

Analisis Pola Keausan *Brake Shoe* pada Kereta *Mass Rapid Transit* Jakarta

Analysis The Wear of Brake Shoe on Mass Rapid Transit Jakarta Train

Vira Pramadhani Putri^{1*}, Dahlan², Totok Suryono³

^{1,2,3}Program Studi Rekayasa Infrastruktur Lingkungan, Fakultas Teknik Transportasi dan Logistik, Institut Transportasi dan Logistik Trisakti, Jl. IPN No. 2, Cipinang Besar Selatan, Jakarta 13410, Indonesia

*Email Korespondensi: virapptr@gmail.com

Abstract

Brake shoe is one of the components on train that has an important role in braking process, to perform braking brake shoe rubs against the wheel. Friction between the brake shoe and wheel continuously can cause wear on brake shoe. The purpose of this study is to determine the wear rate and service life of brake shoe and main cause of brake shoe wear faster. The research method used in this research is descriptive quantitative method. Based on the results of the study, at a distance of about 7000 km to 10000 km the brake shoe on trailer car experienced wear of about 4 mm to 8 mm while brake shoe on motor car was about 1 mm to 3 mm. The service life of brake shoe on trailer car when mileage reaches 40000 km to 50000 km while on the motor car it can reach 70000 km to 90000 km and the main cause of brake shoe wear is faster due to the large braking force generated due to the frequent braking of the train so that the friction on the brake shoe and the wheel is more frequent and can cause hot temperatures which make wear occur faster.

Keywords: wear, brake shoe, lifetime, electric train, braking

Abstrak

Brake shoe merupakan salah satu komponen pada kereta api yang memiliki peran penting dalam proses pengereman, untuk melakukan pengereman brake shoe bergesekan dengan roda. Gesekan antara brake shoe dengan roda secara terus menerus dapat mengakibatkan keausan pada brake shoe. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui laju keausan serta umur pakai pada brake shoe serta penyebab utama brake shoe mengalami keausan lebih cepat. Metode penelitian yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif deskriptif. Berdasarkan hasil penelitian, pada jarak sekitar 7000 km s/d 10000 km brake shoe pada trailer car mengalami keausan sekitar 4 mm s/d 8 mm sementara pada brake shoe motor car sekitar 1 mm s/d 3 mm. Umur pakai pada brake shoe trailer car saat jarak tempuh mencapai 40000 km s/d 50000 km sementara pada motor car dapat mencapai 70000 km s/d 90000 km. Serta penyebab utama brake shoe lebih cepat mengalami keausan dikarenakan dari gaya pengereman yang dihasilkan besar dikarenakan frekuensi pengereman kereta yang sering sehingga gesekan pada brake shoe dan roda semakin sering dan dapat menyebabkan temperatur panas yang membuat keausan lebih cepat terjadi.

Kata kunci: keausan, blok rem, usia pakai, kereta rel listrik, pengereman

A. Pendahuluan

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2007 Tentang Perkeretaapian, menjelaskan bahwa kereta api adalah sarana perkeretaapian dengan tenaga gerak, baik berjalan sendiri maupun dirangkaikan dengan sarana perkeretaapian lainnya, yang akan ataupun sedang bergerak di jalan rel yang terkait dengan perjalanan kereta api. Salah satu kereta berpenggerak sendiri ialah kereta rel listrik atau biasa yang disebut dengan KRL. Kereta rel listrik disingkat KRL adalah kereta rel dengan sistem propulsi motor yang digerakkan dengan tenaga listrik (Pemerintah Indonesia, 2007).

Salah satu bentuk keamanan dalam kereta api adalah kemampuan pengereman yang baik untuk mengendalikan kecepatan sangat tinggi dan prinsip pengereman adalah mengubah energi kinetik menjadi energi panas melalui kontak dua permukaan antara roda dan sepatu rem (Abbas, 2018). Fungsi utama pengereman pada kereta api ialah untuk memperlambat dan memberhentikan laju kereta api. Guna menjalankan fungsi tersebut maka diperlukan mekanisme pengereman yang handal yang terdiri atas beberapa komponen rakitan yang memiliki spesifikasi, fungsi dan cara kerjanya masing-masing. Performa pada pengereman dipengaruhi oleh tekanan, temperatur dan kecepatan. Jadi sangat jelas bahwa sistem pengereman merupakan komponen yang sangat vital bagi keseluruhan sistem kereta api (Darmawan, 2023).

Salah satu komponen pengereman pada kereta adalah *brake shoe*. *Brake shoe* akan bergesekan langsung dengan roda kereta, dan akan mengubah energi kinetik kereta menjadi energi panas melalui gesekan yang terjadi sehingga kereta dapat menurunkan kecepatannya atau memberhentikanannya (Arisandi, 2014). *Brake shoe* pada kereta memiliki fungsi utama untuk mengatur dan mengendalikan kecepatan serta menghentikan gerakan kereta. Fungsi *brake shoe* ini penting untuk menjaga keselamatan, mengurangi keausan pada komponen rem dan memberikan kontrol yang lebih baik terhadap gerakan kereta di berbagai kondisi jalanan atau rel. Menurut Gultom (2021), pada kereta yang lebih panjang atau memiliki beberapa rangkaian, blok rem dapat membantu mendistribusikan gaya pengereman secara merata di seluruh komponen rem. Pada kereta berpenggerak listrik, *brake shoe* juga dapat melakukan pengereman darurat jika pengereman elektrik tidak bekerja (Gultom, 2016).

Setiap komponen yang bergerak pada umumnya selalu mengalami keausan. Hal ini dikarenakan adanya dua benda yang saling berkontak atau bergesekan dan mengakibatkan hilangnya bagian dari permukaan yang saling berinteraksi satu sama lain (Ginting, 2022). Gesekan merupakan gaya yang terjadi diantara 2 benda yang saling bersentuhan. (Hardiansyah, 2021). Faktor-faktor yang mempengaruhi keausan adalah kecepatan, tekanan,

kekasaran permukaan dan kekerasan material. *Brake shoe* merupakan salah satu komponen habis pakai yang mengalami keausan.

Ada beberapa penyebab utama keausan pada *brake shoe* antara lain ialah: (a) kecepatan, semakin tinggi kecepatan kereta maka gaya pengereman yang dihasilkan semakin besar sehingga terjadi keausan pada *brake shoe*; (b) beban kereta, semakin besar beban kereta, semakin besar juga gesekan yang terjadi antara *brake shoe* dengan roda sehingga *brake shoe* mengalami keausan lebih cepat; (c) kekerasan material, pada umumnya saat ini kereta api menggunakan *brake shoe* berbahan komposit. Standar material *brake shoe* harus sesuai agar kereta dapat melakukan pengereman dengan baik. Salah satu syarat untuk memilih material *brake shoe* ialah bahwa material pada *brake shoe* tidak boleh lebih keras daripada roda karena dapat menyebabkan kerusakan pada roda dan dapat menyebabkan hal seperti kereta mengalami *sliding* atau anjlok dan lain sebagainya yang dapat mengganggu pengoperasian kereta api (Apriliani, 2022); (d) frekuensi pengereman, jarak antar stasiun MRT sekitar 1 km sampai dengan 2 km saja yang berarti jarak antar stasiun sangatlah dekat. Hal tersebut menyebabkan frekuensi pengereman yang dilakukan juga sering sehingga gesekan antara roda dengan *brake shoe* juga semakin sering. Hal tersebut menjadi salah satu penyebab keausan pada *brake shoe* (Zakaria, 2021).

Berdasarkan latar belakang yang sudah dijelaskan, terdapat beberapa tujuan dari penelitian ini yaitu: (1) mengetahui perbandingan laju keausan *brake shoe motor car* dengan *trailer car*; (2) mengetahui usia pakai pada *brake shoe motor car* dan *trailer car*; (3) mengetahui penyebab utama *brake shoe* mengalami keausan lebih cepat. Sehingga penelitian ini penting dilakukan agar tujuan penelitian ini tercapai. Demikian juga permasalahan yang ada dapat dipecahkan dan didapatkan solusinya.

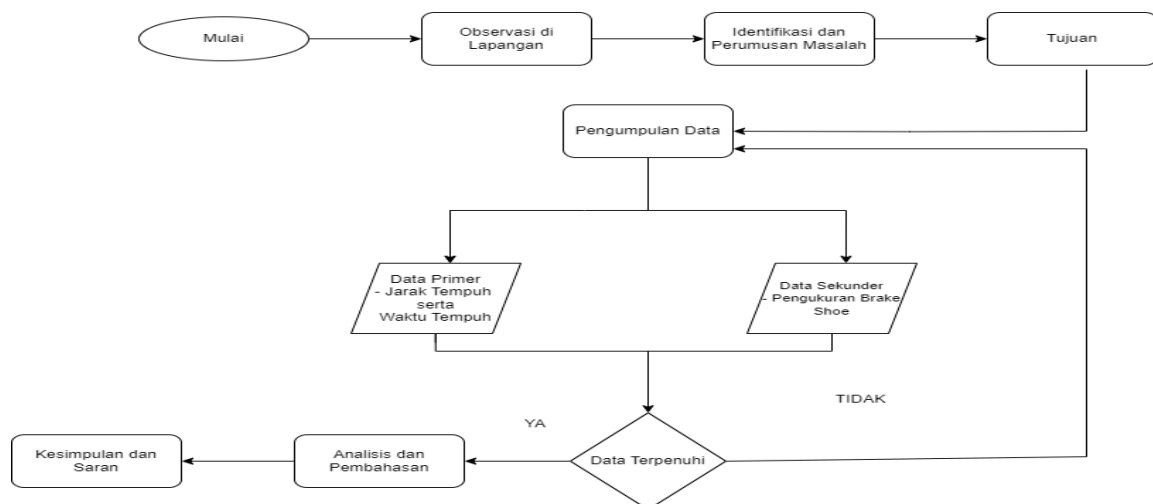
B. Metode Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di Depo PT MRT Jakarta dan penelitian berlangsung selama 3 bulan yaitu dari bulan Maret - Juni 2023. Penelitian ini bersifat deskriptif kuantitatif dan difokuskan pada 1 *trainset* saja untuk mengetahui laju keausan serta usia pakai pada *brake shoe*. Pengumpulan data dapat dilakukan dari dua sumber yaitu sumber primer dan sekunder. Sumber primer adalah sumber data penelitian yang diambil secara langsung oleh peneliti. Sumber sekunder adalah sumber data penelitian yang diambil secara tidak langsung atau diberikan oleh perantara dalam penelitian, seperti dari dokumen ataupun melalui orang lain (Sugiyono, 2021). Data primer pada penelitian ini didapat dari hasil observasi lapangan.

Sedangkan untuk data sekunder didapatkan dari perusahaan terkait yaitu berupa pengukuran kedalaman pada *brake shoe* serta spesifikasi pada *brake shoe*.

Variabel penelitian merupakan suatu atribut, properti, sifat atau nilai dari seseorang, obyek, atau kegiatan yang mempunyai variasi tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan kemudian ditarik kesimpulannya. Fungsi dari mengetahui variabel penelitian adalah agar fokus dan konsisten pada satu kajian dalam proses penelitian. Variabel dibedakan menjadi variabel terikat (*dependent*) dan variabel bebas (*independent*) (Sugiyono, 2021). Variabel pada penelitian ini ialah variabel bebas serta variabel terikat. Variabel bebas pada penelitian ini ialah gaya pengereman kereta, frekuensi pengereman, serta material dan temperature yang dihasilkan oleh *brake shoe*. Sementara itu variabel terikat berupa laju keausan serta umur pakai pada *brake shoe*. Laju keausan diartikan sebagai jumlah material yang hilang akibat adanya gesekan antar dua permukaan, dalam penelitian ini laju keausan berupa berkurangnya ketebalan *brake shoe* berdasarkan jarak tempuh pada kereta.

Gambar 1 merupakan langkah-langkah atau prosedur dalam penelitian ini. Tahapan dari penelitian ini dimulai dari observasi di lapangan untuk mengenal lingkungan penelitian, lalu memasuki tahap identifikasi serta perumusan masalah mengenai permasalahan yang terjadi di lapangan untuk menentukan masalah yang akan diteliti, selanjutnya tahap penentuan tujuan dari penelitian tersebut. Setelah itu melakukan tahap pengumpulan data untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dalam rangka mencapai tujuan penelitian. Data yang diperlukan antara lain data pengukuran ketebalan pada *brake shoe* serta data jarak tempuh dan waktu tempuh kereta antar stasiun. Setelah data terkumpul dengan lengkap dilakukan analisis terhadap penelitian. Metode yang digunakan pada penelitian ini ialah metode kuantitatif deskriptif. Selanjutnya diakhiri dengan memberi kesimpulan terhadap penelitian yang dilakukan.



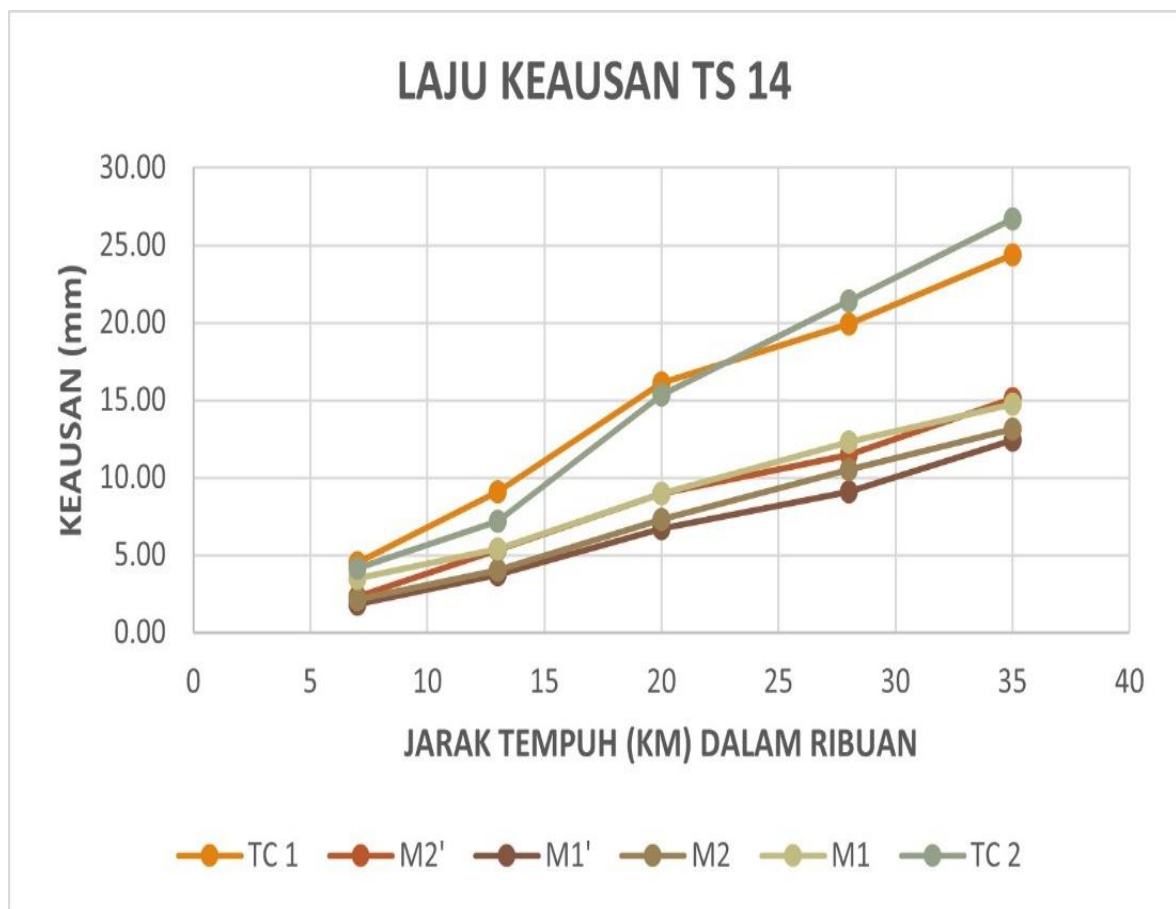
Sumber: Analisis Hasil Penelitian (2023)

Gambar 1 Prosedur Penelitian

C. Hasil dan Pembahasan

Setiap sebulan sekali dilakukan pengukuran pada *brake shoe* untuk mengetahui ketebalan *brake shoe*. Standar maksimal *brake shoe* pada MRT Jakarta yaitu 20 mm, jika sudah mencapai 20 mm *brake shoe* harus diganti. Sesuai hasil penelitian yang sudah dilakukan bahwa perbandingan tingkat keausan antara *brake shoe motor car* dengan *trailer car* cukup besar. Berikut di bawah ini yaitu Gambar 2 merupakan grafik perbandingan keausan pada *brake shoe* pada *trainset 14*.

Berdasarkan Gambar 2 tersebut, keausan berdasarkan jarak tempuh pada *brake shoe* yang terdapat pada *trailer car* serta *motor car*. Pada jarak tempuh 7000 km, TC 1 menghasilkan laju keausan sebesar 4,5 mm, M2' menghasilkan laju keausan sebesar 2,31 mm, M1' menghasilkan laju keausan sebesar 1,81 mm, M2 menghasilkan laju keausan sebesar 2,13 mm, M1 menghasilkan laju keausan sebesar 3,5 mm, serta TC2 menghasilkan laju keausan sebesar 4,13 mm. Pada jarak tempuh 13000 km TC1 menghasilkan laju keausan sebesar 9,06 mm, M2' menghasilkan laju keausan sebesar 5,31 mm, M1' menghasilkan laju keausan sebesar 3,75 mm, M2 menghasilkan laju keausan sebesar 4 mm, M1 menghasilkan laju keausan sebesar 5,28 mm, serta TC2 menghasilkan laju keausan sebesar 7,19 mm.



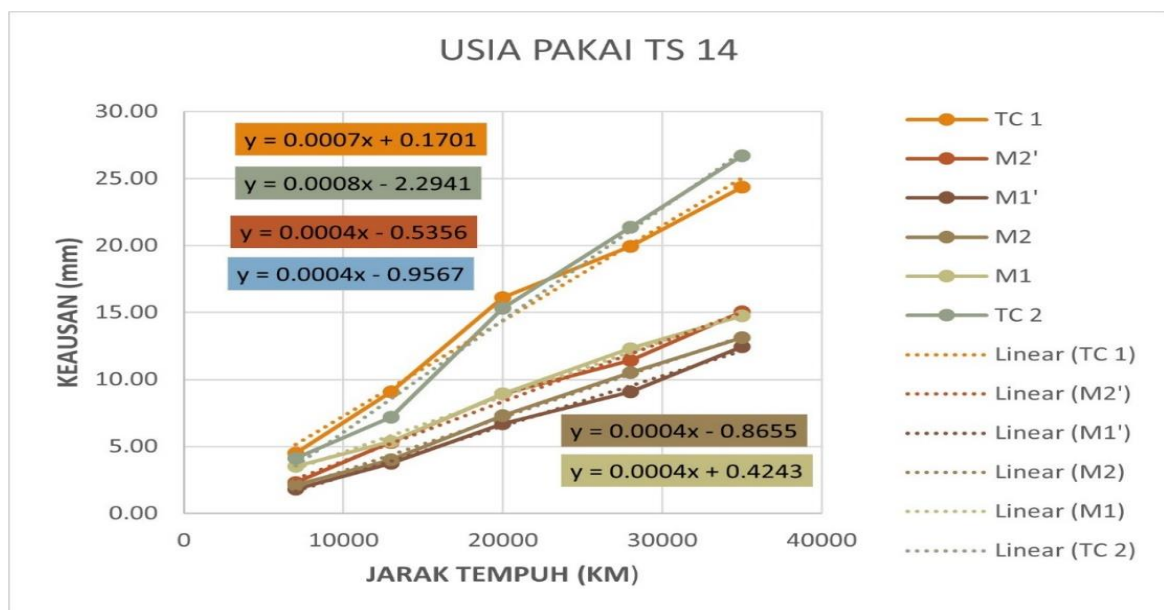
Sumber: Hasil Analisis Penelitian (2023)
Gambar 2 Grafik Laju Keausan TS 4

Masih berdasarkan Gambar 2, bahwa pada jarak tempuh 20000 km TC1 menghasilkan laju keausan sebesar 16,13 mm, M2' menghasilkan laju keausan sebesar 8,94 mm, M1' menghasilkan laju keausan sebesar 6,69 mm, M2 menghasilkan laju keausan sebesar 7,31 mm, M1 menghasilkan laju keausan sebesar 8,94 mm, serta TC2 menghasilkan laju keausan sebesar 15,31 mm. Pada jarak tempuh 28000 km TC1 menghasilkan laju keausan sebesar 19,94 mm, M2' menghasilkan laju keausan sebesar 11,44 mm, M1' menghasilkan laju keausan sebesar 9,06 mm, M2 menghasilkan laju keausan sebesar 10,5 mm, M1 menghasilkan laju keausan sebesar 12,31 mm serta TC2 menghasilkan laju keausan sebesar 21,38 mm. Pada jarak tempuh 35000 km TC1 menghasilkan laju keausan sebesar 24,38 mm, M2' menghasilkan laju keausan sebesar 15,06 mm, M1' menghasilkan laju keausan sebesar 12,44 mm, M2 menghasilkan laju keausan sebesar 13,13 mm, M1 menghasilkan laju keausan sebesar 14,75 mm, serta TC2 menghasilkan laju keausan sebesar 26,69 mm.

Brake shoe memiliki ketebalan 57 mm dan ketebalan minimum 20 mm yang berarti penggunaan maksimal *brake shoe* adalah 37 mm. Guna mengetahui umur pakai yang ada pada *brake shoe* digunakan *forecasting* melalui persamaan garis lurus pada Excel. Umur pakai adalah total jarak tempuh kereta saat *brake shoe* mencapai batas maksimal keausan. Rumus yang digunakan untuk menghitung umur pakai pada *brake shoe* ialah:

$$y = mx + C \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan: y = umur pakai; m = gradien; x = penggunaan maksimal *brake shoe* dan C = konstanta.



Sumber: Hasil Analisis Penelitian (2023)
Gambar 3 Grafik Usia Pakai TS 4

Berdasarkan dari Gambar 3, dari persamaan $y = mx + c$ grafik di atas didapatkan hasil umur pakai pada *brake shoe* sebagaimana Tabel 1.

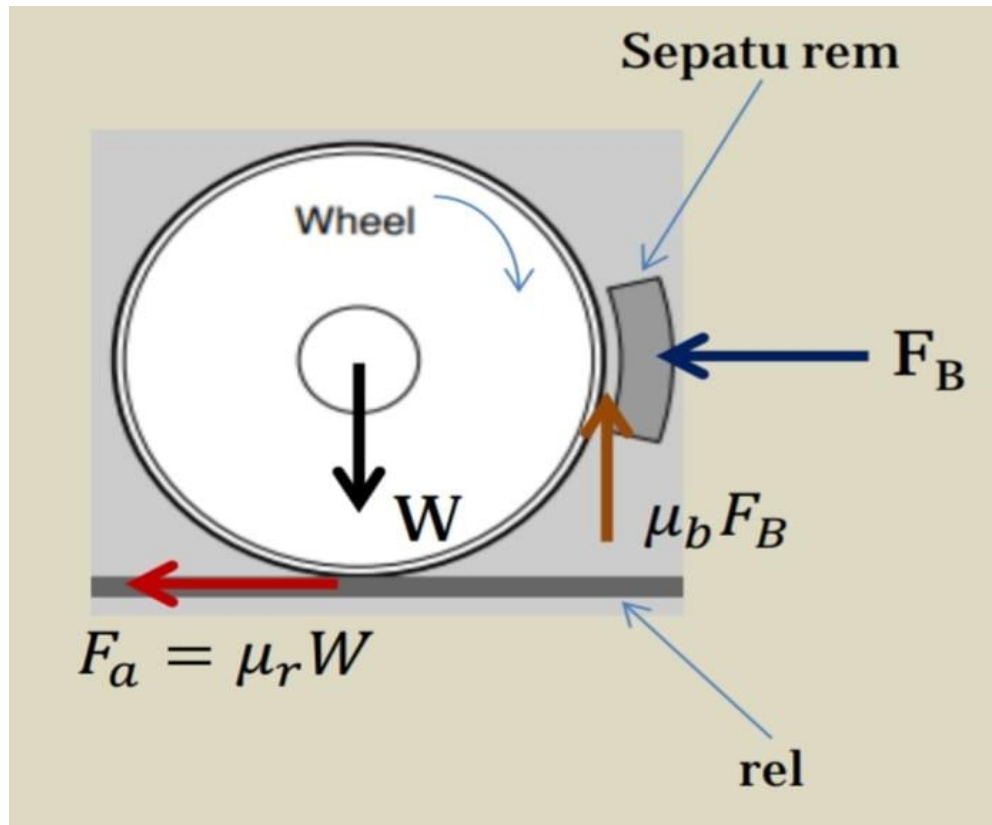
Tabel 1 Usia Pakai *Brake Shoe* TS 14

	TC1	M2'	M1'	M2	M1	TC2
Umur Pakai (Jarak Tempuh dalam KM)	52610	93840	94890	94660	91440	49110

Sumber: Hasil Analisis Penelitian (2023)

Hasil perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa usia pakai *brake shoe* saat mencapai batas keausan maksimal yaitu pada saat *brake shoe* mencapai ketebalan minimum 20 mm. Pada TC1 saat sudah menempuh jarak sekitar 52610 km, M2' saat sudah menempuh jarak sekitar 93840 km, M1' saat sudah menempuh jarak sekitar 94890. Kemudian M2 saat sudah menempuh jarak sekitar 94660 km, M1 saat sudah menempuh jarak 91440 km serta TC 2 saat sudah menempuh jarak 49110 km.

Salah satu pembebanan utama pada *brake shoe* yaitu dari gaya pada pengereman. Gaya pengereman maksimum yang mungkin terjadi sangat penting pada sistem pengereman yang bergantung pada *adhesi* roda ataupun rel (Sasmita, 2018).



Sumber: Materi Perkuliahan (2023)
Gambar 4 Grafik Usia Pakai TS 4

Sesuai Gambar 4 di atas menunjukkan bahwa gaya pengereman bergantung pada koefisien gesek antara *brake shoe* dengan roda serta gaya yang diberikan pada *brake shoe*. Sesuai hal tersebut didapatkan rumus gaya pengereman pada Tabel 2 yaitu:

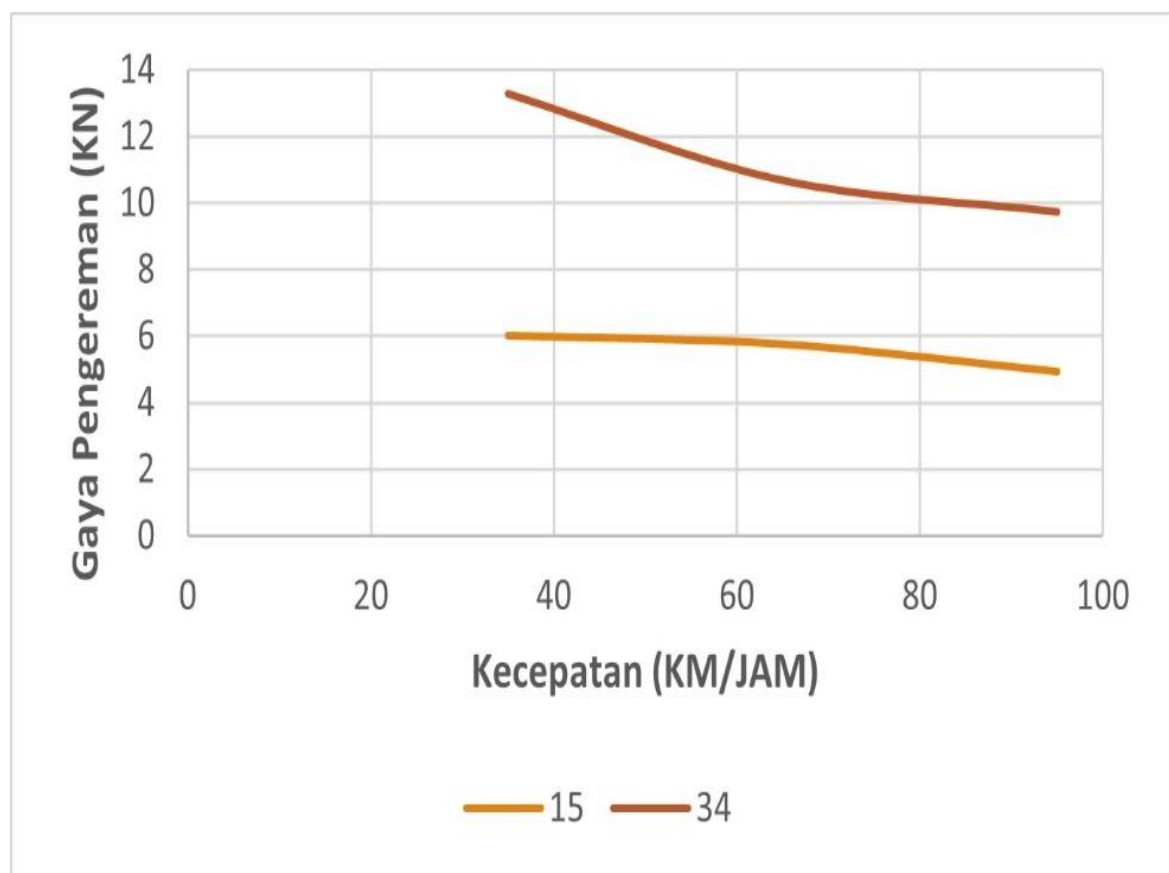
$$FB = \mu b . Fb \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan: μb = koefisien gesek *brake shoe* dan roda; Fb = gaya pada *brake shoe*

Tabel 2 Besar Gaya Pengereman

BRAKE SHOE FORCE (KN)	SPEED (KM/H)	KOEFISIEN GESEK	BRAKING FORCE (KN)
15	35	0,4	6
	65	0,383	5,745
	95	0,328	4,92
34	35	0,391	13,294
	65	0,314	10,676
	95	0,286	9,724

Sumber: Hasil Analisis Penelitian (2023)



Sumber: Hasil Analisis Penelitian (2023)
Gambar 5 Grafik Gaya Pengereman

Gambar 5 menunjukkan berapa besar gaya pengereman yang dihasilkan jika gaya pada *brake shoe* sebesar 15 KN dan 34 KN. Besarnya gaya pengereman berpengaruh terhadap keausan *brake shoe*, semakin besar gaya pengereman maka menghasilkan gesek yang lebih besar sehingga menyebabkan *brake shoe* mengalami keausan yang lebih cepat. Salah satu penyebab keausan pada *brake shoe* selanjutnya ialah frekuensi pengereman pada kereta. Frekuensi pengereman yang sering menyebabkan keausan *brake shoe* terjadi lebih cepat.

Tabel 3 Jarak dan Waktu Tempuh Kereta

Stasiun	Waktu Tempuh (menit)	Jarak Tempuh (meter)
LBB - FTM	2.25	2013
FTM - CPR	2.48	1815
CPR - HJN	1.5	1299
HJN - BLA	1.58	1216
BLA - BLM	1.57	1269
BLM - SSM	1.16	635
SSM - SNY	2.03	1530
SNY - IST	1.3	805
IST - BNH	1.53	1310
BNH - STB	1.25	765
STB - DKA	1.38	930
DKA - BHI	2.27	1054

Sumber: Hasil Analisis Penelitian (2023)

Sesuai Tabel 3 di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa jarak antar stasiun sekitar 0,8 km sampai dengan 2 km dan waktu tempuhnya hanya membutuhkan waktu sekitar 1 sampai dengan 2 menit, maka dari itu dapat disimpulkan bahwa frekuensi pengereman yang terjadi sangat tinggi sehingga gesekan antara roda dengan *brake shoe* menjadi sering, hal tersebut membuat keausan terjadi lebih cepat. Material pada *brake shoe* merupakan salah satu dari penyebab keausan dari *brake shoe*. *Brake Shoe* pada MRT Jakarta menggunakan *Brake Shoe* berbahan *carbon-composite* dengan campuran *cast iron*. Berikut Tabel 4 spesifikasi material *brake shoe* pada MRT Jakarta.

Tabel 4 Material *Brake Shoe* MRT Jakarta

Material <i>Brake Shoe</i>	Spesifikasi
<i>Compressive Strength</i>	35 N/mm
<i>Charpy Impact Strength</i>	3.2kJ/m
<i>Abrasion Amount</i>	0.23mm

Sumber: PT MRT Jakarta (2018a, 2018b, 2018c)

Berdasarkan pada tabel di atas kekuatan *brake shoe* menahan tekanan yang dihasilkan saat pengereman sebesar 35 N/mm. Serta kekuatan atau kekerasan *brake shoe* menahan beban sebesar 3,2 kJ/m. Pada saat pengereman pneumatik, terjadi gesekan antar *brake shoe* dengan roda hal tersebut menyebabkan temperatur panas pada *Brake Shoe*. Berikut adalah temperatur panas yang dihasilkan saat beroperasi pada kecepatan maksimum pada saat gaya kontak *brake shoe* dan roda sebesar 15 KN dan 34 KN (PT MRT Jakarta, 2018a, 2018b, 2018c).

Tabel 5 Temperatur yang dihasilkan *Brake Shoe* MRT Jakarta

Contact Force (KN)	UB-295DIB-J (°C)
15	228
	213
	194
	247
	273
34	256
	264
	268

Sumber: PT MRT Jakarta (2018a, 2018b, 2018c)

Berdasarkan Tabel 5 di atas, saat terjadi gesekan antara *brake shoe* dengan roda disaat tekanan *brake shoe* 15 KN, temperatur panas maksimum yang terbentuk mencapai 228 C dan disaat tekanan *brake shoe* 34 KN temperatur panas mencapai 268 C. Frekuensi pengereman pada MRT Jakarta sangat sering karena jarak antar stasiun yang dekat sehingga gesekan antara *brake shoe* dan roda yang terus menerus akan menghasilkan suhu panas yang tinggi, hal tersebut dapat membuat *brake shoe* mengalami keausan lebih cepat.

D. Kesimpulan

Berdasar perhitungan laju keausan yang sudah dilakukan bahwa pada jarak sekitar 7.000 km sampai dengan 10.000 km, *brake shoe* pada *trailer car* mengalami rata rata keausan sebesar 4-8 mm. Sementara pada *brake shoe motor car* mengalami keausan sebesar 1-3 mm. Serta dari hasil perhitungan *forecasting* bahwa pada *brake shoe trailer car* untuk mencapai ketebalan minimum 20 mm dengan jarak tempuh 40.000 km sampai dengan 50.000 km, sementara pada *brake shoe motor car* dengan jarak tempuh 70.000 km – 90.000 km.

Penyebab utama *brake shoe* lebih cepat mengalami keausan dikarenakan dari gaya pengereman yang dihasilkan besar. Hal ini juga dikarenakan frekuensi pengereman kereta yang sering, sehingga gesekan pada *brake shoe* dan roda semakin sering dan dapat menyebabkan temperatur panas, yang membuat keausan lebih cepat terjadi. Guna mengurangi keausan dapat dilakukan penelitian lebih lanjut untuk melakukan uji laboratorium mengenai material *brake shoe* yang digunakan

E. Daftar Pustaka

- Abbas, A. (2012). Analisis Gaya Tekan Blok Rem Dengan Metode 2 Slack Adjuster Pada Kereta Penumpang. *Jurnal IKRAITH-TEKNOLOGI* Vol 7 No 2 Juli 2023
- Arisandi, D. Senoaji, A. (2014). Analisis Kegagalan Blok Rem Metalik Kereta Api. *Pasca Sarjana ITB*.
- Apriliansi, N. F. Putra, N. H. S. Atmaja, D. S. Aghastya, A. dan Lailiyah, Q. (2022). Analysis of Hardness and Wear Properties of Composite Railway Brake Blocks Using Nylon Fiber Reinforced. *ICORT, AER* 220, pp. 174–180, https://doi.org/10.2991/978-94-6463-126-5_19
- Dermawan. Ilmi, B. (2023). Analisis Laju Keausan Brake Pad Terhadap Disc Brake Kereta Listrik LRV Seri 1100. *S1 thesis*, Universitas Mercu Buana Jakarta.
- FTTL. 2023. Materi Perkuliahan: Pengetahuan Dasar Sarana Perkeretaapian. ITL Trisakti.
- Gultom, E. dan Kaelani, Y. (2006). Studi Eksperimen dan Analisa Laju Keausan Material Alternatif pada Sepatu Rem Lokomotif. *Jurnal Teknik ITS*, Vol 5, No 2. DOI: 10.12962/j23373539.v5i2.20765.
- Gultom, B. A. dan Syahbuddin (2021). Laju Keausan Sepatu Rem Komposit Pada Kereta Listrik PT MRT Jakarta. *Metrik Serial Teknologi dan Sains*. Vol.1 No.1
- Ginting, M., Sailon, S., Yusuf, M., & Prasetyo, R. A. (2018). Analisa Koefisien Gesek Pelumas Mesin Multi Grade. *AUSTENIT*, 10(2), 61–66. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4547652>.
- Hardiansyah, I. W. (2021). Penerapan Gaya Gesek Terhadap Kehidupan Manusia. *INKUIRI: Jurnal Pendidikan IPA*. Vol. 10, No. 1, 2021 (hal 70-73).
- PT MRT Jakarta. (2018a). *Maintenance Manual of PT MRT Jakarta Chapter 11-Bogie*. Jakarta: Sumitomo Corporation
- PT MRT Jakarta. (2018b). *Maintenance Manual of PT MRT Jakarta Chapter 10-Pneumatic*. Jakarta: Sumitomo Corporation.
- PT MRT Jakarta, (2018c). *Maintenance Manual of PT MRT Jakarta Chapter 01-Carbody*. Jakarta: Sumitomo Corporation.

Pemerintah Indonesia. (2007). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2007 Tentang Perkeretaapian.

Sugiyono. (2021). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Penerbit Alfabeta.

Sasmita, H. H., Nugroho, A., & Sukmadi, T. (2018). Optimasi Penggunaan Sistem Pengereman Regeneratif Dan Pneumatic Pada Kereta Rel Listrik Jabodetabek Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization (PSO). *Transient*, 7(1), 284

Zakaria, L. (2021). Perbandingan Kinerja Jarak Pengereman Blok Rem Berbahan Metalik dan Komposit Pada Kereta Api. *Jurnal TEDC*, 15(1), 113–124.