

Formulasi Perekat Tapioka-Asam Sitrat dan Pengaruhnya terhadap Sifat Mekanik dan Fisik Papan Partikel Kayu Sengon

Formulation of Tapioca-Citric Acid Adhesive and Effects on the Mechanical and Physical Properties of Sengon Wood Particleboard

Dimas Wirayudha Ribawa, M. Saleh, Rosalia Sira Sarungallo*

Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar

*Email : rosalia_sira@ukipaulus.ac.id

<https://doi.org/10.63365/mh4ve424>

Abstrak

Penelitian ini mengkaji pengaruh variasi komposisi serbuk kayu sengon, perekat tapioka, dan asam sitrat terhadap sifat mekanik dan fisik papan partikel, dengan fokus pada perubahan modulus elastisitas (MOE), modulus patah (MOR), kerapatan, daya serap air, dan pengembangan tebal. Formulasi papan partikel disiapkan dengan variasi fraksi serbuk kayu, perekat tapioka, serta penambahan asam sitrat 20 g dan satu perlakuan tanpa asam sitrat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sampel dengan fraksi perekat tertinggi (T4: 60% perekat dan 20 g asam sitrat) menghasilkan kinerja mekanik terbaik, dengan MOE 26.957,25 kg/cm² dan MOR 109,17 kg/cm² yang memenuhi persyaratan SNI. Penambahan asam sitrat berkontribusi terhadap peningkatan kekakuan matriks melalui pembentukan ikatan ester, yang terlihat pada MOE lebih tinggi dibandingkan sampel tanpa asam sitrat (T80). Sifat fisik, papan partikel dengan proporsi perekat tinggi menunjukkan kerapatan lebih besar, daya serap air lebih rendah, dan pengembangan tebal yang lebih kecil dibandingkan formulasi dengan perekat rendah. Formulasi perekat tapioka-asam sitrat menunjukkan potensi sebagai perekat berbasis biomassa untuk meningkatkan performa papan partikel kayu sengon.

Kata kunci : papan partikel, kayu sengon, tapioka, asam sitrat, bioadhesif

Abstract

This study examines the effect of variations in the composition of sengon wood powder, tapioca adhesive, and citric acid on the mechanical and physical properties of particleboard, focusing on changes in modulus of elasticity (MOE), modulus of rupture (MOR), density, water absorption, and thickness expansion. Particleboard formulations were prepared with variations in wood powder fraction, tapioca adhesive, and the addition of 20 g of citric acid and one treatment without citric acid. The test results showed that the sample with the highest adhesive fraction (T4: 60% adhesive and 20 g citric acid) produced the best mechanical performance, with an MOE of 26,957.25 kg/cm² and an MOR of 109.17 kg/cm², which met SNI requirements. The addition of citric acid contributed to an increase in matrix stiffness through the formation of ester bonds, which was evident in the higher MOE compared to the sample without citric acid (T80). Physically, particle boards with a high adhesive proportion showed greater density, lower water absorption, and smaller thickness expansion compared to formulations with low adhesives. The tapioca-citric acid adhesive formulation shows potential as a biomass-based adhesive to improve the performance of sengon wood particleboard.

Keywords: particleboard; sengon wood; tapioca; citric acid; bioadhesive

Pendahuluan

Kebutuhan material berbasis kayu dan turunannya terus meningkat seiring pertumbuhan industri furnitur, bangunan, dan produk panel komposit (Pan et al. 2023; Lee et al. 2022). Papan partikel merupakan salah satu produk yang banyak digunakan karena kemudahan pemrosesan dan pemanfaatan biomassa sebagai bahan baku terbarukan (Papadopoulou and Chrissafis 2017; Martins, Ferreira et al. 2021).

Performa papan partikel dipengaruhi oleh karakteristik perekat yang digunakan, yaitu kekuatan rekat, ketahanan air, dan stabilitas dimensi. Industri

panel masih bergantung pada perekat sintesis berbasis formaldehida, seperti urea-formaldehida (UF) dan fenol-formaldehida (PF), yang biaya rendah, waktu curing cepat, serta kekuatan mekanik yang tinggi (Moutousidis et al. 2023). Meskipun demikian, penggunaan resin berbasis formaldehida terbentur oleh persoalan lingkungan dan kesehatan akibat emisi formaldehida yang bersifat karsinogenik (Sonne et al. 2022; Jia et al. 2020), sehingga mengarah pada pengembangan perekat alternatif yang lebih aman dan berkelanjutan.

Pemanfaatan sumber daya terbarukan, khususnya pati, salah satu pendekatan untuk

menghasilkan perekat ramah lingkungan (Sarungallo et al. 2025; 2024; Watcharakitti et al. 2022; N. Wang et al. 2023). Tapioka (pati singkong) tersusun atas amilosa dan amilopektin (70-85%), tersedia dan mudah didapatkan, biodegradabilitas yang baik, serta dapat membentuk gel (Zou et al. 2023), sehingga potensial digunakan sebagai bahan dasar perekat biopolymer (Z. Wang et al. 2019). Keterbatasan pati alami yaitu sifat hidrofilik yang tinggi, ketahanan air yang rendah, dan daya rekat yang kurang stabil (Maulana et al. 2022). Oleh sebab itu, modifikasi kimia diperlukan untuk meningkatkan performanya.

Salah satu metode modifikasi adalah esterifikasi menggunakan asam sitrat. Asam sitrat dapat bereaksi dengan gugus hidroksil pada pati membentuk ikatan ester, menghasilkan struktur silang (*crosslinking*) yang memperbaiki ketahanan air, stabilitas termal, dan sifat mekanik perekat (Torres and De-la-Torre 2022; V. Gadhave, Mahanwar, and Gadekar 2017). Beberapa studi melaporkan bahwa modifikasi pati dengan asam sitrat dapat meningkatkan keteguhan rekat, meskipun hasilnya sangat dipengaruhi oleh rasio pereaksi, suhu gelatinisasi, kondisi curing, dan interaksi antara perekat dan substrat (Zakaria et al. 2021; Huang et al. 2022; Monroy, Rivero, and García 2019; Pancasakti 2022). Penelitian mengenai modifikasi pati telah berkembang, tetapi masih terdapat kebutuhan untuk mempelajari bagaimana formulasi tapioka menggunakan asam sitrat mempengaruhi sifat mekanik papan partikel.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ditujukan untuk mengkaji pengaruh variasi komposisi serbuk kayu sengon, perekat tapioka, dan asam sitrat terhadap sifat mekanik dan fisik papan partikel, dengan fokus pada perubahan modulus elastisitas (MOE), modulus patah (MOR), kerapatan, daya serap air, dan pengembangan tebal. Kajian yang dilakukan diharapkan memberikan alternatif perekat ramah lingkungan dengan potensi dapat diaplikasikan pada industri panel komposit.

Prosedur Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Operasi Teknik Kimia dan Laboratorium Sains Teknik Kimia, Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Paulus.

a. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah, kompor portabel,

panci/nesting, neraca analitik merek Sartorius, reaktor leher tiga, mesin kempa panas, saringan 80 mesh, alumunium foil, mixer, jangka sorong, dan alat bending test.

Bahan-bahan yang digunakan adalah serbuk gergajian kayu sengon, tepung tapioka, air suling, perekat urea formaldehida (UF) komersil, asam sitrat p.a, dan natrium fosfat.

b. Pembuatan papan partikel

Penyiapan serbuk gergajian kayu sengon

Limbah gergajian kayu sengon dipotong menjadi ukuran lebih kecil menggunakan chopper, kemudian diayak menggunakan saringan 80 mesh. Serbuk yang telah lolos ayakan kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari selama 24 jam untuk menurunkan kadar air sebelum proses pencampuran dengan perekat.

Penyiapan perekat tepung tapioka

Pembuatan perekat tepung tapioka mengacu pada metode Useng et al. (2023) dengan beberapa modifikasi. Tepung tapioka sebanyak 200 g dilarutkan dalam 220 mL air suling di dalam gelas kimia, kemudian dipanaskan pada 50 °C. Asam sitrat sebanyak 20 g ditambahkan ke dalam suspensi pati, bersamaan dengan penambahan natrium hipofosfat sebesar 50% b/b dari massa asam sitrat. Campuran kemudian dipanaskan hingga 90 °C untuk proses gelatinisasi.

Proses pembuatan papan partikel

Serbuk gergajian kayu sengon yang telah dikeringkan dicampur dengan perekat tapioka-asam sitrat sesuai variasi komposisi. Campuran dihomogenkan sebelum proses pengepresan. Formula komposisi yang digunakan disajikan pada Tabel 1. Selanjutnya campuran dimasukkan ke dalam cetakan dan dikempa menggunakan mesin *hot press*. Papan yang telah terbentuk kemudian dikondisikan pada suhu ruang sebelum dilakukan pengujian.

c. Analisis sifat mekanik papan partikel

Sifat mekanik papan partikel dianalisis untuk menentukan sifat material dalam menahan beban lentur, melalui Modulus Patah (*Modulus of Rupture*, MOR) dan Modulus Elastisitas (*Modulus of Elasticity*, MOE). Pengujian dilakukan menggunakan metode uji lentur tiga titik (*three-point bending test*) sesuai standar SNI 03-2105-2006.

Spesimen uji dipotong dengan ukuran 200 mm x 50 mm x 5 mm dan diuji menggunakan *bending test apparatus* dengan jarak sangga (*span length*).

Tabel 1. Variasi komposisi serbuk kayu sengon dan perekat

Kode sampel	Serbuk kayu sengon (%)	Perekat tapioka (%)	Asam sitrat, g
T4	40	60	20
T5	50	50	20
T6	60	40	20
T8	80	20	20
T80	80	20	-

Setiap sampel ditempatkan pada dua tumpuan dan diberi beban terpusat di tengah hingga mencapai titik patah untuk MOR, serta diperoleh kurva beban-defleksi untuk MOE.

Perhitungan MOR

Perhitungan MOR menggunakan persamaan:

$$MOR = \frac{3 P_{\max} L}{2 b h^2} \quad (1)$$

Di mana $P_{\max}$ merupakan beban maksimum pada saat patah (kgf), L jarak sangga (cm), b lebar spesimen (cm), h tebal spesimen (cm).

Perhitungan MOE

Perhitungan MOE didasarkan pada daerah elastis kurva beban-defleksi dengan persamaan:

$$MOE = \frac{\Delta P \times L^3}{4 \times \Delta Y \times b \times h^3} \quad (2)$$

Di mana ΔP merupakan perubahan beban pada daerah elastis ($B_1 - B_2$) (kgf), ΔY perubahan defleksi pada beban B_1 dan B_2 (cm), L jarak sangga (cm), b lebar spesimen (cm), h tebal spesimen (cm).

Metode analisis yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif, yaitu dengan menyajikan dan menginterpretasikan data hasil pengujian MOR dan MOE.

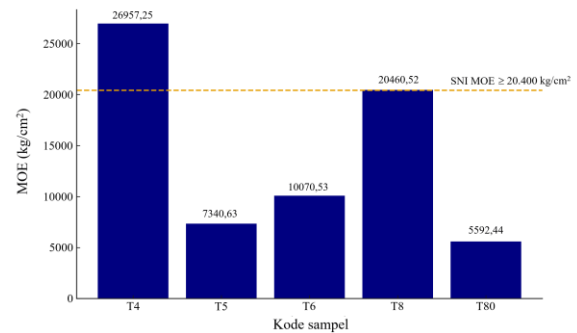
Hasil dan Pembahasan

Formulasi papan partikel dengan memvariasikan rasio serbuk kayu sengon terhadap perekat berbasis tapioka, sementara jumlah asam sitrat konstan sebesar 20 g sebagai agen penghubung

silang (*crosslinking agent*). Sampel kontrol, T80, rasio serbuk-pati yang sama dengan T8 tetapi tanpa penambahan asam sitrat.

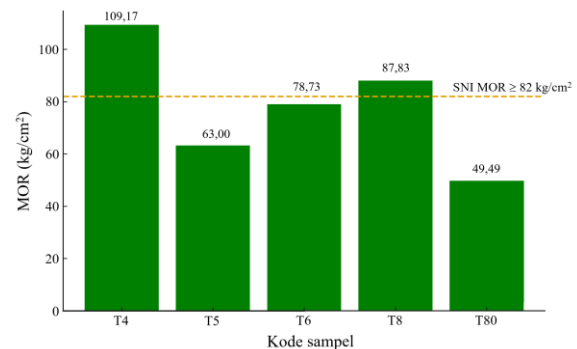
1. Sifat mekanik papan partikel

MOE papan partikel disajikan pada Gambar 1 menunjukkan kekakuan papan partikel dalam menahan deformasi elastis dan dipengaruhi oleh rasio serbuk kayu-pati serta asam sitrat sebagai agen ikat silang.



Gambar 1. Modulus Elastisitas (MOE) papan partikel dengan variasi komposisi serbuk kayu sengon-perekat tapioka-asam sitrat dibandingkan dengan SNI 03-2105-2006

Sementara *Modulus of Rupture* (MOR) atau modulus patah papan partikel pada Gambar 2, menunjukkan kinerja mekanik maksimum struktur papan partikel dalam menahan tegangan lentur sebelum terjadi kegagalan. Uji lentur umumnya dilakukan berdasarkan standar ASTM D198, di mana spesimen dibebani hingga mengalami patah untuk menentukan kekuatannya (Mamlouk & Zaniewski, 2018).



Gambar 2. Modulus Patah (MOR) papan partikel dengan variasi komposisi serbuk kayu sengon-

perekat tapioka-asam sitrat dibandingkan dengan SNI 03-2105-2006

Sampel T4 menunjukkan kinerja mekanik tertinggi dengan MOE sebesar 26.957,25 kg/cm², memenuhi SNI ≥ 20.400 kg/cm². Sementara sampel T8 (80% serbuk kayu dan 20% perekat dan 20 g asam sitrat) menunjukkan MOE sebesar 20.460,52 kg/cm², dan dan MOR 109,17 kg/cm² memenuhi SNI. Hal ini menunjukkan bahwa fraksi perekat tinggi (60%) dan asam sitrat (20 g) menghasilkan perekat yang lebih kaku dan kuat. Penambahan asam sitrat membentuk ikatan ester antara gugus karboksilat dengan gugus hidroksil pati dan lignoselulosa, sehingga terbentuk ikatan silang yang meningkatkan rigiditas serta meningkatkan kemampuan perpindahan tegangan antarpartikel. Li et al. (2023) Wu et al. (2023), Jin et al. (2023), Liu et al. (2024), melaporkan bahwa bioadhesif pati yang mengalami esterifikasi meningkatkan kekuatan lentur dan ketahanan deformasi.

Sampel T8, dengan perekat lebih rendah (20%) dan mengandung 20 g asam sitrat, menghasilkan MOE sebesar 20.460,52 kg/cm² dan MOR 87,83 kg/cm², memenuhi SNI untuk MOR dan mendekati standar untuk MOE. Hal ini menunjukkan bahwa asam sitrat lebih berperan dibandingkan jumlah perekat untuk meningkatkan kualitas ikatan antarmuka melalui pembentukan ikatan silang yang stabil. Zakaria et al. (2021) dan Muhaimin et al. (2025), mengemukakan bahwa perekat pati-asam sitrat dapat meningkatkan sifat mekanik walaupun fraksi perekat relatif rendah.

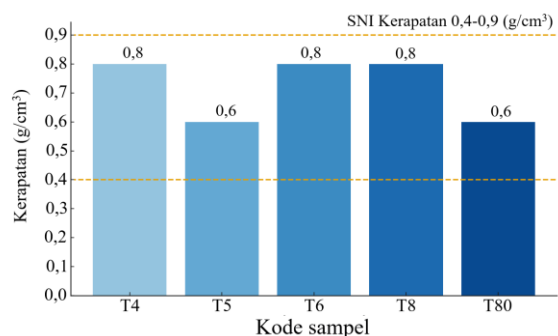
Sebaliknya, nilai MOE dan MOR pada sampel T5 (7.340,63 kg/cm²; 63,00 kg/cm²) dan T6 (10.070,53 kg/cm²; 78,73 kg/cm²) menunjukkan bahwa pengurangan fraksi perekat (50% dan 40%) menurunkan kapasitas pembentukan jaringan matriks. Keterbatasan jumlah perekat menghambat terbentuknya *interparticle bridging* dan mengurangi *adhesive penetration* ke dalam pori kayu, sehingga mengurangi kekuatan lentur serta ketahanan deformasi. Monroy, Rivero, and García (2019) melaporkan bahwa performa mekanik bioadhesif berbasis pati bergantung pada proporsi polimer dan keseragaman pembentukan jaringan.

MOE dan MOR sampel T80 yang terendah (5.592,44 kg/cm²; 49,49 kg/cm²). Formulasi tanpa asam sitrat tidak terjadi reaksi esterifikasi, ikatan

yang terbentuk adalah ikatan fisik seperti ikatan hidrogen, yang lemah dan kurang stabil dibandingkan ikatan ester. sehingga mekanisme adhesi dari interaksi fisik pati membentuk matriks dengan rigiditas rendah. Perekat pati tanpa agen pengikat silang menghasilkan kekuatan mekanik yang lebih rendah dan rentan terhadap deformasi (Zakaria et al. 2021; Wu et al. 2023; Li et al. 2023).

2. Sifat fisik papan partikel

Sifat fisik papan partikel dipengaruhi oleh interaksi antara kerapatan, daya serap air (DSA), dan pengembangan tebal (TS), melalui densifikasi matriks dan tingkat crosslinking perekat.

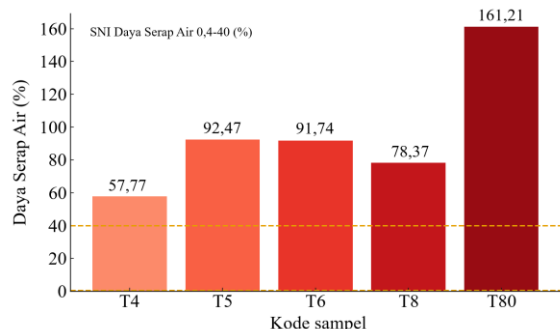


Gambar 3. Perbandingan kerapatan papan partikel dengan variasi komposisi perekat tapioka-asam sitrat dengan SNI 03-2105-2006

Kerapatan sampel T4, T6, dan T8 sebesar 0,8 g/cm³, sedangkan T5 dan T80 hanya mencapai 0,6 g/cm³ (Gambar 3). Kerapatan tinggi pada T4 dan T8 mengindikasikan struktur internal yang lebih padat serta distribusi perekat-substrat yang homogen, dihasilkan melalui reaksi esterifikasi antara pati dan lignoselulosa. Proses tersebut meningkatkan kohesi dan jaringan matriks. Liu et al. (2024) melaporkan bahwa pembentukan ikatan silang ester berperan meningkatkan densifikasi dan integritas matriks, sehingga memperbaiki sifat mekanik papan partikel.

Pada Gambar 4 dan Gambar 5 DSA dan TS sampel T4 terendah yaitu 57,77% dan 4%, serta T8 DSA 78,37% dan TS 6%. Hal ini mengindikasikan perekat lebih resisten terhadap penetrasi air, dan *crosslinking* antara asam sitrat dan gugus hidroksil pada pati dan lignoselulosa yang mengurangi gugus hidrofilik bebas. Esterifikasi berbasis pati menurunkan sifat hidrofilik, afinitas air pada perekat, dan meningkatkan stabilitas dimensi papan partikel

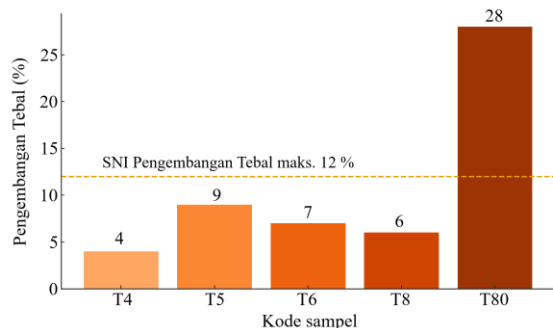
(Zakaria et al. 2021). Sebaliknya, T5 dan T6 meskipun mengandung asam sitrat dengan kerapatan lebih rendah ($0,6 \text{ g/cm}^3$) dan DSA masih tinggi ($>90\%$).



Gambar 4. Perbandingan daya serap air papan partikel dengan variasi komposisi perekat tapioka-asam sitrat dengan SNI 03-2105-2006

Jumlah perekat yang lebih sedikit pembentukan ikatan silang dari esterifikasi terbatas, sehingga sebagian gugus hidroksil dari pati dan lignoselulosa tidak bereaksi dan bersifat hidrofilik. Hal ini menghasilkan struktur yang lebih berpori dan mudah ditembus air, menyebabkan TS meningkat hingga 7-9%.

Sampel T80 yang tidak mengandung asam sitrat memperlihatkan kerapatan rendah ($0,6 \text{ g/cm}^3$), DSA tertinggi (161,21%), serta TS terbesar (28%). Pada sampel T80 tidak terjadi reaksi esterifikasi, sehingga ikatan yang terbentuk berupa interaksi fisik antargranula pati yang bersifat hidrofilik. Hal ini menyebabkan matriks perekat-sebuk kayu kurang homogen, mudah menyerap air, dan mengalami pembengkakan.



Gambar 5. Perbandingan pembengkangan tebal papan partikel dengan variasi komposisi perekat

tapioka-asam sitrat dengan SNI 03-2105-2006

Astari et al. (2024) melaporkan bahwa densitas yang rendah dan tidak terbentuk ikatan kimia berbasis ester berkontribusi pada menurunnya stabilitas fisik dan ketahanan dimensi papan partikel.

Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi komposisi serbuk kayu sengan, perekat tapioka, dan asam sitrat mempengaruhi sifat mekanik dan fisik papan partikel. Formulasi dengan fraksi perekat sampel T4 (40% serbuk kayu, 60% perekat, 20 g asam sitrat) mencapai MOE $26.957,25 \text{ kg/cm}^2$ dan MOR $109,17 \text{ kg/cm}^2$, memenuhi SNI.

Sifat fisik sampel T4 menunjukkan karakteristik dengan kerapatan $0,8 \text{ g/cm}^3$, daya serap air 57,77%, dan pengembangan tebal hanya 4%. Sebaliknya, sampel tanpa asam sitrat (T80) memperlihatkan penurunan pada seluruh parameter, MOE terendah ($5.592,44 \text{ kg/cm}^2$), MOR terendah $49,49 \text{ kg/cm}^2$, dan pengembangan tebal tertinggi (28%).

Ucapan Terimakasih

Penulis menyampaikan penghargaan kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyelesaian penelitian. Terima kasih kepada laboratorium dan institusi tempat penelitian dilaksanakan atas fasilitas dan bantuan yang diberikan. Penulis juga berterima kasih kepada rekan-rekan yang memberikan masukan selama proses analisis dan penyusunan artikel.

Daftar Pustaka

- Astari, Lilik, Benoit Belleville, Kenji Umemura, Alex Filkov, Barbara Ozarska, and H Crawford. 2024. "Determination of Physical , Mechanical and Fire Retardancy Properties of Innovative Particleboard Made from Corn Stalk (Zea Mays L .) Particles." *Journal of Renewable Materials* 12 (10): 1729–56. <https://doi.org/10.32604/jrm.2024.054786>.
- Gadhav, Ravindra V., Prakash A. Mahanwar, and Pradeep T. Gadekar. 2017. "Starch-Based Adhesives for Wood/Wood Composite Bonding: Review." *Open Journal of Polymer Chemistry* 07 (02): 19–32. <https://doi.org/10.4236/ojpchem.2017.72002>.
- Huang, Hong-Kai, Cheng-Hsuan Hsu, Po-Kai Hsu,

- Yi-Ming Cho, Tzung-Han Chou, and Yu-Shen Cheng. 2022. "Preparation and Evaluation of Particleboard from Insect Rearing Residue and Rice Husks Using Starch/Citric Acid Mixture as a Natural Binder." *Biomass Conversion and Biorefinery* 12 (3): 633–41. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00994-6>.
- Jia, Liangliang, Jie Chu, Jing Li, Jing Ren, Ping Huang, and Dongbing Li. 2020. "Formaldehyde and VOC Emissions from Plywood Panels Bonded with Bio-Oil Phenolic Resins." *Environmental Pollution* 264: 1–8, 114819. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114819>.
- Jin, Tao, Heyang Zeng, Yuefeng Huang, Li Liu, Wentao Yao, Haiyang Guo, and Senlei Shi. 2023. "Synthesis of Biomass Hyperbranched Polyamide Resin from Cellulose and Citric Acid for Wood Adhesive." *International Journal of Biological Macromolecules* 253: 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbioma.2023.126575>.
- Lee, Seng Hua, Wei Chen Lum, Jia Geng Boon, Lubos Kristak, Petar Antov, Marta Pedzik, Tomasz Rogozinski, et al. 2022. "Particleboard from Agricultural Biomass and Recycled Wood Waste: A Review." *Journal of Materials Research and Technology* 20: 4630–58. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.08.166>.
- Li, Chunyin, Defa Hou, Hong Lei, Xuedong Xi, Guanben Du, and Hong Zhang. 2023. "Effective and Eco-Friendly Safe Self-Antimildew Strategy to Simultaneously Improve the Water Resistance and Bonding Strength of Starch-Based Adhesive." *International Journal of Biological Macromolecules* 248: 1–11.
- Liu, Mengyao, Wenrui Yao, Junyue Shan, Hao Zheng, Yueqiang Yang, and Lijun Cao. 2024. "Preparation of High-Performance Antibacterial / Antifungal Citric Acid – Starch Adhesives Based on Physical Entanglement and Chemical Crosslinking." *International Journal of Biological Macromolecules* 279: 1–11.
- Martins, Ferreira, Sharon Rhagnya, Fabricio G. Gonçalves, Gutemberg Pedro De Alcântara Segundinho, Roberto Carlos, Roberto Carlos Costa Lelis, Juarez Benigno Paes, Yonny Martinez Lopez, Izabella Luzia, Silva Chaves, and Rafael Gonçalves Espósito De Oliveira. 2021. "Investigation of Agro-Industrial Lignocellulosic Wastes in Fabrication of Particleboard for Construction Use." *Journal of Building Engineering* 43: 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102903>.
- Maulana, Muhammad Iqbal, Muhammad Adly Rahandi Lubis, Fauzi Febrianto, Lee Seng Hua, Apri Heri Iswanto, Petar Antov, Lubos Kristak, et al. 2022. "Environmentally Friendly Starch-Based Adhesives for Bonding High-Performance Wood Composites: A Review." *Forests* 13 (10): 1–25. <https://doi.org/10.3390/f13101614>.
- Monroy, Yuliana, Sandra Rivero, and María A. García. 2019. "Sustainable Panels Design Based on Modified Cassava Starch Bioadhesives and Wood Processing Byproducts." *Industrial Crops and Products* 137: 171–79. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.062>.
- Moutousidis, Dimitrios, Konstantina Karidi, Eleftheria Athanassiadou, Eleni Stylianou, Nikos Giannakis, and Apostolis Koutinas. 2023. "Sustainable Chemistry for the Environment Reinforcement of Urea Formaldehyde Resins with Pectins Derived from Orange Peel Residues for the Production of Wood-Based Panels" 4 (September).
- Muhaimin, Syaqqira Syaza Abdul, Nur Izzaati Saharudin, Abdul Fattah Nongman, and Norhafizah Saari. 2025. "Characterization of Bamboo Particleboard Bonded with Nelumbo Nucifera Seed Starch-Citric Acid-Based Adhesive." *International Journal of Adhesion and Adhesives* 138: 1–8.
- Pan, Dawei, Na Zhang, Senchi Li, Meihan Dong, Zhiming Yu, and Bo Zhang. 2023. "Dual-Crosslinking Network and Pre-Anchorage Effect Enable High-Performance , Low-Cost , and Eco-Friendly Geopolymer Adhesive for the Wood Industry." *Journal of Cleaner Production* 414: 1–12.
- Pancasakti, Bima Prasetya. 2022. "Analisis Pengaruh Jenis Agen Crosslinker Terhadap Karakteristik Perekat Kayu Berbahan Tepung Tapioka Dan PVA." *Jurnal Sains Dan Teknologi: Jurnal Keilmuan Dan Aplikasi Teknologi Industri* 22 (2): 267–75. <https://doi.org/https://doi.org/10.36275/STSP.V22I2.514>.
- Papadopoulou, Electra, and Konstantinos Chrissafis. 2017. *Particleboards from Agricultural Lignocellulosics and Biodegradable Polymers Prepared with Raw Materials from Natural Resources*. Edited by Alan Kin-tak Lau and

- Ada Pui-yan Hung. *Natural Fiber-Reinforced Biodegradable and Bioresorbable Polymer Composites*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100656-6.00002-9>.
- Sarungallo, R. S., M. W. Tjaronge, A. Ahmad, and M. Hustim. 2024. "Adjustment of Temperature and Starch Concentration in the NaOH Hydrolysis Process for the Development of Sustainable Adhesives from Sorghum Starch." In *AIP Conference Proceedings*, 3140:2–8. <https://doi.org/10.1063/5.0221170>.
- Sarungallo, R. S., Muh Wihardi Tjaronge, Ahyar Ahmad, and Muralia Hustim. 2025. "Characterization Of Sorghum Starch As A Potential Bio-Based Adhesive For Particleboard Manufacturing." *Journal of Applied Science and Engineering* 28 (10): 1903–17. [https://doi.org/10.6180/jase.202510_28\(10\).0004](https://doi.org/10.6180/jase.202510_28(10).0004).
- Sonne, Christian, Changlei Xia, Payam Dadvand, Admir Créso Targino, and Su Shiung Lam. 2022. "Indoor Volatile and Semi-Volatile Organic Toxic Compounds: Need for Global Action." *Journal of Building Engineering* 62: 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.105344>.
- Torres, Fernando G., and Gabriel E. De-la-Torre. 2022. "Synthesis, Characteristics, and Applications of Modified Starch Nanoparticles: A Review." *International Journal of Biological Macromolecules* 194: 289–305. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.11.187>.
- Useng, Mardayanti Rari, Cornelia Kesia Rantang, Rosalia Sira Sarungallo, and Maxie Djonny. 2023. "Karakterisasi Viskositas Dan Kadar Air Bioadhesive Berbasis Pati Jagung Termodifikasi Asam Sitrat Untuk Pembuatan Papan Partikel." In *Seminar Nasional Sinergitas Multidisiplin Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi*, 6:87–90.
- Wang, Ning, Chen Li, Di Miao, Hanxue Hou, Yangyong Dai, Yong Zhang, and Bin Wang. 2023. "The Effect of Non-Thermal Physical Modification on the Structure, Properties and Chemical Activity of Starch: A Review." *International Journal of Biological Macromolecules* 251: 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126200>.
- Wang, Zhenjiong, Hua Zhu, Junnan Huang, Zan Ge, Jing Guo, Xiangyu Feng, and Qing Xu. 2019. "Improvement of the Bonding Properties of Cassava Starch-Based Wood Adhesives by Using Different Types of Acrylic Ester Unit (Mm)." *International Journal of Biological Macromolecules* 126: 603–11. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.113>.
- Watcharakitti, Jidapa, Ei Ei Win, Jaturavit Nimnuan, and Siwaporn Meejoo Smith. 2022. "Modified Starch-Based Adhesives: A Review." *Polymers* 14 (10): 1–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/polym14102023>.
- Wu, Qiao, Ke Jiang, Yong Wang, Yuan Chen, and Dongbin Fan. 2023. "Cross-Linked Peach Gum Polysaccharide Adhesive by Citric Acid to Produce a Fully Bio-Based Wood Fiber Composite with High Strength." *International Journal of Biological Macromolecules* 253: 1–9.
- Zakaria, Radiah, Paiman Bawon, Seng Hua Lee, Sabiha Salim, Wei Chen Lum, Syeed Saifulazry Osman Al-Edrus, and Zawawi Ibrahim. 2021. "Properties of Particleboard from Oil Palm Biomasses Bonded with Citric Acid and Tapioca Starch." *Polymers* 13 (20): 1–15. <https://doi.org/10.3390/polym13203494>.
- Zou, Jinhao, Yan Li, Feng Wang, Xiaojun Su, and Qingming Li. 2023. "Relationship between Structure and Functional Properties of Starch from Different Cassava (*Manihot Esculenta* Crantz) and Yam (*Dioscorea Opposita* Thunb) Cultivars Used for Food and Industrial Processing." *LWT* 173: 1–11.