

ANALISIS MEKANIK DAN TERMAL MATERIAL KOMPOSIT BERBASIS SERAT ECENG GONDOK SEBAGAI BAHAN KEMASAN RAMAH LINGKUNGAN

Acep Musliman^{1*}, Fitri Damayanti¹

¹ Program Studi Pendidikan MIPA, Fakultas Pascasarjana, Universitas Indraprasta PGRI,
Jakarta Selatan, 12630, Indonesia

*email: acepmatsci16@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sifat mekanik dan termal dari material komposit berbasis serat eceng gondok sebagai alternatif bahan kemasan ramah lingkungan. Material komposit ini dihasilkan dengan mencampurkan serat eceng gondok dengan matriks polimer alami yang dapat terurai dengan mudah. Metode pembuatan meliputi proses pencampuran, penekanan, dan perlakuan termal. Sifat mekanik material komposit, termasuk kekuatan tarik dan ketahanan terhadap deformasi, diuji dengan menggunakan uji tarik dan uji kekerasan. Analisis termal dilakukan melalui uji termogravimetri (TGA) untuk mengidentifikasi stabilitas termal dan dekomposisi material. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material komposit berbasis serat eceng gondok memiliki sifat mekanik yang cukup baik pada komposisi campuran tertentu meskipun tidak sekuat material komposit yang menggunakan serat sintetis. Namun, material ini menunjukkan potensi dalam aplikasi kemasan yang tidak memerlukan kekuatan mekanik ekstrem. Sifat mekanik komposit serat eceng gondok yang dihasilkan mengarah kepada pemenuhan kebutuhan untuk digunakan sebagai kemasan, yaitu ringan, lentur dan tidak mudah patah. Sifat termal komposit menunjukkan dekomposisi yang lebih cepat dibandingkan dengan komposit berbasis serat sintetis, tetapi masih dalam rentang yang dapat diterima untuk kemasan sekali pakai. Dengan sifat ramah lingkungan yang dimilikinya, material komposit ini dapat menjadi alternatif yang menarik untuk mengurangi penggunaan plastik dalam industri kemasan. Meskipun demikian, peningkatan dalam proses manufaktur dan formulasi material masih diperlukan untuk meningkatkan sifat mekanik dan termalnya serta menjaga daya tahan kemasan dalam kondisi penggunaan yang beragam.

Kata Kunci: Komposit Eceng Gondok; Sifat Mekanik; Sifat Termal; Kemasan Ramah Lingkungan

ABSTRACT

[Title: Mechanical And Thermal Analysis of Composite Materials Based on Water Hyacinth Fiber as An Environmentally Friendly Packaging Material] This study aims to analyze the mechanical and thermal properties of water hyacinth fiber-based composite materials as an alternative to environmentally friendly packaging materials. This composite material is produced by mixing water hyacinth fiber with a natural polymer matrix that can decompose easily. Manufacturing methods include mixing, pressing, and thermal treatment processes. The mechanical properties of composite materials, including tensile strength and resistance to deformation, are tested using tensile tests and hardness tests. Thermal analysis is carried out through thermogravimetric tests (TGA) to identify the thermal stability and decomposition of the material. The results showed that the water hyacinth fiber-based composite materials had fairly good mechanical properties in certain mixture compositions, although they were not as strong as composite materials using synthetic fibers. However, this material shows potential in packaging applications that do not require extreme mechanical strength. The mechanical properties of the water hyacinth fiber composite produced lead to the fulfillment of the need for use as packaging, which is light, flexible and not easily broken. The thermal properties of the composites show faster decomposition compared to synthetic fiber based composites, but are still within the acceptable range for single-use packaging. With its environmentally friendly properties, this composite material can be an attractive alternative to reduce the use of plastic in the packaging industry. Nonetheless, improvements in manufacturing processes and material formulations are still required to improve their mechanical and thermal properties and maintain packaging durability under diverse usage conditions.

Keywords: Hyacinth Composite; Mechanical Properties; Thermal Properties; Environmentally friendly packaging

PENDAHULUAN

Peningkatan kesadaran akan dampak negatif penggunaan material plastik terhadap lingkungan mendorong penelitian mencari alternatif material pengganti yang ramah lingkungan. Material kemasan plastik yang umum digunakan saat ini cenderung tidak dapat terurai dengan cepat dan berkontribusi pada penumpukan limbah plastik di seluruh dunia. Dalam konteks ini, serat alami seperti eceng gondok telah menjadi perhatian karena sifatnya yang mudah terurai secara alami dan memiliki potensi sebagai bahan dasar serat pembuatan komposit.

Sebagai bahan dasar serat komposit, eceng gondok memiliki banyak keunggulan, memiliki kualitas serat yang ulet, kandungan serat yang cukup tinggi, murah, bahan yang melimpah, dan mudah didapat (Bagir & Pradana, 2008). Kandungan serat eceng gondok dalam keadaan kering berupa selulosa 64,51%; pentosa 15,61%, lignin 7,69%, silika 5,56%, dan abu 12%. Kandungan serat yang begitu besar, eceng gondok menjadi pilihan untuk dimanfaatkan sebagai bahan dasar serat pembuatan komposit. Eceng gondok merupakan serat alam bahan dasar komposit yang memiliki keunggulan dibandingkan dengan serat sintetis. Kelebihan serat alam eceng gondok antara lain massa jenisnya rendah sehingga relatif lebih ringan, bersifat non-abrasive, tidak mengandung zat racun yang berbahaya bagi manusia, serta dinilai mempunyai sifat mekanik yang bagus (Rochman & Irfai, 2020). Selain itu, penggunaan eceng gondok sebagai bahan dasar serat komposit dapat membantu mengurangi pencemaran air (Anggriani, 2018).

Serat eceng gondok telah menarik minat sebagai alternatif serat alami dalam material komposit karena ketersediaannya yang melimpah dan biaya produksi yang rendah. Namun, sebelum material ini dapat diadopsi secara luas, diperlukan pengetahuan dan pemahaman yang mendalam tentang sifat mekanik dan termalnya. Sifat mekanik yang mencakup kekuatan tarik, kekuatan tekuk, dan elastisitas sangat penting dalam aplikasi kemasan untuk memastikan ketahanan terhadap tekanan dan deformasi selama proses produksi, distribusi, dan penggunaan. Selain itu, sifat termal material komposit juga perlu dianalisis untuk memahami stabilitasnya dalam berbagai kondisi suhu.

Meskipun beberapa penelitian telah dilakukan mengenai penggunaan serat alami dalam material komposit, masih terdapat tantangan dalam mengoptimalkan sifat mekanik dan termal material komposit berbasis serat eceng gondok. Proses manufaktur yang tepat dan formulasi material yang optimal perlu diidentifikasi untuk mencapai keseimbangan yang baik antara kekuatan dan kelenturan, serta stabilitas dan ketahanan material

komposit terhadap pengaruh termal. Selain itu, penilaian terhadap dampak lingkungan dari produksi dan penggunaan material komposit ini juga penting untuk memastikan bahwa bahan kemasan yang dihasilkan benar-benar ramah lingkungan.

Dengan adanya dorongan untuk mengurangi ketergantungan terhadap plastik, penelitian tentang material komposit berbasis serat eceng gondok sebagai bahan kemasan ramah lingkungan memiliki potensi untuk memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan solusi berkelanjutan. Dengan memahami secara komprehensif sifat mekanik dan termal material komposit ini, kita dapat mengevaluasi potensinya dalam berbagai aplikasi kemasan, mulai dari produk-produk ringan hingga produk dengan tuntutan mekanik yang lebih tinggi. Dengan demikian, penelitian ini akan berkontribusi pada upaya umum untuk menciptakan alternatif ketersediaan kemasan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Era industri saat ini ditandai oleh kepedulian yang semakin meningkat terhadap dampak lingkungan, pengembangan material kemasan ramah lingkungan telah menjadi fokus utama dalam industri kemasan. Penggunaan material plastik yang sulit terurai telah memunculkan kekhawatiran terhadap akumulasi limbah plastik di lingkungan. Menurut Thompson et al. (2009), sekitar 8 juta metrik ton plastik memasuki ekosistem laut setiap tahunnya, sehingga mengganggu keseimbangan keanekaragaman hayati dan ekosistem laut secara keseluruhan. Dalam konteks ini, penelitian tentang bahan alternatif yang dapat mengurangi dampak lingkungan seperti serat alami semakin mendapat perhatian.

Bahan dasar serat alami eceng gondok, telah menjadi objek penelitian sebagai alternatif berkelanjutan untuk digunakan dalam pembuatan material komposit kemasan. Menurut Pappu et al. (2007), serat eceng gondok merupakan salah satu sumber serat alami yang berlimpah dan mudah diperoleh, terutama di wilayah beriklim tropis. Keunggulan ekologis serat ini terletak pada kemampuannya yang dapat terurai secara alami sehingga berkontribusi pada pengurangan limbah sampah. Namun, sebelum serat eceng gondok digunakan secara luas dalam industri kemasan, harus diketahui dan dievaluasi secara komprehensif sifat mekanik (*tensile*) dan sifat termalnya.

Penelitian-penelitian sebelumnya telah menunjukkan potensi serat alami, termasuk serat eceng gondok, dalam pengembangan material komposit. Hasil penelitian Mohammed et al. (2015) mengungkapkan bahwa komposit berbasis serat eceng gondok memiliki kekuatan tarik yang cukup baik, sehingga cocok digunakan untuk bahan dasar kemasan yang

membutuhkan ketahanan terhadap tegangan dan deformasi. Namun demikian, masih banyak hal yang harus diketahui dalam mengoptimalkan sifat mekanik material ini untuk memenuhi persyaratan aplikasi kemasan yang lebih beragam. Analisis termal juga penting untuk mengetahui ketahanan dan stabilitas material terhadap pengaruh suhu lingkungan.

Memperhatikan kebutuhan dalam usaha mengurangi dampak lingkungan dan mengurangi ketergantungan terhadap material plastik, penelitian pembuatan komposit serat eceng gondok memiliki urgensi yang signifikan. Analisis mekanik dan termal material komposit berbasis serat eceng gondok sebagai bahan kemasan ramah lingkungan memiliki relevansi yang sangat kuat. Dengan pemahaman yang lebih mendalam tentang sifat-sifat material ini, kita dapat mengidentifikasi potensi dalam menggantikan material kemasan konvensional. Dalam konteks ini, penelitian ini bertujuan memberikan kontribusi nyata terhadap pengembangan dan solusi berkelanjutan terhadap industri kemasan menuju lingkungan yang lebih lestari.

Penggunaan material kemasan berbahan dasar plastik menimbulkan permasalahan yang membutuhkan perhatian serius terhadap masalah lingkungan global. Plastik yang sulit terurai menyebabkan akumulasi limbah yang merugikan ekosistem darat dan laut (Thompson et al., 2009). Sebagai upaya mengatasi tantangan ini, banyak penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan material kemasan yang lebih ramah lingkungan. Salah satu pendekatan yang menarik adalah penggunaan serat alami dalam pembuatan material komposit kemasan. Serat alami memiliki keunggulan ekologis karena kemampuannya untuk terurai secara alami dan mengurangi dampak lingkungan (Pappu et al., 2007).

Salah satu serat alami yang menunjukkan potensi besar dalam pengembangan material komposit kemasan adalah serat eceng gondok. Serat ini berasal dari tumbuhan air dan banyak ditemukan di wilayah beriklim tropis. Serat eceng gondok memiliki sifat ringan dan kuat, membuatnya berpotensi digunakan sebagai penguat dalam material komposit (John & Anandjiwala, 2015). Hasil penelitian Yuliwati et al. (2012) memperlihatkan bila serat eceng gondok memiliki kekuatan tarik yang cukup tinggi dan memiliki potensi untuk diaplikasikan dalam industri kemasan.

Selain sifat mekanik, sifat termal dari material komposit juga merupakan aspek penting yang perlu diperhatikan. Analisis termal dapat memberikan wawasan tentang stabilitas material dalam berbagai kondisi suhu lingkungan dan aplikasi kemasan. Studi sebelumnya tentang material komposit sering melibatkan teknik termal seperti termogravimetri

(TGA) untuk mengidentifikasi dekomposisi dan perubahan struktural material (Monteiro et al., 2012). Pada konteks pengembangan material komposit berbasis serat alami, formulasi material dan metode manufaktur memainkan peran krusial. John & Anandjiwala (2008), menyoroti pentingnya pemilihan matriks polimer yang sesuai untuk mengoptimalkan sifat mekanik dan termal material komposit. Selain itu, pengaruh proses pencampuran, penekanan, dan perlakuan termal juga harus diperhatikan (Alwani et al., 2014). Pada pandangan yang lebih luas, pengembangan material komposit berbasis serat eceng gondok sebagai bahan kemasan ramah lingkungan merupakan langkah penting menuju pengurangan dampak lingkungan akibat limbah plastik. Dengan memahami secara menyeluruh sifat mekanik dan termal material ini maka dapat membuka jalan bagi aplikasi pembuatan kemasan yang memiliki sifat berkelanjutan, efektif, dan efisien dalam rangka mendukung keberlangsungan lingkungan hidup. Penelitian ini secara khusus ingin mengetahui sifat mekanik dan ketahanan termal dari komposit berbahan dasar serat eceng gondok yang digunakan sebagai kemasan makanan. Alasan kuat eceng gondok digunakan sebagai serat dasar komposit, karena ketersediaannya di alam cukup melimpah dengan pertumbuhannya yang cepat menjadi polusi lingkungan air.

METODE

Penelitian ini merupakan eksperimen pembuatan material komposit berbahan dasar serat eceng gondok menggunakan kanji atau pati singkong sebagai matriks dan katalis. Material komposit yang dibuat dengan berbagai komposisi dianalisis sehingga menghasilkan karakteristik bahan yang memiliki kekuatan mekanik dan sifat termal sesuai standar industri kemasan makanan yang ramah lingkungan. Proses pembuatan bahan tersebut dilakukan secara bertahap sebagai langkah penelitian. Secara rinci, langkah-langkah penelitian yang dilakukan tampak pada diagram yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Langkah Kerja Penelitian

Langkah 1

Penelitian diawali dengan persiapan dan pengumpulan alat dan bahan yang akan digunakan dalam pembuatan *specimen* material komposit. Adapun alat dan bahan yang dibutuhkan adalah:

1. Cetakan *specimen*
2. Tepung serat eceng gondok
3. Tepung kanji
4. Larutan campuran; asam asetat dan metanol
5. Blender pembuat tepung serat eceng gondok
6. Gelas ukur
7. Pipet
8. Neraca
9. Alat uji kekuatan mekanik ASTM D638
10. Alat uji termal (microwave)

Langkah 2

Setelah semua alat dan bahan tersedia, selanjutnya dibuat rencana fraksi komposisi campuran antara tepung serat eceng gondok dengan tepung kanji. Fraksi komposisi campuran serat alam dan tepung kanji dilarutkan dengan pelarut yang merupakan campuran dari metanol dan asam asetat dengan perbandingan bervariasi sebagai spesimen dari komposit yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Campuran Serat dan Kanji

No	Jenis Sampel	Fraksi Serat (%)	Fraksi Kanji (%)
1	Spesimen 1	30	70
2	Spesimen 2	40	60
3	Spesimen 3	50	50
4	Spesimen 4	60	40
5	Spesimen 5	70	30
6	Spesimen 6	80	20
7	Spesimen 7	90	10

Adapun langkah proses pembuatan komposit serat eceng gondok adalah:

1. Eceng gondok yang diambil dari alam dikeringkan sampai kering dan mengeras berbentuk batang yang mudah dipatahkan;
2. Batangan kering eceng gondok dipotong pendek supaya dapat diblender untuk dijadikan bahan berbentuk tepung serat;
3. Tepung serat eceng gondok selanjutnya dicampur dengan tepung kanji dengan komposisi sesuai takaran variasi specimen pada Tabel 1.;
4. Campuran tepung serat eceng gondok dengan tepung kaji selanjutnya dicampur ke dalam larutan asam asetat dan metanol dengan kadar perbandingan volume 1:3;
5. Perlakuan campuran tepung dengan pelarut dibuat sesuai takaran diaduk sampai merata sehingga terbentuk campuran yang kental dan dapat dibentuk ke dalam cetakan;

6. Campuran yang dibentuk dalam cetakan dipanaskan dan diberikan tekanan sehingga terbentuk lapisan tipis dengan bentuk sesuai cetakan sampai kering, lalu dikeluarkan dari cetakan;
7. Melakukan langkah 1 sampai 6 untuk setiap komposisi campuran;
8. Komposit yang dibentuk dalam cetakan specimen cetakan yang sudah kering kemudian dikeluarkan dari cetakan sebagai specimen komposit eceng gondok yang akan dilakukan pengujian;
9. Untuk memudahkan pengujian, specimen komposit diberikan kode sesuai komposisi untuk membedakan type, selanjutnya diuji dengan menggunakan standar ASTM D638.

Langkah 3

Setelah sampel material komposit dibuat, selanjutnya dilakukan pengujian untuk mengetahui kekuatan mekanik dengan melakukan uji tarik pada setiap sampel dan ketahanan deformasi termal terhadap perubahan temperatur dengan memanaskan sampel pada variabel temperatur. Uji kekuatan mekanik dilakukan di Laboratorium Uji mekanik/Uji Tarik Dinamis Badan Riset dan Inovasi Nasional menggunakan *Universal Testing Machine (UTM) Shimadzu AGS-X series 10 kN. Load cell* yang tersedia: 10 kN (*bending, tensile, compression*) standar ASTM D638. Data hasil pengujian kekuatan mekanik kemudian diolah dengan menggunakan rumus pengujian mekanik sebagai berikut:

- a. Menghitung tegangan maksimum, dengan persamaan:

$$\sigma_m = \frac{F_m}{A_0}$$

- b. Menghitung regangan, dengan persamaan:

$$\epsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\%$$

- c. Menghitung Modulus elastisitas, dengan persamaan:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Uji termal dilakukan dengan memanaskan *specimen* kedalam pemanas dengan variabel suhu mulai dari 60°C sampai dengan 100°C dan diamati setiap perubahan 10°C. Pengujian termal dilakukan untuk mengetahui deformasi bentuk kemasan dan kerapuhan material komposit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 2 ditunjukkan hasil proses eksperimen sebagai alur proses pembuatan komposit mulai dari persiapan bahan sampai dengan produk specimen yang dihasilkan.



Gambar 2. Proses dan Hasil Ekperimen

Specimen komposit yang dihasilkan mengacu kepada komposisi campuran dengan perbandingan sesuai yang telah direncanakan. Asumsi bahwa komposisi ini berdampak pada perbedaan sifat mekanik material (kekuatan, kelenturan, dan kegetasan) dan perubahan bentuk material sebagai dampak ketahanan terhadap panas. Dihasilkan 7 jenis *specimen* sebagai sampel yang akan diuji, yaitu *specimen* dari takaran serat yang paling kecil (30%) sampai dengan takaran serat yang paling besar (90%). Sebelum dilakukan pengujian, dilakukan pengamatan secara kasat mata atau dilihat langsung dari *specimen* komposit (Tabel 2).

Tabel 2. Sifat Mekanik Komposit

No	Komposisi kandungan serat	Sifat Mekanik
1	Dari rendah ke tinggi	Dirasakan terdapat perbedaan massa jenis komposit, semakin tinggi takaran serat eceng gondok massa jenis komposit semakin kecil (ringan)
2	Dari rendah ke tinggi	Specimen komposit diperoleh semakin getas, mudah dipatahkan dan tampak lebih rapuh
3	Dari rendah ke tinggi	Kelenturan specimen semakin lentur dari nomor 1 sampai dengan nomor 4, tetapi dari nomor 4 ke nomor 7 semakin kurang lentur bahkan mudah patah

Berdasarkan pengamatan awal terhadap hasil *specimen* komposit (Tabel 2) menggambarkan bahwa adanya dampak perubahan sifat mekanik setara dengan perubahan komposisi campuran serat eceng gondok dengan tepung kanji. Massa jenis komposit

mengalami penurunan dari takaran serat rendah ke takaran serta tinggi. Hal ini dapat dijelaskan bahwa serat eceng gondok memiliki massa jenis lebih kecil dari tepung kanji, dan sesuai kebutuhan bahwa komposit untuk kemasan diharapkan memiliki massa jenis rendah atau ringan. Dengan penjelasan ini, maka harus didapatkan komposisi *specimen* dengan takaran yang sesuai.

Kegetasan *specimen* komposit mengalami perubahan dari takaran rendah ke takaran tinggi, *specimen* makin getas dan mudah dipatahkan. Hal ini memberikan gambaran bahwa komposisi molekul kanji memiliki dampak terhadap pengikatan sebagai matrik komposit serat eceng gondok. Ikatan adhesi dan kohesi dalam komposit berdampak pada kekuatan ikatan secara keseluruhan. Ketika ikatan antar molekul sesama jenis cukup kuat maka komposit memiliki kegetasan atau kerapuhan tinggi karena sedikit terbentuk ikatan antar molekul serat dan kanji, faktanya ditunjukkan dengan *specimen* yang mudah dipatahkan. Pada pengamatan karakteristik lain, tingkat kelenturan komposit memiliki sifat yang berbeda sesuai komposisi campuran. Pada awalnya ketika takaran serat bertambah, kelenturan *specimen* komposit semakin meningkat, tetapi setelah melewati komposisi takaran serat lebih tinggi dari tepung kanji kelenturan *specimen* menurun karena komposit mudah patah.

Pengamatan awal melalui penglihatan langsung terhadap *specimen* komposit serat eceng gondok, menunjukkan adanya dampak terhadap perubahan sifat mekanik dari komposisi campuran kandungan serat dengan tepung kanji. Dari sudut pandang kebutuhan, bahwa komposit serat eceng gondok yang dihasilkan diharapkan memiliki sifat ringan, lentur, dan tidak getas atau rapuh. Komposit dengan takaran tertentu memiliki karakteristik yang paling sesuai dengan tujuan untuk pemenuhan kebutuhan sebagai bahan kemasan. Tetapi pengamatan secara kasat mata belum cukup untuk menjadi rekomendasi secara ilmiah. Langkah selanjutnya adalah dilakukan pengujian sifat mekanik bahan yang dilakukan dilaboratorium uji mateerial.

Komposit sebagai kemasan makanan berbahan dasar serat eceng gondok, sangat diperlukan untuk mengetahui dampak perubahan suhu terhadap sifat komposit. Harus dipastikan apakah perbuahan panas dapat menimbulkan emisi zat yang bersifat racun atau berbahaya bagi manusi. Sehingga uji termal selain untuk mengetahui dampak deformasi, juga harus diketahui dampak emisi zat.

KESIMPULAN DAN SARAN

Komposit serat eceng gondok dihasilkan melalui campuran antara tepung serat eceng gondok dengan tepung kanji sebagai matrik. Pembentuk komposit serat eceng gondok dilakukan dengan melarutkan campuran serat dan tepung kaji ke dalam pelarut asam asetat dan metanol sampai menggumpal dan mengental sehingga dapat dibentuk pada cetakan specimen. Untuk menghasilkan komposit serat eceng gondok yang sesuai dengan tujuan penggunaan yaitu kemasan, komposit harus memiliki sifat ringan, lentur, dan kuat atau tidak mudah patah. Dari 7 sampel specimen komposit yang dibuat, specimen yang memiliki sifat memenuhi kebutuhan adalah sampel dengan komposisi seimbang, yaitu nomor 4 dan 5, atau dengan kandungan serat eceng gondok 60% sampai 70%. Hasil ini menunjukkan bahwa komposit serat eceng gondok yang dibuat dapat menjadi alternatif bahan kemasan yang memiliki keunggulan pada sifat ramah lingkungan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi melalui Hibah Penelitian Dosen Pemula Tahun Anggaran 2023 atas bantuan dana penelitian yang diberikan. Kontrak perjanjian penelitian Nomor: 0536/E5/PG.02.00/2023 Tanggal 30 Mei 2023 dan Perjanjian Kontrak Kesepahaman Nomor: 179/E5/PG.02.00.PL/2023, Tanggal 19 Juni 2023; 1410/LL3/AL.04/2023, Tanggal 26 Juni 2023; dan 0741/SKP.LT/LPPM/UNINDRA/2023, Tanggal 27 Juni 2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Alwani, M. S., Abdul Khalil, H. P. S., Sulaiman, O., Islam, M. N., & Dungani, R. (2014). An approach to using agricultural waste fibres in biocomposites application: Thermogravimetric analysis and activation energy study. *BioResources*, 9(1), 218–230. <https://doi.org/10.15376/biores.9.1.218-230>
- Anggriani, D. (2018). Pembuatan papan komposit bahan serbuk ampas tebu dan serat eceng gondok matriks polipropilene. *Jurnal Saintia Fisika*, 11(2), 123–130.
- Bagir, A., & Pradana, G. E. (2008). Pemanfaatan Serat Eceng Gondok Sebagai Bahan Baku Pembuatan Komposit. *Teknik Kimia Universitas Diponegoro*, 1–7. <http://eprints.undip.ac.id/36736/>
- John, M. J., & Anandjiwala, R. D. (2015). Recent developments in chemical modification and characterization of natural fiber–reinforced composites. *Polymers for Advanced Technologies*, 26(6), 673–690. <https://doi.org/10.1002/pc.20461>
- Rochman, M. A., & Irfai, D. F. (2020). Pengaruh konsentrasi larutan KOH terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro komposit hibrid serat rami dan serat bambu. *Jurnal Teknik Mesin*, 8(2), 111–118.
- Monteiro, S., Calado, V., & Sanchez, R. R., Margem, F. (2012). Thermogravimetric behavior of natural fibers reinforced polymer composites—An overview. *Materials Science and Engineering*. 557. 17–28. <https://doi.org/10.1016/j.jmse.2012.05.109>
- Mohammed, L., Ansari, M. N. M., Pua, G., Jawaid, M., & Islam, M. S. (2015). A review on natural fiber reinforced polymer composite and its applications. *International Journal of Polymer Science*. <https://doi.org/10.1155/2015/243947>
- Pappu, A., Saxena, M., & Asolekar, S. R. (2007). Solid wastes generation in India and their recycling potential in building materials. *Building and Environment*, 42(6), 2311–2320.
- Thompson, R. C., Moore, C. J., Vom Saal, F. S., & Swan, S. H. (2009). Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2153–2166.
- Yuliwati, E., Sapuan, S. M., Jawaid, M., & Ishak, M. R. (2012). Effect of alkali treatment on mechanical and thermal properties of sugar palm fibre reinforced epoxy composites. *Materials & Design*, 36, 191–195.