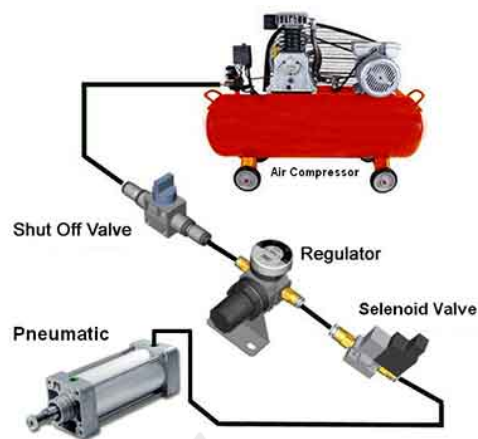
Model konstruksi ini menggunakan dua silinder roda yang ditempatkan pada bagian atas dan bawah dari sepatu rem primer dan sekunder. Pada model ini baik maju maupun mundur kedua sepatu menjadi *trailing*.

2.5. Aktuator Sistem Pengereman

Aktuator sistem pengereman merupakan komponen yang mengubah energi dari sumber penggerak menjadi gaya gesek yang digunakan untuk memperlambat atau menghentikan kendaraan. Aktuator berfungsi dengan menerima sinyal atau perintah dari sistem kontrol, lalu mengonversinya menjadi gerakan fisik[10]. Dalam proses ini, energi yang diterima oleh aktuator akan diubah menjadi Gerakan yang sesuai dengan perintah yang diterima. Jenis aktuator bisa bervariasi, mulai dari elektronik, hidrolik, pneumatic, hingga mekanik, tergantung pada tipe sistem otomasi yang digunakan.[11]. Maka dari itu pada penelitian ini peneliti menggunakan pneumatic sebagai aktuator kerja rem hidrolik.

2.6. Sistem Pneumatik

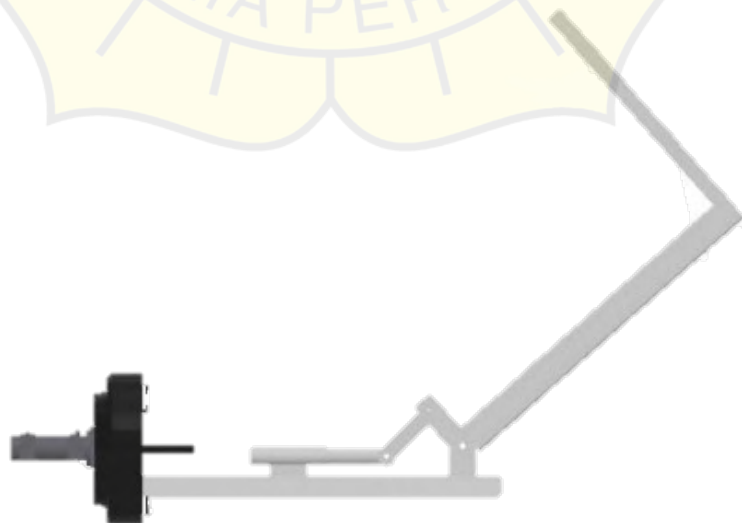
Pneumatik merupakan salah satu cabang ilmu teknik yang mempelajari udara bertekanan, baik gerakan, kondisi maupun pemanfaatannya. Sistem pneumatik merupakan sistem yang memanfaatkan tekanan udara sebagai sumber tenaga untuk menjalankan fungsi kerja dan pengendalian[12]. Udara terkompresi disimpan dalam tangki dan didistribusikan melalui pipa dan selang ke aktuator, yang kemudian mengubah energi udara menjadi gerakan mekanis. berikut dapat dilihat pada Gambar 2.3 yang disajikan di bawah ini.



Gambar 2 3 Sistem Pneumatik

2.7. Gaya yang Bekerja pada Sistem Pengereman

Pada sistem pengereman ini dipilih sistem pengereman yang secara keseluruhan menggunakan *drum brake*. Adapun elemen utama sistem rem adalah pedal rem, master rem, *brake pipes* dan *drum brake*. Pada kondisi aktual sistem rem memiliki *power brake (booster)* yang berada di antara pedal dan master rem, akan tetapi dalam tulisan ini diasumsikan pembesaran gaya yang dihasilkan oleh booster sangat kecil sehingga dapat diabaikan, di samping itu adanya keterbatasan alat ukur tekanan pada *booster*. Pedal rem berfungsi sebagai elemen yang bersentuhan langsung dengan driver yang menerima gaya tekan dan meneruskan tekanan tersebut ke master rem. Besar gaya yang diteruskan oleh pedal ke master rem akan



Gambar 2 4 Diagram Benda Bebas

lebih besar dari gaya yang diberikan driver. Berikut bisa di lihat pada gambar Gambar 2.4. dibawah ini.

Pada gambar 2.4 menunjukkan bagian yang akan dihitung. Maka, penulis melakukan perhitungan menggunakan rumus pada dibawah ini

Mencari Gaya :

$$F = m \cdot g \quad (1)$$

Dimana :

F = gaya (N)

m = massa (Kg)

g = Jarak (m)

Mencari momen pada pedal :

$$M = F \cdot g \quad (2)$$

Dimana

M = Momen

F = Gaya

g = Jarak

Mencari gaya output pedal

$$KM = \frac{LK}{LB} \quad (3)$$

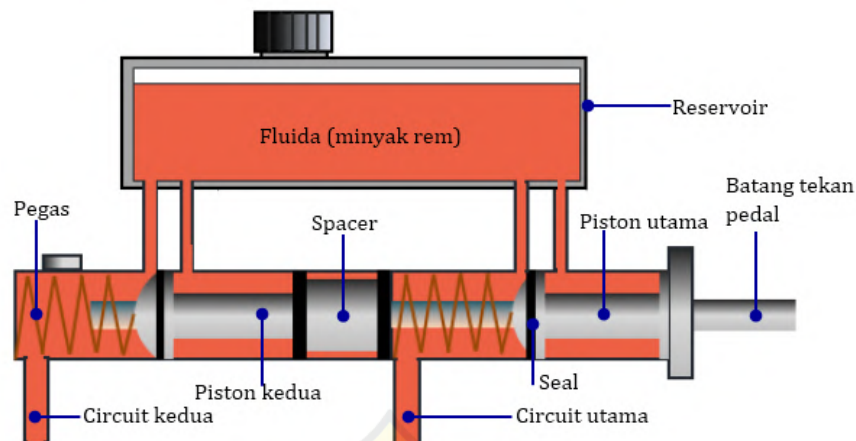
Dimana :

KM = Kekuatan Mekanis

LK = Lengan Kuasa

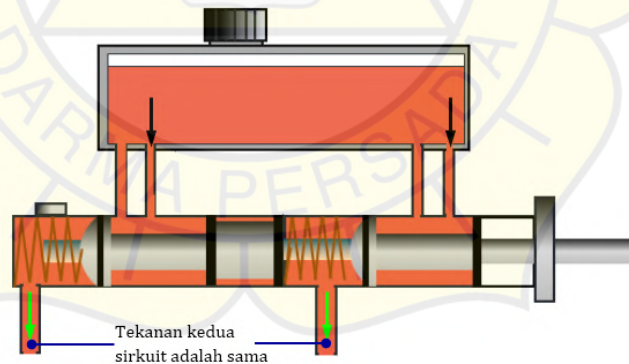
LB = Lengan Beban

Di dalam master rem terdapat fluida yang dimanfaatkan sebagai penerus tekanan. Hal ini berdasarkan hukum pascal yaitu tekanan yang diberikan pada bejana yang berisi fluida incompressible akan didistribusikan oleh fluida tersebut dengan besar yang sama. Persamaan dasar tekanan adalah gaya dibagi dengan luas permukaan yang tegak lurus dengan arah gaya. Maka formula ini dimanfaatkan sebagai cara kerja rem. Pemodelan master rem dapat dilihat pada Gambar 2.5 dibawah ini.



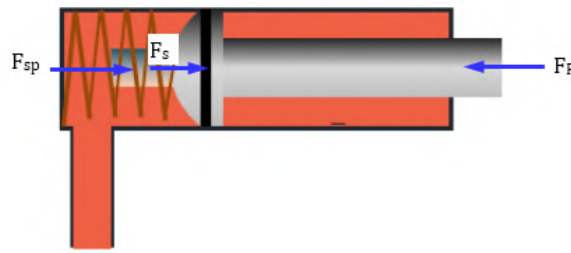
Gambar 2 5 Pemodelan Master Rem

Berdasarkan Gambar 2.5 dapat dilihat elemen-elemen utama dari master rem yaitu *reservoir* yang berfungsi sebagai penampung minyak, batang tekan pedal sebagai sumber gaya tekan dari pedal (*pushrod*), piston, *seal*, pegas, dan *spacer*. Adapun mekanisme kerja dari master rem dimulai dari penekanan pada *pushrod* yang diteruskan pada piston kemudian mengalami perpindahan sehingga terjadi tekanan pada kedua sirkuit. Pada saat penekanan akan terjadi pergerakan fluida dari *reservoir* ke piston, begitu juga sebaliknya ketika mengalami regangan, fluida akan mengalir ke reservoir. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 2.11



Gambar 2 6 Kondisi master brake ketika menekan

Pada master rem kedua sirkuit diasumsikan memiliki gaya tekan yang sama, Jika di survey pada satu sirkuit saja akan diperoleh gaya-gaya yang bekerja pada silinder seperti pada Gambar 2.11 berikut.



Gambar 2 7 Pemodelan gaya pada piston didalam master silinder

$$P_{mc} = \frac{F_p - F_s - F_{sp}}{A_{mc}} \quad (4)$$

Di mana :

P_{mc} : Tekanan output master silinder (Pa)

F_p : Gaya output pedal (N)

F_s : Gaya seal akibat gesekan seal (N)

F_{sp} : Gaya spring akibat tahanan kekakuan (N)

A_{mc} : Luas permukaan bore master silinder (m²)

Fluida mengalir dari master silinder ke drum brake adalah melalui brake line berupa *hose fleksibel* dan *stell pipe*. Brake line dapat dilihat pada Gambar 2.13 berikut.



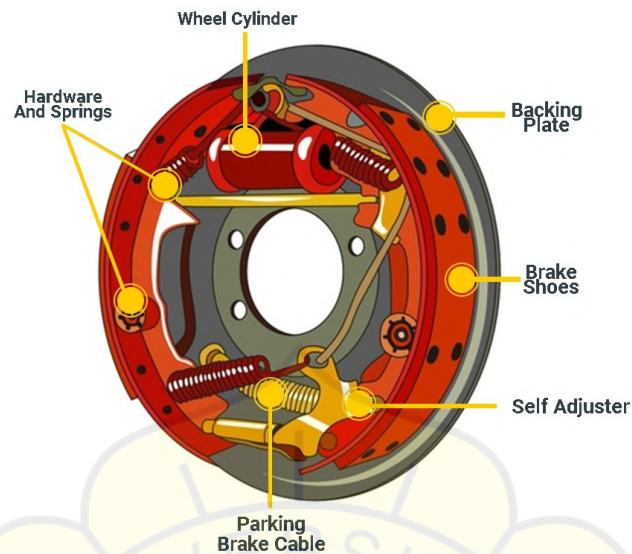
Gambar 2 8 Brake Lines

Pada brake line dapat dibuat persamaan tekanan di titik A dan di titik B dengan mempertimbangkan brake line tidak ada yang bocor dan fluida dalam kondisi liquid incompressible maka tekanan di titik A dan di titik B adalah sama, sehingga persamaan dapat dibuat dibawah ini.

$$P_A = P_B$$

Berdasarkan Persamaan diatas maka dapat disimpulkan bahwa tekanan yang dihasilkan dari master silinder sama dengan tekanan yang diterima oleh *drum brake* sama1. Oleh karena itu Persamaan dibawah ini dapat dibuat seperti pada Persamaan[13].

$$P_{mc} = P_{cal}$$



Gambar 2 9 Pemodelan Brake Drum

Berdasarkan 2.14 dapat dijelaskan elemen–elemen utama *drum brake* yaitu *Wheel Cylinder* merupakan komponen hidrolis yang mendorong brake shoes ke arah tromol saat pengereman, *Brake shoes* merupakan komponen yang menghasilkan gesekan dengan tromol untuk memperlambat atau menghentikan kendaraan, *Backing Plate* adalah pelat yang mendukung komponen rem dan menjaga posisinya, *Hardwer and Springs* merupakan Bagian kecil seperti pegas yang mengembalikan brake shoes ke posisi semula setelah pengereman.

2.8. Hipotesis penelitian

Berdasarkan teori dan tinjauan pustaka yang telah dikaji, hipotesis penelitian ini adalah:

Penggunaan smart kontrol pneumatik yang di kendalikan oleh sensor suhu dirancang untuk mendeteksi kegagalan rem dengan lebih cepat dan efisien dibandingkan sistem pengereman konvensional. Sistem otomatis ini memungkinkan mekanisme pengereman darurat diaktifkan secara real time berdasarkan kondisi suhu yang terdeteksi, sehingga dapat meminimalkan risiko kecelakaan akibat kegagalan rem, sehingga lebih efektif dalam mencegah kecelakaan yang diakibatkan oleh kegagalan rem.