



Analisis Performa Kampas Rem Rekayasa Ramah Lingkungan: Peran Phenol Formaldehyde dan Aditif Biokomposit

Ahmad Bustomi¹, Hamid Ramadhan Nur^{2*}, Rouf Muhammad³, Mochamad Nuruz Zaman⁴

¹Prodi D3 Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta

^{2,3}Prodi D3 Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta PSDKU Demak

⁴Prodi D4 MICE Kampus Demak, Politeknik Negeri Jakarta PSDKU Demak

^{2*}hamid.ramadhannur@mesin.pnj.ac.id

Abstract

The issue of environmental damage is increasingly becoming a concern of the global community, including in the automotive industry. The use of environmentally friendly materials and the reduction of dependence on mineral-based or synthetic materials have become challenges that need to be overcome. Brake pads, as one of the components that have a vital role in a motor vehicle, are generally made of heavy metal materials, asbestos, and synthetic resins that can pollute the environment during the production process. The use of environmentally friendly raw materials such as wood powder, cocopeat and coconut shell carbon is an alternative in the brake pad production process. This study aims to analyze the performance of brake pads made of phenol formaldehyde with the addition of environmentally friendly biocomposites in the form of wood powder, cocopeat and coconut shell carbon. The method used is an experimental laboratory designed to evaluate the friction coefficient, wear rate, and microstructure of materials through Scanning Electron Microscopy (SEM). The results of the study show that this biocomposite brake pad has good wear resistance at high temperatures, especially with the carbon content of coconut shells which helps improve thermal stability. However, the value of the friction coefficient of brake pads still does not meet the minimum standard set by the Indonesian National Standard (SNI) 09-0143-1987, which indicates that this material is not yet fully feasible for automotive applications with high friction demands. Further research is needed to optimize the composition of materials, especially in increasing the friction coefficient to match industry standards.

Keywords: performance analysis, brake pads, phenol formaldehyde, biocomposite additives, scanning electron microscopy

Abstrak

Isu kerusakan lingkungan semakin menjadi perhatian masyarakat global, termasuk dalam industri otomotif. Pemanfaatan material ramah lingkungan dan pengurangan ketergantungan bahan berbasis mineral atau sintetik telah menjadi tantangan yang perlu diatasi. Kampas rem, sebagai salah satu komponen yang mempunyai peran vital di dalam sebuah kendaraan bermotor, umumnya terbuat dari material logam berat, asbes, dan resin sintetik yang dapat mencemari lingkungan selama proses produksi. Penggunaan bahan baku ramah lingkungan seperti serbuk kayu, *cocopeat* dan karbon tempurung kelapa menjadi alternatif dalam proses produksi kampas rem. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa kampas rem berbahan *phenol formaldehyde* dengan tambahan biokomposit ramah lingkungan berupa serbuk kayu, *cocopeat* dan karbon tempurung kelapa. Metode yang digunakan adalah experimental laboratorium dirancang untuk mengevaluasi koefisien gesek, laju aus, dan struktur mikro material melalui Scanning Electron Microscopy (SEM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kampas rem berbahan biokomposit ini memiliki ketahanan aus yang baik pada suhu tinggi, terutama dengan adanya kandungan karbon tempurung kelapa yang membantu meningkatkan stabilitas termal. Meskipun demikian, nilai koefisien gesek kampas rem ini masih belum memenuhi standar minimum yang ditetapkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI) 09-0143-1987, yang mengindikasikan bahwa material ini belum sepenuhnya layak untuk aplikasi otomotif dengan tuntutan gesekan tinggi. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengoptimalkan komposisi material, terutama dalam meningkatkan koefisien gesek agar sesuai dengan standar industri

Kata kunci: analisis performa, kampas rem, *phenol formaldehyde*, aditif biokomposit, *scanning electron microscopy*

1. Pendahuluan

Seiring dengan meningkatnya kesadaran masyarakat global terhadap isu-isu lingkungan, industri diseluruh

dunia termasuk industri yang bergerak di bidang otomotif menghadapi tekanan untuk mengadopsi praktik yang lebih berkelanjutan dalam produksi dan

penggunaan material [1]. Kampas rem, sebagai salah satu komponen vital dalam sistem pengereman kendaraan, harus memiliki koefisien gesekan yang stabil dan ketahanan aus yang baik selama pengereman [2]. Material kampas rem sering kali menggunakan bahan logam berat dan resin sintesis yang berpotensi merusak lingkungan. Penggunaan material tradisional ini tidak hanya berisiko mencemari ekosistem melalui residu sisa gesekan, tetapi juga meningkatkan jejak karbon dalam proses produksinya.

Permasalahan ini menimbulkan tantangan signifikan bagi para peneliti dan praktisi untuk menemukan material alternatif yang dapat mempertahankan performa mekanis tinggi sambil mengurangi dampak lingkungan. Resin *phenol formaldehyde*, yang sering digunakan sebagai pengikat pada kampas rem, dikenal memiliki sifat termal dan mekanis yang unggul, namun kekurangannya terletak pada sifatnya yang *non-biodegradable* dan berkontribusi tinggi terhadap pencemaran lingkungan [3]. Di sisi lain, aditif biokomposit berbasis serat alami seperti serat kayu, serat kelapa, dan karbon tempurung kelapa, mulai mendapat perhatian karena sifatnya yang dapat diperbarui, ringan, serta memiliki potensi biodegradasi yang lebih baik. Penelitian-penelitian sebelumnya menjelaskan secara terpisah terkait karakteristik dari material biokomposit tersebut seperti dapat meningkatkan koefisien gesek, densitas, dan kekerasan [4,5]. Sehingga penelitian terkait kombinasi antara *phenol formaldehyde* dan aditif biokomposit masih terbatas, khususnya dalam konteks formulasi material kampas rem yang optimal. Hal ini membuka ruang untuk mengeksplorasi sinergi antara kekuatan resin sintesis dengan kelayakan aditif biokomposit, di mana penelitian ini dapat menawarkan pendekatan baru dalam menciptakan kampas rem yang memiliki koefisien gesek stabil, ketahanan aus yang baik, serta pengurangan emisi kimia berbahaya. Dengan demikian, upaya ini diharapkan mampu memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan material berkelanjutan di industri otomotif dan menjembatani kesenjangan antara efisiensi performa dan kelestarian lingkungan.

Penggunaan berbagai material biokomposit dalam pembuatan kampas rem telah menyoroti beragam manfaat dan karakteristik unik yang dapat ditawarkan oleh masing-masing bahan. Misalnya, serbuk gergaji kayu memiliki keunggulan berupa biaya produksi yang rendah, pengurangan bobot, dan performa rem yang baik, dengan variasi ukuran partikel mempengaruhi kekuatan, kekerasan, dan ketahanan aus material [4,6]. Partikel serbuk kayu berukuran 100 μm memiliki karakteristik yang mampu menggantikan asbes dalam pembuatan kampas rem, karena memberikan performa rem yang unggul. Penambahan serbuk kayu dalam campuran kampas rem dapat meningkatkan kekerasan material kampas rem. Hasil

penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa komposit dengan serbuk kayu berukuran 100 μm memiliki ketahanan aus yang lebih baik dibandingkan dengan komposit ukuran 150 – 300 μm [7].

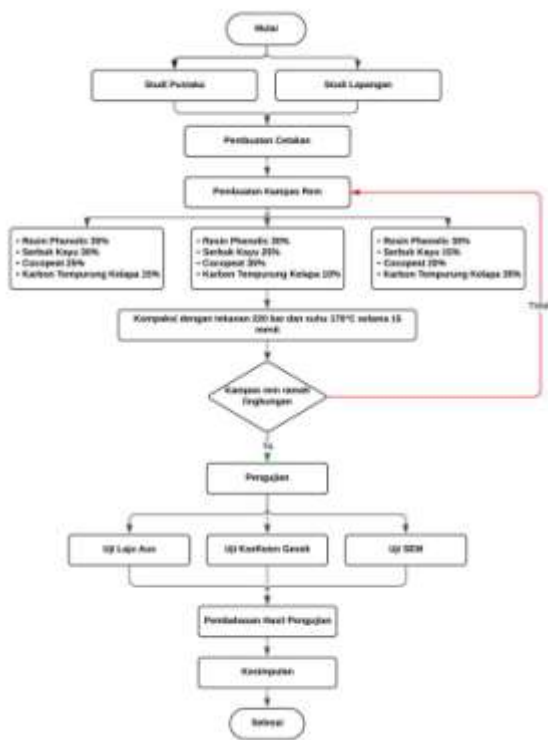
Selain serbuk kayu, *cocopeat* atau serbuk sabut kelapa matang menyediakan serat sabut coklat yang terkenal karena ketahanannya terhadap abrasi [8]. Berbeda dengan serat sabut putih dari kelapa muda yang lebih lembut, serat sabut coklat lebih kuat dan mampu digunakan sebagai matriks serta pengisi dalam kampas rem. Kendati demikian, meski kekerasan komposit berbahan serat kelapa lebih rendah dibandingkan kampas rem konvensional, tingkat keausan dan koefisien geseknya sebanding, menunjukkan potensi penggunaannya dalam aplikasi material gesekan [9].

Lebih jauh, karbon yang dihasilkan dari serbuk arang tempurung kelapa juga dapat menggantikan grafit atau serbuk batubara dalam komposisi material rem. Penelitian yang sudah ada menunjukkan bahwa tempurung kelapa memberikan keuntungan dalam hal kekerasan material dan pengurangan kebisingan serta getaran saat digunakan [6,10]. Karakteristik modulus tarik dan kekuatan tarik komposit pun meningkat dengan proporsi karbon yang lebih besar, pada suhu 200°C, komposit berbahan karbon tempurung kelapa menunjukkan porositas terendah sebesar 4.53%, sedangkan porositas tertinggi sebesar 35.74% dicapai pada suhu 400°C [10].

Dengan mempertimbangkan semua material biokomposit ini, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi laju keausan dan koefisien gesek kampas rem yang difabrikasi menggunakan *phenol formaldehyde* dan aditif biokomposit. Hasil dari studi ini diharapkan menghasilkan komposisi optimal yang ramah lingkungan dan dapat berkontribusi dalam inovasi material hijau serta pengembangan aplikasinya di industri.

2. Metode Penelitian

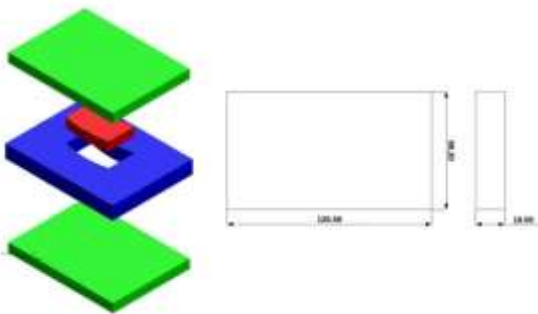
Metode penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental laboratorium yang dirancang untuk mengevaluasi laju aus dan koefisien gesek kampas rem yang difabrikasi dengan *phenol formaldehyde* dan aditif biokomposit. Secara garis besar diagram alir proses pembuatan kampas rem ramah lingkungan di tunjukkan pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Proses Pembuatan Kampas Rem Ramah Lingkungan

2.1. Pembuatan Cetakan

Proses pembuatan cetakan dimulai dengan mendesain cetakan sesuai dengan spesifikasi dan melibatkan perangkat lunak *SolidWorks* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 dibawah ini.

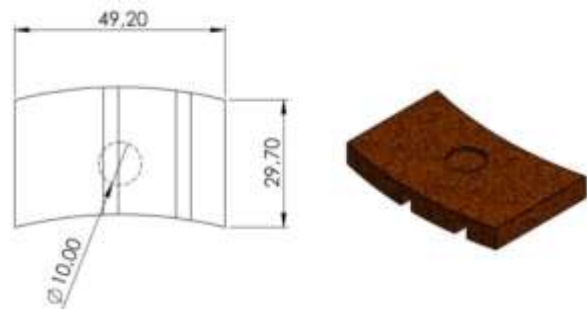


Gambar 2. Desain Cetakan

Setelah mendapatkan desain cetakan selanjutnya adalah pemilihan material cetakan yang akan digunakan, material yang digunakan adalah baja perkakas AISI H13 dengan panjang 120.00 mm, lebar 88.30 mm dan ketebalan 10.00 mm. Dudukan cetakan kampas rem menggunakan material baja paduan AISI SAE 4140 yang memiliki kekuatan yang tinggi, stabilitas dimensi yang baik pada suhu tinggi selama proses pencetakan.

2.2. Pembuatan Kampas Rem

Dimensi dari kampas rem yang di fabrikasi dengan biokomposit adalah panjang 49.20 mm lebar 29.70 mm dan ketebalan 10 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 Selanjutnya proses pembuatan kampas rem dimulai dengan menghaluskan bahan seperti serbuk kayu, serat sabut kelapa (*cocopeat*), karbon tempurung kelapa dan *phenol formaldehyde*.



Gambar 3. Desain Kampas Rem

Kehalusan (*mesh*) dalam proses fabrikasi kampas rem merupakan hal yang penting, tingkat kehalusan ini akan berdampak pada karakteristik kampas rem yang dibuat. Penggunaan *mesh* 100 pada karbon tempurung kelapa bertujuan untuk meningkatkan densitas dari sampel kampas rem, semakin halus partikel yang digunakan maka akan semakin tinggi nilai densitasnya. Sedangkan penggunaan *mesh* 50 pada serat sabut kelapa bertujuan untuk menghasilkan koefisien gesek yang optimal. Penggunaan *mesh* 40 pada serbuk kayu bertujuan untuk memperoleh koefisien gesek dan kekerasan material yang baik, sedangkan untuk *phenol formaldehyde* menggunakan *mesh* 100.

Setelah proses penghalusan bahan biokomposit, selanjutnya dilakukan pencampuran (*mixing*) sesuai dengan komposisi seperti Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Komposisi Sampel

Komposisi	PF (%)	SK (%)	CP (%)	TK (%)
Sampel A	30	30	25	15
Sampel B	30	25	35	10
Sampel C	30	15	40	15

Keterangan:

PF : *Phenol formaldehyde*

SK : Serbuk kayu

CP : *Cocopeat*

TK : Karbon tempurung kelapa

2.3. Proses Kompaksi

Material yang telah melalui proses penghalusan dan pencampuran selanjutnya dilakukan proses kompaksi menggunakan mesin *hydraulic hot press* seperti pada Gambar 4 dengan tekanan 220 bar dan suhu 170°C selama 15 menit. Pengaturan suhu dan tekanan ini di pilih karena partikel *phenol formaldehyde* pada kondisi ini akan berdifusi dan mendorong distribusi partikel yang merata dalam matriks resin *phenol*

formaldehide sehingga dapat mengisi pori-pori untuk mengurangi porositas dan meningkatkan kekerasan permukaan [11,12].



Gambar 4. Mesin Hydraulic Hot Press

Sampel kampas rem ramah lingkungan yang didapatkan dari proses kampas rem dapat dilihat pada Gambar 5 mempunyai dimensi sesuai dengan cetakan yang sudah dibuat dan kampas rem komersial yang ada di pasaran, kampas rem ini mempunyai ukuran Panjang 49.2 mm, lebar 29.70 mm dan lebar 5 mm



Gambar 5. Sampel Kampas Rem

2.4. Pengujian Bahan

Pengujian sampel dilakukan sesuai dengan Standar Nasional Indonesia 09-0143-1987 mengenai pengujian kampas rem kendaraan bermotor (klasifikasi, dimensi dan koefisien gesek). Pengujian ini dilakukan di Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T), Bandung, Jawa Barat. Klasifikasi dan toleransi dari koefisien gesek dan laju keausan menurut SNI 09-0143-1987 dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Tabel 2. Klasifikasi Menurut Penggunaan SNI 09-0143-1987

Klasifikasi	Penjelasan
Kelas 1A	Khusus kendaraan beban ringan (umumnya dipakai untuk rem tengah/centre brake kendaraan motor roda dua dan kendaraan bermotor)

Kelas 1B	Khusus kendaraan beban ringan (umumnya dipakai untuk rem parkir termasuk rem cakram kendaraan bermotor roda dua dan kendaraan bermotor roda tiga)
Kelas 2	Untuk kendaraan beban ringan (umumnya digunakan untuk kendaraan penumpang)
Kelas 3	Untuk kendaraan beban menengah (umumnya dipakai untuk kendaraan truk ringan)
Kelas 4	Untuk kendaraan beban berat (umumnya dipakai untuk kendaraan truk berat)
Kelas 5	Untuk kendaraan beban berat (umumnya dipakai untuk rem cakram)

Tabel 2 di atas menunjukkan klasifikasi kampas rem berdasarkan SNI 09-0143-1987, yang mengklasterkan kampas rem sesuai dengan jenis penggunaan dan beban maksimal yang diperbolehkan.

Tabel 3. Koefisien Gesek Menurut SNI 09-0143-1987

Klasifikasi	100°C	150°C	200°C	250°C	300°C	350°C
Kelas 1A	0.30-0.60	0.25-0.60	-	-	-	-
Kelas 1B	0.30-0.60	0.25-0.60	0.20-0.60	-	-	-
Kelas 2	0.30-0.60	0.25-0.60	0.20-0.60	-	-	-
Kelas 3	0.30-0.60	0.25-0.60	0.20-0.60	0.15-0.60	-	-
Kelas 4A	0.30-0.60	0.25-0.60	0.25-0.60	0.20-0.60	0.15-0.60	-
Kelas 4B	0.25-0.60	0.25-0.60	0.25-0.60	0.25-0.60	0.25-0.60	0.20-0.60

Tabel 3 menunjukkan kisaran koefisien gesek kampas rem berdasarkan SNI 09-0143-1987, dengan pengelompokan dalam beberapa kelas dan suhu operasi yang berbeda (100°C hingga 350°C). Koefisien gesek merupakan ukuran dari seberapa besar gaya gesek yang dihasilkan kampas rem ketika digunakan pada suhu tertentu, yang menunjukkan efektivitas pengereman pada berbagai suhu.

Tabel 4. Laju Aus menurut SNI 09-0143-1987

Klasifikasi	100°C	150°C	200°C	250°C	300°C	350°C
Kelas 1A	1.02	1.53	-	-	-	-
Kelas 1B	1.02	2.04	3.57	-	-	-
Kelas 2	0.51	0.51	1.02	-	-	-
Kelas 3	0.51	0.51	1.02	2.04	-	-
Kelas 4A	0.51	0.51	1.02	2.04	3.57	-
Kelas 4B	0.51	0.51	1.02	2.04	3.57	7.14

Tabel 4 menunjukkan nilai laju aus kampas rem menurut SNI 09-0143-1987, pada berbagai suhu operasi (100°C hingga 350°C) untuk tiap kelas. Laju aus diukur untuk mengetahui ketahanan material kampas rem terhadap keausan saat digunakan pada suhu tertentu. Semakin kecil angka laju aus, semakin tahan lama kampas rem tersebut.

Alat uji koefisien gesek dan laju aus seperti Gambar 6 bekerja dengan cara menekan material uji ke permukaan cakram yang berputar, untuk mensimulasikan kondisi pengereman. Selama pengujian, sensor pada alat mengukur gaya gesek

yang timbul antara material uji dan cakram, sehingga menghasilkan data koefisien gesek pada berbagai suhu.



Gambar 6. Alat Uji Koefisien Gesek dan Laju Aus

Selain itu, alat uji juga mencatat berapa banyak material yang hilang selama pengujian untuk menghitung laju aus. Hasilnya menunjukkan ketahanan kampas rem terhadap gesekan dan keausan pada suhu dan tekanan yang berbeda, yang berguna untuk mengevaluasi apakah kampas rem memenuhi standar performa yang diinginkan.

Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscopy*) pada kampas rem ramah lingkungan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 dilakukan untuk mengamati struktur mikro permukaan serta interaksi antar komponen.



Gambar 7. Pengujian SEM

Kampas rem dipotong dan dibersihkan untuk mendapatkan sampel yang representatif. Selanjutnya, sampel ditempatkan dalam ruang vakum SEM, di mana sinar elektron akan memindai permukaan material untuk menghasilkan citra beresolusi tinggi.

Analisis ini bertujuan untuk memeriksa distribusi dan pencampuran serbuk kayu, serat sabut kelapa, dan karbon tempurung kelapa dalam matriks *phenol formaldehyde*. Hasil pengujian berupa citra beresolusi tinggi dianalisis untuk mengidentifikasi struktur mikro, tekstur, serta adanya porositas atau retakan yang dapat memengaruhi kinerja kampas rem

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian terhadap kampas rem ramah lingkungan berbahan dasar serbuk kayu, serat sabut kelapa (*cocopeat*), karbon tempurung kelapa dan *phenol formaldehyde* akan disajikan berdasarkan hasil pengujian koefisien gesek, laju aus dan analisis struktur mikro melalui SEM.

3.1. Koefisien Gesek

Hasil pengujian koefisien gesek kampas rem ramah lingkungan berbahan dasar serbuk kayu, serat sabut kelapa (*cocopeat*), karbon tempurung kelapa dan *phenol formaldehyde* ditunjukkan pada Tabel 5 di bawah ini

Tabel 5. Hasil Uji Koefisien Gesek

Sampel	100°C	150°C
Sampel A	0.08	0.05
Sampel B	0.10	0.02
Sampel C	0.11	0.03

Komposisi dari sampel A, B dan C memiliki variabel tetap yaitu *phenol formaldehyde* sebesar 30%. Hasil pengujian pada sampel A menunjukkan nilai koefisien gesek sebesar 0.08 pada suhu 100°C dan 0.05 pada suhu 150°C. Sampel A dengan komposisi 30% serbuk kayu dan 25% *cocopeat* memberikan kontribusi kekasaran permukaan, sementara karbon tempurung kelapa yang hanya 15% menurunkan daya tahan terhadap suhu tinggi, yang berakibat penurunan koefisien gesek pada suhu 150°C.

Sampel B memiliki koefisien gesek lebih tinggi pada suhu 100°C yaitu 0.10, namun mengalami penurunan yang signifikan menjadi 0.02 pada suhu 150°C. komposisi *cocopeat* yang lebih tinggi (35%) cenderung meningkatkan kekasaran permukaan dan koefisien gesek pada suhu rendah, kandungan karbon yang lebih rendah (10%) dibandingkan sampel lainnya menurunkan stabilitas termal, menyebabkan penurunan drastis dalam koefisien gesek pada suhu tinggi.

Sampel C menunjukkan koefisien gesek tertinggi di antara ketiga sampel pada suhu 100°C yaitu 0.11 dan mengalami penurunan menjadi 0.03 pada suhu 150°C. Komposisi *cocopeat* sebesar 40% dan karbon tempurung kelapa 15% memberikan karakteristik gesekan yang kuat pada suhu rendah.

Hasil dari pengujian koefisien gesek yang masih di bawah standar, hal ini disebabkan oleh *phenol formaldehyde* yang terlalu banyak dan tidak

adanyanya bahan tambahan seperti logam atau metal yang dapat meningkatkan nilai koefisien gesek dari kampas rem [13].

3.2. Laju Aus

Hasil pengujian laju aus kampas rem ramah lingkungan berbahan dasar serbuk kayu, serat sabut kelapa (*cocopeat*), karbon tempurung kelapa dan *phenol formaldehyde* di tunjukkan pada Tabel. 6 di bawah ini

Tabel 6. Hasil Uji Laju Aus

Sampel	100°C	150°C
Sampel A	0.21	0.12
Sampel B	0.08	0.12
Sampel C	0.28	0.03

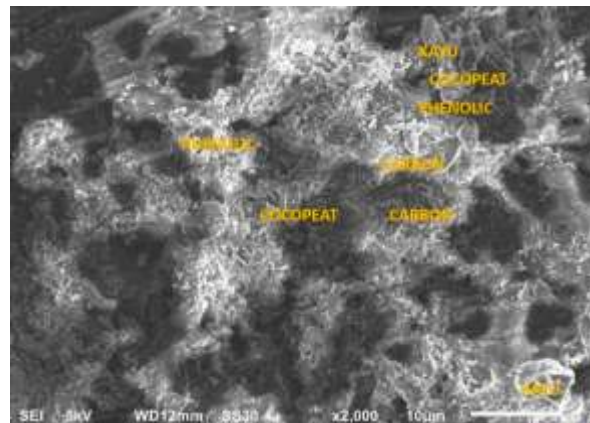
Pada suhu 100°C, Sampel A memiliki laju aus sebesar 0.21, yang menurun menjadi 0.12 pada suhu 150°C. Penurunan ini menunjukkan bahwa material cenderung menjadi lebih tahan aus pada suhu yang lebih tinggi. Salah satu kemungkinan penyebabnya adalah peningkatan stabilitas *phenol formaldehyde* pada suhu lebih tinggi, yang membantu memperkuat ikatan antar komponen. Serbuk kayu dan *cocopeat* yang cukup tinggi (masing-masing 30% dan 25%) menyebabkan material lebih cepat aus pada suhu rendah karena komponen organik ini kurang tahan terhadap abrasi dibandingkan karbon tempurung kelapa. Namun, saat suhu meningkat, resin berfungsi lebih baik sebagai pengikat, sehingga laju aus menurun.

Sampel B menunjukkan laju aus terendah pada suhu 100°C yaitu 0.08, tetapi meningkat menjadi 0.12 pada suhu 150°C. Pada suhu rendah, kandungan *cocopeat* yang tinggi (35%) tampaknya membantu memberikan kekuatan gesekan yang cukup tanpa terlalu banyak terkikis. Namun, pada suhu yang lebih tinggi, *cocopeat* lebih mudah mengalami degradasi termal, yang menyebabkan material menjadi kurang stabil dan lebih cepat terkikis [14], sehingga laju aus meningkat. Kandungan karbon yang hanya 10% tidak cukup untuk menahan struktur pada suhu tinggi, yang berkontribusi pada peningkatan keausan.

Sampel C memiliki laju aus yang cukup tinggi pada suhu 100°C yaitu 0.28, namun menurun tajam menjadi 0.03 pada suhu 150°C. Dengan komposisi *cocopeat* tertinggi (40%) dan karbon tempurung kelapa sebesar 15%, material ini memiliki ketahanan aus yang rendah pada suhu rendah, kemungkinan karena *cocopeat* mendominasi struktur permukaan dan kurang tahan abrasi pada suhu rendah. Akan tetapi, pada suhu yang lebih tinggi, resin *phenol formaldehyde* bekerja lebih efektif dalam memperkuat struktur keseluruhan, dan karbon tempurung kelapa yang lebih tinggi memberikan dukungan stabilitas termal yang baik, sehingga material menjadi jauh lebih tahan terhadap keausan pada suhu 150°C.

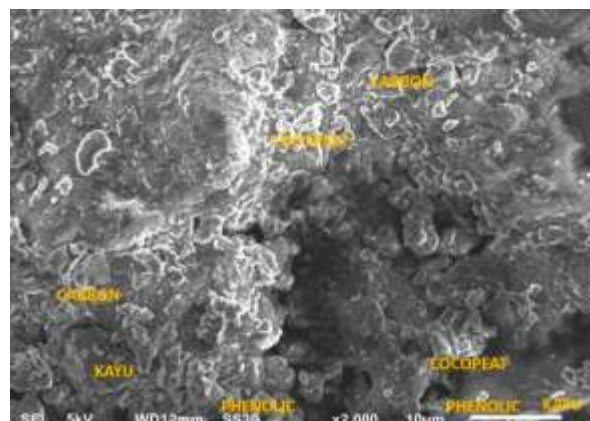
3.3. Hasil Uji Scanning Electron Microscope (SEM)

Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan untuk memperoleh informasi visual dari struktur mikro kampas rem berbahan dasar serbuk kayu, *cocopeat*, karbon tempurung kelapa dan resin *phenol formaldehyde*. Uji SEM dalam penelitian ini sangat penting karena memberikan Gambaran visual beresolusi tinggi mengenai permukaan dan karakteristik mikro struktural material.



Gambar 8. Hasil Uji SEM Sampel A

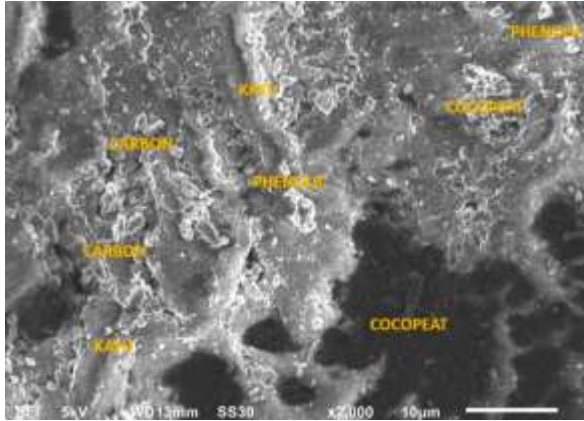
Gambar 8 hasil uji SEM sampel A, terlihat bahwa serbuk kayu, *cocopeat*, karbon tempurung kelapa, dan resin *phenolic* memiliki distribusi yang cukup homogen. Serbuk kayu dan *cocopeat* terlihat membentuk struktur permukaan yang kasar dan tidak rata, yang berkontribusi terhadap koefisien gesek yang cukup tinggi pada suhu rendah (0.08 pada 100°C). Resin *phenol formaldehyde* tampak tersebar merata di antara serbuk kayu dan *cocopeat*, berfungsi sebagai pengikat yang cukup baik untuk memperkuat struktur komposit [15]. Namun, karbon tempurung kelapa pada sampel ini tidak banyak terlihat atau tersebar dalam jumlah yang sedikit.



Gambar 9. Hasil Uji SEM Sampel B

Gambar 9 hasil uji SEM sampel B menunjukkan material *cocopeat* yang lebih dominan dibandingkan material lainnya, dengan sedikit karbon yang tersebar di permukaan. Struktur yang dominan dari *cocopeat*

ini memberikan tekstur kasar dan tidak rata, yang berkontribusi terhadap koefisien gesek tinggi pada suhu rendah (0.10 pada 100°C). Karbon yang sedikit pada sampel ini (10%) terlihat terbatas dalam distribusinya, tidak cukup untuk menambah stabilitas permukaan pada suhu tinggi [16].



Gambar 10. Hasil Uji SEM Sampel C

Gambar 10 hasil uji SEM sampel C, terlihat bahwa *cocopeat* merupakan komponen yang paling dominan (40%), namun distribusi karbon yang cukup tinggi (15%) terlihat tersebar dengan baik di seluruh permukaan. Kandungan karbon yang cukup ini membantu memberikan stabilitas tambahan, terutama pada suhu tinggi. Distribusi resin *phenol formaldehyde* yang terlihat mengelilingi komponen lain juga menunjukkan ikatan yang lebih kuat antar komponen, memberikan struktur yang lebih solid.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi serbuk kayu, *cocopeat* dan karbon tempurung kelapa memiliki potensi sebagai material pengganti kampas rem yang tidak ramah lingkungan, tetapi ketidakseimbangan komposisi antar material menyebabkan variabilitas signifikansi koefisien gesek dan laju aus pada suhu tinggi bernilai rendah [17,18]. Untuk mencapai performa yang baik dan dapat memenuhi SNI 09-0143-1987, diperlukan penyesuaian, termasuk penambahan material yang dapat meningkatkan koefisien gesek dan memperkuat struktur pada suhu tinggi [19].

4. Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa kampas rem berbahan *phenol formaldehyde* dengan tambahan biokomposit ramah lingkungan berupa serbuk kayu, *cocopeat*, dan karbon tempurung kelapa. Berdasarkan hasil pengujian, kampas rem biokomposit ini menunjukkan ketahanan aus yang cukup baik pada suhu tinggi, serta memiliki potensi sebagai alternatif ramah lingkungan karena menggunakan bahan-bahan alami dan terbarukan. Namun, nilai koefisien gesek yang dihasilkan belum memenuhi standar minimum yang ditetapkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI) 09-0143-1987,

yang berarti bahwa kampas rem ini belum sepenuhnya layak untuk aplikasi otomotif dalam kondisi saat ini.

Kampas rem biokomposit ini berpotensi untuk diaplikasikan pada kendaraan ringan atau dalam kondisi pengereman yang tidak membutuhkan gesekan tinggi, tetapi memerlukan optimasi lebih lanjut untuk dapat digunakan pada aplikasi dengan tuntutan gesekan yang lebih tinggi. Implikasi dari penelitian ini adalah bahwa penggunaan biokomposit ramah lingkungan dapat menjadi solusi untuk mengurangi ketergantungan pada bahan baku konvensional yang kurang ramah lingkungan, namun masih membutuhkan pengembangan formula yang tepat agar performanya memenuhi standar yang berlaku.

Daftar Rujukan

- [1] Nur, H. R., Arifin, Z., Soeryanto., Mutohari, F., Daryono, R. W., 2023. Society 5.0 competency: Readiness level of teachers and students in automotive engineering vocational school, in AIP Conference Proceedings, 2671 (1).
- [2] Borawski, A., 2020. Conventional and unconventional materials used in the production of brake pads – review. *Sci. Eng. Compos. Mater*, 27 (1), pp.374–396.
- [3] C. Pinca-Bretotean, A. L. Craciun, A. Josan, and M. Ardelean., 2019. Friction and wear characteristic of organic brake pads material. in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 477 (1), pp.012009.
- [4] Abutu, J., Lawal, S. A., Ndaliman, M. B., Lafia-Araga, R. A., Adedipe, O., Choudhury, I. A., 2019. Production and characterization of brake pad developed from coconut shell reinforcement material using central composite design, *SN Appl. Sci*, 1 (1), pp. 82.
- [5] Praveenkumar, B., Gnanaraj, S. D., 2020. Case Studies on the Applications of Phenolic Resin-Based Composite Materials for Developing Eco-Friendly Brake Pads. *J. Inst. Eng. Ser. D*, 101, pp.327–334.
- [6] Oladokun, T. O., Stephen, J. T., Adebayo, A., Adeyemi, G. J., 2019. Effect of Moulding Pressure on Brake Lining Produced from Industrial Waste Material: Sawdust. *European Journal Of Engineering And Technology Research*, 4 (6), pp.62–68.
- [7] Holil, A., Dwiwati, S. T., Sugiharto, A., Sugita, I. W., 2019. Characteristics composite of wood powder, coconut fiber and green mussel shell for electric motorcycle brake pads. *IOP Publishing Ltd*, 1402 (5).
- [8] Wang, W., Huang, G., 2009. Characterisation and utilization of natural coconut fibres composites. *ScienceDirect*, 30 (7), pp.2741–2744.
- [9] Kamaruddin, M. A., Bakri, M. M. A., Norashiddin, F. A., Zawawi, M. H., Zainol, M. R. R. A., 2018. Synthesis of Composite Adsorbent from Calcium Carbonate and Cocos Nucifera Carbon Powder Crosslinked with Biopolymer Matrix. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 343 (1).
- [10] Bretotean, C. P., Craciun, A. L., Josan, A., Ardelean, E., 2018. Experimental Study of Sintered Friction Material with Coconut Fiber for Brake Pads. *Mater. Plast*, 55 (3), pp 389–392.
- [11] Pramono, A. E., Zulfia, A., & Soedarsono, J. W., 2011.

- Wear Properties of Carbon-Carbon Composites Processed by Hot Press (HP) Based on Coal Waste Powder. *Journal of Materials Science and Engineering B*, 1 (1B), pp.43–47.
- [12] Asif, M., Chandra, K., Misra, P. S., 2011. Development of Iron Based Brake Friction Material by Hot Powder Preform Forging Technique used for Medium to Heavy Duty Applications. *J. Miner. Mater. Charact. Eng*, 10 (3), pp.231–244.
- [13] Kalel, N., Bhatt, B., Darpe, A., Bijwe, J., 2021. Copper-free brake-pads: A break-through by selection of the right kind of stainless steel particles. *Wear*, 464–465, pp.20353.
- [14] Ali, S., Kumar, N., Grewal, J. S., Thakur, V., Chau, K. W., Kumar, M., 2022. Coconut waste fiber used as brake pad reinforcement polymer composite and compared to standard Kevlar-based brake pads to produce an asbestos free brake friction material. *Polymer Composites*, 43 (3), pp.1518–1525.
- [15] Grkić, A., Mikluc, D., Muždeka, S., Arsenić, Ž., Duboka, Č., 2015. A Model for the Estimation of Brake Interface Temperature. *Strojniški Vestn. – J. Mech. Eng*, 61 (6), pp.392–398.
- [16] Ertan, R., Yavuz, N., 2010. An experimental study on the effects of manufacturing parameters on the tribological properties of brake lining materials. *Wear*, 268 (11–12), pp.1524–1532.
- [17] Abdulrahman, A. S., Ajani, C. K., Aliyu, S. A., 2021. Production and characterization of asbestos-free brake lining material using agro wastes. *Engineering and Applied Science Research*, 48 (4), pp.379–384.
- [18] Ganguly, A., George, R., 2008. Asbestos free friction composition for brake linings. *Bull. Mater. Sci*, 31 (1), pp.19–22.
- [19] Akıncioğlu, G., 2023. The effects of resin rate (wt-%) on different temperature performance of newly designed friction composites for automobile brake lining applications. *Taylor and Francis Online*, 52 (5), pp.292–303.