JURNAL TEKNIK OTOMOTIF Kajian Keilmuan dan Pengajaran E-ISSN: 2613-9316
Vol. 10, No. 2, Oktober (2026), hal. 179-187 ISSN: 2613-9324
Terbit online pada laman web jurnal: http://journal2.um.ac.id/index.php/jto

ANALISIS KOMPARATIF SIFAT HIDROFILIK KAMPAS REM BERPENGUAT ARANG KELAPA DAN KULIT PISANG

Muhammad Ilyas Saputra[1], Ratna Monasari[2], Muhammad Izzul Haqqi[3], Satria Yoga Ramadhani[4]
[1-4]Prodi Teknologi Rekayasa Otomotif, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang
Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Jawa Timur, 65141
[1]ilyas.putra1007@gmail.com, [2]rmonasari@polinema.ac.id, [3]haqqi2004@gmail.com, [4]224270018@student.polinema.ac.id

Abstrak. Penggunaan asbestos pada kampas rem menimbulkan risiko kesehatan sehingga diperlukan penguat alternatif yang lebih aman dan ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan membandingkan sifat hidrofilik kampas rem non-asbestos berpenguat arang serabut kelapa dan kulit pisang bermatriks poliester dengan variasi ukuran partikel mesh 100 dan 200, melalui pengujian susut massa dan penyerapan air. Hasil menunjukkan susut massa seluruh spesimen stabil di bawah 0,50%. Pengecilan ukuran partikel menjadi mesh 200 menurunkan daya serap air secara drastis akibat struktur komposit lebih padat. Daya serap tertinggi (18,11%) terjadi pada arang kelapa mesh 100, sedangkan pada mesh 200 arang kulit pisang menyerap air lebih tinggi (11,00%) akibat kandungan mineral hidrofilik permukaannya. Mesh 200 memberikan sifat hidrofilik lebih baik sehingga berpotensi dikembangkan sebagai penguat kampas rem ramah lingkungan.

Kata Kunci: kampas rem non-asbestos, arang serabut kelapa, arang kulit pisang, ukuran partikel, sifat hidrofilik

Abtract. *The use of asbestos in brake pads poses health risks, necessitating safer and more environmentally friendly reinforcement alternatives. This study aims to compare the hydrophilic properties of non-asbestos brake pads reinforced with coconut fiber charcoal and banana peel charcoal in a polyester matrix, with particle size variations of mesh 100 and 200, through mass loss and water absorption testing. Results showed that mass loss in all specimens remained stable below 0.50%. Reducing particle size to mesh 200 significantly decreased water absorption due to a denser composite structure. The highest water absorption (18.11%) occurred in coconut charcoal mesh 100, while at mesh 200, banana peel charcoal absorbed more water (11.00%) due to its hydrophilic mineral content. Mesh 200 provided better hydrophilic properties, indicating potential for development as an eco-friendly brake pad reinforcement.*

Keyword*: non-asbestos brake pad, coconut fiber charcoal, banana peel charcoal, particle size, hydrophilic properties*

Keandalan material kampas rem merupakan salah satu aspek penting dalam sistem keselamatan kendaraan karena material tersebut berfungsi mengubah energi kinetik menjadi energi panas melalui mekanisme gesekan. Oleh sebab itu, pengembangan material kampas rem tidak hanya mempertimbangkan kekuatan mekanis, ketahanan aus, dan kestabilan termal, tetapi juga karakteristik fisik material yang dapat memengaruhi perilakunya selama penggunaan. Perhatian terhadap aspek lingkungan dan kesehatan turut mendorong pengembangan material kampas rem non-asbestos dengan memanfaatkan serat alami dan limbah biomassa sebagai alternatif bahan penyusun komposit. Tinjauan Joshi *et al.,* (2023) menjelaskan bahwa komposit berbasis serat alami berpotensi digunakan sebagai material gesek alternatif, meskipun masih menghadapi tantangan berupa kestabilan gesekan dan karakteristik termal. Sejalan dengan hal tersebut, Samy *et al.,* (2025) meninjau perkembangan material kampas rem berbasis serat alami sebagai bagian dari upaya menuju teknologi otomotif yang lebih berkelanjutan. Dengan demikian, pemanfaatan limbah biomassa dalam pembuatan kampas rem perlu dikaji tidak hanya berdasarkan ketersediaan bahan baku, tetapi juga berdasarkan karakteristik fisik yang relevan terhadap lingkungan pemakaiannya.

Salah satu biomassa yang berpotensi dimanfaatkan dalam pengembangan material kampas rem adalah sabut kelapa. Ali *et al.,* (2022) mengkaji penggunaan serat limbah kelapa sebagai penguat material gesek berbasis polimer dan menunjukkan bahwa komposisi serat berkaitan dengan perubahan karakteristik mekanis serta kestabilan termal komposit. Penelitian Wang *et al.,* (2024) juga mengevaluasi material gesek yang diperkuat serat kelapa dan serat Dypsis lutescens, sehingga memperlihatkan bahwa jenis serta komposisi serat merupakan aspek penting dalam pengembangan material kampas rem. Di sisi lain, kulit pisang telah diteliti sebagai bahan penyusun komposit kampas rem. Yigrem *et al.,* (2022) mengembangkan komposit hibrida berbasis kulit pisang dengan penambahan serbuk karbon dan menggunakan parameter mekanis serta tribologis untuk mengevaluasi karakteristik material yang dihasilkan. Penelitian Nandiyanto *et al.,* (2022) turut membahas pemanfaatan limbah kulit pisang dan cangkang telur dalam pengembangan kampas rem berbasis resin. Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa sabut kelapa dan kulit pisang telah memiliki dasar penelitian sebagai bahan alternatif kampas rem, tetapi objek, formulasi, dan parameter evaluasi yang digunakan masih berbeda. Oleh karena itu, hasil penelitian mengenai salah satu biomassa tidak dapat langsung digunakan untuk menyimpulkan bahwa biomassa lainnya mempunyai karakteristik penyerapan air yang lebih baik.

Selain komposisi bahan, ukuran partikel pengisi juga menjadi aspek yang perlu diperhatikan dalam pembuatan komposit berbasis resin. Perbedaan ukuran partikel dapat memengaruhi distribusi pengisi, interaksi antara partikel dan matriks, serta pembentukan rongga pada struktur material. Dalam konteks kampas rem, karakteristik tersebut relevan untuk dikaji karena struktur internal dan porositas dapat berkaitan dengan kemampuan material menyerap air. Penggunaan partikel yang lebih halus secara teoritis berpotensi membantu pengisian ruang di antara partikel yang lebih besar, tetapi hasil akhirnya tetap bergantung pada distribusi ukuran, keseragaman pencampuran, pembasahan partikel oleh resin, dan proses pemadatan. Dengan demikian, ukuran partikel yang lebih kecil tidak dapat secara otomatis dianggap menghasilkan komposit dengan penyerapan air lebih rendah tanpa pengujian eksperimental. Kajian mengenai material kampas rem berbasis serat alami juga menegaskan pentingnya mempertimbangkan berbagai karakteristik fisik, mekanis, dan tribologis secara bersamaan dalam mengevaluasi kelayakan formulasi material (Joshi *et al.,* 2023; Wang *et al.,* 2024).

Sifat hidrofilik menjadi salah satu karakteristik yang relevan dalam penelitian ini karena berkaitan dengan interaksi material terhadap air. Pada material komposit berpori, pengujian penyerapan air dapat memberikan informasi mengenai kemampuan air memasuki struktur material melalui permukaan maupun rongga yang saling terhubung. Tingkat penyerapan tersebut dapat dipengaruhi oleh komposisi kimia bahan, karakteristik permukaan partikel, porositas, serta kualitas ikatan antara pengisi dan matriks resin. Dalam penggunaan kampas rem pada kondisi basah, keberadaan air berpotensi memengaruhi kontak antara permukaan gesek dan piringan rem sehingga karakteristik gesekan dapat berubah. Fenomena penurunan kinerja gesekan akibat kondisi basah perlu dibedakan dari penurunan gesekan akibat temperatur tinggi atau thermal fade, karena keduanya melibatkan kondisi pengujian yang berbeda. Penelitian mengenai komposit kampas rem berbasis biomassa menunjukkan bahwa penyerapan air, porositas, koefisien gesek, keausan, dan kestabilan gesekan merupakan parameter yang berbeda, tetapi dapat dipertimbangkan secara bersamaan dalam karakterisasi material (Kumar *et al.,* 2022; Yigrem *et al.,* 2022). Oleh karena itu, penyerapan air dalam penelitian ini digunakan sebagai indikator karakteristik interaksi material dengan air, bukan sebagai pengganti pengukuran koefisien gesek atau pengujian wet fading.

Meskipun penelitian terdahulu telah membahas penggunaan serat kelapa, kulit

pisang, dan biomassa lainnya sebagai bahan alternatif kampas rem, masih terdapat ruang kajian pada perbandingan karakteristik penyerapan air dari dua jenis arang biomassa dengan formulasi matriks dan kondisi pengujian yang dikendalikan. Ali *et al.,* (2022) berfokus pada pengaruh kandungan serat kelapa terhadap sifat fisik dan mekanis material, sedangkan Yigrem *et al.,* (2022) mengevaluasi komposit kulit pisang dengan serbuk karbon berdasarkan karakteristik mekanis dan tribologis. Sementara itu, Nandiyanto *et al.,* (2022) mengkaji pemanfaatan kulit pisang bersama cangkang telur dan Wang *et al.,* (2024) meneliti penguatan material gesek menggunakan serat kelapa dan serat Dypsis lutescens. Perbedaan bahan, formulasi, dan orientasi pengujian tersebut menunjukkan bahwa hasil penelitian sebelumnya belum dapat menjelaskan secara langsung perbedaan penyerapan air antara arang sabut kelapa dan arang kulit pisang pada ukuran partikel yang sama. Celah penelitian yang hendak diisi bukanlah anggapan bahwa kedua biomassa belum pernah digunakan dalam kampas rem, melainkan belum terjawabnya perbandingan langsung kedua jenis arang tersebut pada variasi ukuran partikel 100 mesh dan 200 mesh dalam matriks resin poliester berdasarkan penyerapan air dan perubahan massa setelah perlakuan yang ditetapkan.

Berdasarkan *gap* tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis secara komparatif karakteristik interaksi terhadap air pada komposit kampas rem non-asbestos berbahan arang sabut kelapa dan arang kulit pisang dengan ukuran partikel 100 mesh dan 200 mesh dalam matriks resin poliester. Evaluasi dilakukan melalui pengukuran penyerapan air dan perubahan massa setelah perlakuan sesuai prosedur pengujian. Kebaruan penelitian terletak pada perbandingan langsung dua jenis arang biomassa dengan dua variasi ukuran partikel dalam sistem matriks yang sama, sehingga pengaruh jenis bahan dan kehalusan partikel terhadap karakteristik penyerapan air dapat dievaluasi secara lebih terarah. Hasil penelitian diharapkan memberikan informasi awal untuk menentukan kombinasi bahan dan ukuran partikel yang memiliki karakteristik penyerapan air serta kestabilan massa yang lebih baik. Namun, hasil tersebut tidak digunakan untuk menyimpulkan keunggulan koefisien gesek, ketahanan aus, ataupun kinerja pengereman pada kondisi basah karena parameter-parameter tersebut memerlukan pengujian tersendiri.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental kuantitatif yang bertujuan mengevaluasi karakteristik fisik komposit kampas rem non-asbestos berbahan arang sabut kelapa dan arang kulit pisang. Kedua jenis arang digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) yang dikombinasikan dengan resin poliester sebagai matriks, serta serbuk besi (Fe) dan kalsium karbonat ($CaCO_3$) sebagai bahan tambahan. Variabel bebas dalam penelitian ini meliputi jenis arang yang mendominasi komposisi campuran dan ukuran partikel pengisi, yaitu 100 mesh dan 200 mesh. Adapun variabel terikat meliputi persentase penyerapan air dan perubahan massa spesimen setelah perlakuan pengujian.



Gambar 1 Kampas Rem non Asbestos

Persiapan bahan diawali dengan proses karbonisasi atau pirolisis sabut kelapa dan kulit pisang secara terpisah untuk menghasilkan arang sebagai bahan pengisi komposit. Proses pirolisis dilakukan pada suhu 400°C selama 60 menit, dengan laju pemanasan 10°C/menit dan kondisi oksigen terbatas. Setelah proses karbonisasi selesai, arang didinginkan secara alami pada suhu ruang. Arang yang dihasilkan kemudian dihancurkan dan diayak menggunakan ayakan berukuran 100 mesh dan 200 mesh untuk memperoleh variasi ukuran

partikel yang digunakan dalam pembuatan spesimen.

Tabel 1. Variasi Komposisi Spesimen Kampas Rem Komposit

Kode Spesimen	Campuran Arang Kelapa : Arang Kulit Pisang (%)	Campuran Lainnya (Fe & CaCo3)	Resin Poliester (%)	Ukuran Partikel (Mesh)
S100-A1	37,5% : 12,5%	10% & 10%	30%	100
S100-A2	12,5% : 37,5%	10% & 10%	30%	100
S200-A1	37,5% : 12,5%	10% & 10%	30%	200
S200-A2	37,5% : 12,5%	10% & 10%	30%	200

Pembuatan spesimen dilakukan dengan mencampurkan arang sabut kelapa, arang kulit pisang, resin poliester, serbuk besi, dan kalsium karbonat sesuai komposisi yang telah ditentukan. Terdapat dua variasi komposisi bahan pengisi, yaitu spesimen A1 yang didominasi arang sabut kelapa dengan komposisi 37,5% arang sabut kelapa dan 12,5% arang kulit pisang, serta spesimen A2 yang didominasi arang kulit pisang dengan komposisi 12,5% arang sabut kelapa dan 37,5% arang kulit pisang. Kedua formulasi menggunakan resin poliester sebesar 30%, serbuk besi sebesar 10%, dan $CaCO_3$ sebesar 10%, sehingga total komposisi masing-masing spesimen mencapai 100%.

Seluruh bahan dicampurkan hingga homogen, kemudian dimasukkan ke dalam cetakan logam dengan bentuk dan dimensi sesuai spesimen yang digunakan. Campuran selanjutnya dipadatkan menggunakan *hydraulic press* dengan tekanan sebesar 5 MPa selama 10 menit. Pemberian tekanan dilakukan secara bertahap melalui sistem hidrolik hingga campuran terpadatkan secara merata di dalam cetakan. Pemadatan bertujuan membentuk spesimen dan membantu mengurangi rongga udara di dalam komposit. Setelah pencetakan, spesimen dikeringkan pada suhu sekitar 100°C selama 20 menit dengan pembalikan cetakan secara berkala sesuai prosedur yang diterapkan dalam penelitian. Selanjutnya, spesimen didinginkan secara bertahap hingga mencapai suhu ruang sekitar 35°C sebelum dilakukan pengujian karakteristik fisik.

Pengujian Massa Kering dan Susut Massa

Pengujian massa kering dilakukan untuk memperoleh massa spesimen sebelum pengujian penyerapan air. Spesimen spesimen ditimbang presisi dengan ketelitian 0,01gram sebelum dijemur untuk mencatat berat awalnya. Penjemuran berlangsung di bawah sinar matahari selama 1 jam, pada rentang waktu pukul 14.00 WIB hingga 15.00 WIB. Pengontrolan dan pengukuran suhu dilakukan menggunakan alat ukur *thermogun*, dengan kondisi suhu sekitar spesimen tercatat sebesar 51 °C. Setelah proses pengeringan, spesimen didinginkan hingga mencapai suhu ruang, kemudian ditimbang menggunakan timbangan dengan ketelitian 0,01 gram. Massa spesimen sebelum pengeringan dicatat sebagai massa awal, sedangkan massa setelah pengeringan dicatat sebagai massa akhir untuk mengetahui perubahan massa spesimen.

Pengujian Penyerapan Air

Pengujian penyerapan air (*water absorption test*) dilakukan untuk mengetahui persentase air yang terserap ke dalam pori-pori komposit kampas rem. Spesimen ditimbang menggunakan timbangan presisi dengan ketelitian 0,01 gram untuk memperoleh massa awal sebelum perendaman. Selanjutnya, spesimen direndam sepenuhnya dalam air murni pada suhu ruang selama 60 menit. Setelah perendaman, spesimen diangkat dan permukaan luarnya dikeringkan secara perlahan menggunakan kain berdaya serap tinggi, kemudian ditimbang kembali untuk memperoleh massa akhir. Persentase penyerapan air ditentukan berdasarkan peningkatan massa spesimen setelah perendaman dibandingkan dengan massa awalnya. Pengujian dilakukan sebanyak tujuh kali pengulangan, dan hasilnya dirata-ratakan untuk setiap variasi spesimen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik fisik komposit kampas rem non-asbestos dievaluasi melalui dua parameter esensial, yakni stabilitas susut massa (uji berat kering) dan sifat hidrofilik (uji penyerapan air). Ringkasan komparasi dari kedua pengujian tersebut direpresentasikan pada Tabel 2.

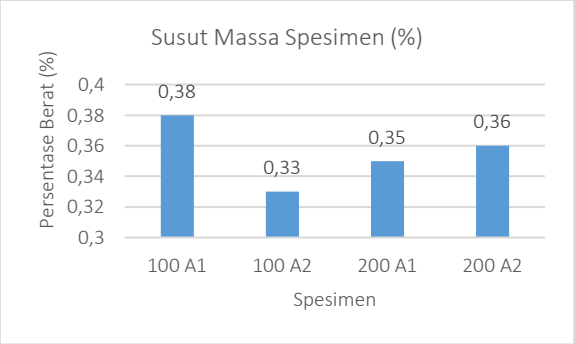
Tabel 2 Hasil Penelitian

Kode Spesimen	Material Dominan	Ukuran Partikel	Susut Massa (%)	Penyerapan Air (%)
100 A1	Arang Sabut Kelapa	Mesh 100	0.38	18.11
100 A2	Arang Kulit Pisang	Mesh 100	0.33	16.99
200 A1	Arang Sabut Kelapa	Mesh 200	0.35	6.66
200 A2	Arang Kulit Pisang	Mesh 200	0.36	11

Berdasarkan tabel 2, seluruh spesimen menunjukkan susut massa di bawah 0,50%, dengan rentang 0,33–0,38%. Sebaliknya, penyerapan air memperlihatkan variasi yang lebih besar, yaitu 6,66–18,11%. Hasil ini menunjukkan bahwa kestabilan massa selama pengujian kering tidak selalu sejalan dengan ketahanan terhadap penyerapan air. Oleh karena itu, kedua parameter perlu diinterpretasikan secara terpisah untuk mengevaluasi karakteristik fisik komposit.

Stabilitas Susut Massa

Pengujian susut massa memvisualisasikan pelepasan kadar air bebas (free moisture) yang terperangkap pada permukaan spesimen sebelum diekspos pada pengujian perendaman. Seperti yang terlihat pada Tabel 1, seluruh varian spesimen mencatatkan persentase penyusutan yang sangat marjinal, yakni secara konsisten berada di bawah 0,50%.



Gambar 2 Grafik Susut Spesimen

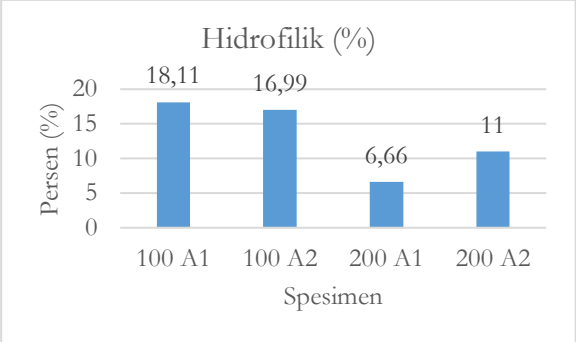
Kestabilan susut massa yang superior ini mengindikasikan dua hal krusial. Pertama, proses karbonisasi (pirolisis) pada tahap preparasi material telah beroperasi secara optimal dalam mendegradasi air terikat (*bound water*) pada material biomassa asal. Hal ini sejalan dengan penelitian (Alfarizi *et al.,* 2025) yang menyatakan bahwa kadar air yang sangat rendah merupakan indikator tercapainya kualitas arang yang baik akibat tereliminasinya air bawaan secara sempurna Kedua, matriks resin poliester yang pada dasarnya bersifat hidrofobik telah berhasil melapisi dan mengikat sebagian besar partikel filler, sehingga hanya menyisakan sedikit celah mikro di permukaan luar yang rentan terpapar kelembapan udara.

Lebih jauh, analisis komparatif memperlihatkan dinamika mekanis yang berlawanan antara jenis biomassa dengan ukuran partikelnya. Pada spesimen A1 (dominan kelapa), reduksi dimensi pengisi dari mesh 100 ke 200 menekan angka susut massa dari 0,38% menjadi 0,35%. Hal ini mengonfirmasi bahwa penghalusan mekanis telah menghancurkan rongga kapiler bawaan dari serat kelapa yang sebelumnya bertindak sebagai kantong penyimpan kelembapan mikro. Karakteristik penahan air ini didukung oleh literatur yang menunjukkan bahwa sabut kelapa utuh secara alamiah memiliki pori makro yang sangat kuat dalam mengikat dan menahan gerakan air (Gomes *et al.,* 2023)

Anomali justru terjadi pada kelompok spesimen A2 (dominan kulit pisang). Penggunaan partikel yang lebih halus (mesh 200) mencatatkan nilai susut massa sebesar 0,36%, sedikit lebih tinggi dibandingkan spesimen dengan partikel kasar (mesh 100) yang berada di angka 0,33%. Kenaikan ini berakar pada lonjakan luas permukaan spesifik pada partikel berskala mikro . Semakin halus partikel, semakin luas area sentuhnya, yang berakibat pada semakin terekspos nya mineral abu bawaan kulit pisang. Merujuk pada studi (Ahsan *et al.,* 2024), kulit pisang memiliki kandungan mineral aktif seperti kalsium dan magnesium yang secara natural bersifat higroskopis . Terekspos nya mineral-mineral hidrofilik ini memicu spesimen untuk secara reaktif mengikat molekul air dari lingkungan sekitar sesaat sebelum pengujian, yang pada akhirnya berkontribusi pada bertambahnya sedikit bobot air yang menguap saat uji berat kering.

Analisis Sifat Hidrofilik

Sifat hidrofilik yang diukur melalui persentase penyerapan air (water absorption) merupakan indikator krusial dalam menentukan kelayakan kampas rem. Penyerapan cairan yang terlampau tinggi akan memicu fenomena *water fading*, yakni anjloknya koefisien gesek secara drastis saat komponen beroperasi di kondisi basah.



Gambar 3 Grafik Penelitian Hidrofilik

Berdasarkan grafik dan data evaluasi, terlihat adanya penurunan daya serap air yang sangat tajam ketika ukuran partikel *filler* direduksi dari mesh 100 menjadi mesh 200. Partikel kasar yang lolos saringan mesh 100 tidak mampu menyusun diri dengan rapat saat dicetak, sehingga menyisakan rongga antar-partikel (porositas makro) yang besar. Hal ini berbanding lurus dengan studi (Agviolita, Yushardi and Anggraeni, 2021) yang membuktikan bahwa semakin besar ukuran pori internal suatu material, maka semakin tinggi pula kapasitas penyerapan airnya. Sebaliknya, partikel berskala mikro pada mesh 200 memiliki tingkat kerapatan susunan (*packing density*) yang superior. Partikel halus ini mengisi kekosongan matriks struktural secara komprehensif, mengeliminasi terbentuknya *voids* yang menjadi jalur utama penetrasi air, sehingga persentase penyerapan dapat ditekan secara drastis hingga menyentuh kisaran 6% - 11%.

Selain tingkat kehalusan, karakteristik dasar material penyusun merespons variasi ukuran dengan dinamika yang bertolak belakang. Pada penggunaan partikel kasar (mesh 100), spesimen dominan serabut kelapa (100 A1) menyerap fluida tertinggi sebesar 18,11%, jauh lebih tinggi dari spesimen kulit pisang. Tingginya penyerapan ini dikarenakan struktur berserat dan pipa kapiler alami bawaan serabut kelapa masih utuh dan menahan cadangan air secara fisik. Tingginya kemampuan absorpsi ini memvalidasi hasil penelitian (Muliati, Lubis and Nasution, 2022) yang mencatatkan tingginya nilai porositas (mencapai 92,91%) dan daya serap air pada material berbasis sabut kelapa organik.

Namun, konstelasi performa tersebut berbalik total saat menggunakan partikel halus (mesh 200). Spesimen dominan kulit pisang (200 A2) justru mencatatkan daya serap air yang lebih tinggi (11,00%) dibandingkan serabut kelapa (6,66%). Hancurnya integritas struktur makro kapiler akibat penggilingan membuat serabut kelapa kehilangan kemampuannya menahan fluida. Di sisi lain, daya retensi air pada kulit pisang dikendalikan oleh sifat kimiawinya, bukan bentuk fisiknya. Merujuk pada riset (Dewi, Susatyo and Susilaningsih, 2015), arang aktif dari kulit pisang menyimpan kadar abu mineral antara 2,41% hingga 5,55%, yang mengindikasikan tingginya keberadaan mineral anorganik di dalamnya. Sifat hidrofilik dan reaktivitas kimiawi dari mineral-mineral ini (seperti silika dan kalium) membuat kulit pisang tetap agresif menarik dan mengikat air meskipun struktur mekanis spesimen telah dipadatkan oleh resin matriks pada dimensi mesh 200.

Analisis Sifat Hidrofilik Berdasarkan Penyerapan Air

Sistem pengereman merupakan bagian penting dalam kendaraan bermotor sehingga pemahaman mengenai sistem rem dan karakteristik komponennya diperlukan untuk mendukung keselamatan berkendara. Purnomo *et al.,* (2023) membahas pengembangan media tutorial sistem rem sepeda motor untuk menunjang kegiatan praktikum siswa. Meskipun penelitian tersebut berfokus pada aspek pembelajaran, pentingnya pemahaman sistem pengereman memberikan konteks bagi penelitian mengenai karakteristik material penyusun kampas rem. Salah satu karakteristik fisik yang dapat dikaji pada material komposit kampas rem adalah

penyerapan air (*water absorption*), yang digunakan dalam penelitian ini sebagai indikator respons material terhadap paparan air.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa spesimen dengan penguat arang kelapa pada ukuran partikel mesh 200 memiliki nilai penyerapan air sebesar 6,66%, sedangkan spesimen dengan penguat arang kulit pisang mencapai 11,00%. Dengan demikian, penyerapan air pada spesimen berpenguat arang kulit pisang lebih tinggi sebesar 4,34 poin persentase dibandingkan dengan spesimen berpenguat arang kelapa. Jika dibandingkan dengan komposisi masing-masing pada mesh 100, penyerapan air arang kelapa mengalami penurunan dari 18,11% menjadi 6,66%, sedangkan arang kulit pisang menurun dari 16,99% menjadi 11,00%. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa perubahan ukuran partikel berkaitan dengan penurunan penyerapan air pada kedua komposisi, tetapi besarnya penurunan berbeda antara kedua jenis penguat.

Perbedaan tersebut diduga berkaitan dengan karakteristik fisik partikel dan interaksinya dengan matriks resin poliester. Ukuran partikel yang lebih halus berpotensi menghasilkan susunan partikel yang lebih rapat sehingga mengurangi ruang kosong yang dapat menjadi jalur masuk air. Namun, pengaruh tersebut tidak selalu sama pada setiap jenis penguat karena penyerapan air komposit juga dapat dipengaruhi oleh porositas, karakteristik permukaan partikel, serta kualitas ikatan antara penguat dan matriks polimer (Mohammed *et al.,* 2023). Pada spesimen berpenguat arang kelapa, penurunan penyerapan air yang lebih besar mengindikasikan bahwa kombinasi ukuran partikel mesh 200 dan komposisi bahan yang digunakan menghasilkan karakteristik penyerapan air yang lebih rendah dibandingkan spesimen arang kulit pisang pada kondisi pengujian ini. Sementara itu, nilai 11,00% pada arang kulit pisang menunjukkan bahwa pengecilan ukuran partikel belum menghasilkan penurunan penyerapan air sebesar yang ditemukan pada arang kelapa.

Meskipun demikian, mekanisme tersebut masih berupa interpretasi yang perlu diuji lebih lanjut. Penelitian ini belum mengukur porositas, distribusi ukuran partikel secara aktual, morfologi permukaan, maupun kualitas antarmuka antara arang dan resin. Oleh karena itu, nilai penyerapan air yang lebih tinggi pada arang kulit pisang tidak dapat secara langsung diatribusikan pada komposisi kimia atau sifat intrinsik bahan tersebut. Karakteristik biochar dapat bervariasi bergantung pada bahan baku dan kondisi pembuatannya, sehingga sifat penyerapan air perlu dikonfirmasi melalui pengujian karakteristik material secara khusus. Dengan demikian, hasil penelitian ini menunjukkan perbedaan perilaku penyerapan air antara kedua jenis penguat, tetapi belum cukup untuk memastikan penyebab mikroskopis yang mendasarinya.

Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki keterbatasan karena evaluasi karakteristik komposit kampas rem masih terbatas pada susut massa dan penyerapan air. Kedua parameter tersebut memberikan informasi mengenai perubahan massa dan respons spesimen terhadap paparan air, tetapi belum dapat menggambarkan keseluruhan kinerja kampas rem. Penelitian ini belum mencakup pengujian porositas, morfologi permukaan, distribusi partikel, karakteristik kimia permukaan, serta ikatan antara penguat dan matriks resin. Akibatnya, penjelasan mengenai penyebab perbedaan penyerapan air pada arang kelapa dan arang kulit pisang masih bersifat dugaan yang didasarkan pada kecenderungan hasil pengujian, bukan bukti langsung mengenai struktur internal material.

Selain itu, penelitian ini belum mengevaluasi kekerasan, kekuatan mekanis, laju keausan, koefisien gesek, maupun kinerja pengereman pada kondisi kering dan basah. Oleh sebab itu, nilai penyerapan air yang lebih rendah pada spesimen arang kelapa mesh 200 tidak dapat langsung diartikan sebagai bukti bahwa spesimen tersebut memiliki performa pengereman atau ketahanan terhadap *brake fade* yang lebih baik. Penelitian lanjutan perlu

mengombinasikan pengujian penyerapan air dengan karakterisasi mikrostruktur dan sifat mekanis serta tribologis agar hubungan antara jenis penguat, ukuran partikel, dan kinerja kampas rem dapat dijelaskan secara lebih komprehensif. Penambahan variasi kondisi pengujian dan pengulangan spesimen juga diperlukan untuk menilai konsistensi hasil serta memperkuat dasar penarikan kesimpulan.

PENUTUP

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data, komposit kampas rem non-asbestos dengan ukuran partikel pengisi 100 mesh dan 200 mesh menunjukkan stabilitas susut massa yang relatif baik, dengan persentase kehilangan massa di bawah 0,50%. Perbedaan ukuran partikel dan jenis bahan pengisi menunjukkan variasi karakteristik penyerapan air pada setiap spesimen. Pada ukuran 100 mesh, spesimen dengan dominasi arang kelapa memiliki penyerapan air tertinggi sebesar 18,11%. Sementara itu, pada ukuran 200 mesh, spesimen dengan dominasi arang kulit pisang menunjukkan penyerapan air sebesar 11,00%, sedangkan spesimen dengan dominasi arang kelapa memiliki nilai terendah sebesar 6,66%. Hasil ini menunjukkan bahwa ukuran partikel yang lebih halus cenderung menghasilkan penyerapan air yang lebih rendah, meskipun karakteristik tersebut juga dipengaruhi oleh jenis bahan pengisi. Berdasarkan parameter susut massa dan penyerapan air, komposit berukuran 200 mesh dengan dominasi arang kelapa menunjukkan karakteristik fisik terbaik di antara variasi yang diuji. Namun, penyerapan air yang rendah belum dapat dijadikan indikator langsung kinerja pengereman dalam kondisi basah, sehingga diperlukan pengujian koefisien gesek dan performa pengereman untuk memastikan kelayakan material tersebut sebagai kampas rem.

DAFTAR RUJUKAN

Agviolita, P., Yushardi, Y., & Anggraeni, F. K. A. (2021). Pengaruh perbedaan biochar terhadap kemampuan menjaga retensi pada tanah. *Jurnal Fisika Unand, 10*(2), 267–273. https://doi.org/10.25077/jfu.10.2.267-273.2021

Ahsan, M., et al. (2024). Exploring pectin from ripe and unripe banana peel: A novel functional fat replacers in muffins. *Food Chemistry: X, 23*, Article 101539. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101539

Alfarizi, E. H., et al. (2025). Studi karakteristik briket arang sabut kelapa dengan variasi komposisi menggunakan mesin screw extruder. *Jurnal Rekayasa Mesin*. https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jurnal-rekayasa-mesin/article/view/67067

Ali, S., Kumar, N., Grewal, J. S. G., 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), 1518–1525. https://doi.org/10.1002/pc.26472

Dewi, M. S., Susatyo, E. B., & Susilaningsih, E. (2015). Pemanfaatan arang aktif kulit pisang raja untuk menurunkan kadar ion Pb(II). *Indonesian Journal of Chemical Science, 4*(3). https://lib.unnes.ac.id/51553/

Gomes, F. S., et al. (2023). Influence of coconut fiber on the microstructural, mechanical and hydraulic behavior of unsaturated compacted soil. *Soils and Rocks, 46*(2). https://doi.org/10.28927/SR.2023.013322

Irawan, A. P., Fitriyana, D. F., Tezara, C., et al. (2022). Overview of the important factors influencing the performance of eco-friendly brake pads. *Polymers, 14*(6), Article 1180. https://doi.org/10.3390/polym14061180

Joshi, A. G., Bharath, K. N., & Basavarajappa, S. (2023). Recent progress in the

research on natural composite brake pads: A comprehensive review. *Tribology Materials, Surfaces & Interfaces, 17*(3), 237–259. https://doi.org/10.1080/17515831.2023.2237810

Kumar, N., Kumar, S., Grewal, J. S. G., Mehta, V., & Ali, S. (2022). Comparative study of Abaca fiber and Kevlar fibers based brake friction composites. *Polymer Composites, 43*(2), 730–740. https://doi.org/10.1002/pc.26405

Muliati, L., Lubis, L. H., & Nasution, N. (2022). Pengaruh penambahan variasi perekat kanji dan lem kayu terhadap kualitas pot sabut kelapa sebagai media tanam ramah lingkungan. *Jurnal Phi: Jurnal Pendidikan Fisika dan Fisika Terapan, 8*(1), 57–62. https://www.jurnal.ar-raniry.ac.id/index.php/jurnalphi/article/view/15166

Mohammed, M., Jawad, A. J. M., Mohammed, A. M., Oleiwi, J. K., Adam, T., Osman, A. F., Dahham, O. S., Betar, B. O., Gopinath, S. C. B., & Jaafar, M. (2023). Challenges and advancement in water absorption of natural fiber-reinforced polymer composites. *Polymer Testing, 124*, Article 108083. https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2023.108083

Nandiyanto, A. B. D., Ragadhita, R., Fiandini, M., Al Husaeni, D. F., Al Husaeni, D. N., & Fadhillah, F. (2022). Domestic waste (eggshells and banana peels particles) as sustainable and renewable resources for improving resin-based brakepad performance: Bibliometric literature review, techno-economic analysis, dual-sized reinforcing experiments, to comparison. *Communications in Science and Technology, 7*(1). https://doi.org/10.21924/cst.7.1.2022.757

Nandiyanto, A. B. D., et al. (2022). Effect of palm fronds and rice husk composition ratio on the mechanical properties of composite-based brake pad. *Moroccan Journal of Chemistry, 10*(4), 663–677. https://doi.org/10.48317/IMIST.PRSM/morjchem-v10i4.34291

Purnomo, S., Fatkhurahman, P. N., Handoyono, N. A., Ratnawati, D., & Rabiman. (2023). Pengembangan media tutorial sistem rem sepeda motor untuk praktikum siswa. *Majalah Ilmiah Momentum, 19*(2), 143–149. https://doi.org/10.36499/jim.v19i2.9796

Samy, M. M., & Singaravelu, D. L. (2025). Green friction: Exploring the evolution and potential of natural fibers and other brake pad ingredients in sustainable automotive engineering: A review. *Polymer Composites, 46*(7), 5882–5909. https://doi.org/10.1002/pc.29387

Wang, C., Li, R., Lin, H., Yuan, S., Wang, L., & Ma, Y. (2024). Preparation and properties of brake friction materials reinforced with coconut fiber and *Dypsis lutescens* fiber. *Materials, 17*(16), Article 3926. https://doi.org/10.3390/ma17163926

Yigrem, M., Fatoba, O., & Tensay, S. (2022). Tribological and mechanical properties of banana peel hybrid composite for brake-pad application. *Materials Today: Proceedings, 62*, 2829–2838. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.381