

Pemanfaatan Limbah Sagu (*Metroxylon* sp) sebagai Bahan Baku Biokomposite Ramah Lingkungan

Budiawan Sulaeman^{1*}, Nurhidayanti²

¹Jurusan Teknik Mesin, Universitas Andi Djemma, Palopo, Indonesia

²Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia

*budiawan.sulaeman77@gmail.com

Abstract: *This study evaluated biocomposites' physical and mechanical properties using sago palm (LS) as an additive. The main findings of this study showed that all LS biocomposites tested met the JIS (2003) density standard, although there was a decrease in density as LS addition created more voids in the structure. The moisture content of all LS biocomposites was within the limit allowed by JIS (2003) standard, although it was slightly higher due to the hygroscopic nature of LS. The thickness development of LS biocomposites increased with the addition of LS, especially at higher LS compositions, but still met the standard. Mechanical test results showed that optimum compressive strength was achieved by adding up to 35% LS, while adding LS beyond that reduced the compressive strength. The LS biocomposites tested were found to have variations in physical properties based on material composition and the results remained compliant with applicable quality standards. This demonstrates the potential of LS as an additive in the production of biocomposites that meet established quality standards.*

Keywords: *biocomposite; sago Metroxylon sp; environment, sustainable material*

Abstrak: Penelitian ini mengevaluasi sifat fisik dan mekanik biokomposit dengan menggunakan sagu aren (LS) sebagai bahan tambahan. Temuan utama dari penelitian ini menunjukkan bahwa semua biokomposit LS yang diuji memenuhi standar densitas JIS (2003), meskipun terjadi penurunan densitas karena penambahan LS menyebabkan lebih banyak rongga dalam struktur. Kadar air dari semua biokomposit LS berada dalam batas yang diizinkan oleh standar JIS (2003), meskipun sedikit lebih tinggi karena sifat higroskopis LS. Pengembangan ketebalan biokomposit LS meningkat dengan penambahan LS, terutama pada komposisi LS yang lebih tinggi, tetapi masih memenuhi standar. Hasil uji mekanik menunjukkan bahwa kekuatan tekan optimum dicapai dengan penambahan LS hingga 35%, sedangkan penambahan LS lebih dari itu menurunkan kekuatan tekan. Biokomposit LS yang diuji ternyata memiliki variasi sifat fisik berdasarkan komposisi bahan dan hasilnya tetap memenuhi standar kualitas yang berlaku. Hal ini menunjukkan potensi LS sebagai bahan aditif dalam produksi biokomposit yang memenuhi standar kualitas yang telah ditetapkan.

Kata kunci : biokomposit; sagu *Metroxylon* sp; lingkungan; material keberlanjutan

I. PENDAHULUAN

Sagu merupakan tanaman komoditas utama yang dianggap sebagai makanan pokok di Asia Tenggara, termasuk Malaysia, Papua Nugini, dan Indonesia [1]. Di Indonesia, luas area sagu mencapai sekitar 1,128 juta hektar, berkontribusi 51,3% dari total area sagu global [2]. Ditahun 2017 Indonesia memproduksi sagu sekitar 432.913 [3]. Menurut Jenol et al., (2024) dalam proses produksi, setiap ton pati sagu yang dihasilkan dapat menghasilkan limbah sagu (LS) hingga 20 ton. Pengelolaan LS ini menimbulkan dampak negatif pada lingkungan, terutama karena kandungan organik yang tinggi [4].

Meskipun beberapa penelitian telah mencoba memanfaatkan LS untuk berbagai aplikasi, seperti pakan ternak [5-6], pengendalian gulma [7] dan pupuk tanaman [8] hasil yang diperoleh masih belum memberikan dampak signifikan. Salah satu penyebabnya adalah tingginya kandungan lignin dan selulosa dalam LS, yang merupakan komponen utama dari biomassa tanaman [9]. Hal ini menunjukkan perlunya pendekatan baru dalam pengelolaan LS untuk meningkatkan manfaatnya secara lebih efektif.

Salah satu pendekatan baru yang dilakukan adalah mengkombinasikan LS dengan material komposit [10]. LS dapat diubah menjadi bahan pengisi komposit atau dikenal sebagai *biocomposite* [11]. Komposit banyak digunakan dalam industri konstruksi, termasuk untuk dinding, lantai, mebel, atap, dan struktur bangunan lainnya [12].

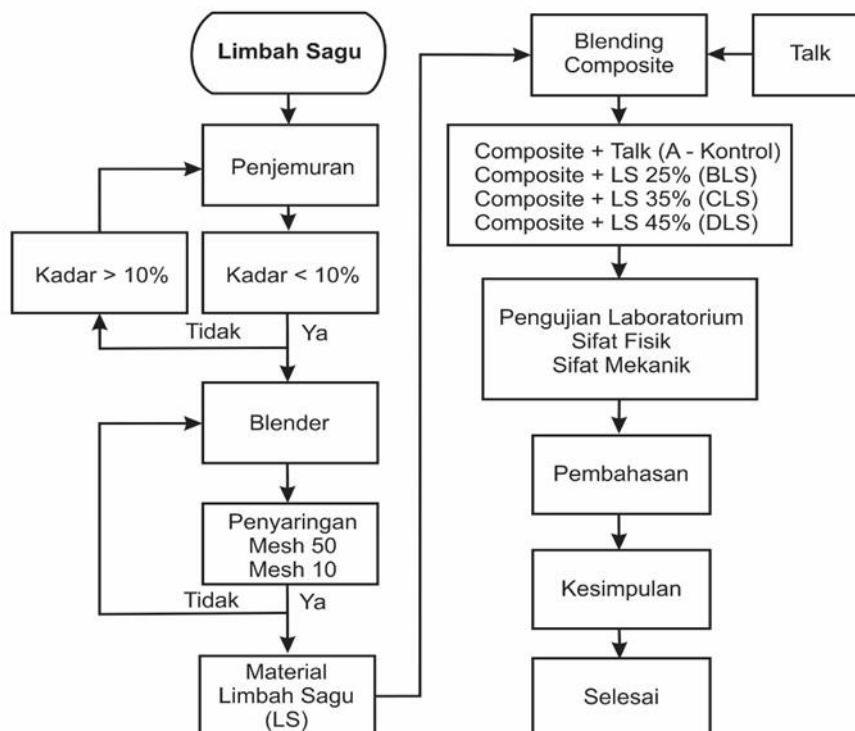
Peneliti Maryanto, (2023) menunjukkan bahwa kualitas serta karakteristik fisik dan mekanik limba dapat digunakan sebagai bahan pengisi dalam pembuatan komposit [10]. Sehingga membantu mengurangi akumulasi limbah [4]. Untuk memenuhi standar JIS (Japanese Industrial Standard), sifat fisik dalam material komposisinya harus diatur dengan tepat [13]. Penelitian ini melibatkan pengujian pengujian mekanik. Hal ini penting karena sangat mempengaruhi proses produksi biocomposite dan kualitas akhir produk [14]. Karena dari segi ekonomis, komposit ini relatif murah dan mudah diimplementasikan [15].

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi efektif dalam mengatasi permasalahan LS melalui pengembangan teknologi pengolahannya menjadi biocomposite ramah lingkungan. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat berkontribusi pada perkembangan teknologi material biocomposite serta membantu mengurangi pencemaran lingkungan akibat LS (limbah sagu).

II. METODE PENELITIAN

A. Material

Limba Sagu (Metroxilon SP) diperoleh dari pusat pengolahan sagu di Kecamatan Telluwanua Kota Palopo, sedangkan bahan lainnya diperoleh dari PT. Ocean Fiberglass Makassar (Talk, Resin Epoksi dan Katalis).



Gambar 1. Proses Pembuatan Biocomposite LS

B. Pembuatan Biocomposite

Tabel 1. menunjukkan komposisi Biocomposite dengan material tambahan LS

Tabel 1. Komposisi Material Uji

No	Material Uji	Resin Epoksi (ml)	Kata;is (ml)	LS (%)
1	A (Kontrol)	100	5	-
2	B LS	100	5	25
3	C LS	100	5	35
4	D LS	100	5	45

Sampel material uji dicetak, kemudian simpan biocomposite LS pada suhu ruang selama 24 jam. Kemudian, lepaskan dari cetakan dan lakukan pengkondisian selama 7-14 hari dalam desikator, agar kadar kelembapan pada seluruh bagian biocomposite menjadi seragam.

B. Pengujian Sifat Fisik Biocomposite LS

Pengujian kerapatan, kadar air dan pengembangan tebal menggunakan standar JIS, (2003) [16], sebagai berikut;

a. Uji Kerapatan

Pada uji ini, contoh uji berukuran 10 cm x 10 cm x 10 cm dalam keadaan kering udara dan kemudian diukur panjang, lebar dan tebalnya untuk menentukan volume (panjang, lebar dan tebal). Kerapatan biocomposite LS dihitung dengan persamaan (1).

$$K = \frac{B}{V} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana K adalah kerapatan (g/cm³); B adalah berat kering udara (g); dan V adalah volume kering udara (g).

b. Uji Kadar Air

Material uji berukuran 10 cm x 10 cm x 10 cm ditimbang berat awalnya (BA), kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 103±2°C. Material uji biocomposite dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit. Kemudian ditimbang, untuk mengetahui kadar air biocomposite LS dengan persamaan (2).

$$KA = \frac{m1 - m2}{m2} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Dimana KA adalah kadar air (%); m1 adalah massa kering udara bahan uji (g); dan m2 adalah massa kering bahan setelah di oven (g).

c. Pengembangan Tebal

Sebelum diberi air (akuades), terlebih dahulu diukur ketebalan bahan uji menggunakan mikrometer dan diambil rata-ratanya, kemudian direndam dalam air dingin selama 24 jam. Selanjutnya material uji diukur kembali tebalnya, perhitungan biokomposit LS melalui pengukuran tebal sebelum

perendaman air (t_1) dan tebal setelah perendaman selama 24 Jam (t_2) dengan persamaan (3).

$$Pt = \frac{t_1 - t_2}{t_2} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

Dimana PT adalah pengembangan tebal (%); t_1 adalah tebal bahan uji sebelum perendaman (cm^3); t_2 adalah tebal bahan uji setelah perendaman (cm^3).

d. Pengujian Sifat Mekanik Biocomposite LS

Pengujian sifat mekanik menggunakan pengujian tekan, metode pengujian ini digunakan untuk menentukan kekuatan tekan suatu material. Kekuatan tekan adalah kemampuan material untuk menahan beban tekan per satuan luas. Pengujian ini penting untuk mengidentifikasi mutu dan kekuatan struktur material. Adapun prosedur yang dilakukan, sebagai berikut:

- a. Persiapan benda uji biasanya berbentuk silinder dan kubus dengan dimensi disesuaikan dengan ukuran pengujian SNI 1974:2011.
- b. Benda uji ditempatkan di mesin uji tekan dan diberikan beban tekan aksial hingga benda uji mengalami kehancuran. Beban maksimum yang diterima selama pengujian dicatat.
- c. Perhitungan kuat tekan dihitung dengan membagi beban maksimum yang diterima dengan luas penampang benda uji dengan menggunakan persamaan (4).

$$f_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana f_c adalah kuat tekan (N/mm^2); P adalah beban tekan (N); dan A adalah luas bidang benda uji (mm^2).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Sifat Fisik Biocomposite LS

Tabel 2. Hasil Pengujian Fisik

No	Material Uji	Rerata Kerapatan (g/cm^3)	Rerata Kadar Air (%)	Rerata Kadar Pengembangan Tebal (%)
1	A (Kontrol)	0.703	8.72	9.55
2	B LS	0.608	9.03	11.03
3	C LS	0.605	10.12	15.23
4	D LS	0.602	10.95	19.85

Tabel 2. menunjukkan hasil pengujian fisik dari biocomposite LS. Berdasarkan pengujian rerata kerapatan yang ditemukan berkisar antara 0.602 g/cm^3 hingga 0.703 g/cm^3 . Kerapatan tertinggi dihasilkan oleh bahan uji A yang berfungsi sebagai kontrol, sementara kerapatan terendah berasal dari material uji D LS dengan kandungan 45% LS. Menurut standar JIS kerapatan biocomposite LS yang baik harus berada dalam rentang 0.5 – 0.9 g/cm^3 [16]. Hal ini menunjukkan keseluruhan sampel material uji memenuhi kriteria kerapatan yang ditetapkan.

Penelitian Rini & Wulandari (2019), menunjukkan bahwa semakin besar penambahan bahan tambah, semakin rendah nilai kerapatannya [17]. Penurunan kerapatan ini terjadi karena komposisi partikel yang lebih sedikit dan banyaknya rongga yang terisi oleh perekat, sehingga komposit memiliki berat yang lebih ringan dibandingkan dengan volumenya [18]. Semua biocomposite LS yang diuji dalam penelitian ini memenuhi standar kerapatan yang ditetapkan. Penurunan kerapatan dapat dikaitkan dengan penggunaan LS yang bervariasi dan lebih besar, yang berkontribusi pada peningkatan rongga dan pengurangan komposisi partikel. Sementara persentase kadar air menjadi salah satu sifat fisik yang diukur setelah proses pemanasan menggunakan oven Mehmet UN 110. Kadar air menunjukkan jumlah air yang terkandung dalam biocomposite LS saat berada dalam keadaan seimbang dengan lingkungan sekitarnya.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar air berkisar antara 8.72% hingga 10.95%. Kadar air tertinggi terdapat pada biocomposite LS dengan kandungan DLS, sedangkan kadar air terendah ditemukan pada material uji kontrol yang menggunakan talk atau material tambahan lainnya sebagai bahan tambahan. Berdasarkan standar JIS, kadar air yang diperbolehkan untuk biocomposite LS adalah antara 5% hingga 13%. Hal demikian, kadar air material uji dalam penelitian ini telah memenuhi standar.

Kadar air dalam biocomposite dipengaruhi oleh kadar air dari LS. Kadar air DLS lebih tinggi dibandingkan dengan kadar air A (kontrol) yang telah dioven selama 24 jam pada suhu 85°C, yang memiliki kadar air 8.72%. Penggunaan bahan baku atau bahan tambahan yang lebih sedikit juga berakibat pada penurunan kadar air. Tingginya kadar air ini disebabkan oleh sifat hidroskopis, yang mengandung lignin dan selulosa dari bahan alami pohon sagu (*Metroxylon sp*) [19]. Bahan-bahan yang kaya akan lignin dan selulosa sangat mudah menyerap dan melepaskan air. Selain itu, penggunaan komposit juga dapat meningkatkan kadar air material 20% hingga 30% [20].

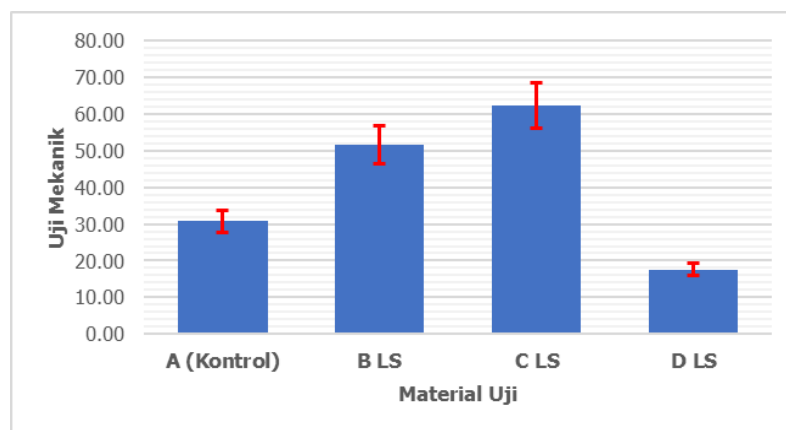
Hasil pengujian biocomposite LS menunjukkan persentase pengembangan tebal setelah direndam selama 24 jam berkisar antara 9.55% hingga 19.85%. Pengembangan tebal tertinggi ditemukan pada material uji DLS, sementara pengembangan terendah terdapat pada material A (kontrol).

Dalam penelitian ini, biocomposite yang menggunakan LS memenuhi standar bahan uji BLS dengan komposisi 20% LS, di mana pengembangan ketebalan mencapai 11,03%. Nilai ini tidak melebihi ambang batas yang diizinkan menurut standar JIS, di mana pengembangan tebal maksimum yang diperbolehkan adalah 12%. Pengembangan tebal pada biocomposite LS dengan komposisi BLS yang digunakan telah memenuhi standar yang ditetapkan.

Semakin tinggi penyerapan air, akan menyebabkan biocomposite LS mengalami pengembangan. Hal ini berarti terjadi perubahan dimensi yang lebih besar [20]. Oleh karena itu, semakin banyak penggunaan LS, semakin besar pula pengembangan tebal yang dihasilkan.

b. Sifat Mekanik Biocomposite LS

Hasil pengujian menggunakan standarisasi SNI 1974:2011 menunjukkan bahwa kekuatan tekan biocomposite bervariasi, tergantung pada komposisi LS yang digunakan. Sampel CLS (35% LS) memiliki kekuatan tekan tertinggi sebesar 62.40 N/mm², diikuti oleh sampel BLS (25% LS) dengan kekuatan tekan 51.60 N/mm². Sampel kontrol A (kontrol) memiliki kekuatan tekan sebesar 30.80 N/mm², sedangkan sampel DLS (45% LS) menunjukkan kekuatan tekan terendah sebesar 17.60 N/mm².



Gambar 2. Grafik Pengujian Mekanik Biocomposite LS

Penurunan kekuatan tekan pada sampel DLS dapat disebabkan oleh tingginya kandungan LS yang mengurangi ikatan antar partikel dalam matriks komposit. Sebaliknya, penambahan LS hingga 35% (sampel CLS) meningkatkan kekuatan tekan, kemungkinan karena adanya keseimbangan yang optimal antara resin, katalis, dan LS yang memperkuat struktur biokomposit.

Hal ini selaras dengan penelitian Irawan & Sukania, (2013) yang mengkaji kekuatan mekanik komposit widuri dengan matriks polyester, perlakuan komposisi material mempengaruhi sifat mekanik komposit [21]. Peneliti Akbar, (2018) dalam studi menunjukkan bahwa variasi lapisan serat mempengaruhi kekuatan tekan mekanik komposit [22].

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini mengevaluasi sifat fisik dan mekanik biokomposit yang menggunakan limbah sago (LS) sebagai bahan pengisi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa:

- a. Semua biokomposit LS yang diuji memenuhi standar kerapatan JIS (2003), dengan penurunan kerapatan seiring peningkatan kandungan LS karena pembentukan rongga.
- b. Kadar air biokomposit berada dalam rentang standar JIS menunjukkan peningkatan akibat sifat hidroskopis LS.
- c. Pengembangan tebal biokomposit meningkat dengan penambahan LS, namun tetap memenuhi standar JIS.
- d. Kekuatan tekan optimal dicapai pada penambahan LS 35%, dengan penurunan kekuatan pada komposisi yang lebih tinggi.

Secara keseluruhan, biokomposit LS menunjukkan variasi sifat fisik yang dipengaruhi oleh komposisi bahan, namun tetap memenuhi standar kualitas yang berlaku. Hal ini menunjukkan potensi biokomposit LS sebagai alternatif material yang cukup layak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Andi Djemma, Palopo telah memberikan kontribusi dan dukungan fasilitas selama proses penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Du, F. Jiang, W. Jiang, W. Ge, and S. kui Du, "Physicochemical and structural properties of sago starch," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 164, pp. 1785–1793, 2020, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.07.310.
- [2] A. Dikin, D. Gartina, and L. L. Sukriya, *Statistik Perkebunan Indonesia Tree Crop Estate Statistic of Indoensia 2018-2020*. Sekretariat Direktorat Jenderal Perkebunan, 2019.
- [3] M. A. Trisia and H. Ehara, "Sago starch production and consumption Indonesia," *Sago Palm*, vol. 29, no. 1, pp. 39–47, 2021.
- [4] M. A. Jenol, et al., "Sago wastes as a feedstock for biosugar, precursor for chemical substitutes," in *Chemical Substitutes from Agricultural and Industrial By-Products: Bioconversion, Bioprocessing, and Biorefining*, 2024, pp. 193-212.
- [5] F. H. I. Fadly, S. Syahrir, and R. Islamiyati, "Complete Feed Based on Fermented Sago Waste Against the Consumption and Digestion of Goat," *Hasanuddin Journal of Animal Science (HAJAS)*, vol. 4, no. 2, pp. 119–124, 2023, doi: 10.20956/hajas.v4i2.19278.
- [6] W. Hanifah, D. Febrina, E. Elviriadi, P. Z. Jati, and A. Fatah, "Physical Quality of Sago Waste Silage with Different Concentrations of Cattle's Rumen Liquid," *Jurnal Peternakan*, vol. 20, no. 2, p. 57, 2023, doi: 10.24014/jupet.v20i2.21709.
- [7] M. SYAKIR, M. H. BINTORO, H. A. AGUSTA, and H. HERMANTO, "Pemanfaatan Limba Sagu Sebagai Pengendalian Gulma Pada Lada Perdu," *Jurnal Penelitian Tanaman Industri*, vol. 14, no. 3, p. 107, 2020, doi: 10.21082/jlitri.v14n3.2008.107-112.
- [8] M. La Habi, B. Prasetya, S. Prijono, and Z. Kusuma, "The effect of sago pith waste granule compost and inorganic fertilizer on soil physical characteristics and corn (*Zea mays* L.) production in Inceptisol," *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, vol. 8, no. 2, pp. 32–40, 2014, doi: 10.9790/2402-08223240.

- [9] Evelyn, Yusnimar, M. Iwan Fermi, E. Saputra, S. P. Utami, S. W. Komalasari, and H. Ohi, "Cellulose and lignin purified from Metroxylon sago palm fronds by a new technology with 2-methylantraquinone cooking and peroxymonosulfuric acid bleaching," *Journal of Wood Science*, vol. 70, no. 1, 2024, doi: 10.1186/s10086-024-02130-8.
- [10] E. T. Maryanto, A. Setyawan, T. S. B. Maria, and W. Astuti, "Analysis of the Performance of Natural Composite Materials Reinforced with Sago Sheath Fibers as an Alternative Material in Overcoming the Effect of Urban Heat Islands on Buildings," *Buildings*, vol. 13, no. 1, 2023, doi: 10.3390/buildings13010018.
- [11] A. K. Mohanty, M. Misra, and L. T. Drzal, "Sustainable bio-composites from renewable resources: Opportunities and challenges in the green materials world," *Renewable Energy: Four Volume Set*, pp. 396–409, 2018, doi: 10.4324/9781315793245-107.
- [12] A. Mirmiran and A. Nanni, *Composites in Civil Engineering International Institute for FRP in Construction (IIFC)*, 2006.
- [13] T. Umam, D. Setyawati, and F. Diba, "Kualitas Papan Komposit Serat Kulit Batang Sagu Dan Plastik Polipropilena (Pp) Berlapis Finir Dan Bambu," *Hutan Lestari*, vol. 5, no. 4, pp. 942–951, 2017.
- [14] D. A. Dikin, K. M. Kohlhaas, G. H. B. Dommett, S. Stankovich, and R. S. Ruoff, "Scanning electron microscopy methods for analysis of polymer nanocomposites," *Microscopy and Microanalysis*, vol. 12, no. 1 SUPPL. 2, pp. 674–675, 2006, doi: 10.1017/S1431927606067080.
- [15] I. Halid, B. Sulaeman, and Nasruddin, "Penerapan Teknologi Fiberglass Pada Perahu Tradisional Nelayan Di Desa Karang-Karangan Kabupaten Luwu Sulawesi Selatan," *Indonesian Journal of Fisheries Community Empowerment*, vol. 1, no. 2, pp. 117–129, 2021, doi: 10.29303/jppi.v1i2.121.
- [16] Japanese industrial standard, *Jis 5908*. Japanese Standards Association, 2003.
- [17] D. S. Rini and F. T. Wulandari, "PENGARUH UKURAN PARTIKEL DAN PERLAKUAN PENDAHULUAN TERHADAP SIFAT FISIKA PAPAN SEMEN PARTIKEL PELEPAH LONTAR (*Borassus flabellifer* Linn)," *Jurnal Silva Samalas*, vol. 2, no. 2, p. 71, 2019, doi: 10.33394/jss.v2i2.3656.
- [18] H. Haedar and J. Jasman, "Pemanfaatan Limba Sagu (Metroxylon Sago) Sebagai Bahan Dasar Pakan Ternak Unggas," *Equilibrium : Jurnal Ilmiah Ekonomi, Manajemen Dan Akuntansi*, vol. 6, no. 1, 2017, doi: 10.35906/je001.v6i1.164.
- [19] B. Sulaeman, N. Salam, A. E. E. Putra, and L. H. Arma, "Development of Bioplastics From Tawaro'S Environmentally Friendly Sago Starch (Metroxylon)," *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 5, no. 12(125), pp. 6–16, 2023, doi: 10.15587/1729-4061.2023.289626.
- [20] M. A. Hubbe, A. Ayoub, J. S. Daystar, R. A. Venditti, and J. J. Pawlak, "and Its Derivatives : A Review," *Bioresources*, vol. 8, pp. 6556–6629, 2013.
- [21] A. purna Irawan and I. W. Sukania, "Kekuatan Tekan dan Flexural Material Komposit Serat Bambu Epoksi," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 14, no. 2, pp. 59–63, 2013, doi: 10.9744/jtm.14.2.59-63.
- [22] N. F. Akbar, "Jurnal Tugas Akhir Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta," *Jurnal Tugas Akhir Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*, pp. 1–8, Jan. 2018.