Jurnal Mekanova : Mekanikal, Inovasi dan Teknologi
Vol. 12, No. 2, Oktober 2026
P-ISSN : 2477-5029
E-ISSN : 2502-0498

Sifat Tarik dan Keausan Komposit Poliester Berpenguat Serat dan Serbuk Buah Pinang untuk Kandidat Material Kampas Rem

Wisnu Prabudi[*1], Mawardi[2]
[1,2]Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Al-azhar, Jl. Pintu Air IV No. 214, Kwala Bekala, Medan Sumatera Utara
e-mail: [*1]wisnuprabudi22@gmail.com, [2]mawardi.ipc@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik mekanik dan ketahanan aus material komposit kampas rem berbahan resin poliester, serbuk buah pinang, dan serat buah pinang. Penelitian menggunakan metode eksperimental dengan tiga variasi komposisi, yaitu A (65% resin, 5% katalis, 20% serbuk buah pinang, dan 10% serat buah pinang), B (60%, 5%, 25%, dan 10%), serta C (55%, 5%, 30%, dan 10%). Setiap variasi terdiri atas tiga spesimen, sehingga total terdapat sembilan spesimen pengujian. Karakteristik material dianalisis melalui pengujian tarik dan keausan menggunakan metode pin-on-disc. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa variasi A memiliki rata-rata tegangan maksimum (maximum stress) sebesar 8,57 MPa, beban maksimum (maximum load) sebesar 822,10 N, dan tegangan luluh (yield strength) sebesar 4,59 MPa. Sementara itu, hasil pengujian keausan menunjukkan bahwa variasi C memiliki laju keausan (wear rate) terendah sebesar 2,64 × 10^{-3} mm^3/m, diikuti variasi B sebesar 3,92 × 10^{-3} mm^3/m dan variasi A sebesar 5,10 × 10^{-3} mm^3/m. Hasil tersebut menunjukkan adanya perbedaan karakteristik antara kekuatan tarik dan ketahanan aus. Variasi C dapat dipertimbangkan sebagai kandidat pengembangan apabila ketahanan aus menjadi prioritas utama, meskipun variasi A memiliki kekuatan tarik lebih tinggi. Penelitian ini belum menguji koefisien gesek dan kinerja pengereman, sehingga belum dapat memastikan kelayakan material untuk aplikasi kampas rem. Pengujian lanjutan serta pembandingan dengan produk komersial diperlukan untuk mengevaluasi kinerjanya secara menyeluruh.

Kata kunci*—Buah pinang, serat alam, komposit, kampas rem, pengujian tarik, keausan.*

Abstract

This study aims to analyze the mechanical properties and wear resistance of composite brake pad materials made from polyester resin, areca nut powder, and areca nut fiber. The research employed an experimental method involving three composition variations: A (65% resin, 5% catalyst, 20% areca nut powder, and 10% areca nut fiber), B (60%, 5%, 25%, and 10%, respectively), and C (55%, 5%, 30%, and 10%, respectively). Each variation consisted of three specimens, resulting in a total of nine test specimens. The material properties were evaluated through tensile and wear tests using the pin-on-disc method. The tensile test results showed that variation A had the highest average maximum stress of 8.57 MPa, maximum load of 822.10 N, and yield strength of 4.59 MPa. Meanwhile, the wear test results indicated that variation C had the lowest wear rate of 2.64 × 10^{-3} mm^3/m, followed by variation B at 3.92 × 10^{-3} mm^3/m and variation A at 5.10 × 10^{-3} mm^3/m. These results indicate differences in the material's tensile strength and wear resistance characteristics. Variation C may be considered a candidate for further development when wear resistance is prioritized, although variation A exhibits higher tensile strength. This study did not evaluate the coefficient of friction or braking performance; therefore, the suitability of the material for brake pad applications cannot yet be established. Further testing and direct comparisons with commercial brake pad products are necessary to comprehensively evaluate its performance.

Keywords—*Areca nut, natural fiber, composite, brake pad, tensile testing, wear resistance.*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri otomotif yang terus meningkat diikuti oleh bertambahnya penggunaan kendaraan bermotor sebagai sarana transportasi dan mobilitas masyarakat. Kondisi tersebut menjadikan keselamatan (safety) sebagai aspek penting dalam pengembangan kendaraan, terutama pada sistem pengereman (braking system) yang berfungsi mengendalikan laju hingga menghentikan kendaraan secara aman. Kinerja sistem pengereman dipengaruhi oleh kualitas kampas rem (brake pad), yang bekerja melalui mekanisme gesekan (friction) dengan cakram atau tromol untuk menghasilkan gaya pengereman[1] [2].

Sebagai komponen yang berhubungan langsung dengan proses pengereman, kampas rem harus memiliki sifat mekanik dan karakteristik tribologi (tribological characteristics) yang memadai. Parameter penting yang perlu diperhatikan meliputi kekuatan mekanik, kekerasan (hardness), ketahanan aus (wear resistance), stabilitas termal (thermal stability), dan kemampuan mempertahankan koefisien gesek (coefficient of friction) selama pengereman. Ketidaksesuaian karakteristik tersebut dapat mengurangi efektivitas pengereman dan meningkatkan risiko kegagalan fungsi. Oleh karena itu, pengembangan material kampas rem perlu mempertimbangkan keseimbangan antara kekuatan, ketahanan aus, dan kestabilan performa selama penggunaannya[3].

Pengembangan material alternatif turut mendorong pemanfaatan komposit berbasis serat alami (natural fiber composites). Serat alami berpotensi menjadi bahan penguat karena ketersediaannya, massa jenis yang relatif rendah, serta peluang pemanfaatan biomassa yang belum dimanfaatkan secara optimal[4] [5]. Penggunaan serat alami tidak secara otomatis menjadikan produk akhir lebih ramah lingkungan atau lebih aman. Penilaian tersebut perlu mempertimbangkan keseluruhan komposisi material, termasuk matriks polimer dan katalis, proses produksi, masa pakai, serta karakteristik partikel yang dihasilkan selama gesekan. Oleh sebab itu, pemanfaatan serat alami dalam penelitian ini difokuskan pada evaluasi karakteristik material, bukan pada pembuktian dampak lingkungan atau keamanan produk secara menyeluruh.

Serat buah pinang merupakan salah satu bahan alami yang berpotensi digunakan sebagai penguat komposit karena ketersediaannya di wilayah tropis dan kandungan lignoselulosanya. Sejumlah penelitian terdahulu telah mengevaluasi komposit berbasis buah pinang, tetapi menggunakan pendekatan material dan parameter pengujian yang berbeda. Choudhary et al. meneliti komposit bermatriks epoxy yang diperkuat serat pendek buah pinang dengan variasi kandungan serat dan pengujian kekuatan tarik serta keausan geser kering[6]. Sementara itu, Sakib et al. mengevaluasi komposit epoxy dengan variasi kandungan serat buah pinang, termasuk 10%, dan melaporkan kekuatan tarik tertinggi sebesar 20,38 MPa pada komposisi tersebut. Hasil penelitian-penelitian itu menunjukkan bahwa komposisi penguat berperan dalam menentukan sifat mekanik komposit[7]..

Meskipun demikian, hasil dari penelitian terdahulu belum dapat langsung disamakan dengan karakteristik komposit bermatriks poliester. Perbedaan jenis matriks, bentuk penguat, proporsi resin dan bahan pengisi, perlakuan serat, serta metode dan kondisi pengujian dapat menghasilkan respons mekanik dan keausan yang berbeda. Selain itu, penelitian yang menggabungkan penggunaan serat dan serbuk buah pinang dalam matriks poliester perlu mengevaluasi kedua parameter tersebut secara bersamaan agar pengaruh variasi komposisi terhadap kekuatan tarik dan ketahanan aus dapat diketahui. Perbedaan pendekatan ini menjadi dasar penting untuk mengkaji potensi material secara lebih spesifik.

Kualitas komposit juga dipengaruhi oleh ikatan antarmuka (interfacial bonding) antara matriks dan bahan penguat, distribusi partikel, serta kemungkinan terbentuknya porositas selama proses pembuatan[8]. Ikatan antarmuka yang kurang baik dapat menghambat transfer tegangan, sedangkan distribusi bahan yang tidak merata berpotensi menyebabkan perbedaan

sifat antarspesimen. Dalam aplikasi kampas rem, kondisi tersebut perlu diperhatikan karena material mengalami pembebanan mekanik sekaligus gesekan berulang. Oleh karena itu, pengujian eksperimental diperlukan untuk mengetahui karakteristik aktual material yang dihasilkan.

Pengujian tarik dapat dilakukan dengan mengacu pada ASTM D638 untuk mengevaluasi parameter mekanik yang relevan, sedangkan pengujian keausan menggunakan metode pin-on-disc dapat mengacu pada ASTM G99. Pengujian tarik digunakan untuk mengukur respons material terhadap beban tarik, sementara pengujian keausan mengevaluasi kehilangan material akibat kontak gesek dalam kondisi pengujian tertentu. Kedua pengujian tersebut memberikan informasi yang saling melengkapi, tetapi tidak cukup untuk menyimpulkan kelayakan kampas rem secara menyeluruh tanpa pengujian tambahan, seperti koefisien gesek, kekerasan, stabilitas termal, dan performa pengereman[9].

Berdasarkan uraian tersebut kesenjangan penelitian ini terletak pada perlunya evaluasi terpadu terhadap sifat tarik dan ketahanan aus komposit bermatriks poliester yang menggunakan serat dan serbuk buah pinang sebagai penyusun material, dengan memperhatikan variasi komposisi yang diteliti. Penelitian ini bertujuan menganalisis sifat tarik dan laju keausan pada tiga variasi komposisi komposit serta mengidentifikasi variasi yang menunjukkan karakteristik paling potensial berdasarkan kedua parameter tersebut. Kontribusi penelitian ini adalah menyediakan data eksperimental mengenai hubungan variasi komposisi dengan kekuatan tarik dan ketahanan aus komposit poliester berbahan buah pinang sebagai dasar untuk penelitian lanjutan mengenai material kampas rem. Penelitian ini tidak dimaksudkan untuk menyatakan bahwa material telah memenuhi seluruh persyaratan kampas rem atau terbukti lebih aman dan ramah lingkungan daripada material konvensional.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif dan komparatif. Penelitian dilakukan melalui pembuatan kampas rem komposit berbahan dasar resin poliester dengan penguat serat dan serbuk buah pinang, kemudian dilakukan pengujian sifat mekanik dan karakteristik keausan. Hasil pengujian kampas rem komposit dibandingkan dengan kampas rem konvensional sebagai pembanding.

Penelitian dilaksanakan pada Januari–Juni 2026. Proses pembuatan spesimen dilakukan di Laboratorium Proses Produksi/Bengkel Manufaktur Fakultas Teknik Universitas Al Azhar Medan, sedangkan pengujian material dilakukan di Laboratorium Uji Material Fakultas Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara.

2.2 Alat dan Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan meliputi resin poliester tak jenuh BQTN 157-EX sebagai matriks, katalis Methyl Ethyl Ketone Peroxide (MEKPO), serat buah pinang sebagai bahan penguat, serbuk buah pinang sebagai bahan pengisi (*filler*), serta kampas rem komersial sebagai material pembanding. Serat buah pinang dibersihkan, dikeringkan, dan dipotong dengan panjang 5–10 mm serta diameter sekitar 0,2–0,5 mm. Serbuk buah pinang diperoleh melalui proses penghalusan dan pengayakan menggunakan ukuran mesh 40–60, dengan diameter partikel sekitar 250–400 μm.

Peralatan yang digunakan meliputi timbangan digital, cetakan spesimen, mesin press, oven pengering, mesin uji tarik, mesin uji keausan *pin-on-disc*, jangka sorong, mikrometer, dan peralatan pendukung lainnya.

2.3 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Bahan yang digunakan terdiri atas serat buah pinang, serbuk buah pinang, resin poliester *BQTN 157-EX*, katalis MEKPO (*Methyl Ethyl Ketone Peroxide*), serta kampas rem konvensional sebagai material pembanding. Serat buah pinang dibersihkan, dikeringkan, kemudian dipotong dengan panjang sekitar 5–10 mm. Serbuk buah pinang diperoleh melalui proses penghalusan dan penyaringan dengan ukuran sekitar 250–400 μm. Spesimen komposit dibuat dalam tiga variasi komposisi, yaitu A, B, dan C, dengan total volume campuran sebesar 38,5 ml.

Tabel 1 Komposisi Material Penyusun Uji Keausan

Material penyusun	**A (%)**	**A (mL)**	**B (%)**	**B (mL)**	**C (%)**	**C (mL)**
Resin poliester	65	25,025	60	23,100	55	21,175
Katalis MEKPO	5	1,925	5	1,925	5	1,925
Serbuk buah pinang	20	7,700	25	9,625	30	11,550
Serat buah pinang	10	3,850	10	3,850	10	3,850
Total	**100**	**38,500**	**100**	**38,500**	**100**	**38,500**

Komposisi A menggunakan resin sebesar 65%, serbuk buah pinang 20%, serat buah pinang 10%, dan katalis 5%. Pada komposisi B, persentase resin dikurangi menjadi 60% dan serbuk buah pinang ditingkatkan menjadi 25%. Sementara itu, komposisi C menggunakan resin sebesar 55% dan serbuk buah pinang sebesar 30%. Persentase serat dan katalis dipertahankan pada nilai yang sama pada seluruh variasi untuk mengetahui perubahan karakteristik material seiring peningkatan kandungan serbuk buah pinang.

Perhitungan pada Tabel 1 merupakan konversi persentase terhadap volume nominal total 38,5 mL. Apabila serat dan serbuk ditimbang menggunakan timbangan digital, massa aktual masing-masing bahan perlu dicatat dan dasar komposisi harus dinyatakan secara konsisten. Volume nominal bahan padat tidak dapat langsung dianggap sama dengan volume curah atau volume padatan tanpa metode pengukuran yang sesuai.

2.4 Pembuatan spesimen

Pembuatan spesimen dilakukan melalui tahapan persiapan bahan, pencampuran, pencetakan, pengepresan, proses pengerasan (*curing*), dan penyelesaian permukaan (*finishing*). Serat buah pinang terlebih dahulu dibersihkan dari kotoran, dikeringkan untuk mengurangi kadar air, kemudian dipotong dengan panjang 5–10 mm. Serbuk buah pinang dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan mesh 40–60 untuk memperoleh ukuran partikel yang relatif seragam.

Resin poliester, serat buah pinang, dan serbuk buah pinang disiapkan berdasarkan variasi komposisi yang telah ditentukan. Bahan dicampur secara manual selama kurang lebih 5 menit hingga merata. Katalis MEKPO kemudian ditambahkan sesuai proporsi yang ditetapkan dan campuran diaduk kembali hingga homogen. Campuran selanjutnya dimasukkan ke dalam cetakan yang telah dilapisi *release agent* atau wax untuk memudahkan pelepasan spesimen.

Pengepresan dilakukan menggunakan mesin press untuk membantu pemadatan material dan mengurangi terbentuknya rongga udara. Setelah pencetakan, spesimen menjalani proses *curing* menggunakan oven sesuai dengan karakteristik resin dan petunjuk teknis produsennya, kemudian didinginkan pada suhu ruang. Spesimen yang telah mengeras dilepas dari cetakan dan diamplas untuk meratakan permukaan serta menyesuaikan dimensi sebelum pengujian.

Tekanan dan durasi pengepresan serta suhu dan lama *curing* harus ditetapkan berdasarkan prosedur pembuatan yang digunakan dan rekomendasi teknis resin. ASTM D638 dan ASTM G99-04 tidak menetapkan satu nilai universal untuk parameter pembuatan tersebut.

2.5 Pengujian tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kemampuan material dalam menahan beban tarik, termasuk kekuatan tarik maksimum, regangan, dan modulus elastisitas. Pengujian mengacu pada ASTM D638 sebagai standar pengujian sifat tarik plastik. Spesimen yang digunakan dalam skripsi memiliki panjang 150 mm dan lebar 20 mm. Dimensi tersebut perlu dicocokkan dengan tipe spesimen dan geometri lengkap yang dipersyaratkan ASTM D638 sebelum pengujian dinyatakan sepenuhnya sesuai standar.

Sebelum pengujian, dimensi awal spesimen diukur menggunakan jangka sorong atau mikrometer. Spesimen dipasang pada penjepit mesin uji tarik dalam posisi sejajar, kemudian diberikan beban tarik hingga mengalami kegagalan. Beban dan pertambahan panjang direkam selama pengujian untuk memperoleh data tegangan dan regangan. Jumlah spesimen untuk setiap variasi, kecepatan penarikan, serta ketelitian alat mengikuti catatan pengujian dan pengaturan mesin yang digunakan. Untuk penerapan ASTM D638, jumlah spesimen dan kecepatan pengujian ditentukan berdasarkan tipe spesimen, sifat material, serta ketentuan standar yang relevan.

2.6 Pengujian Keausan

Pengujian keausan dilakukan menggunakan metode *pin-on-disc* dengan mengacu pada ASTM G99-04. Spesimen berbentuk cakram memiliki diameter 70 mm dan tebal 10 mm. Pengujian dilakukan dengan beban 1 kg, kecepatan putar 300 rpm, dan durasi 15 menit untuk setiap spesimen. Pin ditempatkan pada permukaan spesimen dengan jarak 25 mm dari titik pusat cakram. Seluruh variasi diuji menggunakan parameter operasi yang sama agar hasilnya dapat dibandingkan.

Dengan radius lintasan 25 mm, kecepatan 300 rpm, dan durasi 15 menit, jarak geser teoritis adalah sekitar 706,86 m. Perhitungan ini berlaku apabila radius lintasan aktual benar-benar 25 mm dan kecepatan putar konstan selama pengujian.

Material *counterface*, kekerasan dan kondisi permukaannya, serta ketelitian timbangan perlu dicatat berdasarkan spesifikasi alat dan dokumentasi laboratorium. Parameter tersebut harus dilaporkan untuk mendukung keterulangan pengujian. Karena ASTM G99-04 mengatur prosedur pengujian keausan dan gesekan, kesesuaian penuh dengan standar perlu dinilai berdasarkan keseluruhan konfigurasi dan prosedur aktual.

2.7 Pengamatan Permukaan Spesimen

Pengamatan permukaan dilakukan sebelum dan sesudah pengujian keausan untuk mengetahui perubahan kondisi material akibat gesekan. Pengamatan dilakukan secara visual atau menggunakan alat bantu optik yang tersedia. Aspek yang diamati meliputi perubahan tekstur permukaan, goresan, retakan, pelepasan partikel, dan kerusakan lokal. Dokumentasi berupa foto digunakan sebagai data pendukung untuk membantu menjelaskan hasil pengukuran kuantitatif.

Identifikasi mekanisme keausan, seperti abrasif atau adhesif, dilakukan apabila terdapat bukti visual atau karakteristik permukaan yang mendukung. Pengamatan ini juga digunakan untuk mengidentifikasi kemungkinan ketidakseragaman distribusi bahan penguat dan rongga pada spesimen apabila dapat terlihat pada permukaan yang diamati.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa variasi komposisi material memengaruhi nilai tegangan maksimum, beban maksimum, dan karakteristik mekanik spesimen. Spesimen A menghasilkan rata-rata tegangan maksimum tertinggi sebesar 8,57 MPa, beban maksimum sebesar 822,10 N, dan *yield strength* sebesar 4,59 MPa. Sementara itu, spesimen B

menghasilkan tegangan maksimum rata-rata sebesar 4,97 MPa, sedangkan spesimen C sebesar 5,02 MPa.

Pada parameter modulus elastisitas, spesimen A memperoleh nilai rata-rata tertinggi sebesar 806,71 MPa, diikuti spesimen C sebesar 163,28 MPa dan spesimen B sebesar 159,52 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi A memiliki kemampuan menahan tegangan tarik paling tinggi, sedangkan nilai modulus elastisitasnya juga lebih besar dibandingkan variasi lainnya.

Tabel 2 Hasil pengujian tarik langsung

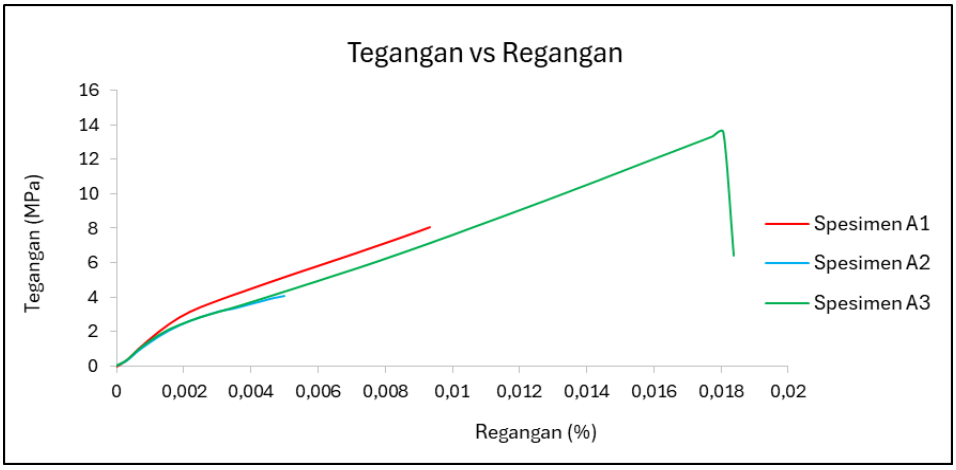
Parameter	**Spesimen**								
	A1	**A2**	**A3**	**B1**	**B2**	**B3**	**C1**	**C2**	**C3**
Tegangan Maksimum (*Max Stress*) (MPa)	8.05	4.10	13.55	5.95	3.71	5.24	4.82	6.00	4.23
Beban Maksimum (*Max Load*) (N)	772.95	393.35	1300	571.02	356.53	505.02	463,11	576.02	406.02
Regangan Maksimum (*Max Strain*) (%)	0.0093	0.0050	0.0184	0.0383	0.0224	0.0333	0.0321	0.0358	0.0246
Pertambahan Panjang (*Max Elongation*) (mm)	0.60	0.32	1.18	2.45	1.44	2.13	2.05	2.29	1.58
Modulus Elastisitas (MPa)	861.59	821.48	737.07	155.27	165.56	157.74	150.32	167.49	172.03
Modulus Young (GPa)	15.78	13.73	14.09	14.6	18.1	22.1	17.9	24.6	26.5
Tegangan Luluh (*Yield Strength*) (MPa)	5.41	3.98	4.39	5.28	3.67	4.08	4.24	4.38	2.74

Perbedaan hasil tersebut menunjukkan bahwa setiap variasi komposisi memiliki karakteristik mekanik yang berbeda. Spesimen A memiliki kemampuan menahan tegangan tarik yang lebih tinggi dibandingkan variasi B dan C. Perbedaan ini dapat berkaitan dengan proporsi resin, serbuk buah pinang, serta karakteristik ikatan antarpenyusun komposit. Namun, pengaruh komposisi tersebut perlu dikaji dengan mempertimbangkan homogenitas campuran, distribusi serat, dan kemungkinan terbentuknya porositas selama proses pembuatan spesimen.

Modulus elastisitas merupakan perbandingan antara perubahan tegangan dan perubahan regangan pada daerah elastis material. Secara matematis, modulus elastisitas dinyatakan dengan persamaan (1):

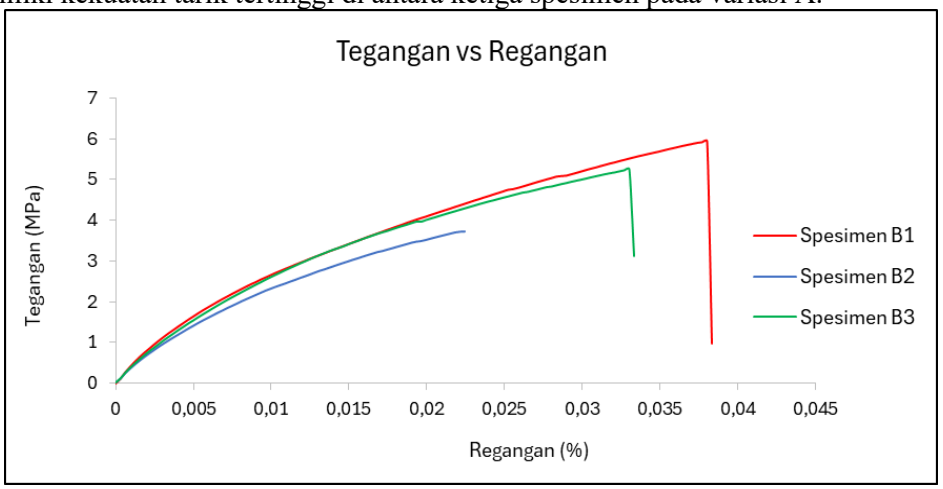
$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (1)$$

Modulus elastisitas dan Modulus Young tidak seharusnya diperlakukan sebagai dua parameter mekanik yang berbeda dalam tabel hasil pengujian ini. Berdasarkan data yang tersedia, nilai modulus elastisitas digunakan sebagai parameter kekakuan material. Nilai Modulus Young yang tercatat secara terpisah belum dapat digabungkan atau dikonversi karena terdapat perbedaan nilai yang tidak dapat dijelaskan hanya melalui perubahan satuan.



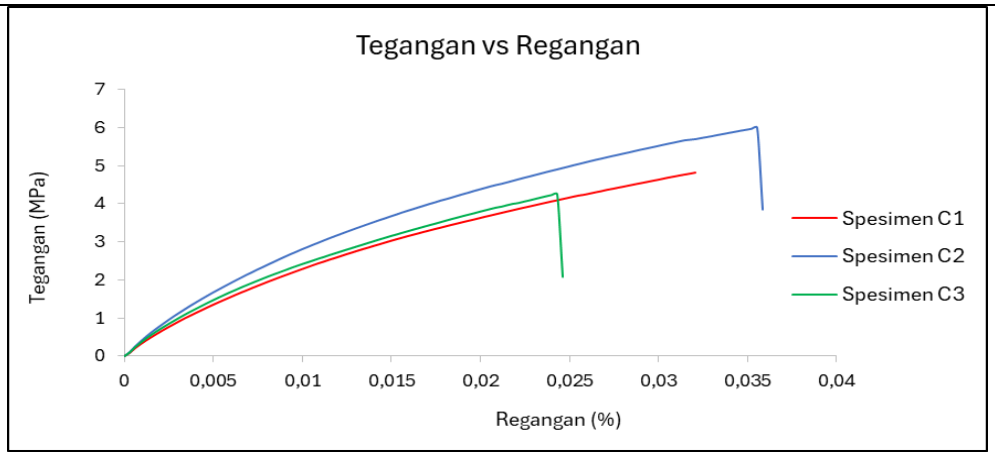
Gambar 1 Grafik tegangan vs regangan spesimen A

Berdasarkan grafik tegangan terhadap regangan pada spesimen A, spesimen A1 mencapai tegangan maksimum sekitar 8,05 MPa, A2 sebesar 4,10 MPa, dan A3 sebesar 13,55 MPa. Spesimen A3 menunjukkan kemampuan menahan tegangan tertinggi sebelum mengalami penurunan tegangan, sedangkan A2 memiliki nilai terendah. Perbedaan bentuk kurva menunjukkan adanya variasi respons material terhadap pembebanan tarik. Secara keseluruhan, A3 memiliki kekuatan tarik tertinggi di antara ketiga spesimen pada variasi A.



Gambar 2 Grafik tegangan vs regangan spesimen B

Berdasarkan grafik tegangan terhadap regangan pada spesimen B, spesimen B1 mencapai tegangan maksimum sekitar 5,95 MPa, B2 sebesar 3,71 MPa, dan B3 sebesar 5,24 MPa. Spesimen B1 menunjukkan tegangan maksimum tertinggi, sedangkan B2 memiliki nilai terendah. Perbedaan kurva menunjukkan adanya variasi respons masing-masing spesimen terhadap pembebanan tarik. Secara keseluruhan, B1 memiliki kemampuan menahan tegangan tarik tertinggi pada variasi B, diikuti B3 dan B2.



Gambar 3 Grafik tegangan vs regangan spesimen C

Berdasarkan grafik tegangan terhadap regangan pada spesimen C, spesimen C1 mencapai tegangan maksimum sekitar 4,82 MPa, C2 sebesar 6,00 MPa, dan C3 sebesar 4,23 MPa. Spesimen C2 menunjukkan tegangan maksimum tertinggi di antara variasi C, sedangkan C3 memiliki nilai terendah. Perbedaan kurva menunjukkan adanya variasi respons masing-masing spesimen terhadap pembebanan tarik hingga mengalami kegagalan. Secara keseluruhan, C2 memiliki kemampuan menahan tegangan tarik tertinggi pada variasi C, diikuti C1 dan C3.

Pengujian keausan dilakukan menggunakan metode *pin-on-disc* dengan beban 1 kg, kecepatan putar 300 rpm, dan waktu pengujian 15 menit. Berdasarkan konfigurasi pengujian pada penelitian ini, posisi pin berada pada jarak 25 mm dari pusat spesimen. Dengan demikian, radius lintasan gesek yang digunakan dalam perhitungan adalah 0,025 m.

Dengan demikian, jarak geser yang digunakan dalam perhitungan laju keausan adalah 706,86 m, bukan 1.413 m. Nilai 1.413 m setara dengan radius lintasan sekitar 50 mm. Radius tersebut tidak sesuai dengan posisi pin 25 mm dari pusat spesimen yang tercatat dalam metode penelitian dan juga melampaui radius cakram sebesar 35 mm pada spesimen berdiameter 70 mm. Laju keausan volumetrik dihitung dengan membagi kehilangan volume material terhadap jarak geser. Hasil perhitungan ulang laju keausan berdasarkan jarak geser 706,86 m disajikan pada Tabel 2.

Tabel 3 Hasil pengujian keausan (gesek)

Spesimen	**Massa Awal, m_1 (g)**	**Massa Akhir, m_2 (g)**	**Kehilangan Massa (g)**	**Densitas (g/cm³)**	**Kehilangan Volume, Vloss (mm³)**	**Jarak Sliding, X (m)**	**Laju Keausan (*Wear Rate*) (mm³/m)**
A1	3.112	3.108	0.004	1.11	3.60	1413	2.55×10^{-3}
A2	3.085	3.081	0.004	1.10	3.64	1413	2.58×10^{-3}
A3	3.104	3.100	0.004	1.12	3.57	1413	2.53×10^{-3}
Rata-rata			**0.004**	**1.11**	**3.60**		**2.55×10^{-3}**
B1	4.173	4.170	0.003	1.08	2.78	1413	1.97×10^{-3}
B2	4.152	4.149	0.003	1.09	2.75	1413	1.95×10^{-3}
B3	4.181	4.178	0.003	1.08	2.78	1413	$1.97 \times$

Spesimen	**Massa Awal, m_1 (g)**	**Massa Akhir, m_2 (g)**	**Kehilangan Massa (g)**	**Densitas (g/cm³)**	**Kehilangan Volume, Vloss (mm³)**	**Jarak Sliding, X (m)**	**Laju Keausan (*Wear Rate*) (mm³/m)**
							10^{-3}
Rata-rata			**0.003**	**1.08**	**2.77**	**1413**	**1.96×10^{-3}**
C1	3.105	3.103	0.002	1.07	1.87	1413	1.32×10^{-3}
C2	3.088	3.086	0.002	1.08	1.85	1413	1.31×10^{-3}
C3	3.116	3.114	0.002	1.07	1.87	1413	1.32×10^{-3}
Rata-rata			**0.002**	**1.07**	**1.86**	**1413**	**1.32×10^{-3}**

Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi A memiliki rata-rata laju keausan sebesar $5{,}10 \times 10^{-3}$ mm³/m, variasi B sebesar $3{,}92 \times 10^{-3}$ mm³/m, dan variasi C sebesar $2{,}64 \times 10^{-3}$ mm³/m. Berdasarkan hasil tersebut, variasi C menunjukkan ketahanan aus terbaik karena memiliki laju keausan paling rendah, diikuti variasi B dan A.

Variasi C menggunakan komposisi 55% resin, 5% katalis, 30% serbuk buah pinang, dan 10% serat buah pinang. Rendahnya laju keausan pada variasi C menunjukkan bahwa kehilangan volume material akibat gesekan relatif lebih kecil dibandingkan kedua variasi lainnya. Hasil ini mengindikasikan bahwa perubahan proporsi bahan penyusun berhubungan dengan perubahan ketahanan komposit terhadap keausan.

Jika dilihat dari sebaran hasil pengulangan, variasi A memiliki laju keausan antara $5{,}05 \times 10^{-3}$ hingga $5{,}15 \times 10^{-3}$ mm³/m. Variasi B berada pada rentang $3{,}89 \times 10^{-3}$ hingga $3{,}93 \times 10^{-3}$ mm³/m, sedangkan variasi C berada pada rentang $2{,}62 \times 10^{-3}$ hingga $2{,}65 \times 10^{-3}$ mm³/m. Rentang tersebut menunjukkan bahwa hasil pengujian pada masing-masing variasi relatif berdekatan. Meskipun demikian, jumlah tiga spesimen pada setiap variasi masih terbatas untuk menggambarkan variasi karakteristik material secara menyeluruh.

Perbedaan laju keausan dapat berkaitan dengan karakteristik matriks resin, distribusi partikel buah pinang, serta ikatan antara matriks dan serat sebagai bahan penguat. Komposisi yang berbeda dapat menghasilkan karakteristik permukaan dan ketahanan material terhadap pelepasan partikel yang berbeda pula. Namun, pengaruh setiap faktor tersebut belum dapat dipastikan hanya berdasarkan nilai laju keausan, sehingga diperlukan pengamatan struktur permukaan dan distribusi material untuk menjelaskan mekanisme keausan secara lebih mendalam.

Temuan mengenai pengaruh komposisi terhadap karakteristik komposit juga didukung oleh penelitian Sakib et al. (2025), yang melaporkan bahwa kandungan serat buah pinang sebesar 10% menghasilkan kekuatan tarik tertinggi sebesar 20,38 MPa pada komposit epoxy[7]. Sementara itu, Choudhary et al. melaporkan bahwa komposit epoxy yang diperkuat serat buah pinang dapat mencapai kekuatan tarik sekitar 20 MPa pada komposisi tertentu[6]. Meskipun kedua penelitian tersebut berfokus pada karakteristik mekanik, hasilnya menunjukkan bahwa proporsi bahan penyusun berperan dalam menentukan sifat komposit. Perbandingan dengan penelitian terdahulu tetap perlu mempertimbangkan perbedaan komposisi, metode pembuatan, perlakuan serat, dan kondisi pengujian, terutama karena kekuatan tarik dan ketahanan aus merupakan parameter yang berbeda.

Berdasarkan hasil pengujian tarik dan keausan, variasi A memiliki kekuatan tarik tertinggi dengan rata-rata *Max Stress* sebesar 8,57 MPa, *Max Load* sebesar 822,10 N, dan *Yield Strength* sebesar 4,59 MPa. Sementara itu, variasi C memiliki laju keausan terendah sebesar

2,64 × 10^{-3} mm^3/m. Hasil pengujian modulus elastisitas juga menunjukkan bahwa variasi A memiliki nilai rata-rata tertinggi sebesar 806,71 MPa.

Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa variasi yang memiliki kekuatan tarik tertinggi tidak selalu menghasilkan ketahanan aus terbaik. Hal ini disebabkan oleh pengujian tarik dan keausan yang mengevaluasi respons material terhadap kondisi pembebanan berbeda. Pengujian tarik menggambarkan kemampuan material dalam menahan beban tarik, sedangkan pengujian keausan menggambarkan kehilangan volume material akibat kontak dan gesekan.

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, variasi C merupakan komposisi yang paling potensial untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai material komposit kampas rem, khususnya dari aspek ketahanan aus. Meskipun demikian, hasil tersebut belum cukup untuk menyatakan bahwa variasi C telah memenuhi seluruh persyaratan sebagai material kampas rem. Pengujian lanjutan terhadap koefisien gesek, kekerasan, stabilitas termal, dan kinerja pengereman masih diperlukan. Selain itu, perbandingan dengan kampas rem komersial menggunakan kondisi pengujian yang setara diperlukan untuk mengevaluasi potensi penerapannya secara lebih menyeluruh.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian tarik dan keausan pada material komposit berbahan resin, serbuk buah pinang, dan serat buah pinang, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa variasi A memiliki karakteristik kekuatan tarik terbaik, dengan rata-rata tegangan maksimum (*maximum stress*) sebesar 8,57 MPa, beban maksimum (*maximum load*) sebesar 822,10 N, dan tegangan luluh (*yield strength*) sebesar 4,59 MPa. Sementara itu, variasi C memiliki rata-rata modulus elastisitas sebesar 163,28 MPa, sedikit lebih tinggi dibandingkan variasi B sebesar 159,52 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi A lebih unggul dalam parameter kekuatan tarik, sedangkan variasi B dan C memiliki karakteristik kekakuan yang berbeda.
2. Hasil pengujian keausan menunjukkan bahwa variasi C memiliki ketahanan aus terbaik dengan rata-rata laju keausan sebesar 2,64 × 10^{-3} mm^3/m, diikuti variasi B sebesar 3,92 × 10^{-3} mm^3/m dan variasi A sebesar 5,10 × 10^{-3} mm^3/m. Nilai laju keausan yang lebih rendah menunjukkan kehilangan volume material yang lebih kecil selama proses pengujian. Dengan demikian, variasi C menunjukkan performa paling baik berdasarkan parameter ketahanan aus.
3. Berdasarkan perbandingan hasil pengujian tarik dan keausan, variasi C dengan komposisi 55% resin, 5% katalis, 30% serbuk buah pinang, dan 10% serat buah pinang dapat dipertimbangkan sebagai kandidat untuk pengembangan material komposit kampas rem apabila ketahanan aus menjadi kriteria utama. Namun, terdapat kompromi antara kedua karakteristik tersebut karena variasi A memiliki kekuatan tarik lebih tinggi, sedangkan variasi C memiliki laju keausan lebih rendah. Oleh karena itu, belum dapat ditentukan satu variasi yang unggul secara keseluruhan hanya berdasarkan kedua pengujian tersebut.
4. Penelitian ini masih terbatas pada pengujian tarik dan keausan sehingga belum cukup untuk menyimpulkan kelayakan material sebagai kampas rem. Penelitian lanjutan perlu mencakup pengujian koefisien gesek, karakteristik gesekan pada berbagai kondisi temperatur, serta pengujian dan pembandingan secara langsung dengan kampas rem komersial. Pengujian tambahan tersebut diperlukan untuk memperoleh gambaran yang lebih menyeluruh mengenai karakteristik dan potensi penggunaan material komposit sebagai bahan kampas rem.

5. SARAN

Berdasarkan keterbatasan penelitian, beberapa saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Melakukan pengujian tambahan terhadap koefisien gesek, kekerasan, dan stabilitas termal untuk mengetahui karakteristik material komposit secara lebih menyeluruh.
2. Melakukan pengamatan struktur permukaan sebelum dan sesudah pengujian keausan untuk mengidentifikasi mekanisme keausan, distribusi partikel, serta kemungkinan terjadinya pelepasan material.
3. Mengoptimalkan variasi komposisi resin, buah pinang, dan serat buah pinang untuk memperoleh keseimbangan antara kekuatan tarik dan ketahanan aus.
4. Melakukan pengujian pembanding dengan kampas rem komersial menggunakan kondisi pengujian yang setara agar potensi material komposit yang dihasilkan dapat dievaluasi secara lebih objektif.

DAFTAR PUSTAKA

[1] N. Ismail *dkk.*, *Gagasan Pemikiran Road Safety di Indonesia-Rajawali Pers*. PT. RajaGrafindo Persada, 2024. Diakses: 22 Februari 2026. [Daring]. Tersedia pada: https://books.google.com/books?hl=id&lr=&id=-59qEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Perkembangan+industri+otomotif+yang+semakin+pesat+berbanding+lurus+dengan+meningkatnya+kebutuhan+masyarakat+terhadap+kendaraan+bermotor+sebagai+sarana+mobilitas.+Seiring+bertambahnya+jumlah+kendaraan,+aspek+keselamatan+(safety)+menjadi+perhatian+utama,+khususnya+pada+sistem+pengereman+(braking+system)+yang+berfungsi+mengurangi+kecepatan+dan+menghentikan+kendaraan+secara+terkendali.&ots=5gDss8KMT0&sig=-4T8yNNt6eR762kfCB3GMg3LdSc

[2] I. E. Putra dan J. Agusti, "Analisa pengaruh beban pengereman dan variasi merk kampas rem terhadap keausan kampas rem," *Rang Teknik Journal*, vol. 3, no. 1, hlm. 60–67, 2020.

[3] A. Fauzi, "Pengaruh Variasi Tekanan pada Produksi Komposit Friction Materials Kampas Rem terhadap Sifat Mekanik, Fisik dan Tribologi," PhD Thesis, Universitas Islam Indonesia, 2025. Diakses: 22 Februari 2026. [Daring]. Tersedia pada: https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/58643

[4] M. R. D. Admoko, "Pengaruh Variasi Suhu Pada Produksi Komposit Friction Materials Kampas Rem terhadap Sifat Mekanik dan Tribologi," PhD Thesis, Universitas Islam Indonesia, 2025. Diakses: 22 Februari 2026. [Daring]. Tersedia pada: https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/58649

[5] I. Ismail, M. S. Saiful, Sri Aprilia, dan I. F. Mulana, *Material Komposit*. USK Press, 2026. Diakses: 22 Februari 2026. [Daring]. Tersedia pada: https://books.google.com/books?hl=id&lr=&id=c82nEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Material+komposit+(composite+material)+berkembang+sebagai+alternatif+yang+menjanjikan+dalam+industri+kampas+rem.+Material+komposit+merupakan+kombinasi+antara+matriks+(matrix)+dan+bahan+penguat+(reinforcement)+yang+dirancang+untuk+menghasilkan+sifat+mekanik+yang+lebih+baik+dibandingkan+material+tunggal.+Penggunaan+serat+alami+(natural+fiber)+sebagai+penguat+dalam+komposit+semakin+banyak+diteliti+karena+memiliki+keunggulan+berupa+ketersediaan+melimpah,+bobot+ringan,+biaya+relatif+rendah,+serta+lebih+ramah+lingkungan+(eco-friendly).&ots=cT6VumK734&sig=l0f2BJMNUiwjqSg1PfiCbObIcWE

[6] P. K. Choudhary, B. P. Nanda, dan A. Satapathy, "Development, characterization, and parametric analysis of dry sliding wear behavior of epoxy-short betel nut fiber composite using response surface method and neural computation," *Polymers and Polymer Composites*, vol. 30, hlm. 09673911211066722, Jan 2022, doi: 10.1177/09673911211066722.

[7] A. Sakib, A. Nayeem, K. Dey, A. I. Hasan, dan R. Islam, "Effects of Fiber Content on the Mechanical Properties of Betel Nut Epoxy Composites: An Experimental and Analytical Study," *SciEn Conference Series: Engineering*, vol. 3, hlm. 131–136, Nov 2025, doi: 10.38032/scse.2025.3.31.

[8] M. A. Muflikhun dan M. I. Nuryanta, *Komposit Serat Alam Pengenalan: Sifat Mekanis-Proses Manufaktur dan Perkembangannya*. Ugm Press, 2024. Diakses: 22 Februari 2026. [Daring]. Tersedia pada: https://books.google.com/books?hl=id&lr=&id=tEhbEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Sifat+higroskopis+(hygroscopic)+serat+alami+dapat+mempengaruhi+kestabilan+dimensi+dan+kekuatan+material.+Selain+itu,+kualitas+ikatan+antarmuka+(interfacial+bonding)+antara+serat+dan+matriks+sangat+menentukan+performa+akhir+komposit&ots=ehRM_r78e-&sig=SToACyJ8qA8eyDxEZ_t-IS5GpW0

[9] N. Upara dan T. B. Laksono, "Analisis Komparasi Kualitas Produk Kampas Rem Cakram Antara Original dengan After Market," *Jurnal ASIIMETRIK: Jurnal Ilmiah Rekayasa & Inovasi*, hlm. 26–33, 2019.