

Inovasi Komposit *Binderless* Berbasis Ampas Tebu Sebagai Kandidat Material Isolator Termal Ramah Lingkungan

Indra Mawardi^{1*}, Nurdin², Sariyusda³, Ismi Amalia⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jln. B. Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

^{1*}indratm@pnl.ac.id

Abstrak—Salah satu teknik mereduksi panas dapat dilakukan dengan penggunaan material isolator. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan komposit *binderless* ampas tebu sebagai kandidat material isolator. Komposisi *binderless* diproduksi menggunakan peralatan *hot-press*. Pengujian konduktivitas termal dan lentur dilakukan. Ampas tebu yang telah kering di potong menggunakan gunting, kemudian ampas tebu direndam dalam larutan 5% NaOH selama 3 jam, lalu dibilas menggunakan air hingga bersih. Ampas tebu yang sudah kering digiling menggunakan diskmill dan disortir dengan menggunakan ayakan mesh 20 dan 40. Proses pembentukan komposit *binderless* menggunakan *hotpress* pada temperatur 190°C dengan dua tahapan penekanan. Untuk lama penekanan 15 menit; penekanan tahapan pertama sebesar 15 MPa selama 10 menit dan tahapan kedua 10 MPa selama 5 menit. Karakterisasi komposit *binderless* berupa pengujian bending dan konduktivitas termal. Dari hasil penelitian telah berhasil dikembangkan material isolator dari komposit *binderless* ampas tebu. Komposit *binderless* ampas tebu dengan ukuran partikel mesh 20 memiliki kekuatan bending lebih rendah (5,28 MPa) dibandingkan dan komposit dengan mesh 40 (8,45 MPa). Kerapatan dan kekuatan memiliki trend meningkat dengan berkurangnya ukuran partikel. Sebaliknya komposit *binderless* ampas tebu memiliki koefisien konduktivitas termal yang rendah pada ukuran partikel yang lebih besar. Komposit *binderless* ampas tebu memiliki peluang yang potensial menggantikan serat sintesis sebagai material isolator.

Kata kunci—Komposit *binderless*, ampas tebu, kuat lentur, konduktivitas termal, material isolator.

Abstract—One of the techniques to reduce heat can be done using insulating material. This study aims to develop a binderless sugarcane bagasse composite as an insulating material candidate. Binderless composite is produced using hot-press equipment. Thermal conductivity and flexural testing are carried out. The dried bagasse is cut using scissors, soaked in a 5% NaOH solution for 3 hours, and then rinsed with water until clean. The dried bagasse is ground using a disk mill and sorted using a 20 and 40-mesh sieve. The process of forming the binderless composite uses a hot press at a temperature of 190°C with two pressing stages. For a pressing time of 15 minutes, the first stage of pressing is 15 MPa for 10 minutes, and the second is 10 MPa for 5 minutes. The characterization of the binderless composite is in the form of bending and thermal conductivity tests. The study results show that an insulating material has been successfully developed from the binderless composite of sugarcane bagasse. Binderless bagasse composite with 20 mesh particle size has lower flexural strength (5.28 MPa) than composite with 40 mesh (8.45 MPa). Density and strength have an increasing trend with decreasing particle size. In contrast, binderless bagasse composite has a low thermal conductivity coefficient at larger particle sizes. Binderless bagasse composite can replace synthetic fibres as insulating materials.

Keywords—Binderless composite, bagasse, flexural strength, thermal conductivity, insulating material

I. PENDAHULUAN

Material isolator memegang peran penting dalam mengurangi ketidaknyamanan termal dan suara serta juga dapat meningkatkan efisiensi pemakaian energi pada suatu ruangan. Penggunaan material isolator termal dapat mereduksi perpindahan panas dari luar ke dalam ruangan. Material-material sintetis seperti; busa, *glasswool*, *styrofoam* dan lainnya telah banyak digunakan sebagai pada material isolator. Meskipun material sintetis tersebut memiliki kinerja tinggi dalam peredaman panas, namun material yang terbuat dari bahan kimia tersebut mempunyai dampak negatif, seperti tingkat konsumsi energi yang tinggi selama proses produksi, tidak dapat didaur ulang, dan permasalahan dalam pembuangan akhir. Disisi lain, isu-isu pemanasan global menjadi dasar untuk mencari material isolator yang memiliki sifat peredam panas yang baik, terbarukan, ramah lingkungan, dan murah. Oleh karena itu perlu dicari material isolator yang memiliki sifat peredam panas yang baik, terbarukan, ramah lingkungan, dan murah.

Ampas tebu adalah salah satu serat alam yang memiliki potensi untuk menggantikan serat sintesis sebagai material isolator panas. Limbah ampas tebu tersedia dalam jumlah yang besar dan belum optimal dalam pemanfaatannya. Menurut data BPS [1], Indonesia memiliki produksi tanaman tebu mencapai 145.100 ton. Sebesar 35-40% dari proses pengolahan tebu menghasilkan ampas tebu. Dari volume yang tersedia diperkirakan akan menghasilkan limbah ampas tebu sekitar 9,1 ton.

Penelitian terdahulu telah melaporkan pemanfaatan ampas tebu sebagai material komposit. Bartos, dkk melaporkan pengaruh karakteristik serat ampas tebu dan adhesi antarmuka pada properti pada komposit serat ampas tebu/PLA. Komposit yang dihasilkan sesuai untuk aplikasi struktural [2]. Peneliti lain telah mempublikasikan karakteristik komposit partikel ampas tebu dengan matriks PP. Penambahan *coupling agent* dapat meningkatkan kekuatan adhesi dari 140 mJ/m² menjadi 1600 mJ/m² [3]. Selain itu, beberapa peneliti sebelumnya juga telah mempublikasikan komposit ampas tebu dengan berbagai

matriks polimer [4], [5], [6], [7], [8]. Disamping itu, beberapa peneliti lainnya telah mengembangkan material isolator dari ampas tebu. Investigasi konduktivitas termal, ketahanan termal, akustik dan kelembaban penyerapan, dan sifat api dari lima bahan isolasi yang terbuat dari wol domba, serat kambing, wol unta serta empulur dan kumpulan serat ampas tebu telah dilaporkan oleh [9]. Komposit ampas tebu dengan matriks polimer juga telah dikembangkan sebagai material isolator untuk otomotif [10], [11].

Para peneliti di atas pada umumnya fokus pada penggunaan matriks dalam proses pembentukan komposit ampas tebu. Penggunaan matriks khususnya matriks polimer pada pembentukan komposit serat sangat berguna untuk menjaga sifat fisik dan mekanik yang baik. Namun, permasalahan *biodegradable*, emisi yang ditimbulkan dapat berdampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan [12]. Oleh karena itu untuk kepedulian terhadap lingkungan dan kesehatan, maka pembentukan komposit tanpa perekat sintesis atau menggunakan perekat bio merupakan strategi yang menjanjikan dari sudut pandang ekonomi dan lingkungan. Komposit *binderless* adalah komposit yang dibentuk tanpa menggunakan matriks atau perekat. Komposit *binderless* yang dibentuk dengan menekan panas membentuk *self-bonding* melalui proses aktivasi komponen-komponen yang dikandung oleh serat seperti *lignoselulosa* dan *glukosa*. Komposit *binderless* tidak berbahaya, mudah terurai secara hayati, dan tentu saja ramah lingkungan dalam hal pembuangan limbah dan mendaur ulang. Disamping itu, komposit *binderless* tidak memiliki emisi *formaldehida* dan tidak bergantung pada bahan kimia berbasis minyak bumi seperti resin. Mengurangi atau menghilangkan penggunaan resin yang relatif mahal akan menurunkan biaya produksi sehingga lebih ekonomis dan produk yang dibentuk akan lebih ramah lingkungan [13], [14], [15].

Beberapa peneliti sebelumnya melaporkan hasil investigasi komposit *binderless* berbasis serat alam. Pengaruh waktu pemanasan pada pembentukan papan partikel *binderless* ampas tebu telah dilaporkan oleh [16]. Pada penelitian ini fokus penelitian dilakukan pada waktu pemanasan 20, 30 dan 40 menit dan pengujian mekanis serta fisis. Waktu pengepresan 30 menit mempunyai nilai fraktur (MOR) dan modulus of elasticity (MOE) yang paling tinggi yaitu masing-masing sebesar 15,16 MPa dan 1710 MPa. Komposit memiliki kinerja penyerapan air dan pengembangan ketebalan berkisar antara 8% hingga 25%. Investigasi konduktivitas termal dan penyerapan suara dari panel *binderless* yang terbuat dari kayu kelapa sawit sebagai bahan bio-isolasi telah dilaporkan oleh [12]. Panel diproduksi dari kayu kelapa sawit dengan pengepresan panas, dengan ukuran partikel dan waktu pengepresan yang berbeda-beda. Hasilnya menunjukkan bahwa ukuran partikel memiliki pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik panel tanpa pengikat tetapi tidak pada waktu pengepresan.

Studi lain tentang kinerja daya serap air komposit *binderless* ampas tebu terhadap suhu pengeringan telah dilaporkan oleh [17]. Berbagai suhu pengeringan diterapkan selama proses pengepresan sebagai variabel independen yang

bervariasi dari 110°C, 130°C, 150°C, 170°C, dan 190°C. Suhu pengeringan paling optimal dalam penelitian adalah 190°C. Rata-rata, papan serat memiliki daya serap air sebesar 37,06%.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan komposit *binderless* ampas tebu sebagai kandidat material isolator. Komposisi *binderless* diproduksi menggunakan peralatan *hot-press*. Pengujian konduktivitas termal dan lentur dilakukan.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Material dan Peralatan

Beberapa material yang digunakan, antara lain: ampas tebu dan NaOH. Ampas tebu sebagai material utama berfungsi sebagai penguat. Ampas tebu dikumpul dari penggilingan tebu di sekitaran Lhokseumawe. NaOH berfungsi untuk merendam partikel untuk menghilangkan lapisan lilin yang terdapat pada partikel ampas tebu. Selanjutnya, peralatan yang digunakan antara lain: peralatan *hot-press*, mesin uji tarik universal, cetakan, dan oven.

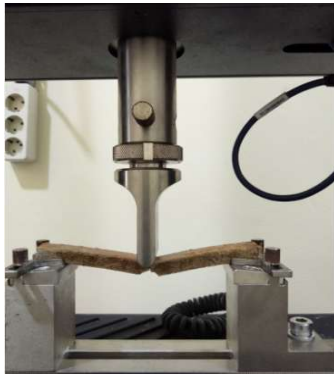
B. Pembentukan Komposit

Bahan baku ampas tebu dikumpul dari penggilingan tebu di sekitar area Lhokseumawe tanpa membedakan jenis tebu. Perlakuan awal ampas tebu dilakukan dengan penjemuran ampas tebu untuk menghilangkan kadar air dari ampas tebu agar mudah dalam proses pemotongan. Ampas tebu yang telah kering di potong menggunakan gunting, kemudian ampas tebu direndam dalam larutan 5% NaOH selama 3 jam, lalu dibilas menggunakan air hingga bersih. Proses ini berguna untuk membersihkannya dari sisa basa berlebih di permukaan ampas tebu, kemudian dilanjutkan dengan pengeringan di bawah sinar matahari hingga kering.

Ampas tebu yang sudah kering digiling menggunakan diskmill dan disortir dengan menggunakan ayakan mesh 20 dan 40. Proses pembentukan komposit *binderless* dimulai dengan mengeringkan partikel ampas tebu menggunakan oven hingga mencapai kadar air 8-12%. Proses ini dilakukan menggunakan oven. Partikel ampas tebu kemudian dimasukkan dalam cetakan berukuran 150 x 150 x 50 mm. Partikel ampas tebu tersebut kemudian dikempa panas menggunakan *hotpress* pada temperatur 190°C dengan dua tahapan penekanan. Untuk lama penekanan 15 menit; penekanan tahapan pertama sebesar 15 MPa selama 10 menit dan tahapan kedua 10 MPa selama 5 menit. Dimensi komposit *binderless* yang diproduksi adalah 150x150x10 mm untuk setiap variasi ukuran partikel.

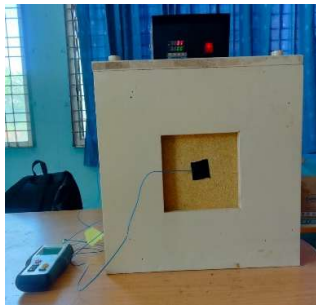
C. Karakterisasi Komposit *Binderless*

Karakterisasi komposit *binderless* terdiri dari pengujian kuat lentur (*bending strength*), pengujian fisis, dan pengujian konduktivitas termal. Pengujian kuat lentur untuk mengetahui fleksibilitas material komposit *binderless*. Spesimen dibentuk mengacu pada standar ASTM D 790. Gambar 1 memperlihatkan proses pengujian lentur. Pengujian kuat lentur menggunakan metode *three point bending* dengan kecepatan penekanan 2 mm/menit. *Rupture stress* dapat didefinisikan maksimum dari momen lentur dan modulus penampang spesimen ketika spesimen patah.



Gambar 1. Pengujian lentur

Pengukuran konduktivitas termal adalah untuk mengetahui peristiwa perpindahan panas secara konduksi. Besarnya konduktivitas termal dari suatu bahan maka dapat diperkirakan aplikasi material tersebut. Konduktivitas termal diukur menggunakan peralatan box konduktivitas termal Metode pengujian dilakukan pada kondisi aliran tetap (steady state) dengan mengacu pada ASTM C177-97. Data temperatur diambil pada saat temperatur dalam keadaan seimbang (*steady state*), pada temperatur 60°C. Gambar 2 memperlihatkan proses pengujian konduktivitas termal.



Gambar 2. Proses pengujian konduktivitas termal

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Komposit *Binderless*

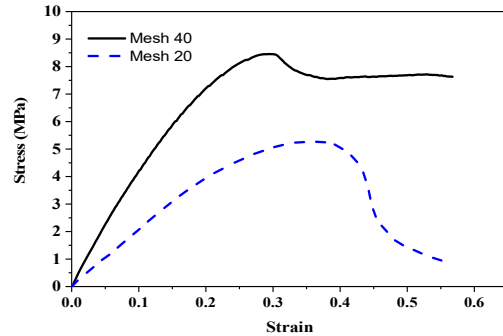
Dari hasil proses penekanan panas dari partikel ampas tebu, maka telah dihasilkan komposit *binderless* ampas tebu sesuai dengan ukuran partikel, yaitu mesh 20 dan 40. Gambar 3 memperlihatkan komposit *binderless* ampas tebu.



Gambar 3. Komposit *binderless* ampas tebu

B. Perilaku Kekuatan Lentur

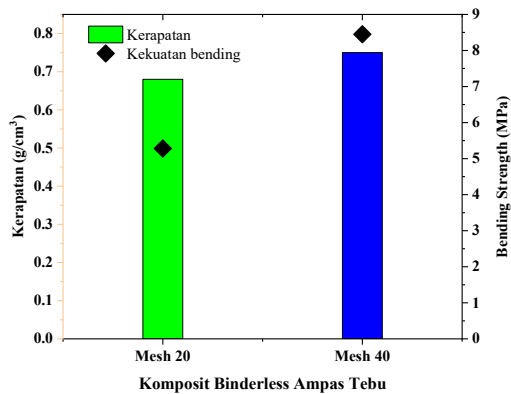
Gambar 4 memperlihatkan grafik tipikal dari stress vs strain hasil pengujian lentur komposit *binderless* ampas tebu. Dari tipikal curva yang terbentuk memperlihatkan bahwa komposit *binderless* ampas tebu memiliki regangan yang lebih panjang.



Gambar 4. Tipikal tegangan regangan kekuatan bending komposit *binderless* ampas tebu

Kekuatan bending komposit *binderless* ampas tebu dengan ukuran partikel mesh 20 dan mesh 40, masing-masing sebesar 5,28 MPa dan 8,45 MPa. Selanjutnya nilai MOE sebesar 88,5 MPa untuk *binderless* ampas tebu dengan ukuran partikel mesh 20 dan 112 MPa komposit *binderless* ampas tebu dengan ukuran partikel mesh 40. Rendahnya sifat lentur komposit *binderless* ampas tebu dikarenakan proses pembentukan tanpa menggunakan perekat dan tambahan penguat lain. Komponen kimia seperti glukosa dan pati yang berperan dalam *self-bonding* dari partikel.

Penggunaan partikel kecil telah meningkatkan sifat lentur dibandingkan dengan ukuran partikel besar. Partikel halus dapat menghasilkan kompatibilitas yang lebih baik sehingga meningkatkan ikatan antar partikel individu. Menurut Sackey *et al.* [18], fraksi ukuran partikel halus dan rasio memiliki dampak yang signifikan pada kekuatan ikatan internal panel. Temuan serupa dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh [19] dan [20] melaporkan bahwa partikel besar mengurangi sifat lentur batang kelapa sawit yang diproduksi papan dan pohon palem Washingtonian. Ukuran partikel berpengaruh signifikan terhadap sifat lentur karena berpengaruh pada mekanisme *interlocking* antar partikel [21]. Selanjutnya hasil penelitian ini diperkuat oleh [22] dan [23] yang menyatakan nilai kekuatan bending komposit juga dipengaruhi ukuran partikel, density, dan jumlah filler. Gambar I memperlihatkan hubungan kerapatan dan kekuatan bending dari komposit *binderless* ampas tebu.



Gambar 5 Hubungan kerapatan dan kekuatan bending komposit *binderless* ampas tbu

Pengurangan ukuran partikel telah berefek positif terhadap peningkatan kuat tarik sekrup. Demikian juga peningkatan jumlah matrik secara bertahap dapat meningkatkan kuat tarik sekrup. Fenomena ini tidak terlepas dari meningkatnya interface antara matrik dan filler. Jumlah matrik yang lebih banyak dan ukuran partikel yang lebih kecil dapat meningkatkan kebasahan partikel yang lebih banyak. Hasil temuan ini diperkuat dengan temuan peneliti terdahulu [24].

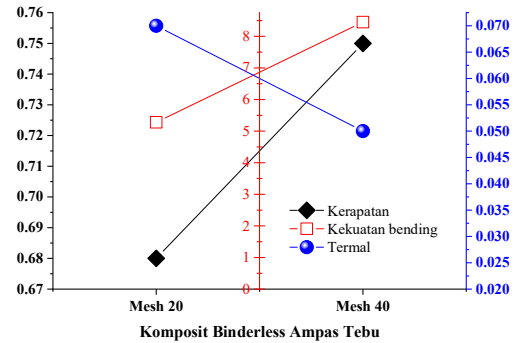
C. Perilaku Konduktivitas Termal

Konduktivitas termal adalah salah satu indikator penting dari material insulasi termal, dimana material yang memiliki nilai konduktivitas termal yang rendah menunjukkan ketahanan termal yang baik. Menurut Abdou et al. [25], efektivitas ketahanan termal berbeda untuk setiap material dan ini ditentukan oleh nilai koefisien konduktivitas termal.

Nilai koefisien konduktivitas termal komposit *binderless* ampas tebu dengan ukuran partikel mesh 20 sebesar 0,050 W/mK dan komposit dengan ukuran partikel mesh 40 sebesar 0,075 W/mK. Secara umum kinerja ketahanan termal papan komposit dari *vermiculite*, *sunflower stalk* dan *wheat stalk* (0,063-0,334 W/mK) [26]. Pada kasus ini, penggunaan partikel yang lebih besar cenderung menurunkan nilai konduktivitas termal dibandingkan partikel yang lebih kecil. Hal ini tidak terlepas penurunan kekompakan dari komposit *binderless* yang mempengaruhi *surface area* dan densitas.

Temuan serupa telah dipublikasi oleh peneliti sebelumnya, yang melaporkan bahwa konduktivitas termal berkorelasi ukuran partikel, jenis penguat dan densitas [28] dan [81]. Hasil penelitian mereka menunjukkan nilai konduktivitas termal meningkat dengan menurunnya ukuran partikel dan meningkatnya densitas. Fenomena ini didukung oleh Thoemen et al. yang melaporkan bahwa semakin kecil ukuran partikel, semakin tinggi kerapatan dan semakin kecil nilai porositas papan. Rongga akibat porositas bertindak sebagai pusat hamburan untuk phonons dan mengambil sebagian kecil dari volume konduksi panas material sehingga menghasilkan konduktivitas termal yang lebih rendah [29]. Hubungan konduktivitas termal dengan kerapatan dan kekuatan bending

dari komposit *binderless* ampas tebu yang dibentuk secara penekanan panas diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hubungan kerapatan, kekuatan bending dan konduktivitas komposit *binderless* ampas tebu

Pada gambar 6 terlihat kerapatan dan kekuatan bending memiliki trend positif terhadap penurunan ukuran partikel, akan tetapi kontradiksi dengan nilai konduktivitas termal yang memiliki trend negatif. Komposit *binderless* dengan densitas rendah mengandung lebih banyak udara dalam strukturnya yang mengarah ke isolasi termal yang lebih baik. Demikian juga halnya dengan kerapatan yang rendah akan memberi dampak positif terhadap ketahanan termal, namun memberi dampak negatif terhadap kekuatan bending.

Dari hasil temuan ini, komposit *binderless* ampas tebu memiliki peluang yang potensial menggantikan serat sintesis sebagai material untuk lapisan pada atas mobil. Penggunaan komposit berbasis serat alam seperti ampas tebu secara tidak langsung berdampak positif terhadap lingkungan.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil mengembangkan material isolator dari komposit *binderless* ampas tebu. Komposit *binderless* ampas tebu dengan ukuran partikel mesh 20 memiliki kekuatan bending lebih rendah (5,28 MPa) dibandingkan dan komposit dengan mesh 40 (8,45 MPa). Kerapatan dan kekuatan memiliki trend meningkat dengan berkurangnya ukuran partikel. Sebaliknya komposit *binderless* ampas tebu memiliki koefisien konduktivitas termal yang rendah pada ukuran partikel yang lebih besar. Komposit *binderless* ampas tebu memiliki peluang yang potensial menggantikan serat sintesis sebagai material isolator.

REFERENSI

[1] D. J. Perkebunan, "Produksi Tanaman Perkebunan." pp. 1–2, 2021.
 [2] A. Bartos, K. Nagy, J. Anggono, H. Purwaningsih, J. Móczó, and B. Pukánszky, "Biobased PLA/sugarcane bagasse fiber composites: Effect of fiber characteristics and interfacial adhesion on properties," *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 143, p. 106273, 2021.
 [3] A. Bartos, J. Kócs, J. Anggono, J. Móczó, and B. Pukánszky, "Effect of fiber attrition, particle characteristics and interfacial adhesion on the properties of PP/sugarcane bagasse fiber composites," *Polym. Test.*, vol. 98, p. 107189, 2021.
 [4] D. G. Devadiga, K. S. Bhat, and G. T. Mahesha, "Sugarcane bagasse fiber reinforced composites: Recent advances and applications," *Cogent Eng.*, vol. 7, no. 1, p. 1823159, 2020.

- [5] V. Vidyashri, H. Lewis, P. Narayanasamy, G. T. Mahesha, and K. S. Bhat, "Preparation of chemically treated sugarcane bagasse fiber reinforced epoxy composites and their characterization," *Cogent Eng.*, vol. 6, no. 1, p. 1708644, 2019.
- [6] T. Singh, S. Tejyan, A. Patnaik, V. Singh, I. Zsoldos, and G. Fekete, "Fabrication of waste bagasse fiber-reinforced epoxy composites: study of physical, mechanical, and erosion properties," *Polym. Compos.*, vol. 40, no. 9, pp. 3777–3786, 2019.
- [7] F. S. da Luz, V. S. Candido, A. C. R. Da Silva, and S. N. Monteiro, "Thermal behavior of polyester composites reinforced with green sugarcane bagasse fiber," *Jom*, vol. 70, pp. 1965–1971, 2018.
- [8] L. Prasad, S. Kumar, R. V. Patel, A. Yadav, V. Kumar, and J. Winczek, "Physical and mechanical behaviour of sugarcane bagasse fibre-reinforced epoxy bio-composites," *Materials (Basel)*, vol. 13, no. 23, p. 5387, 2020.
- [9] M. H. Beheshti, A. Firoozi, M. Jafarizaveh, and A. Tabrizi, "Acoustical and Thermal Characterization of Insulating Materials Made from Wool and Sugarcane Bagasse," *J. Nat. Fibers*, vol. 20, no. 2, p. 2237675, 2023.
- [10] F. Abedom, S. Sakhthivel, D. Asfaw, B. Melese, E. Solomon, and S. S. Kumar, "Development of natural fiber hybrid composites using sugarcane bagasse and bamboo charcoal for automotive thermal insulation materials," *Adv. Mater. Sci. Eng.*, vol. 2021, pp. 1–10, 2021.
- [11] M. K. Marichelvam *et al.*, "A novel palm sheath and sugarcane bagasse fiber based hybrid composites for automotive applications: An experimental approach," *Polym. Compos.*, vol. 42, no. 1, pp. 512–521, 2021.
- [12] I. Mawardi, S. Aprilia, M. Faisal, Ikramullah, and S. Rizal, "An investigation of thermal conductivity and sound absorption from binderless panels made of oil palm wood as bio-insulation materials," *Results Eng.*, vol. 13, no. November 2021, p. 100319, 2022, doi: 10.1016/j.rineng.2021.100319.
- [13] D. Zhang, A. Zhang, and L. Xue, "A review of preparation of binderless fiberboards and its self-bonding mechanism," *Wood Sci. Technol.*, vol. 49, pp. 661–679, 2015.
- [14] R. Hashim, W. N. A. W. Nadhari, and O. Sulaiman, "Green binderless board from oil palm biomass," *Renew. Energy Sustain. Technol. Build. Environ. Appl. Options a Greener Futur.*, pp. 175–186, 2016.
- [15] F. Vitrone, D. Ramos, F. Ferrando, and J. Salvadó, "Binderless fiberboards for sustainable construction. Materials, production methods and applications," *J. Build. Eng.*, vol. 44, no. April, 2021, doi: 10.1016/j.jobe.2021.102625.
- [16] W. N. A. W. Nadhari *et al.*, "Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) bagasse binderless particleboard: Effect of hot pressing time study," *Mater. Today Proc.*, vol. 31, pp. 313–317, 2020.
- [17] N. Luthfi, X. Wang, and K. Kito, "Effect of drying temperature on the physical properties of binderless fiberboard from bagasse: study of water absorption," *Sci. Technol. Asia*, pp. 30–38, 2021.
- [18] E. K. Sackey, K. E. Semple, S.-W. Oh, and G. D. Smith, "Improving core bond strength of particleboard through particle size redistribution," *Wood Fiber Sci.*, vol. 40, no. 2, pp. 214–224, 2008.
- [19] J. Lamaming, R. Hashim, O. Sulaiman, T. Sugimoto, M. Sato, and S. Hiziroglu, "Measurement of some properties of binderless particleboards made from young and old oil palm trunks," *Measurement*, vol. 47, pp. 813–819, 2014, doi: https://doi.org/10.1016/j.measurement.2013.10.007.
- [20] C. C. Ferrández-García, C. E. Ferrández-García, M. Ferrández-Villena, M. T. Ferrandez-García, and T. García-Ortuño, "Acoustic and Thermal Evaluation of Palm Panels as Building Material," *BioResources*, vol. 12, no. 4, pp. 8047–8057, 2017.
- [21] A. Almusawi, R. Lachat, K. E. Atcholi, and S. Gomes, "Proposal of manufacturing and characterization test of binderless hemp shive composite," *Int. Biodeterior. Biodegradation*, vol. 115, pp. 302–307, 2016, doi: https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.09.011.
- [22] D. S. PRABUNINGRUM, M. Y. MASSIJAYA, Y. S. HADI, and I. B. ABDILLAH, "Physical-mechanical properties of laminated board made from oil palm trunk (*Elaeis guineensis* Jacq.) waste with various lamina compositions and densifications," *J. Korean Wood Sci. Technol.*, vol. 48, no. 2, pp. 196–205, 2020.
- [23] S. Subramonian, A. Ali, M. Amran, L. D. Sivakumar, S. Salleh, and A. Rajaizam, "Effect of fiber loading on the mechanical properties of bagasse fiber-reinforced polypropylene composites," *Adv. Mech. Eng.*, vol. 8, no. 8, pp. 1687814016664258–1687814016664258, 2016.
- [24] I. Mawardi, A. Azwar, and A. Rizal, "KAJIAN PERLAKUAN SERAT SABUT KELAPA TERHADAP SIFAT MEKANIS KOMPOSIT EPOKSI SERAT SABUT KELAPA," *J. POLIMESIN*, vol. 15, no. 1, pp. 22–29, 2017.
- [25] A. Abdou and I. Budaiwi, "The variation of thermal conductivity of fibrous insulation materials under different levels of moisture content," *Constr. Build. Mater.*, vol. 43, pp. 533–544, 2013.
- [26] H. Binici, O. Aksogan, A. Dincer, E. Luga, M. Eken, and O. Isikaltun, "The possibility of vermiculite, sunflower stalk and wheat stalk using for thermal insulation material production," *Therm. Sci. Eng. Prog.*, vol. 18, p. 100567, 2020, doi: https://doi.org/10.1016/j.tsep.2020.100567.
- [27] K. Wei, C. Lv, M. Chen, X. Zhou, Z. Dai, and D. Shen, "Development and performance evaluation of a new thermal insulation material from rice straw using high frequency hot-pressing," *Energy Build.*, vol. 87, pp. 116–122, 2015, doi: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.026.
- [28] D. M. Nguyen, A.-C. Grillet, Q.-B. Bui, T. M. H. Diep, and M. Woloszyn, "Building bio-insulation materials based on bamboo powder and bio-binders," *Constr. Build. Mater.*, vol. 186, pp. 686–698, 2018, doi: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.153.
- [29] H. Thoemen and P. E. Humphrey, "Modeling the continuous pressing process for wood-based composites," *Wood fiber Sci.*, vol. 35, no. 3, pp. 456–468, 2007.