



## ANALISIS PENGARUH PERSENTASE SERAT RAMI DAN HIDROKSIAPATIT TERHADAP KEKUATAN MEKANIK PADA KOMPOSIT SERAT RAMI/HIDROKSIAPATIT/UHMWPE SEBAGAI POTENSI BIOMATERIAL

Achmad Luthfian Fathoni<sup>1a</sup>, Xander Salahudin<sup>1</sup>, Sri Hastuti<sup>1</sup>, Eko Saputra<sup>2b</sup>, Farika Tono Putri<sup>2</sup>, Ragil Tri Indrawati<sup>2</sup>, Wahyu Isti Nugroho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

<sup>2</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Politeknik Negeri Semarang

Korespondensi:

<sup>a</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

<sup>b</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Politeknik Negeri Semarang

Email: achmadluthfian12@gmail.com

### ABSTRAK

Biomaterial merupakan material yang berfungsi untuk menggantikan bagian tubuh manusia yang mengalami kerusakan. Secara umum, biomaterial banyak terbuat dari material logam yang memiliki kekuatan dan ketangguhan dalam menyatukan tulang patah atau retak. Namun, biomaterial dari logam memiliki kekurangan, diantaranya menimbulkan rasa nyeri dan modulus elastisitas tinggi yang menimbulkan pelemahan pada tulang. Sehingga diperlukan material alternatif selain logam, salah satu material alternatif yang dapat digunakan adalah komposit. Pada penelitian ini dilakukan analisis pengaruh komposisi serat rami dan hidroksiapatit pada komposit bermatriks UHMWPE terhadap ketangguhan impact dan kekuatan tarik. Dengan variasi komposisi 10% : 0% : 90%, 5% : 5% : 90%, 0% : 10% : 90%. Komposit difabrikasi menggunakan metode *hot press*, dengan parameter suhu 215°C, tekanan 370 kgf, dan lama penekanan 30 menit. Hasilnya komposit dengan variasi komposisi 10% serat rami menghasilkan nilai ketangguhan impact dan kekuatan tarik yang paling optimal, yaitu 0,048 J/mm<sup>2</sup> dan 16,98 MPa.

**Kata kunci:** Biomaterial, komposit, *hot press*, hidroksiapatit, UHMWPE, rami

### ABSTRACT

*Biomaterials are materials designed to replace damaged parts of the human body. Generally, biomaterials are commonly made from metals due to their strength and durability, especially in joining broken or fractured bones. However, metal-based biomaterials have certain drawbacks, such as causing pain and high elasticity modulus, which can lead to bone weakening. Therefore, alternative materials besides metals are needed; one potential alternative is composites. This study analyzes the effect of ramie fiber and hydroxyapatite composition in UHMWPE matrix composites on impact toughness and tensile strength, with composition variations of 10%:0%:90%, 5%:5%:90%, and 0%:10%:90%. The composites were fabricated using the hot press method with parameters of 215°C temperature, 370 kgf pressure, and 30 minutes pressing time. Results show that the composite with 10% ramie fiber composition achieved the most optimal impact toughness and tensile strength values.*

**Keywords:** Biomaterial, composite, hot press, hydroxyapatite, UHMWPE, ramie

## 1. PENDAHULUAN

Komposit tersusun dari material matriks dan material penguat yang saling terikat. Material komposit memiliki karakteristik yang fleksibel sehingga dapat diaplikasikan secara luas [1]. Salah satu contoh aplikasi material komposit adalah sebagai bahan biomaterial. Biomaterial berfungsi menggantikan bagian tubuh manusia yang mengalami kerusakan [2]. Secara umum, biomaterial terbuat dari logam. Namun, kekurangannya biomaterial dari logam yaitu menimbulkan rasa nyeri dan bisa menyebabkan pelemahan tulang karena modulus elastisitas logam yang tinggi [3]. Penelitian sebelumnya terkait dengan biomaterial berbahan UHMWPE dan HA sudah dilakukan pada tahun 2023, hasilnya komposisi 87% UHMWPE : 13% HA mendapatkan nilai kekuatan tarik sebesar 2,54 MPa dan dapat diaplikasikan untuk *acetabular liner cup implant* [3].

Pada penelitian ini dilakukan analisis material komposit dari matriks polimer sebagai material alternatif dari biomaterial logam. Komposit dengan matriks polimer dipilih karena dapat memberikan keseimbangan antara kekuatan dari logam dan kekakuan dari keramik. Bahan-bahan penyusun komposit yang digunakan sama dengan penelitian sebelumnya, UHMWPE dan HA, dengan tambahan serat rami sebagai material penguat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis nilai ketangguhan impact, nilai kekuatan tarik, dan morfologi dari setiap variasi komposisi kombinasi UHMWPE, HA, dan serat rami sebagai potensi biomaterial.

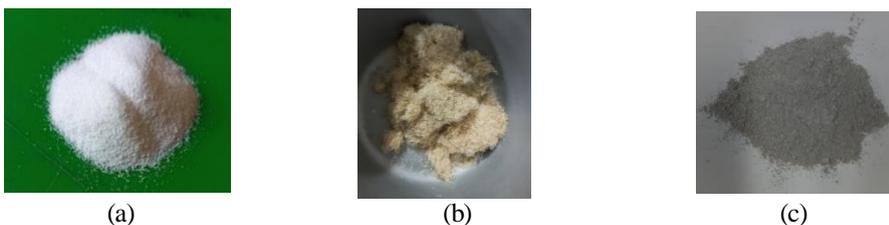
UHMWPE telah digunakan secara luas di bidang medis, karena memiliki sifat biokompatibilitas, ketahanan kimia, dan volume keausan yang rendah. UHMWPE juga memiliki kekuatan tarik yang tinggi dan tahan terhadap bahan kimia [4]. Serat rami digunakan sebagai material penguat karena memiliki kekuatan mekanik yang cukup besar dibandingkan serat sintetis [5]. Serat rami termasuk dalam kategori serat alam yang memiliki sifat mekanik yang baik dan densitas rendah, sehingga berpotensi untuk diaplikasikan sebagai material penguat pada struktur ringan [6]. Hidroksiapatit (HA) digunakan sebagai *filler* karena memiliki struktur kristal apatit yang cukup kuat untuk menahan beban dan dapat mempercepat fiksasi biologis pada jaringan tulang [7]. Penggunaan HA sebagai *filler* juga dapat meningkatkan efisiensi transmisi beban [8].

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu cetakan spesimen, *hot press*, alat uji impact charpy, alat uji tarik, dan alat uji SEM. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah UHMWPE, serat rami, dan HA, seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. Dengan 3 variasi komposisi, yaitu:

- Variasi A: 10% serat rami, 0% hidroksiapatit, 90% UHMWPE
- Variasi B: 5% serat rami, 5% hidroksiapatit, 90% UHMWPE
- Variasi C: 0% serat rami, 10% hidroksiapatit, 90% UHMWPE



Gambar 1. UHMWPE (a), serat rami (b), hidroksiapatit (c)

### 2.2 Prosedur Penelitian

Spesimen dibuat menggunakan 3 gabungan bahan. UHMWPE sebagai matriks atau material pengikat, serat rami sebagai material penguat, dan hidroksiapatit sebagai *filler* atau material pengisi. Adapun tahap pembuatan komposit sebagai berikut:

1. Serat rami diberi perlakuan alkali atau perendaman dengan larutan 5% NaOH selama 2 jam untuk menghilangkan kandungan getah dan lignin, sehingga bisa meningkatkan ikatan antara serat dan matriks [9].
2. Setelah proses alkali, serat rami dijemur hingga kering, dan dipotong dengan panjang serat 5mm [10].

3. Proses kalsinasi tulang sapi di dalam *furnace* dengan suhu 900°C selama 4 jam [11]. Proses kalsinasi bertujuan untuk menghilangkan kandungan senyawa organik dan kandungan air di dalam tulang sapi, sehingga didapatkan hidroksiapatit murni [12].
4. Menimbang serat rami, hidroksiapatit, dan UHMWPE sesuai dengan persentase dan fraksi volume yang sudah ditentukan.
5. Melakukan fabrikasi komposit menggunakan metode cetak tekan panas atau hot press, dengan parameter suhu 215°C, tekanan 370 kgf, dan *holding time* 30 menit [13]. Lalu mendinginkan cetakan hingga suhu ruangan, dilanjutkan dengan proses melepaskan spesimen dari cetakan.
6. Spesimen yang sudah dicetak akan dipotong sesuai dengan dimensi standar uji dan dilakukan pengujian ketangguhan impak ASTM D-5942 dan uji kekuatan tarik ASTM D-638.
7. Melakukan uji pengamatan SEM pada patahan spesimen, hal ini dilakukan untuk mengetahui dan menganalisis morfologi, struktur, dan ikatan material komposit.



**Gambar 2.** Proses cetak komposit dengan *hot press*



**Gambar 3.** Hasil cetak komposit

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

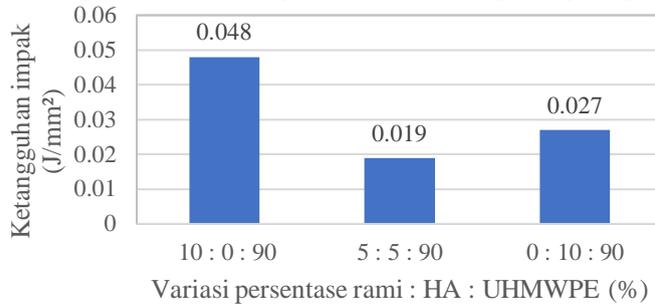
#### 3.1 Hasil uji impak charpy

Uji impak dilakukan sebanyak 3 kali pengujian pada setiap variasi komposisi. Dari pengujian impak ini dihasilkan energi serap dan harga impak. Hasil pengujian impak ditampilkan pada tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil Pengujian Impak

No	Variasi	Energi Serap (J)	Harga Impak (J/mm <sup>2</sup> )
1	10% rami : 0% HA: 90% UHMWPE	1,44	0,048
2	5% rami : 5% HA: 90% UHMWPE	0,53	0,019
3	0% rami : 10% HA: 90% UHMWPE	0,85	0,027

Data hasil pengujian impak kemudian disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 4.

**Gambar 4.** Grafik pengaruh variasi persentase rami : HA : UHMWPE terhadap kekuatan impak

Dari grafik pada gambar 4, ketangguhan impak tertinggi pada variasi komposisi 10% rami : 0% HA: 90% UHMWPE dengan nilai rata-rata ketangguhan impak sebesar 0,048 J/mm<sup>2</sup>. Serat rami sebagai material penguat dapat menyerap energi benturan ketika spesimen dikenai beban kejut dan dapat mendistribusikan energi benturan secara lebih merata [14]. Nilai energi serap dan harga impak paling rendah pada variasi komposisi 5% rami : 5% HA: 90% UHMWPE dengan harga impak 0,019 J/mm<sup>2</sup>. Hal ini terjadi karena komposisi serat rami dan HA yang kurang optimal untuk dapat menjalankan tugasnya sebagai penguat dan pengisi. Kedua bahan tersebut tidak cukup dominan untuk menerima beban kejut dan mendistribusikan beban ke semua area komposit [15].

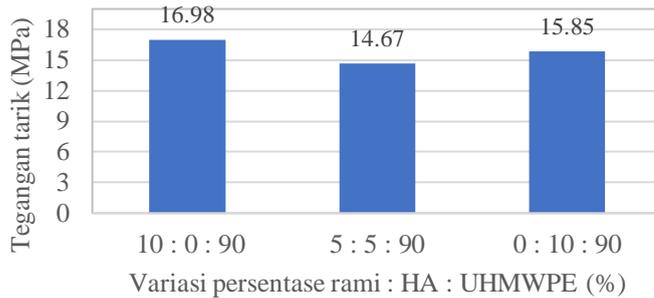
### 3.2 Hasil uji tarik

Pengujian dilakukan menggunakan Universal Testing Machine. Uji tarik dilakukan 3 kali pengujian pada setiap variasi komposisi. Dari pengujian tarik ini dihasilkan data tegangan tarik, regangan tarik, dan modulus elastisitas. Data hasil pengujian tarik ditunjukkan pada tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil Pengujian Tarik

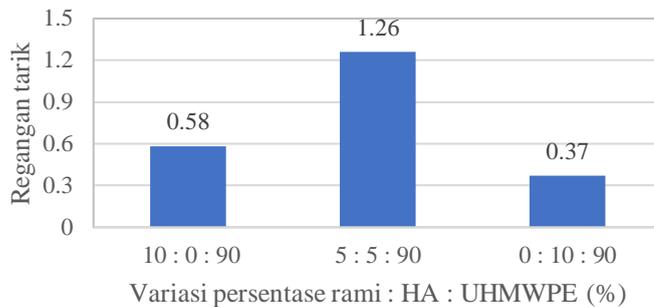
No	Variasi	$\sigma$ (MPa)	$\epsilon$	$E$ (MPa)
1	10% rami: 0% HA: 90% UHMWPE	16,98	0,58	30,0
2	5% rami : 5% HA: 90% UHMWPE	14,67	1,26	11,8
3	0% rami: 10% HA: 90% UHMWPE	15,85	0,37	44,97

Nilai tegangan tarik, regangan tarik, dan modulus elastisitas kemudian disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 5, gambar 6, dan gambar 7.



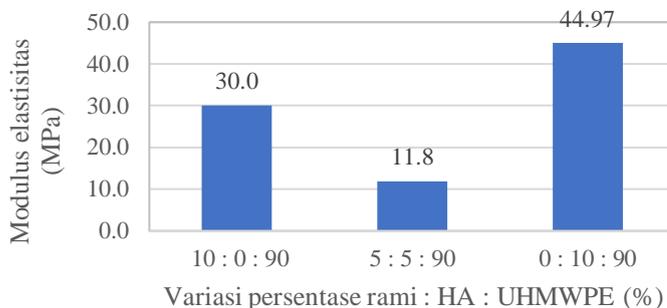
**Gambar 5.** Grafik pengaruh persentase rami : HA : UHMWPE terhadap tegangan tarik

Dari grafik pada gambar 5, Nilai tegangan tarik paling tinggi pada variasi 10% rami : 0% HA : 90% UHMWPE dengan rata-rata tegangan tarik 16,98 MPa. Serat rami dapat menjalankan fungsinya sebagai material penguat dengan mendistribusikan beban tarik secara lebih merata ke semua area spesimen [14]. Nilai tegangan tarik paling rendah pada variasi komposisi 5% rami : 5% HA : 90% UHMWPE dengan nilai rata-rata tegangan tarik 14,67 MPa. Hal ini dikarenakan persentase serat rami sebagai penguat dan HA sebagai pengisi tidak cukup dominan untuk mendistribusikan beban tarik secara optimal. Nilai tegangan tarik pada penelitian ini meningkat dibandingkan penelitian sebelumnya [3].



**Gambar 6.** Grafik pengaruh persentase rami : HA : UHMWPE terhadap regangan tarik

Dari grafik pada gambar 6. Nilai regangan tarik paling tinggi pada variasi komposisi 5% rami: 5% HA: 90% UHMWPE, dengan nilai 1,26. Kombinasi serat rami dan hidroksiapatit meski tidak bisa menghasilkan tegangan tarik yang optimal, namun bisa mendapatkan nilai regangan tarik yang paling tinggi. Sementara itu, regangan tarik paling rendah pada komposit dengan variasi komposisi 0% rami: 10% HA: 90% UHMWPE.



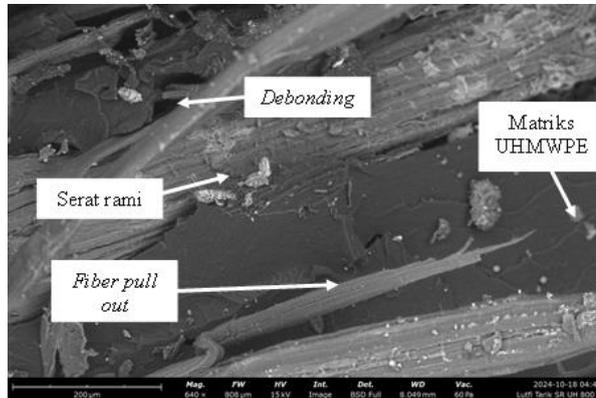
**Gambar 7.** Grafik pengaruh persentase serat rami : HA : UH terhadap modulus elastisitas

Dari grafik pada gambar 7. Nilai modulus elastisitas rata-rata paling tinggi dihasilkan pada komposit dengan variasi komposisi 0% rami : 10% HA : 90% UHMWPE, dengan nilai 44,97 MPa. Sementara itu, nilai modulus elastisitas rata-rata paling rendah pada komposit dengan variasi komposisi 5% rami: 5% HA: 90% UHMWPE, dengan nilai 11,8 MPa.

Semakin tinggi nilai modulus elastisitas maka material akan semakin kaku dan berlaku sebaliknya, semakin rendah nilai modulus elastisitas maka material akan semakin elastis.

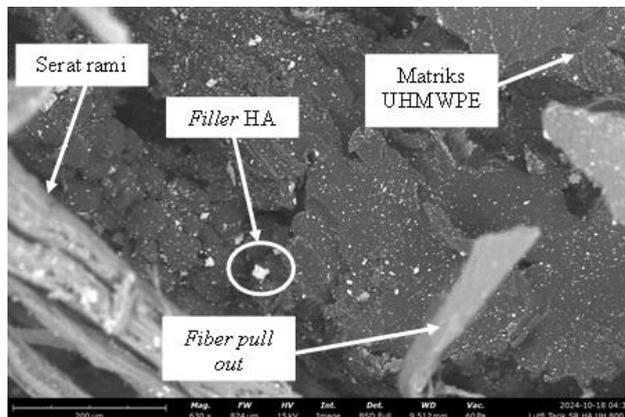
### 3.3 Hasil uji SEM

Uji SEM dilakukan pada penampang patahan uji tarik dengan nilai tegangan tarik terbaik dan terburuk. SEM menggunakan pembesaran lensa 800 kali. Hasil uji SEM dapat dilihat pada gambar 8 dan 9.



**Gambar 8.** Hasil uji SEM spesimen tarik 10% rami : 0% HA : 90% UHMWPE

Pada gambar 8, hasil uji SEM spesimen tarik 10% rami : 0% HA: 90% UHMWPE terlihat serat rami mengalami *fiber pull out* yang menandakan tidak optimalnya ikatan antara serat dan matriks, indikasi ini diperkuat dengan adanya fenomena *debonding* yang memperlihatkan serat dan matriks tidak terikat [16]. Ikatan antara matriks dan serat yang tidak optimal berpotensi mengurangi kekuatan mekanik komposit. Terlihat pula komposisi serat yang lebih banyak menjadikan serat rami sebagai material penguat dapat mendistribusikan beban tarik secara lebih merata ke semua area spesimen. Hal ini yang menjadi salah satu pengaruh komposit variasi komposisi 10% rami : 0% HA : 90% UHMWPE menghasilkan nilai kekuatan tarik yang paling tinggi.



**Gambar 9.** Hasil uji SEM spesimen tarik 5% rami : 5% HA : 90% UHMWPE

Pada gambar 9, hasil uji SEM spesimen tarik 5% rami : 5% HA: 90% UHMWPE terlihat serat rami mengalami *fiber pull out* yang menandakan tidak optimalnya ikatan antara serat dan matriks. Ikatan antara matriks dan serat yang tidak optimal berpotensi mengurangi kekuatan mekanik komposit. Namun, pada spesimen tarik ini tidak terjadi fenomena aglomerasi, hal ini menandakan *filler* HA terdistribusi lebih merata. Distribusi *filler* yang lebih merata ini membantu meningkatkan ikatan antara serat dan matriks [17]. Terlihat serat rami yang lebih sedikit, sehingga tidak cukup optimal untuk mendistribusikan beban tarik.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa nilai ketangguhan impak paling optimal pada variasi komposisi 10% rami : 0% HA : 90% UHMWPE. Serat rami yang lebih banyak dapat mendistribusikan beban tarik secara lebih merata. Nilai tegangan tarik paling rendah pada variasi komposisi 5% rami : 5% HA: 90% UHMWPE, kombinasi serat rami dan HA tidak cukup dominan untuk menahan beban tarik secara optimal. Nilai tegangan tarik paling optimal pada variasi komposisi 10% rami : 0% HA : 90% UHMWPE. Serat rami yang lebih banyak dapat mendistribusikan beban tarik secara lebih merata. Nilai tegangan tarik paling rendah pada variasi komposisi 5% rami : 5% HA: 90% UHMWPE, kombinasi serat rami dan HA tidak cukup dominan untuk menahan beban tarik secara optimal. Hasil pengujian SEM penampang patahan uji tarik menunjukkan adanya fenomena *fiber pull out* dan *debonding* yang menjadi indikasi ikatan serat dan matriks yang tidak optimal. Sehingga berpotensi mengurangi kekuatan komposisi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suyitno, *Bahan Teknik untuk Rekayasawan (Polimer, Keramik, Kayu, dan Komposit)*, 1st ed., vol. 1. Yogyakarta: Penerbit Pustaka Pranala, 2021.
- [2] I. Sukmana, A. Y. E. Risano, M. A. Wicaksono, and R. A. Saputra, "Perkembangan dan Aplikasi Biomaterial dalam Bidang Kedokteran Modern: A Review," *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 1, no. 5, pp. 635–646, Oct. 2022, doi: 10.55123/insologi.v1i5.1037.
- [3] L. Y. Putri, "Analisis Pengaruh Rasio Polycaprolactone dan Hydroxyapatite pada Komposit UHMWPE/PCL/HA Terhadap Sifat Mekanik, Morfologi, Biokompatibilitas untuk Aplikasi Acetabular Cup Liner Implant," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2023.
- [4] N. A. Patil, J. Njuguna, and B. Kandasubramanian, "UHMWPE for biomedical applications: Performance and functionalization," *Eur Polym J*, vol. 125, p. 109529, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2020.109529>.
- [5] A. Srikavi and M. Mekala, "Characterization of Sunn hemp fibers as a substitute for synthetic fibers in composites and various applications," *Ind Crops Prod*, vol. 192, p. 116135, Feb. 2023, doi: 10.1016/J.INDCROP.2022.116135.
- [6] Sutrisno, "Pengaruh Komposisi Serat Wlingi (Mansaiang) Terhadap Sifat Kekuatan Tarik," *Pilar Teknologi: Jurnal Ilmiah Ilmi-Ilmu Teknik*, vol. 6, 2021.
- [7] J. S. Al-Sanabani, A. A. Madfa, and F. A. Al-Sanabani, "Application of calcium phosphate materials in dentistry," 2013. doi: 10.1155/2013/876132.
- [8] D. L. P. Macuvele *et al.*, "Advances in ultra high molecular weight polyethylene/hydroxyapatite composites for biomedical applications: A brief review," *Materials Science and Engineering: C*, vol. 76, pp. 1248–1262, Jul. 2017, doi: 10.1016/J.MSEC.2017.02.070.
- [9] S. Prasojo, S. B. Respati, and H. Purwanto, "Pengaruh Alkalisasi terhadap Kompatibilitas Serat Sabut Kelapa (Cocos Nucifera) dengan Matriks Polyester," *Jurnal Ilmiah Cendekia Eksakta*, 2018.
- [10] R. F. Andretta and M. A. Irfai, "Pengaruh Panjang Serat Rami Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Sebagai Material Penyusun Kaki Palsu," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 09, 2021.
- [11] M. D. Puspitasari and S. E. Cahyaningrum, "Uji Degradasi Termal pada Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-Kolagen sebagai Bonegraft," 2021.
- [12] F. Afifah and S. E. Cahyaningrum, "Sintesis dan Karakteristik Hidroksiapatit dari Tulang Sapi (Bos taurus) Menggunakan Teknik Kalsinasi," 2020.
- [13] N. C. Parasnis and K. Ramani, "Analysis of the effect of pressure on compression moulding of UHMWPE," *J Mater Sci Mater Med*, vol. 9, no. 3, pp. 165–172, 1998, doi: 10.1023/A:1008871720389.
- [14] A. E. Latief, N. D. Anggraeni, and D. Hernady, "Karakterisasi Mekanik Komposit Matriks Polipropilena High Impact Dengan Serat Alam Acak Dengan Metode Hand Lay Up Untuk Komponen Automotive," *Jurnal Rekayasa Hijau*, vol. 3, no. 3, 2019.
- [15] A. N. M. Haryadi *et al.*, "Sifat Fisis dan Akustik Komposit Serat Daun Lidah Mertua dengan Serbuk Gergaji sebagai Peredam Bunyi," 2021. [Online]. Available: <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa>

- [16] H. I. Tanarko, "Pengaruh Perlakuan Larutan KOH terhadap Kekuatan Tarik Komposit Serat Kulit Batang Maja (*Aegle marmelos*) dengan Matriks Epoxy," Universitas Brawijaya, Malang, 2018.
- [17] O. I. Okoli and G. F. Smith, "Failure modes of fibre reinforced composites: The effects of strain rate and fibre content," *J Mater Sci*, vol. 33, no. 22, pp. 5415–5422, 1998, doi: 10.1023/A:1004406618845.