

## Studi Awal Pembuatan dan Karakterisasi Komposit Berbasis Limbah Pertanian dan Serbuk Besi sebagai Material Kampas Rem Cakram

Kurniawan<sup>1,\*</sup>, Arie Syahbani<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sambas  
Jl. Raya Sejangkung, Desa Sebeyan, Sambas, Kalimantan Barat

\*Korespondensi: awandywan@gmail.com

(Diterima 21 Agustus 2025; Disetujui 23 Agustus 2025; Dipublikasi 24 Agustus 2025)

### Abstrak

Kampas rem merupakan suatu komponen yang sangat penting pada kendaraan yang berfungsi untuk memperlambat atau menghentikan laju kendaraan. Umumnya kampas rem terbuat dari bahan asbes yang memiliki dampak buruk bagi kesehatan seperti salah satu pemicu kanker. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengetahui karakteristik komposit berbasis limbah pertanian dan serbuk besi sebagai material untuk kampas rem. Limbah pertanian yang digunakan meliputi tempurung kelapa, cangkang sawit, dan tongkol jagung. Proses pembuatan komposit dilakukan melalui metode *hand lay up* dan alat pres, metode ini adalah dengan cara memasukan bahan yang sudah tercampur resin ke dalam cetakan dan dipres menggunakan alat pres. Karakterisasi dilakukan untuk melakukan pengamatan secara visual dan uji kekerasan *rockwell* dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari komposit yang dihasilkan. Hasil pengamatan komposit menunjukkan terjadinya *void* yang disebabkan oleh udara yang terperangkap, proses penghancuran menggunakan alu dan lesung, pengayakan tidak menggunakan kertas mes, dan tidak mengukur kelembaban bahan. Hal ini mempengaruhi angka kekerasan yang tidak terbaca pada saat uji kekerasan *rockwell*. Saran untuk memperbaiki produk komposit tersebut yaitu perlu perancangan mesin penghancur untuk memperoleh serbuk limbah pertanian, pengayakan menggunakan kertas mes, pengujian kadar air dan proses *curing* untuk menghasilkan komposit yang padat dan keras.

**Kata kunci:** kampas rem, kekerasan *Rockwell*, komposit, limbah pertanian

### Abstract

*Brake pads were a crucial component in vehicles, functioning to decelerate or completely stop motion. Conventional brake pads were commonly made from asbestos, which had adverse health impacts, including being a potential carcinogen. This study aimed to develop and investigate the characteristics of composites based on agricultural waste and iron powder as an alternative material for brake pads. The agricultural waste used included coconut shell, palm kernel shell, and corncob. The composites were fabricated using the hand lay-up method combined with a hydraulic press, in which the mixture of resin and fillers was placed into a mold and pressed. Characterization was carried out through visual observation, and Rockwell hardness testing was performed to evaluate the hardness of the resulting composites. The observations revealed the presence of voids caused by trapped air, the crushing process using mortar and pestle, the sieving process without mesh paper, and the absence of moisture content measurement. These factors contributed to the undetectable hardness values during Rockwell testing. It was suggested that improvements in composite production should include designing a proper crushing machine for agricultural waste powders, applying sieving with mesh paper, conducting moisture content testing, and optimizing the curing process to produce dense and hard composites.*

**Keywords:** *agricultural waste, brake pad, composite, iron powder, Rockwell hardness*

## 1. PENDAHULUAN

Saat ini, pemanfaatan material komposit dalam dunia industri bukanlah hal baru. Karakteristiknya yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan serta proses manufakturnya yang relatif sederhana menjadikan komposit semakin banyak digunakan. Komposit memiliki densitas rendah sehingga lebih ringan dibandingkan logam, namun tetap mampu menunjukkan sifat mekanis yang sebanding, bahkan pada kondisi tertentu dapat melampaui material logam. Selain itu, komposit juga menawarkan keunggulan dari sisi keberlanjutan, karena sebagian besar bahan bakunya dapat berasal dari sumber alam dan menghasilkan limbah manufaktur yang relatif minimal [1].

Kampas rem merupakan salah satu komponen vital pada kendaraan bermotor, khususnya kendaraan darat, yang berfungsi memperlambat hingga menghentikan laju kendaraan. Pada kondisi kecepatan tinggi, kampas rem menanggung beban kerja hingga mencapai 90% dibandingkan dengan komponen pengereman lainnya. Oleh karena itu, kualitas dan kinerja kampas rem sangat menentukan tingkat keselamatan pengendara, bahkan berpengaruh langsung terhadap keselamatan jiwa manusia [2].

Material asbes yang masih banyak digunakan pada kampas rem diketahui memiliki dampak negatif terhadap kesehatan, antara lain menimbulkan iritasi pada paru-paru, memicu kanker paru-paru, serta meningkatkan risiko kanker pada saluran pernapasan. Selain itu, keberadaan campuran logam berat dalam material kampas rem juga berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan [3]. Peningkatan kebutuhan kampas rem di pasaran berimplikasi pada tingginya konsumsi material komposit untuk aplikasinya. Akan tetapi, material komposit yang lazim digunakan, seperti asbes, diketahui

memiliki risiko terhadap kesehatan dan lingkungan apabila digunakan secara berlebihan [4].

Meningkatnya permintaan konsumen dan kesadaran masyarakat terhadap isu lingkungan mendorong penelitian serta pengembangan kampas rem ramah lingkungan berbahan dasar material organik tahan gesek. Bahan friksi pada komponen kampas rem mobil merupakan material habis pakai yang akan mengalami penurunan fungsi setelah digunakan. Oleh karena itu, dalam proses pembuatan kampas rem diperlukan bahan yang mudah diperoleh dan tersedia secara berkelanjutan. Indonesia sebagai negara agraris memiliki produksi jagung yang melimpah, namun pemanfaatan limbah berupa tongkol jagung masih sangat terbatas.

Tongkol jagung memiliki karakteristik yang mendukung penggunaannya sebagai bahan pembuatan kampas rem. Bagian ini bersifat keras, memiliki daya serap (absorbent), serta menunjukkan sifat gabungan dari beberapa karakter penting, antara lain: bersifat *inert* atau tidak bereaksi dengan bahan kimia lain, mampu terurai secara alami, dan relatif ringan [5]. Dengan sifat-sifat tersebut, tongkol jagung dinilai sebagai salah satu bahan alternatif yang potensial dan ramah lingkungan untuk pembuatan kampas rem.

Dalam satu dekade terakhir, berbagai studi difokuskan pada pemanfaatan bahan alternatif yang ramah lingkungan untuk rekayasa dan aplikasinya, [6] salah satunya penggunaan tongkol jagung sebagai substitusi material kampas rem kendaraan. Pada penelitian tersebut, komposit kampas rem dibuat dengan variasi serbuk tongkol jagung sebesar 20%, 30%, dan 40%, dikombinasikan dengan serbuk kuningan (Cu-Zn) sebesar 20%, 30%, dan 20%. Komponen lain dijaga tetap, yaitu 20% magnesium oksida (MgO) sebagai aditif, serta 20% resin poliester sebagai matriks penyusun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi

komposisi memberikan pengaruh terhadap koefisien gesek kampas rem. Komposisi optimum diperoleh pada campuran 30% serbuk tongkol jagung, 30% serbuk kuningan, 20% MgO, dan 20% resin poliester, dengan nilai koefisien gesek tertinggi sebesar 0,395.

Berdasarkan hasil penelitian lainnya yang memanfaatkan limbah pertanian yaitu sekam padi dan tempurung kelapa, laju keausan tertinggi ditemukan pada komposisi kampas rem yang terdiri dari sekam padi 25%, tempurung kelapa 25%, dan resin 50%, dengan nilai sebesar  $4,27 \times 10^{-6}$  gram/mm<sup>2</sup>·detik. Sementara itu, pada komposisi sekam padi 40%, tempurung kelapa 30%, dan resin 30%, terjadi penurunan laju keausan hingga mencapai  $3,75 \times 10^{-6}$  gram/mm<sup>2</sup>·detik. Menariknya, ketika komposisi diubah menjadi sekam padi 50%, tempurung kelapa 25%, dan resin 25%, laju keausan kembali mengalami peningkatan menjadi  $3,85 \times 10^{-6}$  gram/mm<sup>2</sup>·detik [7].

Penelitian mengenai penggunaan cangkang kelapa sawit sebagai bahan baku kampas rem telah dilakukan sebagai upaya menggantikan asbes yang diketahui berbahaya bagi kesehatan manusia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju keausan kampas rem meningkat secara signifikan dan tidak terkendali ketika kendaraan melaju dengan kecepatan di atas 80 km/jam [8]. Hal serupa juga ditunjukkan pada komposit CKS/Alumina/Epoksi dengan variasi penambahan serbuk alumina. Material ini mencapai kekerasan tertinggi pada komposisi 70%:6%:24% sebesar 381,83 HVN, sedangkan kekerasan terendah terdapat pada komposisi 70%:0%:30% sebesar 172,36 HVN. Dari sisi ketahanan aus, laju keausan tertinggi diperoleh pada komposisi 70%:0%:30% sebesar 0,00430 g/s, sedangkan nilai terendah dicapai pada komposisi 70%:6%:24% sebesar 0,00674 g/s [9].

Berdasarkan permasalahan tersebut, melalui penelitian ini dilakukan pembuatan komposit dari limbah pertanian, serbuk besi dan resin. Pembuatan menggunakan metode *handly up* dan dipres menggunakan mesin pres hidrolik.

Tujuan penelitian yaitu untuk mengembangkan dan mengetahui karakteristik komposit berbasis limbah pertanian dan serbuk besi sebagai material untuk kampas rem.

## 2. METODOLOGI

Pelaksanaan penelitian ini meliputi persiapan bahan baku, menentukan massa jenis bahan, menentukan campuran bahan, proses pembuatan, pengamatan karakteristik komposit secara visual dan uji kekerasan *rockwell*.

Peralatan yang digunakan untuk mendukung penelitian ini yaitu alu, lesung, saringan teh, timbangan, gelas ukur, wadah, cetakan dan mesin pres hidrolik. Cetakan yang digunakan terbuat dari plat besi yang terdiri atas 3 bagian yaitu cetakan bagian penutup, bagian tengah dan bawah. Cetakan bagian tengah memiliki ruang kosong untuk menempatkan adonan komposit. Jika bagian penutup atas dan alas bawah tidak dipasang, maka memiliki ruang kosong dengan ukuran pxlxt yaitu  $30 \times 20 \times 16 \text{ mm} = 9.600 \text{ mm}^3$ .



(a)

(b)



(c)

**Gambar 1.** (a) Cetakan bagian penutup, (b) Cetakan bagian tengah, dan (c) Cetakan bagian bawah.

Material komposit yang dibuat terdiri atas 2 campuran. Campuran pertama terdiri dari serbuk tempurung kelapa, serbuk tongkol jagung, serbuk besi dan resin. Campuran kedua terdiri dari serbuk cangkang sawit, serbuk tongkol jagung, serbuk besi dan resin. Kedua campuran tersebut diikat menggunakan 2 jenis resin yaitu *polyester* dan *epoxy*, sehingga diperoleh 4 jenis komposit dari campuran berbeda. Komposit menggunakan resin *polyester* berkode P1 dan P2, sedangkan komposit menggunakan resin *epoxy* berkode E1 dan E2. Resin *polyester* menggunakan *hardener* sebesar 0,8% dan resin *epoxy* menggunakan *hardener* dengan perbandingan 2:1.

**Tabel 1.** Perbandingan campuran pertama

Bahan	Persen (%)
Serbuk tempurung kelapa	30
Serbuk tongkol jagung	15
Serbuk besi	10
Resin	45

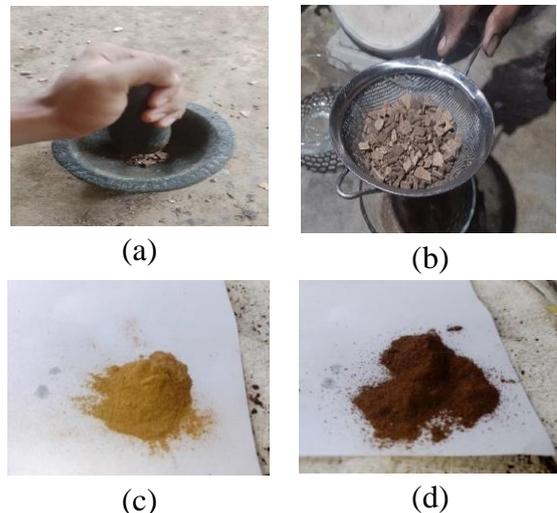
**Tabel 2.** Perbandingan campuran kedua

Bahan	Persen (%)
Serbuk cangkang sawit	30
Serbuk tongkol jagung	15
Serbuk besi	10
Resin	45

#### 1. Persiapan bahan baku.

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian yaitu tempurung kelapa, cangkang sawit, serbuk tongkol jagung, serbuk besi, resin *polyester* dan *epoxy*, beserta *hardener*. Tempurung kelapa dan cangkang sawit perlu

dihaluskan terlebih dahulu secara manual yaitu dihancurkan menggunakan alu dan lesung. Kemudian dilanjutkan dengan langkah pengayakan menggunakan saringan teh untuk memisahkan bagian yang masih kasar dan telah halus.



**Gambar 2.** (a) Penumbukan tempurung kelapa dan cangkang sawit, (b) Pengayakan, (c) Serbuk tempurung kelapa, dan (d) Serbuk cangkang sawit.

#### 2. Massa jenis bahan

Massa jenis atau densitas ( $\rho$ ) yaitu ukuran massa setiap satuan volume suatu benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, semakin besar massa per satuan volumenya.

Pengambilan data massa jenis masing-masing bahan dilakukan di Laboratorium Analisis Mutu Pangan, Politeknik Negeri Sambas. Data ini sangat penting dalam menentukan jumlah bahan baku yang digunakan pada saat pembuatan komposit.

**Tabel 3.** Massa jenis bahan

Bahan	Massa Jenis (g/cm <sup>3</sup> )
Serbuk tempurung kelapa	0,335
Serbuk cangkang sawit	0,464
Serbuk tongkol jagung	0,121

Serbuk besi	2,48
Resin <i>polyester</i>	1,19

### 3. Fraksi volume komposit

Fraksi volume atau disebut sebagai volume *fraction* merupakan aspek penting pada sistem komposit karena perbandingan volume antara serat dan resin merupakan salah satu parameter yang berpengaruh dalam menentukan kekuatan suatu laminasi dan mempertimbangkan komposit yang terdiri dari serat dan matriks. Simbol-simbol yang digunakan dalam fraksi volume dapat dinyatakan sebagai berikut [10].

$$V_f + V_m = V_c \quad (1)$$

$V_c$  = Volume komposit

$V_m$  = Volume matrik

$V_f$  = Volume serat

**Tabel 4.** Massa bahan penyusun komposit P1 dan P2

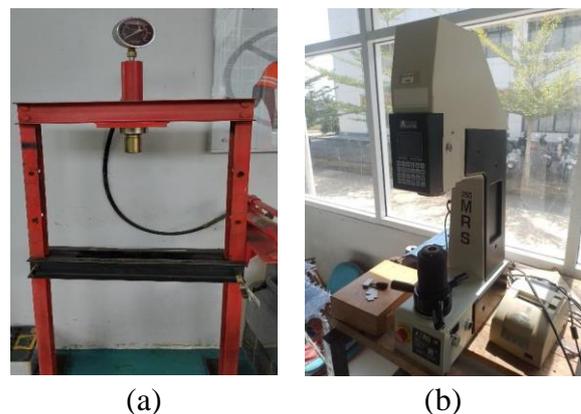
Serbuk	Massa (g)	
	P1	P2
Serbuk tempurung kelapa	0,86	
Serbuk cangkang sawit		1,15
Serbuk tongkol jagung	0,14	0,14
Serbuk besi	2,3	2,3
Resin <i>polyester</i>	4,79	4,79

### 4. Pembuatan komposit.

Pertama siapkan cetakan yang telah dilapisi dengan *mirror glaze*, kemudian campurkan masing-masing bahan penyusun komposit dimulai dengan resin, serbuk tempurung kelapa, serbuk cangkang sawit, serbuk tongkol jagung, serbuk besin dan terakhir *hardener*. Aduk merata kemudian tuangkan adonan ke dalam cetakan. Tempatkan cetakan di atas dudukan mesin pres hidrolik untuk dilakukan pengepresan dengan beban sebesar 3 ton selama 10-18 jam agar adonan dapat mengering dengan baik.

**Tabel 5.** Massa bahan penyusun komposit E1 dan E2

Serbuk	Massa (g)	
	E1	E2
Serbuk tempurung kelapa	0,86	
Serbuk cangkang sawit		1,15
Serbuk tongkol jagung	0,14	0,14
Serbuk besi	2,3	2,3
Resin <i>epoxy</i>	3,43	3,43
<i>Hardener</i>	1,43	1,43



**Gambar 3.** (a) Mesin pres hidrolik, dan (b) Alat uji kekerasan *Rockwell*

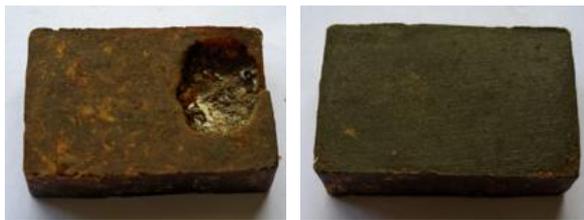
### 5. Uji kekerasan *rockwell*

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik sampel. Pengujian yang dilakukan adalah uji kekerasan *rockwell* dengan ukuran *indenter* bola baja ukuran 1/16 inci. Pengujian dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan, Politeknik Negeri Sambas.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil Pembuatan

Setelah melakukan beberapa tahapan dalam pembuatan komposit dengan menggunakan bahan hasil limbah pertanian, maka dihasilkan 4 jenis komposit dengan campuran bahan penyusun yang berbeda. Kemudian dilakukan pengamatan pada komposit secara visual. Hasil pembuatan komposit dapat dilihat pada Gambar 4 – 7.



(a) (b)

**Gambar 4.** Hasil pembuatan komposit P1  
(a) Tampak sisi bawah, (b) Tampak sisi atas.



(a) (b)

**Gambar 5.** Hasil pembuatan komposit P2  
(a) Tampak sisi bawah, (b) Tampak sisi atas.



(a) (b)

**Gambar 6.** Hasil pembuatan komposit E1  
(a) Tampak sisi bawah, (b) Tampak sisi atas.



(a) (b)

**Gambar 7.** Hasil pembuatan komposit E2  
(a) Tampak sisi bawah, (b) Tampak sisi atas.

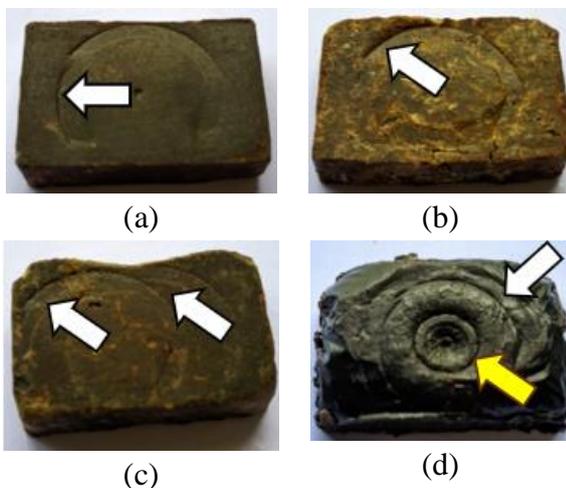
Hasil pembuatan komposit yang ditampilkan pada Gambar 4–7, baik dari sisi bawah maupun atas, menunjukkan bahwa seluruh sampel komposit berhasil terbentuk dengan ikatan matriks resin, baik yang menggunakan *polyester* maupun *epoxy*. Hal ini menandakan bahwa resin mampu berperan

sebagai pengikat utama bagi campuran serbuk tempurung kelapa, cangkang sawit, tongkol jagung, maupun serbuk besi. Meskipun demikian, pengamatan visual secara lebih seksama memperlihatkan bahwa sebagian besar permukaan komposit belum sepenuhnya homogen atau solid. Kondisi tersebut ditandai dengan masih adanya cacat permukaan berupa lubang, pori-pori, maupun retakan yang muncul terutama pada bagian sisi bawah komposit. Keberadaan cacat ini menunjukkan kemungkinan adanya udara terperangkap, kelembapan bahan dari limbah pertanian yang belum sepenuhnya hilang, proses persiapan menggunakan allu dan lesung ataupun distribusi resin yang kurang merata selama proses pencetakan dan *curing* yaitu tahap pengerasan atau pengeringan resin yang berfungsi untuk mengikat matriks (resin) dengan penguat (serat, partikel, atau *filler*) sehingga terbentuk material komposit yang kuat, stabil, dan memiliki sifat mekanik sesuai yang diinginkan. Di antara keempat sampel yang ditunjukkan, hanya komposit P1 pada Gambar 4(b) (tampak atas) yang memperlihatkan permukaan relatif rata dan padat tanpa terlihat adanya lubang maupun retakan yang signifikan, sehingga dapat dikatakan memiliki kualitas permukaan yang lebih baik dibandingkan sampel lainnya.

### 3.2 Hasil Uji Kekerasan

Uji kekerasan dilakukan untuk mengetahui sejauh mana keempat jenis komposit berbasis limbah pertanian mampu menahan deformasi permanen akibat penekanan oleh indentor. Pada penelitian ini digunakan indentor berbentuk bola baja berdiameter 1/16 inci, sesuai standar pengujian kekerasan tipe *Brinell* atau *Rockwell B*. Prinsip dasar pengujian ini adalah memberikan beban tertentu melalui indentor, kemudian mengamati respons permukaan spesimen terhadap gaya tekan yang diberikan. Namun, setelah dilakukan

serangkaian pengujian terhadap keempat spesimen komposit yaitu P1, P2, E1, dan E2, alat uji tidak mampu merekam angka kekerasan yang seharusnya muncul pada skala pengukuran. Kondisi ini menunjukkan bahwa semua komposit yang dihasilkan memiliki ketahanan deformasi yang sangat rendah, sehingga permukaan spesimen langsung mengalami penetrasi penuh tanpa dapat memberikan perlawanan berarti terhadap indentasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. Pada masing-masing gambar menunjukkan adanya bekas injakan yang disebabkan oleh penahan benda kerja (panah putih) dan salah satu komposit mengalami retakan yang ditunjukkan pada Gambar 9 (lingkaran putih). Padahal dalam prakteknya hanya indentor yang dapat menimbulkan bekas injakan atau indentasi, bukan penahan benda kerja. Dengan kata lain, material komposit yang dihasilkan bukan hanya tidak cukup keras untuk menahan beban standar dari bola baja yang digunakan bahkan tidak mampu menahan tekanan yang disebabkan oleh penahan benda kerja. Hal ini mengindikasikan masih terdapat kelemahan mendasar dalam struktur dan densifikasi komposit, baik akibat distribusi matriks-pengisi yang kurang homogen, kadar porositas yang tinggi, maupun kandungan resin yang tidak memadai.



**Gambar 8.** Hasil bekas indentasi indenter dan penahan benda kerja (a) Komposit P1, (b) Komposit P2, (c) Komposit E1, dan (d) Komposit E2.



**Gambar 9.** Retakan yang disebabkan tekanan oleh penahan benda kerja.

Jika diamati lebih lanjut pada permukaan masing-masing komposit setelah dilakukan indentasi oleh penahan benda kerja, maka terdapat perbedaan dari kedalaman bekas indentasi. Pada Gambar 8 (a, c) yaitu komposit P1 dan E1, bekas indentasi yang dihasilkan oleh indenter tidak terlalu dalam. Dimana, persamaan kedua komposit ini yaitu dari bahan penyusunnya menggunakan serbuk tempurung kelapa, serbuk tongkol jagung dan besi, yang membedakan hanya resinnya saja. Jika dibandingkan dengan komposit berbahan serbuk cangkang sawit, serbuk tongkol jagung dan serbuk besi, kedalaman bekas indentasi oleh penahan benda kerja lebih dalam dibandingkan dengan komposit P1 dan E1. Bahkan jika kembali diamati pada komposit E2, terdapat bekas indentasi *clamping sleeve* memberikan beban awal (minor load) sebesar 10 kgf pada benda uji sebelum indenter melakukan penetrasi secara penuh seperti yang ditunjukkan panah kuning pada gambar 8 (d). Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik dan perlakuan serat sangat menentukan sebagai bahan penyusun.

### 3.3 Pembahasan

Penggunaan limbah pertanian seperti tempurung kelapa, cangkang sawit dan tongkol jagung dapat diaplikasikan sebagai material komposit yang digabungkan dengan serbuk besi dan resin. Keempat komposit yaitu P1, P2, E1 dan E3 dapat mengeras setelah mengalami proses pengepresan hingga menjadi solid. Akan tetapi, setelah diamati secara cermat pada tiap-tiap komposit ternyata memiliki kekurangan yaitu terjadinya retak dan *void* pada beberapa titik pada bagian permukaan. Hal ini menunjukkan adanya beberapa kesalahan yang menyebabkan *void* itu terjadi seperti adanya udara terperangkap, kelembapan bahan dari limbah pertanian yang belum sepenuhnya hilang, proses pengolahan bahan menjadi serbuk masih menggunakan alu dan lesung, pengayakan masih menggunakan saringan teh ataupun distribusi resin yang kurang merata selama proses pencetakan dan curing.

*Void* yang terbentuk pada komposit tentunya akan mempengaruhi sifat mekanik dari komposit itu sendiri seperti nilai kekerasan. Hal ini terbukti dari hasil pengujian kekerasan *rockwell*, dimana alat tidak dapat menunjukkan angka kekerasan yang diperoleh. Setelah diamati lebih lanjut ternyata terdapat bekas indentasi penahan benda kerja pada masing-masing komposit, bahkan hingga terjadi retakan pada saat penguncian oleh penahan benda kerja. Selain itu, pada salah satu komposit dengan kode E2 terdapat bekas indentasi *clamping sleeve*. Padahal beban yang dihasilkan oleh *clamping sleeve* sangat kecil yaitu sebesar 10 kgf dibandingkan dengan beban yang dihasilkan oleh indenter bola baja sebesar 100 kgf. Hal ini menunjukkan komposit yang dihasilkan masih perlu dikaji ulang, mengingat ini merupakan studi awal dalam pengembangan komposit sebagai bahan kampas rem.

### 4. KESIMPULAN

Proses pembuatan komposit dengan memanfaatkan limbah pertanian yaitu tempurung kelapa, cangkang sawit dan tongkol jagung. Langkah pembuatan dimulai dari persiapan bahan, menentukan massa jenis masing-masing bahan, menentukan fraksi volume, pembuatan komposit, pengamatan hasil pembuatan dan uji kekerasan *rockwell*. Komposit yang dibuat terdiri atas 4 campuran yang berbeda, 2 campuran pertama yaitu serbuk tempurung kelapa, serbuk tongkol jagung, serbuk besi yang diikat oleh 2 resin yang berbeda yaitu *polyester* dan *epoxy*. Kemudian, 2 campuran berikutnya yaitu serbuk cangkang sawit serbuk tongkol jagung, serbuk besi yang diikat oleh 2 resin yang berbeda seperti pada campuran 1.

Hasil pembuatan menunjukkan terjadinya pengerasan dan ikatan antar bahan penyusun dengan resin, akan tetapi setelah diamati terdapat *void* tiap komposit. Hal ini menyebabkan tidak diperolehnya sifat mekanik yaitu uji kekerasan *rockwell*.

#### DAFTAR PUSTAKA (Style: Sub Judul 2)

- [1] S. Arif, D. Irawan, and M. Jainudin, "Analisis Sifat Mekanis Perbandingan Campuran Komposit Serbuk Gergaji Kayu Jati Dengan Matrik Epoxy untuk Material Kampas Rem Cakram," *Jurnal Technopreneur (JTech)*, vol. 7, no. 2, pp. 58–63, Nov. 2019.
- [2] M. Heru Palmiyanto, A. Supriyanto, P. Teknik Mesin, A. Teknologi Warga Surakarta Jl Raya Solo -Baki, and S. Baru, "Taguchi Multi Respon".
- [3] S. Titik Dwiwati, A. Kholil, and F. Widyarma Jurusan, "Pengaruh Penambahan Karbon Pada Karakteristik Kampas Rem Komposit Serbuk Kayu."
- [4] T. Singh, A. Patnaik, R. Chauhan, and A. Rishiraj, "Assessment of braking

- performance of lapinus–wollastonite fibre reinforced friction composite materials,” *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, vol. 29, no. 2, pp. 183–190, Apr. 2017.
- [5] T. Wikan Widodo, A. Asari, A. Ndan Elita, R. Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian Serpong Badan Litbang Pertanian, and D. Pertanian, “Bio Energi Berbasis Jagung dan Pemanfaatan Limbahnya.”
- [6] R. Bagas Wicaksono, Y. Estriyanto, and P. Jl Ahmad Yani Nomor, “Kaji Eksperimental Performansi Pengereman Kampas Rem Serat Tongkol Jagung Sebagai Bahan Alternatif Kampas Rem Mobil.”
- [7] M. Syaputra, “Analisa Keausan Kampas Rem Non Asbes Terbuat Dari Komposit Polimer Serbuk Padi Dan Tempurung Kelapa,” vol. 07, no. 2, 2017.
- [8] A. O. A. Ibadode, “Development of Asbestos-Free Friction Lining Material from Palm Kernel Shell.”
- [9] M. Perdana, M. Eru Putra, A. Akmal, H. Putra, M. Al Ikram, and A. Meidianda, “Characteristics of Palm Kernel Shell/Alumina/Epoxy Composites as Motorcycle Brake Pad Material,” *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 13, no. 1, pp. 13–18, Apr. 2023.
- [10] M. A. Muflikhun and J. Jamasri, *Proses\_Manufaktur\_dan\_Mekanika\_komposit (1)*. Yogyakarta: UGM PRESS, 2022. Accessed: Aug. 21, 2025.