

Pengaruh Variasi Panjang Serat pada Komposit Serat Rami dengan Matriks UHMWPE Terhadap Kekuatan Tarik Sebagai Potensi Biomaterial

Ivan Hardi Nurul Ikhsan^{1*}, Xander Salahudin², Sri Hastuti³, Eko Saputra⁴, Wahyu Isti Nugroho⁵, Farika Tono Putri⁶, Ragil Tri Indrawati⁷

^{1,2,3}Departemen Teknik Mesin, Universitas Tidar

Jl. Kapten Suparman No.39, Potrobangsari, Kec. Magelang Utara, Kota Magelang, Jawa Tengah 56116

^{4,5,6,7}Departemen Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang

Jl. Prof. H. Soedarto S.H., Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275

*E-mail: ivanhardinurulikhshan2@gmail.com

Diajukan: 06-12-2024; Diterima: 16-04-2025; Diterbitkan: 29-04-2025

Abstrak

Serat rami dipilih karena memiliki sifat mekanik yang baik dan ramah lingkungan, sementara UHMWPE memiliki ketahanan yang tinggi terhadap abrasi dan benturan, serta sifat biokompatibilitas yang baik. Penggunaan kedua material ini diharapkan mampu menghasilkan komposit yang kuat, ringan, dan murah sebagai alternatif implan tulang. Penelitian ini untuk menganalisis pengaruh variasi panjang serat rami yang diperkuat dengan matriks UHMWPE terhadap sifat mekanik dan fisik komposit sebagai potensi biomaterial untuk aplikasi *bone implant*. Material yang digunakan yaitu serat rami dan serbuk UHMWPE. Menggunakan metode eksperimen dengan perlakuan serat rami yang direndam dengan cairan natrium hidroksida 5% dengan waktu perendaman selama 1 jam dengan panjang serat rami 3 mm, 5 mm, dan 7 mm dan perbandingan komposisi yang digunakan serat rami 5% dan UHMWPE 95%. Komposit dibuat menggunakan proses hot press pada suhu 215°C dan tekanan 370 kgf. Pengujian yang dilakukan meliputi uji tarik dan foto makro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi panjang serat memberikan pengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik. Panjang serat 7 mm menyatakan nilai tegangan tarik tertinggi sebesar 17,53 Mpa, regangan tarik tertinggi sebesar 0,411, dan Modulus elastisitas tertinggi diperoleh pada variasi panjang serat 3 mm sebesar 61,86 MPa. Dari pengamatan foto makro tersebut dapat diketahui kegagalan yang terjadi pada patahan uji tarik yaitu adanya serat yang terlepas (*fiber pull out*), terdapat retakan kecil yang disebabkan tegangan rendah saat diuji tarik (*microcracking*), terdapat rongga yang disebabkan adhesi antara serat dan matriks tidak cukup kuat sehingga komponen tersebut terpisah (*debonding*).

Kata kunci: *bone implant*; serat rami; dan UHMWPE

Abstract

Hemp fiber was chosen because it has good mechanical properties and is environmentally friendly, while UHMWPE has high resistance to abrasion and impact, as well as good biocompatibility properties. The use of these two materials is expected to produce a strong, light and cheap composite as an alternative to bone implants. This research is to analyze the effect of variations in the length of hemp fiber reinforced with a UHMWPE matrix on the mechanical and physical properties of the composite as a potential biomaterial for bone implant applications. The materials used are hemp fiber and UHMWPE powder. Using an experimental method by treating hemp fiber soaked with 5% sodium hydroxide liquid with a soaking time of 1 hour with hemp fiber lengths of 3 mm, 5 mm, and 7 mm and the composition ratio used was 5% hemp fiber and 95% UHMWPE. The composite was made using a hot press process at a temperature of 215°C and a pressure of 370 kgf. Tests carried out include tensile tests and macro photos. The results showed that variations in fiber length had a significant influence on tensile strength. A fiber length of 7 mm shows the highest tensile stress value of 17.53 MPa, the highest tensile strain of 0.411, and the highest modulus of elasticity obtained at a fiber length variation of 3 mm of 61.86 MPa. From observing the macro photos, it can be seen that failures occurred in the tensile test fractures, namely there were fibers that came apart (fiber pull out), there were small cracks caused by low stress during the tensile test (microcracking), there were cavities caused by adhesion between the fibers and the matrix. not strong enough so that the components separate (debonding).

Keywords: *bone implant; hemp fiber; and UHMWPE*

1. Pendahuluan

Bahan komposit merupakan suatu rekayasa material baru yang terdiri dua atau lebih bahan campuran dengan karakteristik sifat kimia dan fisika yang tidak sama[1]. Secara umum, material komposit disusun oleh dua material yang

dikategorikan menurut fungsinya, yaitu matriks atau resin sebagai pengikat dan *reinforcement* atau serat sebagai penguat [2]. Serat yaitu filamen kecil dari bahan alami maupun sintetis dengan perbandingan minimal seratus kali dan sifat fleksibel dan kuat. Salah satu serat alam yang memiliki sifat fisik maupun mekanik yang baik ialah serat rami, yang sebagian besar berasal dari tumbuhan dan memiliki sifat mekanik yang baik dan densitas yang rendah. Massa jenis serat rami 1,5 g/cm³; strain at break 2 sampai 3,8%; kuat tarik 220 sampai 938 MPa; dan modulus muda 44 sampai 128 MPa [3].

HDPE dan UHMWPE merupakan polimer rekayasa yang berbeda dalam hal berat molekul rata-rata dan panjang rantai rata-rata [4]. Struktur mikro UHMWPE sangat memengaruhi sifatnya, bukan massa molekulnya [5]. UHMWPE memiliki suhu ekstrusi sekitar 153-160 °C, atau 10 °C di atas titik lebur material [6]. UHMWPE telah ditemukan di bidang teknik biomedis dan jaringan, termasuk penciptaan *implant orthopedy*, panduan bedah, dan prostesis [7].

Bone implant pada dasarnya terbuat dari material logam yang mempunyai kekuatan, dan ketangguhan dalam menggabungkan tulang yang patah atau retak. Terdapat salah satu kelemahan yaitu implan logam relatif mahal, sehingga perlu alternatif penggunaan material selain logam untuk menurunkan harga implan tersebut. Material plastik *Ultra High Molecular Weight Polyethylene* (UHMWPE) yang memiliki sifat biokompatibilitas terhadap jaringan tubuh [8].

Berdasarkan latar belakang diatas komposit serat rami dengan penguat UHMWPE memiliki potensi untuk diterapkan dalam bidang medis, maka peneliti bermaksud untuk menggunakan serat rami dan UHMWPE untuk dijadikan bahan baku biokomposit untuk diterapkan pada implan tubuh, misalnya pada *bone implant*. Gambar 1 contoh model *bone implant* yang akan dibuat.



Gambar 1. Contoh Model *Bone Implant*

2. Material dan metodologi



(a)



(b)



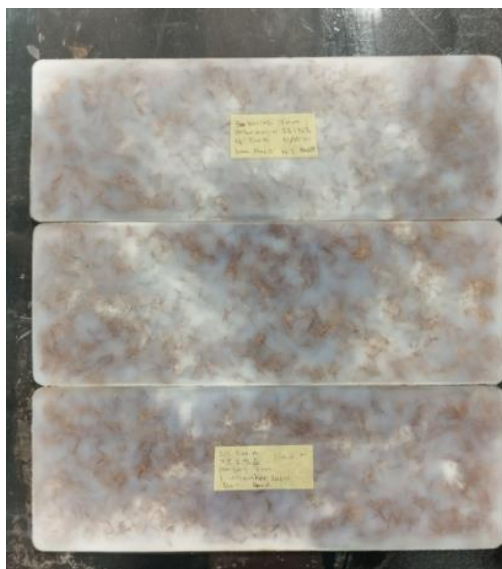
(c)

Gambar 2. Mesin Hot Press (a), Serat Rami (b), dan Plastik UHMWPE (c)

Serat rami dan matriks UHMWPE yang telah disusun dalam cetakan dengan komposisi 5%:95% kemudian dicetak dengan mesin *hot press* di Laboratorium Produksi Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Tidar dan dilaksanakan di Laboratorium bahan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang. Uji tarik dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma. Penelitian ini menggunakan material komposit serat rami, dan plastik UHMWPE. Gambar 1 (a) Menunjukkan mesin *hot press*, gambar 1 (b) menunjukkan serat rami dan gambar 1 (c) menunjukkan plastik UHMWPE.

2.1. Tahapan Penelitian

Serat rami direndam menggunakan cairan *natrium hidroksida* 5% dengan waktu perndaman selama 1 jam, serat rami dibilas menggunakan air mengalir hingga bersih, dan dikeringkan dibawah sinar matahari dengan suhu 32°C selama 24 jam. Perlakuan natrium hidroksida memiliki tujuan untuk melepaskan lapisan lilin yang terdapat pada serat alam sebelum dijadikan bahan komposit [9]. Serat rami yang telah kering kemudian dipotong menggunakan gunting dengan variasi panjang serat rami 3 mm, 5 mm, dan 7 mm. Pencampuran komposit serat rami dan plastik UHMWPE kedalam cetakan dengan fraksi volume 5% : 95%. Proses pencetakan papan komposit pada mesin *hot press* dengan tekanan awal 370 kgf dari suhu ruangan 30°C hingga suhu 60°C, tekanan diturunkan hingga 100 kgf pada suhu 60°C dan suhu dinaikan kembali ke 215°C dan ditahan selama 30 menit, dan suhu diturunkan kembali ke 140°C dan tekanan dinaikan kembali di 370 kgf dan ditahan selama 30 menit, suhu diturunkan hingga suhu 48°C, dan cetakan sudah bisa dibuka. Hasil cetakan papan ditampilkan pada gambar 3.



Gambar 3. Papan Komposit

2.2. Pengujian Papan Komposit

Uji tarik merupakan pengujian yang bertujuan mengetahui nilai tegangan tarik, regangan tarik, dan modulus elastisitas dari suatu benda yang diuji [10]. Hasil pembuatan papan komposit serat rami dan matriks plastik UHMWPE akan dibentuk sesuai spesimen uji tarik dengan standar ASTM D 638. Pengujian foto adalah pengujian material yang dilakukan dalam skala makro untuk melihat apakah ada cacat pada hasil pengujian patahan tarik. Hasil pengujian foto diambil melalui mikroskop *hirox* dan memberikan informasi tentang kesalahan apa yang terjadi pada spesimen uji. Jenis patahan dan penyebabnya diidentifikasi kemudian dianalisis.. Spesimen uji tarik ditampilkan pada gambar 3.



Gambar 4. Spesimen Uji Tarik

3. Hasil dan pembahasan

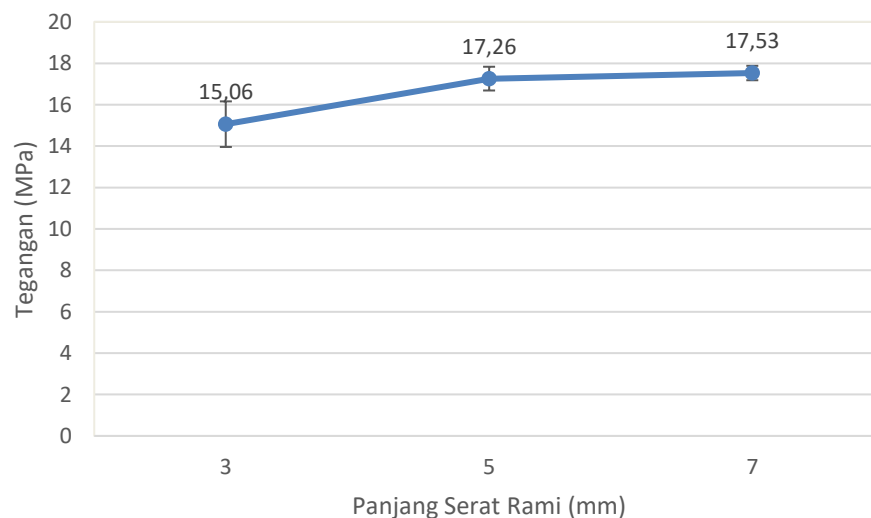
3.1. Hasil Uji Tarik

Uji Tarik menggunakan *Universal Testing Machine*. Pada pengujian ini menggunakan variasi panjang serat 3 mm, 5 mm, dan 7 mm. Setiap variasi dilakukan pengujian spesimen sebanyak 4 kali, dari 4 kali pengujian spesimen diambil 3 data dari setiap variasi kemudian dirata-rata dari nilai Tegangan tarik, regangan tarik, dan modulus elastisitasnya. Hasil pengujian tarik ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Tarik

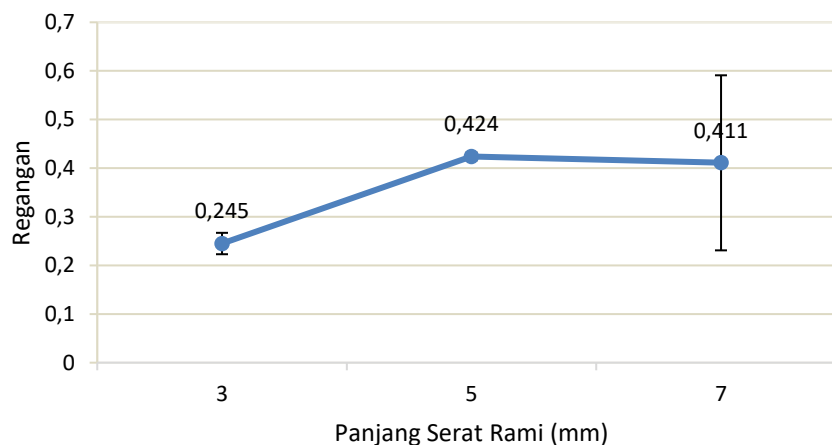
No	Variasi Panjang Serat Rami (mm)	σ (Mpa)	ϵ	E (Mpa)
1	3	15,08	0,245	61,86
2	5	17,26	0,424	40,69
3	7	17,53	0,411	48,75

Nilai tegangan tarik, regangan tarik, dan modulus elastisitas dari masing-masing variasi panjang serat kemudian disajikan dalam bentuk grafik ditampilkan gambar 4, 5, dan 6.



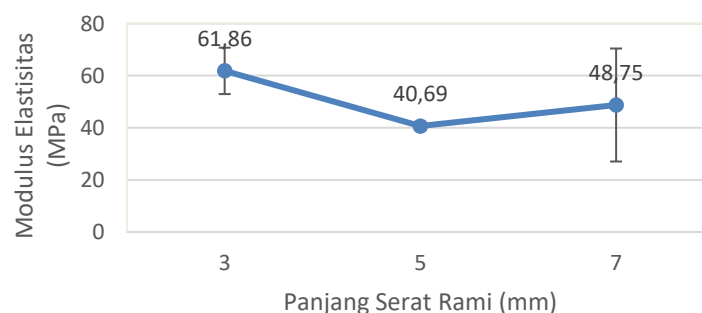
Gambar 5. Grafik Nilai Tegangan Tarik

Gambar 4 memperlihatkan nilai tegangan tarik komposit biomaterial variasi panjang serat 7 mm memiliki rata - rata tegangan tarik tertinggi sebesar 17,53 MPa. Sedangkan nilai rata - rata tegangan tarik terendah pada komposit biomaterial dengan variasi panjang serat 3 mm sebesar 15,06 MPa, jadi semakin panjang serat rami nilai tegangan tarik mengalami peningkatan, karena semakin panjang serat, semakin besar kemampuannya untuk menahan dan mendistribusikan beban ke seluruh struktur komposit. Serat yang lebih panjang memungkinkan transfer beban dari matriks (material pengikat) ke serat menjadi lebih efektif, sehingga mengurangi risiko konsentrasi tegangan di titik-titik lemah. Hal ini menunjukkan hasil perbandingan tegangan tarik komposit serat rami dan UHMWPE mengalami peningkatan terhadap penelitian bone implant sebelumnya yang memiliki hasil tegangan tarik sebesar 7,90 MPa [11]. Pengujian tarik pada penelitian ini di peroleh nilai yang lebih tinggi dari penelitian sebelumnya.



Gambar 6. Grafik Nilai Regangan Tarik

Gambar 5 memperlihatkan untuk variasi panjang serat 5 mm, nilai regangan tarik tertinggi sebesar 0,424. Untuk variasi panjang serat 7 mm, nilai regangan tarik sebesar 0,245. Perbedaan regangan tarik ini disebabkan oleh pendistribusian serat yang tidak merata sebagai akibat dari teknik serat acak yang digunakan. Ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa panjang serat rami 5 mm memiliki regangan tarik tertinggi daripada panjang serat rami 10 mm dan 15 mm. [12].



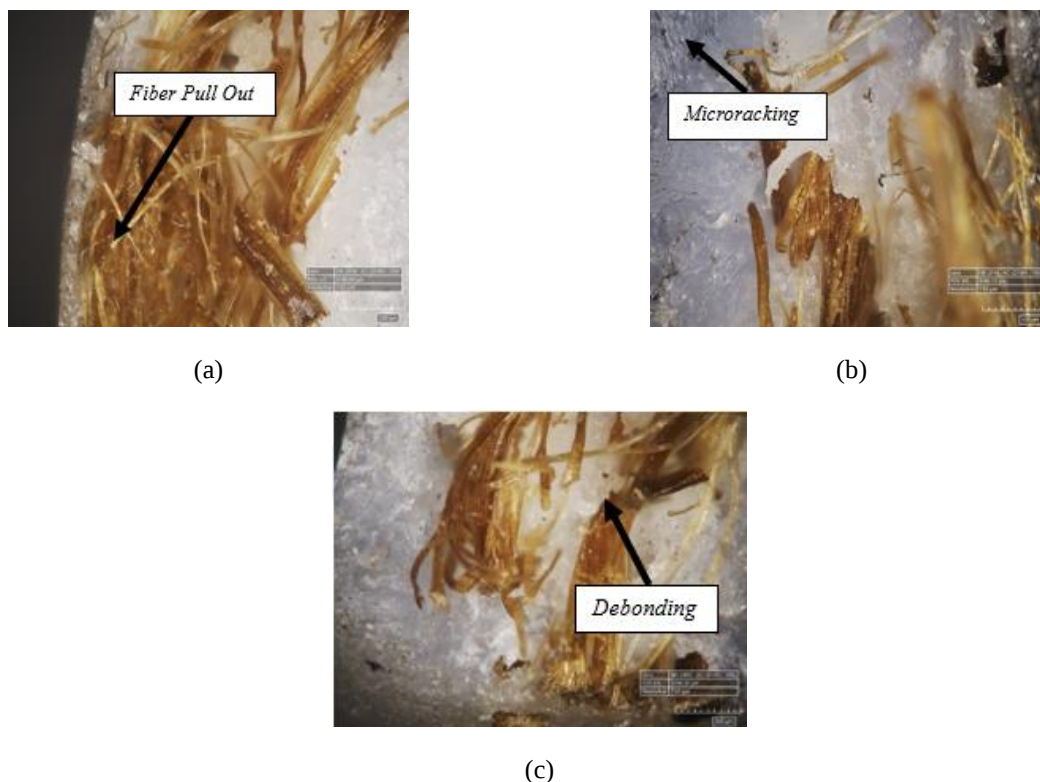
Gambar 7. Grafik Nilai Modulus Elastisitas

Gambar 6 memperlihatkan nilai modulus elastisitas yang rendah terdapat divariasi panjang serat 5 mm sebesar 40,69 MPa, dan nilai modulus elastisitas tertinggi di dapatkan pada variasi panjang serat 3 mm sebesar 61,86 MPa. Pada gambar grafik grafik di atas terlihat bahwa untuk grafik mengalami penurunan dan peningkatan dari spesimen panjang serat 3

mm, 5 mm, dan 7 mm yang di pengaruhi panjang serat yang berbeda. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya panjang serat semakin pendek nilai modulus elastisitas semakin tinggi [13]. Karena panjang serat yang panjang akan sulit mengalami pertambahan panjang dan pemendakan, sehingga nilai modulus elastisitasnya akan berbanding lurus dengan nilai beban.

3.2. Pengamatan Foto Makro

Patahan spesimen setelah diuji tarik pada material komposit biomaterial mayoritas mengalami patahan *pull out*. Hal ini disebabkan oleh material serat rami dan matrik UHMWPE tidak saling mengikat dengan sempurna. Pengamatan foto makro dilakukan pada bentuk patahan bertujuan untuk mencari model kegagalan yang terjadi pada penampang patahan komposit. Alat untuk pengamatan foto makro menggunakan mikroskop hirox. Foto makro patahan hasil uji tarik variasi panjang serat (a) 3 mm, (b) 5 mm, dan (c) 7 mm dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 8. Foto makro patahan hasil uji tarik variasi panjang serat (a) 3 mm, (b) 5 mm, dan (c) 7 mm

Pada gambar 7 (a) terlihat terdapat *fiber pull out* yang disebabkan matriks UHMWPE kurang mengikat serat rami dengan sempurna, Terjadinya *fiber pull out* dapat mengurangi nilai dari kekuatan tarik spesimen. Hal ini relevan dengan penelitian [14] bahwa terjadinya *fiber pull out* pada serat yang mengindikasikan bahwa serat dan matriks tidak terikat sempurna satu sama lain. Pada gambar (b) terlihat ada matriks *microcracking* yang disebabkan tegangan yang relatif rendah Biasanya terdapat perbedaan sifat termal atau mekanis antara matriks dan penguat. Pada gambar (c) terdapat *debonding* yang disebabkan ketika adhesi antara serat rami dan matriks UHMWPE tidak cukup kuat sehingga kedua komponen tersebut terpisah [15].

4. Kesimpulan

Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa dari ketiga variasi memiliki keunggulan masing masing, Variasi panjang serat 7 mm memiliki nilai tegangan tarik tertinggi sebesar 17,53 MPa, Variasi panjang serat 5 mm memiliki nilai regangan tarik tertinggi sebesar 0,424, Variasi panjang serat 3 mm memiliki nilai rata modulus elastisitas tertinggi sebesar 61,86

MPa. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan semakin panjang serat rami maka tegangan tarik semakin meningkat. Pengamatan patahan hasil uji tarik menggunakan foto makro, dari pengamatan tersebut dapat diketahui kegagalan yang terjadi pada patahan yaitu adanya serat yang terlepas (*fiber pull out*), terdapat retakan kecil yang di sebabkan tegangan rendah saat diuji tarik (*microcracking*), terdapat rongga yang di sebabkan adhesi antara serat dan matriks tidak cukup kuat sehingga komponen tersebut terpisah (*debonding*).

Ucapan terima kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada Badan Riset dan Inovasi Nasional atas dukungan pendanaan yang diberikan dalam rangka mendorong terciptanya inovasi dan pengembangan ilmu pengetahuan. Politeknik Negeri Semarang dan Universitas Tidar atas kolaborasi akademik, tenaga ahli, dan berbagai fasilitas penunjang dalam setiap tahap kegiatan ini.

Daftar Pustaka

- [1] H. I. Firmansyah, A. Purnowidodo, and S. A. Setia, Pengaruh Kekasaran Permukaan Aluminium Terhadap Kekuatan, vol. 3, 2017.
- [2] B. Maryanti *et al.*, “Karakteristik Kekuatan Impak Komposit Serabut Kelapa Dengan Variasi Panjang Serat,” *Prosiding SENIATI*, vol. 5, no. 4, pp. 339–343, 2019.
- [3] B. Koohestani, A. K. Darban, P. Mokhtari, E. Yilmaz, and E. Darezereshki, “Comparison of different natural fiber treatments: a literature review,” *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 16, no. 1, pp. 629–642, 2019, doi: 10.1007/s13762-018-1890-9.
- [4] S. X. Drakopoulos, G. C. Psarras, G. Forte, I. Martin-Fabiani, and S. Ronca, “Entanglement dynamics in ultra-high molecular weight polyethylene as revealed by dielectric spectroscopy,” *Polymer (Guildf)*, vol. 150, pp. 35–43, 2018, doi: 10.1016/j.polymer.2018.07.021.
- [5] P. Bracco, A. Bellare, A. Bistolfi, and S. Affatato, “Ultra-high molecular weight polyethylene: Influence of the chemical, physical and mechanical properties on the wear behavior. A review,” *Materials*, vol. 10, no. 7, 2017, doi: 10.3390/ma10070791.
- [6] L. M. Fang, P. Gao, and X. W. Cao, “Temperature window effect and its application in extrusion of ultrahigh molecular weight polyethylene,” *Express Polym Lett*, vol. 5, no. 8, pp. 674–684, 2011, doi: 10.3144/expresspolymlett.2011.66.
- [7] S. R. Choi *et al.*, “The Clinical Use of Osteobiologic and Metallic Biomaterials in Orthopedic Surgery: The Present and the Future,” *Materials*, vol. 16, no. 10, 2023, doi: 10.3390/ma16103633.
- [8] I. B. Anwar, E. Saputra, J. Jamari, and E. van der Heide, “Preliminary Study on the Biocompatibility of Stainless Steel 316L and UHMWPE Material,” *Adv Mat Res*, vol. 1123, no. August, pp. 160–163, 2015, doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.1123.160.
- [9] S. E. Susilowati, “Studi Perlakuan Alkali Terhadap Sifat Mekanik Bahan Komposit Berpenguat Sekam Padi,” *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, vol. 2, no. 1, pp. 67–80, 2017, doi: 10.52447/jktm.v2i1.631.
- [10] J. Wahyudyanto and S. T. A. Yulianto, “Pengaruh filler mikro partikel karbon tempurung kelapa (CMP-CS) terhadap foto makro dan kekuatan tarik komposit polyester,” 2016, [Online]. Available: [https://eprints.ums.ac.id/id/eprint/44700%0Ahttps://eprints.ums.ac.id/44700/14/Naskah Publikasi.pdf](https://eprints.ums.ac.id/id/eprint/44700%0Ahttps://eprints.ums.ac.id/44700/14/Naskah_Publikasi.pdf)
- [11] L. Y. Putri, “Analisis Pengaruh Rasio Polycaprolactone Dan Hydroxyapatite Pada Komposit UHMWPE / Pcl / Ha Terhadap Sifat.”
- [12] S. T. Mesin, F. Teknik, and U. N. Surabaya, “Material Penyusun Kaki Palsu Ramadhan Fido Andretta Abstrak,” pp. 123–128.

- [13] E. Mahmuda, S. Savetlana, and D. Sugiyanto, “Pengaruh Panjang Serat Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Berpenguat Serat Ijuk dengan Matrik Epoxy,” *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 1, no. 3, pp. 79–84, 2013.
- [14] J. Oroh, F. Sappu, and R. Lumintang, “No Title,” vol. d, 2013.
- [15] F. A. Wahyudi and L. D. Yuono, “Pengaruh Komposisi Serat Terhadap Kekuatan Impak Komposit Yang Diperkuat Serat Bambu,” *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, vol. 4, no. 2, pp. 72–78, 2017, doi: 10.24127/trb.v4i2.73.