

## PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK HDPE SEBAGAI ALTERNATIF MATERIAL KOMPOSIT MENGGUNAKAN LAMINASI SERAT BAMBU

Didin Solahudin<sup>1\*</sup>, Dean Zahara<sup>2</sup>, Bayu Krisna<sup>3</sup>, Galih Friyatna<sup>4</sup>, Dodit Ardiatma<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Prodi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Pelita Bangsa, Indonesia

Corresponden E-mail: [solahudin045@gmail.com](mailto:solahudin045@gmail.com)

### ABSTRAK

Meningkatnya volume sampah plastik, khususnya High-Density Polyethylene (HDPE), mendorong kebutuhan akan solusi pengelolaan limbah yang inovatif dan berkelanjutan. Penelitian ini mengkaji fabrikasi dan karakterisasi material komposit dengan memanfaatkan limbah plastik HDPE sebagai matriks dan serat bambu sebagai penguat melalui teknik laminasi. Pemilihan serat bambu didasarkan pada sifatnya yang dapat diperbarui, ketersediaannya yang melimpah, serta potensi kekuatan mekaniknya, sejalan dengan tren pengembangan material berkelanjutan (natural fiber composites) dalam industri manufaktur yang menekankan aspek ramah lingkungan dan efisiensi sumber daya. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengurangi dampak negatif sampah plastik HDPE dengan mentransformasikannya menjadi material komposit bernilai tambah. Proses pembuatan komposit melibatkan penyusunan lapisan HDPE daur ulang yang telah dilelehkan dengan lapisan serat bambu secara bergantian, diikuti dengan pemberian tekanan. Karakterisasi material difokuskan pada pengujian kerapatan dan kuat tekan. Pengujian kuat tekan dilakukan mengacu pada standar ASTM D695 untuk plastik kaku. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit serat bambu-HDPE yang dihasilkan memiliki kerapatan rata-rata  $0,67 \text{ g/cm}^3$  dan kuat tekan rata-rata  $16,4 \text{ kg/cm}^2$ . Dengan karakteristik tersebut, material komposit ini menunjukkan potensi aplikasi sebagai bahan baku untuk pembuatan furnitur ringan, seperti meja dan lemari, sehingga menawarkan alternatif solusi dalam upaya mitigasi limbah plastik HDPE di lingkungan.

**Kata kunci:** Plastik; Komposit; HDPE; Serat Bambu; Kuat Tekan

### ABSTRACT

*The increasing volume of plastic waste, particularly High-Density Polyethylene (HDPE), drives the need for innovative and sustainable waste management solutions. This research investigates the fabrication and characterization of a composite material utilizing waste HDPE plastic as the matrix and bamboo fibers as reinforcement through a lamination technique. The selection of bamboo fibers is based on their renewable nature, abundant availability, and potential mechanical strength, aligning with the trend of developing sustainable materials (natural fiber composites) in the manufacturing industry, which emphasizes environmental friendliness and resource efficiency. The primary objective of this research is to reduce the negative impact of HDPE plastic waste by transforming it into a value-added composite material. The composite manufacturing process involves alternately layering molten recycled HDPE with bamboo fibers, followed by the application of pressure. Material characterization focused on density and compressive strength testing. Compressive strength testing was conducted according to the ASTM D695 standard for rigid plastics. The results indicate that the produced bamboo fiber-HDPE composite possesses an average density of  $0.67 \text{ g/cm}^3$  and an average compressive strength of  $16.4 \text{ kg/cm}^2$ . With these characteristics, this composite material demonstrates potential for application as a raw material in the manufacture of lightweight furniture, such as tables and cabinets, thereby offering an alternative solution for mitigating HDPE plastic waste in the environment.*

**Keywords:** Composite; HDPE; Bamboo Fibre; Compressive Strength

### A. PENDAHULUAN

Masalah timbulan sampah plastik menjadi salah satu tantangan lingkungan yang serius di Indonesia (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2024; World Bank, 2021). Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, pada tahun 2023 tercatat sebanyak 38,3 juta ton timbulan

sampah, di mana 18,9% di antaranya merupakan sampah plastik (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2024). High-Density Polyethylene (HDPE) merupakan salah satu jenis plastik yang banyak digunakan dalam produk sehari-hari seperti botol kemasan, pipa, dan kontainer (Plastics Europe, n.d.), namun pengelolannya masih menjadi kendala karena sifatnya yang sulit terurai secara alami dan persistensinya di lingkungan (Barnes et al., 2009).

Penggunaan material yang tidak dapat diperbarui dapat menyebabkan kerusakan lingkungan. Oleh karena itu, pemanfaatan serat alam menjadi salah satu langkah dalam mengurangi penggunaan bahan yang tidak ramah lingkungan (Nurhanisa et al., 2021). Material komposit berkembang pesat dalam bidang teknik dan material karena kombinasi sifatnya yang unik, seperti kekakuan, ketangguhan, bobot ringan, serta ketahanan terhadap korosi (Rajak et al., 2019). Komposit merupakan gabungan dua atau lebih bahan dengan sifat fisik atau kimia yang berbeda, yang ketika digabungkan menghasilkan karakteristik unik yang lebih unggul dibandingkan material penyusunnya (Rajak et al., 2019). Contoh material komposit alami adalah kayu, yang terdiri dari rantai molekul selulosa dalam matriks lignin polimer organik.

Plastik memiliki keunggulan dalam hal bobot ringan, kemudahan pembentukan, serta fleksibilitas desain (NTN Engineering Corp, n.d.). Dibandingkan dengan bahan kemasan lainnya, plastik lebih serbaguna dan penggunaannya terus meningkat (Emblem, 2012). Namun, sifat plastik yang sulit terurai menyebabkan potensi pencemaran lingkungan yang tinggi (Riska, 2019). Sistem pengelolaan sampah plastik yang umum digunakan, seperti landfill dan open dumping, belum optimal karena plastik bersifat non-biodegradable. Salah satu solusi alternatif adalah dengan mendaur ulang plastik menjadi produk yang lebih bernilai (Masyruroh et al., 2021). HDPE, sebagai salah satu jenis plastik yang dihasilkan melalui proses polimerisasi, memiliki sifat mekanik yang unggul, seperti ketahanan benturan dan ketahanan abrasi yang tinggi (Posch, 2011).

Daur ulang merupakan proses pengolahan kembali barang yang tidak memiliki nilai ekonomis menjadi produk yang dapat dimanfaatkan kembali. Komposit plastik daur ulang dengan serat alam menjadi salah satu inovasi dalam mengurangi jumlah limbah plastik serta meningkatkan penggunaan serat alam yang lebih ramah lingkungan. Di Indonesia, 90% dari total produksi sampah plastik belum mengalami proses daur ulang (Widiastuti & Estriyanto, 2020). Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian mengenai komposit serat alami dengan matriks HDPE daur ulang telah banyak dikembangkan.

Komposit matriks polimer terdiri dari berbagai serat pendek atau kontinu yang diikat oleh matriks polimer organik, di mana struktur ini didukung oleh penguatan serat untuk menahan beban mekanis (National Technical Information Service, 1988). Jenis penguatan utama dalam material komposit meliputi serat kontinu, serat terputus-putus, partikel kristal tunggal, serta serpihan dan partikel kecil lainnya (Zweben, 2005). Serat alam seperti bambu semakin banyak digunakan sebagai bahan penguat komposit karena lebih murah dibandingkan serat sintetik, memiliki berat jenis rendah, kekuatan spesifik tinggi, mudah diperoleh, serta merupakan sumber daya alam yang terbarukan (Manuputty & Berhita, 2010).

Biokomposit merupakan salah satu inovasi material yang lebih ramah lingkungan. Serat alam yang sering digunakan dalam pembuatan papan komposit antara lain serat pelepah pisang, pinang, sabut kelapa, rami, ampas tebu, daun nanas, dan bambu. Bahan-bahan ini berlimpah di negara tropis seperti Indonesia, Malaysia, Filipina, dan Thailand. Bambu telah dimanfaatkan dalam berbagai sektor, mulai dari bahan bangunan, kerajinan tangan, hingga mebel dan desain bahan konstruksi modern. Penggunaan bambu dalam komposit memiliki

beberapa keunggulan, seperti masa tanam yang singkat, ramah lingkungan, elastisitas tinggi, serta kemudahan dalam pemrosesan baik secara tradisional maupun modern (Arsad, 2015).

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pemanfaatan limbah plastik HDPE sebagai material komposit dengan teknik laminasi serat bambu. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat dikembangkan solusi inovatif dan berkelanjutan dalam pengelolaan sampah plastik, sekaligus mendukung pelestarian lingkungan. Selain itu, penelitian ini bertujuan mengurangi dampak limbah plastik HDPE dengan mengolahnya menjadi material yang lebih bernilai. Pemanfaatan plastik daur ulang ini diharapkan dapat menjadi solusi dalam menangani permasalahan sampah plastik sekaligus menghasilkan produk yang berkelanjutan dengan nilai ekonomi lebih tinggi. Penelitian ini dilaporkan dengan sistematika penulisan judul, abstrak, pendahuluan, bahan dan metode, hasil, pembahasan, kesimpulan, dan daftar pustaka.

## **B. METODE**

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan membuat batang komposit berbahan serat bambu yang disusun secara horizontal dan dilaminasi secara berlapis dengan plastik HDPE daur ulang. Batang komposit yang dihasilkan kemudian diuji sifat mekaniknya, yaitu uji kerapatan dan uji kuat tekan, untuk mengetahui karakteristik material yang dihasilkan.

### **Persiapan Material**

#### **1. Persiapan Material Bambu**

Batang bambu jenis [sebutkan jenis bambu jika spesifik] dipotong dengan panjang 30 cm dan dibersihkan dari kulit luar serta buku-bukunya. Selanjutnya, bambu dimemarkan secara mekanis hingga serat-seratnya terpisah. Untuk meningkatkan kualitas antarmuka antara serat dan matriks, dilakukan perlakuan alkali pada serat bambu. Serat direndam dalam larutan Natrium Hidroksida (NaOH) dengan konsentrasi 5% (b/v) selama 60 menit pada suhu ruang. Perlakuan alkali ini bertujuan untuk menghilangkan sebagian lignin, hemiselulosa, lilin, dan kotoran lain dari permukaan serat, sehingga meningkatkan kekasaran permukaan serat dan memperbaiki adhesi dengan matriks polimer (Li et al., 2007; Mohanty et al., 2005). Setelah perendaman, serat bambu dibilas menggunakan air bersih hingga pH netral (tidak terasa licin) untuk menghilangkan sisa NaOH dan produk sampingan. Terakhir, serat bambu dikeringkan di bawah sinar matahari langsung selama 2-3 hari atau hingga mencapai kadar air konstan untuk meminimalkan kandungan uap air yang dapat menyebabkan cacat pada komposit.

#### **2. Persiapan Matriks HDPE Daur Ulang**

Limbah plastik HDPE yang telah dibersihkan botol bekas dicacah menggunakan mesin pencacah hingga diperoleh serpihan dengan ukuran partikel sekitar 2-5 mm. Pengecilan ukuran ini bertujuan untuk mempermudah dan mempercepat proses pelelehan matriks.

### **Fabrikasi Batang Komposit dan Batang HDPE Murni**

#### **1. Pembuatan Batang Komposit Serat Bambu/HDPE**

Serpihan HDPE daur ulang dilelehkan dalam wadah logam menggunakan tungku pemanas pada suhu 300°C hingga seluruhnya mencair sempurna. Pemilihan suhu ini didasarkan pada upaya untuk memastikan viskositas lelehan HDPE cukup rendah agar dapat mengimpregnasi serat bambu dengan baik, meskipun perlu diperhatikan potensi degradasi termal pada HDPE dan serat bambu pada suhu tersebut (Brydson, 1999). Lelehan HDPE

kemudian dituangkan ke dalam cetakan baja hingga membentuk lapisan dasar setebal kurang lebih 5 mm. Di atas lapisan HDPE cair tersebut, serat bambu kering disusun secara manual dengan orientasi horizontal hingga mencapai ketebalan sekitar 5 mm. Proses pelapisan HDPE cair dan penyusunan serat bambu ini diulang secara bergantian hingga ketebalan total komposit dalam cetakan mencapai target 25 mm.

Setelah semua lapisan tersusun, komposit dalam cetakan diberikan tekanan sebesar 1 N/cm<sup>2</sup> (setara dengan 0,01 MPa) menggunakan mesin pengepres hidraulik selama 1–2 menit. Tekanan ini diterapkan untuk meningkatkan kontak antara serat dan matriks, serta mengurangi kemungkinan adanya rongga udara (voids) dalam struktur komposit. Setelah proses pengepresan, cetakan beserta isinya dibiarkan mendingin hingga suhu komposit mendekati suhu ruang. Batang komposit kemudian dikeluarkan dari cetakan dan didiamkan selama minimal 24 jam pada kondisi atmosferik untuk stabilisasi sebelum dilakukan pengujian. Untuk setiap variasi, dibuat lima buah sampel komposit.

## 2. Pembuatan Batang HDPE Murni (Kontrol)

Sebagai material pembanding, dibuat juga batang HDPE murni tanpa penambahan serat bambu. Prosesnya serupa dengan pembuatan komposit, di mana serpihan HDPE daur ulang dilelehkan pada suhu 300°C dan dituangkan ke dalam cetakan hingga mencapai ketebalan total 25 mm. Batang HDPE murni ini juga diberikan perlakuan tekanan sebesar 1 N/cm<sup>2</sup> selama 1–2 menit dan didinginkan dengan prosedur yang sama seperti pada pembuatan komposit. Sebanyak lima buah sampel HDPE murni disiapkan untuk pengujian.

## Karakterisasi Material

Pengujian sifat mekanik dilakukan pada sampel batang komposit serat bambu/HDPE dan sampel batang HDPE murni.

### 1. Uji Kerapatan (Densitas)

Uji kerapatan material dilakukan berdasarkan standar ASTM D792 – Metode Uji A (untuk padatan dalam air) atau dengan metode pengukuran geometris jika sampel memiliki bentuk yang presisi (ASTM International, 2020). Untuk metode geometris, massa setiap sampel diukur menggunakan timbangan analitik dengan ketelitian 0,001 g. Dimensi sampel (panjang, lebar, dan tebal) diukur menggunakan kaliper digital dengan ketelitian 0,01 mm pada beberapa titik untuk mendapatkan nilai rata-rata. Kerapatan ( $\rho$ ) kemudian dihitung menggunakan persamaan:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

dimana  $m$  adalah massa sampel (g) dan  $V$  adalah volume sampel (cm<sup>3</sup>).

### 2. Uji Kuat Tekan

Uji kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kemampuan material dalam menahan beban tekan. Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi PT Guna Sukses Inti menggunakan mesin Hydraulic Universal Testing Machine JTM 100-HS. Prosedur pengujian mengacu pada standar ASTM D695 – Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics (ASTM International, 2015). Sampel uji disiapkan sesuai dengan

dimensi yang direkomendasikan oleh standar tersebut yaitu berukuran 25 mm x 25 mm x (ketebalan aktual sampel). Laju pembebanan yang digunakan adalah 1,3 mm/min sesuai standar ASTM D695 untuk spesimen tertentu. Kuat tekan ( $\sigma_c$ ) dihitung berdasarkan beban maksimum ( $P_{maks}$ ) yang dapat ditahan sampel sebelum gagal dibagi dengan luas penampang awal sampel ( $A_0$ ):

$$\sigma_c = \frac{P_{maks}}{A_0}$$

Hasil uji dari sampel komposit dan HDPE murni kemudian dianalisis dan dibandingkan untuk mengevaluasi efektivitas penambahan serat bambu sebagai penguat dalam matriks HDPE daur ulang.

### C. PEMBAHASAN

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari kegiatan pembuatan batang komposit serat bambu dan batang HDPE daur ulang, didapatkan spesimen sebagaimana tertera dalam Gambar 1 serta hasil pengukuran massa jenis batang komposit serat bambu dan batang HDPE daur ulang tersaji dalam Tabel 1.



**Gambar 1.** Batang komposit serat bambu (1) dan batang HDPE tanpa serat (2)

**Tabel 1.** Hasil Pengukuran Kerapatan Material

Spesimen	Berat	Volume	Kerapatan
Komposit serat bambu	165 g	245,5 cm <sup>3</sup>	0,67 g/cm <sup>3</sup>
HDPE tanpa serat	215 g	200 cm <sup>3</sup>	0,86 g/cm <sup>3</sup>

Dalam SNI 8514:2015 tentang standar komposit kayu plastik, standar kerapatan material komposit kayu plastik adalah > 0,60 g/cm<sup>3</sup> (SNI Komposit Kayu Plastik, 2015), maka komposit serat bambu yang dibuat memenuhi standar SNI tersebut. Jika membandingkan kerapatan komposit serat bambu dengan HDPE daur ulang tanpa serat, maka dapat terlihat bahwa batang komposit serat bambu lebih unggul karena lebih ringan sehingga akan menghasilkan produk yang lebih ringan saat diaplikasikan sebagai alternatif material. Pengujian kuat tekan dilakukan menggunakan mesin Hydraulic Universal Testing Machine JTM 100-HS (Gambar 2). Spesimen ditempatkan pada alat uji kemudian diberikan tekanan hingga spesimen patah (Gambar 3) dan didapatkan hasil pengujian kuat tekan sebagaimana tersaji pada Tabel 2.



**Gambar 2.** Mesin *Hydraulic Universal Testing Machine* JTM 100-HS



**Gambar 3.** Kondisi Spesimen Setelah Uji Kuat Tekan

**Tabel 2.** Pengukuran kuat tekan

Spesimen	Ao	Max.Force	Kuat tekan
Komposit serat bambu	9,82 cm <sup>2</sup>	161,08 kg	16,4 kg/cm <sup>2</sup>
HDPE tanpa serat	9,85 cm <sup>2</sup>	131,89 kg	13,4 kg/cm <sup>2</sup>

Hasil pengujian kuat tekan komposit serat bambu lebih baik dibandingkan HDPE daur ulang, namun belum memenuhi nilai kuat tekan dalam SNI 8154:2015 yaitu keteguhan tekan tegak lurus permukaan minimum 50 kg/cm<sup>2</sup>. Nilai kuat tekan yang diperoleh menunjukkan bahwa material komposit serat bambu ini tidak cukup kuat untuk digunakan sebagai material struktur yang menanggung beban besar. Namun, material ini masih layak digunakan untuk aplikasi non-struktural, seperti furnitur ringan (rak, meja kecil, atau lemari yang tidak menanggung beban berat), papan komposit dekoratif untuk interior (partisi atau panel dinding), serta sebagai bahan pengganti kayu lunak dalam beberapa aplikasi lainnya.

Kuat tekan didefinisikan sebagai gaya maksimum yang dapat ditahan material per satuan luas sebelum mengalami kerusakan. Jika material komposit ini digunakan sebagai meja kecil berukuran 40 cm × 80 cm, kapasitas beban meja dapat diperkirakan sebagai berikut:

**Luas permukaan meja**

$$40 \text{ cm} \times 80 \text{ cm} = 3200 \text{ cm}^2$$

**Beban maksimum ideal** (tanpa mempertimbangkan faktor keamanan):

$$P_{\text{maks}} = 16,4 \text{ kg/cm}^2 \times 3200 \text{ cm}^2 \\ = 52.480 \text{ kg}$$

Perhitungan di atas berlaku dalam kondisi ideal, di mana beban tersebar merata dan tidak ada faktor lain seperti defleksi atau cacat material. Dalam praktiknya, faktor keamanan digunakan untuk mempertimbangkan variasi distribusi beban serta ketahanan material terhadap deformasi. Faktor keamanan umum untuk furnitur berkisar antara 10 hingga 20, dan jika menggunakan faktor konservatif 100, maka:

$$m_{\text{aman}} = (52.480 \text{ kg})/100$$

$$m_{\text{aman}} = 525 \text{ kg}$$

Namun, perhitungan ini hanya mempertimbangkan luas meja tanpa memperhitungkan desain kaki meja dan distribusi beban. Untuk meja tanpa rangka tambahan, deformasi dan defleksi menjadi faktor penting. Dengan mempertimbangkan efek pembebanan terpusat di tengah serta keterbatasan material ini dibandingkan dengan kayu atau logam, beban aman yang direkomendasikan berkisar antara 30-50 kg.

Fauzan et al. (2022) melakukan penelitian pengaruh suhu pemanasan terhadap kuat bending HDPE yang dihasilkan. Setelah dilakukan uji bending didapat kekuatan bending terbesar oleh komposit HDPE 290°C dengan nilai rata-rata sebesar 67,9 kgF, pada suhu 300°C dengan nilai rata-rata sebesar 40 kgF dan yang terakhir pada suhu 310°C dengan nilai rata-rata 30,4 kgF. Kekuatan bending terlihat sangat dipengaruhi suhu pemanasan daur ulang HDPE, pada penelitian ini digunakan suhu pemanasan 300°C karena dari kegiatan yang dilakukan pada suhu ini proses laminasi antara HDPE cair dengan serat bambu lebih mudah dilakukan dibandingkan pada suhu di bawahnya yaitu pada 250°C.

Kualitas morfologi komposit yang diperkuat serat bambu sangat penting dalam menentukan kinerja keseluruhannya, hal tersebut merupakan kualitas fisik dan struktural serat bambu dan matriks komposit (Hasan et al., 2023). Beberapa ciri morfologi penting dari komposit yang diperkuat serat bambu diantaranya adalah panjang dan diameter serat, arah serat, kandungan serat, matriks material komposit serta ikatan permukaan komposit dengan serat (Hasan et al., 2023).

#### **D. KESIMPULAN**

Penelitian ini menghasilkan komposit daur ulang limbah plastik HDPE dengan serat bambu yang memiliki kerapatan 0,67 g/ml dan kuat tekan 16,4 kg/cm<sup>2</sup>. Sebagai perbandingan, batang HDPE daur ulang tanpa serat memiliki kerapatan lebih tinggi (0,86 g/ml) namun kuat tekannya lebih rendah (13,4 kg/cm<sup>2</sup>). Dengan nilai kuat tekan tersebut, komposit serat bambu ini berpotensi digunakan sebagai material untuk furniture ringan seperti meja kecil dan lemari. Selain itu, pemanfaatan limbah plastik HDPE sebagai material komposit dapat menjadi solusi dalam mengurangi pencemaran lingkungan. Saran terhadap keberlanjutan penelitian ini adalah perlu dilakukan penelitian lanjutan berupa pembuatan material komposit dengan dimensi sesuai kebutuhan alat yang akan dibuat, misalnya sesuai dimensi untuk pembuatan furniture meja dan lemari.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Arsad, E. (2015). Teknologi Pengolahan dan Manfaat Bambu. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 7, 45-52.
- ASTM International. (2015). *Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics* (ASTM D695-15). ASTM International.
- ASTM International. (2020). *Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement* (ASTM D792-20). ASTM International.

- Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1985–1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0202>
- Brydson, J. A. (1999). *Plastics Materials* (7th ed., Ed.). Butterworth-Heinemann.
- Emblem, A. (2012). Plastics properties for packaging materials. In *Packaging Technology* (pp. 287-309). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857095701.2.287>
- Hasan, K. M. F., Hasan, K. N. A., Ahmed, T., György, S. T., Pervez, M. N., Bejó, L., Sándor, B., & Alpár, T. (2023). Sustainable bamboo fiber reinforced polymeric composites for structural applications: A mini review of recent advances and future prospects. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100362>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2024). *Data Nasional Timbulan Sampah Tahun 2023*. Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN). <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/home/peta>
- Li, X., Tabil, L. G., & Panigrahi, S. (2007). Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber-reinforced composites: A review. *Journal of Polymers and the Environment*, 15(1), 25-33.
- Manuputty, M., & Berhita, P. T. (2010). Pemanfaatan Material Bambu Sebagai Alternatif Bahan Komposit Pembuatan Kulit Kapal Pengganti Material Kayu Untuk Armada Kapal Rakyat Yang Beroperasi Di Daerah Maluku. *Jurnal Teknologi*, 7, 788-794.
- Masyrurroh, A., Rahmawati, I., Jaya, B., Syech, J., Albantani, N., & Banten, S. (2021). Pembuatan Recycle Plastik HDPE Sederhana Menjadi Asbak. *Jurnal Abdikarya*, 3(1), 53-63.
- Mohanty, A. K., Misra, M., & Drzal, L. T. (2005). *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites*. CRC press.
- National Technical Information Service. (1988). Polymer Matrix Composites. In R. W. Nichols (Ed.), *Advanced Materials by Design* (p. 73).
- Nurhanisa, M., Wahyuni, D., Patrisia Masela, & Hadari Nawawi, J. H. (2021). Pengaruh Susunan Serat pada Papan Komposit Serat Bambu terhadap Sifat Fisis dan Mekanis. *Positron (Jurnal Fisika Dan Aplikasinya)*, 11(2), 126–132. <https://doi.org/10.26418/positron.v11i2.64319>
- Posch, W. (2011). Polyolefins. In *Applied Plastics Engineering Handbook: Processing and Materials* (pp. 23-48). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-3514-7.10003-0>
- Rajak, D. K., Pagar, D. D., Kumar, R., & Pruncu, C. I. (2019). Recent progress of reinforcement materials: A comprehensive overview of composite materials. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(6), 6354-6374. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.09.068>
- Riska, N. N. (2019). *Analisis Sifat Fisis dan Mekanik Komposit Dari Sekam Padi dan Plastik Daur Ulang*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Widiastuti, I., & Estriyanto, Y. (2020). *Analisis Sifat Termal dan Mekanis Komposit Bambu Laminat Dengan Perubahan Suhu dan Tingkat Kelembaban Lingkungan*.
- World Bank. (2021). *Plastic Waste Discharges from Rivers and Coastlines in Indonesia* (Marine Plastics Series, East Asia and Pacific Region). World Bank.
- Zweben, C. (2005). *Composites: Overview* (pp. 192–208). Elsevier, Ltd.