

# Studi Sifat Impak Ketahanan Aus dan Koefisien Gesek Bahan Komposit Arang Limbah Serbuk Gergaji Kayu Glugu Dengan Matrik Epoxy

I Gusti Ketut Puja

Jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma  
Kampus III Paingan, Maguwoharjo, Yogyakarta Indonesia  
Phone: +62-274-883037, Fax: +62-274-886529  
email: [ketut@dosen.usd.ac.id](mailto:ketut@dosen.usd.ac.id)

---

## Abstrak

Bahan limbah serbuk gergaji kayu glugu yang berlimpah sangat potensial untuk dimanfaatkan sebagai bahan rekayasa produk teknologi, seperti kampas rem kendaraan ringan. Beberapa sifat-sifat penting bahan untuk digunakan sebagai kampas rem adalah ketahanan aus, kekuatan impak dan koefisien gesek. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki koefisien gesek, laju keausan dan sifat impak bahan komposit arang serbuk gergaji kayu glugu bermatrik Epoxy. Serbuk gergaji dilakukan pengarang pada suhu 200, 300, 400 dan 500 °C selama 2 jam dan dilanjutkan uji kandungan karbon. Arang berkadar karbon tinggi digunakan sebagai filler komposit. Pembuatan komposit dilakukan dengan metode cetak tekan hidroliks dengan kandungan filler/partikel 28, 37, 46 dan 55% (v/v). Pengujian yang dilakukan meliputi koefisien gesek, keausan, impak charpy dan hasilnya diverifikasi dengan sifat kampas rem komersial. Pengarang suhu 200 dan 300 °C menghasilkan arang dengan kandungan karbon tertinggi (91,98% dan 89,64%). Peningkatan kandungan partikel meningkatkan koefisien gesek komposit. Komposit memiliki koefisien gesek yang lebih besar dari kampas rem Honda Supra (0,34). Koefisien gesek terbesar (0,445) terjadi pada komposit dengan kandungan partikel 55% (v/v). Komposit dengan kandungan partikel 46% memiliki laju keausan spesifik terendah 4,13 mm<sup>2</sup>/kg (ketahanan aus terbaik), meskipun masih lebih tinggi dari laju keausan spesifik kampas rem (2,04 mm<sup>2</sup>/kg). Komposit dengan kandungan partikel 37% memiliki tenaga patah 0,27 joule dan keuletan 2,87 kJ/mm<sup>2</sup>. Komposit yang berpeluang sebagai kampas rem adalah komposit dengan kandungan partikel 37%, namun ketahanan ausnya masih lebih rendah dari kampas rem.

**Kata kunci:** komposit, serbuk gergaji kayu glugu, laju keausan, kekuatan impak, koefisien gesek

## Abstract

Waste of sawdust materials of coconut wood is potential to be used as engineering materials of technology products, such as brake pad for light vehicle. Some important properties of materials to be used as a brake pad is wear resistance, impact strength and the friction coefficient. This study aims to investigate the coefficient of friction, wear and impact properties of composite materials of coconut wood charcoal sawdust with epoxy matrix. Coconut wood charcoal sawdust produced at temperatures varies from 200, 300, 400 and 500 degrees Celsius for 2 hours respectively. The charcoal was tested for carbon content. The charcoal with high carbon content then is used as filler composites. Composite is manufactured by hydraulic press cast method with content of filler (particle) varies from 28, 37, 46 and 55 percent (v/v). Testing was conducted on the coefficient of friction, wear, and Charpy impact. The results are verified with the properties of the commercial brake pad. Charcoal is produced at a temperature of 200 and 300 degrees Celsius has the highest carbon content (91.98% and 89.64%). Composite friction coefficient increases with increasing particle content. The largest friction coefficient (0.445) occurred in the composite with particles content about 55 percent (v/v). Composite friction coefficient increases with increasing content of particles where the value is greater than the commercial brake pad (0.34). Composite with particle content of 46 percent has the lowest specific wear rate, about 4.13 mm<sup>2</sup>/kg (the best wear resistance). This value still higher than the commercial brake pad (2.04 mm<sup>2</sup>/kg). Composite with particles content of 37 percent has the fracture energy about 0.27 joules, and the toughness about 2.87 kJ/mm<sup>2</sup>. Composite with particle content of 37 percent was likely can as a brake pad, but the wear resistance still lower than the commercial products

**Keywords:** composite, coconut wood sawdust, wear rate, impact strength, coefficient of friction

---

## 1. PENDAHULUAN

Pohon kelapa (*Cocos nucifera* L.) merupakan tanaman tropis yang penting bagi negara Asia dan Pasifik sebagai penghasil kopra. Kelapa dikenal sebagai pohon kehidupan karena kelapa merupakan tumbuhan serba guna yang hampir semua bagiannya bermanfaat bagi kehidupan manusia.

Menurut Arancon (1997) dan APCC (2000), di Indonesia terdapat perkebunan kelapa seluas 3.7 juta hektar dan 95%-nya merupakan tanaman rakyat. Lebih kurang 25% dari luas areal tersebut merupakan tanaman yang telah berumur di atas 50 tahun dan perlu diremajakan, karena produktifitas buahnya semakin menurun seiring dengan bertambah tuanya umur

pohon tersebut [1, 2].

Pohon kelapa yang berumur di atas 60 tahun dapat mencapai tinggi hingga 25 m dengan diameter rata-rata 40 cm dan kerapatan berkisar antara 0,20-1,20 g/cm<sup>3</sup>. Dengan diameter yang cukup besar, maka batang kelapa sebenarnya sangat potensial sebagai penghasil kayu untuk dimanfaatkan sebagai bahan bangunan [3, 4].

Sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan kebutuhan masyarakat, pemanfaatan pohon kelapa tidak hanya diambil buahnya dan kayunya saja. Namun, batang, buah dan daunnya telah bisa dimanfaatkan sebagai produk turunannya, seperti kayu sebagai bahan bangunan rumah, minyak, sapu lidi dan atap rumah. Sehubungan dengan banyaknya manfaat pohon kelapa, maka banyak pula limbah yang dihasilkan, seperti limbah serbuk gergaji di UKM penggergajian kayu.

Dewasa ini, serbuk gergaji kayu glugu sangat mudah didapatkan seiring dengan banyaknya kebutuhan kayu glugu sebagai bahan bangunan rumah hunian. Dengan banyaknya permintaan kayu glugu maka banyak pula berdiri perusahaan dan UKM penggergajian kayu. Limbah serbuk gergaji yang dihasilkan pun semakin bertambah. Serbuk gergaji tersebut belum atau tidak dimanfaatkan dan biasanya hanya dipakai sebagai kayu bakar. Selain di perusahaan dan UKM penggergajian kayu, limbah serbuk gergaji kayu glugu juga banyak ditemukan di pedesaan. Serbuk gergaji kayu glugu banyak dijumpai di pedesaan karena populasi pohon kelapa banyak tumbuh subur di kawasan pedesaan. Masyarakat desa biasanya tidak menggergajikan pohon kelapa di UKM penggergajian kayu, namun mereka lebih suka menggunakan jasa penggergajian kayu keliling. Oleh karena itu, di pedesaan banyak dijumpai serbuk gergaji kayu glugu yang hanya menjadi sampah saja.

Purwanto dkk. (1994) menyatakan komposisi limbah pada kegiatan pemanenan dan industri pengolahan kayu adalah sebagai berikut [5]:

1. Pada pemanenan kayu, limbah umumnya berbentuk kayu bulat, mencapai 66,16%
2. Pada industri penggergajian limbah kayu meliputi serbuk gergaji 10,6%. Sebetan 25,9% dan potongan 14,3%, dengan total limbah sebesar 50,8% dari jumlah bahan baku yang digunakan
3. Limbah pada industri kayu lapis meliputi limbah potongan 5,6%, serbuk gergaji 0,7%, sampah vinir basah 24,8%, sampah vinir kering 12,6% sisa kupasan 11,0% dan potongan tepi kayu lapis 6,3%. Total limbah kayu lapis ini sebesar 61,0% dari jumlah bahan baku yang digunakan.

Data Departemen Kehutanan dan Perkebunan tahun 1999/2000 menunjukkan bahwa produksi kayu lapis Indonesia mencapai 4,61 juta m<sup>3</sup>, sedangkan kayu gergajian mencapai 2,06 juta m<sup>3</sup>. Dengan asumsi limbah yang dihasilkan mencapai 61% maka diperkirakan limbah kayu yang dihasilkan mencapai lebih dari 5 juta m<sup>3</sup> [6].

Di sisi lain, perkembangan teknologi saat ini

sudah mulai mengarah pada konsep *back to nature*. Teknologi komposit pun sudah mulai bergeser dengan memanfaatkan bahan-bahan alam, seperti serat alam, kayu alam dan limbah olahan kayu. Sebagai contoh, Diharjo dkk (2005-2007) juga telah memanfaatkan bahan serat kenaf dan kayu sengon laut sebagai bahan rekayasa pembuatan panel komposit sandwich dan panel akustik [7]. Para peneliti di Indonesia sudah sewajarnya merasa bangga memanfaatkan *local genius materials* sebagai bahan rekayasa, seperti bahan serat alam, kayu dan limbah pengolahan kayu (termasuk serbuk gergaji). Serbuk gergaji merupakan jenis serat alam dalam bentuk partikel. Massa jenis serat alam adalah sekitar 1,3 – 1,4 gr/cm<sup>3</sup>. Dengan demikian, massa jenis serbuk gergaji pun akan hampir sama dengan massa jenis serat alam [8].

Bahan-bahan alam tersebut sangat potensial untuk direkayasa menjadi produk-produk teknologi yang lebih ramah lingkungan, seperti panel rumah hunian dan panel *car body* otomotif. Bahkan, bahan alam tersebut sangat berpotensi untuk digunakan sebagai komponen-komponen utama kendaraan, seperti kampas rem. Dalam beberapa waktu yang lalu, rekayasa kampas rem juga pernah dikembangkan dengan menggunakan *filler* limbah ampas tebu. Informasi ini memberikan inspirasi bahwa limbah serbuk gergajian pun berpeluang sebagai bahan kampas rem, meskipun hanya untuk kendaraan ringan. Sebelum digunakan sebagai *filler*/penguat, serbuk gergaji kayu glugu perlu dilakukan pengarangan terlebih dahulu, karena arang tidak dapat terurai dan aman dari hewan pemakan kayu. Matrik yang cocok sebagai pengikat pada kampas rem harus memiliki keuletan yang baik agar kampas rem yang dihasilkan tidak mudah pecah. Jenis polimer termoset yang banyak tersedia di pasaran dan memiliki keuletan yang tinggi adalah resin *epoxy*.

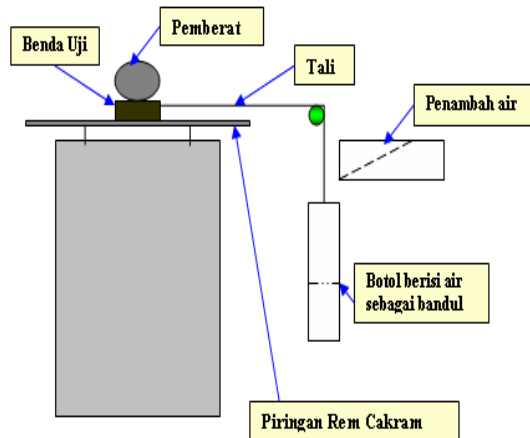
Uraian tersebut di atas menunjukkan bahwa ketersediaan limbah serbuk kayu glugu dalam jumlah banyak perlu dikembangkan penggunaannya menjadi produk rekayasa yang lebih bermanfaat, seperti sebagai bahan komposit untuk kampas rem kendaraan ringan. Sebelum digunakan sebagai kampas rem, berbagai kajian sifat fisis-mekanis komposit berbahan dasar arang serbuk gergaji bermatrik epoxy perlu dilakukan. Paper ini akan mempresentasikan pengaruh kandungan *filler*/penguat terhadap koefisien gesek, sifat dampak dan ketahanan aus bahan komposit arang serbuk gergaji kayu glugu bermatrik epoxy.

## 2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, bahan serbuk gergaji kayu glugu dilakukan pengarangan pada suhu 200, 300, 400 dan 500 °C selama 2 jam dan dilanjutkan uji kandungan unsur karbon (C). Arang dengan kandungan unsur C tinggi digunakan sebagai *filler*/penguat bahan komposit. Bahan matrik yang digunakan adalah resin epoxy. Pembuatan bahan komposit dilakukan dengan metode cetak tekan hidrolis. Variabel dalam pembuatan komposit adalah

variasi kandungan serbuk arang sebesar 28, 37, 46 dan 55% (v/v). Bentuk geometri benda uji impak mengacu pada standar ASTM A-370 [9]. Komposit yang sudah dicetak dipotong dengan menggunakan gerinda tangan untuk dijadikan spesimen uji keausan, uji impak charpy dan uji koefisien gesek. Pengujian keausan dilakukan dengan menggunakan *Oghosi High Speed Universal Wear Testing Machine (Type OAT-U)*, sedangkan pengujian impaknya dilakukan dengan menggunakan mesin uji impak charpy.

Pengujian koefisien gesek dilakukan dengan meletakkan sampel uji pada piringan rem (*disc brake*) dan sampel uji ditarik ke arah horisontal dengan tali yang dihubungkan dengan pemberat air. Penambahan gaya tarik tersebut dilakukan dengan menambahkan air sedikit demi sedikit, seperti ditunjukkan pada gambar 1. Data-data hasil penelitian tersebut dilakukan analisis-analisis perhitungan dan hasilnya dipaparkan dalam bentuk kurva hubungan ketahanan aus, kekuatan impak dan koefisien gesek terhadap fraksi volume penguat. Hasil-hasil ini juga akan diverifikasi dengan produk kampas rem komersial Honda Supra.



Gambar 1. Skema uji koefisien gesek

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Analisis kandungan karbon.

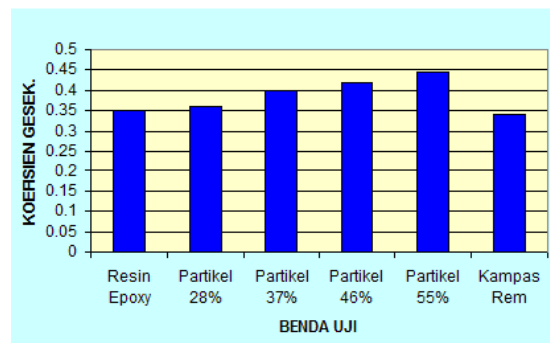
Hasil pengujian kadar karbon organik pada empat variasi suhu pengarang serbuk kayu glugu diperoleh data bahwa arang serbuk gergaji kayu glugu dengan suhu pengarang 200 °C memiliki kadar karbon tertinggi sebesar 91,98%, seperti ditunjukkan pada tabel 1. Pada suhu proses pengarang 300 °C kadar karbon turun menjadi 89,64%. Kadar karbon arang kayu glugu pada suhu pengarang 400 dan 500 °C adalah kurang dari 85%. Berdasarkan analisis kandungan karbon tersebut di atas, maka arang serbuk gergaji kayu glugu dengan suhu pengarang 200 dan 300 °C dipilih sebagai filler pada pembuatan komposit. Alasan pemilihan ini adalah pada kedua suhu pengarang tersebut dihasilkan kadar karbon yang tinggi. Perbandingan kadar arang dengan suhu pengarang 200 dan 300 °C yang digunakan sebagai filler pada pembuatan komposit adalah 50% : 50%.

Tabel 1. Data hasil pengujian kadar karbon.

NO	KODE SAMPEL	HASIL PENGUKURAN	METODE
1.	Suhu 200 °C	91,98 %	Gravimetri
2.	Suhu 300 °C	89,64 %	*
3.	Suhu 400 °C	84,99 %	*
4.	Suhu 500 °C	85,13 %	*

#### 3.2. Koefisien Gesek

Hasil pengujian koefisien gesek komposit arang serbuk gergaji-epoxy menunjukkan bahwa peningkatan fraksi volume partikel arang serbuk gergaji kayu glugu meningkatkan koefisien gesek, seperti ditunjukkan pada gambar 2. Nilai koefisien gesek terbesar (0,445) terjadi pada komposit dengan kandungan partikel 55% (v/v). Harga koefisien gesek komposit tersebut lebih besar dari koefisien gesek kampas rem komersial Honda Supra (0,34). Bahkan, semua komposit dalam penelitian ini memiliki koefisien gesek yang lebih tinggi dari koefisien gesek kampas rem Honda Supra. Harga koefisien kampas rem Honda Supra (0,34) hampir sama dengan koefisien gesek resin epoxy yang mengeras (0,35).



Gambar 2. Diagram batang koefisien gesek komposit.

Peningkatan nilai koefisien gesek komposit ini disebabkan oleh sifat arang serbuk gergaji yang lebih kasar. Semakin banyak kandungan arang serbuk gergajinya maka luas kontak penampang arang serbuk gergaji pada permukaan komposit dengan *disc brake* juga semakin besar. Dengan sifat arang serbuk gergaji yang kasar, maka komposit dengan kandungan arang serbuk gergaji yang semakin besar akan memiliki koefisien geser yang lebih besar pula.

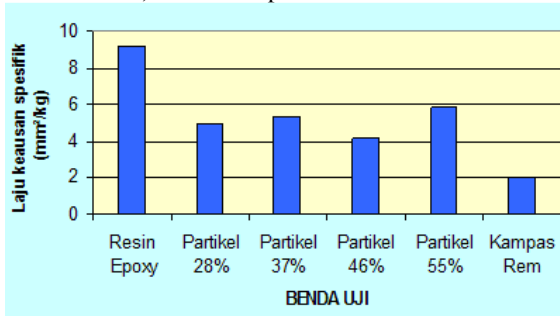
Dengan demikian, material komposit arang serbuk kayu glugu-epoxy memenuhi syarat sebagai bahan kampas rem. Nilai koefisien gesek yang tinggi dapat mengurangi beban pengereman sehingga komponen-komponen rem menjadi lebih awet.

#### 3.3. Ketahanan Aus

Hasil pengujian keausan komposit partikel arang kayu glugu-epoxy menunjukkan bahwa komposit dengan kandungan partikel 46% memiliki laju keausan terendah 4,13 mm<sup>2</sup>/kg (ketahanan aus

terbaik). Hal ini menunjukkan bahwa epoxy mampu memegang partikel dengan baik terhadap gaya geser sehingga komposit memiliki ketahanan aus terbaik. Pada kandungan partikel 55%, laju keausan spesifik komposit meningkat menjadi 5,83 mm<sup>2</sup>/kg (ketahanan aus menurun). Perilaku ini menunjukkan bahwa matrik epoxy sudah tidak dapat memegang partikel dengan baik terhadap gaya geser pada kandungan partikel 55%. Akibatnya, komposit akan menjadi lebih mudah mengalami keausan.

Pada kandungan filler 28 dan 37%, komposit juga mengalami peningkatan laju keausan masing-masing menjadi 4,93 mm<sup>2</sup>/kg dan 5,37 mm<sup>2</sup>/kg. Bahkan, resin epoxy murni memiliki laju keausan tertinggi (9,22 mm<sup>2</sup>/kg). Hal ini menunjukkan bahwa epoxy mudah mengalami keausan. Pada kandungan partikel 28 dan 37% (v/v), luasan matrik yang lebih luas mengalami keausan dengan mudah. Akibatnya, kedua komposit mengalami laju keausan spesifik yang lebih besar dibandingkan dengan komposit dengan kandungan partikel 46%. Namun, kedua komposit tersebut memiliki laju keausan spesifik yang lebih rendah dibandingkan dengan epoxy murni. Jadi, penambahan partikel arang serbuk gergaji kayu glugu mampu menurunkan laju keausan spesifik (meningkatkan ketahanan aus) bahan komposit.



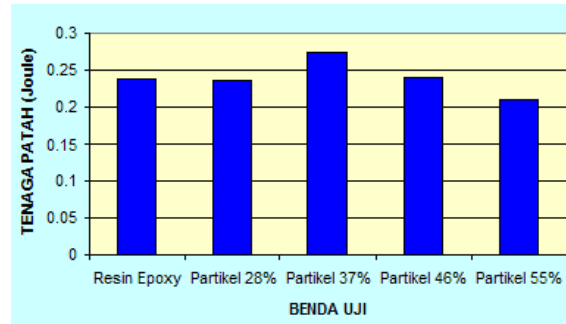
**Gambar 3.** Diagram batang laju keausan spesifik komposit.

Berdasarkan hasil pengujian keausan, komposit srang serbuk gergaji kayu glugu-epoxy memiliki laju keausan spesifik yang lebih tinggi (ketahanan aus lebih rendah) dibandingkan dengan kampas rem Honda Supra. Komposit yang memiliki laju keausan spesifik paling dekat dengan kampas rem Honda Supra (2,04 mm<sup>2</sup>/kg) adalah komposit dengan kandungan partikel 46% dengan laju keausan spesifik 4,13 mm<sup>2</sup>/kg.

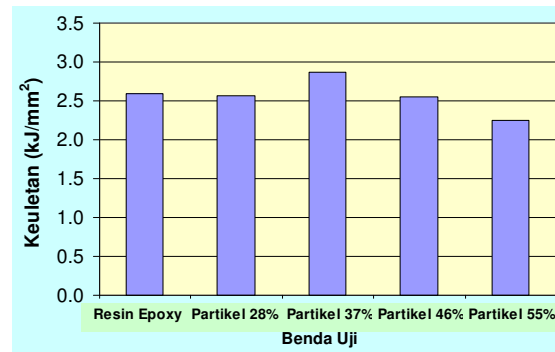
### 3.4. Sifat Impact.

Hasil pengujian impact menunjukkan bahwa komposit yang memiliki sifat impact (tenaga patah dan keuletan) tertinggi adalah komposit dengan kandungan partikel 37% (v/v). Komposit tersebut akan memiliki ketahanan terhadap beban kejut tertinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa komposit dengan kandungan partikel 37% memiliki ikatan

antara partikel dengan resin epoxy yang paling kuat. Pada kandungan partikel 46 dan 55%, komposit memiliki sifat impact yang rendah karena epoxy tidak dapat mengikat dengan sempurna partikel penguatnya, sedangkan pada kandungan partikel 28% menunjukkan partikel belum efektif memberikan kontribusi terhadap peningkatan sifat impact.



**Gambar 4.** Diagram batang tenaga patah komposit.

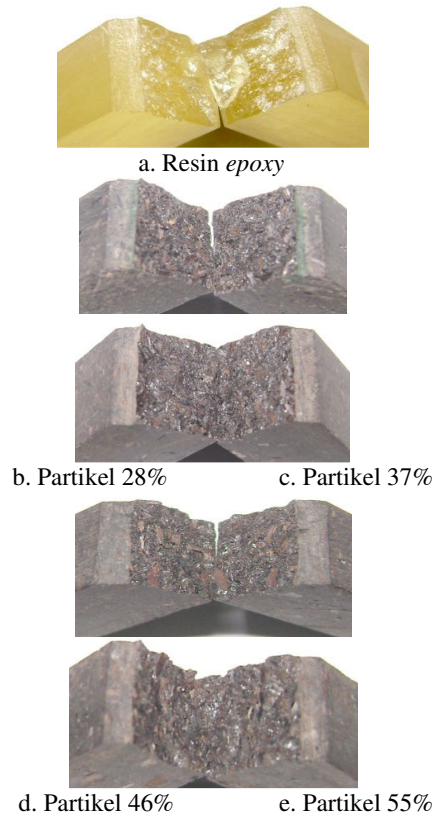


**Gambar 5.** Diagram batang harga keuletan komposit.

Adanya relief pada penampang patahan resin epoxy yang (tidak halus dan mengkilap) pada gambar 6a menunjukkan bahwa epoxy memiliki sifat ulet. Penampang patahan komposit bersifat lebih kasar karena adanya penguat partikel serbuk arang (gambar 6b-d). Pada komposit dengan kandungan partikel 55%, penampang patahan memiliki relief patahan paling kasar, sedangkan relief patahan komposit dengan kandungan partikel 28% bersifat paling homogen. Perubahan relief penampang patahan dari homogen menjadi sangat kasar terjadi pada komposit dengan kandungan partikel 37 dan 46%. Umumnya, material dengan penampang patahan yang halus (homogen) atau sangat kasar memiliki sifat mekanis yang rendah. Hal ini dibuktikan oleh sifat impact yang rendah pada komposit dengan kandungan partikel 28 dan 55%. Jadi, sifat mekanis yang tinggi dapat terjadi pada komposit dengan kandungan partikel 37 dan 46%.

Analisis yang lebih tajam menunjukkan bahwa komposit dengan kandungan partikel 46% (gambar 6d) memiliki relief yang lebih kasar dibandingkan dengan komposit dengan kandungan

partikel 37% (gambar 6c). Patahan yang lebih kasar dapat disebabkan oleh adanya partikel yang terlepas dari ikatan matrik dengan mudah ketika dikenai pembebanan atau ketidakhomogenan sifat komposit. Faktor inilah yang menyebabkan komposit dengan kandungan partikel 46% memiliki sifat impact yang lebih rendah dibandingkan dengan komposit yang memiliki kandungan partikel 37%



**Gambar 6.** Penampang patahan uji impact komposit.

#### 4. KESIMPULAN

Pengarangan serbuk gergaji kayu glugu pada suhu 200 dan 300 OC menghasilkan arang dengan kandungan karbon tertinggi (91,98% dan 89,64%). Peningkatan kandungan partikel meningkatkan koefisien gesek komposit arang serbuk gergaji kayu glugu-epoxy. Harga koefisien gesek komposit memiliki nilai yang lebih besar dari koefisien gesek kampas rem Honda Supra (0,34). Nilai koefisien gesek terbesar (0,445) terjadi pada komposit dengan kandungan partikel 55% (v/v). Komposit dengan kandungan partikel 46% memiliki laju keausan terendah 4,13 mm<sup>2</sup>/kg (ketahanan aus terbaik), meskipun masih lebih tinggi dari harga laju keausan spesifik kampas rem Honda Supra (2,04 mm<sup>2</sup>/kg). Komposit dengan kandungan partikel 37% memiliki sifat impact tertinggi (tenaga patah 0,27 joule dan keuletan 2,87 kJ/mm<sup>2</sup>).

Berdasarkan analisis koefisien gesek dan sifat impact, komposit yang berpeluang untuk digunakan sebagai kampas rem adalah komposit dengan kandungan partikel 37%. Namun, komposit tersebut masih memiliki ketahanan aus yang lebih rendah dari bahan kampas rem Honda Supra. Pengembangan penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan memvariasi jenis pengikat (polimer) agar bahan serbuk gergaji dapat digunakan sebagai *filler* pada pembuatan kampas rem kendaraan ringan.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Tim Peneliti mengucapkan terima kasih kepada **Franciscus Borgias YPS** dan **Sunhaji** yang telah melaksanakan pengambilan data dalam kegiatan penelitian ini.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arancon R.N. Jr., 1997. "Asia Pacific Forestry Sector Outlook: Focus on Coconut Wood", Working Paper Series, Asian and Pacific Coconut Community, Bangkok, pp 1-36.
- [2] APCC, 2000. "Annual Report of APCC", Jakarta, pp. 93-94.
- [3] Killmann W., 1988. "How to Process Coconut Palm Wood", Vieweg Verlag, Braunschweig, 76 p.
- [4] Fruhwald A, Peek RD and Schulte M., 1992. "Utilization of Coconut Timber from North Sulawesi", Indonesia, Research Report, Hamburg, 352 p
- [5] Purwanto D, Samet, Mahfuz, dan Sakiman, 1994. "Pemanfaatan Limbah Industri Kayu lapis untuk Papan Partikel Buatan secara Laminasi", DIP Proyek Penelitian dan Pengembangan Industri, Badan Penelitian dan Pengembangan Industri, Departemen Perindustrian, Banjar Baru.
- [6] Badan Pusat Statistik, 1999. "Statistik Perdagangan Luar Negeri Indonesia : Impor", Jakarta.
- [7] Diharjo K., Masykuri M., Legowo B., dan Abdullah G., 2005-2007. "Rekayasa dan Manufaktur Bahan Komposit sandwich Berpenguat Serat Kenaf Dengan Core Limbah Kayu Sengon Laurel Untuk Komponen Gerbong Kereta Api", Laporan Penelitian, Hibah bersaing XIII, Dikti, Jakarta.
- [8] Mueller D. H. dan Krobjilowski A, 2003. "New Discovery in The Properties of Composites Reinforced With Natural Fiber", Journal of Industrial Textiles, Vol. 33, No. 2-October 2003, pp. 111-130.
- [9] ASTM, 1998. "Annual Book of ASTM Standar", West Conshohocken