

Metode Peningkatan Kekuatan Lentur Material Komposit Resin Polyester yang diberi Penguat Serat Bambu

Nusyirwan¹,
Mutya Rani²,
Muhammad Surya³

^{1,2,3}Departemen Studi Teknik Mesin, Universitas Andalas Padang, Indonesia

¹Korespondensi Penulis: nusyirwan1802@gmail.com

Article Info: Received: May 17, 2025; Accepted: November 04, 2025; Available online: November 09, 2025

DOI: 10.30588/jeemm.v9i2.2213

Abstract: One of the polymer materials widely used as a matrix material in the manufacture of composites is unsaturated polyester, which is widely used in engineering fields such as ships, vehicles and also widely used in engineering fields in general. This polyester material for direct use in the construction field still has low mechanical strength and cannot experience good tensile deformation, and is difficult to experience bending loads and can break if it gets a large amount of flexibility. To increase its bending strength, this polyester material is mixed with reinforcing material from bamboo fibre material, which is first refined with various percentages of the mixture ranging from 10% to 30%. After mixing, flexural testing is carried out by applying a flexural load in the middle of the test sample and both ends of the sample are supported with flexural strength that increases along with the resistance of the test material. From the research for flexural testing, it was found that a polyester polymer mixed with bamboo fiber with a percentage of 20% obtained a maximum flexural stress value of $\sigma = 97.35$ MPa. When compared with the value of the pure polyester flexural stress of $\sigma = 37.29$ MPa, there was an increase in flexural strength of 261.16%.

Keywords: very-brittle, polyester, flexural-strength, bamboo fiber

Abstrak: Salah satu material polimer yang banyak dipakai untuk sebagai material matrik dalam pembuatan komposit adalah unsaturated polyester yang banyak digunakan pada bidang teknik seperti kapal, kendaraan dan juga banyak digunakan pada bidang teknik pada umumnya. Material polyester ini untuk digunakan pada bidang teknik langsung pada bidang konstruksi masih mempunyai kekuatan mekanik yang rendah dan tidak dapat mengalami deformasi pastis yang baik dan sulit mengalami beban lentur dan dapat mengalami patah bila mendapat kelenturan yang besar. Untuk meningkatkan kekuatan lenturnya material polyester ini dicampur dengan material penguat dari material serat bambu yang terlebih dahulu dihaluskan dengan berbagai persentase campuran mulai dari 10% sampai 30%. Setelah pencampuran, dilakukan pengujian lentur dilakukan dengan cara memberi beban lentur ditengah sampel uji dan kedua sisi ujung sampel ditumpu dengan kekuatan lentur yang bertambah seiring dengan perlawanan dari material uji. Dari penelitian untuk pengujian lentur diperoleh bahwa polimer polyester yang dicampur dengan serat bambu dengan persentase sebanyak 20% diperoleh nilai Tenggangan Lentur maksimal $\sigma = 97.35$ MPa dan apabila dibandingkan dengan harga tegangan lentur patah polyester murni, sebesar $\sigma = 37.29$ MPa terjadi peningkatan kekuatan lentur sebesar 261.16%.

Kata Kunci: flexural load, polyester, flexural strength, bamboo fiber

I. Pendahuluan

Material komposit polimer diperkuat oleh serat (FRP) telah banyak dikembangkan dengan menggunakan serat sintetis seperti aramid, kaca, dan karbon dengan kelebihan karena kekuatan dan ketersediaannya. Material tersebut banyak digunakan di beberapa struktur yaitu konstruksi sipil, arsitektur, dan kedirgantaraan (Ashori, 2008)(Andrei et al., 2006). Tetapi penggunaan serat sintetis secara kontinu mengakibatkan sejumlah masalah lingkungan dalam beberapa tahun terakhir karena serat kaca dan karbon sulit terurai secara hayati dan merusak lingkungan (Oliver-Ortega et al., 2019)(Santiam

et al., 2019). Selain itu, biaya produksi dari material serat sintetis meningkat karena sifat serat sintetis yang membutuhkan banyak energi

dalam proses pembuatannya (Nusyirwan et al., 2019), Akibatnya mengikutkan material FRP pada konstruksi menimbulkan biaya yang mahal dan tidak kompetitif (Albdiry et al., 2013). Penggunaan serat alami sebagai penguat dalam komposit polimer diharapkan dapat mengatasi masalah serat sintetis yang sebelumnya telah dibahas (Nusyirwan et al., 2019). Dibandingkan dengan serat sintetis, serat alam memiliki beberapa keunggulan, seperti berat jenis yang rendah, aksesibilitas yang melimpah, biaya rendah, kebutuhan energi yang rendah, dapat diperbarui, dan dapat terurai secara hayati, yang menjadikannya sebagai pengganti yang potensial (Nusyirwan et al., 2010). Kenaf, rami, abaca, sisal, sabut kelapa, dan serat bambu termasuk di antara serat tanaman yang sering diteliti (Nusyirwan et al., 2019)(Frómata et al., 2020)(Mahyudin et al., 2020). Khususnya serat bambu telah menarik minat untuk dikaji di antara serat alam lainnya karena kepadatannya yang rendah, kekakuannya yang tinggi, kekuatannya yang tinggi, dan pertumbuhannya yang cepat, sehingga menghasilkan ketersediaan yang melimpah (Mohammed et al., 2025). Dalam penelitian ini, sifat mekanis yang luar biasa dari berbagai spesies bambu yang tersebar luas di seluruh Asia Tenggara, dapat dimanfaatkan untuk penguatan material komposit polimer (Mohammed et al., 2025)(Salih et al., 2020). Sering kali disarankan untuk memanfaatkan bambu yang berusia tiga hingga lima tahun di sektor bangunan (Salih et al., 2020)(Salih et al., 2022). Bambu tidak dapat diproduksi langsung dari batang bambu; bambu harus melalui sejumlah prosedur terlebih dahulu untuk menghasilkan serat bambu. Perendaman dengan lumpur penekanan dengan uap bertekanan, perlakuan alkali, penghilangan getah, penggilingan, dan penghancuran adalah beberapa teknik untuk membuang serat bambu (Nurkertamanda et al., 2013). Kekuatan dan kualitas serat secara langsung dipengaruhi oleh prosedur ekstraksi. Sejumlah penelitian mengungkapkan peningkatan karakteristik mekanis serat alami yang diolah dengan alkali pada berbagai konsentrasi dan waktu (Nusyirwan et al., 2010)(Naik et al., 2018). Menggunakan NaOH 0,1N pada suhu 100 °C selama 12 jam menyelidiki kekuatan mekanis, hidrofilik, dan antarmuka serat bambu kontinu yang diperkuat epoksi tidak menyelidiki efek persentase volume serat, sebaliknya, mereka menetapkannya pada 42% berdasarkan volume (Naik et al., 2018). Menurut temuan mereka, daya rekat antara serat bambu dan polimer epoksi ditingkatkan dengan perlakuan alkali (H.Setiawan, D.Ariawan, K.Amri, A.Nuramal, 2022). Meskipun jenis bambu yang digunakan dalam penelitian mereka tidak diketahui, kemungkinan besar bambu tersebut adalah bambu Taiwan yang identik dengan yang sebelumnya mereka gunakan (Salih et al., 2020). Dampak perlakuan (NaOH) dan pengujian mekanis pada komposit serat bambu-epoksi diperiksa oleh (Mohammed et al., 2025). Menurut temuan mereka, serat dengan kekuatan tarik terbaik diperlakukan dengan NaOH 6% pemuatan dalam epoksi sebesar 20% berat (Salih et al., 2020).

Lebih jauh, hanya sedikit penelitian tentang efek perlakuan pada waktu perendaman dan konsentrasi yang berbeda pada serat bambu dengan penguat matriks epoksi yang sering diperiksa, sedangkan penelitian tentang polimer alternatif lebih sedikit. Dipercaya bahwa kekuatan polimer awal memiliki dampak yang lebih kecil pada efek penguatan serat bambu dengan peningkatan beban serat. Akibatnya, ada sedikit korelasi antara jenis polimer dan kekuatan komposit. Makalah ini menjelaskan masalah yang disebutkan sebelumnya, yang tidak dikenal baik untuk komposit serat bambu. Resin epoksi adalah polimer pilihan untuk sebagian besar penelitian komposit serat bambu karena kualitas isolasi mekanis, kimia, dan listriknya yang unggul. Morfologi pola fraktur, sifat termal-mekanik, dampak dari fraksi volume serat yang berbeda, dokumentasi karakteristik mekanis komposit serat bambu pada suhu ruangan dan suhu tinggi (Salih et al., 2020). Meskipun penelitian sebelumnya tentang fraksi volume serat telah didokumentasikan dalam jurnal, tidak ada yang diketahui saat ini mengenai dampak durasi perendaman dan konsentrasi larutan alkali pada komposit serat bambu. Selain itu, epoksi digunakan sebagai resin dalam komposit pada sebagian besar penelitian. Tidak banyak penelitian tentang bagaimana berbagai jenis resin termoset, termasuk vinil-ester dan poliester, memengaruhi karakteristik mekanis dan termal komposit serat bambu (Salih et al., 2020)

Untuk peningkatan kekuatan lentur polimer komposit *polyester* dengan penguat serat bambu bambu merupakan kajian penting untuk dilakukan karena belum ada informasi penelitian terhadap kajian ini dengan prosentase campuran tertentu (Nusyirwan et al., 2019)(H.Abral et al., 2021). Pada penelitian ini akan dilakukan pengkajian tentang penambahan material serat ampas bambu (SB) untuk menentukan

komposisi yang tepat dari prosentase serat bambu yang dicampurkan pada *polyester murni* (UP) untuk mendapatkan kekuatan lentur lebih baik sehingga dapat meningkatkan sifat kekuatan mekanik yang baik dari material komposit serat bambu.

II. Bahan dan Metode

Penelitian ini dipilih material serat bambu dari satu jenis bahan alam sebagai penguat dicampur dengan resin *polyester* sebagai matriks dan campuran diaduk secara seragam (Hughes et al., 2002). Proses pembuatannya dengan cara menuangkan campuran resin polyester ke dalam sebuah mal cetakan yang dibuat dari kaca, kemudian diberikan campuran diberikan penekanan untuk meratakan campuran dengan roller dan kuas. Proses ini dilakukan berulang untuk mencapai tingkat ketebalan yang diinginkan tercapai (Nguyen et al., 2019).

Penyiapan Material untuk Penelitian

Untuk membentuk material komposit yang diinginkan dibutuhkan dua jenis material yaitu material sebagai matriks untuk pengikat dari material polyester dan material penguat dari serat bambu kedua material ini diproses terlebih tersebut terlebih dahulu disiapkan dengan baik. Material terlebih dahulu diproses dengan perlakuan tertentu sesuai dengan penelitian terdahulu (Nusyirwan et al., 2023) (You et al., 2025). Hasil yang diinginkan adalah diperoleh material komposit yang bermanfaat pada bidang penelitian konstruksi rekayasa.

1. Material Matriks

Polyester yang dipilih untuk dipakai pada penelitian ini dengan sifat fisik yang telah diteriti sebelumnya dengan sifat ketahanan mekanik yang lebih baik (H. Abral, R. Fajrul, M. Mahardika, D. Handayani, M. Hahardika, D. Handayani, E. Sugiarti, A. N. Muslimin, 2019) (Hiremath et al., 2020) (N. Nusyirwan et al., 2023).

Beberapa sifat ciri-ciri dari diantaranya: memiliki kemampuan mengikat serat yang baik, tahan terhadap kelembaban dan memiliki tahan gesek cukup baik, berat jenis yang rendah, kepadatan yang tinggi dan mudah mengering. Jenis *polyester* tersebut adalah jenis adalah resin polyester (polyester tak jenuh) dengan produk Yukalac 1560 BL-EX. Sifat-sifat mekanik polyester dapat dilihat pada Tabel 1.

Table 1. Sifat Fisik Polyester

Besaran	Satuan	Harga
Tegangan Tarik Maksimum	MPa	20-100
Modulus Elastik	GPa	2.1- 4.1
Strain Ultimet	%	1- 6
Poisson's ratio	-	-
Densitas	g/cm ³	1.0 – 1.45



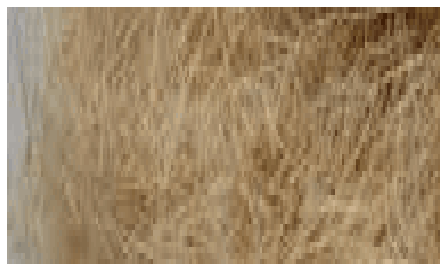
Gambar 1. Polyester dalam wadah kemasan

2. Material Penguat

Untuk memperoleh material komposit dibutuhkan material serat ampas tebu dengan terlebih dahulu dilakukan beberapa proses diantaranya; proses pembelahan tebu dengan pisau pembelah, proses sortasi serat halus dari serat bambu kasar dan proses pemotongan serat dengan ukuran pang 5 mm (Nusyirwan et al., 2023)(Mohammed et al., 2025). Jenis spesies bambu yang dipilih bisa bambu yang sehari digunakan masyarakat untuk anyaman dan barang kerajinan proses perlakuan serat bambu dapat dilihat pada Gambar 2 sampai Gambar 4. Pemilihan serat lambu untuk pembuatan material komposit telah dilakukan oleh (N. Nusyirwan et al., 2022) (Nusyirwan Nusyirwan et al., 2022) (N Nusyirwan et al., 2023).



Gambar 2. Serat bambu kasar



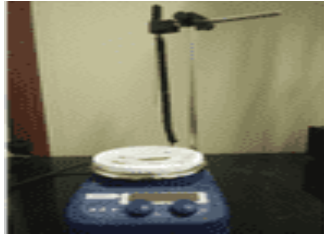
Gambar 3. Serat bambu belum disortinasi



Gambar 4. Serat bambu halus setelah sortinasi

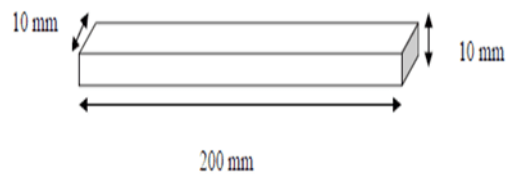
3. Peralatan Penelitian

Untuk mencampurkan material agar tercampur sempurna digunakan sebuah pengaduk. Pengaduk yang dipakai adalah jenis pengaduk magnet hot plate adalah peralatan untuk mencampurkan material matriks dan penguat dengan yang suhu pencampuran dapat diatur sesuai keinginan, tujuan pencampuran agar komposisi material bahan pembentuk komposit terdistribusi dengan dengan baik. Spesifikasi pengaduk magnet hot plate adalah sebagai berikut; merek Dagang Daihan Scientific, Model MS-H280-Pro, Suhu Kerja 25– 280 °C, kecepatan putaran 0 – 1500 rpm.



Gambar 5. Pengaduk hot plate

Untuk membuat material komposit untuk uji lentur diperlukan sebuah cetakan dengan dimensi sesuai dengan standar mengikuti Standar Uji Lentur menurut ASTM D 790 . Dimensinya adalah dengan lebar $b= 10 \text{ mm}$ dan tinggi = 100 dan panjang $L= 200 \text{ mm}$ dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Dimensi specimen uji sesuai dengan Standar D 790

Untuk melakukan pengujian lentur material komposit digunakan mesin lentur yang menekan material pada tengah material yang mana kedua posisi ujung material ditumpu dari bawah. Merek Mesin adalah GALDABINI *Universal Testing Machine series 32559* digunakan untuk uji lentur dilengkapi dengan sistem tampilan pada layar monitor.



Gambar 7. Mesin uji lentur material komposit

Untuk melakukan penelitian material direncanakan dengan komposisi yang telah sesuai dengan literatur yang telah dikaji sebelumnya. Komposisi dari material untuk penelitian terdiri dari polyester dan serat bambu (SB) dengan komposisi diacu pada penelitian sebelumnya. Komposisi material sebagai mana dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Campuran Spesimen Uji

Material	Komposisi UP (wt %)	Komposisi SB (wt %)
UP/SB	100	0
UP/SB	90	10
UP/SB	80	20
UP/SB	70	30



Gambar8. Spesimen uji lentur untuk material komposit

persamaan matematik yang digunakan untuk menghitung kekuatan lentur material komposit perlu ditung nilai tegangan lentur malsimum (σ), dengan persamaan sebagai berikut.

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (1)$$

Gaya lentur yang diberikan oleh mesin terhadap spesimen yang akan diuji akan memberikan energi yang dapat diserap oleh benda uji sesuai persamaan berikut;

$$W = \int_0^u P. dl \quad (2)$$

Dimana P adalah beban lentur, L Panjang specimen, b adalah lebar specimen uji dan h tinggi specimen uji lentur. Untuk mendapatkan beban lentur maka Mesin uji retak memberikan penekanan pada specimen uji dengan melakukan gerakan vertical kebawah pada Tengah specimen uji yang dapat bergerak secara otomatis bila material melakukan perlawanan.

III. Hasil dan Pembahasan

1. Hasil Pengujian Lentur

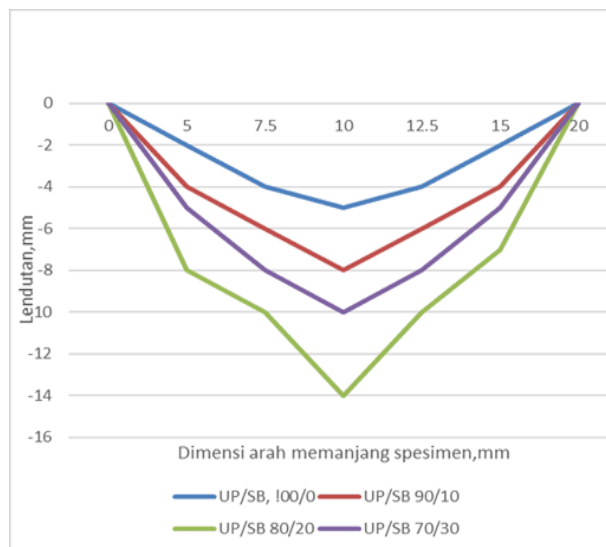
Hasil pengujian Lentur terhadap masing-masing specimen uji dapat dibaca dari layar Monitor Komputer yang telah terhubung langsung secara otomatis pada mesin uji retak. Data yang terbaca pada monitor adalah harga Lendutan Maksimum dapat dilihat pada Tabel 3. Selanjutnya nilai Beban Lentur Maksimal (*Maximum Flexural Force*) dapat dilihat pada Tabel 4..

Tabel 3. Lendutan Maksimum Spesimen Uji Komposit

Material UP/SB	Lendutan Maksimum (δ) mm
100/0	- 5.34
90/10	- 8.76
80/20	-14.23
70/30	-10.87

Dari hasil pengujian lentur besarnya lendutan maksimal untuk masing-masing campuran komposisi material komposit yang diperkuat oleh serat bambu dapat dilihat pada Table 3 dan harga tersebut diplot dalam bentuk grafik sebagai mana ditampilkan pada Gambar 9. Hasil dari pengujian menunjukkan pada campuran polyester dan serat bambu 80% : 20% diperoleh nilai rata-rata Lendutan Maksimum adalah $\delta = -14,23$ mm. Nilai Lendutan Maksimum rata-rata untuk polyester murni tanpa campuran serat bambu hanya sebesar $\delta = -5.34$ mm. Penambahan serat bamput 20% dapat meningkatkan sifat kelenturan

material yang sangat baik. Dari data ini dapat ditunjukkan penambahan serat bambu dapat memperkuat material komposit sebesar 266.65%.

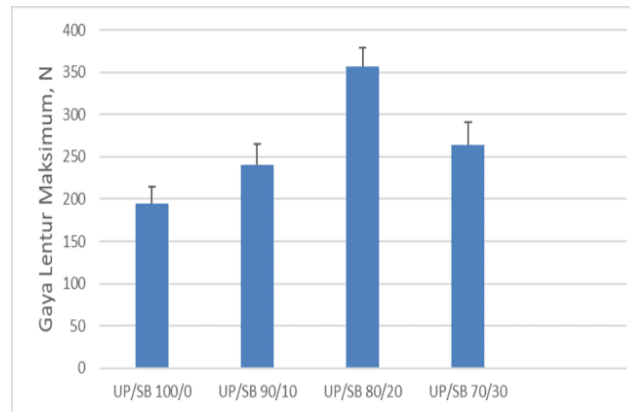


Gambar 9. Grafik Lentutan sampel uji Lentur Material Komposit terhadap dimensi Panjang dari Prosentase Campuran SB terhadap UP

Harga beban Lentur Maksimal dari masing-masing sampel pengujian Lentur dapat dilihat pada Gambar 10 dan pada Tabel 4. Hasil dari pengujian menunjukan pada *campuran polyester* dan serat bambu 80% : 20% diperoleh nilai rata-rata Beban Lentur Maksimum $P = 488.39$ N. Nilai Beban lentur maksimum rata-rata untuk polyester murni tanpa campuran serat bambu hanya sebesar 134.33 N. Dari data ini dapat ditunjukkan penambahan serat bambu dapat memperkuat material komposit sebesar 363.57%.

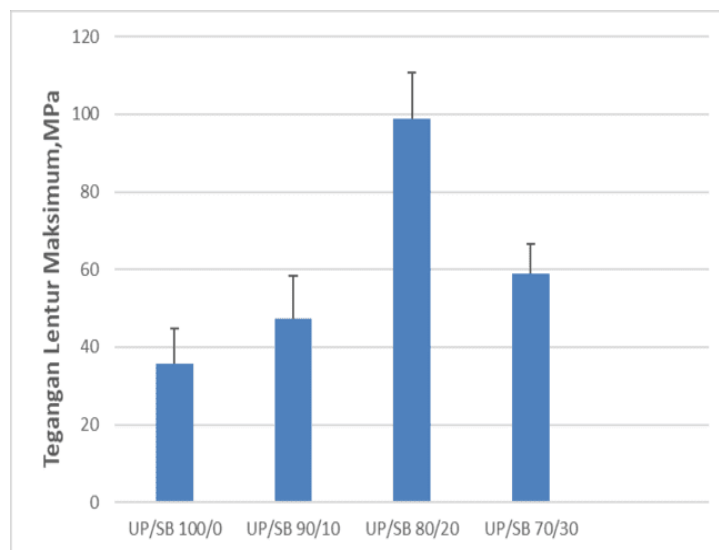
Tabel 4. Data Dimensi Spesimen Uji Retak

(UP/SB) (%)	Beban Lentur Maksimum(P), N	Tegangan Lentur Maksimum, σ (MPa)
100/0	187,16	35.65
	194,27	38.67
	184,65	37.54
90/10	398.96	45.25
	240.25	47.43
	243.54	46/75
80/20	360.54	97.86
	356.72	98.76
	362.65	95.43
70/30	261.91	57.75
	263.65	58.93
	259.67	54.35



Gambar 10. Grafik Gaya Lentur Maksimum material komposit terhadap Prosentase Campuran SB terhadap UP.

Selanjutnya dari Tabel 4, dihitung nilai *Tegangan Lentur Maksimum* (ρ) dengan persamaan (2) untuk pada masing-masing specimen. Hasil Perhitungan nilai *Tegangan Lentur Maksimum* dapat dilihat pada Gambar 10. Dari gambar tersebut diatas diperoleh hasil bahwa hasil pengujian menunjukkan pada campuran polyester dan serat bambu 80% : 20% diperoleh nilai rata-rata *Tegangan Lentur Maksimum* $\sigma = 97.35$ MPa. Sedangkan nilai *Tegangan Lentur maksimum* rata-rata untuk polyester murni tanpa campuran serat bambu hanya sebesar 37.29 MPa. Dari data ini dapat ditunjukkan bahwa penambahan serat bambu dapat memperkuat material komposit sebesar 261.016%.



Gambar 11. Grafik Tegangan lentur Maksimum Msterial Komposit dari Prosentase Campuran AT terhadap UP

IV. Kesimpulan

Penelitian ini melaporkan keberhasilan penentuan komposisi yang tepat dari campuran polimer yang terbuat dari matriks *polyester tak jenuh* dengan menambahkan partikel serat bambu untuk meningkatkan kerapuhan polimer *polyester tak jenuh* menjadi tangguh. campuran yang dibuat dari *matriks polyester tak jenuh* dengan menambahkan partikel serat bambu untuk meningkatkan kekuatan lentur polimer *polyester tak jenuh* menjadi bahan tahan retak. Dengan adanya penelitian ini maka rekayasa dalam bidang keteknikan khususnya di bidang bahan baku bodi mobil, kapal nelayan sangat membantu. Campuran polyester tak jenuh dengan 20% SB ini memiliki kekuatan lentur dan tegangan lentur yang baik, sehingga untuk aplikasi Teknik rekayasa. Penelitian ini menghasilkan peningkatan kekuatan lentur yang baik bahan *polyester murni* dengan perlakuan penambahan campuran SB pada bahan dasar polyester tak jenuh murni. Peningkatan ketangguhan lentur $\sigma = 97.35$ MPa. Yang sebelumnya untuk polyester murni hanya sebesar 37.29 MPa.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dekan Fakultas Teknik Universitas Andalas an Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang telah membiayai penelitian ini melalui skema Hibah Penelitian Dosen Jurusan Teknik Mesin Tahun Anggaran 2024.

Daftar Pustaka

- (ASTM), AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS, 2000a. (n.d.). *Flexural properties of unreinforced plastics and electrical insulating materials. ASTM D790. Annual book of ASTM Standards. American Society for Testing and Materials, Philadelphia.*
- Albdiry, M. T., Yousif, B. F., & Ku, H. (2013). Fracture toughness and toughening mechanisms of unsaturated polyester-based clay nanocomposites. *13th International Conference on Fracture 2013, ICF 2013*, 5, 3446–3455.
- Andrei, G., Dima, D., & Andrei, L. (2006). Lightweight magnetic composites for aircraft applications. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 8(2), 726–730.
- Ashori, A. (2008). Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries! *Bioresource Technology*, 99(11), 4661–4667. doi: 10.1016/j.biortech.2007.09.043
- Frómeta, D., Parareda, S., Lara, A., Molas, S., Casellas, D., Jonsén, P., & Calvo, J. (2020). Identification of fracture toughness parameters to understand the fracture resistance of advanced high strength sheet steels. *Engineering Fracture Mechanics*, 229(February), 106949. doi: 10.1016/j.engfracmech.2020.106949
- H. Abral, R. Fajrul, M. Mahardika, D. Handayani, M. Hahardika, D. Handayani, E. Sugiarti, A. N. Muslimin, S. D. R. (2019). *Improving impact, tensile and thermal properties of thermoset unsaturated polyester via mixing with methyl methacrylate and thermoset vinyl ester.*
- H. Abral, R. Fajrul, M. Mahardika, D. H., E. Sugiartii, & A. N. Muslim. (2021). Nanovoids in fracture surface of unsaturated polyester/vinyl ester blends resulting from disruption of the cross-linking of the polymer chain networks. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1062(1). doi: 10.1088/1757-899X/1062/1/012051
- H. Setiawan, D. Ariawan, K. Amri, A. Nuramal, A. A. (2022). Pengaruh Perlakuan Alkali Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Serat Lantung (*Artocarpus Elasticus*). *Rekayasa Mesin*, 13, No. 3 (August 2021), 675–688.
- Hiremath, N., Young, S., Ghossein, H., Penumadu, D., Vaidya, U., & Theodore, M. (2020). Low cost textile-grade carbon-fiber epoxy composites for automotive and wind energy applications. *Composites Part B: Engineering*, 198(May), 108156. doi: 10.1016/j.compositesb.2020.108156
- Hughes, M., Hill, C. A. S., & Hague, J. R. B. (2002). The fracture toughness of bast fibre reinforced polyester composites: Part 1 Evaluation and analysis. *Journal of Materials Science*, 37(21), 4669–4676. doi: 10.1023/A:1020621020862
- Mahyudin, A., Arief, S., Abral, H., Emriadi, Muldarisnur, M., & Artika, M. P. (2020). Mechanical properties and biodegradability of areca nut fiber-reinforced polymer blend composites. *Evergreen*, 7(3), 366–372. doi: 10.5109/4068618
- Mohammed, K., Zulkifli, R., Faizal, M., Tahir, M., Ali, H., & Ismail, N. D. (2025). *A Study of Tensile Properties and Performance of Bamboo Fiber-Epoxy Resin Composites*. 37(2), 749–758.
- Naik, P. K., Londe, N. V., Yogesha, B., Laxmana Naik, L., & Pradeep, K. V. (2018). Mode I Fracture Characterization of Banana Fibre Reinforced Polymer Composite. *IOP Conference Series:*

Materials Science and Engineering, 376(1). doi: 10.1088/1757-899X/376/1/012041

- Nguyen, L. T., Vu, C. M., Phuc, B. T., & Tung, N. H. (2019). Simultaneous effects of silanized coal fly ash and nano/micro glass fiber on fracture toughness and mechanical properties of carbon fiber-reinforced vinyl ester resin composites. *Polymer Engineering and Science*, 59(3), 584–591. doi: 10.1002/pen.24973
- Nurkertamanda, D., & Alvin, A. (2013). Desain Proses Pembentukan Serat Bambu Sebagai Bahan Dasar Produk Industri Kreatif Berbahan Dasar Serat Pada Ukm. *J@Ti Undip : Jurnal Teknik Industri*, 7(3), 139–143. doi: 10.12777/jati.7.3.139-142
- Nusyirwan, Abral, H., Hakim, M., & Vadia, R. (2019). The potential of rising husk fiber/native sago starch reinforced biocomposite to automotive component. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 602(1). doi: 10.1088/1757-899X/602/1/012085
- Nusyirwan, N., Abiem, P., Hairul, A., Hendery, D., Eka, S., Eka, S., & Nanda, I. P. (2023). Methods for increasing fracture toughness of thermosetting polyester polymers with vinyl ester mixtures as raw materials for automotive components. *Indian Journal of Engineering*, 20(53), 1–10. doi: 10.54905/disssi/v20i53/e20ije1648
- Nusyirwan, N., Peronika, A., Abral, H., Dahlan, H., Satria, E., & Sutanto, A. (2022). Unsaturated Polyester Fracture Toughness Mechanism With Blending To Vinyl Ester and Mma. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 17(23), 1990–1996.
- Nusyirwan, N., Abiema, P., & Malik, A. (2023). *Methods Increased Fracture Toughness Thermosetting Polyester Mixture with Vinyl Ester for Raw Materials in Ship Bodies*. 1(1), 43–50.
- Nusyirwan, N., & Malik, A. (2010). *Study of the Crack Resistance of Unsaturated Polyester Composite Reinforced by Finely Ground Sugarcane Bagasse Fiber as an Environmentally Friendly Composite for Lightweight Construction*. 1–7.
- Nusyirwan, N., Rani, M., & Pratama, R. (2022). *Identification of the fracture surface of thermoset polyester due to bending load*. 7(1), 51–58. doi: 10.22219/jemmm.v7i1.23086
- Nusyirwan, Yande, F., Abral, H., Ihamdi, Dahlan, H., & Satria, E. (2023). Effect of variations in load speed on fracture toughness of thermoset polyester/thermoset vinyl ester blend. *AIP Conference Proceedings*, 2592(March 1996). doi: 10.1063/5.0115043
- Oliver-Ortega, H., Julian, F., Espinach, F. X., Tarrés, Q., Ardanuy, M., & Mutjé, P. (2019). Research on the use of lignocellulosic fibers reinforced bio-polyamide 11 with composites for automotive parts: Car door handle case study. *Journal of Cleaner Production*, 226, 64–73. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.047
- Salih, A. A., Zulkifli, R., & Azhari, C. H. (2020). Tensile properties and microstructure of single-cellulosic bamboo fiber strips after Alkali treatment. *Fibers*, 8(5), 1–10. doi: 10.3390/FIB8050026
- Salih, A. A., Zulkifli, R., & Azhari, C. H. (2022). Tensile Properties of Single Cellulosic Bamboo Fiber (*Gigantochloa Scortechinii*) Using Response Surface Methodology. *Journal of Natural Fibers*, 19(1), 359–368. doi: 10.1080/15440478.2020.1745117
- Santiam, M., Drainage, R., & Cascades, W. (2019). *The Applicability of Linear Elastic Fracture Mechanics to Compressive Damage of the Carbon Fiber Reinforced Plastic Matrix*.
- You, A., Be, M., & In, I. (2025). *Identification of fracture surfaces in fracture toughness of blends of unsaturated polyester with vinyl ester*. 050001(October 2021).