

REKAYASA MATERIAL KOMPOSIT BLOK REM KERETA API MENGGUNAKAN PASIR BESI FERRO DAN SERBUK KARBON

Muchamat Ardistiya Rahma

Politeknik Perkeretaapian
Indonesia

Jl. Tirta Raya, Pojok, Nambangan
Lor, Kec. Manguharjo,
Kab. Madiun, Jawa Timur 63161

Nurul Fitria Apriliani¹

Politeknik Perkeretaapian
Indonesia

Jl. Tirta Raya, Pojok, Nambangan
Lor, Kec. Manguharjo,
Kab. Madiun, Jawa Timur 63161

Willy Artha Wirawan

Politeknik Perkeretaapian
Indonesia

Jl. Tirta Raya, Pojok, Nambangan
Lor, Kec. Manguharjo,
Kab. Madiun, Jawa Timur 63161

Abstract

The metallic and composite brake blocks have characteristics and advantages that need to be considered based on the needs and operational conditions of the railway. This study aims to determine the process of making composite brake blocks with carbon powder, iron sand, and epoxy resin and to understand their characteristics. Three variations of compositions, including 70 grams of epoxy resin + 15 grams of iron sand + 15 grams of carbon powder, 65 grams of epoxy resin + 15 grams of iron sand + 20 grams of carbon powder, and 55 grams of epoxy resin + 15 grams of iron sand + 30-gram carbon powder to produce distinct characteristic and properties. The fabrication of composite brake blocks was carried out using the vacuum infusion method. The tests conducted included hardness testing, wear testing, bending testing, and scanning electron microscope (SEM) analysis. The results of the tests showed that the hardness was 102.66 HRR, and the bending strength was 5985 N/cm², meeting the standard for railway composite brake blocks. However, the wear test result of 1.81 x 10⁻⁶ mm²/kg did not meet the standard value for the wear of railway composite brake blocks.

Keywords: composite brake block of the train, carbon powder, the bending test of wearing a pin on disc, test of hardness shore D, and test of scanning electron microscope (SEM)

Abstrak

Blok rem metalik dan komposit memiliki karakteristik dan keunggulan masing – masing yang harus dipertimbangkan berdasarkan kebutuhan dan kondisi operasional kereta api. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proses pembuatan blok rem komposit dengan serbuk karbon, pasir besi, dan resin *epoxy* serta untuk mengetahui karakteristiknya. Pada penelitian ini menggunakan 3 variasi komposisi meliputi 70 gram resin *epoxy* + 15 gram pasir besi + 15 gram serbuk karbon, 65 gram resin *epoxy* + 15 gram pasir besi + 20 gram serbuk karbon, dan 55 gram resin *epoxy* + 15 gram pasir besi + 30 gram serbuk karbon untuk menghasilkan karakteristik dan sifat yang berbeda. Pembuatan blok rem komposit menggunakan metode *vacuum infusion*. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kekerasan, keausan, *bending*, dan *scanning electron microscope* (SEM). Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa kekerasan sebesar 102,66 HRR dan uji *bending* sebesar 5985 N/cm² memenuhi standar dari blok rem komposit kereta api, tetapi untuk uji keausan sebesar 1,81 x 10⁻⁶ mm²/kg tidak memenuhi standar nilai keausan blok rem komposit kereta api.

Kata kunci: blok rem komposit kereta api, serbuk karbon, uji *bending*, uji keausan *pin on disc*, uji kekerasan shore D, dan uji *scanning electron microscope* (SEM)

PENDAHULUAN

Sarana perkeretaapian merupakan sebuah kendaraan yang dapat bergerak di atas rel. Kereta merupakan sarana perkeretaapian yang dikategorikan sebagai sarana perkeretaapian tanpa penggerak yang ditarik oleh lokomotif yang diperuntukkan untuk mengangkut penumpang.

¹ Corresponding author: nurul.fitria@ppi.ac.id

Aspek keselamatan merupakan salah satu aspek dalam sistem transportasi yang wajib dipenuhi karena suatu keadaan yang berjalan sesuai dengan prosedur operasi dan persyaratan kelaikan sarana dan prasarana yang berguna untuk menunjang keamanan dan kenyamanan dalam pengoperasian kereta api. Sistem pengereman termasuk dalam salah satu perangkat aspek keselamatan dikarenakan pengereman merupakan sebuah sistem yang digunakan untuk memperlambat atau menghentikan suatu pergerakan dari kendaraan. Pada sarana perkeretaapian, sistem pengereman yang digunakan yaitu sistem *pneumatic*. Sistem *pneumatic* merupakan sistem pengereman yang menggunakan media fluida gas sebagai penghantar atau penyalur.

Perangkat pengereman pada sarana perkeretaapian terdiri dari kompresor, *auxillary reservoir*, *distributor valve*, *cylinder brake*, *connecting road*, *slack adjuster* dan blok rem. Blok rem merupakan salah satu perangkat pengereman yang bergesekan langsung dengan roda kereta api serta komponen yang paling sering dilakukan perawatan maupun penggantian (Kurniawan & Bayuseno, 2011). PT. KAI (Persero) menggunakan dua jenis blok rem yaitu metalik dan komposit. Sebelum blok rem komposit banyak digunakan oleh pihak PT. KAI (Persero), blok rem yang digunakan blok rem metalik. Pada saat ini blok rem komposit dinilai lebih efektif dari blok rem metalik karena memiliki beberapa keunggulan di antaranya memiliki kekuatan yang dapat disesuaikan dengan cara menentukan persentase atau jumlah setiap bahan yang digunakan sebagai bahan campuran komposit, berat berukuran, ketahanan, kekuatan yang lebih tinggi, ketahanan korosi yang lebih baik, serta tahan terhadap keausan. Karena memiliki efektivitas dalam penggunaan, blok rem komposit lebih banyak digunakan oleh pihak PT. KAI (Persero) karena dinilai lebih ekonomis dalam penggunaan.

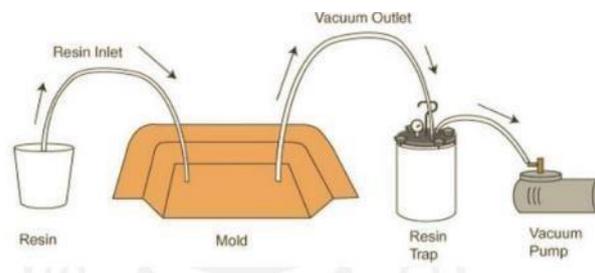
Penelitian mengenai blok rem komposit pernah dilakukan oleh Hilmi et al. (2022) yang membuat blok rem komposit kereta api menggunakan material resin *epoxy*, pasir besi, dan serat nilon. Pada penelitian ini metode pembuatan yang digunakan yaitu metode *hand lay up*. Penelitian ini menghasilkan nilai kekerasan sebesar 97 HRR serta nilai keausan sebesar $2,27546 \times 10^{-7}$ mm²/kg. Dari nilai hasil pengujian yang telah dilakukan hanya standar kekerasan yang memenuhi standar blok rem komposit kereta api. Widodo et al. (2016) melakukan penelitian mengenai blok rem komposit dengan bahan penyusun blok rem komposit yaitu alumina (Al₂O₃), arang tempurung kelapa atau grafit, barium sulfat (BaSO₄), *phenolic resin*, kalsium hidroksida (Ca(OH)₂), serbuk besi, *nitrile butadiene rubber*, dan serat sabut kelapa. Hasil yang didapatkan setelah dilakukan pengujian yaitu bahwa sampel B dengan kerapatan sebesar 1,955 g/cm³, kuat tekan sebesar 3308,6 N/mm², *modulus of rupture* (MOR) sebesar 2379,3 N/mm², *modulus of elasticity* (MOE) sebesar 305079 N/mm², dan kekerasan sebesar 85,3 HRR. Kurniawan dan Bayuseno (2011) melakukan penelitian mengenai blok kereta api yang menggunakan bahan Al-SiC. Hasil pengujian didapatkan bahwa nilai keausan spesifik tertinggi didapatkan pada Al yaitu sebesar 0,004186 mm²/kg dan hasil pengujian keausan spesifik terendah didapatkan pada bahan besi cor yaitu sebesar 0,000248 mm²/k. Harsi et al. (2015) melakukan penelitian mengenai komposit dengan material serbuk besi, *nitrile butadiene rubber*, hidroksida (Ca(OH)₂), serat sabut kelapa dan serbuk karbon menghasilkan kekuatan *bending* 104,234 Mpa. Penambahan karbon yang memiliki ukuran *mesh* lebih halus dapat mempengaruhi kekerasan dan keausan (Tarsono & Rahmalina, 2020). Penelitian ini bertujuan menghasilkan nilai kekerasan dan keausan yang sesuai dengan standar blok rem komposit kereta api. Pada

penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari bahan yang digunakan. Ditambahkan juga pengujian *bending* untuk menentukan mutu suatu material secara visual serta mengukur kekuatan material akibat pembebanan serta pengujian *scanning electron microscope* (SEM) untuk mengetahui morfologi patahan yang telah dilakukan pengujian *bending* pada pembuatan spesimen blok rem komposit kereta api. Dari beberapa penelitian dan referensi, penelitian berjudul “REKAYASA MATERIAL KOMPOSIT BLOK REM KERETA API MENGGUNAKAN PASIR BESI FERRO DAN SERBUK KARBON”.

METODE PENELITIAN

Vacuum Infusion

Metode *vacuum infusion* memiliki keunggulan dalam mengurangi kemungkinan udara terperangkap dalam komposit sehingga menghasilkan komposit yang lebih kuat dibandingkan dengan metode *hand lay up* (Hidayat, 2020). *Spray up* dan *hand lay up* merupakan cara yang lebih mudah untuk membuat komposit, tetapi pembuatan komposit dengan menggunakan metode tersebut sering memiliki rongga karena udara terperangkap selama proses pembuatan (Muhtadi, 2023).



Gambar 1. Skema *Vacuum Infusion*

Uji Keausan *Pin on Disc*

Pengujian keausan *pin on disc* menggunakan standar ASTM G 99 dengan ukuran panjang 30 mm, lebar 20 mm, dan tinggi 10 mm. Keausan *pin on disc* dimana *disc* yang berputar dan *pin* diam, mendapatkan tekanan dari pembebanan pada pin yang mengakibatkan gesekan antara *pin* dan *disc*. Pengujian keausan *pin on disc* dilakukan dengan gaya tekan pada saat proses pengujian berlangsung sebesar 2,12 kg serta jarak tempuh yang dilakukan pada pengujian keausan *pin on disc* sebesar 66 m (Pamungkaset al., 2021).. Setiap spesimen dilakukan 3 kali pengambilan data uji nilai keausan masing – masing spesimen komposit dianalisis dengan persamaan:

$$Ws = \frac{B \times b^3}{8 \times r \times p_0 \times l_0} \quad (1)$$

Dimana Ws harga keausan spesifik (mm^2/kg), B lebar piringan pengaus (mm), b^3 lebar keausan pada benda uji (mm), r merupakan jari-jari piringan pengaus (mm), p_0 gaya tekan

pada proses keausan berlangsung (kg) dan l_0 merupakan jarak tempuh pada proses pengausan (mm).

Uji Kekerasan

Spesimen uji untuk pengujian kekerasan *shore D* menggunakan standar ASTM D 2240 dengan ukuran tebal minimum 3 mm atau lebih besar, lebar 15 mm, dan panjang 35 mm. Durometer merupakan alat uji kekerasan dengan metode *shore D*. Durometer hanya menggunakan pegas kalibrasi untuk menerapkan tekanan tertentu ke kaki *indentor*. Pengujian kekerasan *shore D* dilakukan pada 3 titik yang berbeda pada setiap spesimen. Cara pengujian kekerasan *shore D* menggunakan perangkat durometer dilakukan dengan mendorong atau menekan perangkat uji yang terdapat jarum terhubung dengan pegas pada bagian bawahnya dengan kekuatan dan waktu tertentu untuk mendapatkan nilai kekerasannya. Syarat utama spesimen yang digunakan untuk pengujian kekerasan *shore D* adalah permukaan yang harus datar. Untuk hasil dari pengujian akan dilakukan konversi dari satuan HD ke HRR. (Hilmi et al., 2022).

Uji Bending

Pengujian *bending* pada penelitian ini berdasarkan standar ASTM D790 yang memiliki dimensi panjang 152 mm, lebar 25,4 mm, dan tinggi 6 mm. Pengujian ini dilakukan 2 kali pada setiap variasi komposisi. Alat yang digunakan untuk pengujian *bending* yaitu *universal testing machine* (UTM). Data yang diperoleh dari pihak laboratorium diolah menggunakan rumus *three point bending* kecepatan 2mm/s dan jarak antar tumpuan 60 mm (O. Kurniawan et al., 2019). Selanjutnya kekuatan *bending* dihitung dengan persamaan:

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (2)$$

Dimana σ_b merupakan nilai *flexural strength* dari pengujian *bending*, P beban (N), L jarak panjang span antar titik tumpu (mm), b lebar spesimen (mm) dan d adalah tebal (mm)

Uji Scanning Electron Microscope (SEM)

Pengujian ini dilakukan sesudah dilakukannya uji *bending* dengan ukuran spesimen uji panjang 10 mm, lebar, 10 mm, dan tinggi 10 mm. *Scanning electron microscope* (SEM) merupakan mikroskop beresolusi tinggi yang mampu menangkap citra topografi permukaan dengan kedalaman fokus (*depth of field*) bisa mencapai 1000 mikrometer. SEM bekerja dengan menembakkan pancaran elektron berenergi tinggi ke permukaan spesimen yang kemudian akan menghasilkan emisi elektron sekunder. Elektron – elektron tersebut akan ditangkap oleh detektor, di amplifikasi, dan ditampilkan dalam bentuk gambar pada monitor komputer. Sebelum spesimen diuji dilakukan *coating* yang berfungsi untuk melapisi spesimen agar sampel tidak rusak saat di *scanning* (Farikhin, 2016).

Standar Blok Rem Komposit Kereta Api

Tabel 1. Syarat Standar Dalam Kualitas Blok Rem Komposit

Pengujian Blok Rem	Nilai Standar Nasional Indonesia (SNI)
--------------------	--

Kekerasan	68 – 105 HRR
Ketahanan Panas	600 ⁰ C – 1200 ⁰ C
Keausan	5 x 10 ⁻⁴ – 5 x 10 ⁻³ mm ² /kg
Koefisien Gesek	0,14 – 0,27
Massa Jenis	1,5 – 2,4 gr/cm ³
Konduktifitas Termal	0,12 – 0,8 W.m. °K
Tekanan	0,17 – 0,98 joule/g. °C
Kekuatan Geser	1300 – 3500 N/cm ³
Kekuatan Perpatahan	480 – 1500 N/cm ³
Kekuatan <i>Bending</i>	2400 – 4000 N/cm ²

Sumber: Zakaria, 2018

Karakteristik Bahan

Tabel 2. Spesifikasi Resin *Epoxy* dan Sifat Mekanik Resin *Epoxy*

Sifat – Sifat	Nilai Satuan
Massa Jenis Resin	1,17 g/cm ³
Serapan Air	0,2 ⁰ C
Massa Jenis Resin	1,17 g/cm ³
Serapan Air	0,2 ⁰ C
Kekuatan Tarik	5,95 kgf/mm ²
Kuat Tekan	14 kgf/mm ²
Kuat Lentur	12 kgf/mm ²
Suhu Percetakan	90 ⁰ C

Sumber: Hilmi et al., 2022

Sifat – Sifat	Nilai	Satuan
<i>Density</i>	1,2 – 1,3	(g/cm ³)
<i>Strength</i>	50 – 125	MPa
<i>Modulus</i>	2,5 – 4	GPa
<i>Poisson's Ratio</i>	0,2 – 0,33	V
<i>CTE</i>	50 – 100	$\alpha(10^{-6}K^{-1})$
<i>Cure Shrinkage</i>	1 – 5	%
<i>Use Temperature</i>	150	°C

Sumber: Ramadhanu, 2018

Spesifikasi Pasir Besi

Pada kereta api pasir besi dengan variasi *mesh* 60 atau sama dengan 0,250 mm digunakan untuk bahan baku pembuatan spesimen blok rem komposit kereta api. Pasir besi terutama terdiri dari magnetit terkait titanomagnetite (oksida besi), bersama dengan sejumlah kecil hematit dan magnetit serta pengotor mineral seperti kuarsa, piroksen, biotit, dan rutil. Fosfor dan belerang merupakan dua kotoran umum lainnya yang dapat ditemukan di pasir besi. Pasir besi berwarna abu – abu hingga hitam, memiliki massa jenis 2 – 5 gr/cm³, berat jenis (SG) 2,99 – 4,23 gr/cm³, dan derajat kemagnetan (MD) 6,4 – 27,16%.

Tabel 3. Spesifikasi Serbuk Karbon

No	Description	Unit	Requiptment	
			Granular	Powder
1	The lost part on heating 950°C	%	Max 15	Max 25
2	Water	%	Max 4,4	Max 15
3	Ash	%	Max 2,5	Max 10
4	Non-carbonated parts	-	-	-
5	Adsorption of I ₂	Mg/g	Min. 750	Min. 750
6	Pure active carbon, %	-	Min. 80	Min. 65
7	Adsorption od Benzene, %	-	Min. 25	-
8	Adsorption of metylen blue	MI/g	Min. 60	Min. 120
9	Bulk density	g/ml	0,45 – 0,55	0,30 – 0,35
10	Passed 325% meshsize	-	-	Min. 90
11	Mesh distane, %	-	90	-
12	Violence, %	-	80	-

PROSES PEMBUATAN

Proses pembuatan blok rem komposit kereta api ini dimulai dari pembuatan cetakan spesimen menggunakan aplikasi *corel draw*, pembuatan spesimen blok rem menggunakan metode *vacuum infusion*, dan pengujian bahan. Proses pembuatan desain spesimen blok rem komposit kereta api ini menggunakan aplikasi *corel draw* dengan menggunakan bahan akrilik dan dengan ukuran cetakan 250 mm x 25 mm x 5 mm. Desain cetakan blok rem komposit kereta api terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. Desain Cetakan Spesimen Blok Rem Komposit Kereta Api

Pembuatan Spesimen Komposit Blok Rem Kereta Api

Proses pembuatan blok rem komposit kereta api menggunakan metode *vacuum infusion* merupakan salah satu metode pencetakan dengan menggunakan tekanan atmosfer sebagai penjepit untuk menekan lapisan laminasi secara bersamaan dengan tekanan yang sama rata.

Tabel 4. Komposisi Spesimen Komposit Blok Rem Kereta Api

Komposisi	Resin Epoxy (Matriks)	Pasir Besi (reinforcement)	Serbuk Karbon(Filler)	
A	70%	15%	15%	
B	65%	15%	20%	
C	55%	15%	30%	

Tahap pertama proses pembuatan persiapkan alat dan bahan, desain cetakan spesimen uji, pembuatan lubang besar dan kecil untuk saluran ke cetakan, lapisi *moldrelease* cetakan dan kaca, lapisi lakban pada kaca sesuai dengan bentuk cetakan akrilik, tutup bagian atas cetakan, rekatkan cetakan pada kaca menggunakan *sealent tape ST150 black* , Potong *flow media confusion* , potong selang dan letakkan pada bagian lubang kecil dan besar, potong *vacuum bagging* sesuai dengan ukuran cetakan, lalu tempelkan *vacuum bagging* pada cetakan menggunakan *sealent tape ST150 black* , sambungkan pada tabung *reservoir* dan pompa vakum lakukan uji coba sampai tidak ada celah udara masuk pada cetakan, timbang material, campur material sampai merata, salurkan campuran material ke dalam cetakan, pastikan tidak ada udara yang masuk ke dalam cetakan, diamkan selama 2 hari sebelum dilepaskan dari cetakan, tahap terakhir potong spesimen uji sesuai dengan standar masing – masing. Diketahui bahwa spesimen dengan kode A penyebaran karbon lebih merata, tetapi masih ada beberapa pori – pori kecil yang disebabkan dari sifat karbon dan udara yang masuk pada proses pembuatan spesimen.



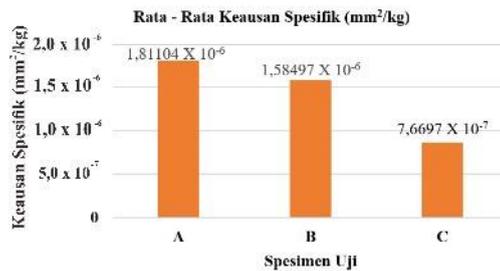
Gambar 3. Proses Pembuatan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Keausan *Pin on Disc*

Tabel 5. Hasil Uji Keausan *Pin On Disc* dengan Standar Blok Rem Komposit

Spesimen Uji	Rerata Keausan Spesifik (Ws) (mm ² /kg)	Standar Blok Rem Komposit (Ws) (mm ² /kg)
A	$1,81 \times 10^{-6}$	$5 \times 10^{-4} - 5 \times 10^{-3}$
B	$1,58 \times 10^{-6}$	$5 \times 10^{-4} - 5 \times 10^{-3}$
C	$8,63 \times 10^{-7}$	$5 \times 10^{-4} - 5 \times 10^{-3}$



Gambar 4. Grafik Rata – Rata Keausan Spesifik

Setelah diperoleh data terkait nilai keausannya, hasil uji keausan spesimen blok rem komposit dari 3 spesimen dengan masing- masing 3 kali pengujian memiliki nilai keausan yang berbeda – beda. Pada uji keausan diambil nilai yang paling rendah atau mendekati standar blok rem komposit. Karena semakin tinggi nilai keausan sama dengan blok rem akan menjadi lebih cepat aus. Pada variasi komposisi spesimen A dengan 70 gram resin *epoxy* + 15 gram pasir besi + 15 gram serbuk karbon diperoleh nilai rata – rata sebesar $1,81104 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{Kg}$. Nilai keausan tertinggi pada kode A3 yaitu sebesar $2,70728 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{Kg}$. Sedangkan nilai keausan terendah diperoleh pada kode spesimen A1 yaitu sebesar $1,07305 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{Kg}$. Berikut merupakan contoh perhitungan nilai keausan pada spesimen blok rem komposit kereta api:

$$W_s = \frac{B \times b^3}{8 \times r \times P_0 \times I_0}$$

$$W_s = \frac{3 \times 2,3629^3}{8 \times 13,06 \times 2,12 \times 66000} = \frac{39,578313261567}{14.618.841,6}$$

$$W_s = 0,00000270728 \text{ mm}^2/\text{Kg} = 2,70728 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{Kg}$$

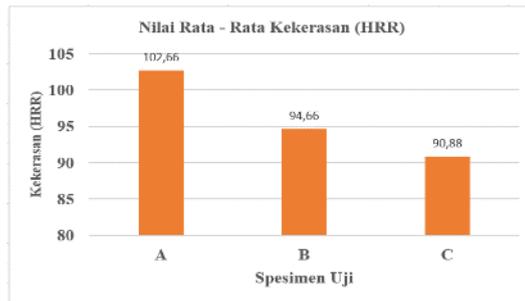
Selanjutnya pada spesimen dengan variasi komposisi 65 gram resin *epoxy* + 15 gram pasir besi + 20 gram serbuk karbon diperoleh nilai rata – rata sebesar $1,58497 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{Kg}$. Nilai keausan tertinggi diperoleh pada kode B1 yaitu sebesar $4,29336 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{Kg}$. Sedangkan nilai keausan terendah diperoleh pada percobaan dengan kode spesimen B3 yaitu sebesar $2,36596 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{Kg}$. Selanjutnya pada spesimen dengan variasi komposisi 55 gram resin *epoxy* + 15 gram pasir besi + 30 gram serbuk karbon diperoleh nilai rata – rata sebesar $8,63675 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{Kg}$. Nilai keausan tertinggi diperoleh pada kode C1 yaitu sebesar $1,0043 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{Kg}$. Sedangkan Nilai keausan terendah diperoleh pada percobaan dengan kode spesimen C3 yaitu sebesar $7,6697 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{Kg}$.

Dari uraian di atas menunjukkan bahwa berat serbuk karbon berdampak pada nilai keausan yang dihasilkan. Penambahan berat dari serbuk karbon pada setiap variasi komposisi mengakibatkan nilai dari keausan semakin bertambah. Dimana nilai keausan yang bertambah dapat mempengaruhi pengaplikasian secara langsung dan digunakan dalam jangka waktu yang lama. Hal tersebut sejalan pada semakin cepatnya proses keausan pada blok rem komposit yang menyebabkan singkatnya waktu dalam pemakaian blok rem komposit kereta api.

Hasil Uji Kekerasan

Tabel 6. Hasil Uji Kekerasan dengan Standar Blok Rem Komposit

Spesimen Uji	Hasil Uji Kekerasan (HRR)	Standar Blok Rem Komposit(HRR)
A	102,66	70 – 105
B	94,66	70 – 105
C	90,88	70 – 105



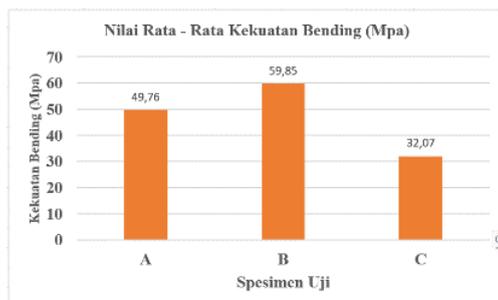
Gambar 5. Grafik Rata – Rata Total Kekerasan (HRR)

Hasil nilai kekerasan spesimen blok rem komposit kereta api memiliki nilai kekerasan yang berbeda – beda. Nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada spesimen A dengan komposisi 70 gram resin *epoxy* + 15 gram pasir besi + 15 gram serbuk karbon yaitu 81,33 HD atau setara dengan 102, 66 HRR. Sedangkan nilai kekerasan yang rendah dihasilkan oleh spesimen C dengan komposisi 55 gram resin *epoxy* + 15 gram pasir besi + 30 gram serbuk karbon yaitu 75,43 HD atau setara dengan 90,88 HRR.

Hasil Uji Bending

Tabel 7. Hasil Uji *Bending* dengan Standar Blok Rem Komposit

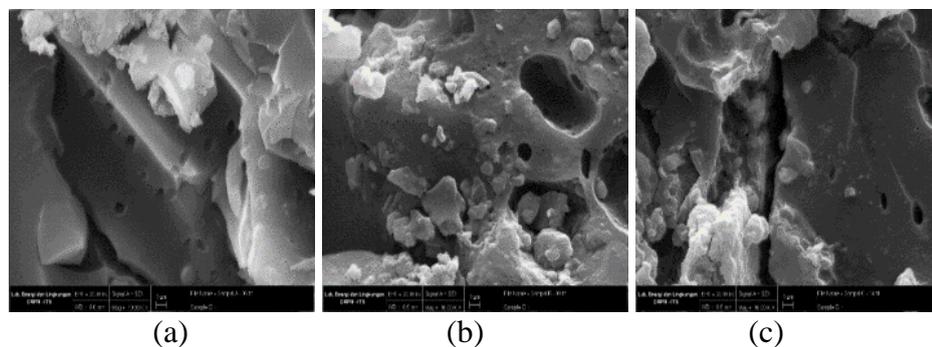
Spesimen Uji	Rata – Rata Kekuatan <i>Bending</i> (Mpa)	Rata – Rata Kekuatan <i>Bending</i> (N/cm ²)	Standar Blok Rem Komposit (N/cm ²)
A	49,76	4976	2400 – 4000
B	59,85	5985	2400 – 4000
C	32,07	3207	2400 – 4000



Gambar 6. Grafik Rata – Rata Kekuatan Bending

Hasil dari pengujian *bending* spesimen blok rem komposit kereta api didapatkan kekuatan *bending* yang tertinggi pada spesimen B dengan 65 gram resin *epoxy* + 15 gram pasir besi + 20 gram serbuk karbon yaitu 59,85 Mpa. Dan untuk pengujian *bending* spesimen blok rem komposit kereta api didapatkan kekuatan *bending* yang terendah pada spesimen C dengan 55 gram resin *epoxy* + 15 gram pasir besi + 30 gram serbuk karbon yaitu 32,07 Mpa. Dari hasil tabel 4. 7 dan Gambar 4. 19 dapat diketahui bahwa kekuatan *bending* material komposit blok rem kereta api dengan penambahan serbuk karbon mengalami penurunan kekuatan *bending*. Hal ini dikarenakan sifat dari karbon yang berongga dan sifat karbon yang lebih getas dibandingkan *epoxy*.

Hasil Pengujian *scanning electron microscope* (SEM)



Gambar 7. Hasil SEM (a) Spesimen A (b) Spesimen B (c) Spesimen C Dengan Perbesaran 10.000 kali

Gambar 7. hasil pengujian *scanning electron microscope* (SEM) dengan memperlihatkan morfologi dan struktur mikro komposit dengan *filler* serbuk karbon. Partikel karbon mengikat satu sama lain di ketiga spesimen. Struktur mikro komposit karbon menunjukkan bahwa unsur – unsur karbon terdispersi tidak berikatan satu samalain. Partikel karbon tidak terdistribusi secara merata di seluruh area matriks. Pada sampel A penyebaran karbon lebih baik dari pada spesimen lainnya, tetapi masih ada beberapa pori – pori kecil yang disebabkan dari sifat karbon. Pada spesimen B penyebaran karbon kurang menyebar sama rata. Terdapat beberapa pori – pori yang memiliki ukuran lumayan besar daripada spesimen A. Distribusi karbon pada spesimen C tidak merata, dan terdapat banyak pori yang lebih besar dari pada spesimen A dan B. Pori – pori yang disebabkan juga terjadi akibat pada proses pembuatan spesimen blok rem masih terdapat udara yang masuk yang bisa mempengaruhi karakteristik dari komposit tersebut.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian blok rem komposit dengan material serbuk karbon, pasir besi, dan resin *epoxy* dengan ketiga variasi komposisi tersebut telah memenuhi standar nilai rata – rata kekerasan terbaik pada spesimen A sebesar 102,66 HRR karena nilai standar kekerasan blok rem komposit kereta api berdasarkan SNI 8832:2019 adalah 70 – 105 HRR, ketiga

variasi komposisi telah memenuhi standar nilai rata – rata kekuatan *bending* terbaik pada spesimen B sebesar 5985 (N/cm²) karena nilai kekuatan *bending* blok rem komposit kereta api berdasarkan SNI 8832:2019 adalah 2400 – 4000 (N/cm²), tetapi ketiga variasi komposisi tersebut belum memenuhi standar nilai rata –rata keausan sebesar $1,81104 \times 10^{-6}$ mm²/Kg, $1,58497 \times 10^{-6}$ mm²/Kg, dan $8,63675 \times 10^{-7}$ mm²/Kg karena standar nilai keausan blok rem komposit kereta api berdasarkan standar yaitu $5 \times 10^{-4} - 5 \times 10^{-3}$ mm²/kg. Dari ketiga variasi komposisi yang telah dilakukan uji *scanning electron microscope* (SEM) diketahui bahwa sifat dari karbon dapat membuat spesimen uji menjadi berongga.

DAFTAR PUSTAKA

- Farikhin, F. (2016). Analisa scanning electron microscope komposit polyester dengan filler karbon aktif. *Publikasi Ilmiah*.
- Harsi, Sari, N. H., & Sinarep. (2015). Karakteristik kekuatan bending dan kekuatan tekan komposit. *Dinamika Teknik Mesin*.
- Hidayat, S. (2020). Aplikasi perangkat vacuum infusion untuk pembuatan komponen berbahan komposit. *Rekayasa Dan Aplikasi Teknik Mesin Di Industri*, 12–20.
- Hilmi, N., Putra, S., & Apriliani, N. F. (2022). Pembuatan prototype blok rem komposit pada kereta api dengan serat nilon. *Jurnal Perkeretaapian Indonesia*.
- Kurniawan, I., & Bayuseno, A. P. (2011). Karakteristik blok rem kereta api berbahan Al-SiC berdasarkan komposisi material. *Jurnal Gema Maritim*.
- Kurniawan, O., Wirawan, W. A., & Zulkarnain, A. (2019). Pengembangan material ringan serat gelas pada industri kereta api. *Jurnal Transportasi*.
- Pamungkas, F. P., Wirawan, W. A., & Rachman, N. F. (2021). *Rancang bangun surface treatment rail sebagai upaya mengurangi keausan pada jalan rel kereta api*.
- Tarsono, Y. P., & Rahmalina, D. (2020). Pengaruh karbon aktif dan serbuk tempurung kelapa matrik aluminium terhadap kekerasan brake pada komposit. *Jurnal Kajian Teknik Mesin*.
- Widodo, E., Sumarno, A., & Ismadi. (2016). Pembuatan blok rem komposit sebagai pengganti blok rem konvensional pada moda transportasi kereta api Indonesia. *Rekayasa Sipil*.
- Zakaria, M. (2018). *Analisis kampak rem komposit dari karbon kulit buah mahoni dan abu layang (fly ash) batubara serta sifat-sifat fisiknya*. Universitas Negeri Semarang.