

Studi Sifat Mekanik Komposit Polimer Serat Bambu Dengan Struktur Berlapis

Aminur^{1*}, Sudarsono², Raden Rinova Sisworo³, Prinob Aksar⁴, Citra Yurnidar Syah⁶, Wa Ode Nartin Hamundu⁷

^{1,2,3,4,5,6} Jurusan Teknik Mesin, Universitas Halu Oleo, Kendari 93132, Indonesia

⁷ Jurusan Arsitektur, Universitas Halu Oleo, Kendari 93132, Indonesia

* email_aminur@uho.ac.id

Abstract: The aim of this study are to determine the tensile, impact and compressive properties of the behavior of a bamboo fiber reinforced polymer composite with a layered structure. The method of this research is experimental in which bamboo fiber reinforced composites are made in 2 isotropic quasin configuration configurations namely [+60/0/-60] and [+45/0/-45] with layer thicknesses of 1.0 mm, 1.0 mm respectively. 5mm, and 2.0mm. The highest composite tensile strength was 8.173 N/mm² in the [+60/0/-60] configuration and the lowest composite tensile strength was 6.196 N/mm² in the [+45/0/-45] configuration. The highest composite impact strength was 34.259 kJ/mm² in the [+45/0/-45] array configuration and the lowest composite tensile strength was 10.775 kJ/mm² in the [+60/0/-60] array configuration. The highest compressive strength is 15.856 N/mm² in the [+60/0/-60] arrangement and the lowest is N/mm² in the [+45/0/-45] arrangement. The [+60/0/-60] array configuration has better mechanical properties than the [+45/0/-45] configuration. Where the composite has tensile strength, compressive strength and impact strength increases with increasing layer thickness

Keywords: composite, layered structure, tensile, impact and compression

Abstrak: Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat tarik, impak dan tekan terhadap perilaku komposit polimer berpenguat serat bambu dengan struktur berlapis. Metode penelitian ini adalah ekeperimental dimana komposit berpenguat serat bambu dibuat dalam 2 konfigurasi susunan *quasin isotropic* yaitu [+60/0/-60] dan [+45/0/-45] dengan tebal layer masing-masing 1,0 mm, 1,5 mm, dan 2,0 mm. hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik komposit tertinggi adalah 8,173 N/mm² pada konfigurasi susunan [+60/0/-60] dan kekuatan tarik komposit terendah adalah 6,196 N/mm² pada konfigurasi susunan [+45/0/-45]. Kekuatan impak komposit tertinggi adalah 34,259 kJ/mm² pada konfigurasi susunan [+45/0/-45] dan kekuatan tarik komposit terendah adalah 10,775 kJ/mm² pada konfigurasi susunan [+60/0/-60]. Kekuatan tekan tertinggi adalah 15,856 N/mm² pada konfigurasi susunan [+60/0/-60] dan kekuatan tekan terendah adalah N/mm² pada konfigurasi susunan [+45/0/-45]. Konfigurasi susunan [+60/0/-60] memiliki sifat mekanik lebih baik dibandingkan dengan susunan konfigurasi [+45/0/-45]. Dimana komposit memiliki kekuatan tarik, kekuatan tekan dan kekuatan impak meningkat seiring dengan bertambahnya ketebalan layer.

Kata kunci: komposit, struktur berlapis, tarik, impak dan tekan

I. PENDAHULUAN

Konsep *back to nature* merupakan istilah yang tepat untuk menggambarkan kondisi ilmu pengetahuan saat ini. Salah satu pengembangan material yang banyak digeluti periset adalah *Natural Composite (NACO)*. Komposit alam ini merupakan salah satu *smart material* yang memiliki peluang untuk menggeser penggunaan komposit sintesis. dan bahan logam. Pengembangan komposit berpenguat serat (*Fiber Reinforced Composite*) memberikan solusi terciptanya material ringan dan kuat di tengah tantangan penggunaan struktur, oleh karena itu diperlukan pemahaman yang tinggi mengenai bahan komposit serta diperlukan metode untuk menganalisa dan memprediksi kegagalan struktur komposit yang relevan [1]. *Fiber Reinforced Polymers (FRP)* banyak dikembangkan dalam dunia industri, konstruksi, dan struktur pesawat terbang [2]. Konsep pemanfaatan bahan serat alam lokal sebagai penguat NACO untuk diaplikasikan pada berbagai produk merupakan pemikiran yang sangat luhur [3]. Material komposit yaitu material yang tersusun dari campuran atau kombinasi dua atau lebih unsur-unsur utama yang secara makro berbeda di dalam bentuk dan atau komposisi material yang pada dasarnya tidak dapat dipisahkan [4].

Dalam pengembangan komposit alam, karakteristik serat alam merupakan persyaratan utama yang harus diperhatikan dalam proses manufakturnya. Salah satu serat yang memiliki potensi untuk dikembangkan untuk penyusun komposit adalah serat alam bambu. Bambu memiliki sifat mekanik yang baik dalam hal kekuatan jenis dan modulus elastis jenis tinggi bahkan menyamai serat *glass*. Bambu memiliki kekuatan tarik antara (140-800 MPa), modulus elastisitas (33 GPa), dan densitas yang rendah 0,6-0,8 g/cm³ [5]. Keberadaan bambu di Indonesia melimpah dan berpotensi sebagai bahan teknik dengan melakukan rekayasa material komposit berpenguat serat bambu [6]. Masyarakat Indonesia pun sudah terbiasa memanfaatkan bambu untuk keperluan hidup sehari-hari; seperti untuk mebel, konstruksi rumah, peralatan pertanian, kerajinan, alat musik, serta makanan [7]. Bambu memiliki kelemahan yaitu mudah terserang oleh jamur pelapuk dan kumbang bubuk karena bambu memiliki kadar pati dan selulosa yang disukai oleh organisme perusak. Kelemahan bambu mudah terserang oleh jamur pelapuk dan kumbang bubuk [8]. Selain itu, Bambu memiliki kekurangan secara individual dimana tidak tahan terhadap serangan rayap, kumbang bubuk, dan jamur [6].

Sejak dulu bambu sudah dikenal sebagai salah satu material yang dapat diaplikasikan dalam berbagai hal. Pemanfaatan material jenis ini sangat luas salah satunya adalah di bidang bangunan. Ketergantungan material sintesis impor menjadi ironi manakalah kondisi alam Indonesia yang maha kaya akan sumber daya alam yang melimpah. Salah satu jenis komposit yang termasuk paling lama dan paling banyak dimanfaatkan adalah komposit yang diperkuat oleh serat [9]. Bambu merupakan sumber daya terbarukan, pengerjaannya lebih mudah dengan alat-alat sederhana saja sudah dapat membuat produk [10]. Pemilihan serat bambu sebagai bahan penelitian dengan mempertimbangkan potensi serat bambu di Indonesia yang berlimpah dan belum dimanfaatkan secara baik [6]. Untuk mendapatkan komposit serat bambu yang baik, kadungan lignin dalam serat bambu harus dihilangkan karena dapat menyebabkan ikatan antar muka serat-matrik menjadi lemah [11]. Kelebihan komposit dengan sistem laminasi dimana laminasi komposit yang menawarkan properti isotropik penting untuk diterapkan setidaknya untuk pesawat, hal ini memungkinkan perancang untuk memiliki kontrol yang lebih baik atas delaminasi dan masalah perambatan retak.

Komposit struktur berlapis (*laminates structural composites*) terdiri dari sekurang-kurangnya dua material berbeda yang direkatkan bersama-sama. Material ini dapat berupa serat tunggal ataupun lembaran serat yang disusun dengan arah yang berbeda-beda disetiap lapisnya agar dapat menerima gaya sesuai desain yang diinginkan. Dalam pengembangannya komposit struktur berlapis dapat mengacu pada susunan anisymmetric laminate, *quasi-isotropic*, dan *symmetric laminate* [12]. Pada dasarnya bahan komposit serat itu sendiri terdiri dari dua bagian, yaitu *fiber* dan matriks [4].

Bambu tumbuh melimpah di seluruh kepulauan Indonesia, dan telah menjadi bagian dari kehidupan masyarakat Indonesia selama berabad-abad [13]. Bambu dapat digunakan untuk material teknik baik dalam bentuk utuh, lembaran strip dan serat [14]. Sifat-sifat mekanik bambu secara individual yaitu kekuatan tarik 28,3 kg/cm²-209 N/mm², kekuatan tekan 293,25 kg/cm²-504 kg/cm², kekuatan lentur 128,31 kg/cm²-546 kg/cm² [15]. Berbagai potensi bambu baik unsur kekuatan, cepat tumbuh, rendah energi, dan bahan melindungi ekosistem bumi ter masuk peningkatan ekonomi. Serat bambu mempunyai potensi yang baik untuk dikembangkan menjadi bahan biokomposit yang kuat, murah, ramah lingkungan, dan dapat didaur ulang [6]. Kualitas material komposit dipengaruhi oleh orientasi serat, panjang dan ukuran serat, komposisi serat, sifat mekanik serat yang digunakan serta kekuatan antara serat dan matriks [16]. Untuk meningkatkan interaksi serat-matrik dapat dilakukan dengan modifikasi permukaan serat. Modifikasi dapat dilakukan dengan cara mekanik dan kimia. Modifikasi kimia sering dilakukan karena lebih ekonomis dan menghasilkan serat kualitas tinggi [17].

Beberapa peneliti yang telah mengaplikasikan serat bambu menjadi material komposit, diantaranya: [18], meneliti sifat fisis dan mekanis komposit berpenguat *filler* serat bambu untuk aplikasi papan partikel. [13], pemanfaatan bambu dalam pembuatan komposit untuk bangunan rumah. [6], meneliti kekuatan tekan dan *flexural material* komposit serat bambu untuk penerapan di bidang kaki palsu (socket prosthesis). [19], meneliti kuat tekan komposit bambu laminasi pada aplikasinya di rumah tradisional Bali. [20], meneliti kekuatan lambung kapal bermaterial komposit yang dibuat

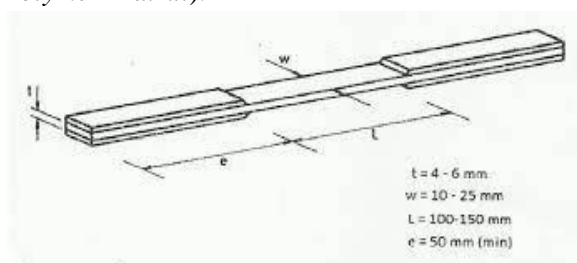
menggunakan metode *Vacuum Assisted Resin Transfer Molding* (VARTM). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat mekanik tarik, tekan dan dampak terhadap perilaku komposit polimer serat bambu dengan struktur berlapis. Adapun konfigurasi strukturnya komposit adalah quasin isotropic dengan ketebalan setiap layer 1.0 mm, 0,5 mm, dan 2.0 mm. *Quasi isotropic* memiliki susunan [+60/0/-60] dan [+45/0/-45].

II. METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan metode penelitian eksperimental dengan tujuan untuk mengetahui sifat mekanik komposit polimer serat bambu dengan struktur berlapis. Pengujian mekanik pada spesimen meliputi uji tarik, uji tekan dan uji dampak. Material komposit yang akan diuji terlebih dahulu dilakukan proses pembuatan komposit dengan metode *hand-lay-up* dengan fraksi volume serat 30% dengan ketebalan lapisan serat bambu 1 mm, 1,5 mm, 2,0 mm.

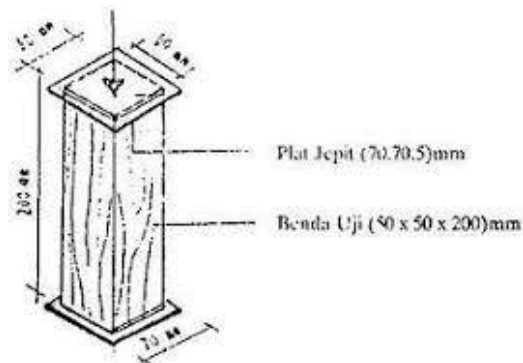
Adapun tahapan-tahapan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Tahap persiapan
 - a. Bambu dibuat lembaran strip dengan ketebalan masing-masing 1 mm, 1,5 mm, 2,0 mm dan 2,5 mm 3,0 mm; lebar 20 mm dan panjang 200 mm.
 - b. Bambu diberikan perlakuan alkali 5% selama 1 jam.
 - c. Bambu dikeringkan selama 1 jam di dalam oven.
 - d. Menyiapkan resin poliester dan katalis *Methyl Ethyl Ketone Peroxide* (MEKPO)
 - e. Menyingkang berat masing-masing lembaran bambu strip
2. Tahapan pembuatan komposit
 1. Komposit struktur berlapis dibuat dengan fraksi volume serat 30%. Untuk mendapatkan fraksi volume serat maka massa jenis serat bambu, massa jenis resin, dan volume komposit terlebih dahulu diketahui.
 2. Menyusun serat bambu yang telah dibuat dalam bentuk strip dan menyusun pada cetakan. Setelah tersusun kemudian meniriskan resin polyester pada susunan serat bambu.
 3. Mencampur resin dan katalis dengan perbandingan 98:2%
 4. Meniriskan adonan resin pada cetakan
 5. Menekan cetakan
 6. Menunggu proses pencetakan sampai benar-benar kering
 7. Melepaskan produk komposit berlapis pada cetakan
 8. Memasukkan produk komposit ke dalam oven pada suhu 120 °C selama 2 jam
3. Pembentukan spesimen uji
 - a. Spesimen uji tarik dibentuk berdasarkan standar ASTM D3039 (*Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix*).



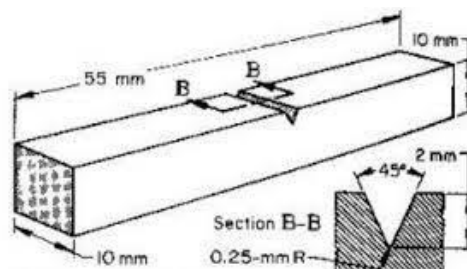
Gambar 2. Spesimen uji tarik

- b. Spesimen uji tekan dibentuk dengan mengacu standar ASTM D 695-96;



Gambar 2. Spesimen uji tekan

c. Spesimen uji tarik dibentuk berdasarkan standar ASTM D 256



Gambar 2. Spesimen uji tarik

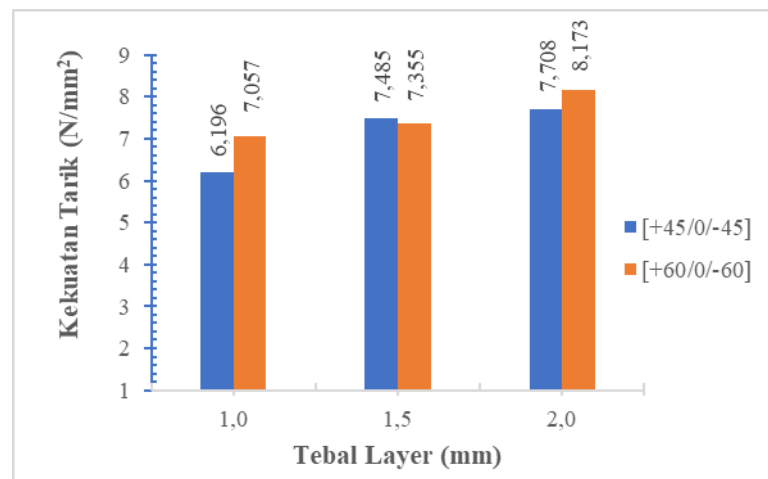
4. Tahapan pengujian spesimen

1. Mengukur tebal, panjang, lebar, *gauge length* masing-masing spesimen uji dengan alat ukur jangka sorong.
2. Menguji spesimen uji tarik, uji tekan, dan uji impact pada masing-masing alat uji dengan jumlah spesimen 5 buah setiap variabel (1 mm, 1,5 mm, 2,0 mm).
3. Melakukan pengamatan setiap proses pengujian dan mencatat data-data hasil pengujian.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

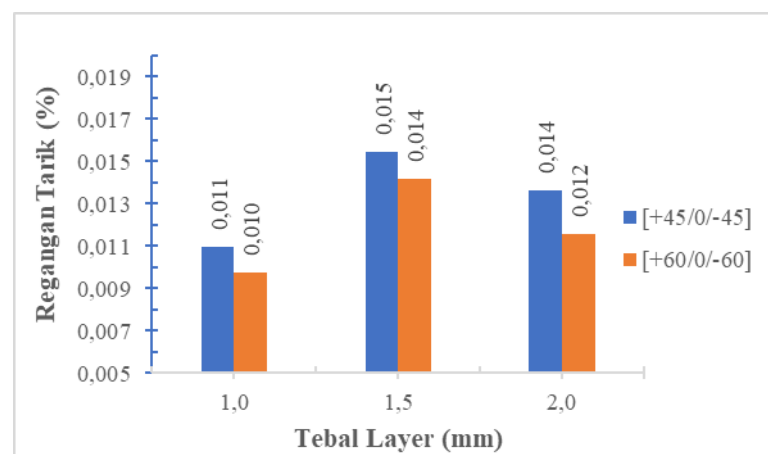
A. Uji Tarik

Pengujian dimaksudkan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Berdasarkan pengujian kekuatan tarik yang telah dilakukan maka hasil uji kekuatan tarik pada masing-masing ketebalan layer 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm pada konfigurasi susunan [+45/0/-45] dan konfigurasi susunan [+60/0/-60].



Gambar 4. Hasil pengujian kekuatan tarik pada

Kekuatan tarik bahan komposit struktur berlapis dengan konfigurasi susunan [+45/0/-45] dan konfigurasi susunan [+60/0/-60] dengan ketebalan masing-masing layer 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm. Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa kekuatan tarik berturut-turut 6,196 N/mm² tebal layer 1.0 mm; 7,485 N/mm² pada tebal layer 1,5 mm; 7,708 N/mm² pada tebal layer 2,0 mm untuk konfigurasi susunan [+45/0/-45]. Sedangkan untuk konfigurasi susunan [+60/0/-60] diperoleh kekuatan tarik berturut-turut 7,057 N/mm² tebal layer 1.0 mm; 7,355 N/mm² pada tebal layer 1,5 mm; dan 8,173 N/mm² pada tebal layer 2,0 mm. Analisis peningkatan kekuatan tarik komposit pada konfigurasi susunan [+60/0/-60] disebabkan karena susunan arah serat tersebut mendekati arah gaya tarik aksial sehingga pada saat penarikan, serat mampu menahan tarik lebih besar. Namun kekuatan tarik komposit pada konfigurasi susunan [+45/0/-45] menurun karena susunan arah serat dengan sudut tersebut lebih jauh dari arah gaya tarik aksial sehingga serat tidak mampu menahan gaya tarik secara maksimum. Analisis tebal layer pada komposit menunjukkan bahwa semakin tebal layer serat maka kekuatan tarik komposit semakin tinggi. Hal ini terjadi karena gaya yang terdistribusi pada setiap layer-nya semakin besar sehingga mampu menyerap beban yang lebih besar.

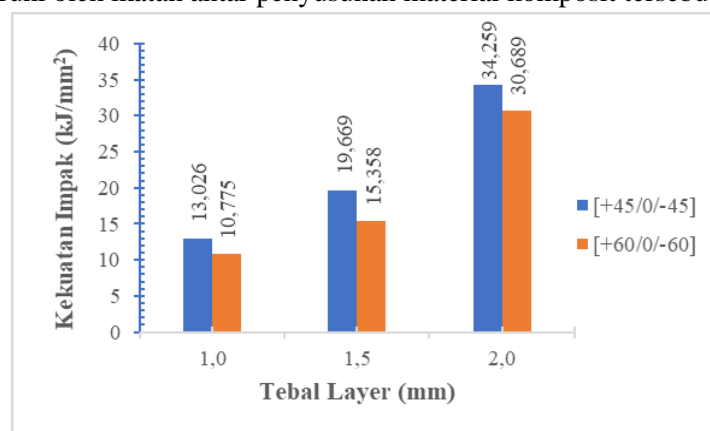


Gambar 5. Hasil pengujian regangan tarik

Regangan tarik bahan komposit struktur berlapis dengan konfigurasi susunan [+45/0/-45] dan konfigurasi susunan [+60/0/-60] dengan ketebalan masing-masing layer 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm. Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa regangan tarik berturut-turut 0,011 % tebal layer 1.0 mm; 0,015 % pada tebal layer 1,5 mm; 0,014 % pada tebal layer 2,0 mm untuk konfigurasi susunan [+45/0/-45]. Sedangkan untuk konfigurasi susunan [+60/0/-60] diperoleh regangan tarik berturut-turut 0,010 tebal layer 1.0 mm; 0,014 % pada tebal layer 1,5 mm; dan 0,012 % pada tebal layer 2,0 mm.

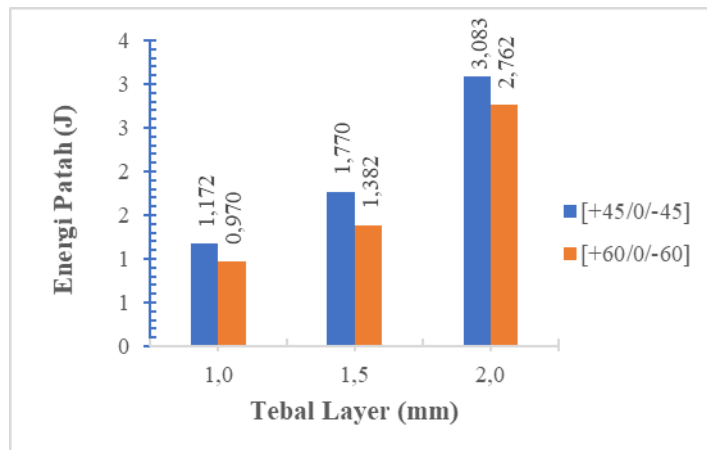
B. Uji Impak

Dengan pengujian impact dapat diketahui kemampuan material dalam menyerap energi impact sampai material tersebut mengalami deformasi plastis (patah). Sumber energi didapat dari suatu bandul yang mempunyai ketinggian tertentu dan berayun memukul spesimen uji. Kekuatan impact komposit berlapis sangat dipengaruhi oleh ikatan antar penyusunan material komposit tersebut.



Gambar 6. Hasil pengujian kekuatan impact

Kekuatan impact bahan komposit struktur berlapis dengan konfigurasi susunan [+45/0/-45] dan konfigurasi susunan [+60/0/-60] dengan ketebalan masing-masing layer 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm. Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa kekuatan tarik berturut-turut 13,026 kJ/mm² tebal layer 1.0 mm; 19,669 kJ/mm² pada tebal layer 1,5 mm; 34,259 kJ/mm² pada tebal layer 2,0 mm untuk konfigurasi susunan [+45/0/-45]. Sedangkan untuk konfigurasi susunan [+60/0/-60] diperoleh kekuatan impact berturut-turut 10,775 kJ/mm² tebal layer 1.0 mm; 15,358 kJ/mm² pada tebal layer 1,5 mm; dan 30,689 kJ/mm² pada tebal layer 2,0 mm. Analisis pengaruh tebal layer pada konfigurasi susunan [+45/0/-45] dan [+60/0/-60] berbading lurus terhadap kekuatan impact komposit. Semakin tebal layer komposit yang digunakan semakin tinggi pula kekuatan impactnya. Alasan adalah dengan bertambahnya tebal layer pada spesimen menyebabkan peningkatan momen inersia, sehingga energi patah (serap) yang dapat diterima juga semakin besar. Hal ini dapat dilihat dari hasil pengujian energi patah yang disajikan pada Gambar 7.

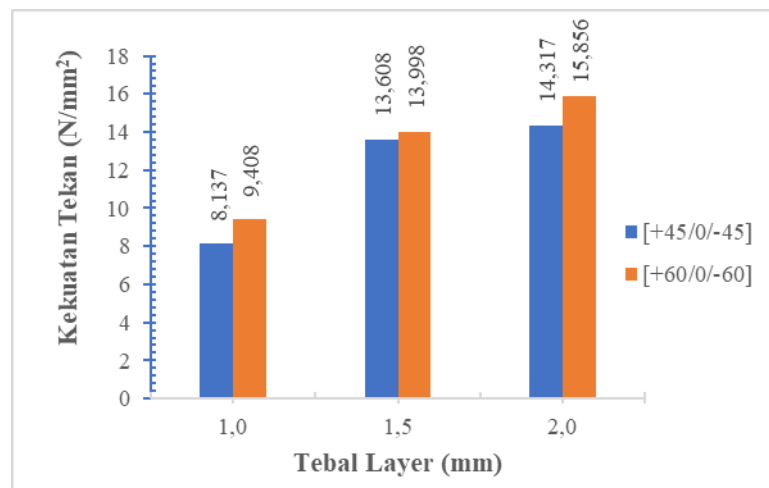


Gambar 7. Hasil pengujian energi impact

Energi impact adalah energi yang diserap spesimen pada saat dikenai beban kejut/impact. Semakin besar energi yang diserap, semakin tinggi ketangguhan impact dan keuletannya. Energi patah terendah pada bahan komposit adalah 0,970 Joule pada konfigurasi susunan [+60/0/-60], sedangkan nilai energi patah tertinggi bahan komposit adalah 3,083 Joule pada konfigurasi susunan [+45/0/-45].

C. Uji Tekan

Kuat tekan bahan komposit struktur berlapis adalah gaya tekan per satuan luas bidang tekan. cara yang efektif untuk mengukur berapa banyak beban yang dapat ditanggung oleh suatu permukaan atau material. Dari data yang telah didapatkan dibuat grafik hubungan antara kekuatan tekan terhadap tebal layer pada konfigurasi susunan dapat ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 8. Hasil pengujian kuat tekan

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa harga kekuatan tekan komposit berlapis dengan tebal layer berturut-turut 8,137 N/mm² tebal layer 1.0 mm; 13,608 N/mm² pada tebal layer 1,5 mm; 14,317 N/mm² pada tebal layer 2,0 mm untuk konfigurasi susunan [+45/0/-45]. Sedangkan untuk konfigurasi susunan [+60/0/-60] diperoleh kekuatan tekan berturut-turut 9,408 N/mm² tebal layer 1.0 mm; 13,998 N/mm² pada tebal layer 1,5 mm; dan 15,856 N/mm² pada tebal layer 2,0 mm. Pada pengujian tekan, komposit dengan layer yang tebal akan menghasilkan kekuatan tekan yang lebih besar.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan diperoleh beberapa temuan. Berdasarkan dari konfigurasi susunan *quasi isotropic* menunjukkan bahwa konfigurasi susunan [+60/0/-60] memiliki sifat mekanik lebih baik dibandingkan dengan susunan konfigurasi [+45/0/-45]. Kekuatan tarik, kekuatan impact dan tekan meningkat seiring dengan bertambahnya ketebalan layer. Kekuatan tarik tertinggi adalah 8,173 N/mm² pada konfigurasi susunan [+60/0/-60] dan kekuatan tarik terendah adalah 6,196 N/mm² pada konfigurasi susunan [+45/0/-45]. Kekuatan impact tertinggi adalah 34,259 kJ/mm² pada konfigurasi susunan [+45/0/-45] dan kekuatan tarik terendah adalah 10,775 kJ/mm² pada konfigurasi susunan [+60/0/-60]. Kekuatan tekan tertinggi adalah 15,856 N/mm² pada konfigurasi susunan [+60/0/-60] dan kekuatan tekan terendah adalah N/mm² pada konfigurasi susunan [+45/0/-45].

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Halu Oleo yang telah memberikan dukungan finansial dalam pelaksanaan penelitian ini melalui skema Penelitian Dosen Pemula Internal Universitas Halu Oleo dengan kontrak Nomor : 3369/UN29.2.1/KU/2022 Kendari 2022.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Nelson, S. English and T. , "Composite laminate failure parameter optimization through fourpoint flexure experimentation and analysis," *roce eding S NK-PPM*, pp. 501-50, November 2018.
- [2] L. R. Isna, N. M. Ula and K. Abdu, "Nilai Kekuatan Tarik Komposit Serat E-Glass $\pm 45^\circ$ Dengan Matriks Polyester Untuk Struktur Lsu (Lapan Surveillance Uav)," *Iptek Penerbangan dan Antariksa*, vol. 1, no. 1-11, pp. 271-292, 2018.
- [3] N. H. Sari, S. Sinarep and A. Akhyaroni, "Analisis Sifat Kekuatan Tekan dan Foto Mikro Komposit Urea Formaldehyde Diperkuat Serat Batang Kedelai," *Jurnal Energi dan Manufaktur* , vol. 6, no. 1, pp. 1-94, 2013.
- [4] M. M. Schwartz, "Composite Materials Handbook,," New York, USA, 1984.
- [5] A. Rofaida and . R. M. Pratama, "Sifat Fisik Dan Mekanik Papan Partikel Akibat Penambahan Filler Serat Bambu," *Spektrum Sipil*, vol. 8, no. 1, pp. 1-11, Maret 2021.
- [6] A. P. Irawan and I. W. Sukania, "Kekuatan Tekan dan Flexural Material Komposit Serat Bambu Epoksi," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 14, no. 2, p. 59–63 , 2013.
- [7] I. W. Muliawan, "Aplikasi Teknologi Bambu Semen Sebagai Dinding Di Desa Penglipuran Kabupaten Bangli," *Paduraksa*, vol. 3, no. 1, pp. 18-31, 2014.
- [8] F. T. Wulandari and N. P. E. L. Dewi, "Pengaruh Lama Waktu Perendaman Terhadap Pengawetan Bambu Tali (*Gigantochloa Apus*) Menggunakan Metode Perendaman Dingin," *Binawakarya*, vol. 16, no. 5, pp. 6797-6806, 2021.
- [9] K. Abdurrohman and A. Marta, "Kajian Eksperimental Tensile Properties Komposit Poliester berpenguat serat karbon searah hasil manufaktur Vacuum Infusion sebagai material struktur LSU," *Jurnal Teknologi Dirgantara*, vol. 14, no. 1, pp. 61-72, 2016.
- [10] J. Jasni, R. Damayanti and R. Pari, "Ketahanan Alami Jenis-Jenis Bambu Yang Tumbuh Di Indonesia Terhadap Rayap Tanah," *Jurnal: Penelitian Hasil Hutan*, vol. 3 , no. 4, pp. 289-301, 2017.
- [11] A. Budiman and S. Sugiman, "Karakteristik Sifat Mekanik Komposit Serat Bambu Resin Polyester Tak Jenuh Dengan Filler Partikel Sekam," *Dinamika Teknik Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 76-82, Juni 2016.
- [12] R. F. Gibson, *Principles of Composite Material Mechanics*, Fourth ed., New York, Mc Graw Hill:

CRC Press, 2016.

- [13] N. K. A. Artiningsih, "Pemanfaatan Bambu Pada Konstruksi Bangunan Berdampak Positif Bagi Lingkungan," *Teknologi Pertanian Universitas 17 Agustus 1945* , Semarang, 2022.
- [14] L. Nayak and S. P. Mishra, "Prospect of bambu as a renewable textile fiber, historical overview, labeling, controversies and regulation," *Fashion and Textiles*, vol. 3, no. 2, pp. 1-23, 2016.
- [15] A. Muhsin, L. M. Febriany, and H. Noor, "Material Bambu sebagai Konstruksi pada Great Hall Eco Campus Outward Bound Indonesia," *Jurnal Reka Karsa* , vol. 3, no. 3, pp. 1-11, 2015.
- [16] G. Gundara , "Analisis Sifat Fisis Dan Mekanis Komposit Serat Gelas Berlapis," Tasikmalaya, 2017.
- [17] I. S. Respati and H. Purwanto, "Analisis Kekuatan Tarik Dan Struktur Komposit Berpenguat Serat Alam Sebagai Bahan Alternative Pengganti Serat Kaca Untuk Pembuatan Dashboard," *Momentum*, vol. 10, no. 2, pp. 42-47, 2014.
- [18] A. Rofaida, R. M. Pratama, I. W. Sugiarta and D. Widianty, "Sifat Fisik Dan Mekanik Papan Partikel Akibat Penambahan Filler Serat Bambu," *Spektrum Sipil*, vol. 8, no. 1, pp. 1-11, 2021.
- [19] I. B. Eratodi, M. Morisco and T. A. Prayitno, "Kuat Tekan Bambu Laminasi Dan Aplikasinya Pada Rumah Tradisional Bali (Bale Daje/Bandung)," *Forum Teknik Sipil*, Pp. 702-711, 2008.
- [20] S. Sunaryo, G. Prayogo, S. L. Maharani and G. L. Putra, "Analisis Kekuatan Lambung Kapal Bermaterial Komposit Yang Dibuat Menggunakan Metode VARTM," Bandar Lampung, 2013.