

Peluang dan Sifat Mekanis Serat Alam Non-Kayu Dalam Pembuatan Papan Partikel (Review Paper)

Nugroho Mamayu Hayuning Bawono^{1,2}, Baju Bawono², Bondan Wiratmoko³,
Yotam Stefanditya³, Paulus Wisnu Anggoro^{2*}

¹Mahasiswa Magister Teknik Industri, Program Magister Teknik Industri, Departemen Teknik Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jalan Babarsari No. 44, Yogyakarta, 55281, Indonesia

²Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jalan Babarsari No.44, Yogyakarta 55281, Indonesia

³Program Studi Perancangan Manufaktur, Politeknik ATMI Surakarta, Jalan Mojo No.1, Surakarta 57174, Indonesia

*E-mail: pauluswisnuanggoro@examymail.com

Diajukan: 15-10-2023; Diterima: 09-12-2023; Diterbitkan: 22-12-2023

Abstrak

Penelitian mengenai inovasi produk dalam material komposit merupakan urgensi, salah satu industri yang memiliki potensi inovasi adalah *wood-based panels* (WBPs) khususnya papan partikel. Selama ini kayu masih menjadi bahan utama dalam produksi papan partikel. Akan tetapi kesadaran konsumen mengenai dampak penggunaan kayu secara berlebih mendorong industri ini untuk mencari alternatif pengganti kayu. Pada penelitian ini dilakukan *review* yang bertujuan untuk mengetahui, membandingkan, dan mencari peluang serat alam non-kayu sebagai material dalam papan partikel. Berdasarkan 11 jurnal yang telah diulas dari berbagai peneliti di dunia didapatkan hasil bahwa penggunaan serat alam non-kayu adalah *feasible* jika material tersebut memiliki karakteristik mekanis yang mirip dengan kayu. Serabut kelapa merupakan serat alam yang memiliki potensi menjadi material pengganti kayu pada produk papan partikel. *Modulus of elasticity* (MOE) dan *modulus of rupture* (MOR) Spesimen yang telah diuji oleh berbagai peneliti menunjukkan bahwa sifat mekanis serabut kelapa memiliki kemiripan dengan kayu dengan beberapa penyesuaian seperti homogenisasi ukuran partikel dan jenis perekat yang digunakan. Maka dapat disimpulkan bahwa serabut kelapa merupakan salah satu material potensial yang membutuhkan pengembangan lebih lanjut.

Kata kunci: *modulus of elasticity; modulus of rupture; papan partikel; serat alam; serat serabut kelapa*

Abstract

Research on product innovation in composite materials is an urgency, one industry that has the potential for innovation is wood-based panels (WBPs), especially particleboard. Wood is still the main ingredient in particleboard production. However, consumer awareness about the impact of excessive use of wood encourages this industry to look for alternatives to wood. In this study, a review of various journals examining the use of non-wood natural fibers as materials in particleboard was conducted. Based on 11 journals that have been reviewed from various researchers in the world, it is found that the use of non-wood natural fibers is feasible if the material has mechanical characteristics similar to wood. Coconut fiber is a natural fiber that has the potential to be a wood replacement material in particleboard products. Modulus of elasticity (MOE) and modulus of rupture (MOR) specimens that have been tested by various researchers show that the mechanical properties of coconut fibers are similar to wood with some adjustments such as homogenization of particle size and type of adhesive used. It can be concluded that coconut fiber is a potential material that requires further development.

Keywords: *cocofiber; modulus of elasticity; modulus of rupture; natural fiber; particleboard*

1. Pendahuluan

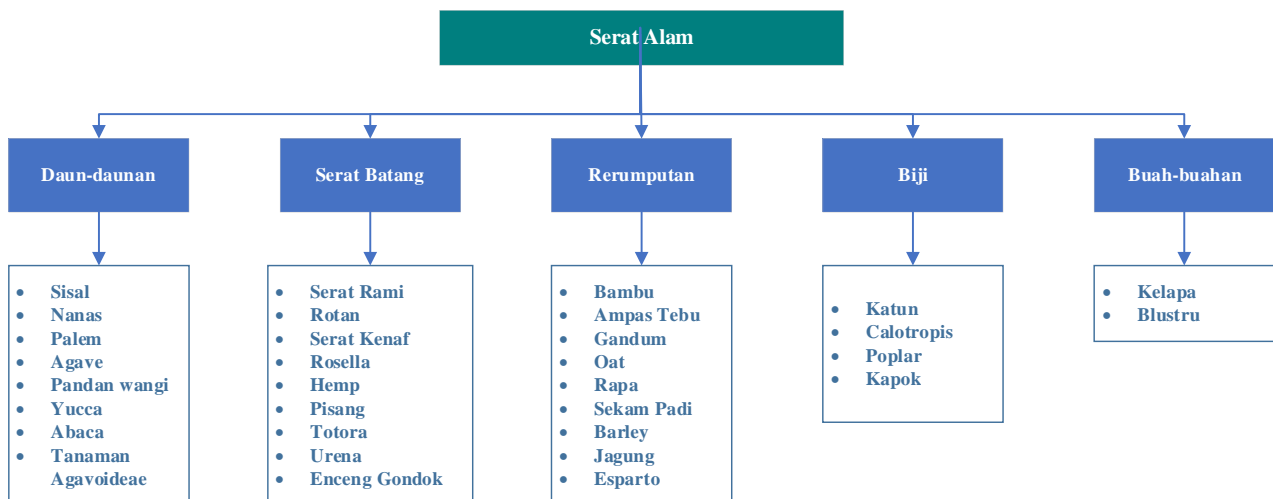
Integrasi antara desain produk dengan nilai-nilai keberlanjutan dimulai pada tahun 1970an. *Design for Sustainability* (DfS) telah berkontribusi pada penerapan ekonomi sirkular dalam produk dan layanan kepada konsumen [1]. Sejak itu, penelitian yang menggunakan DfS sebagai acuan dalam mendesain produk telah populer dan bahkan beberapa produk telah digunakan secara luas oleh konsumen. *Design for Sustainability* bertujuan untuk meningkatkan kandungan ramah lingkungan dari suatu produk baik melalui kemasan, bahan dasar, maupun kemudahan dalam daur ulang [2]. Salah satu

industri yang dapat menerapkan prinsip ini adalah industri panel kayu atau *wood-based panels*. Industri ini merupakan industri yang dapat mempengaruhi lingkungan secara jangka panjang. Penggunaan kayu ilegal, perekat yang beracun, serta penggunaan energi yang berbasis karbon merupakan beberapa hal yang membuat industri ini kurang berkelanjutan.

Kayu merupakan bahan utama dalam pembuatan papan partikel berbagai jenis seperti: *plywood*, *fiberboard*, dan *particleboard*. Jenis kayu yang dipakai dalam produksi barang tersebut sangat beragam termasuk serbuk gergaji, sisa produksi furnitur, maupun kayu daur ulang [3]. Produksi *fiberboard* dan *particleboard* menggunakan bahan kayu merupakan salah satu jenis komposit tertua yang masih diproduksi hingga sekarang. Dalam beberapa tahun terakhir studi mengenai bahan pengganti kayu dalam produksi *fiberboard* dan *particleboard* gencar dilakukan, salah satu pendorong utamanya adalah kelangkaan kayu dan meningkatnya kesadaran konsumen mengenai isu lingkungan hidup (*deforestasi*). Alternatif pengganti kayu dalam produksi *fiberboard* dan *particleboard* haruslah merupakan serat alam yang tersedia dalam jumlah banyak dan mudah didapatkan.

Serat alam lain dipandang sebagai salah satu alternatif utama pengganti kayu di produk *medium density fiberboard* [4], [5]. Produk jadi yang menggunakan serat alam non-kayu memiliki nilai *sustainability* yang tinggi dan kekuatan mekanis yang tidak kalah jika dibandingkan dengan kayu karena adanya kandungan lignin. Beberapa limbah hasil pertanian telah digunakan dalam produksi *particleboard* karena jumlahnya yang banyak serta meningkatkan nilai *sustainability* pada produk. Limbah tersebut adalah sekam padi dan gandum [6]–[8], ampas tebu [9], kulit buah [10], dan *cocopeat* [11]. Hasil penambahan limbah hasil pertanian telah mengurangi tingkat serapan air dan *thickness swelling* jika bahan tambahan dilakukan *treatment* secara tepat.

Serat alam non-kayu terbagi dalam beberapa kategori yaitu: daun-daunan, serat batang, rerumputan, biji, dan buah-buahan. Representasi hierarki dari berbagai jenis tumbuhan tercantum dalam gambar 1 yang bersumber dari [12].



Gambar 1. Klasifikasi Serat Alam Non-Kayu dari Beberapa Tumbuhan

Papan partikel merupakan salah satu jenis komposit yang menggunakan serat alam sebagai bahan utamanya. Keunggulan utama serat alam adalah tidak menimbulkan bahaya dan resiko kesehatan jangka pendek, menengah maupun panjang seperti halnya serat kaca dalam komposit lain. Komposit yang terbuat dari serat alami memiliki biaya & kepadatan yang jauh lebih rendah daripada komposit serat kaca yang membuatnya lebih diminati oleh manufaktur otomotif dan desain interior ruangan. Berikut adalah daftar serat alam dengan beberapa sifat mekanis yang terkandung didalamnya [12][13].

Tabel 1. Sifat Mekanis Serat Alam

Serat Alam	Kepadatahn (g/cc)	Kandungan Air (%)	Kekuatan Tarik (MPa)	Modulus Young (GPa)	Elongasi (%)
Flaks	1.5	10	500-1500	27.6	2.7-3.2
Hemp	1.47	10.8	690	70	30
Kenaf	1.45	-	930	53	2-
Sabut Kelapa	1.2	8	593	4-6	2.5
Sisal	1.5	11	510-635	Sep-22	1.5-
Yute	1.3	12.6	393-773	26.5	1.8
Katun	1.5-1.6	-	400	5.5-12.6	7-8
Pisang	1.35	-	529-579	8-20	1-
Bambu	0.8	-	391-1000	48-89	3.5
Nanas	1.52-1.56	11.8	413-1627	34.5-82.5	-
Henequen	1.49	-	430-580	10.1-16.3	1.6
Tebu	0.55-1.25	-	20-290	2.7-17.0	3-5
E-glass	2.5	-	2000-3500	70	0.9
S-glass	2.5	-	4570	86	0.5
Aramid	1.4	-	3000-3150	63-67	2.8
Karbon	1.4	-	4000	230-240	3.3-3.7 1.4-1.8

2. Material dan metodologi

Sebanyak 11 jurnal dari penelitian mengenai penggunaan serat alam non-kayu sebagai substitusi dalam pembuatan papan partikel akan diulas mengenai pengujian mekanis yang dilakukan terutama terhadap sifat mekanis *modulus of rupture* dan *modulus of elasticity*. Beberapa jurnal yang diulas berjenis *original paper* dengan bahan baku material dan perekat yang belum pernah diteliti sebelumnya, akan tetapi juga terdapat jurnal yang merupakan lanjutan secara langsung maupun tidak langsung dari penelitian sebelumnya.

3. Hasil dan pembahasan

Sebanyak 11 jurnal dari penelitian mengenai penggunaan serat alam non-kayu sebagai substitusi dalam pembuatan papan partikel telah diulas mengenai pengujian mekanis yang dilakukan terutama terhadap sifat mekanis *modulus of rupture* dan *modulus of elasticity*. Seperti tercantum pada tabel 2. jurnal yang digunakan merupakan jurnal dalam kurun waktu kurang dari 10 tahun terakhir, para peneliti menggunakan berbagai bahan mulai dari sekam padi hingga serat basal. Perekat yang digunakan dalam penelitian juga beragam, akan tetapi peneliti cenderung menggunakan bahan baku yang terdapat di pasaran seperti *urea formaldehyde*. Juga mengenai standarisasi yang digunakan, beberapa peneliti menggunakan JIS A 5908 akan tetapi beberapa menggunakan EN 312 sebagai landasan utama dalam penelitian.

Tabel 2. Perbandingan Hasil Pengujian Mekanis Serat Alam Non-Kayu dalam Papan Partikel

Peneliti	Material	Perekat	Modulus of Elasticity (MPa)	Modulus of Rupture (MPa)
Paul et al. [14]	Beech (30%) Kayu Cemara (70%)	Magnesium Lignosulfonate <i>Urea Formaldehyde</i>	3400	15
Karim et al. [15]	<i>Hopea Ordorata</i>	Lateks Alam Silika Dioksida	742,5	5,92
Pugazhenthii & Anand [4]	Serat Serabut Kelapa Serat Basalt	<i>Phenol Formaldehyde</i> <i>Urea Formaldehyde</i>	3143	29,14
Lim et al. [3]	Serat Serabut Kelapa	Epoksi Lateks Alam	-	12,05
Narciso et al. [16]	Serat Serabut Kelapa Kayu Pinus	<i>Urea Formaldehyde</i>	2850	19,9
Ismadi et al. [17]	Serat Serabut Kelapa	Asam Sitrat	174	12
Olupot et al. [18]	Sekam Padi Serbuk Gergaji Kayu Eucalyptus	Perekat Komersil	26	2,25
Mesquita et al. [19]	Urophilla Serat Sisal	<i>Urea Formaldehyde</i>	1900	15,5
Kongkaew et al. [20]	Serat Serabut Kelapa Serat Mensiang	<i>Methylene Diphenyl Diisocyanate (MDI)</i>	360,2	21.6
Lubis et al. [21]	Tandan Kelapa Sawit	<i>Maleic Anhydric 2%</i>	252,3	32,1
Antov et al. [22]	<i>Beech</i> <i>Turkey Oak</i>	Urea Formaldehyde Ammonium Lignosulfonate	4150	41

Penelitian [16] dan [19] menggunakan kayu sebagai bahan utama dan menggunakan serat alam non-kayu sebagai aditif atau tambahan. Kedua penelitian ini menggunakan perekat *urea formaldehyde* yang merupakan standar dalam pembuatan papan partikel. Penelitian yang mencampurkan kayu dengan serat alam non-kayu memiliki sifat mekanis yang menggabungkan kedua bahan tersebut. Jika dibandingkan penelitian Paul et al [14] yang menggunakan material kayu, maka penelitian [16] dan [19] memiliki sifat mekanis *modulus of rupture* yang lebih tinggi. Hal tersebut dimungkinkan penggunaan material serat alam non-kayu yang memiliki sifat lebih tahan terhadap tarikan jika dibandingkan tekanan. Akan tetapi pencampuran dengan serat alam non-kayu juga mempengaruhi sifat fisik dari spesimen papan partikel, serat sisal dan serat serabut kelapa memiliki sifat mudah menyerap air sehingga dapat mempengaruhi pengujian lain seperti *thickness swelling*. Serat yang lebih mudah menyerap air juga akan mempengaruhi kekuatan mekanis dari papan partikel karena kelembapan yang diserap tidak bisa menguap dan bisa mempengaruhi ikatan antara material dengan perekat. Sementara itu serat alam lain seperti tandan kelapa sawit dalam penelitian Lubis [21] juga berpotensi menjadi pengganti kayu dalam pembuatan papan partikel. Penggunaan tandan kelapa sawit dimungkinkan karena material tersebut tersedia

dalam jumlah yang besar karena Indonesia merupakan negara penghasil minyak sawit terbesar di dunia, sehingga suplai material tersebut jika diproduksi secara masal akan tersedia.

Pada ulasan ini peneliti seperti Pugazhenthii [4], Lim [3], Narciso [16], Kongkaew [20], dan Ismadi [17] menggunakan serat sabut kelapa sebagai bahan utama dalam penelitian. Pemanfaatan serat sabut kelapa sebagai bahan pengganti kayu telah dikaji dalam penelitian [17], [19], [23]. Dalam berbagai penelitian tersebut ditemukan bahwa pemanfaatan serat sabut kelapa sebagai bahan baku dalam pembuatan WBPs adalah *feasible*. Serat serabut kelapa bisa menjadi bahan pengganti kayu dalam papan partikel jika diberikan *treatment* dan pemilihan perekat yang tepat. *Treatment* bisa diberikan sebelum serat serabut kelapa dipotong dan dilakukan proses *hot press*, proses ini bertujuan untuk menciptakan suatu kondisi dimana serat alam dapat bereaksi dengan matriks (perekat) karena dapat mempengaruhi sifat mekanis seperti penyaluran gaya ke serat sabut kelapa dari matriks [12]. Selain itu, ikatan kimia dapat mempengaruhi kualitas permukaan dan tingkat kehalusan produk. Metode *treatment* memiliki banyak varian akan tetapi yang paling umum digunakan adalah alkali dengan menggunakan NaOH. Penggunaan cairan basa kuat bertujuan untuk mendisrupsi ikatan hidrogen yang membuat serat menjadi lebih kasar dan siap untuk diberikan matriks perekat [24]. Selain itu, penggunaan basa kuat juga membersihkan kotoran dan zat yang menempel pada serat seperti: minyak, *wax*, dan lemak.

Pada penelitian yang tetap memilih kayu sebagai material utama memiliki sifat mekanis yang sesuai dengan standarisasi yang ada. Seperti pada penelitian Paul et al [14] yang menggunakan kayu cemara sebagai bahan material yang mendominasi dalam papan partikel. Meskipun menggunakan bahan perekat yang belum tersedia di pasaran, spesimen yang dihasilkan mampu menahan pengujian dengan menghasilkan *modulus of elasticity* dan *modulus of rupture* yang melebihi standar yang ditetapkan. Maka, pemilihan material menjadi sama pentingnya dengan memilih jenis perekat yang dipakai dalam produk papan partikel. Partikel kayu yang berbentuk acak memiliki kecenderungan untuk mengunci satu sama lain sehingga menghasilkan ikatan yang kuat dalam komposit.

4. Implikasi ke Penelitian Selanjutnya

Secara umum penggunaan serat alam non-kayu dalam produk papan partikel adalah *feasible* selama memiliki sifat mekanis yang mirip dengan material kayu. Serat serabut kelapa merupakan material yang memiliki kemampuan mekanis yang mirip dengan kayu. Serat sabut kelapa memiliki kandungan lignin yang lebih tinggi jika dibandingkan serat alam lain. Kandungan lignin yang tinggi memiliki kelebihan tersendiri, yaitu serat secara alami akan lebih kaku dan keras. Selain itu, ketahanan yang baik terhadap rayap, pembusukan, serta kelembapan membuat material ini bisa dijadikan sebagai bahan dasar pengganti kayu. Kandungan lignin dan selulosa yang tinggi membuatnya menjadi serat alam yang potensial untuk produksi *biocomposite* karena sifatnya yang kuat serta lentur [25].

Penelitian sebelumnya [16], [26] mengenai pemanfaatan sabut kelapa sebagai substitusi kayu pada produksi papan serat dan papan partikel telah dilakukan. Hasilnya menunjukkan bahwa bahan ini dapat digunakan sebagai bahan baku utama pembuatan papan partikel. Akan tetapi, parameter daya serap air dan kuat tarik menjadi faktor yang perlu diperhatikan karena dibandingkan dengan kayu hasilnya menunjukkan kebalikannya. Bahan aditif diperlukan jika benar-benar diproduksi karena kedua parameter di atas perlu ditingkatkan. Pemanfaatan sabut kelapa sebagai bahan baku berkontribusi terhadap pengembangan bahan ramah lingkungan karena menggunakan bahan yang memiliki nilai yang kurang jika dibandingkan material lain. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai homogenisasi ukuran serat dan penerapan perekat ramah lingkungan.

Homogenisasi dan ukuran partikel menjadi salah satu faktor dalam pembuatan papan partikel. Dengan menggunakan serat sabut kelapa yang berukuran dibawah 15 mm dapat meningkatkan *modulus of Rupture* hingga 1,9 kali jika

dibandingkan dengan menggunakan serabut yang memiliki ukuran diatas 15 mm [17]. Selain itu, ukuran partikel yang kecil memiliki tendensi untuk memberikan gaya yang lebih kuat dalam menahan mur karena kepadatan yang lebih tinggi sehingga bisa diaplikasikan ke furnitur.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil ulasan yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penelitian mengenai penggunaan serat alam non-kayu sebagai substitusi dalam pembuatan papan partikel diperlukan pengembangan lebih lanjut lagi. Pengembangan di dalam paper ini dapat dilakukan dengan optimalisasi terhadap penelitian-penelitian sebelumnya dengan menggabungkan pengetahuan dari hasil percobaan yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Sehingga produk prototipe yang dihasilkan dalam penelitian mendatang bisa memenuhi standarisasi papan partikel berupa JIS A 5908 dan EN 312.

Seiring berjalannya waktu, penggunaan serat alam non-kayu dalam produk papan partikel adalah keniscayaan. Hal tersebut disebabkan oleh sifat mekanis dari serat alam lain yang memiliki kemiripan dengan kayu, salah satunya adalah serat serabut kelapa. Serat ini memiliki peluang yang cukup besar dalam produk papan partikel, homogenisasi dan *trade-off* seperti serapan air yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kayu menjadi masalah utama dalam penelitian komposit dengan bahan ini. Lebih jauh lagi, untuk meningkatkan nilai *modulus of rupture* dan *modulus of elasticity* dari spesimen papan partikel serat alam non-kayu dapat dilakukan dengan menggunakan perekat yang bisa mengurangi atau bahkan menghilangkan sifat serat alam non-kayu yang mudah menyerap air.

Daftar Pustaka

- [1] A. Diaz, T. Reyes, and R. J. Baumgartner, "Implementing circular economy strategies during product development," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 184, no. November 2021, p. 106344, 2022, doi: 10.1016/j.resconrec.2022.106344.
- [2] F. Ceschin and I. Gaziulusoy, "Evolution of design for sustainability: From product design to design for system innovations and transitions," *Des. Stud.*, vol. 47, pp. 118–163, 2016, doi: 10.1016/j.destud.2016.09.002.
- [3] J. X. Lim *et al.*, "Development of Particleboard from Green Coconut Waste," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2120, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/2120/1/012034.
- [4] N. Pugazhenti and P. Anand, "Mechanical and thermal behavior of hybrid composite medium density fiberboard reinforced with phenol formaldehyde," *Heliyon*, vol. 7, no. 12, p. e08597, 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e08597.
- [5] J. Liang, J. Wu, and J. Xu, "Low-formaldehyde emission composite particleboard manufactured from waste chestnut bur," *J. Wood Sci.*, vol. 67, no. 1, 2021, doi: 10.1186/s10086-021-01955-x.
- [6] X. Mo, E. Cheng, D. Wang, and X. S. Sun, "Physical properties of medium-density wheat straw particleboard using different adhesives," *Ind. Crops Prod.*, vol. 18, no. 1, pp. 47–53, 2003, doi: 10.1016/S0926-6690(03)00032-3.
- [7] X. Mo, J. Hu, X. S. Sun, and J. A. Ratto, "Compression and tensile strength of low-density straw-protein particleboard," *Ind. Crops Prod.*, vol. 14, no. 1, pp. 1–9, 2001, doi: 10.1016/S0926-6690(00)00083-2.
- [8] D. Wang and X. S. Sun, "Low density particleboard from wheat straw and corn pith," *Ind. Crops Prod.*, vol. 15, no. 1, pp. 43–50, 2002, doi: 10.1016/S0926-6690(01)00094-2.
- [9] D. Maldas and B. V. Kokta, "Studies on the preparation and properties of particle boards made from bagasse and PVC: II. Influence of the addition of coupling agents," *Bioresour. Technol.*, vol. 35, no. 3, pp. 251–261, 1991, doi:

10.1016/0960-8524(91)90122-Z.

- [10] G. A. Ntalos and A. H. Grigoriou, "Characterization and utilisation of vine prunings as a wood substitute for particleboard production," *Ind. Crops Prod.*, vol. 16, no. 1, pp. 59–68, 2002, doi: 10.1016/S0926-6690(02)00008-0.
- [11] R. Rocha Almeida, C. Henrique Soares Del Menezzi, and D. Eterno Teixeira, "Utilization of the coconut shell of babaçu (*Orbignya* sp.) to produce cement-bonded particleboard," *Bioresour. Technol.*, vol. 85, no. 2, pp. 159–163, 2002, doi: 10.1016/S0960-8524(02)00082-2.
- [12] A. R. Pai and R. N. Jagtap, "Surface morphology & mechanical properties of some unique natural fiber reinforced polymer composites-a review," *J. Mater. Environ. Sci.*, vol. 6, no. 4, pp. 902–917, 2015.
- [13] M. Lewin, *Handbook of Fiber Chemistry*, 3rd Editio. Boca Raton: CRC Press, 2006.
- [14] G. B. Paul, M. C. Timar, O. Zeleniuc, A. Lunguleasa, and C. Coşoreanu, "Mechanical properties and formaldehyde release of particleboard made with lignin-based adhesives," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 18, 2021, doi: 10.3390/app11188720.
- [15] N. A. Karim, N. A. F. N. Lah, S. A. Rahman, W. N. A. W. Nadhari, and Z. F. Z. Gaffar, "Strength properties of mixed cocopeat fibres and Merawan Siput Jantan (*Hopea odorata* spp.) bonded with partial rubber latex adhesive and nano- SiO₂ in particleboard manufacturing," in *AIP Conference Proceedings 2454*, 2022, p. 080008, doi: <https://doi.org/10.1063/5.0078301>.
- [16] C. R. P. Narciso, A. H. S. Reis, J. F. Mendes, N. D. Nogueira, and R. F. Mendes, "Potential for the Use of Coconut Husk in the Production of Medium Density Particleboard," *Waste and Biomass Valorization*, vol. 12, no. 3, pp. 1647–1658, 2021, doi: 10.1007/s12649-020-01099-x.
- [17] Ismadi *et al.*, "Investigation of optimum particles size and citric acid content for coconut husk particleboard manufacturing," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2454, no. June, 2022, doi: 10.1063/5.0078508.
- [18] P. W. Olupot, E. Menya, F. Lubwama, L. Ssekaluvo, B. Nabuuma, and J. Wakatuntu, "Effects of sawdust and adhesive type on the properties of rice husk particleboards," *Results Eng.*, vol. 16, no. November, p. 100775, 2022, doi: 10.1016/j.rineng.2022.100775.
- [19] R. G. D. A. Mesquita *et al.*, "Coir and sisal fibers as fillers in the production of eucalyptus medium density particleboards - MDP," *Mater. Res.*, vol. 19, no. 6, pp. 1429–1436, 2016, doi: 10.1590/1980-5373-MR-2016-0361.
- [20] P. Kongkaew, W. Sila, S. Saiying, and W. Pharanat, "Mechanical and physical properties of particleboard made from scirpus grossus and coconut fiber," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1380, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1380/1/012068.
- [21] M. R. Lubis, T. Maimun, J. Kardi, and R. B. Masra, "Characterizing Particle Board Made of Oil Palm Empty Fruit Bunch Using Central Composite Design," *Makara J. Sci.*, vol. 22, no. 1, 2018, doi: 10.7454/mss.v22i1.6988.
- [22] P. Antov, V. Savov, L. Krišt'ák, R. Réh, and G. I. Mantanis, "Eco-friendly, high-density fiberboards bonded with urea-formaldehyde and ammonium lignosulfonate," *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 2, pp. 1–13, 2021, doi: 10.3390/polym13020220.
- [23] T. D. Sutanto, C. Banon, B. Trihadi, and N. F. Damayani, "Effect of Grain Size Coconut Frond Powder on the Strength of Particle Board," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1940, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1940/1/012043.
- [24] M. S. S. Godara, "Effect of chemical modification of fiber surface on natural fiber composites: A review," *Mater. Today Proc.*, vol. 18, pp. 3428–3434, 2019, doi: 10.1016/j.matpr.2019.07.270.
- [25] S. M. Sapuan, M. Harimi, and M. A. Maleque, "Mechanical properties of epoxy/coconut shell filler particle

composites,” *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 28, no. 2 B, pp. 171–181, 2003.

- [26] D. C. R. Velasco, F. Perissé Duarte Lopes, D. Souza, H. A. Colorado Lopera, S. Neves Monteiro, and C. M. Fontes Vieira, “Evaluation of Composites Reinforced by Processed and Unprocessed Coconut Husk Powder,” *Polymers (Basel)*., vol. 15, no. 5, p. 1195, Feb. 2023, doi: 10.3390/polym15051195.