

Pengaruh Tekanan pada Proses Manufaktur Komposit Berbahan Cangkang Kemiri dan Arang Cangkang Kemiri/Epoxy Terhadap Densitas dan Struktur Mikro

The Effect of Pressure on the Manufacturing Process of Composites Made from Candlenut Shells and Candlenut Shell Charcoal/Epoxy on Density and Microstructure

Gustio Mitro^{1,*}, Mastariyanto Perdana², Putri Pratiwi²

¹Undergraduated Program of Mechanical Engineering, Institut Teknologi Padang

²Department of Mechanical Engineering, Institut Teknologi Padang
Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo, Padang, Indonesia

[doi.10.21063/jtm.2024.v14.i2.56-63](https://doi.org/10.21063/jtm.2024.v14.i2.56-63)

*Correspondence should be addressed to gustiomitro112@gmail.com

Copyright © 2024 G. Mitro, M. Perdana & P. Pratiwi. This is an open access article distributed under the [CC BY-NC-SA 4.0](#).

Article Information

Received:

[July 25, 2024](#)

Revised:

[October 15, 2024](#)

Accepted:

[October 22, 2024](#)

Published:

[October 31, 2024](#)

Abstract

Candlenut shell waste has not been widely utilized, especially in the field of material technology. In this study, innovation was carried out on the management of candlenut shell waste with the aim of reducing candlenut shell waste into something useful as a composite of candlenut shell/epoxy. Candlenut shells are ground into powder and sieved on the powder with a mesh of 50-80 with a powder size of 177-297 μ m. To obtain shell charcoal powder, candlenut shells are carbonized after that ground into powder and sieved with a mesh of 100-200 with a powder size of 74-149 μ m. While for epoxy resin, it is mixed with a ratio of resin to hardener (2:1). The mixture ratio of candlenut shell composite%, candlenut shell charcoal%, and epoxy resin% is (45:10:45). The printing of the test sample used the printing method, the mold was pressed with a pressure of 21 kg/cm², 25 kg/cm², 28 kg/cm², 32 kg/cm², 35 kg/cm² for 24 hours. The sample testing in this study was observation of the microstructure and density testing. In the density test and observation of the microstructure, where the best pressure among the other pressures was at a pressure of 32 kg/cm² because it can be seen from the density value of 1.14 g/cm³ and the relative density result value of 87%. The things that affect the density test and observation of the microstructure are the comparison at each pressure, the increase in pressure that produces a composite with good physical properties, namely the results of the density data prove an increase in its density and observations of its microstructure prove an increase in the density of the good powder particle composite.

Keywords: candlenut shell, epoxy resin, density, microstructure, composite

1. Pendahuluan

Material komposit telah menjadi pusat perhatian dalam pengembangan teknologi material modern karena kemampuannya menggabungkan dua atau lebih bahan dengan sifat-sifat berbeda untuk menghasilkan material

baru yang memiliki keunggulan mekanik, termal, atau kimia yang lebih baik dibandingkan material penyusunnya secara individual. Komposit pada umumnya terdiri atas dua komponen utama, yaitu matriks dan penguat (reinforcement). Matriks berperan sebagai media pengikat dan pelindung penguat,

sedangkan penguat memberikan kekuatan mekanik pada struktur komposit secara keseluruhan [1].

Dalam beberapa dekade terakhir, polimer termoplastik dan termoset telah banyak digunakan sebagai matriks dalam pembuatan komposit, dengan polimer epoxy menjadi salah satu jenis termoset yang paling sering diaplikasikan. Epoxy dikenal memiliki sifat mekanik yang baik, ketahanan terhadap korosi, daya rekat yang tinggi terhadap berbagai substrat, dan kestabilan termal yang cukup baik [2]. Resin epoxy biasanya digunakan dalam bentuk dua komponen, yaitu resin utama dan hardener. Ketika dicampur, terjadi reaksi kimia polimerisasi yang menghasilkan jaringan polimer tiga dimensi yang bersifat keras dan tidak dapat dilelehkan kembali meskipun dipanaskan. Inilah yang membedakan epoxy dari jenis polimer termoplastik lainnya yang dapat mencair kembali saat dipanaskan [3].

Penggunaan material alami sebagai penguat dalam komposit juga telah menjadi tren penelitian, terutama dengan berkembangnya isu keberlanjutan dan kebutuhan akan material ramah lingkungan. Penguat berbasis serat alami dan biomassa telah banyak dikembangkan sebagai alternatif dari serat sintesis karena ketersediaannya yang melimpah, harga yang murah, dan sifat degradasi alami yang baik [4]. Dalam konteks ini, cangkang kemiri (*Aleurites moluccanus*) dan arang dari cangkang kemiri muncul sebagai bahan alternatif yang potensial sebagai filler atau penguat dalam sistem matriks epoxy. Cangkang kemiri merupakan limbah biomassa pertanian yang kaya akan lignoselulosa dan karbon, sehingga menawarkan struktur mikro berpori yang memungkinkan integrasi mekanik yang baik dengan matriks polimer [5].

Pemanfaatan limbah cangkang kemiri dalam bentuk arang juga memberikan potensi peningkatan sifat mekanik dan fungsional komposit. Arang cangkang kemiri memiliki kandungan karbon yang tinggi dan struktur berpori halus yang dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekakuan material komposit, serta dapat memperbaiki sifat konduktivitas termal dan densitas komposit secara keseluruhan [6]. Penambahan partikel arang ke dalam matriks epoxy tidak hanya meningkatkan kinerja mekanik, tetapi juga memungkinkan pengembangan material komposit yang lebih tahan terhadap tekanan dan beban dinamis.

Selain komposisi material, proses manufaktur dan parameter pemrosesan juga memegang peranan penting dalam menentukan

sifat akhir dari material komposit. Salah satu parameter penting tersebut adalah tekanan saat proses pencetakan atau pemadatan komposit. Tekanan yang diberikan saat proses manufaktur memengaruhi tingkat impregnasi matriks ke dalam filler atau serat penguat, serta menentukan kerapatan (densitas) akhir dari komposit. Densitas komposit merupakan parameter penting yang berhubungan erat dengan kekuatan mekanik, kekakuan, serta kinerja termal dan akustik dari material. Beberapa penelitian menyatakan bahwa peningkatan tekanan selama proses manufaktur dapat menurunkan porositas, meningkatkan homogenitas campuran, dan memperkuat ikatan antar fasa dalam komposit [7].

Struktur mikro dari komposit yang dihasilkan sangat bergantung pada interaksi antara partikel penguat dan matriks. Interaksi ini dipengaruhi oleh morfologi permukaan filler, distribusi ukuran partikel, serta kondisi permukaan matriks dan filler sebelum proses pencampuran. Struktur mikro yang baik ditandai dengan penyebaran filler yang merata, minimnya void atau pori-pori udara, dan adanya ikatan interfacial yang kuat antara matriks dan penguat. Mikrografi dari permukaan potong komposit dapat mengungkap sejauh mana integrasi antara kedua fasa ini terjadi, serta memberikan informasi penting mengenai mekanisme kegagalan pada skala mikro seperti delaminasi atau retak interfacial [8].

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menyelidiki pengaruh tekanan pada proses manufaktur komposit berbasis cangkang kemiri dan arang cangkang kemiri yang dimodifikasi dengan matriks epoxy terhadap densitas dan struktur mikronya. Dengan mengatur tekanan proses secara sistematis, diharapkan diperoleh pemahaman yang lebih baik mengenai hubungan antara kondisi manufaktur, sifat mikrostruktur, dan karakteristik fisis material komposit yang dihasilkan. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan penggunaan limbah biomassa lokal seperti cangkang kemiri sebagai bahan baku alternatif dalam teknologi material komposit, sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular dan pengelolaan limbah berkelanjutan.

Penelitian-penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa pemanfaatan material berbasis biomassa seperti sekam padi, sabut kelapa, dan tempurung kelapa dalam komposit epoxy memberikan peningkatan pada beberapa sifat mekanik dan termal, tergantung pada ukuran partikel, fraksi volume, dan tekanan proses yang diterapkan [9][10]. Namun, sejauh

ini masih terbatas penelitian yang secara spesifik mengevaluasi kombinasi antara cangkang kemiri, arang cangkang kemiri, dan resin epoxy dengan variasi tekanan sebagai parameter utama dalam proses pembentukan komposit. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi baru dalam pengembangan material komposit berbasis biomassa yang ekonomis dan ramah lingkungan, serta mendukung upaya diversifikasi material rekayasa di bidang teknik material dan manufaktur.

2. Metode

Pada penelitian ini digunakan peralatan sebagai berikut:

- **Mikroskop Optik:** digunakan untuk melakukan pengamatan struktur mikro ([Gambar 1](#)).
- **Alat Uji Densitas:** digunakan untuk melakukan pengujian massa jenis material komposit berbahan cangkang kemiri, serbuk arang aktif cangkang kemiri dan resin epoxy ([Gambar 2](#)).
- **Cetakan Spesimen:** digunakan untuk mencetak spesimen yang akan digunakan pada pengamatan struktur mikro dan mencetak spesimen uji densitas ([Gambar 3](#)).
- **Lesung Batu:** digunakan untuk menumbuk dan menghaluskan cangkang kemiri sehingga mendapat ukuran serbuk yang diinginkan ([Gambar 4](#)).
- **Sieving:** Sieving 50, 80, 100, 00 ABM Test Sieve Analys ASTM E:11 digunakan untuk menyaring bahan dasar pembuatan komposit seperti serbuk cangkang kemiri dan serbuk arang cangkang kemiri yang sudah ditumbuk dan mendapatkan tingkat kehalusan yang diinginkan ([Gambar 5](#)).
- **Hydraulic Press:** digunakan untuk memberi tekanan pada spesimen yang akan dicetak ([Gambar 6](#)).
- **Jangka Sorong:** digunakan untuk mengukur ukuran spesimen uji ([Gambar 7](#)).
- **Timbangan Digital:** digunakan untuk menimbang massa cangkang kemiri dan resin epoxy dan hardener dalam pembuatan komposit ([Gambar 8](#)).
- **Mixer:** digunakan untuk mengaduk cangkang kemiri, serbuk arang cangkang kemiri, dan resin epoxy dalam pembuatan komposit ([Gambar 9](#)).

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- **Serbuk Cangkang Kemiri (SCK):** sebagai bahan utama penguat dalam pembuatan komposit cangkang kemiri ([Gambar 10](#)).

- **Serbuk Arang Aktif Cangkang Kemiri (SACK):** sebagai bahan penguat dalam pembuatan komposit cangkang kemiri ([Gambar 11](#)).
- **Resin Epoxy:** sebagai bahan utama pengikat dalam pembuatan komposit cangkang kemiri ([Gamabr 12](#)).



Gambar 1. Mikroskop Optik



Gambar 2. Alat Uji Densitas



Gambar 3. Cetakan Spesimen



Gambar 4. Lesung Batu



Gambar 4. Lesung Batu



Gambar 8. Timbangan Digital



Gambar 5. Sieving



Gambar 9. Mixer



Gambar 10. Serbuk Cangkang Kemiri (SCK)



Gambar 6. Hydraulic Press



Gambar 11. Serbuk Arang Aktif Cangkang Kemiri (SACK)



Gambar 7. Jangka Sorong



Gambar 12. Resin Epoxy

Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan berikut:

- Studi literatur dan identifikasi masalah
- Persiapan alat dan bahan
- Penghalusan bahan
- Pengayakan bahan
- Pencampuran/pengadukan bahan
- Press bahan pada cetakan
- Pembuatan spesimen
- Pengukuran spesimen
- Pengujian densitas
- Pengamatan struktur mikro
- Pengumpulan data
- Pengolah data
- Analisis data dan pembahasan
- Kesimpulan

Variabel Beban Penekanan

Variasi beban tekan pada proses press bahan pada cetakan untuk membuat komposit dengan penguat SCK, SACK, dan Resin Epoxy adalah 21 kg/cm², 25 kg/cm², 28 kg/cm², 32 kg/cm² dan 35 kg/cm².

Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Material Institut Teknologi Padang.

3. Hasil dan Pembahasan

A. Densitas dan *Relative Density*

Hasil pengujian massa jenis atau densitas menggunakan teori Archimedes. Proses tersebut dengan melakukan penimbangan spesimen di udara dan penimbangan spesimen yang direndam ke dalam air. Selanjutnya data yang didapat dihitung menggunakan persamaan berikut [11]:

$$\rho_{act} = \frac{wk}{wk - wf} \times \rho_f \quad (1)$$

$$RD = \frac{\rho_{act}}{\rho_{teo}} \times 100\% \quad (2)$$

Tabel 1. Densitas aktual komposit

No	Tekanan (kg/cm ²)	Rata-rata Densitas (gr/cm ³)
1.	21	1.10 ± 0.009
2.	25	1.12 ± 0.010
3.	28	1.13 ± 0.024
4.	32	1.14 ± 0.015
5.	35	1.12 ± 0.011

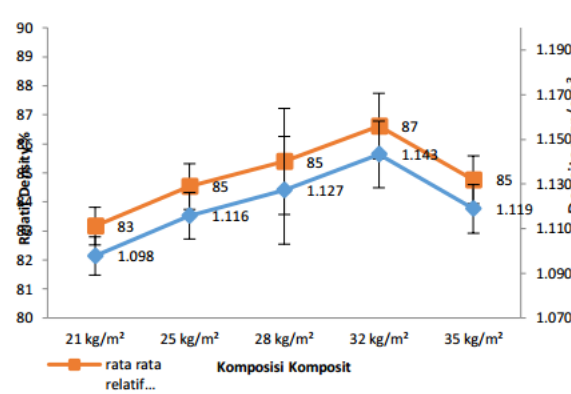
Densitas aktual komposit yang diperoleh dari pengolahan data diperlihatkan pada Tabel 1 dengan *relative density* seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. *Relative density* komposit

No	Tekanan (kg/cm ²)	ρ_{teo} (gr/cm ³)	Rata-rata Relatif Density (gr/cm ³)
1.	21	1.32	84 ± 0.649
2.	25	1.32	85 ± 0.788
3.	28	1.32	86 ± 1.828
4.	32	1.32	87 ± 1.131
5.	35	1.32	85 ± 0.826

Berdasarkan hasil pengujian densitas yang dilakukan, setelah dilakukan hasil perhitungan yang mana untuk mengetahui kepadatan/kerapatan sebuah material komposit didapati hasil perbandingan yang terbaik dari sebanyak 1-5 variasi tekanan. Hasil kerapatan yang terbaik di variasi 4 dengan tekanan 32 kg/cm² dengan nilai densitas 1,14 gr/cm³. Sedangkan untuk hasil kerapatan/kepadatan yang terendah dari 1-5 variasi tekanan adalah pada variasi 1 dengan tekanan 21 kg/cm² dengan nilai densitas 1,10 gr/cm³.

Relative density yang diperoleh pada Tabel 2 menunjukkan adanya porositas pada material komposit tersebut. Hasil perbandingan yang terbaik dari sebanyak 1-5 variasi tekanan di mana hasil kerapatan yang terbaik di variasi 4 dengan tekanan 32 kg/cm² dengan nilai *relative density* 87%. Sedangkan untuk hasil porositas yang terendah dari 1-5 variasi tekanan adalah pada variasi 1 dengan tekanan 21 kg/cm² dengan nilai *relative density* 84%.



Gambar 13. Grafik hubungan densitas dengan *relative density* pada komposit

Hubungan densitas dengan *relative density* dapat dilihat pada Gambar 13. Pada grafik perbandingan rata-rata variasi tekanan setiap komposit, dilihat dari variasi 1 sampai ke variasi 4 grafik meningkat, ini dikarenakan seiring dengan bertambahnya tekanan membuat kerapatan pada material komposit meningkat lebih baik. Semakin padat atau rapat suatu bahan maka densitasnya akan semakin tinggi dan porositas akan semakin kecil, begitu juga sebaliknya. Porositas pada bahan komposit dapat menurunkan sifat bahan seperti kekerasan

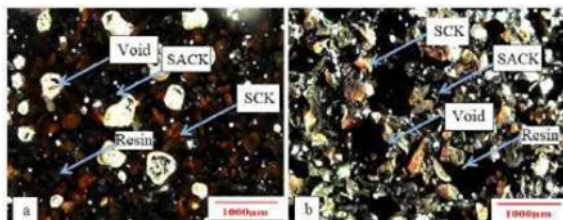
dan laju keausan, yang pada akhirnya mempengaruhi sifat karakteristik bahan [11].

Pada variasi ke 5 grafik menurun, hal ini dikarenakan penambahan tekanan yang masih menyisakan rongga yang tidak dapat tertutupi yang dimana tekanan yang terlalu besar membuat cetakan tidak mampu menahan material dan mengakibatkan material keluar dari cetakan, hal ini dapat di buktikan pada Gambar 13 pengujian struktur mikro.

B. Struktur Mikro

Dalam pengujian pengamatan struktur mikro yang dilakukan bertujuan untuk melihat rongga (void) atau cacat pada sampel uji, hasil pengamatan struktur mikro yang diamati saat pengujian menggunakan Digital Mikroskop dengan ukuran pengamatan $1\text{mm}=1000\mu\text{m}$ menggunakan pembesaran skala 1000x, yang diamati pada pengujian struktur mikro pada sampel adalah bagian permukaan sampel dan patahannya, spesimen atau sampel yang akan di uji sebanyak 5 variasi dengan satu komposisi sebanyak 6 buah sampel, setiap sampel dilakukan pengamatan sebanyak tiga kali.

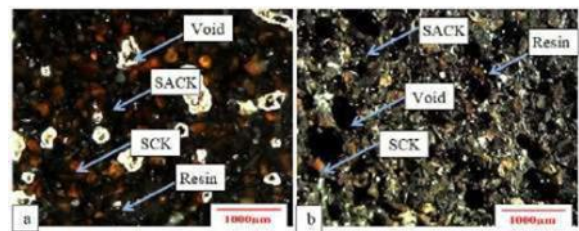
Berdasarkan hasil pengujian struktur mikro yang dilakukan pada sampel variasi 1 Gambar 14(a), dilihat dari hasil pengamatan sampel 1 pada permukaannya terdapat cekungan-cekungan, ini dikarenakan tekanan yang diberikan belum cukup untuk menutup rongga (void) atau meratakan permukaan maka dilakukan penambahan tekanan yang mana bertujuan untuk menutup cekungan-cekungan tersebut. Berdasarkan hasil pengamatan pada patahan sampel variasi 1 Gambar 14(b), dilihat dari hasil patahan sampel variasi 1 terdapat banyak rongga-rongga (void), ini dikarenakan tekanan yang diberikan belum cukup untuk menutup rongga (void) maka dilakukan penambahan tekanan yang mana bertujuan untuk menutup rongga-rongga tersebut.



Gambar 14. (a) Permukaan tekanan 21 kg/cm², dan (b) Patahan tekanan 21 kg/cm²

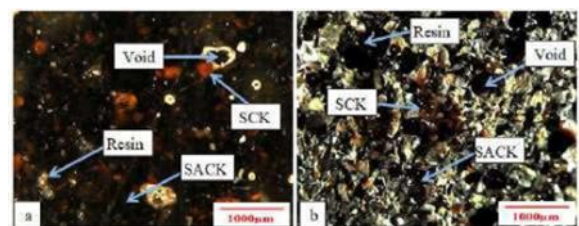
Berdasarkan hasil pengujian struktur mikro yang dilakukan pada sampel variasi 2 Gambar 15 (a), dilihat dari hasil pengamatan sampel variasi 2 pada permukaannya cekungan-cekungan sedikit berkurang dari sampel variasi

1, ini dikarenakan adanya penambahan tekanan terhadap material yang mana sedikit mengurangi cekungan-cekungan yang banyak dan lebar pada sampel variasi 1. Berdasarkan hasil pengamatan pada patahan sampel variasi 2 Gambar 15(b), dilihat dari hasil patahan sampel variasi 2 dimana rongga-rongga (void) yang terlihat sedikit mengecil dari sampel variasi 1, ini dikarenakan adanya penambahan tekanan terhadap material yang mana sedikit mengurangi rongga-rongga tersebut dan membuat rongga sedikit mengecil dari sampel variasi 1.



Gambar 15. (a) Permukaan tekanan 25 kg/cm², dan (b) Patahan tekanan 25 kg/cm²

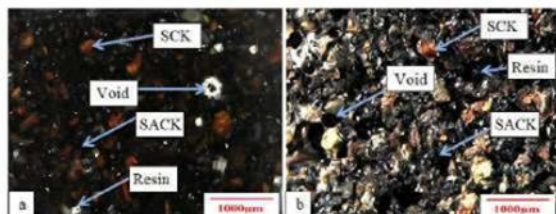
Berdasarkan hasil gambar pengujian struktur mikro yang dilakukan pada sampel variasi 3 Gambar 16(a), dilihat dari hasil pengamatan permukaannya terlihat mulai menunjukkan kerapatannya dimana cekungan-cekungan yang banyak mulai berkurang, ini disebabkan karena penambahan tekanan yang bervariasi dan lebih besar tekanannya dari sampel variasi 2. Sedangkan pada patahannya, dilihat dari Gambar 16(b) sampel variasi 3 terlihat rongga-rongga yang nampak mulai di isi serbuk arang cangkang kemiri dimana terlihat mulai menunjukkan kerapatan karena dorongan tekanan yang di berikan meningkat dari sampel variasi 2.



Gambar 16. (a) Permukaan tekanan 28 kg/cm², dan (b) Patahan tekanan 28 kg/cm²

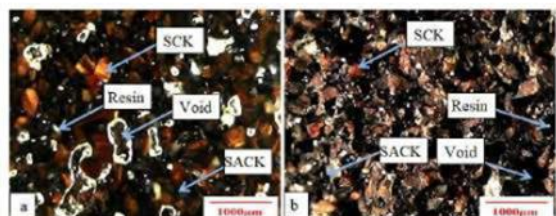
Berdasarkan hasil gambar pengujian struktur mikro yang dilakukan pada sampel variasi 4 Gambar 17(a), terlihat dari hasil pengamatan permukaannya cekungan-cekungan yang nampak hampir sudah tidak terlihat, ini menunjukkan dari semua variasi. Sedangkan pada patahannya terlihat pada Gambar 17(b) terlihat rongga-rongga (void) yang ada di bandingkan dari sampel variasi 3 hanya terlihat

sedikit dan terlihat lebih kecil dari rongga-rongga sampel-sampel sebelumnya, adapun rongga-rongga yang terlihat ini disebabkan karena bentuk dari serbuk cangkang kemiri dan serbuk arang cangkang kemiri yang beragam sehingga penyusunan partikel serbuk masih menyisakan rongga rongga.



Gambar 17. (a) Permukaan tekanan 32 kg/cm², dan (b) Patahan tekanan 32 kg/cm²

Dari hasil gambar pengujian struktur mikro yang dilakukan pada sampel variasi 5 Gambar 18(a), terlihat hasil pengamatan permukaan variasi 5 yang dimana cekungan-cekungan yang masih terlihat ini di karenakan penambahan tekanan yang masih menyisakan rongga yang tidak dapat tertutupi yang dimana variasi tekanan ini terlalu besar membuat cetakan tidak mampu menahan material dan mengakibatkan material keluar dari cetakan dan dilihat pada patahannya Gambar 18(b) terlihat rongga-rongga (void) di sebabkan material yang keluar dari cetakan karna cetakan tidak sanggup menahan material di dalam nya karna tekanan yang diberikan terlalu besar.



Gambar 18. (a) Permukaan tekanan 35 kg/cm², dan (b) Patahan tekanan 35 kg/cm²

Dari hasil pengujian densitas dan struktur mikro yang telah di lakukan dapat di simpulkan hasil yang di dapatkan dari sifat fisik yang telah diuji dan di amati bahwasannya tekanan 32 kg/cm² adalah hasil kerapatan/kepadatan yang terbaik dengan nilai densitas 1,14 gr/cm³ dan untuk nilai relatif density 87%, Sedangkan untuk hasil kerapatan/kepadatan yang terendah adalah tekanan 21 kg/cm² dengan nilai densitas 1,10 gr/cm³ dan untuk nilai relatif density 84%, dapat dilihat juga dari hasil pengujian mekanik dan pengujian termal.

4. Simpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat di simpulkan bahwa variasi tekanan dapat menghasilkan kerapatan/kepadatan yang berbeda di setiap variasi komposit pada pengujian densitas, relatif density dan struktur mikro dengan bahan material komposit berbahan serbuk cangkang kemiri, serbuk arang cangkang kemiri dan resin epoxy, pada komposit ini telah di lakukan pengujian densitas, relatif density, dan pengamatan struktur mikro yang di dapati hasil yang terbaik adalah (32 kg/cm²), dengan hasil densitas 1,14 gr/cm³ dan relatif density 87% hasil tersebut telah di buktikan pada Gambar pengamatan struktur mikro dimana rongga yang terdapat hanya sedikit dari pada variasi lain.

Referensi

- [1] Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials Science and Engineering: An Introduction* (10th ed.). Wiley.
- [2] Madhukar, R., Deepak, P., & Kumar, P. (2020). Mechanical properties of epoxy composites: A review. *Materials Today: Proceedings*, 28, 1300–1305. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.376>
- [3] Strong, A. B. (2008). *Fundamentals of Composites Manufacturing: Materials, Methods and Applications* (2nd ed.). Society of Manufacturing Engineers.
- [4] Ramesh, M., Palanikumar, K., & Reddy, K. H. (2013). Plant fibre based bio-composites: Sustainable and renewable green materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 558–584. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.094>
- [5] Iswanto, A. H., Prabuningrum, D. S., Hadi, Y. S., & Suryani, L. (2020). Characterization of biochar from kemiri nutshells for composite filler. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 441, 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/441/1/012018>
- [6] Purwanto, A., Subagia, I. D. G. A., & Saputra, W. A. (2019). The use of kemiri shell charcoal as a natural filler in polymer matrix composite. *Materials Science Forum*, 967, 64–69. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.967.64>
- [7] Ahmed, M. R., Abdullah, M. A., & Sulaiman, S. (2017). Effect of processing

- pressure on mechanical properties of natural fiber reinforced polymer composites. *Composites Part B: Engineering*, 120, 207–214. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.03.050>
- [8] Dhand, V., Mittal, G., Rhee, K. Y., Park, S. J., & Hui, D. (2015). A short review on basalt fiber reinforced polymer composites. *Composites Part B: Engineering*, 73, 166–180. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.12.011>
- [9] Suryanegara, L., Putra, R. H., & Kim, N. H. (2018). Effect of rice husk biochar on mechanical and thermal properties of epoxy-based composites. *Journal of Polymers and the Environment*, 26, 1659–1667. <https://doi.org/10.1007/s10924-017-1066-1>
- [10] Nurdin, M., Wahyudi, I., & Kurniawan, D. (2021). Effect of pressure on mechanical properties of coconut shell powder reinforced epoxy composite. *Materials Today: Proceedings*, 44, 3667–3672. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.870>
- [11] Sunardi, S., Fawaid, M., & Muhamad, F. R. N. (2015). Variasi Campuran Fly Ash Batubara untuk Material Komposit. *Flywheel: Jurnal Teknik Mesin Untirta*, I(1), 90–102.