

PERBANDINGAN KINERJA JARAK Pengereman BLOK REM BERBAHAN METALIK DAN KOMPOSIT PADA KERETA API

Luthfi Zakaria

Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kebangsaan

Email: lut_zakaria2003@yahoo.com

Abstrak

Peningkatan kualitas dan kuantitas pelayanan dari PT. Kereta Api Indonesia (Persero) menjadi tuntutan yang harus dipenuhi seiring dengan permintaan masyarakat akan angkutan kereta api. Untuk meningkatkan pelayanannya adalah dengan meningkatkan sistem keselamatan terutama pada sistem pengereman dan suku cadang penunjangnya. Blok rem adalah suku cadang sistem pengereman yang merupakan bahan habis pakai yang memerlukan penggantian secara rutin. Selama ini kebutuhan blok rem roda kereta api dalam negeri dipenuhi dari blok rem metalik produk dalam negeri dan blok rem komposit produk luar negeri. Dari data di lapangan kemungkinan dipakainya kembali rem komposit, sebab rem komposit memiliki banyak kelebihan daripada rem metalik. Artikel ini membahas perbandingan kinerja rem kereta api, berupa jarak pengereman dengan blok rem metalik dan komposit. Hasil percobaan dan analisis menunjukkan bahwa, jarak pengereman blok rem komposit hasilnya lebih dekat (pendek) dibandingkan dengan blok rem metalik.

Kata kunci: jarak pengereman, blok rem, metalik, komposit

Abstract

The quality and quantity service improvement have been done by PT Kereta Api Indonesia (Persero) is a one demand that must be done along with customers' needs and wants. For improvement of services especially in safety aspect, the braking system and its maintenance and parts takes dominant role. The brake block is a fast moving part which need routine maintenance. The brake block parts demand in Indonesia have been supplied by local products for kind of metallic brake blocks, and supplied by overseas products for kind of composite brake blocks. This article analyzed about performance (braking distance) comparison of metallic brake blocks and composite brake blocks. The results shows that composite brake blocks have better performance than metallic brake blocks. The braking distance of composite brake blocks is shorter than metallic brake blocks.

Keywords: braking distance, brake block, metallic, composite

I. PENDAHULUAN

PT. Kereta Api Indonesia (PT KAI Persero) merupakan jasa angkutan darat secara massal yang mempunyai peranan yang sangat strategis untuk mendukung roda perekonomian bangsa dengan cara memperlancar pendistribusian barang dan perpindahan manusia dari satu lokasi ke lokasi tujuan dengan aman, nyaman dan tepat waktu. Aspek teknik sarana KA merupakan sisi dominan yang harus diperhatikan oleh PT KAI Persero untuk menjamin tersedianya KA yang handal dan terjamin keandalannya selama operasional KA.

Salah satu upaya yang dilakukan oleh PT. Kereta Api Indonesia (Persero) dalam rangka peningkatan layanannya adalah dengan meningkatkan sistem keselamatan terutama pada sistem pengereman dan suku cadang penunjangnya. Blok rem adalah suku cadang sistem pengereman yang merupakan bahan habis pakai yang memerlukan penggantian secara rutin. Kebutuhan blok rem di Indonesia setiap tahunnya

melebihi 50 ribu buah. Selama ini kebutuhan blok rem kereta api di Indonesia dipenuhi dari blok rem metalik produk dalam negeri dan blok rem komposit produk luar negeri. Produk industri kecil menengah di Ceper memasok blok rem sebagai komponen bagi PT Inka (Persero) dan PT KAI (Persero) (ekonomi.bisnis.com).

Kegagalan komponen-komponen yang menunjang kerja sistem lokomotif dan kereta akan berdampak menurunnya keandalan (*reliability*) lokomotif dan kereta secara keseluruhan. Saat ini dapat diidentifikasi beberapa kelompok jenis kerusakan komponen pada lokomotif dan kereta dapat mengakibatkan *unscheduled downtime*. Kerusakan mekanik rangka bawah merupakan kerusakan pada peringkat pertama dan kecenderungan terjadi peningkatan kerusakan dari tahun 2000 ke 2001 yaitu dari 17,4% menjadi 1,5% (PT KA, 2002). Salah satu bagian dari mekanik rangka bawah adalah sistem pengereman. Fungsi utama sistem pengereman bagi kereta api adalah:

- Untuk memperlambat laju kereta api,
- Untuk menghentikan laju kereta api, dan
- Menahan kereta api dalam keadaan *stationary* di stasiun.

Jadi sangat jelas bahwa sistem pengereman merupakan komponen yang sangat vital bagi keseluruhan sistem kereta api, sehingga komponen blok rem harus selalu dicek keausan/kondisinya serta dilakukan penggantian. Dari permasalahan tersebut, maka dilaksanakan studi untuk mengetahui kemungkinan dipakainya rem komposit. Hal ini dikarenakan banyaknya kelebihan rem komposit daripada rem metalik.

Maksud penelitian

1. Bagaimana mengetahui jarak pengereman rangkaian KA dengan blok rem komposit dengan blok rem metalik.
2. Bagaimana perbandingan kinerja blok rem komposit dan blok rem metalik dibandingkan dengan perhitungan standar.
3. Bagaimana rekomendasi operasional atas blok rem komposit dan metalik berdasarkan hasil analisis.

Tujuan penelitian

1. Untuk mengetahui jarak pengereman rangkaian KA dengan blok rem Komposit.
2. Untuk mengetahui kinerja blok rem komposit dan blok rem metalik.
3. Untuk memberikan rekomendasi operasional atas pemakaian blok rem komposit metalik berdasarkan hasil analisis.

Batasan masalah

Batasan objek yang dianalisis dalam penelitian ini adalah:

1. Batasan cara kerja sistem pengereman pada lokomotif dan rangkaiannya.
2. Batasan sistem rem pada lokomotif yaitu blok rem komposit dan blok rem metalik.
3. Batasan penggunaan blok rem di Lokomotif CC 201 dan rangkaian kereta.

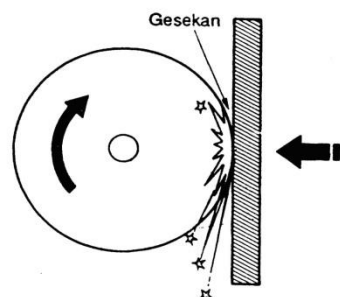
II. LANDASAN TEORI

Sistem Pengereman

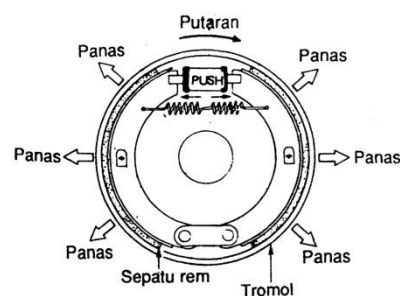
Pengereman atau disebut juga perabaran adalah merupakan suatu hal yang sangat penting di dalam istilah pengoperasian kereta api, terutama menyangkut segi keamanan guna proses pengurangan kecepatan, mempertahankan kecepatan (di jalan turunan) ataupun penghentian. Rem sangat penting dalam keamanan berkendara. Pada saat direm, kereta harus dapat berkurang

kecepatannya dan berhenti di suatu tempat atau dalam berbagai kondisi dapat berfungsi dengan baik dan aman serta dapat diberhentikan jika dalam keadaan darurat.

Kereta api tidak dapat berhenti dengan segera, mengingat kondisi jalan dan kecepatannya yang berbeda dengan kendaraan lainnya. Pada mesin, energi yang diubah adalah dari energi panas menjadi energi kinetik (energi gerak) untuk menggerakkan lokomotif. Kondisi sebaliknya, rem mengkonversi energi kinetik menjadi energi panas dan kendaraan akan terhenti. Kondisi umumnya, prinsip kerja rem adalah disebabkan oleh terdapatnya sistem penekanan gabungan melawan sistem-sistem gerak putar. Efek proses pengereman (*braking effect*) diperoleh dari adanya gaya gesekan yang ditimbulkan antara dua obyek. Seperti terlihat dalam gambar 1 dan gambar 2 dibawah ini.



Gambar 1. Efek pengereman



Gambar 2. Energi panas pada rem

Dari kedua gambar diatas menunjukkan bahwa lokomotif dan rangkaiannya dihentikan dengan adanya gaya gesekan antara rel dan roda. Gesekan ini akan bertambah dengan adanya pembagian beban pada roda. Karena lokomotif terletak didepan maka daya yang diperlukan untuk pengereman lebih besar didepan, hal ini karena saat pengereman titik pusat gravitasi akan berpindah kedepan karena gaya inersia dan berat lokomotif yang lebih besar dari pada gerbong.

Oleh sebab itu suatu sistem pengereman kereta api sebaiknya harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

Tabel 1. Komposisi bahan blok rem

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)
3,10 – 3,40	1,00 – 2,20	0,30 – 0,60	Maxs 0,10	Maxs 0,20

Rem blok komposit adalah merupakan jenis rem blok yang fungsinya sama dengan rem blok metalik yaitu untuk pengereman, rem blok komposit digunakan pada kereta dan gerbong barang, dengan memperhatikan kesesuaian antara blok rem dan komponen sistem pengereman lainnya.

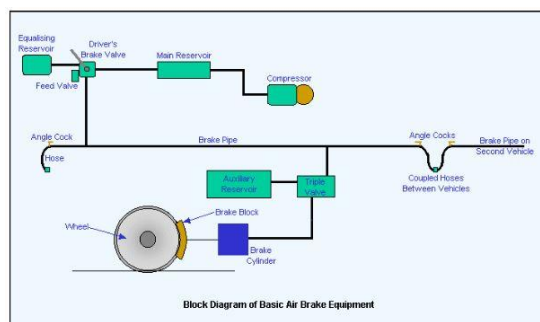
Data teknis blok rem komposit T. 358, sebagai berikut:

- Berat jenis (gr/cm²) : 1,7 – 2,
- Koefisien gesek : 0,14 – 0,22
- Hardnes (HRR) : 70 - 105
- Crush strength (N/cm²) : minimum 2500
- Cross breaking strength (N/cm²) : 2400 - 4000
- Shear strength (N/cm²) : 1500 - 3500
- Modulus of elasticity (N/cm²) : 24000 - 150000
- Thermal conductivity (W/m.K) : minimum 0,8
- Panjang: 320 mm
- Lebar : 80 mm
- Tebal : 50 mm
- Tinggi ujung lubang pen tusuk: 24 mm
- Jari-jari lengkung
- Permukaan gesek: R.382 mm & R 450 mm
- Punggung blok rem : R.450 mm
- Berat : 11 ±0,5 Kg

Jenis Pengereman

Secara umum sistem pengereman dengan udara tekan (*Air Brake System*) pada Lokomotif C-201 dibagi menjadi dua komponen utama, yaitu:

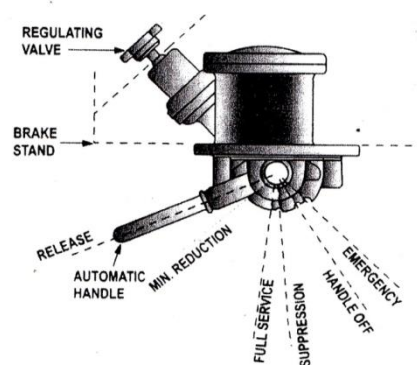
1. *Brake Valve* yang dapat digunakan pada:
 - Pengereman Otomatis (*Automatic Brake*)
 - Pengereman Independen (*Independen Brake*)
2. *Control Valve* bekerja secara otomatis untuk merespon kerja *brake valve* sehingga tekanan udara yang dihasilkannya dapat memenuhi kebutuhan *Relay Valve* yang menyebabkan sistem pengereman dapat bekerja.



Gambar 5. Diagram air brake system
Sumber: www.keretalistrik.com

Pengereman otomatis (Automatic Brake)

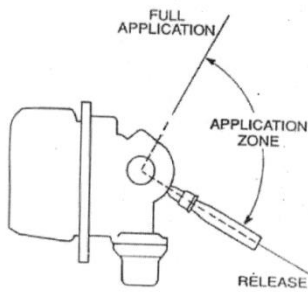
Merupakan tingkap untuk mengendalikan pengereman lokomotif dan rangkaiannya.



Gambar 6. Pengereman Otomatis (*Automatic Brake*)

Pengereman independen (Independen Brake)

Atau rem bebas adalah merupakan tingkap untuk mengendalikan pengereman yang ada pada lokomotif itu sendiri tanpa dipengaruhi oleh rem otomatis.



Gambar 4.5 Independent brake

Gambar 7. Rem Independen (*Independen Brake*)

Komponen Air Brake System
Kompresor (*Compressor*)

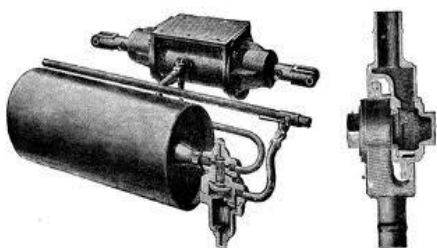
Kompresor udara merupakan komponen pada lokomotif yang berfungsi menghasilkan udara bertekanan tinggi. Memiliki tiga silinder, dua silinder bertekanan rendah pada posisi menyudut, dan satu silinder bertekanan tinggi posisi tegak. Kompresor digerakkan melalui fleksibel kopling dengan ujung depan dari *Crankshaft* motor diesel. Kompresor memiliki pompa pelumas sendiri dan sistem pelumasan bertekanan.



Gambar 8. Kompresor (*Compressor*)

Tangki utama (*Main Reservoir*)

Tangki Utama (*Main Reservoir*) berfungsi sebagai penyimpan udara bertekanan dari hasil yang dikeluarkan oleh kompresor. Agar tekanan udara tidak melampaui batas yang diijinkan. Maka dipasang *Safety Main Reservoir*.



Gambar 9. Tangki utama (*Main Reservoir*)

Tangki Udara Bantu (*Auxiliary Reservoir*)

Tangki udara bantu (*Auxiliary Reservoir*), dipasang pada lokomotif, gunanya untuk menyimpan udara tekan yang digunakan untuk sistim pengereman.



Gambar 10. Tangki udara bantu

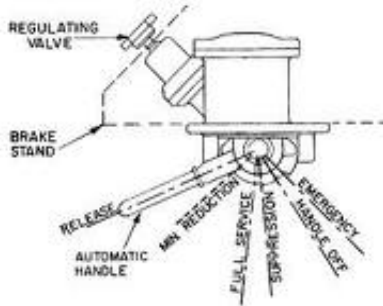
Brake Handle

Handle rem (pegangan rem) adalah alat yang digunakan masinis dan berfungsi memperlambat atau menghentikan kereta api. Pengereman dapat dengan cara *Pneumatic Brake*. Untuk menahan laju kereta dan mempertahankan kecepatan pada lintas menurun dengan pengereman *Dynamic Brake*. Pengereman *Pneumatic* terdiri atas *Automatic Brake* digunakan untuk pengereman rangkaian kereta/gerbong dan lokomotif. Sedangkan *Independent Brake* khusus digunakan untuk pengereman lokomotif.



Gambar 11. Brake Handle
Sumber: www.keretelistrik.com

Berfungsi mengendalikan rem dinamik, gagang ini terletak dipaling atas pada panel kontrol dan dapat digerakan dari kiri ke kanan untuk untuk menaikkan daya pengereman. Pemegang ini berupa bidang setengah lingkaran dengan permukaan rata vertikal, untuk membedakannya dengan gagang *Throttle* yang mempunyai permukaan rata horizontal. Gagang rem ini mempunyai kedudukan: OFF dan SET UP dimana rentang pengendalian mulai dari kedudukan 1 hingga 8 (FULL) dengan gerakan bebas tanpa *notching* (pembatas tahapan).



Gambar 12. Gagang Rem Dinamik

Pipa Saluran

Pipa Saluran (*Brake pipe*), yang digunakan untuk mengalirkan udara tekan ke seluruh Rangkaian Kereta/Gerbong dengan tekanan maksimum 70 Psi (5 Kg/Cm²) dan untuk saluran udara tekan ke tangki udara bantu (*Auxiliary Reservoir*). Dari ujung satu kereta dengan ujung kereta lainnya. *Brake Pipe* disambungkan melalui kopling selang udara (*Hose Connection*).

Silinder Rem (*Brake Cylinder*)

Silinder Rem (*Brake Cylinder*) adalah silinder yang berisi *Piston* dan Membran (*Diaphragm*). Bila udara tekan dialirkan ke dalam silinder, tekanan diteruskan oleh *piston* ke batang penekan untuk mengoperasikan sepatu rem yang selanjutnya menekan roda lokomotif.



Gambar 13. Silinder rem
Sumber: <http://www.keretalistik.com>

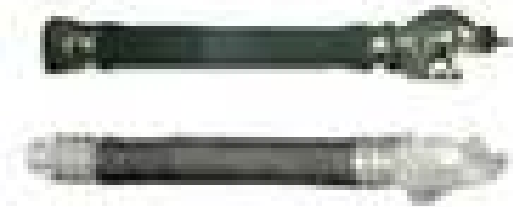
Pada lokomotif terdapat 8 *Brake Cylinder* yang mengerem pada 6 poros roda Lokomotif CC 203.



Gambar 14. Slang udara tekan (*Brake Hose Coupling*)

Sumber: keretalistik.com

Selang udara tekan (*Brake Hose Coupling*), adalah alat yang menghubungkan *brake pipe* pada rangkaian kereta / gerbong atau *brake pipe* pada rangkaian kereta / gerbong dengan *brake pipe* pada rangkaian kereta / gerbong lainnya.



Gambar 15. Katup Udara Tekan (*Brake Air Isolating Cock*)

Katup Udara Tekan (*Brake Air Isolating Cock*)

Katup udara tekan (*Brake Air Isolating Cock*), atau katup air brake berfungsi untuk membuka dan menutup saluran udara yang menuju rangkaian kereta / gerbong. Bila katup pada posisi ditutup, maka udara penyuplai akan tertutup dan udara dari rangkaian dibung melalui saluran buangnya (*exhauster*).

Double Check Valve

Double Check Valve, adalah alat yang berfungsi untuk mengalirkan udara tekan dua arah tapi kerjanya harus bergantian (masuk kanan keluar tengah dan masuk kiri keluar tengah).



Gambar 16. Distributor Valve
Sumber: <http://www.keretalistik.com>

Deadman Pedal

Deadman pedal, merupakan alat pijakan untuk mengerem, dan dioperasikan oleh masinis dalam kondisi lokomotif berjalan. *Deadman* secara otomatis akan bekerja dan menimbulkan pengereman darurat jika masinis lupa menjalankan *deadman pedal* dalam batas waktu yang ditentukan.



Gambar 17. *Deadman Pedal*

Safety Valve,

Safety valve adalah alat yang berfungsi untuk membatasi tekanan udara apabila melampaui batas yang ditentukan. *Safety Valve* terdapat pada tangki utama (150 Psi) dan pada *Intercooler* yang tingginya 64 Psi. *Safety Valve* akan bekerja jika *Governor* Kompresor gagal mengamankan tangki utama.



Gambar 18. *Safety Valve*

III. METODE Pengereman

Setiap jenis kendaraan yang bergerak pasti memiliki rem termasuk kereta api dengan lokomotif dan rangkaiannya (kereta/gerbong). Masing-masing karakteristik pengereman memiliki jarak pengereman (*stopping distance*) berbeda-beda. Jarak pengereman dari kereta api merupakan jarak yang diperlukan sampai kereta api berhenti dihitung mulai saat penarikan tuas (*handle*) rem oleh masinis dalam kondisi pengereman penuh.

Penentuan Parameter Input proses pengereman

Secara teknis, *full brake* atau pengereman penuh terhadap kereta api dengan pengereman udara tekan (*Westinghouse*) yaitu berupa penurunan tekanan udara pada pipa utama sebesar 1,4–1,6 kg/cm² (1,4–1,6 atm) yang dilakukan masinis sehingga menyebabkan nilai tekanan terbesar pada silinder pengereman kereta beserta gerbong sebesar 3,8 kg/cm² (3,8 atm) pada setiap kereta atau gerbong. Jarak dari pengereman (*L*), dalam meter (m) sangat berpengaruh pada kereta api dan menjadi acuan bagi masinis, untuk menarik tuas rem dan melakukan pengereman agar kereta api dapat berhenti pada waktu yang tepat. Saat

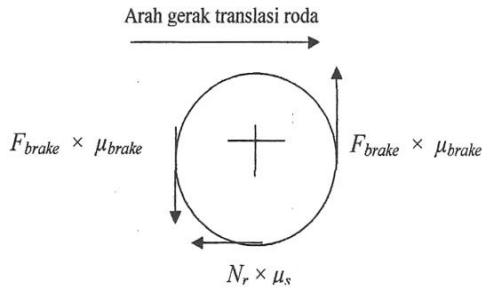
kondisi kereta api bergerak dengan kecepatan penuh dan harus berhenti di depan sinyal (karena tertahan sinyal tidak boleh lewat), masinis diharuskan bisa mengira-ira jarak pengereman. Kapan masinis harus mulai menarik tuas rem dan kereta api bisa berhenti sebelum melewati sinyal tersebut.

Jarak pengereman kereta dapat mengungkapkan penyebab kecelakaan kereta api. Kecelakaan kereta api, misalnya tabrakan kereta api secara frontal, rangkaian kereta api ditabrak dari belakang oleh kereta api lain, rangkaian kereta api menabrak kereta api lain di emplasemen stasiun, kereta api menabrak mobil atau kendaraan yang mogok di perlintasan. Analisis kondisi lapangan dan teknis pengereman bisa mengungkapkan sebab-sebab kecelakaan. Faktor teknis penyebab terdiri dari dari factor *technical error* atau kesalahan oleh operator (*human error*). Di lokasi kejadian bisa dihitung jarak pengereman dari titik tabrakan sampai ke titik masinis bisa melihat obyek atau kereta api lain yang menghambat laju keretanya dengan asumsi dalam kecepatan penuh.

Kondisi teknis pengereman kereta api, kemudian dianalisis sehingga diperoleh data. Hasilnya akan menunjukkan apakah kereta yang bertabrakan tersebut mempunyai alat dan sistem pengereman yang sesuai dengan ketentuan persyaratan teknis pengereman atau kereta tetap dijalankan dalam kondisi tidak memenuhi peraturan tersebut. Dari hasil analisis itu, bisa diketahui apakah disebabkan oleh masinis yang terlambat menarik tuas rem, jarak terlalu dekat, atau kondisi peralatan tidak memenuhi ketentuan.

Situasi lain bisa menyebabkan kecelakaan yaitu "masinis kondisi tertidur", alat pedal "*deadman pedal*" tidak berfungsi, sistem rem otomatis tidak beroperasi baik melakukan pengereman penuh mulai masinis mulai tertidur. Peralatan sistem pengereman otomatis bisa bekerja dengan 3 cara. Pertama dilakukan di lokomotif oleh masinis. Kedua dilayani otomatis oleh sistem pengamanan "*deadman pedal*" atau "*automatic emergency brake*" di lokomotif. Ketiga dengan peralatan "*emergency brake*" pada setiap gerbong yang dilakukan oleh awak kereta api dengan cara menarik tuas.

Saat pengereman, kemungkinan bisa terjadi *skidding*, yaitu slip antara roda kereta/gerbong dengan rel. Hal ini terjadi jika momen pengereman melampaui momen gesek static antara roda dan rel, dapat disederhanakan dengan diagram benda bebas pada Gambar 19 dan persamaan 1 ini.



Gambar 19. Diagram benda bebas roda dengan pengereman

Sumber: Subyanto, M.. 1982

$$2F_{shoe}\mu_{brake} < N_r\mu_s \dots\dots\dots(1)$$

F_{shoe} = Gaya tekan pada blok rem pada full-brake ($\rho_{cyl} = 3,8 \text{ kg/cm}^2$)

μ_{brake} = Koefisien gesek rem dengan roda

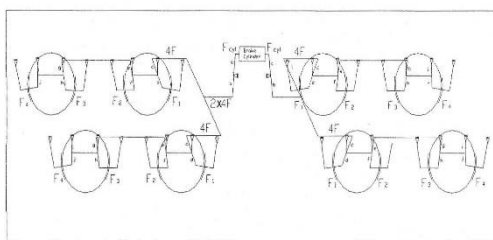
N_r =Gaya normal rel terhadap roda ($W_{coach} / 8$)

μ_s = Koefisien gesek static antara roda dengan rel

Pembebanan utama pada blok rem terdiri dari gaya pengereman, gaya geser karena gesekan permukaan kontak rel dengan roda kereta serta panas yang ditimbulkan oleh gesekan. Tingkat keausan juga akan diformulasikan untuk memperkirakan umur blok rem. Hubungan antara gaya pengereman pada *brake cylinder* dan gaya penekan sepatu rem dicari dari data operasional kereta, dan sistem rem. Hasil dari analisis gaya tersebut antara lain adalah tekanan permukaan sepatu, yang bersama dengan data material.

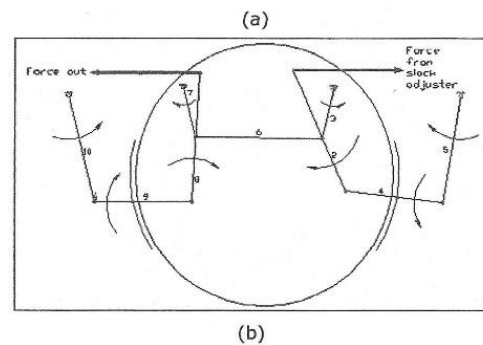
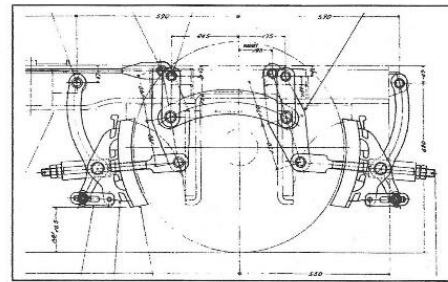
Analisis gaya pengereman

Pengereman pada kereta terjadi melalui mekanisme berupa batang penghubung (*link*) yang menghantarkan gaya dari *brake cylinder*. Gambar 20 menunjukkan secara sederhana mekanisme pengereman pada satu kereta api.



Gambar 20. Mekanisme rem pada 1 kereta, terdiri dari 8 roda, 16 blok rem yang melayani satu pasang roda (kanan-kiri),

Sumber: Subyanto, M.. 1982



Gambar 21. Jaringan batang penghubung a) dari gambar teknik b) pemodelan sederhananya.

Sumber: Subyanto, M.. 1982

Tabel 1. Data-data perancangan kereta api

	Data awal	SI
Massa kereta (m)	37880 kg	
Cylinder pressure (d_{cyl})	3,8 kg/cm^2	0,3724 MPa
Gaya pegas penahanan (F_{spr})	140 kg	1372 N
Panjang batang-batang penghubung		
a	475 mm	
b	355 mm	
c	170 mm	
d	170 mm	
e	190 mm	
f	190 mm	
g	170 mm	
h	170 mm	
i	150 mm	
J	150 mm	

(sumber: Brake Diagram and Calculation, PT. KAI, 1999)

Penurunan sederhana untuk mencari hubungan antara gaya pengereman di setiap sepatu/blok rem, F_{shoe} , dan gaya hidrolik yang diterapkan oleh brake cylinder, F_{cyl} .

Gaya pada silinder (F_{cyl}) dicari dengan persamaan sebagai berikut (*Brake Diagram and Calculation*, PT KA, 1999).

$$F_{cyl} = [A_{cyl} \times P] - \text{return spring force } (F_{spr})$$

Dengan:

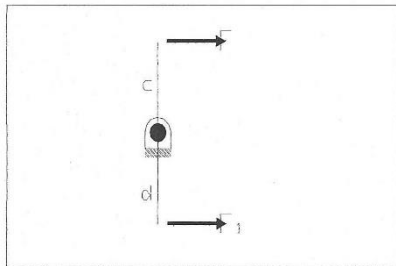
$$A = n \times \frac{0,3^2}{4} - \text{return spring force } (F_{spr}) \dots\dots\dots(2)$$

$$P = 0,3724 \text{ Mpa}$$

$$F_{spr} = 1372 \text{ N}$$

$$\text{Maka } F_{cyl} = (0,070687 \times 0,3724 \cdot 10^6) - 1372 = 24951,8 \text{ N } (2546,1 \text{ kg})$$

Berikut ini langkah-langkah untuk mencari gaya pada masing-masing sepatu rem. Tinjau batang CD.



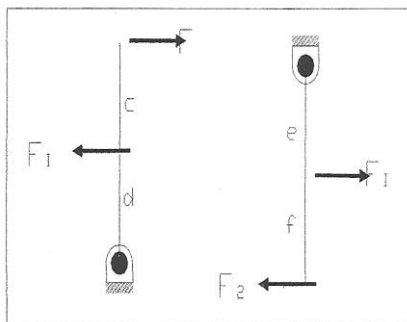
Gambar 22. Batang CD

$$\sum M_0 = 0$$

$$F \cdot c = F_1 \cdot d$$

$$F_1 = \frac{c}{d} F$$

Tinjau batang CD dan EF



Gambar 23. Batang CD dan EF

$$\sum M_0 = 0$$

$$F(c+a) = F_1 d$$

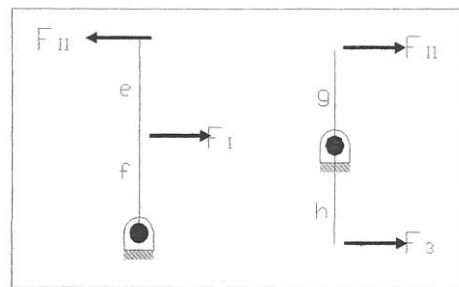
$$F_1 = F \frac{(c+d)}{d} \dots\dots\dots(3)$$

$$F_1^e = F_2(e+f) \dots\dots\dots(4)$$

$$F_2 = \frac{e}{(e+f)} F_1 \dots\dots\dots(5)$$

$$F_2 = \frac{e}{(e+f)} \frac{(c+d)}{d} F \dots\dots\dots(6)$$

Tinjau batang EF dan GH



Gambar 24. Batang EF dan GH

$$\sum M_0 = 0$$

$$F_{II}(c+a) = F_1 f \dots\dots\dots(7)$$

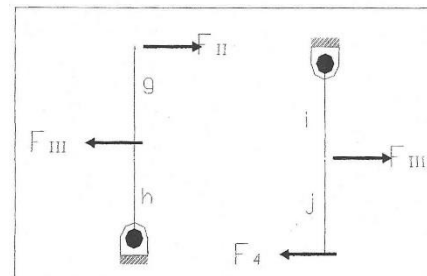
$$F_{II} = \frac{(c+d)}{d} \frac{f}{(e+f)} F \dots\dots\dots(8)$$

$$F_{II} g = F_3 h$$

$$F_3 = \frac{g}{h} F_{II}$$

$$F_3 = \frac{g}{h} \frac{(c+d)}{d} \frac{e}{(e+f)} F$$

Tinjau batang GH dan IJ



Gambar 25. Batang GH dan IJ

$$\sum M_0 = 0$$

$$F_{II}(g+h) = F_{III} h$$

$$F_{III} = \frac{(g+h)}{h} \frac{c+d}{d} \frac{e}{(e+f)} F \dots\dots\dots(9)$$

$$F_{III} i = F_4(i+j)$$

$$F_4 = \frac{i}{(i+j)} F_{III}$$

$$F_4 = \frac{i}{(i+j)} \frac{(g+h)}{h} \frac{(c+d)}{d} \frac{e}{(e+f)} F \dots\dots\dots(10)$$

$$F_{total} = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

$$F_{total} = \frac{c}{d} F_1 + \frac{e}{(e+f)} \frac{(c+d)}{d} F_2 + \frac{g}{h} \frac{(c+d)}{d} \frac{f}{(e+f)} F_3 + \frac{i}{(i+j)} \frac{(g+h)}{h} \frac{(c+d)}{d} \frac{f}{(e+f)} F_4 \dots\dots\dots(11)$$

$$F_{total} = F + (0,5 \times 2)F + (1 \times 2 \times 0,5)F + (0,5 \times 2 \times 2 \times 0,5)F$$

$$F_{total} = 4F$$

Sehingga,

$$F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = F_{shoe} \dots\dots\dots(12)$$

Pada setiap bogie kereta penumpang terdapat delapan blok rem sehingga total gaya pengereman yang diperlukan adalah $8 \times F_{shoe}$. Dengan adanya batang penghubung ab maka untuk mencari F_{shoe} digunakan persamaan momen.

$$8F_{shoe} \times b = F_{cyl} \times a \dots\dots\dots(13)$$

$$F_{shoe} = \frac{a}{8 \times b} F_{cyl} = \frac{475}{8 \times 355} \times 24951,8 N$$

$$F_{shoe} = 4173,3 N \text{ (} 425,85 kg \text{)}$$

Jadi, untuk setiap kondisi pengereman full brake ($p_{cyl} = 3,8 \text{ kg/cm}^2$), diperoleh gaya pengereman pada masing-masing sepatu rem sebesar 425,85 kg. Dengan efisiensi pneumatic sebesar 0,95 maka gaya pengereman sebenarnya adalah 404,56 kg.

Faktor Yang Berpengaruh Pada Jarak Pengereman

- a. Kecepatan Kereta Api
Kondisi kecepatan kereta api yang semakin cepat, jarak pengereman akan semakin panjang Kemiringan / lereng (*gradient*) jalan (rel).
- b. Kemiringan rel
Berpengaruh terhadap jarak pengereman dalam dua kemungkinan. Pertama menambah jarak pengereman pada rel menurun. Kedua mengurangi jarak pengereman pada rel menaik.
- c. Prosentase gaya pengereman
Merupakan besaran gaya pengereman dibandingkan bobot kereta api yang direm dikalikan dengan 100%. Besaran Nilai gaya pengereman yang semakin kecil, maka jarak pengereman semakin panjang. Besaran gaya pengereman secara praktis tidak mencapai angka 100%, karena disebabkan beberapa factor, misalnya jumlah kereta dan gerbong yang tidak bisa terlayani dalam satu rangkaian.

Perhitungan Jarak Pengereman

Di Indonesia sistem pengereman udara tekan dari Knorr. Adapun rumus jarak pengereman adalah rumus Minden, yaitu:

Rumus untuk kereta api dengan rangkaian kereta penumpang (<http://keretapedia.com>):

$$L = \frac{3,85 \cdot V^2}{6,1 \cdot \psi \cdot (1 + \frac{\lambda}{10}) \pm i_r} (m) \dots\dots\dots(14)$$

V = Kecepatan kereta api dalam km/jam

λ = Presentase pengereman (%) = 85 %

I = Lereng/kemiringan ($^{\circ}/_{\infty}$)

ψ = Faktor kecepatan dan jenis rem

$i_r = C_i \cdot i$

C_i = Faktor koreksi tanjakan

$\lambda_r = C_1 \cdot \lambda$

C_1 = Faktor koreksi panjang rangkaian

Tabel 2. Data Waktu dan Posisi Rem

Kecepatan(V)km/jam	Rem Posisi(R atau P)
40	0,84
50	0,90
60	0,94
70	0,96
80	0,99
90	1,00
100	1,00

Sumber: <http://keretapedia.com>

Tabel 3. Data Jumlah Gandar dan Posisi Rem

Rem Posisi	Jumlah Gandar	$n \leq 24$	$24 < n \leq 48$	$48 < n \leq 60$	$60 < n \leq 80$	$80 < n < 100$
		R/P	C_1	1,10	1,05	1,0

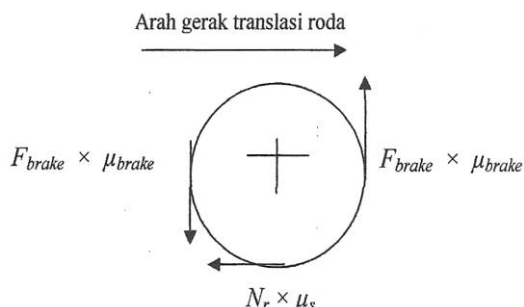
Sumber: <http://keretapedia.com>

Tabel 4. Data Kecepatan dan Posisi Rem

Kecepatan (V) km/jam	40	50	60	70	80	90	100
Rem Posisi R/P	0,77	0,81	0,84	0,87	0,89	0,90	0,90

Sumber: <http://keretapedia.com>

Saat terjadi pengereman, terdapat kemungkinan terjadi *skidding*, yaitu slip antara roda kereta/gerbong dengan rel. Hal ini terjadi jika momen pengereman melampaui momen gesek static antara roda dan rel, yang dapat disederhanakan dengan diagram benda bebas pada Gambar 21 dan persamaan 15 berikut ini.



Gambar 21. Diagram benda bebas roda temperatur dengan pengereman. (Sumber: Nicholson 1995)

$$2F_{shoe}\mu_{brake} < N_r\mu_s \dots\dots\dots(15)$$

F_{shoe} = Gaya tekan pada blok rem pada full-brake ($\rho_{cyl} = 3,8 \text{ kg / cm}^2$)

μ_{brake} = Koefisien gesek antara rem dengan roda

N_r =Gaya normal rel terhadap roda(= $W_{coach} / 8$)

μ_s =Koefisien gesek statik roda dengan rel.

(Nicholson, 1995)

Pembebanan utama pada blok rem terdiri dari pembebanan karena gaya pengereman, gaya geser karena gesekan pada permukaan kontak dengan roda kereta api dan panas yang timbul karena gesekan. Selain itu tingkat keausan juga akan diformulasikan untuk memperkirakan umur blok rem. Hubungan antara gaya pengereman pada *brake cylinder* dan gaya penekan sepatu rem dicari dari data-data kereta, operasional dan sistem rem seperti pada sub-sub berikut ini. Hasil dari analisis gaya tersebut antaa lain adalah tekanan permukaan sepatu, yang bersama dengan data material.

Hasil uji coba dalam beberapa kecepatan awal pengereman hasilnya sebagai berikut.

Tabel 5. Jarak pengereman

Kecepatan awal (V) km/jam	Jarak pengereman (L) meter		
	Rumus Perhitungan (m)	Blok rem (metalik) (m)	Blok rem (komposit) (m)
60	249	332	210
70	332	415	295
80	420	650	385
90	527	745	463
100	650	910	600

*sumber: hasil penelitian

IV. ANALISIS HASIL

Blok Rem Metalik

1. Dibandingkan dengan rumus Minden dan hasil percobaan operasional dilihat dari jarak pengereman dengan blok rem metalik, jarak pengereman lebih panjang (jauh).

2. Dengan kondisi kereta api berkecepatan penuh serta harus berhenti di sinyal masuk, dan jarak sinyal muka ke sinyal utama pada lintas jalan datar adalah 500 meter. Potensi sangat besar melewati sinyal masuk utama. Hal ini jika masinis mulai pengereman saat melewati sinyal muka tersebut.
3. Jika memakai blok rem besi atau blok metalik maka masinis harus mulai mengerem sewaktu kedudukan sinyal muka tidak aman. Atau masinis harus mengerem sebelum melewati sinyal muka atau mulai mengerem pas saat melihat kedudukan sinyal muka. Jika pengereman dilakukan setelah lewat sinyal muka, maka melanggar sinyal masuk utama, atau kereta akan berhenti setelah lewat sinyal masuk utama dalam kondisi tidak aman.

Blok Rem Komposit

1. Dari jarak pengereman blok rem komposit memberikan hasil jarak pengereman uji coba operasional lebih pendek atau mendekati hasil percobaan operasional dengan blok rem berbahan metalik.
2. Dalam penggunaan blok rem komposit, proses mengerem oleh masinis dilakukan menjelang lewat sinyal muka, jika kereta berkecepatan kurang dari 90 km/jam. Lain halnya kereta yang melaju penuh melebihi 90 km/jam, pengereman sebelum melewati sinyal muka harus sudah dilakukan.
3. Untuk keamanan, besaran jarak pengereman harus diketahui baik oleh masinis, petugas pengatur perjalanan kereta api, dan diketahui pula oleh pihak lain di jalan raya yang terlewati lintasan kereta api. Hal ini terlebih lagi pada perlintasan tanpa penjaga.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil pengolahan data dan analisis dapat disimpulkan bahwa perbandingan blok rem metalik dan blok rem komposit sebagai berikut:

1. Blok rem metalik memberikan jarak pengereman lebih jauh dibandingkan blok rem komposit. Jika dibandingkan dengan perhitungan teoritis, blok rem metalik lebih jauh, sedangkan blok rem komposit lebih pendek.
2. Dari hasil uji coba maka blok rem komposit, dalam berbagai kecepatan awal pengereman, menunjukkan hasil penggunaannya akan lebih baik (lebih pakem).
3. Rekomendasi dari hasil penelitian ini adalah disarankan untuk meningkatkan keamanan agar

digunakan blok rem komposit, dengan pertimbangan jarak rem yang lebih dekat.

Saran

Dari hasil analisis dan kesimpulan, disarankan agar PT KA dapat menerapkan hasilnya, untuk mendukung peningkatan pelayanan kepada masyarakat konsumen), khususnya dari aspek keamanan perjalanan.

Untuk mempertahankan dan meningkatkan aspek keamanan dan kehandalan sistem perjalanan rangkaian kereta api, disarankan agar perawatan lebih ditingkatkan lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Callister, W.D., "Materials Science and Engineering", John Wiley & Sons Inc., 1994.
- Hooton, N. A.. 1969, "Metal-Ceramic Composites in High-Energy Friction Applications". Bendix.
- Incopera, Frank, 1994. "Introduction to Heat Transfer", John Wiler & Sons Inc.,
- Nicholson, G. 1995. "Facts about Friction". P & W Price Enterprises, Inc.
- PT. Kereta Api, "Permasalahan dan Pemikiran Pengembangan Transportasi Kereta Api", Bandung, Februari 2002.
- PT. Kereta Api, "Dukungan Sarana Kereta Siap Guna dan Stamformasi GAPEKA 2011 di Jawa dan Sumatera", Mei 2001.
- PT. Kereta Api, "Analisa Kegagalan Pecahnya Roda Ka-84 Kamandanu", Agustus 1999.
- PT. Kereta Api, "Laporan Penelitian Blok Rem Komposit pada KA Argobromo", September 1999.
- Puka, I.W., Suratman, R., Supriahanto, A., 2002, "Identifikasi Kegagalan Drum Rem Produk UKM", Jurnal Teknik Mesin, submitted for publication (Indonesian).
- Subyanto, M.. 1977 "Dinamika Kendaraan Rel Bagian ke I" Bandung, Mei, 1977.
- Subyanto, M.. 1982 "Dinamika Kendaraan Rel Bagian ke II" Bandung: Penerbit C.V. Komala.
- [http://keretapedia.com/sarana-kereta-api/Wajib Tahu! Cara hitung Jarak Pengereman Kereta Api](http://keretapedia.com/sarana-kereta-api/Wajib-Tahu!-Cara-hitung-Jarak-Pengereman-Kereta-Api). Didonlot Minggu 7 Feb. 2021.
- <https://ekonomi.bisnis.com/read/20170126/257/623156/ikm-di-ceper-pasok-komponen-rem-kereta-api>. Didonlot minggu 7 Feb.2021.
- <http://www.keretalistrik.com/2016/10/dunia-kereta-komponen-air-brake.html>