

Pengaruh Posisi Roda terhadap Laju Keausan Blok Rem Komposit Pada Lokomotif Kereta Api CC205

An-Nisa Magnolia^{1*}, Jamiatul Akmal², Novri Tanti³, Nurcahya Nugraha⁴, Syaipudin Anwar⁵

¹²³⁴⁵Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemntri Brojonegoro, Bandar Lampung 35145
Corresponding Author: annisa.magnolia@eng.unila.ac.id

Riwayat Artikel

Diserahkan: 6 Maret 2026
Direvisi: 25 Mei 2026
Diterima: 25 Mei 2026
Dipublikasi: 31 Mei 2026

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis laju keausan blok rem komposit yang terdapat pada lokomotif CC 205. Material Komposit sudah banyak digunakan sebagai blok rem, hal ini dikarenakan blok rem komposit memiliki ketahanan aus yang baik dibandingkan material besi. Penelitian ini dilakukan dengan metode pengukuran dimensi dan massa pada 12 spesimen kampas rem dibagian kanan 6 set dan dibagian kiri 6 set yang digunakan selama 3 bulan dengan 30 kali perjalanan. Data yang didapat meliputi waktu pengereman rata-rata 5,6 detik dengan 78 kali pengereman per perjalanan. Laju keausan dihitung menggunakan persamaan *specific wear rate* (kehilangan massa per satuan luas penampang per satuan waktu pengereman) berdasarkan selisih massa awal dan akhir, luas penampang, dan waktu total pengereman. Hasil penelitian menunjukkan variasi laju keausan yang bernilai diantara $1,08 \times 10^{-7}$ gr/mm².detik hingga $6,71 \times 10^{-7}$ gr/mm².detik. Laju keausan terbesar berada di spesimen 2B kanan, 2B kiri dan 4D kanan, sedangkan laju keausan terendah pada spesimen 1A kanan dan kiri. Faktor-faktor yang mempengaruhi keausan diantaranya pengereman mendadak, aliran udara yang terhambat, tekanan yang tidak stabil, pemasangan blok rem yang tidak seragam, serta tingkat kekasaran permukaan roda. Ketebalan sisa kampas rem bervariasi antara 18-41 mm dari ketebalan awal 50 mm. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi dasar rekomendasi material rem yang optimal serta jadwal pemeliharaan yang lebih efisien dan aman.

Kata kunci: blok rem komposit, laju keausan, lokomotif CC 205, kampas rem, perkeretaapian

Abstract

This study aims to analyze the wear rate of composite brake blocks on CC 205 locomotives operating at PT. XYZ. Composite materials have been widely used as brake blocks because they offer good stability and wear resistance compared to iron materials. This research was conducted by measuring dimensions and mass on 12 brake shoe specimens (right and left from 6 sets of brake blocks) that had been used for 3 months with 30 trips. Operational data included an average braking time of 5.6 seconds with 78 braking events per trip. The wear rate was calculated using the specific wear rate equation based on the difference between initial and final mass, cross-sectional area, and total braking time. The results showed wear rate variations between 1.08×10^{-7} gr/mm².second to 6.71×10^{-7} gr/mm².second. The highest wear rates occurred on specimens 2B right, 2B left, and 4D right, while the lowest wear rates were on specimens 1A right and left. Factors affecting wear include sudden braking, obstructed airflow, unstable pressure, non-uniform brake block installation, and wheel surface roughness

levels. The remaining brake shoe thickness varied between 18–41 mm from the initial thickness of 50 mm. These results are expected to provide a basis for recommendations on optimal brake materials and more efficient and safe maintenance schedules.

Keywords: composite brake block, wear rate, CC 205 locomotive, brake shoe, railway

1. Pendahuluan

Transportasi merupakan hal yang penting dalam perpindahan barang dan orang, baik untuk jarak dekat maupun jauh. Salah satu moda transportasi yang mampu mengangkut barang dan penumpang dalam jumlah besar adalah kendaraan rel atau kereta api. Sebagai moda transportasi massal, kereta api dituntut memiliki sistem keselamatan yang andal, salah satunya adalah sistem pengereman. Sistem pengereman berfungsi untuk mengurangi kecepatan hingga menghentikan laju lokomotif secara aman dan terkendali. Komponen utama dalam sistem pengereman adalah blok rem, di mana material blok rem sangat menentukan kinerja pengereman, tingkat keausan, serta umur pakai elemen tersebut. Material komposit telah banyak digunakan sebagai blok rem karena menawarkan kombinasi yang efisien, stabil, dan memiliki ketahanan aus yang baik dibandingkan material berbasis besi. Material komposit memiliki karakteristik aus yang bergantung pada kontak gesek antara permukaan rem dan roda. Laju keausan material komposit dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti kenaikan temperatur selama pengereman yang turut mempercepat laju keausan. [1]

Penelitian tentang *wear* material rem menyoroti bahwa karakteristik material, kondisi suhu, dan kondisi pengereman berpengaruh terhadap performa dan laju keausan material rem.[2]

Material komposit yang umum dikaji dalam literatur mencakup kombinasi matriks logam atau resin dengan partikel penguat serta serat, alumina, atau silicon carbide untuk meningkatkan sifat termal mekaniknya. Sifat gesek dan laju keausan material sangat bergantung pada komposisi material, kondisi temperatur saat beroperasi.[3], serta gaya kontak selama pengereman. Studi eksperimen pada material rem kereta rem XYZ menunjukkan

bahwa kondisi suhu operasi memberi peran yang signifikan dalam pola keausan blok rem dan disk rem. Dalam uji pin on disc dengan berbagai variasi parameter suhu, keausan material menunjukkan tren perubahan signifikan karena mekanisme aus berubah menurut suhu lingkungan dan kondisi pendinginan.[5]

Laju keausan blok rem komposit perlu dianalisis lebih dalam, hal ini berkaitan dengan perawatan, biaya pemeliharaan, dan keselamatan operasi. Laju keausan blok rem dianalisis secara sistematis untuk memahami factor factor yang menjadi pengaruh keausan[6]. Penelitian sebelumnya pada komponen lokomotif CC205 menunjukkan adanya variasi laju keausan pada komponen lain seperti yang dipengaruhi oleh jarak tempuh dan umur pakai. [7]

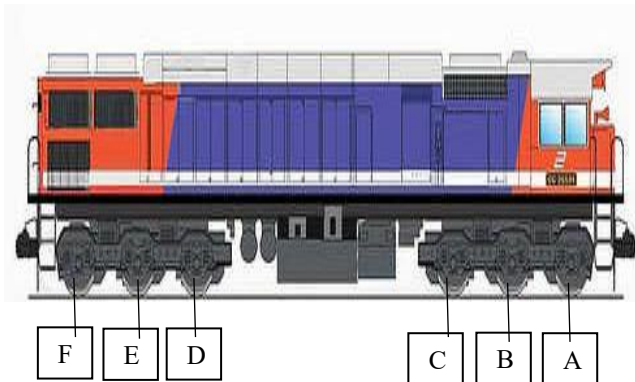
Lokomotif seri CC205 merupakan armada PT XYZ untuk angkutan barang dan penumpang. Blok rem komposit yang dipasang pada lokomotif CC 205 bekerja di kondisi yang beragam, mulai dari medan datar hingga menanjak, serta dalam rentang temperatur lingkungan yang berbeda disetiap perjalanan. Ketahanan aus blok rem memiliki implikasi langsung terhadap interval pemeliharaan serta biaya operasional lokomotif. Laju keausan material rem yang tinggi akan memperpendek masa pakai komponen dan meningkatkan kebutuhan penggantian yang dapat berdampak hilangnya waktu operasional dan beban biaya pemeliharaan[8]. Sedangkan laju keausan yang lebih terkendali dapat memperpanjang periode perawatan dan efisiensi biaya pemeliharaan. [9]

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis laju keausan blok rem komposit pada lokomotif CC 205 yang beroperasi di lingkungan PT. XYZ. Fokus utama penelitian adalah mengukur laju keausan material berdasarkan data operasional aktual, mengidentifikasi pola keausan sepanjang periode penggunaan, serta menilai faktor lain yang mempengaruhi keausan kampas rem. Hasil

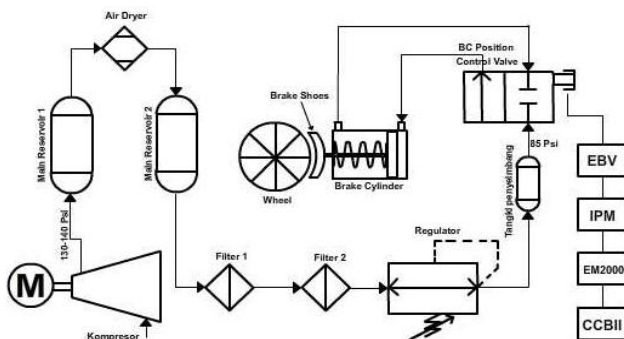
penelitian ini diharapkan memberi dasar ilmiah untuk rekomendasi material rem yang optimal serta jadwal pemeliharaan yang lebih efisien dan aman di industri perkeretaapian Indonesia.

2. Metode

Sebelum melakukan Analisa keausan Gambar 1 merupakan bagian roda yang terukur pada lokomotif, dan proses terjadinya pengereman dilakukan pemahaman melalui terjadinya pengereman seperti Gambar 2



Gambar 1. Posisi Roda Lokomotif



Gambar 2. Sistem Pengereman Lokomotif

Sistem pengereman Independent Brake bekerja dengan menggunakan tekanan angin, dimana angin berasal dari kompresor. Ketika kompresor menghasilkan angin yang bertekanan 130-140 Psi. Selanjutnya udara ditampung pada MR-1, pada tangki MR-1 udara masih memiliki sifat mengembun yang artinya bercampur dengan air. Kemudian udara di saring melalui air dryer untuk mengeringkan air. Setelah itu, udara ditampung di MR-2. Setelah ditampung di MR-2 udara masuk ke dalam final filter dan tekanan udara diturunkan kemudian ditambung kedalam tangki penyeimbang. Ketika membuka EBV, IPM memberikan perintah kepada EM2000

untuk memproses pembagian tekanan udara menuju silinder brake, dan CCB II atau EPCU meneruskan udara bertekanan kedalam sistem silinder brake yang akan menekan blok rem menempel ke permukaan roda.

Gambar 3 merupakan alur penelitian yang dilakukan mengenai laju keausan lokomotif CC 205. Selain pengukuran dimensi, dilakukan pengukuran massa dari kampas rem yang masih baru dan kampas rem yang sudah digunakan.

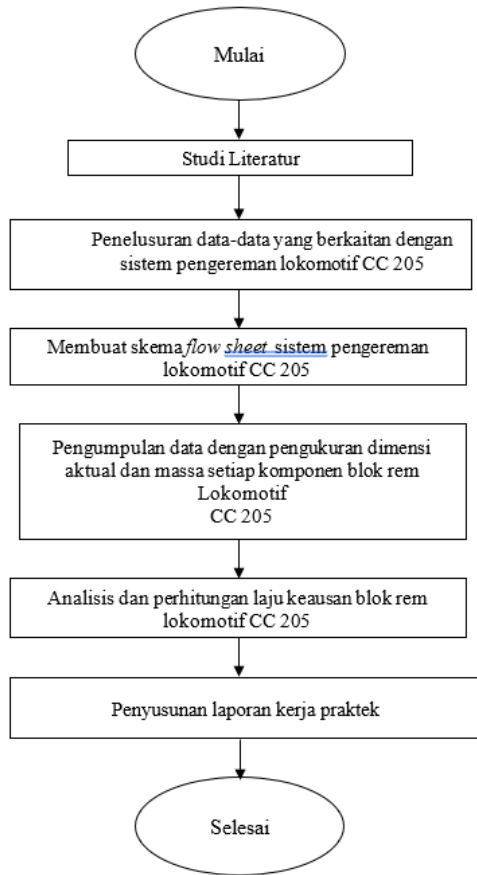
Pengukuran blok rem pada lokomotif CC 205 dilakukan dengan melepaskan blok rem pada dudukan yang terhubung dengan *cylinder brake*. Kemudian dilakukan pengukuran dari segi berat dengan menggunakan timbangan dan mengukur tebal sisa pemakaian kampas rem. Bagian kampas rem yang diukur ketebalannya adalah pada titik 3 cm di sebelah kanan dari bagian tengah blok rem. Titik ini dipilih sebagai titik representasi keausan karena berdasarkan observasi lapangan, area tersebut merupakan zona kontak utama antara blok rem dan permukaan roda, sehingga mengalami tekanan gesek paling dominan dan mencerminkan kondisi keausan aktual secara konsisten pada seluruh spesimen.

Dalam pengukuran berat dan tebal terdapat perbedaan laju keausan yang tidak seimbang seperti yang terlihat pada Gambar 4. Dimana terdapat ketebalan brake shoe yang lebih tebal namun beratnya tidak lebih berat dari spesimen uji yang lebih tebal. Hal ini dikarenakan tidak meratanya keausan pada spesimen yang terbagi dua sisi. Selain itu faktor kotoran yang menempel pada komponen *brake shoe* juga berpengaruh dalam penentuan hasil pengukuran berat dan tebal specimen masing-masing.

Observasi dilanjutkan teknisi mengenai waktu penggunaan dengan mengukur waktu pengereman, jumlah pengereman, serta jumlah perjalanan. Hal ini dilakukan untuk memperhatikan perbedaan laju keausan pada masing-masing spesimen. Adapun pengukuran waktu pengereman dilakukan dengan menggunakan stopwatch saat load test. Didapatkan hasil rata-rata pengukuran 5,6 detik.

Dalam sekali perjalanan menuju stasiun terdekat sejauh 30 KM pengereman dilakukan 78 kali dalam sekali perjalanan. Dalam waktu 3 bulan

satu lokomotif dapat beroperasi sebanyak 30 kali perjalanan.



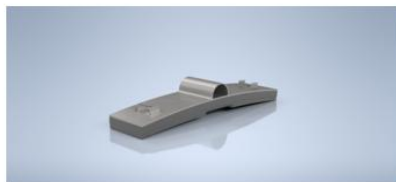
Gambar 3. Alur Penelitian



(a) Spesimen awal blok rem



(b) Spesimen yang memiliki ketebalan keausan berbeda



(c) Spesimen yang memiliki ketebalan keausan yang sama

Gambar 4. (a) (b) (c) specimen kampas rem

Setelah didapatkan data pengamatan masing-masing spesimen dilakukan perhitungan laju keausan dengan menghitung luas penampang kampas rem, menentukan waktu total pergantian kampas rem, serta menentukan laju keausan pada kampas rem. Perbedaan tebal dan berat terjadi karena pemakanan yang tidak merata karena penyeteran pemasangan kampas rem yang tidak sama, pengoprasian yang tidak sama, serta tingkat kekasaran masing masing roda[10].

Perhitungan analitis dilakukan menggunakan tiga persamaan berikut. Pertama, luas penampang kampas rem dihitung dengan persamaan $A = P \times L$, di mana panjang kampas rem (P) = 355 mm dan lebar (L) = 80 mm, sehingga diperoleh $A = 28.400 \text{ mm}^2$. Kedua, waktu total pengereman dihitung dengan persamaan $t_{\text{total}} = t \times n \times j$, di mana waktu pengereman rata-rata (t) = 5,6 detik, jumlah pengereman per perjalanan (n) = 78 kali, dan jumlah perjalanan selama masa pakai (j) = 30 kali, sehingga diperoleh $t_{\text{total}} = 13.104$ detik. Ketiga, laju keausan dihitung menggunakan persamaan specific wear rate $W = (W_0 - W_1) / (A \times t_{\text{total}})$, yaitu selisih massa awal (W_0) dan akhir (W_1) dibagi dengan hasil kali luas penampang dan waktu total pengereman, dengan satuan $\text{gr}/\text{mm}^2.\text{detik}$.

3. Hasil dan Pembahasan

Data yang didapatkan pada penelitian ini seperti Gambar 5 Yang merupakan RAW Material, atau kampas rem dalam kondisi baru dan belum digunakan. Serta Gambar 6 merupakan kampas rem yang sudah digunakan.



Gambar 5. Kampas Rem Komposit (RAW Material)

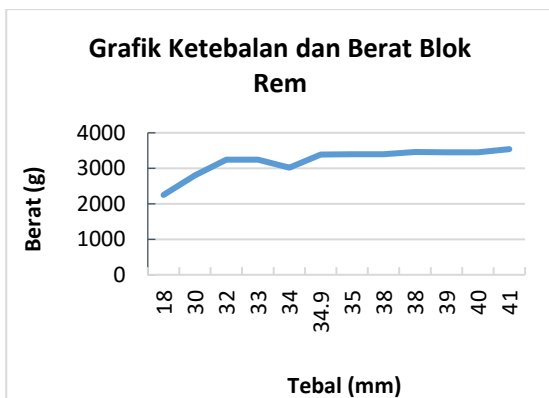


Gambar 6. Kampas Rem yang sudah digunakan

Tabel 1. Data specimen berat dan tebal kampas rem lokomotif

Data Spesimen	Berat Awal (W_0) (gr)	Berat Akhir (W_1) (gr)	Tebal Awal (h_0) (mm)	Tebal Akhir (h_1) (mm)	Selisih Berat (ΔW) (gr)	Selisih Tebal (Δh) (mm)
1A kanan	3650	3247,5	50	33	402,5	17
1A kiri	3650	3240	50	32	410	18
2B kanan	3650	3400	50	35	250	15,1
2B kiri	3650	3390	50	34,9	260	15
3C kanan	3650	2800	50	30	850	20
3C kiri	3650	2250	50	18	1.400	32
4D kanan	3650	3400	50	38	250	12
4D kiri	3650	3450	50	40	200	10
5E kanan	3650	3540	50	41	110	9
5E kiri	3650	3460	50	38	190	12
6F kanan	3650	3020	50	34	630	16
6 F kiri	3650	3450	50	39	200	11

Tabel 1. Merupakan hasil data pengukuran berat awal, berat akhir, tebal awal serta tebal akhir kampas rem selaku benda uji. Hal ini dilakukan agar mengetahui pengaruh ketebalan benda uji terhadap berat benda ujinya.



Gambar 7. Hubungan ketebalan dan berat kampas rem

Terlihat pada Gambar 7, grafik ketebalan akhir blok rem berpengaruh pada grafik berat akhir blok rem. Namun perlu diketahui, dalam pengukuran dan pengambilan data specimen blok rem diukur 5 cm dibagian sebelah kanan atau bagian bawah blok rem yang terpasang terukur dari bagian tengah blok rem. Sehingga ada kemungkinan specimen blok rem yang mengalami ketidaksamaan tebal blok rem antara bagian kanan dan kiri atau atas dan bawah bagian pemasangan blok rem. Hal ini dapat terjadi karena adanya penyetakan pemasangan yang kurang baik yang mengakibatkan tergesernya dudukan blok rem atau terindikasi kerusakan pada *cylinder brake*[11]. Menentukan luas penampang kampas rem

Dari data hasil pengukuran diketahui panjang kampas rem (P) = 355 mm, lebar (L) = 80 mm, tebal (H) = 50 mm. Dengan menggunakan persamaan (2), maka diperoleh luas penampang kampas rem sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A &= P \times L \\
 &= 355 \text{ mm} \times 80 \text{ mm} \\
 &= 28400 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

a. Menentukan waktu total pergantian kampas rem

Sesudah nilai tebal penampang diperoleh, kemudian dicari total waktu pergantian pada kampas rem. Dari data yang diukur diketahui waktu pengereman (t) = 5,6 s, banyak pengereman dalam sekali perjalanan n (jumlah pengereman) = 78 kali, dan banyaknya perjalanan hingga kampas rem diganti atau sudah aus j (jumlah perjalanan) = 30 kali, maka dengan menggunakan persamaan (3), dapat diperoleh waktu total pergantian kampas rem yaitu:

$$\begin{aligned}
 t_{\text{total}} &= (t \times n \times j) \\
 &= (5,6 \times 78 \times 30) \\
 &= 13104 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

b. Menentukan laju keausan pada tebal kampas rem komposit

Perhitungan selanjutnya yang dilakukan adalah menghitung laju keausan pada tebal kampas rem komposit. Dari data yang ada pada bab III yaitu pada berat awal kampas rem (W_0) sebesar

3650 gr dan setelah 13104 detik pengereman maka diperoleh berat akhir kampas rem (W_1) untuk 12 spesimen. Maka dengan menggunakan persamaan (1) yang didapatkan dari *specific Wear Rate* yang merupakan kehilangan volume material akibat gesekan relative [12], dinyatakan dalam volume yang hilang per unit beban dan per unit jarak geser [13]

$$W = \frac{W_0 - W_1}{A \times t_{total}} \quad (1)$$

Contoh perhitungan laju keausan

$$= \frac{3650 \text{ gr} - 3247.5 \text{ gr}}{28400 \text{ mm}^2 \times 13104 \text{ detik}} \\ = 1,08 \times 10^{-7} \text{ gr/mm}^2 \cdot \text{detik}$$

Tabel 2. Data perhitungan laju keausan

No.	Data Spesimen	Laju Keausan ($\text{gr/mm}^2 \cdot \text{detik}$)
1.	1 A Kanan	$1,08 \times 10^{-7}$
2.	1 A Kiri	$1,10 \times 10^{-7}$
3.	2 B Kanan	$6,71 \times 10^{-7}$
4.	2 B Kiri	$6,71 \times 10^{-7}$
5.	3 C Kanan	$2,28 \times 10^{-7}$
6.	3 C Kiri	$3,76 \times 10^{-7}$
7.	4 D Kanan	$6,71 \times 10^{-7}$
8.	4 D Kiri	$5,37 \times 10^{-7}$
9.	5 E Kanan	$2,95 \times 10^{-7}$
10.	5 E Kiri	$5,10 \times 10^{-7}$
11.	6 F Kanan	$1,69 \times 10^{-7}$
12.	6 F Kiri	$5,37 \times 10^{-7}$

Tabel 2 merupakan data perhitungan laju keausan yang menggambarkan perbedaan laju keausan blok rem pada masing-masing spesimen [14].

Perbedaan hasil laju keausan kampas rem yang tidak signifikan disebabkan oleh variabel tekanan pengereman dan beban gandar yang berbeda. Tekanan pengereman yang bervariasi dapat mempengaruhi distribusi gaya yang diterima oleh kampas rem, sehingga memengaruhi tingkat keausannya [15]. Selain itu, perbedaan beban gandar pada setiap roda juga berkontribusi terhadap distribusi gaya pengereman yang tidak merata, yang menyebabkan perbedaan tingkat keausan antar kampas rem.

Dapat dilihat dalam grafik bahwa laju keausan terbesar terjadi pada specimen 2 B kanan, 2 B kiri, dan 4 D kanan. Sedangkan laju keausan terkecil terjadi pada specimen 1 A kanan dan Kiri. Perbedaan ini terjadi karena penerimaan beban gesek yang berbeda, posisi pemasangan

blok rem yang berbeda, dan waktu pemasangan blok rem yang berbeda beda.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, laju keausan blok rem komposit pada lokomotif CC 205 bervariasi antara $1,08 \times 10^{-7} \text{ gr/mm}^2 \cdot \text{detik}$ hingga $6,71 \times 10^{-7} \text{ gr/mm}^2 \cdot \text{detik}$. Laju keausan tertinggi ditemukan pada spesimen 2B kanan, 2B kiri, dan 4D kanan, yang mengindikasikan bahwa posisi roda pada gandar 2 dan 4 mengalami tekanan gesek paling besar. Sebaliknya, spesimen 1A kanan dan kiri mencatat laju keausan terendah. Ketebalan sisa kampas rem bervariasi antara 18 hingga 41 mm dari ketebalan awal 50 mm, menunjukkan pola keausan yang tidak merata antar posisi roda.

Perbedaan laju keausan antar posisi roda disebabkan oleh distribusi beban gandar yang tidak merata, variasi tekanan pengereman, serta penyetulan pemasangan blok rem yang tidak seragam. Posisi roda pada gandar 2B dan 4D terbukti paling rentan terhadap keausan, sehingga memerlukan prioritas inspeksi dan penggantian dalam jadwal pemeliharaan. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi dasar ilmiah untuk penentuan interval penggantian kampas rem yang lebih efisien dan aman pada lokomotif CC 205.

Pihak teknisi di Depo disarankan untuk memprioritaskan pemeriksaan kampas rem pada posisi gandar 2B dan 4D, serta memastikan penyetulan dudukan kampas rem dilakukan secara seragam. Bila ditemukan kampas rem yang retak atau melewati batas keausan yang diizinkan, maka kampas rem tersebut harus segera diganti.

Daftar Pustaka

- [1] H. Sulistyono and V. Viyus, "Simulation on the Effect of Braking Force and Brake Shoe Material Type on The Wear Rate of Railway Bogie Brake Block," *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Informatika*, vol. 3, no. 3, pp. 378–394, 2024, doi: <https://doi.org/10.55606/jtmei.v3i3.4277>

- [2] J. Chen *et al.*, “Research on friction performance and wear rate prediction of high-speed train brake pads,” *Wear*, vol. 514–515, p. 204564, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2022.204564>.
- [3] C. Yu *et al.*, “Research on wear rate of train brake pads driven by small sample data,” *Wear*, vol. 536–537, p. 205169, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2023.205169>.
- [4] V. P. Putri, D. Dahlan, and T. Suryono, “Analisis Pola Keausan Brake Shoe pada Kereta Mass Rapid Transit Jakarta,” *Jurnal Teknik Transportasi*, vol. 2, no. 2, pp. 128–139, 2023, doi: <https://doi.org/10.54324/jtt.v2i2.25>.
- [5] L. Ma, S. Ding, C. Zhang, M. Zhang, and H. Shi, “Study on the Wear Performance of Brake Materials for High-Speed Railway with Intermittent Braking under Low-Temperature Environment Conditions,” *Materials*, vol. 15, p. 8763, Dec. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/ma15248763>.
- [6] F. Imanullah, E. Surojo, and A. R. Prabowo, “Development and current milestone of train braking system based on failure phenomenon and accident case,” vol. 34, no. 1, 2025, doi: <https://doi.org/10.1515/jmbm-2025-0053>.
- [7] P. Nisiewicz and W. Sawczuk, “Composite brake blocks in railway freight wagons: operational problems,” *Pojazdy Szynowe*, no. 1–2, pp. 9–17, 2025, doi: <https://doi.org/10.53502/rail-209083>.
- [8] Chunyu Yu, Jiawei Chen, Qinghai Zhang, and Weipu Li, “Research progress on friction and wear properties of powder metallurgy brake pad,” *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 14, no. 12, p. 16878132221126854, Dec. 2022, doi: <https://doi.org/10.1177/16878132221126854>.
- [9] M. A. Muflikhun, M. Adyudya, N. F. Rahman, J. Sentanuhady, and S. N. V. Raghu, “Comprehensive analysis and economic study of railway brake failure from metal-based and composites-based materials,” *Forces in Mechanics*, vol. 12, p. 100223, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.finmec.2023.100223>.
- [10] B. P. Utama, “Frictional Characterization Of Grey Cast Iron Train Brake Block Using A Reduced Scale Dynamometer,” *Mekanika: Majalah Ilmiah Mekanika*, vol. 21, no. 1, p. 31, Apr. 2022, doi: <https://doi.org/10.20961/mekanika.v21i1.48246>.
- [11] L. Dwi Setyana, “Studi Ukuran Grafit Besi Cor Kelabu Terhadap Laju Keausan Pada Produk Blok Rem Metalik Kereta Api,” 2015.
- [12] W. Sawczuk, A. Rilo Cañas, and S. Kołodziejcki, “Evaluation of weight wear of disc brake pads after test stands,” *Rail Vehicles/Pojazdy Szynowe*, no. 3–4, pp. 53–59, Dec. 2022, doi: <https://doi.org/10.53502/rail-162350>.
- [13] S. K. Ray, A. Banerjee, B. K. Bhangi, D. Pyne, and B. Dutta, “2 - Tribological analysis—general test standards,” in *Tribology of Polymers, Polymer Composites, and Polymer Nanocomposites*, S. C. George, J. T. Haponiuk, S. Thomas, R. Reghunath, and S. P. S., Eds., Elsevier, 2023, pp. 17–50. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90748-4.00001-7>.
- [14] J. Chen *et al.*, “Research on friction performance and wear rate prediction of high-speed train brake pads,” *Wear*, vol. 514–515, p. 204564, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2022.204564>.
- [15] B. I. Darmawan and I. Kurniawan, “Analisis Laju Keausan Brake Pad Terhadap Disc Brake Kereta Listrik Lrv Seri 1100,” *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, vol. 8, No 2 Doi: <https://doi.org/10.21009/JKEM.8.2.4>