

STUDI PENDAHULUAN TERHADAP MATERIAL KOMPOSIT MATRIK LOGAM UNTUK APLIKASI KAMPAS REM KERETA API DARI KOMPOSISI MATERIAL AL 34%, FE 23%, MG 18%, C 20%, SI 5%

Adhiguna Jiwandhana Ma'arif; Ir. Agus Dwi Anggono, S.T., M.Eng, Ph.D
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dan harga keausan pada *Metal Matrix Composite* untuk aplikasi Kampas Rem Kereta Api dengan komposisi Al 34%, Fe 23%, Mg 18%, C 20%, Si 5%. Proses fabrikasi dimulai dengan mencampurkan komposisi yang sudah ditentukan, kemudian diaduk selama 15 menit hingga semua material serbuk tercampur dengan rata. Setelah itu dilakukan proses *pressing* dengan menggunakan metode *cold pressing*, material serbuk yang sudah tercampur dimasukkan pada cetakan yang sudah dibuat. Lalu dilakukan penekanan dengan tekanan 20 KN dilakukan secara bertahap dengan setiap 2,5 KN ditahan selama 1 menit dilakukan sampai tekanan mencapai 20 KN ditahan selama 15 menit. Setelah itu dilakukan proses *sintering* dengan suhu 750°C ditahan selama 60 menit kemudian dilakukan pendinginan dengan suhu ruangan. Pada pengujian struktur mikro (SEM) terhadap sampel dapat diketahui masih terdapat porositas dan distribusi tiap unsur yang kurang merata yang terbentuk pada permukaan sampel.. SEM-EDX dilakukan pada 2 lokasi dan 6 spot yang menampilkan berat konsentrasi yang berbeda pada setiap spot. Hasil pengujian keausan metode Ogoshi diperoleh harga keausan sebesar $5,52 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{Kg}$.

Kata Kunci: *Metal Matrix Composite*, Kampas Rem Kereta, Ogoshi, SEM

Abstract

This study aims to determine the microstructure and wear value of metal Matrix Composite for the application of Railway Brake Pads with the composition of Al 34%, Fe 23%, Mg 18%, C 20%, Si 5%. The fabrication process begins by mixing the predetermined composition, then stirring for 15 minutes until all the powdered materials are mixed evenly. After that, the pressing process is carried out using the cold pressing method, the mixed powder material is put in the mold that has been made. Then, pressing with a pressure of 20 KN is carried out in stages with every 2,5 KN being held for 1 minute, carried out until the pressure reaches 20 KN, and held for 15 minutes. After that, the sintering process was carried out at a temperature of 750 °C held for 60 minutes, and then cooled to room temperature. In the microstructure test (SEM) of the sample, it can be seen that there is still porosity and uneven distribution of each element formed on the sample surface. SEM-EDX was carried out at 2 locations and 6 spots showing different weight concentrations at each spot. The result of the wear test using the Ogoshi method obtained a wear value of $5,52 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{Kg}$.

Keywords: Metal Matrix Composite, Train Brake Pads, Ogoshi, SEM

1. PENDAHULUAN

Sistem transportasi kereta api merupakan salah satu moda transportasi yang penting bagi masyarakat, karena harga yang masih cukup terjangkau untuk berpergian. Dan pengereman pada kereta api bertujuan untuk melakukan pengurangan kecepatan secara terkendali baik saat mencapai kecepatan tertentu atau pada saat kecepatan lebih rendah. Sudah menjadi rahasia umum bahwa sistem

pengeraman pada kereta api tidak ramah lingkungan dan bisa membahayakan kesehatan manusia, blok rem kereta api pada umumnya terbuat dari bahan asbes, logam dan keramik dapat mengeluarkan gas berbahaya (Obidiegwu et al 2021). Salah satu komponen terpenting pada kereta api sebagai moda transportasi adalah rem. Rem berfungsi sebagai alat untuk mengatur laju kendaraan khususnya untuk mengurangi dan menghentikan kendaraan. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan oleh Daerah Operasi (DAOP) PT. Kereta Api Indonesia ditemukan bahwa umur pemakaian kanvas rem untuk kereta api sangat singkat, yaitu sekitar 252 jam operasi atau kisaran dua minggu beroperasi (AM Simanjuntak, S Abda 2013).

Komposit merupakan material yang terusun dari dua atau lebih campuran material dengan sifat kimia, fisika, dan mekanik yang berbeda, serta menghasilkan material baru yang memiliki sifat berbeda dari material penyusunnya. Material komposit terdiri dari dua jenis material yaitu material matrik dan penguat, keduanya memiliki fungsi yang berbeda, penguat berfungsi sebagai bahan rangka penyusun komposit, sedangkan matrik berfungsi untuk merekatkan penguat agar tidak berubah posisi. Campuran dari keduanya akan menghasilkan material yang keras, memiliki kekuatan tinggi, dan juga tetap ringan (Darmawan et al., 2009).

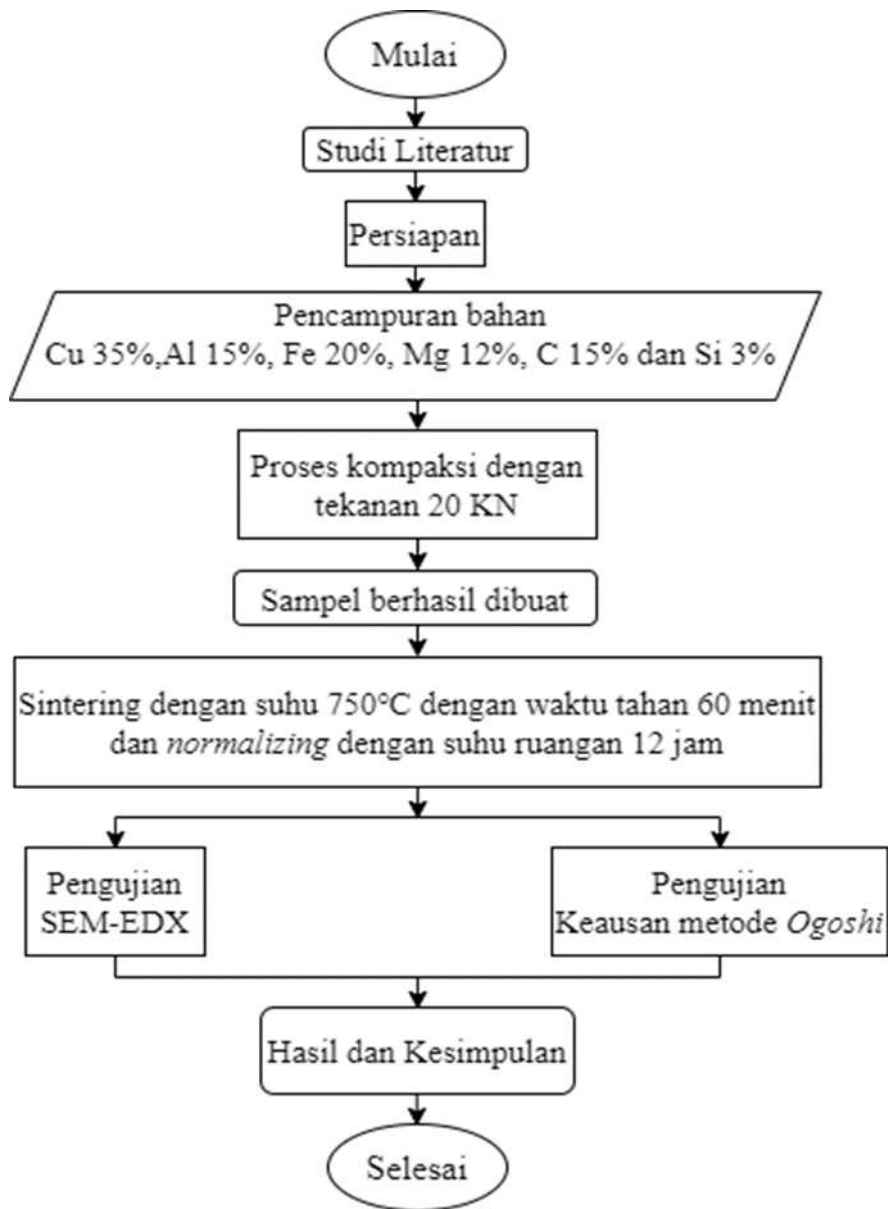
Metal Matrix Composite (MMC) digunakan dalam berbagai aplikasi otomotif dan transportasi darat. Keunggulan *Metal Matrix Composite* adalah rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, sifat mekanik termal di atas material konvensional, peningkatan karakteristik, ketahanan aus yang lebih baik serta sifat yang dapat disesuaikan. Dengan berbagai keunggulan di atas, *Metal Matrix Composite* dapat digunakan diberbagai aplikasi transportasi menggantikan bahan konvensional terdahulu (Chawla & Chawla, 2006).

Penelitian yang dilakukan adalah membuat kampas rem kereta api komposit matriks logam dengan variasi komposisi Al. Tujuan penelitian adalah untuk melakukan analisis struktur mikro pada sampel spesimen kampas rem menggunakan alat uji SEM (*Scanning Elektron Microscopy*) dan mengetahui nilai keausan sesudah perlakuan *sintering* menggunakan alat uji kekerasan dengan menggunakan metode *Ogoshi*. Berdasarkan pada masalah dan tujuan penelitian, maka judul yang dipilih adalah “Pengembangan Material Komposit Matrik Logam untuk Aplikasi Rem Kereta Api dengan Variasi Material Al 34%, Fe 23%, Mg 18%, C 20%, Si 5%”.

2. METODE

2.1 Diagram Alir Penelitian

Urutan dan prosedur dalam pelaksanaan penelitian mulai dari awal hingga akhir ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2 Lokasi Penelitian

2.2.1 Lokasi Fabrikasi

Lokasi fabrikasi penelitian dilaksanakan di 2 (dua) tempat berdasarkan prosesnya yang terbagi menjadi proses metalurgi dan proses *sintering*. Proses metalurgi serbuk dan kompaksi sampel spesimen komposit rem kereta api dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil UMS. Sedangkan proses *sintering* sampel spesimen komposit rem kereta api dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin UMS.

2.2.2 Lokasi Pengujian

Lokasi pengujian SEM-EDX dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin UMS, sedangkan pengujian keausan *Ogoshi* dilaksanakan di Departemen Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

2.3 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam mendukung penelitian adalah mesin pres, mesin *furnase microwave*, cetakan, timbangan gram digital, dan jangka sorong. Sedangkan bahan yang digunakan dalam proses penelitian adalah alumunium, besi, magnesium, silikon, dan serbuk arang kelapa.

2.4 Instalasi Pengujian

2.4.1 Pengujian SEM-EDX

Langkah-langkah pengujian SEM-EDX adalah sebagai berikut:

1. Meletakkan sampel pada *holder*, dimana *holder* telah ditempel dengan *doubel tape*.
2. Membersihkan permukaan sampel terlebih dahulu dengan cara menyemprot menggunakan pompa angin.
3. Memasukkan spesimen kedalam *chamber*.
4. Setelah meletakkan pada *holder* kemudian memasukkan spesimen ke dalam mesin. Selanjutnya mengamati hasil menggunakan komputer.

2.4.2 Pengujian Keausan (*Wear Test*)

Langkah pengujian keausan adalah sebagai berikut:

1. Meletakkan sampel pada *holder*.
2. Menentukan kecepatan pada piringan dan beban yang akan digunakan.
3. Pengujian keausan dimulai dengan menekan tombol *ON*, sehingga piringan berputar dan menggesek spesimen.
4. Kemudian mengamati spesimen hasil uji dengan mikroskop dan diukur dimensi panjang volume hilang.

2.5 Sampel

Setelah melakukan fabrikasi hingga sampel spesimen jadi, maka sebelum dilakukan pengujian perlu dilakukan persiapan pengujian yaitu reparasi pada sampel spesimen antara lain sebagai berikut:

1. Pada pengujian SEM-EDX sampel direparasi menjadi ukuran dengan diameter 1,20 mm dan tinggi 5 mm dengan permukaan diperhalus menggunakan amplas dari grade 500, 1000, 1500 hingga 2000. Sampel ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Sampel Uji SEM-EDX

2. Pada pengujian Keausan *Ogoshi* sampel dilakukan reparasi dengan memberikan monting resin pada sampel menjadi ukuran diameter 20 mm dan tinggi 8 mm. sampel ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Sampel Pengujian Keausan

2.6 Prosedur Penelitian

Dalam penelitian yang dilakukan pada pembuatan sampel komposit rem kereta api ini diperlukan langkah-langkah yang digunakan sebagai panduan untuk melakukan penelitian.

2.6.1 Fabrikasi

Proses fabrikasi komposit kampas rem dibagi menjadi tiga tahapan, yaitu sebagai berikut:

1. Pencampuran (*Mixing*)

Pada proses pencampuran ini, bahan-bahan material diaduk secara manual selama 5 menit sehingga pencampuran material dapat tercampur secara merata. Adapun komposisinya terdapat pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi spesimen kampas rem

No.	Nama Bahan	Berat (Gram)	Presentase (%)
1.	Alumunium	1,36	34
2.	Besi	0,92	23
3.	Magnesium	0,72	18
4.	Arang Kelapa	0,8	20
5.	Silicon	0,2	5
Jumlah		4	100

2. Pemadatan (*Compaction*)

Proses pemadatan serbuk dilakukan dengan tekanan 20 KN yang dilakukan secara bertahap setiap 2,5 KN ditahan selama 1 menit, dilakukan sampai tekanan sampai mencapai 20 KN ditahan 15 menit. Setelah kompaksi, sampel spesimen ini sangat rapuh sehingga memerlukan perlakuan panas untuk meningkatkan kekerasan pada spesimen. Spesimen hasil pemadatan serbuk dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Detail spesimen hasil dari proses pemadatan

3. Pemanasan (*sintering*)

Setelah dilakukan pemadatan serbuk langkah selanjutnya spesimen disintering pada oven dengan suhu 750°C dengan waktu tahan selama 60 menit. Setelah proses *sintering* spesimen ini memiliki kekerasan yang lebih baik dari sebelum disintering. Hasil *sintering* dapat dilihat pada gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Sampel spesimen setelah *sintering*



Gambar 6. Detail spesimen setelah proses sintering

2.6.2 Pengujian

Setelah dilakukan proses frabikasi hingga sampel spesimen kampas rem jadi, selanjutnya dilakuakn 2 pengujian yaitu:

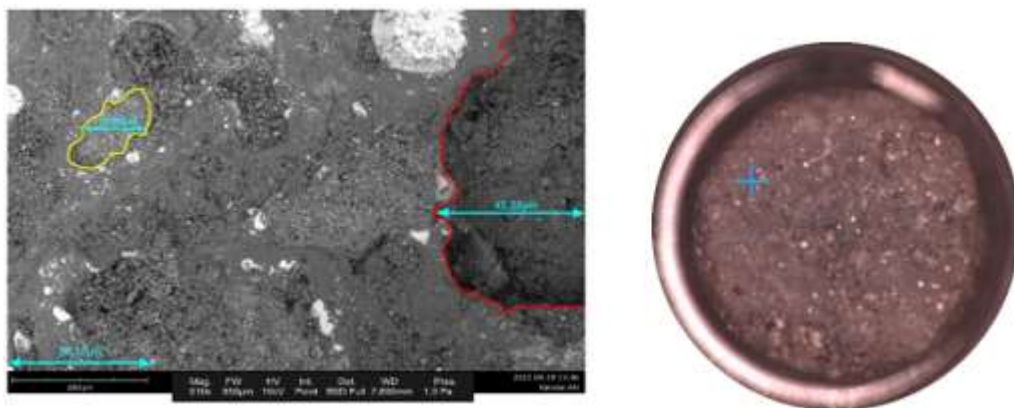
1. Pengujian SEM-EDX yang berfungsi untuk mengetahui struktur mikro sehingga tingkat homogenitas spesimen dapat diketahui. Pengujian ini juga digunakan untuk menganalisa elemental kimia yang terdapat pada spesimen.
2. Pengujian Keausan yang dilakukan dengan menggunakan metode *Ogoshi* dimana spesimen dicekam oleh pin lalu diberikan beban sehingga sampel spesimen terjadi gesekan dengan piringan dengan kecepatan yang sudah ditentukan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Penelitian dan Analisa Data

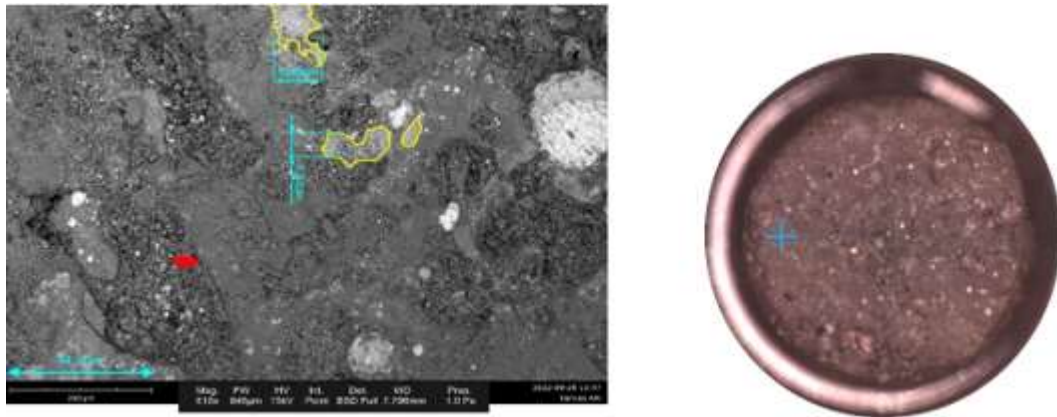
3.1.1 Pengujian SEM

Pada pengujian SEM-EDX ini terlebih dahulu dilakukan pengamplasan menggunakan amplas dari grade 500, 1000, 1500, dan 2000 untuk mendapatkan permukaan spesimen yang halus. Dalam pengujian ini pengamatan morfologi pada material pasca kompaksi untuk mengetahui kondisi permukaan spesimen sehingga terlihat distribusi dari porositas, serta senyawa yang terbentuk sebagai hasil dari perlakuan yang diberikan pada spesimen material yang dibuat. Dalam pengujian SEM ini dilakukan pengambilan foto mikro dengan pembesaran 610x pada 4 lokasi. Hasil SEM foto mikro ditunjukkan pada gambar 7 sampai gambar 10.



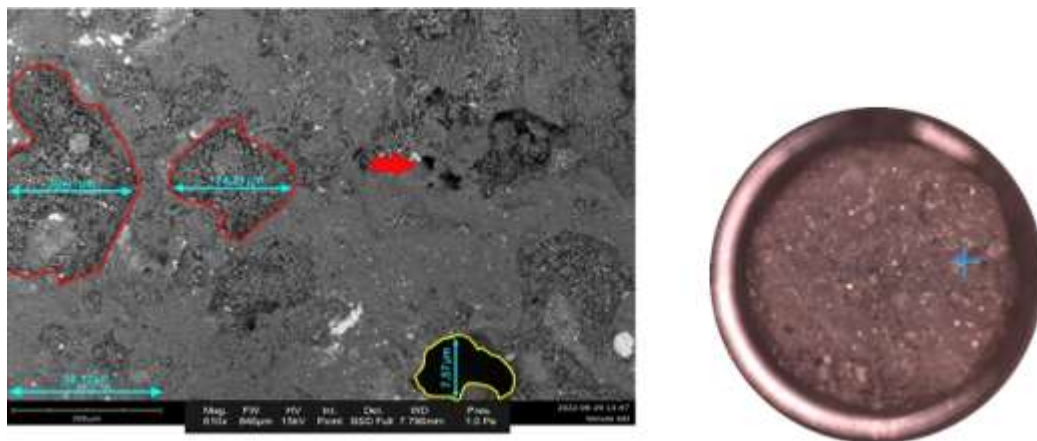
Gambar 7. Hasil SEM pada lokasi 1 Mikrostruktur pembesaran 610x

Gambar 7 menunjukkan struktur morfologi pada permukaan lokasi 1 yang tidak merata, pada bagian yang ditandai dengan tanda berwarna merah berukuran 42,22 μm menunjukkan bahwa permukaan spesimen yang tidak merata. Hal tersebut disebabkan oleh kurangnya tekanan pada saat kompaksi. Sedangkan pada area tanda berwarna kuning merupakan salah satu yang menunjukan area yang dominan berwarna abu-abu, area tersebut adalah persebaran unsur alumunium.



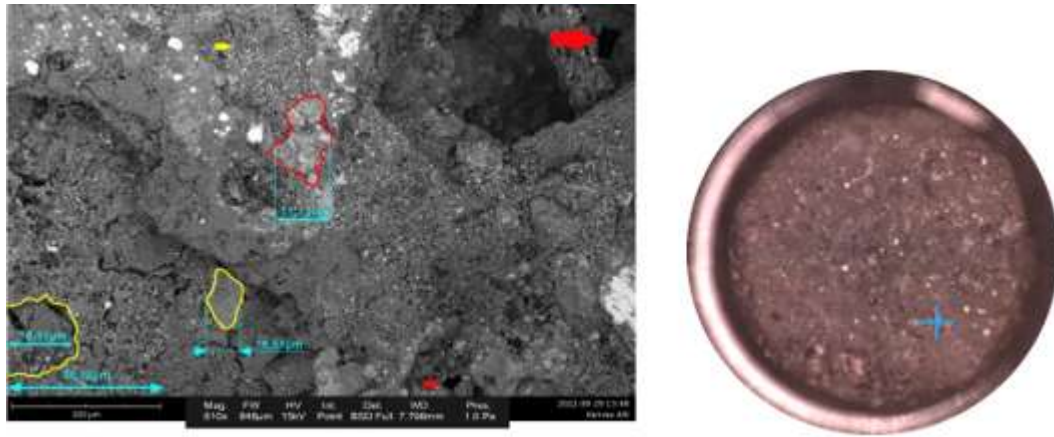
Gambar 8. Hasil SEM pada lokasi 2 Mikrostruktur pembesaran 610x

Gambar 8 menunjukkan stuktur morfologi pada permukaan spesimen yang kurang merata, permukaan yang kurang merata tersebut dikarenakan kurangnya maksimalnya pada saat proses *mixing* dan kompaksi, kurang maksimalnya proses *mixing* dan kompaksi dapat berpengaruh pada tingkat keausan. Pada tanda berwarna kuning berukuran 13,65 μm dan 5,42 μm menunjukkan persebaran dari unsur partikel Fe. Dan pada anak panah berwarna merah menunjukkan area yang berwarna dominan gelap, daerah tersebut adalah area unsur C.



Gambar 9. Hasil SEM pada lokasi 3 Mikrostruktur pembesaran 610x

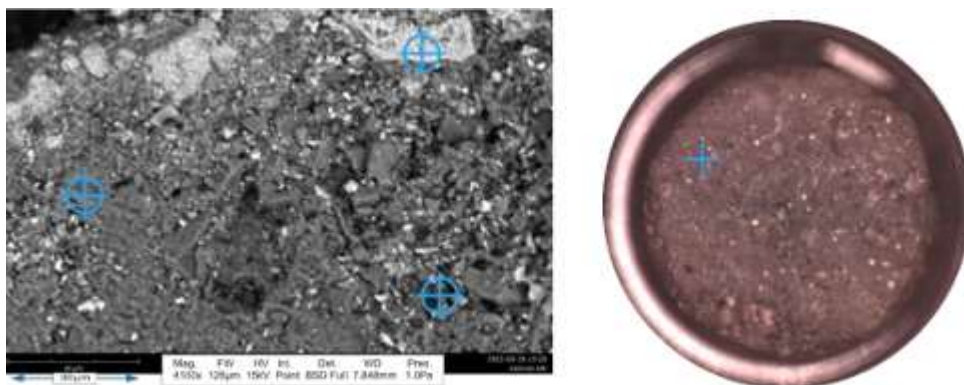
Gambar 9 menunjukkan struktur morfologi pada permukaan spesimen yang kurang merata, pada area tanda berwarna merah terdapat retakan berukuran 36,01 μm dan 24,21 μm . Retakan terbentuk karena pada saat kompaksi tekanan terlalu rendah, semakin tinggi penekanan saat kompaksi maka tingkat kerapatan antar partikel akan semakin baik. Kurangnya kompaksi juga terlihat pada gambar diatas tanda berwarna kuning berukuran 7,57 μm merupakan lubang yang disebabkan dari kurangnya kompaksi tersebut. Dan anak panah berwarna merah menunjukan indikasi dari karbon.



Gambar 10. Hasil SEM pada lokasi 4 Mikrostruktur pembesaran 610x

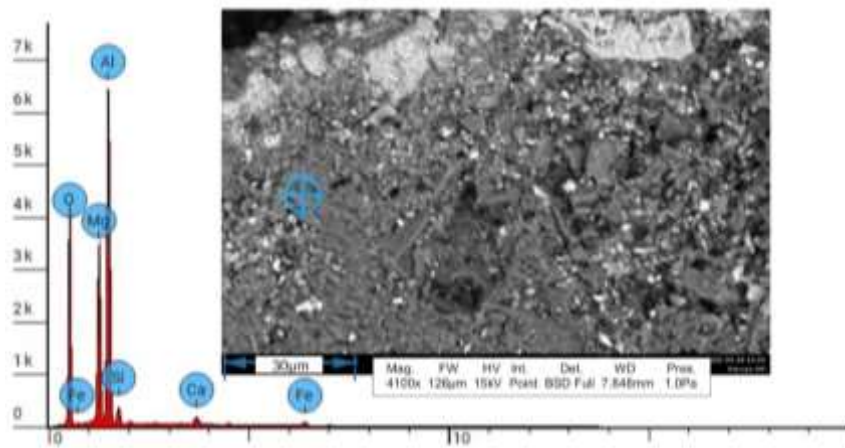
Gambar 10 menunjukkan struktur morfologi pada permukaan spesimen yang sangat tidak rata, permukaan yang tidak merata tersebut dapat berpengaruh terhadap keausan pada spesimen. Pengaruh lubang diakibatkan dari adanya tekanan yang memaksa material untuk mengisi ruang kosong antar partikel sehingga akan mengurangi jarak antara partikel dan berakibat semakin tinggi tingkat kerapatannya. Anak panah berwarna kuning menunjukkan area penyebaran partikel yang merata. Anak panah merah menunjukkan area yang terindikasi dari unsur karbon. Tanda merah berukuran 11,17 μm menunjukkan area yang mempunyai kandungan Mg dan Si, sedangkan area tanda kuning berukuran 16,51 μm dan 5,85 menunjukkan area yang mempunyai kandungan Al.

Analisa fasa yang terjadi pada hasil spesimen dengan perlakuan panas 750°C berdasarkan hasil SEM EDX pada lokasi 1 dapat dilihat pada gambar 11 sampai gambar 14 dan lokasi 2 dapat dilihat pada gambar 15 sampai 18.



Gambar 11. Lokasi 1 SEM-EDX dengan pembesaran 4100x

Gambar 11 menunjukkan lokasi permukaan spesimen yang akan dilakukan SEM-EDX pada bagian kiri atas. Pada lokasi ini terdapat 3 spot yang telah ditandai pada gambar di atas. 3 lokasi tersebut mempunyai warna yang berbeda sehingga memiliki komposisi yang berbeda pula. Proses SEM EDX dilakukan dengan pembesaran 4100x.

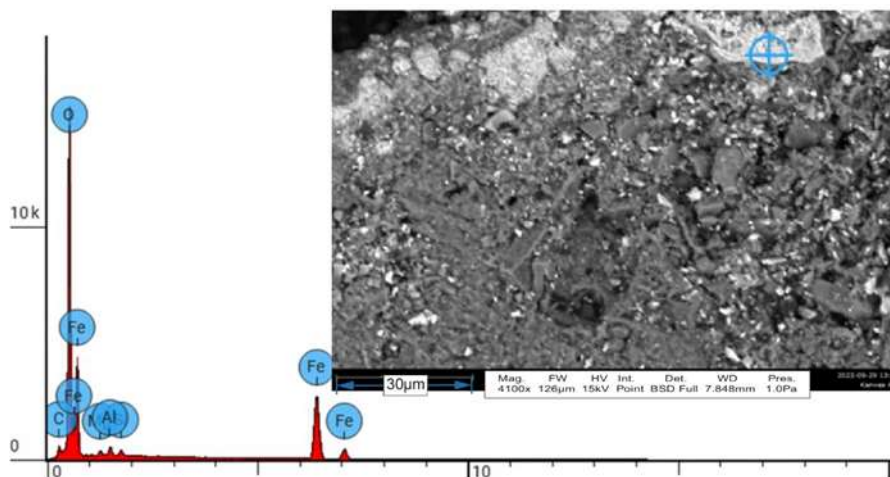


Gambar 12. Hasil SEM-EDX pada Spot 1 Lokasi 1 dengan pembesaran 4100x

Tabel 2. Hasil SEM-EDX pada Spot 1 Lokasi 1 dengan pembesaran 4100x

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
8	O	Oxygen	44.506	32.032
12	Mg	Magnesium	12.902	14.114
13	Al	Aluminum	38.450	46.647
14	Si	Silicon	1.901	2.402
20	Ca	Calcium	1.166	2.102
26	Fe	Iron	1.076	2.703

Gambar 12 menunjukkan hasil SEM-EDX pada permukaan lokasi yang berwarna abu-abu gelap. Dilihat pada spot lokasi tersebut mempunyai kandungan unsur komposisi yang cukup lengkap, dibuktikan dengan tabel 2 dimana Al mendominasi dengan 46,64%, Mg 14,11% Si 2,4%, Fe 2,7% dan Ca 2,1%.

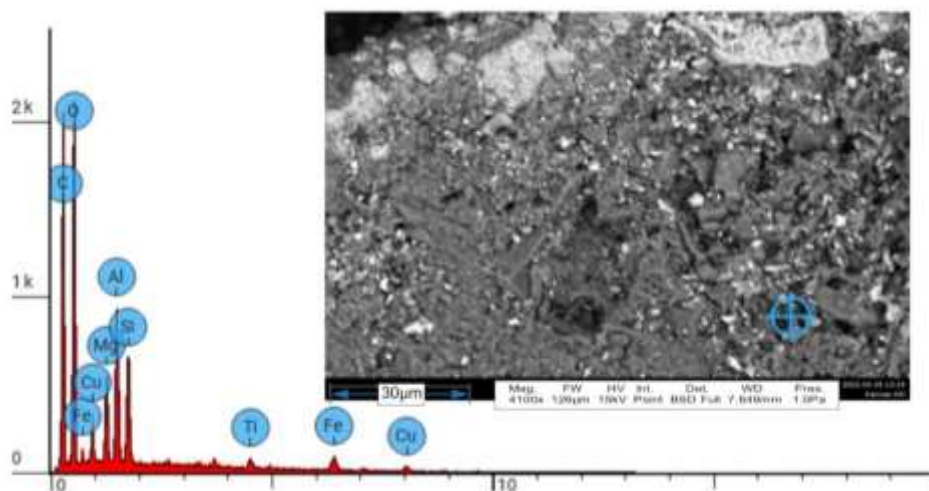


Gambar 13. Hasil SEM-EDX pada Spot 2 Lokasi 1 dengan pembesaran 4100x

Tabel 3. Hasil SEM-EDX pada Spot 2 Lokasi 1 dengan pembesaran 4100x

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
6	C	Carbon	4.193	1.600
8	O	Oxygen	54.292	27.600
12	Mg	Magnesium	0.776	0.600
13	Al	Aluminum	1.634	1.400
14	Si	Silicon	0.672	0.600
26	Fe	Iron	38.433	68.200

Gambar 13 menunjukkan hasil SEM-EDX pada lokasi permukaan yang berwarna putih abu-abu. Pada spot lokasi tersebut memiliki kandungan Fe yang tinggi dengan 68,2%. Kandungan lainnya yang terdapat pada lokasi tersebut adalah C 1,6% Mg 0,6% Al 1,4%.

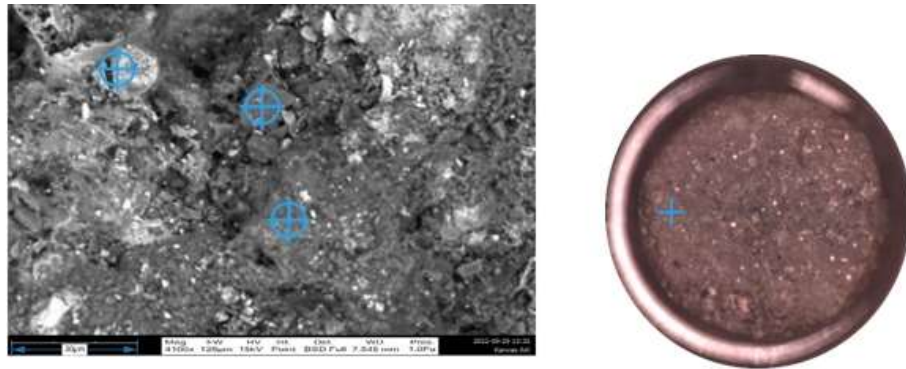


Gambar 14. Hasil SEM-EDX pada Spot 3 Lokasi 1 dengan pembesaran 4100x

Tabel 4. Hasil SEM-EDX pada Spot 3 Lokasi 1 dengan pembesaran 4100x

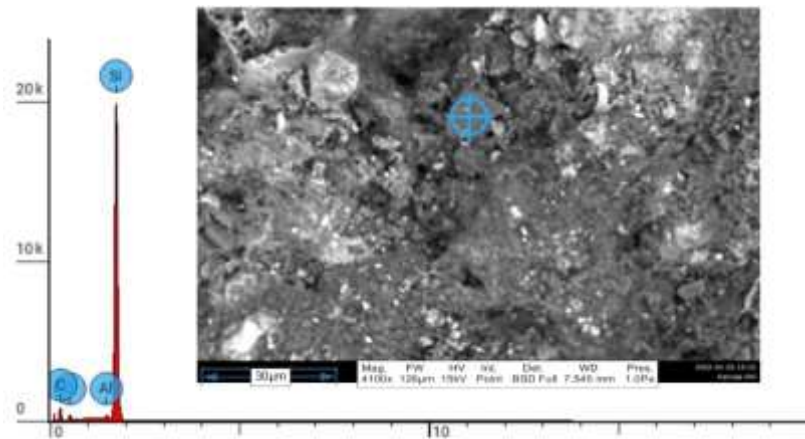
Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
6	C	Carbon	54.689	41.441
8	O	Oxygen	33.515	33.834
12	Mg	Magnesium	2.022	3.103
13	Al	Aluminum	4.824	8.208
14	Si	Silicon	2.429	4.304
22	Ti	Titanium	0.397	1.201
26	Fe	Iron	1.250	4.404
29	Cu	Copper	0.874	3.504

Gambar 14 menunjukkan hasil SEM-EDX pada permukaan lokasi yang berwarna abu-abu gelap. Pada lokasi tersebut menunjukkan kandungan spesimen yang lengkap, dengan didominasi dengan unsur karbon. Pada tabel 4 ditunjukkan komposisi konsentrasi C 41,44%, Al 8,2%, Si 4,3%, Fe 4,4%, Mg 3,1%, Ti 1,2% dan Cu 3,5%.



Gambar 15. Lokasi 2 SEM-EDX pembesaran 4100x

Gambar 15 menunjukkan lokasi permukaan spesimen yang akan dilakukan SEM-EDX pada bagian kiri atas. Pada lokasi ini terdapat 3 spot yang telah ditandai pada gambar 15. 3 lokasi tersebut mempunyai warna yang berbeda sehingga memiliki komposisi yang berbeda pula. Proses SEM EDX dilakukan dengan pembesaran 4100x.

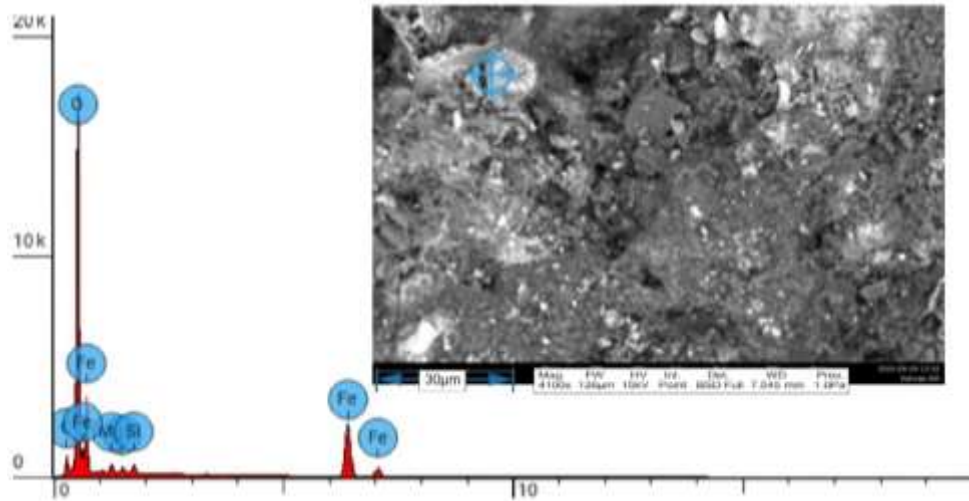


Gambar 16. Hasil SEM-EDX pada Spot 1 Lokasi 2 dengan pembesaran 4100x

Tabel 5. Hasil SEM-EDX pada Spot 1 Lokasi 2 dengan pembesaran 4100x

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
6	C	Carbon	53.515	33.966
8	O	Oxygen	4.608	3.896
13	Al	Aluminum	0.491	0.699
14	Si	Silicon	41.387	61.439

Gambar 16 menunjukkan hasil SEM-EDX pada lokasi yang berwarna abu-abu gelap. Pada lokasi spot tersebut memiliki kandungan unsur tertinggi yaitu Si 61,43%. Pada lokasi spot tersebut hanya terdapat beberapa unsur konsentrasi saja, Si 61,43%, Al 0,6% dan C 33,96%.

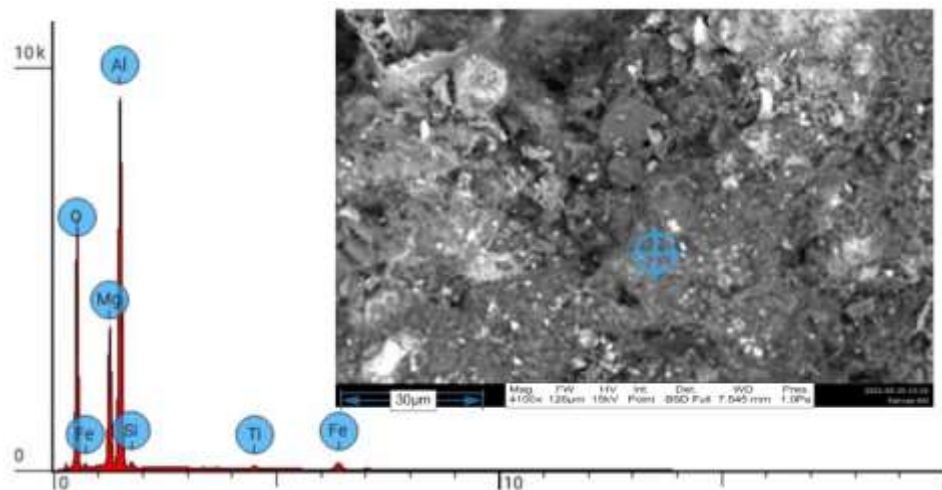


Gambar 17. Hasil SEM-EDX pada Spot 2 Lokasi 2 dengan pembesaran 4100x

Tabel 6. Hasil SEM-EDX pada Spot 2 Lokasi 2 dengan pembesaran 4100x

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
6	C	Carbon	7.844	3.500
8	O	Oxygen	61.400	36.500
12	Mg	Magnesium	1.328	1.200
13	Al	Aluminum	1.098	1.100
14	Si	Silicon	1.054	1.100
26	Fe	Iron	27.277	56.600

Gambar 17 menunjukkan hasil SEM-EDX pada lokasi yang berwarna putih abu-abu. Pada spot lokasi tersebut terdapat kandungan unsur yang lengkap seperti yang di tunjukan pada tabel 6. Pada tabel 6 didominasi dengan Fe sebesar 56,6%, dan kandungan unsur lainnya seperti C 3,5%, Mg 1,2%, Al 1,1% dan Si 1,1%.



Gambar 18. Hasil SEM-EDX pada Spot 3 Lokasi 2 dengan pembesaran 4100x

Tabel 7. Hasil SEM-EDX pada Spot 3 Lokasi 2 dengan pembesaran 4100x

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
8	O	Oxygen	45.683	32.600
12	Mg	Magnesium	10.233	11.100
13	Al	Aluminum	40.736	49.000
14	Si	Silicon	0.718	0.900
22	Ti	Titanium	0.421	0.900
26	Fe	Iron	2.208	5.500

Gambar 18 menunjukkan hasil SEM-EDX pada lokasi yang berwarna abu-abu. Pada area lokasi spot tersebut terdapat kandungan unsur komposisi yang dapat dilihat pada tabel 7. Dengan kandungan unsur Al 49%, Mg 11,1%, Fe 5,5%, Si 0,9%, dan Ti 0,9%.

Tabel 8. Tabel Unsur-unsur terbesar dari setiap tabelnya.

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
13	Al	Aluminum	38.450	46.647
26	Fe	Iron	38.433	68.200
6	C	Carbon	54.689	41.441
6	C	Carbon	53.515	33.966
14	Si	Silicon	41.387	61.439
26	Fe	Iron	27.277	56.600
13	Al	Aluminum	40.736	49.000

3.1.2 Pengujian Keausan (*Wear Test*)

Pengujian keausan menggunakan standar pengujian ASTM G 99-04 dan menggunakan metode *Ogoshi*. Hasil dari pengujian keausan ini didapatkan data yang terdapat pada tabel 9.

Tabel 9. Hasil Pengujian Keausan

No	Nilai b_0 (mm)	B (mm)	r (mm)	P_0 (kg)	l_0 (m)	Keausan Spesifik(W_s) (mm ² /Kg)
1.	1,3978	3	13,12	2,12	66,6	5,52885E-07

Berdasarkan tabel 8 didapatkan nilai keausan spesifik sebesar 5,52885E-07. Nilai ini didapat dengan beberapa indikator pada saat pengujian yaitu nilai lebar keausan pada benda uji (b_0) adalah 1,3978 mm, lebar piringan pengaus (b) 3 mm, jari-jari piringan pengaus (r) 13,12 mm, gaya tekanan pada proses keausan (p_0) sebesar 2,12 kg, dan jarak tempuh proses pengausan (l_0) sebesar 66,6 m. Semakin keras spesimen maka spesimen tersebut memiliki ketahanan aus yang baik.

3.2 Pembahasan

Pada penelitian membahas tentang karakteristik material kampas rem kereta api menggunakan bahan aluminium dengan komposisi unsur Al 34%, Fe 23%, Mg 18% C 20%, dan Si 5% ini ditujukan untuk mengetahui karakteristik spesimen yang telah dibuat sesuai dengan standar sebagai kampas rem kereta api. Penelitian ini dilakukan dengan menganalisa sifat mekanik yaitu keausan serta struktur mikro sebagai efek dari tekan kompaksi dan temperature *sintering*. Data yang diperoleh dari penelitian akan dibandingkan dengan Standar Nasional Indonesia (SNI).

Hasil dari proses kompaksi dengan tekanan 20 KN dilakukan secara bertahap dengan setiap 2,5 KN ditahan selama 1 menit sampai tekanan mencapai 20 KN ditahan selama 15 menit. Hasil spesimen masih terlalu lunak, sehingga spesimen perlu dilakukan proses *sintering* agar spesimen mempunyai tingkat kekerasan yang lebih baik dan didapatkan hasil proses *sintering* ditunjukkan pada gambar 4.

Setelah sampel spesimen jadi, maka dilakukan pengujian pertama yaitu SEM-EDX dengan hasil foto mikro dapat dilihat pada gambar 7 sampai gambar 10. Hasilnya kurang maksimal. Masih banyak terlihat adanya ruang kosong pada permukaan sampel spesimen. Hal ini disebabkan karena tekanan pada saat kompaksi kecil, karena semakin besar tekanan yang diberikan maka semakin berkurang jumlah ruang kosong. Untuk persebaran komposisi dari setiap unsur jika dilihat dari foto mikro ini masih terlihat adanya persebaran yang kurang baik. Sedangkan hasil EDX dapat dilihat pada gambar 11 - 18 serta tabel 2 - 7. Pada semua spot yang ditunjukkan, daerah berwarna abu-abu terlihat cenderung dominan dengan unsur Al dan Mg, sedangkan dengan daerah berwarna putih abu-abu dengan unsur Fe dan Si, serta daerah yang berwarna hitam atau gelap dominan dengan unsur C. Dilihat dari tabel pada semua spot, belum adanya hasil komposisi dari salah satu spot yang memiliki

komposisi unsur lengkap. Hal ini disebabkan pencampuran atau *mixing* yang kurang maksimal. Tetapi secara keseluruhan komposisi dari setiap unsur sudah terdistribusi dengan baik.

Sifat mekanik pada penelitian ini dilakukan dengan pengujian keausan dengan hasil harga keausan pada spesimen ini adalah $5,52 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{Kg}$ yang dimana standar dari harga keausan pada Standar Nasional Indonesia (SNI) adalah $5 \times 10^{-4} \text{ mm}^2/\text{Kg}$ - $4 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{Kg}$. Maka spesimen ini masih terpaut 1×10^{-2} (Ihsan et al., 2022).

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian, analisa data, dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengujian struktur mikro SEM (*Scanning Electron Microscopy*) terdapat lubang-lubang pada permukaan spesimen, dan sebaran matriks yang tidak merata.
2. Berdasarkan hasil nilai pengujian keausan yang didapat $5,49 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{Kg}$ dimana hasil tersebut masih dibawah dari syarat nilai keausan pada Standar Nasional Indonesia (SNI) yaitu sebesar $5 \times 10^{-4} \text{ mm}^2/\text{Kg}$ sampai $4 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{Kg}$.

4.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, terdapat beberapa saran yang dapat digunakan untuk mengembangkan penelitian ini, antara lain:

1. Perlu diperhatikan lagi pada saat pemilihan bahan untuk kampas rem komposit ini kedepannya lebih baik lagi.
2. Pada penelitian ini pengujian yang dilakukan yaitu pengujian SEM dan pengujian keausan, untuk kedepannya perlu dilakukan pengujian yang lain seperti pengujian koefisien gesek, uji ketahanan dan perlu adanya pengujian spesifikasi pada skala lapangan, untuk memproduksi kampas rem komposit secara masal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A., & Mohammed, A. (2019). Scanning Electron Microscopy (SEM): A Review Scanning Electron Microscopy (SEM): A Review. International Conference on Hydraulics and Pneumatics, January, 1–9.
- ASTM. (2000). Standard Test Method for Wear Testing with a Pin)n Disk Apparatus.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2017). Materials Science and Engineering (10th ed.).
- Caprino, J. C., & Macander, R. F. (1987). Silicone Rubber.
- Chawla, N., & Chawla, K. K. (2006). Metal-matrix composites in ground transportation. Jom, 58(11), 67–70. <https://doi.org/10.1007/s11837-006-0231-5>
- Chung, D. D. L. (2009). Composite Material Science and Applications (2nd ed.).

- Darmawan, A. S., Purboputro, P. I., & Febriantoko, B. W. (2020). The effect of composition on hardness and wear resistance of rice plant fiber reinforced composite as a material of brake lining. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 771(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/771/1/012069>
- Ipung Kurniawan, A. . B. (2011). Karakterisasi Blok Rem Kereta Api Berbahan AlSiC Berdasarkan Komposisi Material. *Gema Maritim*, 35(3), 337–344.
- Li, W., Chen, H., Zuo, L., Chen, J., Xu, D., He, J., Li, C., Peng, Z., Ren, Y., & Zhang, S. (2020). Thermomechanical Fatigue Behavior of Spray-Deposited SiCp/AlSi Composite Applied in the High-Speed Railway Brake Disc. *International Jurnal Of Photoenergy*, 2020, 11. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2020/6150794>
- Nayiroh, N. (n.d.). *Teknologi Material Komposit*.
- Obidiegwu E, Mgbemere H, Ochulor E, & Ajayi P. (2021). Characterization of train brake-blocks composite reinforced with aluminum-dross. *Nigerian Journal of Technology*, (2021), 1123-1130, 39(4)
- P.Groover, M. (2010). *Fundamentals Of Modern Manufacturing Materials, Processes, and Systems* (4th ed.).
- SAE. (2013). *Composite Material Handbook*.
- Suwarno, S., Djanali, V., Mubarak, F., & Pramujati, B. (2020). Effects of Oil Palm Empty Fruit Bunch and Magnesium Oxide Volume Fraction on Mechanical Characteristics of Railway Brake Block Composite Material. *Scientific.Net*, 867, 9197. <https://doi.org/https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.867.91>
- Tjahjanti, P. H. (2018). *Buku Ajar Teori Dan Aplikasi Material Komposit Dan Polimer*. *Buku Ajar Teori Dan Aplikasi Material Komposit Dan Polimer*. <https://doi.org/10.21070/2019/978-602-5914-27-0>
- Upadhyaya, G. S. (2002). *Powder Metallurgy Technology*.
- Widodo, E., Sumarno, A., Penelitian Biomaterial LIPI Jl Raya Bogor Km, P., & Kab Bogor, C. (2016). Pembuatan Blok Rem Komposit Sebagai Pengganti Blok Rem Konvensional Pada Moda Transportasi Kereta Api Indonesia. *Rekayasa Sipil*, 5(1), 29–34.
- William D. Callister, J., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials Science And Engineering*.
- Zhang, P., Kuakdk, & Jasfdjas. (2019). A high-performance copper-based brake pad for high-speed railway trains and its surface substance evolution and wear mechanism at high temperature. *Wear*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.203182>