

Diterima : 03 September 2024 | Selesai Direvisi : 16 Oktober 2024 | Disetujui : 28 Oktober 2024 | Dipublikasikan : Desember 2024
DOI : <http://doi.org/10.24853/jk.16.1.50-57>
Copyright © 2024 Jurnal Konstruksia
This is an open access article under the CC BY-NC licence (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Pemanfaatan HFRP (*Henequen Fiber Reinforced Polymer*) Sebagai Perkuatan pada Balok Kayu Sengon

Adryan Fitrayudha¹, Nurul Hidayati¹, Ahmad Zarkasi¹ dan Nura Safitri¹

¹Prodi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Mataram, Jl. KH. Ahmad Dahlan No. 1, Pagesangan, Kec. Mataram, Kota Mataram, Nusa Tenggara Bar. 83115

Email korespondensi: adryan@ummat.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini berfokus pada sejauh mana kekuatan mekanis material HFRP (*Henequen Fiber Reinforced Polymer*) yang akan dijadikan sebagai material perkuatan pada *sandwich panel* balok kayu sengon (kayu mutu rendah) dengan pembanding kayu jati (kayu kualitas baik). HFRP merupakan material komposit yang disusun menggunakan proporsi campuran 60% fraksi volume matriks *polymer* dengan 40% fraksi volume serat tanaman henequen. Matriks *polymer* yang digunakan berupa resin *polyester* yang umum digunakan dalam manufaktur perkapalan maupun *aerospace modelling*, sedangkan serat alam yang digunakan berasal dari serat daun tanaman henequen yang banyak dibudidayakan di lahan kritis yang terdapat di area perbukitan. Tahap selanjutnya komposit HFRP dibentuk menjadi plat strip dengan ketebalan 3,5 mm yang kemudian akan diaplikasikan sebagai *skin* pada balok *sandwich panel* dengan bahan *core* kayu sengon. Pembuatan dan pengujian benda uji *sandwich panel* mengacu pada standar ASTM C 393-94 dengan dimensi berupa balok berukuran 25 x 50 x 550 mm. Pengujian kuat lentur menggunakan metode *four point bending* menggunakan mesin *flexure testing machine*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat lentur rata-rata pada balok *sandwich panel* HFRP kayu sengon sebesar 168 MPa, lebih tinggi 24 % dibandingkan kuat lentur balok kayu jati utuh yang hanya mencapai nilai rata-rata kuat lentur 127 MPa. Sedangkan besarnya lendutan rata-rata yang terjadi pada *sandwich panel* HFRP sebesar 20 mm. Berdasarkan hasil pengujian mekanis tersebut dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan HFRP sebagai bahan perkuatan mampu meningkatkan kapasitas tegangan lentur pada kayu sengon (kayu kualitas rendah) hingga melampaui kayu jati (kayu kualitas baik).

Kata kunci: Henequen, sengon, komposit, *sandwich panel*, kuat lentur

ABSTRACT

This research explores the mechanical strength of HFRP (Henequen Fiber Reinforced Polymer) as a reinforcement material for sandwich panels of sengon wood beams (low-quality wood) in comparison to teak wood (class I wood). HFRP is a composite made from a mix of 60% polymer matrix and 40% henequen plant fibers. The polymer matrix, often used in shipbuilding and aerospace modeling, consists of polyester resin. Meanwhile, the natural fibers come from the leaves of henequen plants, which are extensively grown in critical hilly regions. The HFRP composite is turned into a 3.5 mm thick strip plate and used as a skin on the sandwich panel beam with a sengon wood core. The specimen is crafted and tested according to ASTM C 393-94 standards, forming a 25 x 50 x 550 mm beam. The four point bending method with a flexure testing machine is used for flexural strength testing. Results show that the HFRP sandwich panel beam with a sengon wood core has an average flexural strength of 168 MPa, 24% higher than the teak wood beam, which only has an average flexural strength of 127 MPa. The HFRP sandwich panel also shows an average deflection of 20 mm. These mechanical tests conclude that HFRP as a reinforcement material can enhance the flexural stress capacity of sengon wood (lowquality wood) beyond that of teak wood (good quality wood).

Keywords: Henequen, sengon wood, composite, sandwich panel, flexural strength

1. PENDAHULUAN

Perkembangan dibidang rekayasa material hingga saat ini telah mengalami kemajuan sangat cepat dan memiliki dampak sangat penting dalam kemajuan suatu industri konstruksi. Agar tidak tertinggal oleh laju industri konstruksi yang masif, para pelaku industri tersebut terus berupaya untuk berinovasi membuat produk yang ramah lingkungan, bernilai ekonomis, dan tentu berkualitas. Komposit berpenguat serat alam merupakan salah satu material non-logam yang sudah mulai dikembangkan saat ini, mengingat persediaan logam dan paduannya yang perlahan semakin menipis dikemudian hari [3]. Serat alam memiliki potensi yang tinggi sebagai bahan penguat karena mempunyai berbagai keunggulan seperti: ketersediaan melimpah, dapat diproduksi dalam jumlah banyak, biodegradasi yang baik, ekonomis, dan dapat meningkatkan sifat mekanis material [1].

Serat alam sebagai material rekayasa memiliki ketersediaan secara luas di alam serta ditemukan diseluruh dunia dan telah mendapatkan banyak perhatian dikalangan ilmuwan sebagai aplikasi disektor sipil, militer, industri, pesawat ruang angkasa dan biomedis. Serat alam dapat diperoleh dari tumbuhan seperti: abaka, sisal, bambu, kenaf, rami, dan kapas serta dapat juga berasal dari sumber hewani seperti serat wol, sutra, dan bulu ayam [2]. Berbagai penelitian telah dilakukan terkait serat alam sebagai bahan penguat, salah satu diantaranya adalah serat henequen yang merupakan salah satu jenis dari serat alam yang cukup banyak dibudidayakan di Indonesia dengan kekuatan mekanis yang cukup baik. Serat henequen berasal dari tumbuhan sisal (*agave sisalana*) merupakan salah satu serat yang paling banyak digunakan di dunia. Di samping itu, serat henequen merupakan serat yang

memiliki ukuran cukup panjang sehingga akan cocok diaplikasikan secara masal dengan berbagai bentuk dan ukuran.

Berbagai penelitian telah dilakukan terhadap kekuatan mekanis serat komposit henequen, diantaranya, pengujian material HFRP dan pengujian rekayasa *sandwich panel*. Pengujian mekanis material HFRP merupakan pengujian yang terlebih dahulu harus dilakukan sebelum tahap pengembangan dengan material tambahan dengan kayu atau rekayasa *sandwich panel*. Pengujian mekanis berdasarkan arah serat, volume fraksi menjadi beberapa parameter yang sangat menentukan kekuatan mekanis material HFRP sebagai bahan penyusun perkuatan struktur *sandwich panel*. Tahapan rekayasa HFRP selanjutnya dalam bentuk struktur *sandwich panel* dengan *core* logam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan serat henequen dapat meningkatkan kekuatan lentur maupun tarik material secara signifikan dibandingkan material asli tanpa perkuatan.

Berdasarkan hasil rujukan tersbut, maka penelitian terkait rekayasa material komposit ini dilakukan, dimana HFRP dijadikan perkuatan pada struktur balok kayu mutu rendah yakni kayu sengon guna mengetahui sejauh mana peningkatan kuat lentur akibat perkuatan yang telah diaplikasikan. Sebagai material pembanding dalam pengujian kuat lentur kayu sengon, maka digunakan balok kayu jati (kayu kualitas baik). Perlakuan tersebut bertujuan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penambahan perkuatan HFRP terhadap kuat lentur *sandwich panel* kayu sengon.

2. METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari bahan pembuatan komposit

HFRP dan bahan pembuatan balok *sandwich panel*. Pembuatan material HFRP menggunakan campuran antara matriks pengikat berupa resin *polyester* yang dikombinasikan dengan *reinforcement* serat daun tanaman henequen. Proporsi campuran terdiri dari 60% fraksi volume resin *polyester* berbanding 40% fraksi volume serat henequen dengan arah sejajar serat.

Serat henequen diperoleh dari hasil ekstraksi daun tanaman henequen yang telah berusia 6-12 bulan. Pengekstaksian serat dari daun tanaman henequen dilakukan menggunakan mesin *scraping* serat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Proses Ekstraksi Serat Daun Henequen

Tahap selanjutnya adalah melakukan pencucian dan penjemuran serat henequen hingga benar-benar kering dan siap untuk dijadikan bahan pembuatan komposit. Serat henequen yang telah siap pakai sebagai bahan komposit HFRP ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Serat Henequen Siap Pakai

Pembuatan benda uji

Tahap awal dalam pembuatan benda uji yakni melakukan pembuatan komposit HFRP, yang nantinya akan menjadi *skin*

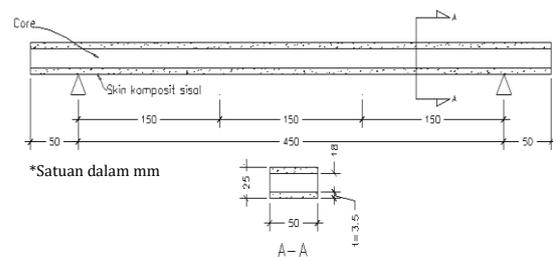
pada balok *sandwich panel*. Komposit HFRP dibuat dengan proprsi fraksi volume campuran 60% dan 40% antara masing-masing bahan resin *polyester* dengan serat henequen. Selanjutnya serat henequen dimasukkan dalam cetakan kaca kemudian resin *polyester* yang telah ditambahkan katalis dituangkan hingga memenuhi seluruh cetakan. Komposit HFRP akan mengeras denan sempurna setelah 24 jam kemudian dikeluarkan dari cetakan kaca. Proses pembuatan komposit HFRP ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Pembuatan Komposit HFRP

Pada gambar 3 dapat dilihat bagaimana plat komposit HFRP setelah kering sempurna selama 24 jam, kemudian dikeluarkan dalam cetakan dan dipotong sesuai ukuran benda uji balok *sandwich panel*. Tahap selanjutnya dalah pembuatan balok *sandwich panel* kayu sengon.

Pembuatan dan pengujian spesimen balok *sandwich panel* mengacu pada standar ASTM C393, dimana spesimen mempunyai panjang 550 mm, lebar 50 mm, tebal 25 mm. Spesimen uji lentur balok *sandwich panel* HFRP sengon dapat dilihat pada Gambar 4 dan Tabel 1 berikut:



Gambar 4. Dimensi Balok *Sandwich Panel* HFRP Sengon (ASTM C393)

Tabel 1. Jumlah Benda Uji Lentur Balok Sandwich Panel HFRP Sengon

No.	Balok Sandwich Panel	Balok Kayu Jati
1	Sampel 1	Sampel 1
2	Sampel 2	Sampel 2
3	Sampel 3	Sampel 3
4	Sampel 4	Sampel 4
5	Sampel 5	Sampel 5
total	5 sampel	5 sampel

Proses pembuatan benda uji balok sandwich panel HFRP sengon dapat dilihat pada gambar 5 berikut.



Gambar 5. Pembuatan Balok Sandwich Panel HFRP Sengon

Pada gambar diatas menunjukkan proses pemotongan core kayu sengon kemudian dilakukan pengeliman antara core dengan skin HFRP menggunakan epoxy dan dikempa selama 24 jam.

Pengujian kuat lentur

Pengujian kuat lentur menggunakan metode uji *four pint bending* dengan standar acuan ASTM C393-94. Pengujian kuat lentur menggunakan alat *flexural testing machine*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 6 berikut.



Gambar 6. Pengujian Kuat Lentur Balok Sandwich Panel HFRP Sengon dan Balok Kayu Jati

Selanjutnya adalah skema pengujian lentur dengan metode *four point bending* ditunjukkan ada gambar 7. Metode pengujian ini dipilih untuk mendapatkan kondisi lenturan murni pada saat pengujian, artinya adalah melenturnya balok murni akibat momen *ultimate* yang bekerja pada tengah bentang, bukan akibat gaya geser dari pembebanan. Persamaan (1) menunjukkan rumus dasar untuk menentukan nilai tegangan lentur dari suatu penampang.

$$f_b = \frac{M.z}{I} \quad (1)$$

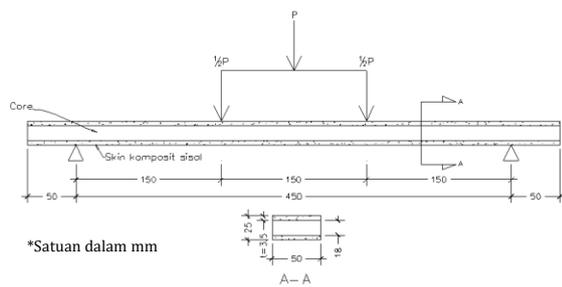
dengan f_b = tegangan lentur (MPa), M = momen tengah batang (Nmm), z = jarak ke titik berat (mm), I = Momen inersia (mm⁴). Rumus tegangan lentur pada *sandwich panel* diperoleh berdasarkan penurunan persamaan (1), dimana perbedaan dengan balok biasa terletak pada nilai momen inersianya. Bentuk *sandwich panel* yang tersusun dari beberapa lapisan mengakibatkan timbulnya momen inersia *parallel* pada lapisan *skin*, sehingga menyebabkan meningkatnya nilai inersia pada penampang balok. Rumus nilai tegangan lentur *sandwich panel* berdasarkan standar pengujian ASTM C393 dapat dilihat pada Persamaan (2) dan (3).

$$f_f = \frac{M.z}{(EI)_{eq}} E_f \quad (2)$$

$$f_c = \frac{M.z}{(EI)_{eq}} E_c \quad (3)$$

dengan f_f = tegangan lentur *skin* (MPa), E_f = modulus elastisitas *skin* (MPa), $(EI)_{eq}$ = kekuatan lentur (Nmm⁴), f_c = tegangan

lentur *core* (MPa), E_c = modulus elastisitas *core* (MPa).

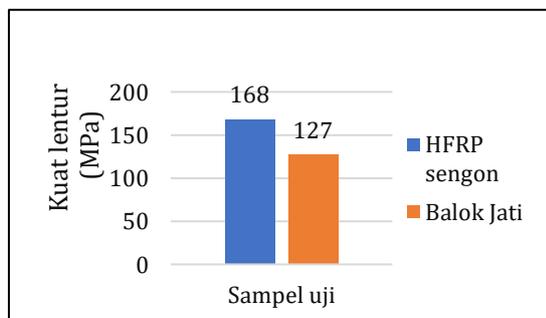


Gambar 7. Skema Pengujian Lentur Balok Sandwich Panel HFRP Sengon dan Balok Kayu Jati

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kuat lentur

Hasil pengujian kuat lentur balok *sandwich panel* HFRP sengon dan balok jati disajikan pada diagram 8. Berdasarkan hasil pengujian kuat lentur diperoleh nilai rata-rata kuat lentur balok *sandwich panel* HFRP sengon sebesar 168 MPa, sedangkan untuk balok kayu jati memiliki nilai kuat lentur rata-rata sebesar 127 MPa.



Gambar 8. Diagram kuat lentur sampel uji

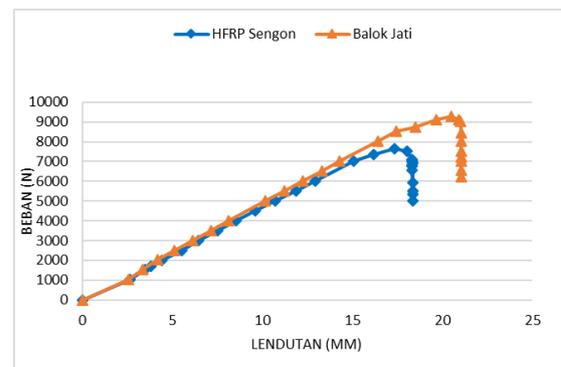
Diagram pada gambar 8 menunjukkan bahwa hasil pengujian kuat lentur balok *sandwich panel* HFRP sengon memiliki nilai kuat lentur lebih tinggi 24% dibanding balok kayu jati. Hal tersebut menunjukkan bahwa komposit HFRP mampu meningkatkan kuat lentur kayu sengon (kayu mutu rendah) sehingga mampu melampaui nilai kuat lentur balok kayu jati (kayu mutu tinggi). Pengaplikasian *skin* komposit HFRP

mampu meningkatkan kekuatan mekanis pada balok kayu sengon secara signifikan.

Lendutan sampel uji

Akibat pembebanan yang diberikan maka akan terjadi lendutan pada sampel uji.

Secara umum pola lendutan yang terjadi linier dengan besarnya beban yang diberikan, dimana semakin besar ketahanan lentur maka semakin besar lendutan yang terjadi pada sampel uji balok *sandwich panel* HFRP sengon dan kayu jati. Hubungan antara beban dan lendutan yang terjadi pada masing-masing sampel uji ditunjukkan pada grafik yang ditunjukkan pada gambar 9 berikut.



Gambar 9. Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Sampel Uji

Pada gambar 9 terlihat hubungan perbandingan antara beban maksimum dengan lendutan yang dialami sampel uji balok *sandwich panel* HFRP dengan balok kayu jati. Grafik diatas menunjukkan pola yang hamper seragam, dimana nilai lendutan berbanding lurus dengan kemampuan menahan beban. Beban rata-rata yang dihasilkan oleh balok *sandwich panel* HFRP sengon sebesar 7.650 N, dengan nilai lendutan rata-rata 17.36 mm. Sedangkan untuk beban maksimum balok kayu jati sebesar 9.3000 N dengan lendutan rata-rata 20,5 mm. Pola grafik menunjukkan garis linier dengan sudut kemiringan tertentu dan putus saat mencapai nilai beban maksimum. Besarnya kemiringan garis linier pada grafik tersebut menggambarkan sifat getas

pada masing-masing sampel uji. Semakin besar sudut kemiringan pada kurva beban-lendutan, menandakan sifat getas yang semakin besar pada sampel uji. Hal lain yang mengindikasikan sampel uji bersifat getas dikarenakan tidak lama setelah terjadi retakan, benda uji kemudian patah dan tidak mampu lagi menahan beban yang diberikan. Berdasarkan pemaparan tersebut dapat disimpulkan bahwa balok kayu jati lebih getas dibanding balok *sandwich panel* HFRP. Sehingga dengan kata lain balok *sandwich panel* HFRP cenderung lebih elastis dibanding balok kayu jati.

Pola retak dan kegagalan sampel uji

Berdasarkan hasil pengujian lentur pada kedua jenis sampel uji, diperoleh pola kegagalan yang serupa yakni akibat beban lentur yang diberikan dan properti sampel uji yang cenderung getas. Pola kegagalan yang terjadi pada balok *sandwich panel* HFRP diawali dengan retakan pada komposit skin bagian tepi bawah akibat tegangan tarik. Retakan tersebut secara perlahan merambat pada bagian tengah dengan kemiringan tertentu. Bersamaan dengan bertambahnya retakan, lendutan yang terjadi juga semakin meningkat. Setelah lendutan yang terjadi cukup besar, daya dukung turun secara drastis diikuti retakan yang terjadi pada bagian *core* kayu sengon serta retakan pada skin bagian atas akibat beban tekan yang diterima. Proses keruntuhan tersebut disertai dengan suara semacam ledakan kecil dan sesaat setelah runtuh, daya dukung sampel turun secara dratis. Kegagalan dan pola retakan yang terjadi pada sampel uji ditunjukkan pada Gambar 10 dan 11 berikut.



Gambar 10. Pola Kegagalan Balok *Sandwich Panel* HFRP Sengon



Gambar 11. Pola Kegagalan Balok Kayu Jati

Mengacu pada gambar diatas, maka dapat diketahui bagaimana pola kegagalan yang terjadi pada balok *sandwich panel* HFRP sengon dan kayu jati. Hasil pengujian lentur yang dilakukan mengindikasikan bahwa pola kegagalan yang terjadi pada sampel uji memiliki pola yang serupa, yakni terdapat retakan yang cukup besar pada daerah lentur dengan kemiringan sudut tertentu. Rekapitulasi keseluruhan pola kegagalan yang terjadi pada sampel uji dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Pola Kegagalan Pada Sampel Uji Lentur

<i>Sampel Uji</i>	<i>Kode</i>	<i>Pola Kegagalan</i>	<i>Kerusakan Sampel uji</i>
<i>Sandwich Panel HFRP sengon</i>	Sampel 1	Skin dan <i>core</i> putus	<i>Skin</i> bawah putus, <i>core</i> pecah dan <i>skin</i> atas retak
	Sampel 2	Skin putus dan <i>core</i> retak	<i>Skin</i> bawah putus, <i>core</i> pecah dan

Sampel Uji	Kode	Pola Kegagalan	Kerusakan Sampel uji
			skin atas retak
	Sampel 3	Skin putus dan core retak	Skin bawah putus, core pecah dan skin atas patah
	Sampel 4	Skin putus dan core retak	Skin bawah putus, core retak dan skin atas retak
	Sampel 5	Skin putus dan core retak	Skin bawah putus, core pecah dan skin atas retak
Kayu jati	Sampel 1	core retak	Pecah pada daerah lentur
	Sampel 2	core retak	Pecah pada daerah lentur
	Sampel 3	core retak	Pecah pada daerah lentur
	Sampel 4	core retak	Pecah pada daerah lentur
	Sampel 5	core retak	Retak pada daerah lentur

Pada sampel uji balok *sandwich panel* HFRP sengon terjadi pola keruntuhan akibat beban lentur berupa kegagalan pada bagian *skin* dan *core*. Kerusakan pada *skin* akibat lentur ditandai dengan putusnya *skin* bagian bawah *sandwich panel*, sedangkan kerusakan *core* terjadi berupa retakan yang cukup besar dengan sudut kemiringan tertentu.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium dan analisa yang telah dilakukan, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat lentur rata-rata pada balok *sandwich panel* HFRP kayu sengon sebesar 168 MPa, lebih tinggi 24 % dibandingkan kuat lentur balok kayu jati utuh yang hanya mencapai nilai rata-rata kuat lentur 127 MPa.
2. Lendutan yang dihasilkan sampel uji balok *sandwich panel* HFRP adalah 20,5 mm, sedangkan untuk kayu jati sebesar 19,0 mm.
3. Pola kegagalan yang terjadi pada balok *sandwich panel* HFRP sengon berupa kegagalan lentur yang diawali dengan retak pada *skin* bagian bawah hingga mengalami putus dan diikuti dengan retak pada *core* kayu sengon.
4. Penggunaan *skin* komposit *polyester* henequen pada *sandwich panel* kayu sengon (kayu mutu rendah) mampu meningkatkan karakteristik mekanik hingga melampaui kayu jati (kayu mutu tinggi). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penggunaan material komposit resin *polyester* dengan bahan dasar serat alam berupa serat henequen dapat menjadi solusi terhadap isu *green building* guna menghasilkan suatu material yang ramah lingkungan dengan kekuatan mekanis yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Fitrayudha, N. Hidayati, A. Zarkasi, "Karakterisasi Mekanis Sandwich Panel Komposit *Polyester* Serat Sisal Lokal Sumbawa dibandingkan dengan Panel Kayu Meranti," Jurnal Reka Buana, Vol 8 (1), Page 16-29.
- [2] A. Prayoga, dan Devit, "Pengaruh Jumlah Laminasi Core Komposit Sandwich Serat Kenaf Dengan Core Kayu Sengon Terhadap Kekuatan Bending," Jurnal Teknik Mesin, vol. 9 (1), 2021.
- [3] ASTM C393, Standard Test Method for Core Shear Properties of Sandwich Constructions by Beam Flexure, 2020.

- [4] A. Zubaydi, dan A. Budipriyanto, "Material Sandwich: Teori, Desain, dan Aplikasi," Surabaya : Airlangga University Press, 2020.
- [5] J. Fajrin, "Mechanical Properties of Natural Fiber Composite Made of Indonesian Grown Sisal," *Jurnal Info Teknik*, vol. 17 (1), Page 69-84, 2016.
- [6] Mukhopadhyay, S., Fanguero, R., "Physical Modification of Natural Fibers and Thermoplastic Films for Composites," *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 22(2), Page 135-162.
- [7] S. Habibie dkk., "Serat Alam Sebagai Bahan Komposit Ramah Lingkungan, Suatu Kajian Pustaka," Vol. 2, Page 1-13, 2021.
- [8] SNI 7973-2013, "Spesifikasi Desain Untuk Konstruksi Kayu". Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2013.
- [9] Surata, I. W., Lokanata, I. P., dan Arimbawa A. P. "Studi Sifat Mekanis Komposit Epoxy Berpenguat Serat Sisal Orientasi Acak yang diCetak dengan Teknik Hand-Lay Up," *Jurnal Energi dan Manufaktur*, Vol 9 (2), Page 143-146.
- [10] Y. Morena, Ermiyati, A. Novan, dan Y. Novianti, "Penguujian Kuat Lentur Dan Kuat Tekan Kayu Sengon Dengan Menggunakan Lapisan/Coating Resin," *Sainstek (e-Journal)*, vol. 9 (2), 2021.