

Analisa Beban Penekanan Hidrolis Terhadap Kekerasan Komposit Resin Epoksi Berpenguat Serbuk Kulit Jagung dan *Fly Ash* Menggunakan Metode *Compression Molding*

Mirza Pramudia^{1*}, Teguh Prasetyo², Rifky Maulana Yusron³, Mohammad Safiudin⁴

^{1, 2, 3, 4} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Trunojoyo Madura

^{1, 2, 3, 4} Jl. Raya Telang., PO.BOX 02, Kamal, Madura, 69162

E-mail: pramudiamirza@trunojoyo.ac.id¹, teguh.prasetyo@trunojoyo.ac.id², rifky.myusron@trunojoyo.ac.id³, mohammadsafiudin06@gmail.com

Info Naskah:

Naskah masuk: 30 November 2023

Direvisi: 28 Desember 2023

Diterima: 29 Desember 2023

Abstrak

Penggunaan *fly ash* dan serat alam sebagai bahan komposit ramah lingkungan diharapkan mampu mengurangi dampak negatif *fly ash* sebagai limbah industri sehingga menjadi bahan yang memiliki nilai tambah. Salah satu metode dalam pembuatan komposit yakni metode *compression molding*. Tujuan dari penelitian untuk menganalisis pengaruh variasi pembebanan kompaksi pada nilai kekerasan komposit epoksi berpenguat serbuk kulit jagung-*fly ash*. Proses penelitian diawali dengan pembuatan spesimen komposit serbuk kulit jagung (20% wt) dan *fly ash* (10% wt). Spesimen ditekan dengan variasi pembebanan 1 ton, 2 ton, 3 ton, dan 4 ton. Spesimen hasil *compression molding* selanjutnya diberi perlakuan sintering pada suhu 150 °C selama 1 jam dan kemudian dilakukan uji kekerasan *Shore D*. Hasil menunjukkan bahwasanya kekerasan material komposit semakin meningkat seiring dengan meningkatnya beban penekanan. Kekerasan tertinggi dicapai pada beban penekanan 4 ton dengan nilai kekerasan 80,3 SHD. Proses penekanan/kompaksi material komposit menghasilkan struktur *fly ash* yang mengalami fenomena aglomerasi atau proses pepadatan struktur. Fenomena inilah yang mengakibatkan terjadinya peningkatan kekerasan material seiring dengan peningkatan beban penekanan kompaksi.

Keywords:

fly ash;

corn husk;

hardness;

compression molding.

Abstract

Using fly ash and natural fibers as environmentally friendly composite materials is expected to reduce the negative impact of fly ash as industrial waste, turning it into a material with added value. One of the methods in composite manufacturing is the compression molding method. This research aims to analyze the influence of compaction loading variations on the hardness values of epoxy composites reinforced with corn husk-fly ash powder. The research begins with producing composite specimens containing corn husk powder (20% wt) and fly ash (10% wt). The specimens are pressed with compaction loading variations of 1 ton, 2 tons, 3 tons, and 4 tons. The specimens from the compression molding are then subjected to sintering treatment at 150°C for 1 hour, followed by Shore D hardness testing. The results show that the composite material's hardness increases with the compaction loading. The highest hardness is achieved at a compaction load of 4 tons with a hardness value of 80.3 SHD. The compaction process of the composite material produces a fly ash structure that undergoes agglomeration or structural densification. This phenomenon results in an increase in the hardness of the material along with an increase in the compaction loading.

*Penulis korespondensi:

Mirza Pramudia

E-mail: pramudia.mirza@trunojoyo.ac.id

1. Pendahuluan

Krisis energi yang semakin meningkat dan masalah lingkungan dalam beberapa tahun terakhir telah mendorong para peneliti global untuk mengembangkan komposit polimer berpenguat serat hijau dan berkelanjutan untuk industri otomotif, pesawat terbang, kelautan, maupun aplikasi di bidang keteknikan lainnya [1]. Secara umum, serat yang digunakan dalam komposit polimer untuk aplikasi rekayasa utamanya melibatkan serat sintetis dan serat alami. Dalam beberapa dekade terakhir, serat alami secara bertahap muncul sebagai alternatif yang menarik dan berpotensi untuk dikembangkan. Dikarenakan memiliki keunggulan secara ekologi dan bersifat lebih ekonomis. Serat alami sebagai bahan yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan, tidak hanya memberikan komposit polimer dengan sifat biodegradabilitas dan non-toksisitas, tetapi juga mampu mengurangi berat, memberikan manfaat biaya manufaktur yang lebih ekonomis, serta menghasilkan emisi karbon yang rendah [2]. Secara intrinsik, serat alami sebagai biomassa lignoselulosa terdiri dari unsur selulosa, hemiselulosa, dan lignin, yang memberikan mereka sifat-sifat khusus, seperti kekuatan dan kekakuan spesifik yang relatif tinggi. Salah satu serat alami yang dapat digunakan sebagai unsur penyusun komposit adalah serat kulit jagung [3].

Dalam aplikasinya, komposit serat alami juga dapat dipadukan dengan unsur yang bersifat sebagai *coupling agent* dengan tujuan untuk meningkatkan adhesi dan transmisi beban antara matriks dan penguat, yang dapat meningkatkan sifat mekanis dan termal material komposit. *Coupling agent* merupakan suatu zat yang digunakan untuk meningkatkan interaksi antara dua atau lebih komponen yang berbeda dalam suatu sistem, seperti material komposit. Salah satu jenis *coupling agent* yang digunakan adalah sebagai bahan *filler* pada material komposit adalah *fly ash* [4]. *Fly ash* merupakan limbah sisa hasil pembakaran batu bara yang melayang dan diambil dari gas pembakaran pada pembangkit listrik tenaga batu bara. *Fly ash* terdiri dari partikel-partikel halus meliputi kandungan silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), ferro oksida Fe_2O_3 serta karbon. Penambahan unsur *fly ash* mampu meningkatkan nilai kekerasan dan ketangguhan material komposit [5]. Salah satu aplikasi penerapan *fly ash* yakni pada aplikasi kampas rem di bidang otomotif. Nilai kekerasan pada kampas rem dapat meningkatkan daya tahan dan umur pakai. Selain itu, nilai kekerasan pada kampas rem dapat mempengaruhi efisiensi pengereman. Material yang memiliki kekerasan yang baik dapat memberikan daya cengkeram yang optimal pada cakram atau drum rem, meningkatkan kemampuan pengereman [6].

Perpaduan serat kulit jagung dan serbuk *fly ash* diharapkan juga menjadi salah satu upaya alternatif dalam mengoptimalkan pemanfaatan limbah dan mampu memberikan nilai tambah (*added value*) pada material *fly ash* sehingga memungkinkan membuka peluang/potensi untuk pemanfaatan limbah industri dan pengembangan material yang berkelanjutan [7]. Pada beberapa penelitian, penggunaan serbuk *fly ash* dan serat alami diaplikasikan pada kampas rem berbahan dasar non asbestos yang diklaim memiliki harga yang lebih ekonomis serta ramah lingkungan dibandingkan dengan kampas rem berbahan dasar asbestos.

Asbestos merupakan bahan tambang yang bersifat karsinogenik (zat penyebab kanker) sehingga dapat menyebabkan permasalahan bagi kesehatan manusia [8].

Penelitian terkait pemanfaatan serbuk *fly ash* dengan menggunakan serat alam (serat pisang) telah dilakukan penelitian sebelumnya dengan menggunakan metode *hand lay up*. Hasil menunjukkan bahwasanya kandungan serbuk *fly ash* mampu meningkatkan kekuatan mekanik khususnya nilai kekerasan. Namun berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwasanya masih ditemukannya fenomena porositas yang disebabkan oleh udara yang terjebak selama proses *hand lay-up* dan udara tersebut tidak dapat dikeluarkan dari lapisan laminasi selama proses pembentukan material komposit [9]. Keberadaan porositas/*void* berdampak pada kualitas komposit, semakin banyak jumlah *void* dalam matriks, maka kualitas matriks pengikat akan menurun dan berpotensi mempengaruhi kekuatan komposit karena *void* dapat menjadi titik fokus tegangan saat komposit menerima beban [10].

Fenomena *void* pada spesimen komposit dapat dikurangi kuantitasnya salah satunya dengan menggunakan metode *compression molding*. Penelitian menunjukkan bahwasanya metode *compression molding* mampu meminimalkan adanya *void* serta mampu meningkatkan kekuatan mekanik material komposit dibandingkan dengan metode *hand lay up*. Hal ini disebabkan karena tingkat tekanan yang diterapkan pada sampel dengan metode *compression molding* menyebabkan spesimen komposit menjadi lebih padat dan juga ikatan adhesi antara serat-serat dengan matriks jauh lebih baik dibandingkan dengan adhesi dalam metode *hand lay-up* [11]. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi kuat tekan pada hidrolis dengan beban penekanan sebesar 1 Ton, 2 Ton, 3 Ton, dan 4 Ton terhadap kekerasan spesimen komposit resin epoksi berpenguat serbuk kulit jagung - *fly ash* menggunakan metode *compression molding*.

2. Metode

2.1. Alat dan bahan

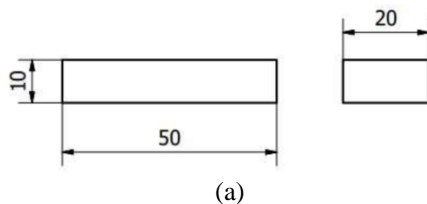
Penelitian ini menggunakan bahan utama berupa serbuk kulit jagung dengan fraksi volume sebesar 20%, *fly ash* dengan jumlah fraksi volume sebesar 10 % sebagai *filler* dan matriks epoksi. Peralatan yang digunakan berupa oven elektrik sebagai media proses sintering, press hidrolis sebagai media pembuatan spesimen, alat uji *Shore D* yang digunakan sebagai alat bantu uji kekerasan material komposit/polimer, serta *test sieve* (ayakan) dengan ukuran 100 *mesh* (149 mikron). Detail spesifikasi alat dan bahan dapat dilihat pada Tabel 1.

2.2. Prosedur Penelitian

Spesimen uji kekerasan yang digunakan pada penelitian ini merujuk pada standar ASTM D 2240 yang merupakan spesimen diperuntukkan untuk uji kekerasan menggunakan alat uji Durometer [12]. Dimensi spesimen uji kekerasan sesuai standar ASTM D 2240 ditunjukkan pada Gambar 1 (a) sedangkan spesimen hasil variasi pembebanan komposisi ditunjukkan pada Gambar 1(b).

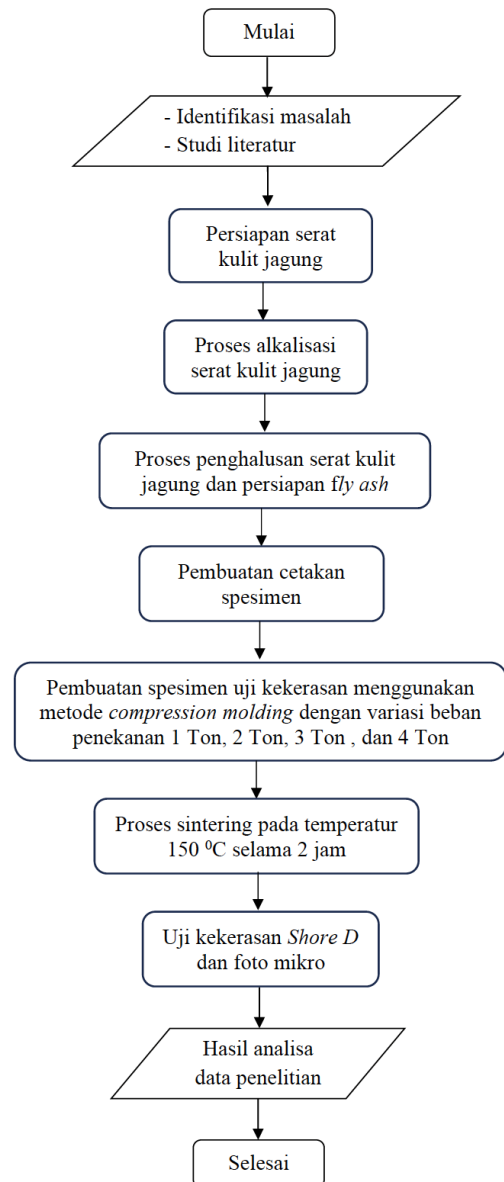
Tabel 1. Spesifikasi alat dan bahan

No.	Alat dan Bahan Penelitian	Spesifikasi
1.	Press hidrolis	<ul style="list-style-type: none"> ● Capacity 10 Ton ● Stroke 135 mm ● Distance 358 mm
2.	Oven listrik	<ul style="list-style-type: none"> ● Kapasitas : 19 Liter ● Daya : 220 Volt/50 Hz/275 Watt ● Temperatur : 100°-250°C
3.	Durometer Shore D Hardness Tester	<ul style="list-style-type: none"> ● Range : 0-100 HD ● Resolution : 0.5 HD ● Working temperature : 0-40
4.	Test sieve	<ul style="list-style-type: none"> ● Ukuran : 100 mesh atau 149 Micron ● Model : SS 304 ● Diameter : 200 mm ● Tinggi : 50 mm
5.	Digital microscope	<ul style="list-style-type: none"> ● USB Microscope Digital ● Magnification/Zoom 50-1000x ● Focus Range: Manual focus from 10 mm to 40 mm
1.	Serat kulit jagung	<ul style="list-style-type: none"> ● Karakteristik : serbuk ukuran 100 mesh
2.	Fly ash	<ul style="list-style-type: none"> ● Karakteristik : serbuk ukuran 100 mesh
3.	Resin epoksi dan hardener	<ul style="list-style-type: none"> ● BTS-045 Epoxy Resin
4.	NaOH	<ul style="list-style-type: none"> ● Sigma Aldrich with a purity 98%



Gambar 1. (a) Spesimen uji kekerasan sesuai standar ASTM D 2240
(b) Spesimen hasil variasi pembebanan kompaksi

Proses pembuatan spesimen uji kekerasan dilakukan secara eksperimental sesuai dengan alur penelitian yang tercantum pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alur penelitian

Tahap awal penelitian dimulai dari persiapan serat kulit jagung yakni dengan merendam serat kulit jagung dalam air bersih selama 14 hari, untuk selanjutnya dikeringkan melalui proses penjemuran dengan bantuan sinar matahari dalam kurun waktu 7 hari. Serat yang telah mengalami proses pengeringan selanjutnya diberi perlakuan alkalisasi dengan cara merendam serat kering tersebut pada larutan NaOH selama 2 jam dan selanjutnya dibersihkan menggunakan air destilasi serta dikeringkan dengan panas yang berasal dari sinar matahari selama 3 hari. Serat kulit jagung yang telah kering selanjutnya diblender agar morfologi serat diubah menjadi bentuk serbuk. Hasil proses blender kemudian disaring dengan menggunakan *test sieve* ukuran 100 mesh. Persiapan *fly ash* juga dilakukan pada tahapan ini dengan menyiapkan ukuran serbuk *fly ash* yang sama yakni ukuran 100 mesh (149 mikron).

Langkah berikutnya yakni menyiapkan cetakan spesimen sesuai dengan standar ASTM D2240. Sebelum dilakukan proses pencetakan, terlebih dahulu dipersiapkan

resin epoksi dengan fraksi volume 70% wt, serbuk serat jagung 20% wt, serta serbuk *fly ash* sebesar 10%. Campuran antara resin epoksi, serbuk kulit jagung, serta serbuk *fly ash* dimasukkan ke dalam cetakan dan didiamkan selama 6 jam agar tekstur larutan berubah menjadi semi solid. Setelah semua tahapan/proses dilakukan, langkah berikutnya yakni melakukan proses pengepresan dengan variasi beban penekanan 1 Ton, 2 Ton, 3 Ton serta 4 Ton selama 6 jam berikutnya.

Hasil penekanan hidrolis selanjutnya diberi perlakuan sintering pada temperatur 150 °C selama 1 jam. Proses berikutnya yakni pengujian kekerasan menggunakan alat *Shore D* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Hasil pengujian kekerasan *Shore D* digunakan untuk mengetahui bagaimana pengaruh beban penekanan pada proses hidrolis terhadap kekerasan material komposit epoksi berpenguat serbuk kulit jagung-*fly ash*. Pengujian struktur mikro dilakukan dengan menggunakan *digital microscope* dengan perbesaran 1000x. Pengujian struktur mikro dilakukan untuk melihat fenomena serta morfologi persebaran *fly ash* - serbuk kulit jagung pada spesimen *polymer matrix composite*.

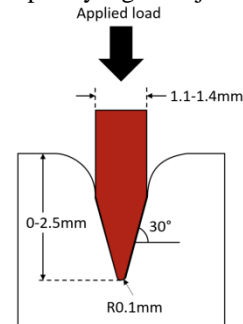


Gambar 3. Durometer Shore D

Pengujian kekerasan menggunakan uji kekerasan *Shore D* metode Manual (*Hand Held*) Operation of Durometer dengan standar ASTM D2240. Skala kekerasan *Shore D* paling sering digunakan untuk mengukur kekerasan material plastik, karet, dan bahan elastomer lainnya. Uji dilakukan pada permukaan spesimen sejumlah lima titik dengan jarak minimal 6 mm antar titik. Sampel yang diuji memiliki

ketebalan minimal sebesar 6 mm. Alat uji ini beroperasi dengan cara mengukur resistansi material terhadap penetrasi indenter, menggunakan prinsip jarum yang dilengkapi pegas. Skala yang digunakan pada pengujian ini dalam nilai *Shore D*.

Dalam uji *shore hardness* pengukuran kedalaman indentasi menggunakan indenter pegas yang terbuat dari baja untuk menekan material atau spesimen. Kedalaman indentasi ini merupakan parameter *shore hardness* yang diukur dalam rentang skala 0 *shore* (dengan kedalaman indentasi 2,5 milimeter) hingga 100 *shore* (tanpa kedalaman indentasi, yaitu 0 milimeter) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Metode pengujian kekerasan Shore D [13]

Ketika mengukur kekerasan menggunakan skala Shore D, perhitungan nilai kekerasan didasarkan pada kedalaman penetrasi yang dihasilkan oleh ujung penetrator ke dalam bahan uji. Rumus umum untuk menghitung kekerasan *Shore D* adalah sebagai berikut [14] :

$$H_{Shore D} = 100 - D \quad (1)$$

dengan:

$H_{Shore D}$ = Nilai kekerasan Shore D

D = Kedalaman penetrasi ujung penetrator ke dalam bahan uji (mm).

Keuntungan utama dari penggunaan alat ini yakni kemampuannya memberikan pengukuran kekerasan yang cepat dan akurat. Indenter nantinya akan memberikan hasil pembacaan nilai kekerasan secara cepat pada kala kekerasan *Shore D*.

Tabel 2. Nilai kekerasan material dengan variasi beban

Beban (Ton)	Kekerasan (SHD) material serbuk kulit jagung + 10 % fly ash di titik					Kekerasan Rata-Rata (SHD)	Kekerasan Rata-Rata (SHD)
	1	2	3	4	5		
1	72	72,5	74	72,5	70	72,2	72,7
	73,5	73,5	74	74,5	73	73,7	
	73,5	71,5	71,5	72	72	72,1	
2	76	76,5	75,5	73,5	74	75,1	75,1
	73,5	75,5	75,5	76	76	75,3	
	74,5	73,5	74,5	75	76,5	74,8	
3	77	78,5	77,5	78	78,5	77,9	78,1
	77	76,5	77	77	79	77,3	
	79,5	79	79	78,5	79	79	
4	80,5	80	79,5	80,5	80,5	80,2	80,3
	81	79,5	80	80,5	80,5	80,3	
	79	80,5	80	81	81	80,3	

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh beban penekanan terhadap kekerasan material komposit

Pengujian kekerasan dilakukan pada 5 titik yang berbeda dengan jarak antar titik 6 mm sebanyak 3 kali pengulangan. Hasil pengujian kekerasan *Shore D* material komposit resin epoksi berpenguat serbuk kulit jagung-*fly ash* menggunakan metode *compression molding* ditunjukkan pada Tabel 2. Perhitungan nilai kekerasan *Shore D* pada tabel di atas dapat dijelaskan dengan menggunakan persamaan (1). Apabila kedalaman indentasi ujung penetrator sebesar 13,4 mm, maka nilai kekerasan *Shore D* spesimen yang didapatkan adalah:

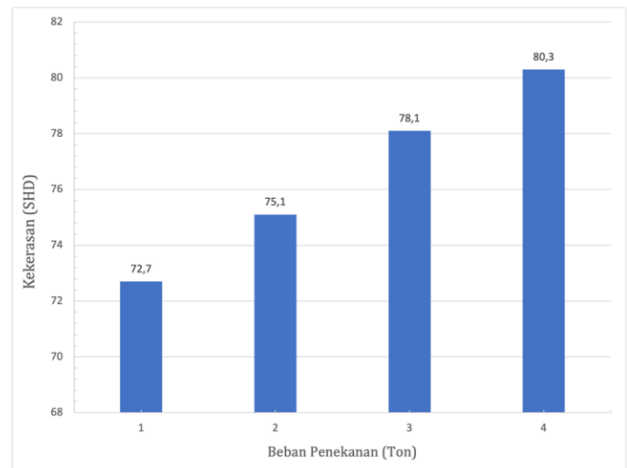
$$H_{Shore D} = 100 - D$$

$$H_{Shore D} = 100 - 13,4$$

$$H_{Shore D} = 86,6$$

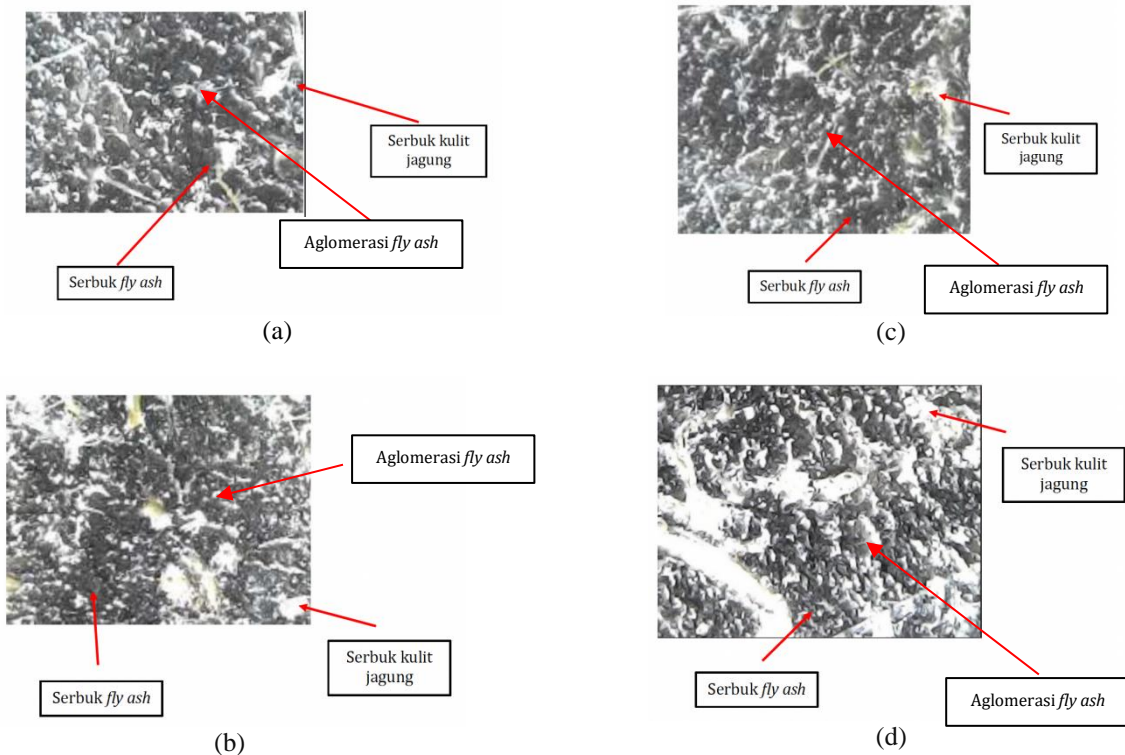
Nilai kekerasan *Shore D* pada Tabel 2 menunjukkan nilai kekerasan cukup tinggi mendekati nilai maksimum (100 SHD). Hal ini menunjukkan bahwasanya jarak penetrasi indenter baja pada alat *Shore D* kurang dari 2,5 mm dari permukaan spesimen. Semakin mendekati nilai 100 SHD, maka kedalaman indentasi akan mendekati jarak 0 mm dari permukaan spesimen. Dapat disimpulkan bahwasanya semakin minimal penetrasi indenter pegas pada spesimen, maka spesimen mengalami peningkatan kekerasan.

Hasil distribusi kekerasan pada 5 titik yang berbeda selanjutnya digambarkan dalam sebuah grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik distribusi kekerasan dengan variasi beban penekanan

Pengujian kekerasan menunjukkan bahwasanya nilai kekerasan material komposit akan meningkat seiring dengan peningkatan beban penekanan pada material. Kekerasan material dengan variasi beban penekanan sebesar 1 ton, 2 ton, 3 ton, dan 4 ton secara berturut-turut adalah 72.7 SHD, 75.1 SHD, 78.1 SHD, dan 80.3 SHD. Hal ini menunjukkan bahwasanya peningkatan beban penekanan hidrolis / peningkatan kuat tekan kompaksi berdampak pada pematatan spesimen sehingga menghasilkan ikatan yang semakin kuat antara partikel *fly ash* dengan serbuk serat jagung [15][16]. Semakin kuat ikatan antar partikel maka akan berakibat pada semakin besar gaya yang dibutuhkan untuk mengakibatkan terjadinya indentasi pada material.



Gambar 6. Foto mikro spesimen komposit resin epoksi berpenguat serbuk kulit jagung-*fly ash* (a) 1 ton, (b) 2 ton, (c) 3 ton, dan (d) 4 ton.

Semakin besar gaya indentasi yang dibutuhkan maka semakin besar nilai kekerasan material [17][18][19].

3.2. Foto mikro material komposit resin epoksi berpenguat serat kulit jagung-*fly ash*

Analisa pada permukaan spesimen komposit dilakukan dengan menggunakan mikroskop digital menggunakan spesifikasi pembesaran 1000x. Hasil pengamatan struktur mikro pada setiap sampel ditunjukkan pada Gambar 6. Berdasarkan pengamatan struktur mikro tersebut dapat dijelaskan bahwa serbuk *fly ash* berwarna gelap keabu-abuan sedangkan serbuk serat jagung berwarna kuning keputihan [17],[18]. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan persentase penyebaran distribusi *fly ash* sebesar 10% wt dengan variasi beban penekanan 1 ton, 2 ton, 3 ton, dan 4 ton. Hasil foto mikro menunjukkan semakin besar beban penekanan akan berakibat pada pemadatan bentuk morfologi *fly ash* berbentuk menyerupai gumpalan atau mengalami aglomerasi. Aglomerasi merupakan proses di mana partikel-partikel kecil, serbuk, atau butiran bergabung membentuk struktur yang lebih besar atau lebih padat. Aglomerasi dapat terjadi karena adanya gaya tarik antar partikel, kelembaban, atau pengaruh lainnya yang menyebabkan partikel-partikel tersebut saling melekat membentuk agregat atau gumpalan. Semakin besar beban penekanan kompaksi, maka akan meningkatkan potensi terjadinya proses aglomerasi pada *fly ash* sehingga akan berakibat semakin kuatnya ikatan antar partikel *fly ash* [20][21].

4. Kesimpulan

Berdasarkan data hasil penelitian menunjukkan bahwasanya variasi beban penekanan kompaksi berpengaruh terhadap kekerasan material komposit resin epoksi berpenguat serbuk kulit jagung-*fly ash*. Semakin tinggi beban kompaksi, maka akan berpengaruh pada semakin meningkatnya nilai kekerasan material uji. Nilai kekerasan tertinggi sebesar 80,3 SHD yang dicapai pada beban penekanan sebesar 4 ton. Semakin besar beban kompaksi akan menyebabkan semakin kuatnya ikatan antar partikel *fly ash* dengan serbuk kulit jagung sehingga akan berdampak pada semakin besarnya gaya yang dibutuhkan untuk menimbulkan kerusakan indentasi pada spesimen uji.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada LPPM Universitas Trunojoyo Madura yang telah mendukung kegiatan penelitian ini serta rekan-rekan dosen dan mahasiswa yang telah berkontribusi dalam membantu dalam hal pengambilan data maupun analisa penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] R. Manurung, S. Simanjuntak, J. Sembiring, and E. Candra, "Analisa Kekuatan Bahan Komposit Yang Diperkuat Serat Bambu Menggunakan Resin Polyester Dengan Memvariasikan Susunan Serat," *SJoME*, vol. 2, no. 1, pp. 28–35, 2020.
- [2] H. S. Enus, G. Soebiyakto, A. R. Fadhillah, and D. Hermawan, "Analisa Tensile Strength Komposit Serat Kulit Pohon Waru dengan Kombinasi Serat Karbon Kevlar Sebagai Material Reinforcement," *Infotekmesin*, vol. 14, no. 02, pp. 250–256, 2023, doi: 10.35970/infotekmesin.v14i2.1888.
- [3] M. A. Suhot, M. Z. Hassan, S. A. Aziz, and M. Y. M. Daud, "Recent Progress of Rice Husk Reinforced Polymer Composites ;," *Polymers (Basel)*, vol. 13, p. 2391, 2021.
- [4] Y. E. Xuan, C. Shaojun, and Z. Zhongbin, "Effect of coupling agent content on properties of fly ash filled acrylic coating Effect of coupling agent content on properties of fly ash filled acrylic coating," *J. Phys. Conf. Ser.*, p. 012077, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1965/1/012077.
- [5] A. K. Kasar, N. Gupta, P. K. Rohatgi, and P. L. Menezes, "A Brief Review of Fly Ash as Reinforcement for Composites with Improved Mechanical and Tribological Properties," *JOM*, vol. 72, no. 6, pp. 2340–2351, 2020, doi: 10.1007/s11837-020-04170-z.
- [6] B. N. Arianto, Kosjoko, and M. H. Bahri, "Pengaruh Variasi Material Penguat Abu Layang Batubara Dan Serbuk Besi Bermatriks Epoxy Terhadap Uji Mekanik Kampas Rem," *J. Tek. Mesin UNISKA*, vol. 7, no. 1, pp. 26–33, 2022.
- [7] M. S. Thathsarani, M. J. Dheerasinghe, M. Rajapaksha, S. K. Ranatunga, and S. Perera, "Sustainable Use of Biomass Boiler Ash as a Reinforcement Filler for Polyamide 6 Composite," vol. 1, no. 1, pp. 161–176, 2021, [Online]. Available: <https://doi.org/10.31357/ait.v1i1.4884>
- [8] M. H. Alamsyah and G. Gundara, "Analysis of Mechanical Properties Character of Mechanics Composite Brake Pads Material Reinforced by Teak Wood Powder and Brass Powder," *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur)*, vol. 5, no. 1, pp. 1–5, 2020, doi: 10.21070/rem.v.
- [9] J. Kumar, B. Singh, and V. K. Maan, "Fabrication and development of natural fibres reinforced epoxy composites using fly ash as filler material," *Int. J. Latest Eng. Manag. Res.*, vol. 04, no. 06, pp. 125–131, 2019.
- [10] M. Elkolali, L. P. Nogueira, P. O. Rønning, and A. Alcocer, "Void Content Determination of Carbon Fiber Reinforced Polymers: A Comparison between Destructive and," *Polymers (Basel)*, vol. 14, p. 1212, 2022.
- [11] G. B. Nyior and E. C. Mgbeahuru, "Effects of Processing Methods on Mechanical Properties of Alkali Treated Bagasse Fibre Reinforced Epoxy Composite," *J. Miner. Mater. Charact. Eng.*, vol. 6, pp. 345–355, 2018, doi: 10.4236/jmmce.2018.63024.
- [12] A. D2240, "Standard Test Method for Rubber Property — Durometer Hardness," 2021, doi: 10.1520/D2240-15.2.
- [13] N. P. Kim, "3D-Printed Conductive Carbon-Infused Thermoplastic Polyurethane," *Polymers (Basel)*, vol. 12, p. 1224, 2020, doi: 10.3390/polym12061224.
- [14] M. Selection, "Durometer & IRHD Hardness Tester for Hardness test of vulcanized or thermoplastic rubber," pp. 58–71, [Online]. Available: https://teclock.co.jp/pdf/E_10durometer.pdf
- [15] A. W. Nugroho, M. K. P. Prasetyo, and C. Budiyanoro, "Effect of Fly Ash on the Mechanical Properties of Polyvinyl Chloride-Fly Ash Composite," *Proc. of the 6th Int. Conf. Exhib. Sustain. Energy Adv. Mater.*, pp. 667–674, 2020, [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-981-15-4481-1_63
- [16] Z. Arif, N. Ali, and S. Mulyati, "Pengaruh Pembebanan Tekan Terhadap Kekuatan Material Komposit Diperkuat Serat Ampas Tebu," *J. Ilm. JURUTERA*, vol. 5, no. 1, pp. 1–8, 2019.
- [17] U. Hasanah and Muslimin, "Pengaruh Tekanan Compression Moulding terhadap Kinerja Pelat Bipolar Komposit Grafit / Resin Epoksi Komposisi 20 % Karbon Tempurung Kelapa," *J. Mek. Terap.*, vol. 01, no. 01, pp. 71–80, 2020.
- [18] R. A. P. Ginting and Maulida, "Pengaruh Komposisi Pengisi Serta Tekanan Hot Press Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Poliester Berpengisi Nano Partikel Zinc Oxide (Zno) The Effect Of Filler Loading And Pressure Of Hot Press On

- Tensile,” *J. Tek. Kim. USU*, vol. 8, no. 1, 2019.
- [19] R. Zulfiati, Saloma, and Y. Idris, “Mechanical Properties of Fly Ash-Based Geopolymer with Natural Fiber,” *J. Phys. Conf. Ser.*, no. 1198, p. 082021, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1198/8/082021.
- [20] O. A. Abbass, A. I. Salih, and O. M. Al Hurmuzy, “Study of the mechanical and physical properties of bio-composite material based on wheat starch and wheat straw fibers Study of the mechanical and physical properties of bio- composite material based on wheat starch and wheat straw fibers,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, no. 745, p. 012075, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/745/1/012075.
- [21] A. Choudhury, J. Nanda, and S. N. Das, “The effect of compaction pressure , sintering time , and temperature on the characterization of an aluminum / alumina composite with rising alumina proportions,” *Curr. Chem. Lett.*, vol. 12, pp. 305–316, 2023, doi: 10.5267/j.ccl.2022.12.008.