ISSN 3090-8485

ORASI ILMIAH: RISET DAN INOVASI

PEREKAT HAYATI BERBASIS ASAM ORGANIK DAN SAKARIDA UNTUK MEMPERCEPAT HILIRISASI INDUSTRI PRODUK BIOKOMPOSIT

ORASI ILMIAH PROFESOR RISET
ILMU DAN TEKNOLOGI HASIL HUTAN
BIDANG BIOMASSA DAN BIOPRODUK
KEPAKARAN PEREKAT HAYATI DAN KOMPOSIT LIGNOSELULOSA



OLEH:

SUKMA SURYA KUSUMAH

BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL

Buku ini tidak diperjualbelikan.

ISSN 3090-8485

PEREKAT HAYATI BERBASIS ASAM ORGANIK DAN SAKARIDA UNTUK MEMPERCEPAT HILIRISASI INDUSTRI PRODUK BIOKOMPOSIT

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Diterbitkan pertama pada 2026 oleh Penerbit BRIN

Tersedia untuk diunduh secara gratis: penerbit.brin.go.id



Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0).
Lisensi ini mengizinkan Anda untuk berbagi, mengopi, mendistribusikan, dan mentransmisi karya untuk penggunaan personal dan bukan tujuan komersial, dengan memberikan atribusi sesuai ketentuan. Karya turunan dan modifikasi harus menggunakan lisensi yang sama.

Informasi detail terkait lisensi CC BY-NC-SA 4.0 tersedia melalui tautan:
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Buku ini tidak diperjualbelikan.

ISSN 3090-8485

BRIN
BADAN RISET
DAN INOVASI NASIONAL

ORASI ILMIAH: RISET DAN INOVASI

PEREKAT HAYATI BERBASIS ASAM ORGANIK DAN SAKARIDA UNTUK MEMPERCEPAT HILIRISASI INDUSTRI PRODUK BIOKOMPOSIT

ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
ILMU DAN TEKNOLOGI HASIL HUTAN
BIDANG BIOMASSA DAN BIOPRODUK
KEPAKARAN PEREKAT HAYATI DAN KOMPOSIT LIGNOSELULOSA

OLEH:
SUKMA SURYA KUSUMAH

Penerbit BRIN

Buku ini tidak diperjualbelikan.

© 2026 Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Perekat Hayati Berbasis Asam Organik dan Sakarida untuk Mempercepat Hilirisasi Industri Produk Biokomposit/Sukma Surya Kusumah. Jakarta - Penerbit BRIN, 2026

xi + 131 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISSN 3090-8485

1. Perekat Hayati
2. Asam Organik
3. Sakarida
4. Hilirisasi Industri
5. Produk Biokomposit

668.3

Copy editor : Rina Kamila
Proofreader : Rina Kamila
Penata Isi : Rina Kamila
Desainer Sampul : Rina Kamila

Edisi pertama : November 2026

Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, Anggota Ikapi
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung B.J. Habibie Lt. 8, Jl. M.H. Thamrin No.8,
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340
Whatsapp: +62 811-1064-6770
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR ISI

BIODATA RINGKAS 1
PRAKATA PENGUKUHAN 5

BAB I PENDAHULUAN 7

BAB II PERKEMBANGAN PEREKAT HAYATI UNTUK PRODUK BIOKOMPOSIT 11
A. Perkembangan Perekat Berbasis Formaldehida 11
B. Perkembangan Perekat Anorganik dan Sistem Hibrida 14
C. Perkembangan Perekat Hayati 15
D. Perkembangan Perekat Berbasis Asam Organik dan Sakarida 17

BAB III APLIKASI PEREKAT HAYATI BERBASIS ASAM ORGANIK DAN SAKARIDA UNTUK PRODUK BIOKOMPOSIT 21
A. Aplikasi Perekat Hayati Berbasis Asam Organik dan Sakarida untuk Kayu Lapis 24
B. Aplikasi Perekat Hayati Berbasis Asam Organik dan Sakarida untuk Papan Partikel 36
C. Arah Pengembangan Aplikasi pada Papan Serat 54

BAB IV PELUANG DAN TANTANGAN PENGEMBANGAN PEREKAT HAYATI UNTUK HILIRISASI INDUSTRI BIOKOMPOSIT DI INDONESIA 55
A. Potensi Sumber Biomassa Sebagai Perekat Hayati di Indonesia 56
B. Potensi Sumber Biomassa Sebagai Produk Biokomposit di Indonesia 58

Buku ini tidak diperjualbelikan.

C. Penerapan Teknologi Perekat Hayati dan Produk Biokomposit dalam Skala Besar di Industri 59
D. Kelayakan Ekonomi dan Dampak Sosial 61

BAB V KONTRIBUSI UMUM 63
A. Kontribusi terhadap Pengembangan Ilmu Pengetahuan 63
B. Kontribusi terhadap Pengembangan Teknologi 64
C. Kontribusi terhadap Hilirisasi Industri 64
D. Kontribusi terhadap Kebijakan dan Pembangunan Nasional 65
E. Kontribusi terhadap Pengembangan Sumber Daya Manusia dan Jejaring Riset 66

BAB VI KESIMPULAN 67

BAB VII PENUTUP 71

UCAPAN TERIMA KASIH 73
DAFTAR PUSTAKA 77
DAFTAR CAPAIAN 89
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH 91
DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA 121
DAFTAR RIWAYAT HIDUP 123

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Pasar perekat kayu di Amerika Serikat 12

Gambar 2. Viskositas perekat berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai komposisi penambahan molasis untuk aplikasi kayu lapis..... 25

Gambar 3. Analisis termal perekat berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai komposisi penambahan molasis untuk aplikasi kayu lapis 25

Gambar 4. Kualitas perekatan kayu lapis berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai suhu dan waktu kempa.....26

Gambar 5. Analisis gugus fungsi kayu lapis berbasis asam organik dan sakarida.....27

Gambar 6. Kualitas perekatan kayu lapis berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai komposisi penambahan molasis.....29

Gambar 7. Kualitas perekatan kayu lapis berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai komposisi penambahan porang.....31

Gambar 8. Analisis gugus fungsi kayu lapis berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai komposisi penambahan porang 31

Gambar 9. Analisis termal perekat berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai sumber asam 33

Gambar 10. Kualitas perekatan kayu berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai sumber asam 33

Gambar 11. Analisis gugus fungsi kayu lapis berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai sumber asam.....34

Gambar 12. Analisis gugus fungsi perekat berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai konsentrasi 36

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Gambar 13. Kualitas perekatan papan partikel berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai kadar perekat 38
Gambar 14. Analisis gugus fungsi perekatan papan partikel berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai kadar perekat.....39
Gambar 15. Kualitas perekatan papan partikel berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai suhu dan waktu kempa.....41
Gambar 16. Analisis gugus fungsi perekatan papan partikel berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai suhu dan waktu kempa.....42
Gambar 17. Kualitas perekatan papan partikel berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai komposisi penambahan sukrosa.....44
Gambar 18. Analisis termal dan gugus fungsi perekatan papan partikel berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai komposisi penambahan sukrosa.....45
Gambar 19. Analisis termal perekat berbasis asam organik dan sakarida yang dimodifikasi dengan berbagai konsentrasi $ZnCl_2$.....47
Gambar 20. Analisis termal dan kinetika perekat berbasis asam organik dan sakarida yang dimodifikasi dengan berbagai konsentrasi $ZnCl_2$.....47
Gambar 21. Kualitas perekatan papan partikel berbasis asam organik dan sakarida yang dimodifikasi dengan berbagai konsentrasi $ZnCl_2$.....48
Gambar 22. Analisis termal perekat berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai komposisi penambahan molasis.....49
Gambar 23. Analisis gugus fungsi perekat berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai komposisi penambahan molasis.....51

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Gambar 24. Kualitas perekatan papan partikel untuk genteng komposit berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai ukuran partikel.....52
Gambar 25. Aplikasi papan partikel untuk genteng komposit berbasis asam organik dan sakarida.....53

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Karakteristik perekat berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai komposisi penambahan molasis untuk aplikasi kayu lapis 29

Tabel 2. Karakteristik perekat berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai komposisi penambahan porang..... 30

Tabel 3. Karakteristik perekat berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai sumber asam 32

Tabel 4. Karakteristik perekat berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai konsentrasi..... 35

Tabel 5. Karakteristik kayu lapis berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai konsentrasi..... 35

Tabel 6. Karakteristik perekat berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai komposisi penambahan sukrosa..... 43

Tabel 7. Karakteristik perekat berbasis asam organik dan sakarida yang dimodifikasi dengan berbagai konsentrasi $ZnCl_2$..... 46

Tabel 8. Karakteristik perekat berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai komposisi penambahan molasis..... 49

Tabel 9. Karakteristik papan partikel berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai komposisi penambahan molasis..... 50

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BIODATA RINGKAS



Dr. Sukma Surya Kusumah, S.Hut, M.Si, lahir di Cianjur, pada 27 September 1982 adalah anak ke 5 dari Bapak Syamsudin dan Ibu Eni Rohaeni Menikah dengan Nurhayati dan dikaruniai 1 (satu) orang anak, yaitu Shakila Aulia Kusumah.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 21/M Tahun 2023 tanggal 15 Mei 2023 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama pada Badan Riset dan Inovasi Nasional.

Berdasarkan Keputusan Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional tentang Pembentukan Majelis Pengukuhan Profesor Riset Nomor 233/I/HK/2026, tanggal 5 Oktober 2026 yang bersangkutan dapat melaksanakan orasi pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar Negeri Ibu Jenab IV Cianjur, tahun 1996, Sekolah Menengah Pertama Negeri I Cianjur, tahun 1998, dan Sekolah Menengah Atas Negeri I Cianjur, tahun 2021 Memperoleh gelar Sarjana Kehutanan dari Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor tahun 2005, gelar Magister Sains dari Institut Pertanian Bogor tahun 2009, dan gelar Doktor bidang *Forest and Biomaterials Science* dari *Kyoto University* tahun 2017.

Mengikuti beberapa pelatihan yang terkait dengan bidang kompetensinya, antara lain: Diklat Peneliti Pertama di Pusbindiklat LIPI (2011), Pelatihan drafting paten di LIPI (2012), Young researcher exchange – HOPE Meeting di Tokyo - Japan (2016), Digital Leadership Academy di Jakarta (2022) dan Green Productivity Training di Jakarta (2023).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Pernah menduduki jabatan struktural sebagai Kepala Pusat Riset Konservasi Tumbuhan dan Kebun Raya - BRIN (2021 - 2022)**.**

Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Peneliti Ahli Pertama golongan III/a tahun 2008, Peneliti Ahli Muda golongan III/b tahun 2012, Peneliti Ahli Madya golongan III/c tahun 2021, dan memperoleh jabatan Peneliti Ahli Utama golongan III/d bidang Komposit Lignoselulosa dan Perekat Hayati tahun 2023.

Menghasilkan seratus lima (105) karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain dalam bentuk bagian dari buku, jurnal, dan prosiding. Sebanyak delapan puluh dua (82) KTI ditulis dalam bahasa Inggris, dan dua puluh (23) dalam bahasa Indonesia. Selain daripada itu, telah dihasilkan paten bersama penulis lainnya sebanyak lima puluh enam (56). Salah satu paten dari penulis telah menghasilkan perjanjian lisensi. Sebagai tambahan, penulis telah menghasilkan tujuh (7) publikasi lainnya berupa bahan ajar, skripsi, tesis, dan disertasi.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai pembimbing jabatan fungsional peneliti pada Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, pembimbing skripsi (S-1) pada Institut Pertanian Bogor (IPB), Universitas Brawijaya (UB), Universitas Negeri Lampung (UNILA), Institut Teknologi Sumatera (ITERA), Universitas Jenderal Soedirman (UNSOED), Universitas Padjadjaran (UNPAD), Institut Teknologi Bandung (ITB), Universitas Mataram (UNRAM), Universitas Gajah Mada (UGM); pembimbing tesis (S-2) pada IPB, ITB, dan Universitas Hasanuddin (UNHAS); pembimbing disertasi (S-3) pada Universitas Indonesia (UI) dan IPB; serta penguji disertasi (S-3) di IPB.

Aktif dalam organisasi profesi ilmiah, yaitu sebagai ketua Pusat Unggulan IPTEK Lignoselulosa (2018–2019), anggota Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (MAPEKI) (2010–2025), Masyarakat

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Perkelapa-sawitan Indonesia (MAKSI) (2013-2025) Japan Wood Research Society (2015-2017) dan Asian Adhesive Association (2016–2017).

Menerima tanda penghargaan 101 Inovasi Indonesia Prospektif (2009), Honda Young Researcher Innovation Award (2017), Research Innovation of Green Building (2025), Satyalancana Karya Satya 10 Tahun (2018) dari Presiden RI. Top 3 peneliti ahli utama terbaik di Pusat Riset Biomassa dan Bioproduk - BRIN (2025), dan Periset Berdampak pada Organisasi Riset Nanoteknologi dan Material – BRIN (2026).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

PRAKATA PENGUKUHAN

Bismillaahirrahmaanirrahiim.

Assalaamu'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.

Salam sejahtera untuk kita semua.

Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional yang mulia dan hadirin yang saya hormati.

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah Swt. atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga dalam kesempatan ini kita dapat berkumpul dan bersama-sama hadir pada acara orasi ilmiah pengukuhan Profesor Riset di Badan Riset dan Inovasi Nasional.

Pada kesempatan yang berbahagia ini, dengan segala kerendahan hati, izinkan saya pada tanggal (tanggal/bulan/tahun orasi dilaksanakan) menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

"PEREKAT HAYATI BERBASIS ASAM ORGANIK
DAN SAKARIDA UNTUK MEMPERCEPAT HILIRISASI
INDUSTRI PRODUK BIOKOMPOSIT"

Pada orasi ini, akan disampaikan *state of the art* tentang inovasi, perkembangan, peluang dan tantangan penelitian komposit lignoselulosa dan perekat hayati, khususnya pengembangan perekat berbasis asam organik dan sakarida untuk mendukung hilirisasi industri produk biokomposit di Indonesia.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Orasi ini diharapkan dapat memberikan pemahaman tentang mekanisme reaksi kimia perekat hayati, pengembangan formulasi berbasis asam organik dan sakarida, serta aplikasinya pada berbagai produk biokomposit. Pendekatan yang dikembangkan mengintegrasikan aspek fundamental ilmiah dan aplikatif, dengan memanfaatkan biomassa tropis Indonesia sebagai sumber bahan baku yang melimpah dan berpotensi tinggi untuk dikembangkan. Dengan demikian penelitian dan pengembangan perekat hayati dalam pengembangan produk komposit lignoselulosa ini bisa menjadi bagian dari upaya bersama dalam mendorong kemandirian dan berkelanjutan industri berbasis biomassa di Indonesia.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB I. PENDAHULUAN

Perkembangan industri produk kayu dan biokomposit dalam beberapa dekade terakhir menunjukkan kontribusi signifikan terhadap pembangunan ekonomi, khususnya dalam penyediaan material konstruksi dan produk berbasis lignoselulosa. Namun demikian, industri ini masih menghadapi tantangan mendasar terkait keberlanjutan, terutama akibat penggunaan perekat sintetis berbasis formaldehida yang berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Emisi formaldehida yang dihasilkan selama proses produksi maupun penggunaan produk menjadi isu global yang mendorong perlunya pengembangan material alternatif yang lebih aman dan ramah lingkungan (Kristak et al., 2023).

Sejalan dengan tuntutan tersebut, pengembangan perekat hayati berbasis biomassa terbarukan menjadi salah satu pendekatan yang semakin mendapat perhatian (He, 2017; Pizzi & Antov, 2025). Indonesia sebagai negara tropis memiliki potensi biomassa lignoselulosa yang sangat melimpah, baik dari sektor kehutanan, pertanian, maupun limbah agroindustri. Biomassa tersebut tidak hanya berpotensi sebagai bahan baku produk biokomposit, tetapi juga sebagai sumber bahan perekat hayati yang berkelanjutan dan bernilai tambah tinggi. Pemanfaatan biomassa lokal secara optimal diharapkan dapat mendukung kemandirian bahan baku industri sekaligus memperkuat hilirisasi sumber daya alam nasional.

Meskipun berbagai penelitian mengenai perekat hayati telah berkembang, sebagian besar masih berfokus pada sistem berbasis komponen tunggal seperti pati, lignin, atau tanin (Dunky & Mittal, 2023). Pendekatan tersebut memiliki keterbatasan dalam hal kekuatan ikatan, ketahanan terhadap kelembaban, serta stabilitas termal, sehingga belum sepenuhnya mampu menggantikan peran perekat

Buku ini tidak diperjualbelikan.

sintetis dalam aplikasi industri. Selain itu, karakteristik biomassa tropis yang heterogen menuntut pendekatan formulasi perekat yang lebih adaptif dan spesifik terhadap sifat bahan baku yang digunakan.

Dalam konteks tersebut, penelitian yang dilakukan oleh penulis mengembangkan pendekatan berbasis integrasi reaksi multikomponen yang salah satunya berasal dari asam organik dan sakarida sebagai sistem perekat hayati yang lebih reaktif dan adaptif (Savero et al., 2025). Interaksi kimia yang melibatkan reaksi esterifikasi, pembentukan anhidrida, karamelisasi, pembentukan senyawa furanik, serta polimerisasi lanjut menghasilkan jaringan perekat yang mampu meningkatkan performa mekanik dan ketahanan produk biokomposit. Pendekatan ini juga diperkuat dengan konsep *Biomass Reactivity Matching*, yang memungkinkan perancangan formulasi perekat sesuai dengan karakteristik spesifik biomassa tropis Indonesia.

Berdasarkan latar belakang tersebut, permasalahan utama yang diangkat dalam orasi ilmiah ini adalah bagaimana mengembangkan sistem perekat hayati berbasis asam organik dan sakarida yang memiliki kinerja teknis kompetitif, adaptif terhadap biomassa tropis, serta dapat diimplementasikan dalam skala industri. Selain itu, diperlukan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai mekanisme reaksi kimia yang mendasari pembentukan jaringan perekat, serta strategi hilirisasi yang efektif untuk menjembatani hasil penelitian dengan kebutuhan industri.

Orasi ilmiah ini bertujuan mempromosikan dan menegaskan posisi kepakaran penulis dalam bidang perekat hayati dan komposit lignoselulosa melalui sintesis perjalanan riset, temuan ilmiah, pengembangan teknologi, dan kontribusinya bagi industri serta masyarakat. Fokus pembahasan diarahkan pada perekat hayati berbasis asam organik dan sakarida, mulai dari landasan fundamental dan mekanisme perekatan, formulasi dan aplikasi, hingga strategi hilirisasi industri produk biokomposit di Indonesia.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Dengan demikian, orasi ini bukan semata-mata kajian mengenai suatu produk, melainkan proklamasi atas kontribusi ilmiah penulis dalam membangun pendekatan perekat hayati yang adaptif terhadap biomassa tropis. Kontribusi tersebut diarahkan untuk menghubungkan kemajuan ilmu dengan transformasi industri rendah emisi, penciptaan nilai tambah biomassa lokal, pembukaan peluang usaha, dan peningkatan kesejahteraan masyarakat.

Sistematika penulisan orasi ilmiah ini disusun sebagai berikut. Bab I memaparkan latar belakang, permasalahan, tujuan, dan ruang lingkup penelitian. Bab II menguraikan perkembangan perekat hayati dalam konteks global dan nasional. Bab III menyajikan aplikasi dan hasil pengembangan perekat hayati berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai produk biokomposit. Bab IV membahas peluang dan tantangan pengembangan teknologi dalam mendukung hilirisasi industri. Bab V Kontribusi Umum, Bab VI dan Bab VII masing-masing menyajikan kesimpulan dan penutup dari keseluruhan pembahasan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB II. PERKEMBANGAN PEREKAT HAYATI UNTUK PRODUK BIOKOMPOSIT

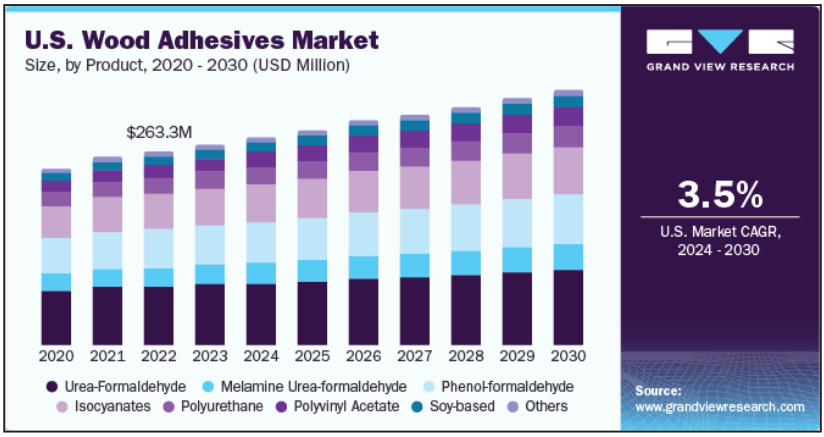
Perkembangan teknologi perekat untuk produk biokomposit tidak dapat dilepaskan dari evolusi kebutuhan industri terhadap material yang memiliki kinerja tinggi sekaligus ramah lingkungan (Dunky & Mittal, 2023; He, 2017; Pizzi & Antov, 2025). Dalam konteks ini, perekat memegang peranan kunci dalam menentukan kualitas, ketahanan, dan keberlanjutan produk berbasis komposit lignoselulosa. Seiring meningkatnya kesadaran terhadap isu kesehatan dan lingkungan, arah pengembangan teknologi perekat mengalami pergeseran dari sistem berbasis sintetis menuju sistem berbasis biomassa terbarukan.

A. Perkembangan Perekat Berbasis Formaldehida

Perkembangan industri produk biokomposit modern tidak dapat dilepaskan dari peran dominan perekat konvensional berbasis formaldehida yang telah digunakan secara luas sejak pertengahan abad ke-20. Sistem perekat ini, yang meliputi urea-formaldehida (UF), fenol-formaldehida (PF), dan melamin-formaldehida (MF), dikembangkan sebagai solusi untuk menghasilkan material berbasis kayu dengan kekuatan mekanik tinggi, stabilitas dimensi yang baik, serta efisiensi produksi yang tinggi. Keunggulan tersebut menjadikan perekat berbasis formaldehida sebagai standar industri dalam pembuatan papan partikel, papan serat, dan kayu lapis (Nafisah *et al*., 2025; Putri *et al*., 2024, 2025; Wibowo *et al*., 2025).

Dominasi perekat berbasis formaldehida juga tercermin dari besarnya skala industri global yang masih bergantung pada sistem perekat ini. Secara global, pasar perekat kayu diperkirakan mencapai sekitar USD 7,03 miliar pada tahun 2023 dan diproyeksikan meningkat menjadi lebih dari USD 12,5 miliar pada tahun 2030 (Gambar 1).

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Gambar 1. Pasar perekat kayu di Amerika Serikat

Dalam pasar tersebut, perekat urea-formaldehida (UF) masih menjadi segmen dominan dengan pangsa sekitar 31,4%, terutama karena biaya produksi yang relatif rendah, kecepatan curing yang tinggi, serta kompatibilitasnya dengan berbagai produk panel kayu. Selain itu, lebih dari 90% produk panel berbasis kayu di dunia, termasuk papan partikel, medium density fiberboard (MDF), dan kayu lapis, masih diproduksi menggunakan sistem perekat berbasis formaldehida, dengan konsumsi resin UF global mencapai sekitar 11 juta ton per tahun. Hal ini menunjukkan bahwa industri perekat berbasis formaldehida masih memegang peranan sangat strategis dalam rantai pasok industri produk kayu rekayasa modern (Grand View Research, 2024).

Dalam konteks nasional, kondisi industri Indonesia juga menunjukkan ketergantungan yang serupa. Indonesia merupakan salah satu produsen utama produk panel kayu di kawasan Asia Tenggara, terutama untuk kayu lapis, papan partikel, dan MDF yang sebagian besar masih menggunakan perekat UF maupun PF sebagai bahan pengikat utama. Besarnya kapasitas industri panel kayu nasional

Buku ini tidak diperjualbelikan.

menyebabkan kebutuhan perekat sintetis berbasis formaldehida tetap tinggi dan menjadi salah satu komponen penting dalam biaya produksi industri biokomposit. Kondisi ini sekaligus menunjukkan bahwa setiap inovasi menuju sistem perekat rendah emisi atau berbasis biomassa memiliki potensi dampak ekonomi dan lingkungan yang signifikan bagi industri nasional.

Secara kimia, perekat berbasis formaldehida bekerja melalui reaksi polikondensasi antara formaldehida dengan senyawa yang memiliki gugus aktif, seperti urea, fenol, atau melamin, membentuk jaringan polimer termoset yang kaku dan tidak larut (Kristak et al., 2023). Struktur jaringan tiga dimensi yang terbentuk memberikan kekuatan ikatan yang tinggi serta ketahanan terhadap beban mekanik dan kondisi lingkungan tertentu. Selain itu, sistem ini relatif mudah diproses, memiliki waktu curing yang cepat, serta kompatibel dengan berbagai jenis bahan lignoselulosa (Kristak et al., 2023).

Meskipun memiliki keunggulan teknis yang signifikan, penggunaan perekat berbasis formaldehida menghadapi tantangan serius terkait aspek kesehatan dan lingkungan. Formaldehida merupakan senyawa organik volatil yang dapat terlepas dari produk selama proses produksi maupun penggunaan, dan telah diklasifikasikan sebagai zat yang berpotensi bersifat karsinogenik. Dampak ini mendorong munculnya berbagai regulasi internasional yang semakin ketat dalam membatasi emisi formaldehida dari produk berbasis kayu, seperti standar emisi rendah (*low-emission standards*) di berbagai negara (Kristak et al., 2023).

Selain isu emisi, ketergantungan terhadap bahan baku berbasis fosil dalam produksi formaldehida juga menjadi perhatian dalam konteks keberlanjutan. Produksi perekat sintetis umumnya memerlukan energi tinggi dan menghasilkan jejak karbon yang signifikan, sehingga kurang sejalan dengan upaya global dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dan mencapai target *net-zero emission*. Hal ini menjadi

Buku ini tidak diperjualbelikan.

salah satu faktor utama yang mendorong pencarian alternatif perekat yang lebih ramah lingkungan dan berbasis sumber daya terbarukan (Kristak et al., 2023).

Dalam perkembangannya, berbagai upaya telah dilakukan untuk mengurangi dampak negatif perekat berbasis formaldehida, antara lain melalui modifikasi formulasi untuk menurunkan emisi, penggunaan *scavenger* formaldehida, serta pengembangan resin dengan rasio molar formaldehida yang lebih rendah. Namun demikian, pendekatan ini pada dasarnya masih bersifat mitigatif dan belum sepenuhnya menghilangkan ketergantungan terhadap formaldehida sebagai komponen utama (Kristak et al., 2023).

Oleh karena itu, meskipun perekat berbasis formaldehida masih mendominasi secara komersial karena keunggulan performanya, keterbatasan dalam aspek kesehatan, lingkungan, dan keberlanjutan menjadi pendorong utama bagi berkembangnya penelitian dan inovasi menuju sistem perekat alternatif. Pergeseran ini menandai transisi penting dalam industri biokomposit, dari sistem berbasis kimia sintetis menuju sistem berbasis biomassa yang lebih aman dan berkelanjutan.

B. Perkembangan Perekat Anorganik dan Sistem Hibrida

Selain perekat organik berbasis formaldehida dan biomassa, perekat anorganik telah lama digunakan untuk aplikasi yang menuntut ketahanan api, panas, cuaca, dan serangan biologis. Sistem berbasis silikat, fosfat, magnesium oksiklorida, serta semen dapat membentuk ikatan melalui pengerasan mineral dan interaksi antarmuka dengan gugus hidroksil lignoselulosa. Perekat tersebut banyak dimanfaatkan pada papan semen, panel tahan api, dan komposit untuk lingkungan penggunaan yang berat (Hermawan, 2001b, 2001a; Hermawan et al., 2000, 2002a, 2002b).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Meskipun unggul dalam ketahanan termal dan durabilitas, perekat anorganik memiliki keterbatasan berupa sifat getas, massa produk yang lebih tinggi, kebutuhan pengendalian kompatibilitas terhadap ekstraktif biomassa, serta jejak energi dari produksi mineral pengikat. Perkembangan mutakhir karena itu mengarah pada sistem hibrida organik-anorganik yang menggabungkan ketahanan mineral dengan fleksibilitas dan keterbaruan komponen hayati. Posisi perekat berbasis asam organik dan sakarida dalam lanskap ini adalah sebagai sistem organik bebas formaldehida yang dapat dikembangkan sendiri maupun dipadukan secara selektif untuk memenuhi persyaratan aplikasi tertentu.

C. Perkembangan Perekat Hayati

Seiring meningkatnya kesadaran global terhadap dampak lingkungan dan kesehatan dari penggunaan perekat sintetis berbasis formaldehida, perhatian terhadap pengembangan perekat hayati semakin meningkat. Perekat hayati didefinisikan sebagai sistem perekat yang berasal dari bahan baku terbarukan, terutama biomassa lignoselulosa dan turunannya, yang memiliki potensi untuk menggantikan perekat sintetis secara parsial maupun penuh dalam aplikasi biokomposit (Lei et al., 2025).

Pada tahap awal perkembangannya, perekat hayati banyak memanfaatkan komponen biomassa tunggal seperti pati, lignin, tanin, dan protein (Aristri et al., 2021; Iswanto et al., 2023; Oktay et al., 2024; Salise Oktay et al., 2024). Bahan-bahan ini secara alami memiliki gugus fungsional seperti hidroksil, fenolik, dan amina yang memungkinkan terjadinya interaksi antar permukaan melalui ikatan hidrogen, gaya *van der Waals*, maupun reaksi kimia terbatas. Pemanfaatan bahan-bahan tersebut menunjukkan bahwa biomassa memiliki potensi inheren sebagai perekat, khususnya untuk aplikasi dengan tuntutan performa yang tidak terlalu tinggi (Lei et al., 2025).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Namun demikian, keterbatasan utama dari perekat hayati generasi awal terletak pada rendahnya kekuatan ikatan, ketahanan terhadap air yang kurang memadai, serta stabilitas termal yang terbatas. Sifat hidrofilik biomassa menyebabkan perekat mudah menyerap air dan mengalami degradasi, sehingga kinerjanya belum mampu menandingi perekat sintetis dalam aplikasi struktural. Selain itu, variabilitas komposisi kimia biomassa juga menyebabkan ketidakkonsistenan performa, yang menjadi kendala dalam skala industri (Lei et al., 2025).

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, berbagai pendekatan pengembangan telah dilakukan, termasuk modifikasi kimia biomassa, penggunaan agen pengikat silang (*crosslinking agents*), serta kombinasi beberapa komponen biomassa dalam satu sistem perekat. Modifikasi ini bertujuan untuk meningkatkan reaktivitas bahan, memperkuat jaringan polimer yang terbentuk, serta meningkatkan ketahanan terhadap air dan suhu. Dalam banyak kasus, pendekatan ini mampu meningkatkan performa perekat hayati secara signifikan, meskipun seringkali menambah kompleksitas formulasi dan proses.

Perkembangan selanjutnya menunjukkan adanya pergeseran paradigma dari penggunaan bahan tunggal menuju sistem perekat berbasis multi-komponen yang lebih reaktif dan adaptif (Adelka et al., 2023; Iswanto et al., 2023, 2024; Komariah et al., 2021; Kusumah, Wibowo, et al., 2020; Kusumah, Syamani, et al., 2025; Laksana et al., 2024; Lin et al., 2023; Prasetiyo et al., 2023; Siahaan et al., 2025; Supianto et al., 2026; Sutiawan et al., 2020; Syamani et al., 2020, 2022; Tampubolon et al., 2022). Integrasi berbagai jenis biomassa memungkinkan terjadinya interaksi kimia yang lebih kompleks dan pembentukan jaringan polimer yang lebih stabil. Pendekatan ini membuka peluang untuk menghasilkan perekat hayati dengan performa yang lebih kompetitif, sekaligus mempertahankan aspek keberlanjutan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Meskipun demikian, pengembangan perekat hayati masih menghadapi sejumlah tantangan strategis. Selain aspek teknis seperti optimasi formulasi dan kontrol proses, isu terkait ketersediaan dan konsistensi bahan baku, efisiensi biaya, serta kesiapan teknologi untuk skala industri masih menjadi perhatian utama. Di sisi lain, belum adanya standar yang spesifik untuk perekat hayati juga menjadi hambatan dalam adopsi luas di industri.

Dalam konteks tersebut, arah penelitian terkini tidak hanya berfokus pada peningkatan performa material, tetapi juga pada pengembangan pendekatan yang lebih sistematis dan berbasis pemahaman mekanistik. Hal ini mencakup integrasi berbagai jalur reaksi kimia, pemanfaatan sumber daya biomassa lokal, serta pengembangan konsep formulasi yang adaptif terhadap karakteristik bahan baku. Pendekatan ini diharapkan dapat menjembatani kesenjangan antara penelitian laboratorium dan implementasi industri, sekaligus mempercepat transisi menuju penggunaan perekat hayati dalam sistem produksi biokomposit yang berkelanjutan.

D. Perkembangan Perekat Berbasis Asam Organik dan Sakarida

Perkembangan terbaru dalam teknologi perekat hayati menunjukkan pergeseran menuju sistem yang lebih reaktif dan terintegrasi, salah satunya melalui pemanfaatan kombinasi asam organik dan sakarida. Pendekatan ini berkembang sebagai respons terhadap keterbatasan perekat hayati generasi sebelumnya yang umumnya berbasis komponen tunggal dan memiliki performa yang masih terbatas, terutama dalam hal kekuatan ikatan dan ketahanan terhadap lingkungan (Dunky, 2020; Lee et al., 2020; Savero et al., 2025).

Asam organik, seperti asam sitrat dan asam polikarboksilat lainnya, memiliki kemampuan untuk membentuk ikatan kimia dengan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

material lignoselulosa melalui reaksi esterifikasi dengan gugus hidroksil. Reaksi ini menghasilkan ikatan kovalen yang relatif stabil, sehingga berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan dan ketahanan perekat. Selain itu, pada kondisi termal tertentu, asam organik juga dapat membentuk anhidrida reaktif yang mempercepat terjadinya reaksi ikatan silang (*crosslinking*) dalam sistem perekat (Dunky, 2020; Lee et al., 2020; Savero et al., 2025).

Di sisi lain, sakarida seperti sukrosa, glukosa, dan sumber gula teknis lainnya dapat mengalami dehidrasi termal yang menghasilkan senyawa antara, terutama hidroksimetilfurfural (HMF). Senyawa ini berperan sebagai prekursor dalam pembentukan struktur polimer berbasis furan yang bersifat lebih hidrofobik dan termostabil. Proses karamelisasi dan reaksi lanjutan yang terjadi selama pemanasan memungkinkan terbentuknya jaringan polimer yang kompleks dan berkontribusi terhadap peningkatan performa perekat (Dunky, 2020; Lee et al., 2020; Savero et al., 2025).

Integrasi antara asam organik dan sakarida menghasilkan suatu sistem perekat berbasis multi-reaksi yang melibatkan berbagai jalur kimia secara simultan, meliputi esterifikasi, pembentukan anhidrida, karamelisasi, pembentukan senyawa furanik, serta polimerisasi lanjutan. Sinergi antar reaksi ini memungkinkan terbentuknya jaringan perekat yang lebih padat, kuat, dan tahan terhadap kondisi lingkungan, sehingga mampu meningkatkan performa produk biokomposit secara signifikan (Dunky, 2020; Lee et al., 2020; Savero et al., 2025).

Pendekatan ini juga memberikan fleksibilitas dalam pemilihan bahan baku, karena baik asam organik maupun sakarida dapat diperoleh dari berbagai sumber biomassa, termasuk limbah agroindustri. Hal ini menjadikan sistem perekat ini tidak hanya unggul dari sisi teknis, tetapi juga memiliki potensi besar dalam mendukung prinsip keberlanjutan dan ekonomi sirkular (Dunky, 2020; Lee et al., 2020; Savero et al., 2025).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Meskipun demikian, kompleksitas sistem reaksi yang terjadi dalam perekat berbasis asam organik dan sakarida masih menjadi tantangan dalam pengembangannya. Interaksi antar komponen yang melibatkan berbagai jalur reaksi seringkali belum sepenuhnya dipahami secara komprehensif, sehingga optimasi formulasi masih banyak dilakukan secara empiris. Selain itu, kontrol terhadap kondisi proses seperti suhu, waktu, dan komposisi bahan sangat menentukan keberhasilan pembentukan jaringan perekat yang optimal (Dunky, 2020; Lee et al., 2020; Savero et al., 2025).

Dalam konteks ini, penelitian yang dilakukan oleh penulis berkontribusi dalam mengembangkan pemahaman yang lebih sistematis terhadap mekanisme reaksi multikomponen tersebut, serta merumuskan pendekatan formulasi yang lebih adaptif terhadap karakteristik biomassa. Konsep integrasi reaksi kimia dan penyesuaian reaktivitas bahan baku menjadi landasan dalam pengembangan sistem perekat hayati yang lebih efisien dan aplikatif, khususnya untuk biomassa tropis Indonesia yang memiliki keragaman komposisi kimia yang tinggi (Dunky, 2020; Lee et al., 2020; Savero et al., 2025).

Dengan demikian, perekat berbasis asam organik dan sakarida dapat dipandang sebagai generasi lanjut dari perekat hayati yang tidak hanya menawarkan solusi terhadap permasalahan lingkungan, tetapi juga membuka peluang baru dalam pengembangan material biokomposit dengan performa tinggi. Arah pengembangan ke depan diharapkan semakin mengarah pada integrasi antara pemahaman mekanistik, rekayasa proses, dan kesiapan teknologi untuk mendukung implementasi pada skala industri.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB III. APLIKASI PEREKAT HAYATI BERBASIS ASAM ORGANIK DAN SAKARIDA UNTUK PRODUK BIOKOMPOSIT

Perkembangan konsep dan pemahaman mekanistik perekat hayati berbasis asam organik dan sakarida sebagaimana diuraikan pada bab sebelumnya menunjukkan potensi yang signifikan sebagai alternatif perekat ramah lingkungan. Namun demikian, keberhasilan suatu sistem perekat tidak hanya ditentukan oleh aspek kimia dan formulasi, tetapi juga oleh kemampuannya untuk diaplikasikan secara efektif dalam berbagai produk biokomposit dengan karakteristik bahan baku dan kondisi proses yang beragam.

Meskipun pengembangan perekat hayati berbasis asam organik dan sakarida masih banyak berada pada tahap penelitian dan demonstrasi skala pilot, beberapa sistem perekat hayati lainnya telah memasuki tahap komersialisasi dan digunakan dalam industri produk kayu serta biokomposit. Jenis perekat hayati yang telah diaplikasikan secara komersial meliputi perekat berbasis protein kedelai (*soy-based adhesive*), lignin, tanin, pati termodifikasi, serta sistem hibrida berbasis biomassa yang dikembangkan sebagai perekat rendah emisi atau bebas formaldehida (*formaldehyde-free adhesives*). Perekat tersebut telah diaplikasikan pada produk kayu lapis, papan partikel, MDF, panel kayu rekayasa, hingga industri furnitur dan konstruksi ramah lingkungan (Calvez et al., 2024).

Perkembangan ini didorong oleh meningkatnya regulasi terhadap emisi formaldehida serta tuntutan pasar terhadap material yang lebih aman dan berkelanjutan. Pasar perekat kayu global diperkirakan mencapai sekitar USD 7,03 miliar pada tahun 2023 dan diproyeksikan meningkat menjadi sekitar USD 12,52 miliar pada

Buku ini tidak diperjualbelikan.

tahun 2030. Meskipun perekat berbasis urea-formaldehida (UF) masih mendominasi pasar, segmen perekat berbasis biomassa menunjukkan laju pertumbuhan yang lebih tinggi dibandingkan sistem konvensional. Perekat berbasis kedelai, misalnya, diproyeksikan menjadi salah satu segmen dengan pertumbuhan tercepat akibat meningkatnya kebutuhan perekat bebas formaldehida (Grand View Research, 2024).

Di sisi lain, pasar perekat berbasis biomassa secara global diperkirakan mencapai nilai sekitar USD 4,5–25,8 miliar dan diproyeksikan terus meningkat dengan laju pertumbuhan tahunan sekitar 6–11%, bergantung pada segmen aplikasi dan klasifikasi produk. Industri pengolahan kayu dan furnitur menjadi salah satu sektor utama yang mendorong peningkatan penggunaan perekat berbasis biomassa karena adanya tuntutan terhadap produk dengan emisi volatil organik (VOC) yang rendah dan peningkatan standar bangunan hijau (Emergen Research, 2024).

Dalam konteks tersebut, perekat berbasis asam organik dan sakarida memiliki peluang yang besar untuk dikembangkan menuju skala komersial. Sistem ini memiliki beberapa keunggulan strategis, antara lain penggunaan bahan baku terbarukan yang melimpah, potensi emisi formaldehida mendekati nol, serta kompatibilitas dengan limbah biomassa lokal. Dengan meningkatnya kecenderungan industri menuju sistem perekat rendah emisi dan bebas formaldehida, sistem perekat berbasis asam organik–sakarida berpotensi menjadi generasi baru perekat hayati yang dapat menjembatani kebutuhan performa teknis dan keberlanjutan industri biokomposit.

Aplikasi perekat hayati pada produk biokomposit melibatkan interaksi kompleks antara perekat, substrat lignoselulosa, serta parameter proses seperti suhu, tekanan, dan waktu pengepresan. Dalam konteks ini, kinerja perekat tidak hanya diukur berdasarkan kekuatan ikatan awal, tetapi juga mencakup stabilitas dimensi, ketahanan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

terhadap kelembaban, serta durabilitas jangka panjang dalam kondisi lingkungan tertentu. Oleh karena itu, evaluasi aplikasi perekat hayati perlu dilakukan secara komprehensif dengan mempertimbangkan berbagai aspek tersebut.

Perekat berbasis asam organik dan sakarida menunjukkan karakteristik yang unik dalam aplikasinya, terutama karena adanya mekanisme pembentukan ikatan kimia yang dipengaruhi oleh kondisi termal. Proses pemanasan tidak hanya berfungsi sebagai tahap pengeringan, tetapi juga sebagai tahap reaksi kimia yang menentukan terbentuknya jaringan polimer perekat. Hal ini menyebabkan parameter proses menjadi faktor yang sangat kritis dalam menentukan keberhasilan aplikasi, sehingga optimasi kondisi proses menjadi bagian integral dari pengembangan teknologi.

Selain itu, keberagaman jenis biomassa yang digunakan sebagai bahan baku biokomposit, khususnya di wilayah tropis, menuntut adanya pendekatan formulasi perekat yang adaptif. Perbedaan komposisi kimia, ukuran partikel, serta sifat permukaan material lignoselulosa dapat mempengaruhi interaksi dengan perekat dan pada akhirnya menentukan kualitas produk yang dihasilkan. Dengan demikian, aplikasi perekat hayati tidak dapat dilakukan dengan pendekatan satu formulasi untuk semua jenis biomassa, melainkan memerlukan penyesuaian yang spesifik.

Dalam penelitian yang dilakukan, berbagai aplikasi perekat berbasis asam organik dan sakarida telah dikaji pada beberapa jenis produk biokomposit, termasuk papan partikel, kayu lapis, dan produk berbasis lignoselulosa lainnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem perekat ini mampu menghasilkan kinerja yang kompetitif dibandingkan dengan perekat sintetis, terutama dalam hal kekuatan mekanik dan ketahanan terhadap kondisi tertentu, dengan tetap mempertahankan keunggulan dalam aspek lingkungan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

A. Aplikasi Perekat Hayati Berbasis Asam Organik dan Sakarida untuk Kayu Lapis

1. Analisis Suhu dan Waktu Kempa

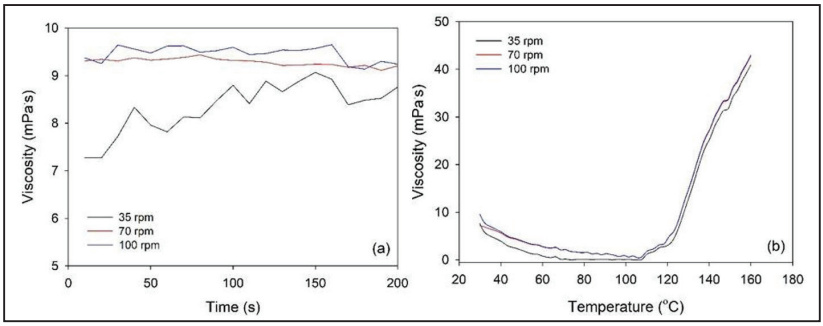
Salah satu aspek penting dalam aplikasi perekat hayati pada kayu lapis adalah pengendalian sifat reologi dan perilaku termal perekat selama proses pengepresan (Sutiawan, Hermawan, et al., 2022; Sutiawan, Syahfitri, et al., 2024; Triwibowo et al., 2025). Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa viskositas perekat asam sitrat dipengaruhi secara signifikan oleh kecepatan geser, waktu, dan suhu.

Pada kecepatan rendah, viskositas meningkat secara bertahap seiring waktu, yang mengindikasikan terjadinya pembentukan struktur internal akibat interaksi molekul yang progresif. Sebaliknya, pada kecepatan tinggi, viskositas cenderung stabil, menunjukkan sistem yang lebih homogen dan mampu mempertahankan kestabilan alir di bawah gangguan mekanik (Sutiawan, Hermawan, et al., 2022).

Pengaruh suhu menunjukkan pola yang khas, di mana viskositas menurun hingga sekitar 120 °C akibat peningkatan mobilitas molekul, kemudian meningkat tajam yang mengindikasikan awal reaksi kimia, seperti esterifikasi atau pembentukan jaringan polimer. Hal ini menegaskan bahwa suhu berperan ganda, yaitu sebagai pengontrol sifat alir sekaligus pemicu reaksi kimia dalam sistem perekat. Gambar 2 menunjukkan perubahan viskositas perekat sebagai fungsi kecepatan dan suhu, yang mencerminkan transisi dari sistem fluida ke sistem reaktif (Sutiawan, Hermawan, et al., 2022).

Analisis termal melalui DSC memperlihatkan bahwa perekat asam sitrat mengalami dua jenis transisi, yaitu eksoterm dan endoterm. Peningkatan laju pemanasan menyebabkan pergeseran suhu puncak reaksi ke arah yang lebih tinggi, yang menunjukkan bahwa kinetika reaksi dipengaruhi oleh kondisi pemanasan (Sutiawan, Hermawan, et al., 2022).

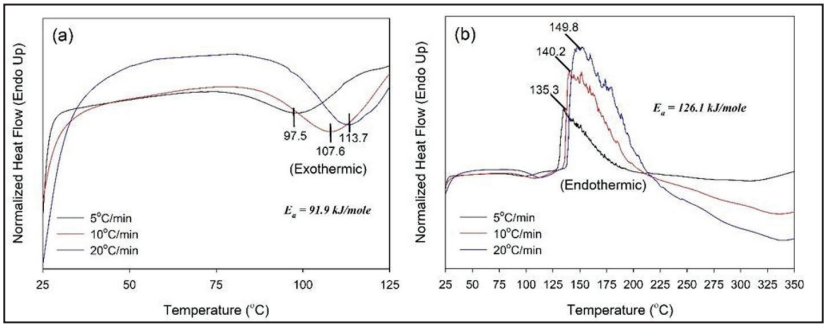
Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: (Sutiawan, Hermawan, et al., 2022)

Gambar 2. Viskositas perekat berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai komposisi penambahan molasis untuk aplikasi kayu lapis

Nilai energi aktivasi yang relatif tinggi menunjukkan bahwa proses pembentukan ikatan kimia memerlukan energi yang cukup, namun dapat berlangsung lebih efisien pada kondisi pemanasan yang tepat. Hal ini menjadi dasar dalam menentukan parameter proses pengepresan yang optimal. Gambar 3 menunjukkan profil transisi termal perekat pada berbagai laju pemanasan (Sutiawan, Hermawan, et al., 2022).



Sumber: (Sutiawan, Hermawan, et al., 2022)

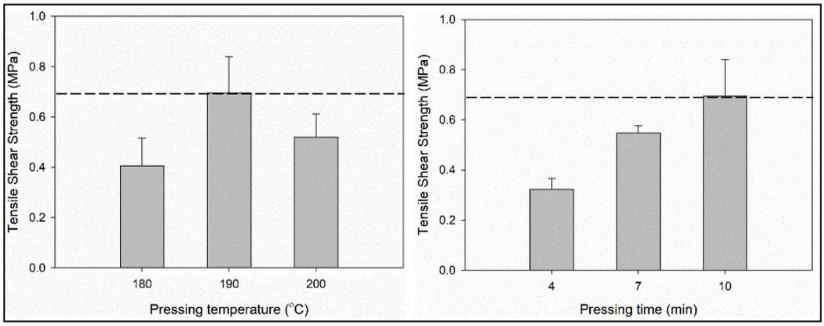
Gambar 3. Analisis termal perekat berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai komposisi penambahan molasis untuk aplikasi kayu lapis

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Dari sisi performa mekanik, suhu pengepresan memiliki pengaruh langsung terhadap kekuatan tarik geser kayu lapis. Nilai kekuatan tertinggi diperoleh pada suhu sekitar 190 °C, yang menunjukkan kondisi optimum untuk aktivasi perekat dan penetrasi ke dalam struktur kayu (Sutiawan, Hermawan, et al., 2022).

Pada suhu yang lebih rendah, reaksi kimia belum berlangsung sempurna, sedangkan pada suhu yang lebih tinggi terjadi indikasi degradasi termal atau *over-curing*. Hal ini menunjukkan bahwa rentang suhu optimum relatif sempit dan perlu dikendalikan secara presisi.

Waktu pengepresan juga menunjukkan tren yang serupa, di mana peningkatan waktu hingga 10 menit meningkatkan kekuatan perekatan secara signifikan. Waktu yang terlalu singkat tidak memungkinkan terbentuknya ikatan kimia yang optimal, sedangkan waktu yang terlalu lama berpotensi menyebabkan penurunan kualitas akibat degradasi (Sutiawan, Hermawan, et al., 2022). Gambar 4 menunjukkan pengaruh suhu dan waktu kempa terhadap kekuatan tarik geser kayu lapis (Sutiawan, Hermawan, et al., 2022).



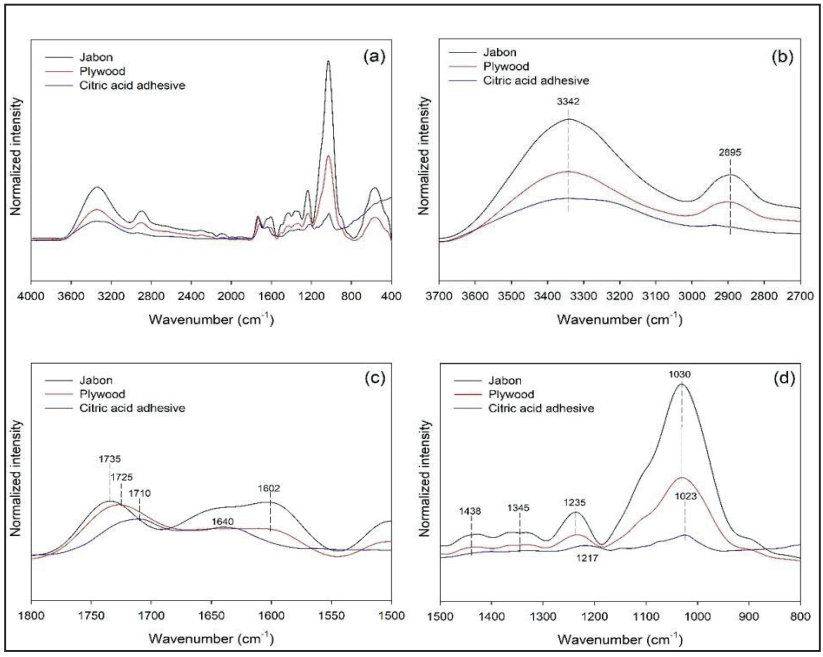
Sumber: (Sutiawan, Hermawan, et al., 2022)

Gambar 4. Kualitas perekatan kayu lapis berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai suhu dan waktu kempa

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Analisis FT-IR memberikan bukti yang memperkuat terjadinya interaksi kimia antara perekat dan substrat lignoselulosa. Peningkatan intensitas pita karbonil (C=O) serta perubahan pada gugus hidroksil menunjukkan terbentuknya ikatan ester sebagai mekanisme utama perekatan.

Interaksi ini juga didukung oleh keterlibatan ikatan hidrogen dan perubahan pada gugus C–O, yang secara keseluruhan membentuk jaringan ikatan yang stabil secara kimia dan mekanik. Gambar 5 menunjukkan spektrum FT-IR yang mengkonfirmasi pembentukan ikatan kimia dalam sistem kayu lapis (Sutiawan, Hermawan, et al., 2022).



Sumber: (Sutiawan, Hermawan, et al., 2022)

Gambar 5. Analisis gugus fungsi kayu lapis berbasis asam organik dan sakarida

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Secara konseptual, mekanisme perekatan dapat dijelaskan melalui reaksi esterifikasi antara gugus karboksilat asam sitrat dan gugus hidroksil lignoselulosa. Proses ini menghasilkan jaringan ikatan silang yang memperkuat kohesi antar lapisan kayu, terutama pada kondisi suhu tinggi yang mampu mengaktivasi gugus fungsional secara maksimal.

2. Analisis Penambahan Molasis

Modifikasi perekat melalui penambahan molasis memberikan pendekatan yang lebih kontekstual dalam pemanfaatan sumber daya biomassa (Augustina et al., 2025; Saad et al., 2025; Sutiawan, Syahfitri, et al., 2023, 2024; Syahfitri et al., 2024). Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio molasis dan asam sitrat memengaruhi secara signifikan sifat fisik dan kimia perekat.

Peningkatan kandungan asam sitrat menyebabkan penurunan waktu gelatinasi serta viskositas, yang menunjukkan peningkatan reaktivitas sistem. Selain itu, penurunan pH menunjukkan dominasi sifat asam yang berperan dalam mempercepat reaksi kimia selama proses pengepresan.

Formulasi dengan rasio seimbang menunjukkan kombinasi terbaik antara kestabilan, reaktivitas, dan kemudahan aplikasi. Tabel 1 menunjukkan karakteristik perekat MOCA pada berbagai komposisi (Sutiawan, Syahfitri, et al., 2024).

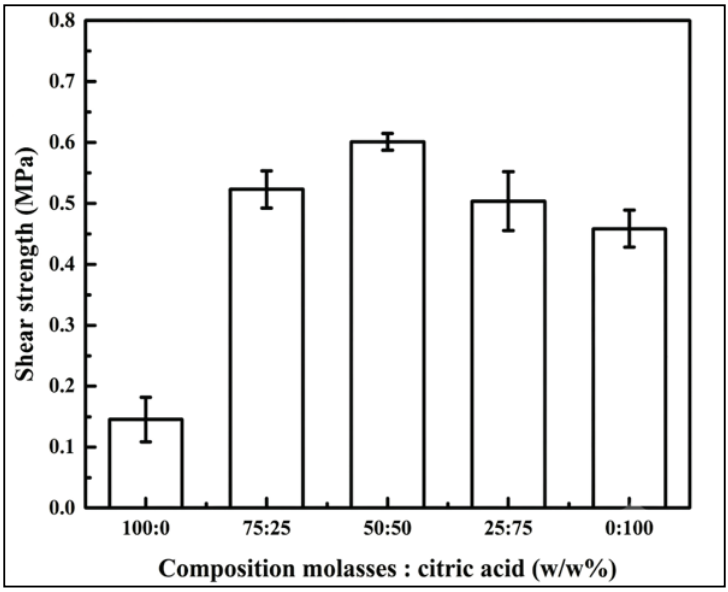
Dari sisi mekanik, kekuatan geser kayu lapis meningkat secara signifikan pada formulasi dengan rasio seimbang, yang menunjukkan bahwa interaksi antara molasis dan asam sitrat mampu menghasilkan sistem perekatan yang efektif.

Sebaliknya, formulasi ekstrem menunjukkan performa yang lebih rendah, yang mengindikasikan keterbatasan dalam pembentukan jaringan ikatan kimia yang stabil. Gambar 6 menunjukkan pengaruh komposisi MOCA terhadap kekuatan perekatan kayu lapis (Sutiawan, Syahfitri, et al., 2024).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Tabel 1. Karakteristik perekat berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai komposisi penambahan molasis untuk aplikasi kayu lapis

Composition MO:CA (w/w%)	Gelation time (min)	pH	Solid content (%)	Viscosity (mPa·s)
100:0	5,90	4,40	55,48	152,69
75:25	2,40	2,08	56,44	116,13
50:50	2,00	1,49	55,60	56,47
25:75	2,80	0,90	54,93	29,48
0:100	12,90	0,22	58,82	11,98



Sumber: (Sutiawan, Syahfitri, et al., 2024)

Gambar 6. Kualitas perekatan kayu lapis berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai komposisi penambahan molasis

Buku ini tidak diperjualbelikan.

3. Analisis Penambahan Tepung Porang

Penambahan tepung porang sebagai bahan alami memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat fisik perekat, terutama dalam meningkatkan kandungan padatan dan menstabilkan pH sistem (Abdillah et al., 2025).

Peningkatan kandungan padatan menunjukkan bahwa sistem menjadi lebih pekat dan berpotensi meningkatkan jumlah material aktif dalam proses perekatan. Sementara itu, kenaikan pH menunjukkan bahwa sistem menjadi lebih moderat dan stabil secara kimia. Tabel 2 menunjukkan perubahan karakteristik perekat akibat penambahan tepung porang (Abdillah et al., 2025).

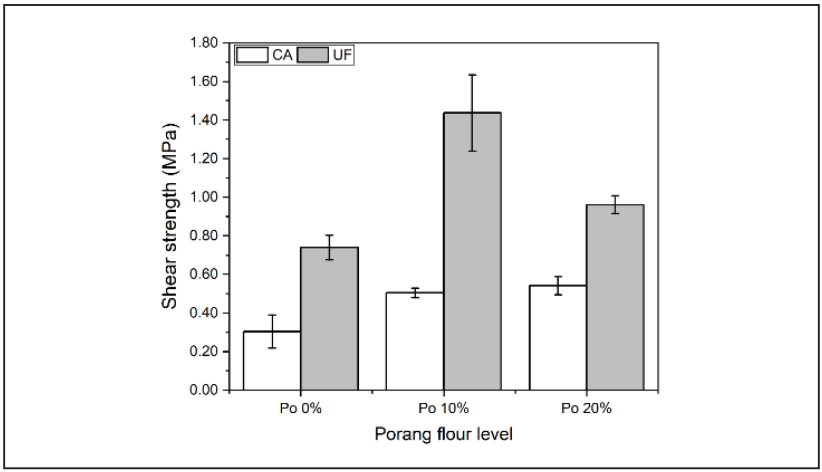
Tabel 2. Karakteristik perekat berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai komposisi penambahan porang

Adhesive	Solid Content (%)	pH Value
CA + Po 0%	58,43	1
CA + Po 10%	70,93	4
CA + Po 20%	79,53	4

Dari sisi performa mekanik, penambahan porang secara bertahap meningkatkan kekuatan geser kayu lapis. Hal ini menunjukkan bahwa gugus hidroksil dalam porang berkontribusi dalam pembentukan interaksi kimia maupun fisik dalam jaringan perekat. Gambar 7 menunjukkan peningkatan kekuatan perekatan akibat penambahan porang (Abdillah et al., 2025).

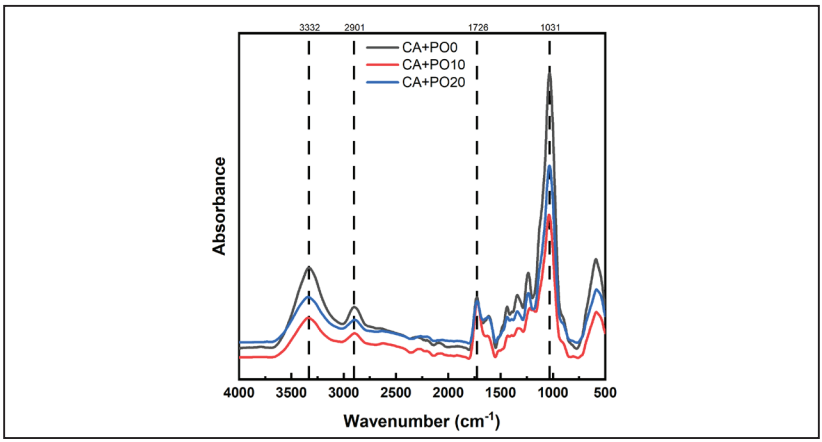
Analisis FT-IR menunjukkan peningkatan intensitas pita karbonil serta perubahan pada gugus hidroksil, yang mengindikasikan terbentuknya ikatan ester dan keterlibatan porang dalam jaringan polimer. Gambar 8 menunjukkan perubahan gugus fungsi akibat penambahan porang dalam sistem perekat.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: (Abdillah et al., 2025)

Gambar 7. Kualitas perekatan kayu lapis berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai komposisi penambahan porang.



Sumber: (Abdillah et al., 2025)

Gambar 8. Analisis gugus fungsi kayu lapis berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai komposisi penambahan porang

Buku ini tidak diperjualbelikan.

4. Analisis Perbandingan Perekat Berbasis Asam Organik

Perbandingan antar jenis perekat menunjukkan bahwa masing-masing sistem memiliki karakteristik yang berbeda, baik dari sisi reaktivitas maupun stabilitas (Sutiawan, Hartono, et al., 2023; Sutiawan, Hermawan, Hadi, Nawawi, Kusumah, Ningrum, et al., 2024; Sutiawan, Hermawan, Hadi, Nawawi, Kusumah, Zulfiana, et al., 2024; Sutiawan, Sudo, et al., 2022; Sutiawan, Syahfitri, et al., 2023; Syukur et al., 2025).

Perekat asam sitrat menunjukkan reaktivitas tinggi dengan viskositas rendah, yang mendukung penetrasi dan pembentukan ikatan kimia yang efektif (Sutiawan, Syahfitri, et al., 2023). Sebaliknya, molasis menunjukkan stabilitas termal yang tinggi namun reaktivitas yang lebih rendah. Tabel 3 menunjukkan karakteristik dasar berbagai jenis perekat berbasis asam organik (Sutiawan, Syahfitri, et al., 2023).

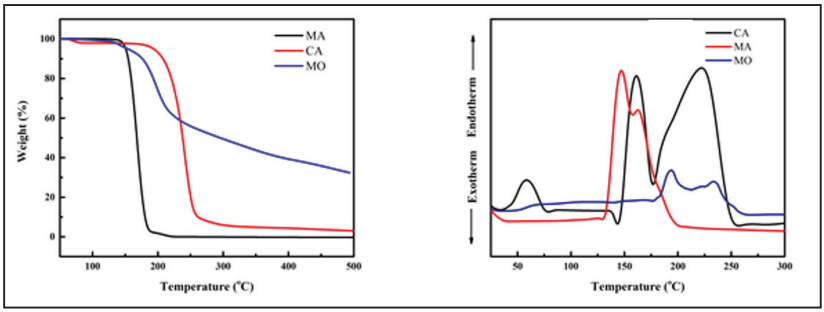
Analisis termal menunjukkan bahwa sistem dengan reaktivitas tinggi cenderung memiliki stabilitas termal yang lebih rendah, dan sebaliknya. Hal ini menunjukkan adanya *trade-off* antara reaktivitas dan ketahanan terhadap panas. Gambar 9 menunjukkan profil termal berbagai sistem perekat.

Dari sisi mekanik, perekat asam sitrat menunjukkan performa terbaik dalam menghasilkan kekuatan geser, yang menegaskan efektivitas mekanisme esterifikasi dalam sistem ini. Gambar 10 menunjukkan perbandingan kekuatan perekatan antar jenis perekat.

Tabel 3. Karakteristik perekat berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai sumber asam

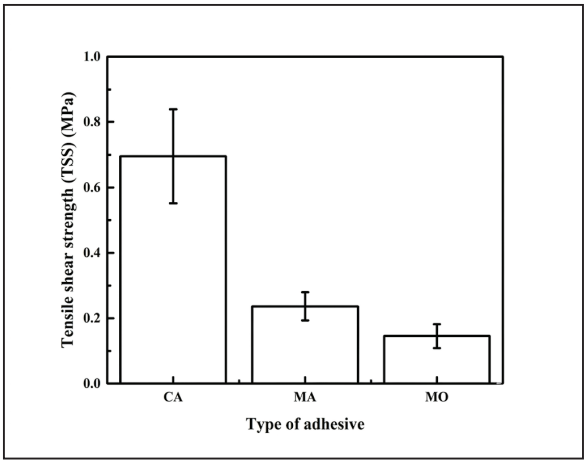
Type of Adhesive	Solid Content (%)	Gel-time (min)	pH	Viscosity (mPa.s)
CA	56,20	4,6	2,3	7,3
MA	44,23	10,3	1,17	6,5
MO	58,8	5,9	4,79	152

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: (Sutiawan, Syahfitri, et al., 2023)

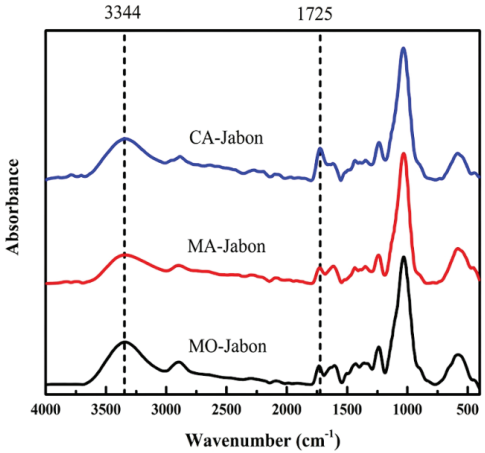
Gambar 9. Analisis termal perekat berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai sumber asam



Sumber: (Sutiawan, Syahfitri, et al., 2023)

Gambar 10. Kualitas perekatan kayu berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai sumber asam

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: (Sutiawan, Syahfitri, et al., 2023)

Gambar 11. Analisis gugus fungsi kayu lapis berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai sumber asam

Analisis FT-IR memperkuat temuan tersebut, di mana perekat asam sitrat menunjukkan pembentukan gugus ester yang paling dominan dibandingkan sistem lainnya. Gambar 11 menunjukkan perbedaan gugus fungsi pada berbagai sistem perekat.

5. Analisis Konsentrasi Optimum Asam Sitrat

Konsentrasi perekat merupakan parameter penting dalam menentukan keseimbangan antara sifat fisik dan reaktivitas kimia (Aulia et al., 2025). Peningkatan konsentrasi asam sitrat menyebabkan peningkatan viskositas dan kandungan padatan, yang berpotensi meningkatkan pembentukan ikatan kimia.

Namun demikian, peningkatan keasaman juga perlu dikendalikan agar tidak menyebabkan degradasi material. Tabel 4 menunjukkan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Tabel 4. Karakteristik perekat berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai konsentrasi

No	Sample	Viscosity (MPa·s)	SC (%)	pH
1	CA 59 (A)	11,18	58,82	0,22
2	CA 69 (B)	24,18	62,94	0,23
3	CA 79 (C)	21,49	62,38	0,16

karakteristik perekat pada berbagai konsentrasi asam sitrat (Aulia et al., 2025).

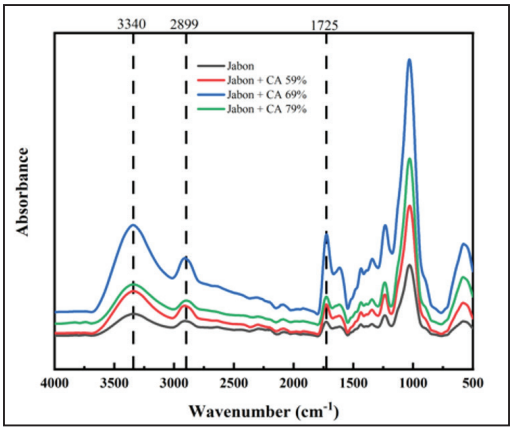
Dari sisi mekanik, konsentrasi menengah menunjukkan performa terbaik dalam hal keseimbangan antara kekakuan, kekuatan patah, dan kekuatan geser. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat titik optimum dalam formulasi perekat. Tabel 5 menunjukkan sifat mekanik kayu lapis pada berbagai konsentrasi perekat (Aulia et al., 2025).

Tabel 5. Karakteristik kayu lapis berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai konsentrasi

Parameter	MOE (GPa)	MOR (MPa)	TSS (MPa)
CA 59 (A)	6,54 (0,30)^{b}	26,06 (10,18)^{a}	0,70 (0,14)^{a}
CA 69 (B)	5,93 (0,36)^{b}	49,75 (16,46)^{a}	0,87 (0,05)^{a}
CA 79 (C)	5,12 (0,23)^{a}	50,16 (1,36)^{a}	0,77 (0,04)^{a}

Analisis FT-IR menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi asam sitrat memperkuat pembentukan gugus ester, yang berkontribusi langsung terhadap peningkatan kekuatan perekatan. Gambar 12 menunjukkan perubahan gugus fungsi pada berbagai konsentrasi perekat.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: (Aulia et al., 2025)

Gambar 12. Analisis gugus fungsi perekat berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai konsentrasi

B. Aplikasi Perekat Hayati Berbasis Asam Organik dan Sakarida untuk Papan Partikel

1. Analisis Kadar Perekat Optimum

Salah satu aspek kunci dalam pengembangan perekat hayati adalah penentuan kadar perekat optimum yang mampu menghasilkan kinerja perekatan yang memadai tanpa mengorbankan efisiensi proses (Bahanawan et al., 2019; Gopar et al., 2022; Kusumah et al., 2016; Sutiawan, Hermawan, Hadi, Nawawi, Kusumah, Ningrum, et al., 2024; Syamani et al., 2018; Widodo et al., 2020). Dalam konteks pencarian bahan perekat yang efektif sekaligus ramah lingkungan, perhatian khusus kemudian diarahkan pada asam sitrat (CA), sebuah senyawa organik yang menawarkan karakteristik kimia unik dan potensi aplikasi luas.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

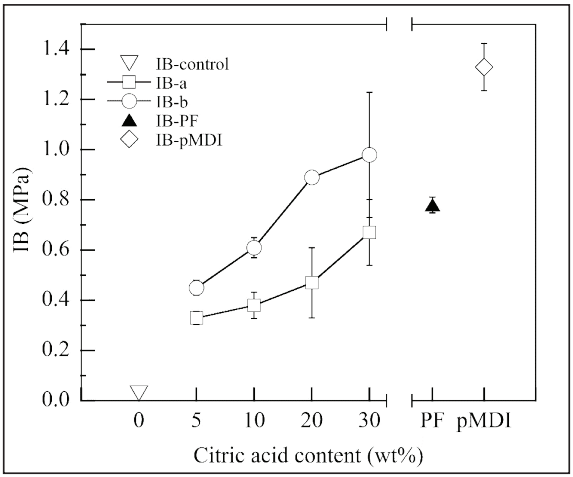
Asam organik, termasuk asam sitrat dan berbagai asam polikarboksilat, memiliki kemampuan untuk berinteraksi dengan material lignoselulosa melalui mekanisme esterifikasi terhadap gugus hidroksil. Proses ini menghasilkan ikatan kovalen yang cukup stabil, sehingga meningkatkan kekuatan serta ketahanan sistem perekat. Selain itu, pada kondisi pemanasan tertentu, asam organik dapat membentuk anhidrida reaktif yang berperan dalam mempercepat terjadinya ikatan silang (*crosslinking*) di dalam jaringan perekat. (Dunky, 2020; Lee et al., 2020; Savero et al., 2025).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan asam sitrat sebagai perekat pada papan partikel memberikan kecenderungan peningkatan kekuatan ikatan seiring dengan meningkatnya kadar perekat yang digunakan. Pada formulasi dengan kadar asam sitrat sebesar 30%, nilai *internal bond* (IB) mendekati 1,0 MPa, yang secara signifikan lebih tinggi dibandingkan papan tanpa perekat (Kusumah et al., 2016).

Peningkatan ini mengindikasikan terjadinya interaksi kimia yang efektif antara asam sitrat dan komponen lignoselulosa. Secara khusus, gugus karboksilat dari asam sitrat bereaksi dengan gugus hidroksil pada permukaan partikel melalui mekanisme esterifikasi, sehingga membentuk ikatan kovalen yang berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan ikatan antarpartikel (Kusumah et al., 2016).

Apabila dibandingkan dengan perekat sintetis konvensional, performa perekat berbasis asam sitrat memang masih berada di bawah sistem fenol-formaldehida (PF) maupun *polymeric methylene diphenyl diisocyanate* (pMDI), di mana pMDI dapat mencapai nilai IB hingga sekitar 1,3 MPa. Namun demikian, capaian ini menunjukkan bahwa perekat hayati berbasis asam sitrat telah mampu mendekati performa teknis perekat sintetis, khususnya pada formulasi tertentu yang telah dioptimalkan (Kusumah et al., 2016).

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: (Kusumah et al., 2016)

Gambar 13. Kualitas perekatan papan partikel berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai kadar perekat

Temuan ini memiliki implikasi penting, bahwa perekat berbasis asam organik tidak hanya berfungsi sebagai alternatif ramah lingkungan, tetapi juga memiliki potensi untuk diaplikasikan secara nyata dalam industri panel kayu. Dengan optimasi formulasi yang tepat, sistem perekat ini mampu memenuhi persyaratan kekuatan yang dibutuhkan, sekaligus mendukung upaya pengurangan emisi formaldehida dan peningkatan keberlanjutan industri. Gambar 13 menunjukkan hubungan antara kadar perekat dengan kualitas perekatan papan partikel berbasis asam organik dan sakarida, yang secara konsisten memperlihatkan peningkatan performa seiring dengan bertambahnya kadar perekat (Kusumah et al., 2016).

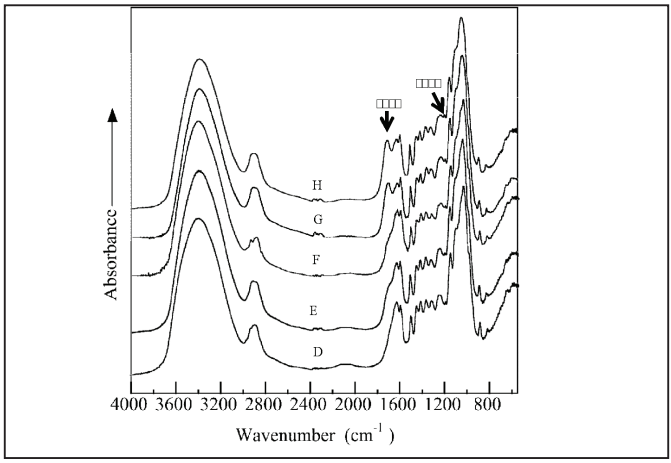
Lebih lanjut, hasil analisis spektroskopi inframerah (FT-IR) memberikan bukti yang memperkuat temuan tersebut. Peningkatan kadar asam sitrat dari 0 hingga 30% menghasilkan intensitas pita serapan yang semakin jelas pada daerah sekitar 1727 cm^{-1} dan 1245 cm^{-1}. Pita

Buku ini tidak diperjualbelikan.

ini berkaitan dengan vibrasi gugus ester, yang menandakan terbentuknya ikatan kimia antara asam sitrat dan lignoselulosa (Kusumah et al., 2016).

Sebaliknya, pada formulasi tanpa penambahan asam sitrat, pita serapan tersebut tidak terdeteksi, yang menunjukkan bahwa tidak terjadi reaksi kimia yang signifikan antar komponen. Hal ini menegaskan bahwa keberadaan asam sitrat tidak hanya berperan sebagai bahan pengikat secara fisik, tetapi juga sebagai agen reaktif yang membentuk jaringan ikatan kimia yang stabil.

Hal yang menarik, ikatan ester yang terbentuk tetap terdeteksi bahkan setelah perlakuan siklus perendaman-pengeringan/*cyclic aging treatment*, yang menunjukkan bahwa sistem perekat ini memiliki stabilitas yang cukup baik terhadap degradasi lingkungan. Dengan demikian, peningkatan kadar asam sitrat tidak hanya meningkatkan kekuatan awal, tetapi juga berkontribusi terhadap durabilitas jangka panjang papan partikel. Gambar 14 memperlihatkan spektrum FT-



Sumber: (Kusumah et al., 2016)

Gambar 14. Analisis gugus fungsi perekatan papan partikel berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai kadar perekat

Buku ini tidak diperjualbelikan.

IR yang menggambarkan perubahan gugus fungsi sebagai bukti terbentuknya ikatan kimia dalam sistem perekat berbasis asam organik dan sakarida.

2. Analisis Suhu dan Waktu Kempa

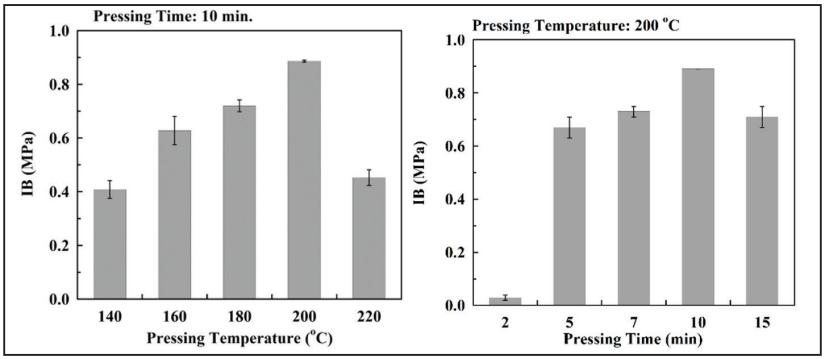
Suhu dan waktu kempa merupakan parameter proses yang sangat menentukan dalam pembentukan ikatan kimia pada sistem perekat hayati berbasis asam organik (Kusumah, Umemura, et al., 2017; Kusumah, Santosa, et al., 2025; Sutiawan, Hartono, et al., 2023). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan waktu pengepresan dari 2 hingga 10 menit secara konsisten meningkatkan nilai *internal bond* (IB), yang mencerminkan semakin efektifnya proses pembentukan ikatan antar partikel (Kusumah, Umemura, et al., 2017).

Kondisi optimum dicapai pada waktu pengepresan 10 menit, di mana reaksi esterifikasi antara gugus karboksilat asam sitrat dan gugus hidroksil lignoselulosa berlangsung secara maksimal. Namun demikian, perpanjangan waktu hingga 15 menit justru menyebabkan penurunan nilai IB. Hal ini mengindikasikan terjadinya degradasi termal atau kerusakan struktur akibat paparan panas yang berlebihan, sehingga mengurangi integritas ikatan yang telah terbentuk (Kusumah, Umemura, et al., 2017).

Selain waktu, suhu kempa juga berperan krusial dalam mengaktivasi reaksi kimia dalam sistem perekat. Peningkatan suhu dari 140 °C hingga 200 °C menunjukkan tren peningkatan kekuatan ikatan yang signifikan. Suhu 200 °C merupakan kondisi optimum yang mampu memfasilitasi pembentukan ikatan ester secara intensif dan menghasilkan struktur perekatan yang kuat dan stabil (Kusumah, Umemura, et al., 2017).

Sebaliknya, peningkatan suhu hingga 220 °C menyebabkan penurunan nilai IB, yang menunjukkan bahwa suhu yang terlalu tinggi dapat memicu degradasi termal komponen lignoselulosa maupun

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: (Kusumah, Umemura, et al., 2017)

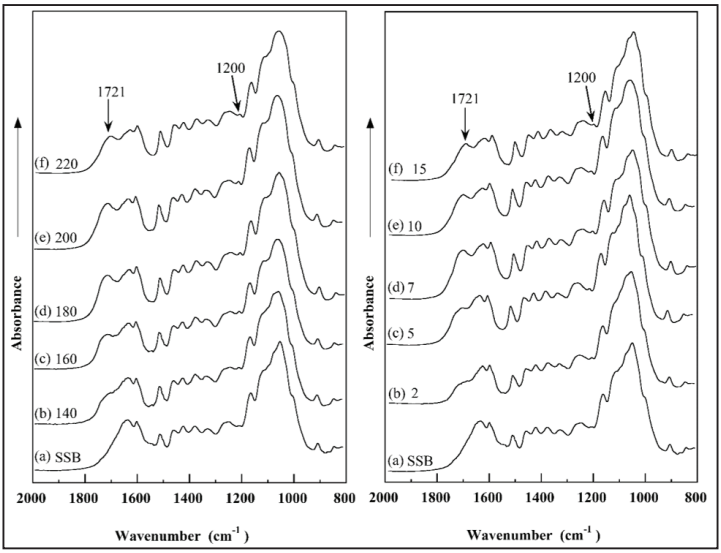
Gambar 15. Kualitas perekatan papan partikel berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai suhu dan waktu kempa

perekat itu sendiri. Oleh karena itu, pengendalian suhu dan waktu kempa secara simultan menjadi kunci dalam menghasilkan papan partikel dengan performa optimal. Gambar 15 menunjukkan pengaruh suhu dan waktu kempa terhadap kualitas perekatan papan partikel, dengan performa optimum pada kondisi 200 °C selama 10 menit (Kusumah, Umemura, et al., 2017).

Hasil analisis FT-IR memperkuat temuan tersebut, di mana peningkatan suhu dan waktu kempa menghasilkan intensitas pita serapan yang semakin jelas pada sekitar 1721 cm^{-1} dan 1200 cm^{-1}. Pita ini berkaitan dengan gugus ester yang terbentuk akibat reaksi antara asam sitrat dan lignoselulosa (Kusumah, Umemura, et al., 2017).

Formulasi pada suhu 200 °C dan waktu 10 menit menunjukkan intensitas pita tertinggi, yang menandakan terbentuknya ikatan kimia paling optimal. Sebaliknya, pada kondisi ekstrem, intensitas pita cenderung menurun, yang mengindikasikan kemungkinan degradasi struktur kimia. Gambar 16 memperlihatkan spektrum FT-IR sebagai bukti pembentukan ikatan ester pada berbagai kondisi suhu dan waktu kempa (Kusumah, Umemura, et al., 2017).

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: (Kusumah, Umemura, et al., 2017)

Gambar 16. Analisis gugus fungsi perekatan papan partikel berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai suhu dan waktu kempa

3. Analisis Penambahan Sukrosa

Modifikasi sistem perekat melalui penambahan sukrosa bertujuan untuk meningkatkan karakteristik reologi dan stabilitas kimia larutan perekat (Kusumah, Arinana, et al., 2017; Kusumah, Massijaya, et al., 2020; Kusumah, Santosa, et al., 2025; Kusumah, Syamani, et al., 2025; Lin et al., 2023; Massijaya, Laksana, et al., 2024; Massijaya, Lubis, et al., 2024; Tampubolon et al., 2022; Wibowo et al., 2021). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan proporsi sukrosa dalam campuran asam sitrat–sukrosa menyebabkan kenaikan viskositas serta peningkatan nilai pH menuju kondisi yang lebih moderat (Kusumah, Arinana, et al., 2017).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

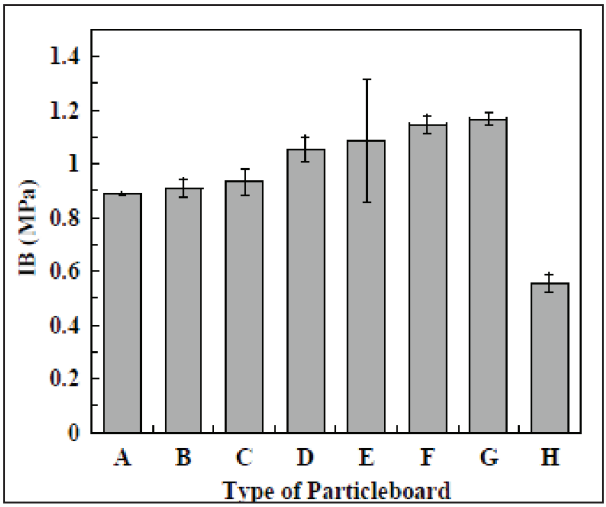
Tabel 6. Karakteristik perekat berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai komposisi penambahan sukrosa

Type of particleboard	Mixture ratio of CA to SU (wt%)	Concentration (wt%)	Viscosity at 20 °C (mPa·s)	pH
A	100:0	59	30	0,30
B	75:25		21	0,55
C	50:50		22	1,00
D	25:75		25	1,25
E	20:80		50	1,26
F	15:85		50	1,36
G	10:90		60	1,55
H	0:100		70	2,77

Pada sistem asam sitrat murni, viskositas relatif rendah dengan tingkat keasaman yang tinggi. Penambahan sukrosa secara bertahap meningkatkan viskositas hingga mencapai kondisi yang lebih sesuai untuk aplikasi, sekaligus menurunkan tingkat keasaman ekstrem. Hal ini menunjukkan bahwa sukrosa berperan sebagai pengatur sifat alir dan penyeimbang sistem kimia perekat. Tabel 6 menunjukkan karakteristik perekat berbasis asam organik–sakarida pada berbagai rasio komposisi (Kusumah, Arinana, et al., 2017).

Dari sisi performa mekanik, nilai IB meningkat seiring dengan penyesuaian rasio campuran hingga mencapai kondisi optimum pada komposisi tertentu (tipe F–G). Hal ini menunjukkan bahwa interaksi antara asam sitrat (CA) dan sukrosa (SU) mampu membentuk sistem reaktif yang lebih efektif dibandingkan penggunaan komponen tunggal (Kusumah, Arinana, et al., 2017).

Buku ini tidak diperjualbelikan.



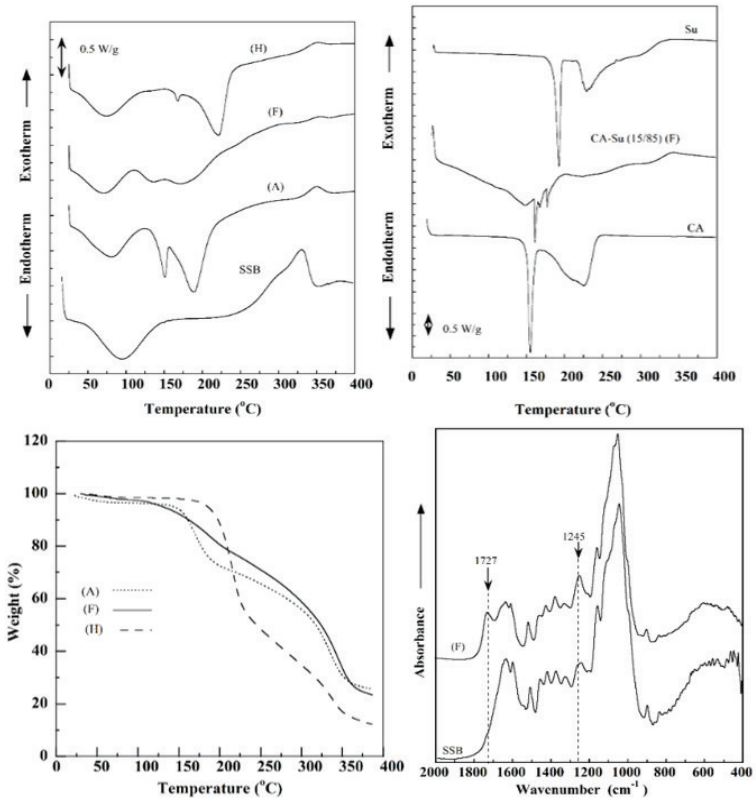
Sumber: (Kusumah, Arinana, et al., 2017)

Gambar 17. Kualitas perekatan papan partikel berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai komposisi penambahan sukrosa

Sebaliknya, penggunaan sukrosa murni menghasilkan penurunan performa yang signifikan, yang menegaskan bahwa peran utama dalam pembentukan ikatan kimia tetap didominasi oleh asam sitrat, sementara sukrosa berfungsi sebagai komponen pendukung (Kusumah, Arinana, et al., 2017). Gambar 17 menunjukkan hubungan antara komposisi campuran dengan kualitas perekatan papan partikel.

Analisis termal melalui DSC menunjukkan bahwa formulasi optimum memiliki puncak eksoterm yang lebih tajam, yang mengindikasikan reaksi kimia yang lebih intens dan terkontrol. Sementara itu, analisis TGA menunjukkan bahwa formulasi tersebut memiliki stabilitas termal yang lebih tinggi, ditandai dengan laju degradasi yang lebih lambat.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: (Kusumah, Arinana, et al., 2017)

Gambar 18. Analisis termal dan gugus fungsi perekatan papan partikel berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai komposisi penambahan sukrosa

Hasil FT-IR memperlihatkan munculnya pita ester yang kuat pada sekitar 1727 cm^{-1} dan 1245 cm^{-1}, yang tetap terdeteksi setelah perlakuan penuaan, menunjukkan stabilitas ikatan kimia yang terbentuk. Gambar 18 menunjukkan analisis termal dan gugus fungsi yang mengkonfirmasi terbentuknya sistem perekat yang reaktif dan stabil.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

4. Analisis Penambahan Katalis

Penambahan katalis $ZnCl_2$ bertujuan untuk meningkatkan reaktivitas sistem perekat melalui peningkatan keasaman dan percepatan reaksi esterifikasi (Wibowo et al., 2021). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan $ZnCl_2$ secara signifikan menurunkan pH sistem, tanpa memengaruhi viskositas larutan secara berarti.

Penurunan pH ini mengindikasikan peningkatan potensi reaksi kimia, sehingga mempercepat pembentukan ikatan antar komponen lignoselulosa. Formulasi dengan konsentrasi $ZnCl_2$ moderat menunjukkan keseimbangan yang optimal antara reaktivitas dan kestabilan system. Tabel 7 menunjukkan karakteristik perekat dengan penambahan $ZnCl_2$ pada berbagai konsentrasi (Wibowo et al., 2021).

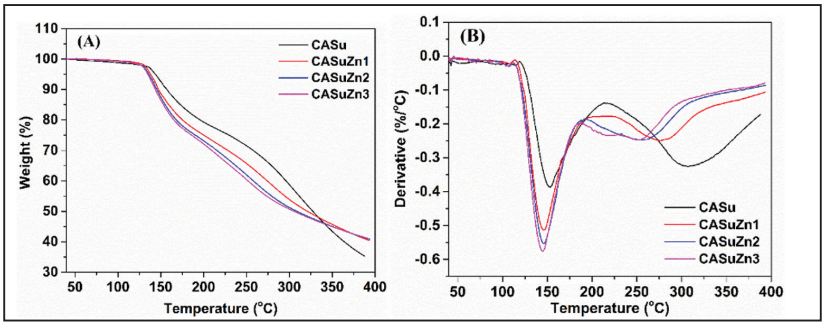
Tabel 7. Karakteristik perekat berbasis asam organik dan sakarida yang dimodifikasi dengan berbagai konsentrasi $ZnCl_2$.

Adhesive Code	Addition of $ZnCl_2$	pH	Viscosity (cP)
CASu	0%	1,85	40
CASuZn1	1%	1,10	40
CASuZn2	2%	0,95	40
CASuZn3	3%	0,81	40

Analisis termal menunjukkan bahwa penambahan $ZnCl_2$ dalam jumlah moderat meningkatkan stabilitas termal perekat, ditandai dengan laju degradasi yang lebih lambat. Namun, pada konsentrasi yang terlalu tinggi, terjadi percepatan degradasi yang dapat menurunkan performa sistem. Gambar 19 menunjukkan profil degradasi termal perekat yang dimodifikasi dengan $ZnCl_2$ (Wibowo et al., 2021).

Hasil DSC menunjukkan peningkatan intensitas puncak termal

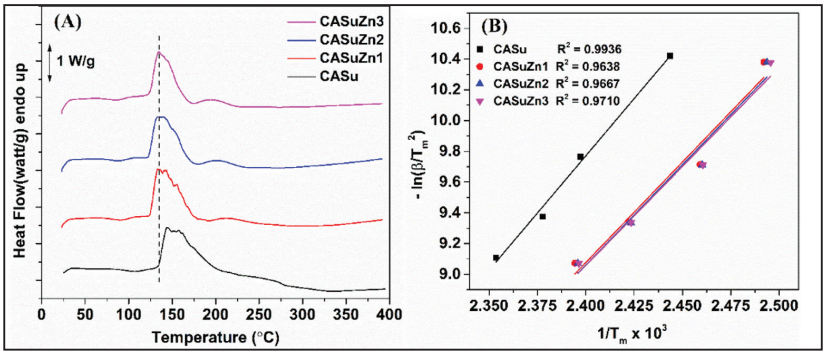
Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: (Wibowo et al., 2021)

Gambar 19. Analisis termal perekat berbasis asam organik dan sakarida yang dimodifikasi dengan berbagai konsentrasi $ZnCl_2$.

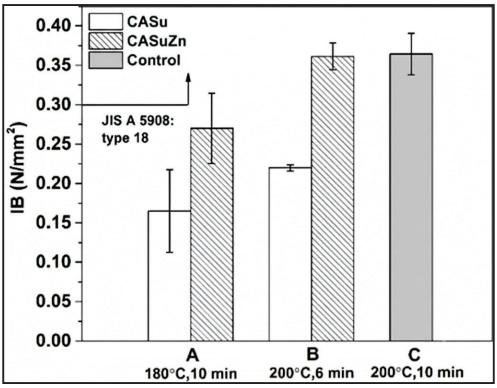
pada formulasi dengan katalis, yang mengindikasikan peningkatan efisiensi reaksi. Selain itu, analisis kinetika menunjukkan bahwa seluruh sistem mengikuti model reaksi yang linier dengan korelasi tinggi. Gambar 20 menunjukkan analisis termal dan kinetika reaksi sistem perekat.



Sumber: (Wibowo et al., 2021)

Gambar 20. Analisis termal dan kinetika perekat berbasis asam organik dan sakarida yang dimodifikasi dengan berbagai konsentrasi $ZnCl_2$.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: (Wibowo et al., 2021)

Gambar 21. Kualitas perekatan papan partikel berbasis asam organik dan sakarida yang dimodifikasi dengan berbagai konsentrasi $ZnCl_2$.

Dari sisi performa mekanik, penambahan $ZnCl_2$ terbukti meningkatkan nilai IB secara signifikan hingga melampaui standar JIS A 5908 (Wibowo et al., 2021).. Hal ini menegaskan bahwa katalis tidak hanya meningkatkan reaktivitas kimia, tetapi juga memperkuat ikatan struktural papan partikel. Gambar 21 menunjukkan peningkatan kualitas perekatan akibat penambahan $ZnCl_2$.

5. Analisis Penambahan Molasis

Pemanfaatan molasis sebagai sumber sakarida teknis memberikan pendekatan yang lebih kontekstual terhadap pemanfaatan biomassa lokal (Augustina et al., 2025; Saad et al., 2025; Sutiawan, Syahfitri, et al., 2023, 2024; Syahfitri et al., 2024). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan proporsi asam sitrat dalam sistem molasis–asam sitrat (MOCA) secara signifikan meningkatkan reaktivitas perekat.

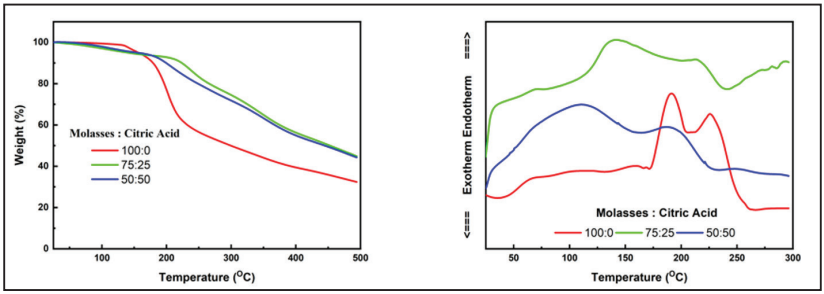
Buku ini tidak diperjualbelikan.

Tabel 8. Karakteristik perekat berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai komposisi penambahan molasis

Composition MO:CA (w/w%)	Gelation time (min)	pH	Solid content (%)	Viscosity (mPa·s)
100:0	5,90	4,40	55,48	152,69
75:25	2,40	2,08	56,44	116,13
50:50	2,00	1,49	55,60	56,47

Penurunan waktu gelatinasi serta viskositas menunjukkan bahwa sistem menjadi lebih reaktif dan mudah diproses. Selain itu, peningkatan keasaman berkontribusi terhadap percepatan pembentukan ikatan kimia selama proses pengepresan. Tabel 8 menunjukkan karakteristik perekat MOCA pada berbagai komposisi (Saad et al., 2025).

Analisis termal menunjukkan bahwa penambahan asam sitrat meningkatkan stabilitas termal sistem, yang ditandai dengan pergeseran puncak reaksi ke suhu yang lebih tinggi dan laju degradasi yang lebih lambat (Saad et al., 2025). Gambar 22 menunjukkan profil termal perekat MOCA pada berbagai komposisi.



Sumber: (Saad et al., 2025)

Gambar 22. Analisis termal perekat berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai komposisi penambahan molasis

Buku ini tidak diperjualbelikan.

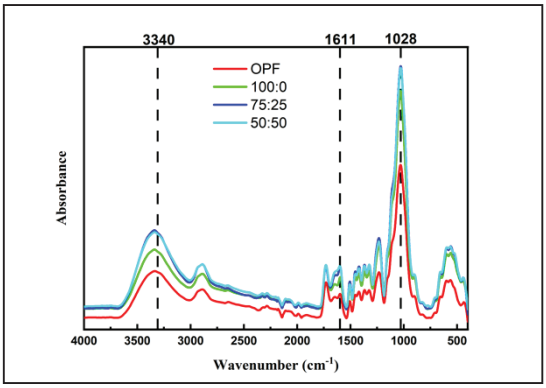
Dari sisi mekanik, peningkatan proporsi asam sitrat menghasilkan peningkatan signifikan pada MOE, MOR, kekuatan ikatan internal, dan daya pegang sekrup. Hal ini menunjukkan bahwa pembentukan ikatan ester berkontribusi langsung terhadap peningkatan integritas struktural papan partikel. Tabel 9 menunjukkan sifat mekanik papan partikel pada berbagai komposisi MOCA (Saad et al., 2025).

Hasil FT-IR memperlihatkan penurunan intensitas gugus hidroksil dan peningkatan pita karbonil, yang mengindikasikan terjadinya reaksi esterifikasi secara intensif. Hal ini menegaskan terbentuknya jaringan polimer yang lebih kuat dan stabil. Gambar 23 menunjukkan perubahan gugus fungsi sebagai bukti terbentuknya ikatan kimia dalam sistem perekat MOCA (Saad et al., 2025).

Tabel 9. Karakteristik papan partikel berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai komposisi penambahan molasis

Parameters	Composition MO:CA (w/w%)		
	100:0	75:25	50:50
MOE (GPa)	1,85 ± 0,11[a]	2,03 ± 0,27[a]	3,26 ± 0,08[b]
MOR (MPa)	6,32 ± 0,20[a]	6,53 ± 1,46[a]	12,40 ± 0,76[b]
Internal bond ($N.mm^{-2}$)	1,09 ± 0,11[a]	0,96 ± 0,20[a]	2,10 ± 0,19[b]
Screw holding strength (N)	73,18 ± 0,90[a]	80,21 ± 4,30[a]	127,08 ± 18,92[b]

Buku ini tidak diperjualbelikan.

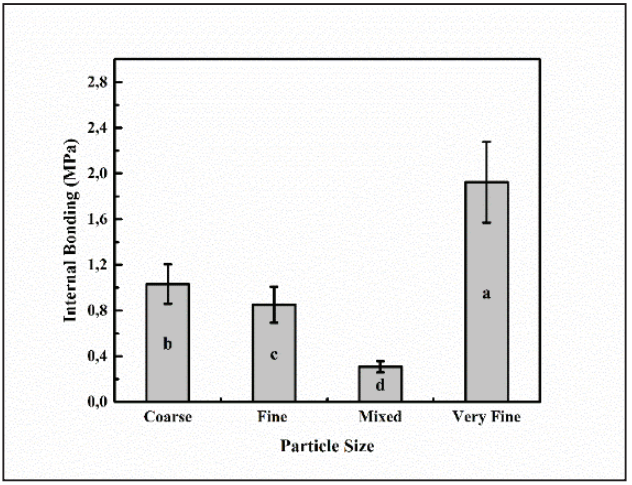


Gambar 23. Analisis gugus fungsi perekat berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai komposisi penambahan molasis

6. Analisis Ukuran Partikel

Salah satu parameter penting dalam pengembangan papan partikel berbasis perekat hayati, khususnya untuk aplikasi genteng komposit, adalah ukuran partikel bahan baku (Kartikawati et al., 2025; Syahfitri et al., 2024). Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi ukuran partikel memberikan pengaruh yang nyata terhadap kekuatan ikatan dalam (*internal bond/IB*). Gambar 24 menunjukkan pengaruh ukuran partikel terhadap nilai *internal bond* (IB) pada genteng komposit berbasis perekat hayati dengan penambahan molasis 20%, di mana ukuran partikel sangat halus memberikan performa perekatan

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: (Syahfitri et al., 2024)

Gambar 24. Kualitas perekatan papan partikel untuk genteng komposit berbasis asam organik dan sakarida pada berbagai ukuran partikel

tertinggi, sedangkan distribusi ukuran campuran menghasilkan kekuatan terendah. Penggunaan partikel berukuran sangat halus (*very fine*) menghasilkan nilai IB tertinggi, yaitu mendekati 1,9 MPa, yang secara signifikan lebih tinggi dibandingkan ukuran partikel lainnya seperti *coarse*, *fine*, maupun *mixed* (Syahfitri et al., 2024).

Peningkatan nilai IB pada ukuran partikel yang lebih halus mengindikasikan terjadinya interaksi yang lebih efektif antara perekat dan permukaan lignoselulosa. Secara ilmiah, partikel berukuran kecil memiliki luas permukaan spesifik yang lebih besar, sehingga meningkatkan area kontak dan memungkinkan terjadinya reaksi esterifikasi yang lebih intens antara gugus karboksilat dari perekat berbasis asam organik dan gugus hidroksil dari biomassa. Hal ini berkontribusi langsung terhadap pembentukan ikatan kovalen yang lebih kuat dan stabil antarpartikel (Syahfitri et al., 2024).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Sebaliknya, penggunaan partikel dengan distribusi campuran (*mixed*) menunjukkan nilai IB terendah, yaitu sekitar 0,3 MPa. Kondisi ini menunjukkan bahwa ketidakhomogenan ukuran partikel dapat menyebabkan distribusi perekat yang tidak merata serta terbentuknya rongga dalam struktur papan. Partikel kasar (*coarse*) dan halus (*fine*) memberikan nilai IB menengah, masing-masing sekitar 1,0 MPa dan 0,8 MPa, yang menunjukkan bahwa meskipun masih terjadi interaksi perekatan, efektivitasnya belum optimal dibandingkan sistem dengan partikel sangat halus (Syahfitri et al., 2024).

Apabila dikaitkan dengan aplikasi sebagai genteng komposit (Gambar 25), hasil ini memiliki implikasi penting bahwa penggunaan ukuran partikel yang lebih halus mampu menghasilkan struktur material yang lebih padat dan homogen. Selama proses pengepresan panas, partikel halus juga lebih mudah mengalami deformasi plastis, sehingga meningkatkan kontak antar permukaan dan memperkuat ikatan yang terbentuk. Hal ini menjadi faktor kunci dalam menghasilkan produk dengan kekuatan mekanik yang tinggi dan ketahanan yang baik terhadap beban lingkungan.



Gambar 25. Aplikasi papan partikel untuk genteng komposit berbasis asam organik dan sakarida

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Temuan ini menunjukkan bahwa pengendalian ukuran partikel tidak hanya berpengaruh terhadap sifat fisik, tetapi juga terhadap mekanisme kimia perekatan. Dengan pemilihan ukuran partikel yang tepat, sistem perekat hayati berbasis asam organik dan sakarida dapat dioptimalkan untuk menghasilkan performa yang mendekati, bahkan melampaui, kebutuhan aplikasi struktural ringan seperti genteng.

C. Arah Pengembangan Aplikasi pada Papan Serat

Setelah pembuktian konsep pada kayu lapis dan papan partikel, aplikasi pada papan serat menjadi arah pengembangan berikutnya. Luas permukaan serat yang tinggi membuka peluang pembentukan ikatan ester yang lebih merata, tetapi sekaligus menuntut pengendalian distribusi perekat, kadar air hamparan, suhu aktivasi, dan konsumsi energi pengempaan.

Tahap pengembangan perlu difokuskan pada optimasi kadar perekat dan sistem katalis bersuhu aktivasi lebih rendah, pengujian emisi dan durabilitas, serta validasi pada lini produksi papan serat. Pendekatan bertahap ini memperluas platform perekat asam organik-sakarida tanpa mengabaikan kesiapan proses dan kelayakan ekonominya.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB IV. PELUANG DAN TANTANGAN PENGEMBANGAN PEREKAT HAYATI UNTUK HILIRISASI INDUSTRI BIOKOMPOSIT DI INDONESIA

Perkembangan perekat hayati dari tahap penelitian fundamental menuju penerapan teknologi menuntut perubahan perspektif yang lebih luas. Keberhasilan pengembangan suatu formulasi perekat tidak hanya ditentukan oleh kemampuan membentuk ikatan yang kuat, tetapi juga oleh ketersediaan bahan baku, kesesuaian dengan karakteristik biomassa, efisiensi proses, konsistensi mutu, keekonomian, serta kesiapan untuk diterapkan dalam sistem produksi industri. Dalam konteks Indonesia, tantangan tersebut sekaligus membuka peluang yang besar karena negara ini memiliki kekayaan biomassa tropis yang sangat beragam, baik sebagai sumber bahan baku perekat maupun sebagai bahan utama dalam berbagai produk biokomposit.

Potensi tersebut memberikan landasan yang kuat untuk membangun keterhubungan antara hulu dan hilir, mulai dari pemanfaatan biomassa lokal, pengembangan sistem perekat hayati, hingga produksi biokomposit bernilai tambah. Namun demikian, transformasi potensi sumber daya menjadi teknologi yang dapat diterapkan secara luas masih memerlukan penyelesaian berbagai persoalan, terutama terkait variabilitas dan kontinuitas bahan baku, reaktivitas dan konsistensi sistem perekat, durabilitas produk, efisiensi proses produksi, biaya, standardisasi, serta kesiapan teknologi untuk beradaptasi dengan kebutuhan industri. Oleh karena itu, hilirisasi perekat hayati tidak dapat dipandang semata-mata sebagai proses peningkatan skala produksi, tetapi sebagai proses integrasi antara ilmu pengetahuan, inovasi teknologi, sistem industri, pasar, dan kebijakan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Atas dasar tersebut, bab ini membahas peluang dan tantangan pengembangan perekat hayati dalam perspektif hilirisasi industri biokomposit di Indonesia. Pembahasan dimulai dari potensi biomassa sebagai sumber bahan baku perekat hayati, dilanjutkan dengan peluang pemanfaatan biomassa sebagai bahan utama produk biokomposit, dan diakhiri dengan tantangan serta strategi penerapan teknologi perekat hayati dan produk biokomposit dalam skala besar. Dengan pendekatan tersebut, diharapkan dapat tergambar secara lebih utuh posisi pengembangan perekat hayati, tidak hanya sebagai hasil dari suatu proses penelitian, tetapi sebagai bagian dari upaya membangun ekosistem industri biokomposit Indonesia yang berbasis sumber daya terbarukan, berdaya saing, dan berkelanjutan.

A. Potensi Sumber Biomassa Sebagai Perekat Hayati di Indonesia

Indonesia memiliki potensi sumber biomassa yang sangat besar dan beragam sebagai bahan baku pengembangan perekat hayati, yang berasal dari sektor kehutanan, pertanian, serta limbah agroindustri. Ketersediaan biomassa lignoselulosa seperti kayu, bambu, jerami padi, bagas tebu, tandan kosong kelapa sawit, hingga limbah pengolahan hasil hutan dan pertanian, memberikan peluang luas untuk dimanfaatkan sebagai sumber komponen aktif dalam formulasi perekat. Selain itu, sumber berbasis karbohidrat seperti pati, molasis, dan sukrosa juga tersedia melimpah, yang secara kimiawi memiliki gugus fungsional reaktif yang dapat dimodifikasi menjadi sistem perekat yang efektif.

Keunggulan utama biomassa Indonesia terletak pada keberlanjutan dan ketersediaannya yang relatif kontinu sepanjang tahun, seiring dengan aktivitas produksi pertanian dan kehutanan yang intensif. Limbah-limbah yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal

Buku ini tidak diperjualbelikan.

memiliki potensi untuk diolah menjadi produk bernilai tambah tinggi, termasuk sebagai bahan baku perekat hayati. Dalam konteks ini, pendekatan *biorefinery* menjadi sangat relevan, di mana biomassa tidak hanya dimanfaatkan untuk satu produk, tetapi diolah secara terpadu untuk menghasilkan berbagai produk turunan, termasuk perekat, bahan kimia, dan energi.

Secara kimia, biomassa tersebut mengandung komponen utama seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang memiliki gugus hidroksil aktif. Gugus ini dapat bereaksi dengan senyawa asam organik, seperti asam sitrat, melalui mekanisme esterifikasi untuk membentuk ikatan kovalen yang kuat. Selain itu, keberadaan senyawa fenolik alami seperti tanin dan lignin juga memberikan peluang untuk dikembangkan sebagai perekat alami atau sebagai komponen dalam sistem perekat hibrida. Hal ini menunjukkan bahwa biomassa Indonesia tidak hanya berlimpah secara kuantitas, tetapi juga kaya secara kualitas kimia untuk mendukung pengembangan perekat hayati.

Namun demikian, pemanfaatan biomassa sebagai bahan baku perekat hayati juga menghadapi beberapa tantangan, terutama terkait dengan variabilitas komposisi bahan baku yang dipengaruhi oleh jenis, umur, dan kondisi lingkungan tumbuh. Variasi ini dapat memengaruhi konsistensi kualitas perekat yang dihasilkan. Selain itu, diperlukan proses pretreatment dan modifikasi kimia untuk meningkatkan reaktivitas biomassa, yang berimplikasi pada kebutuhan teknologi dan biaya tambahan.

Dengan demikian, potensi sumber biomassa di Indonesia merupakan fondasi yang sangat kuat dalam pengembangan perekat hayati. Melalui pengelolaan yang tepat, inovasi teknologi, serta integrasi dengan sistem industri yang ada, biomassa dapat menjadi sumber daya strategis dalam mendukung hilirisasi industri biokomposit yang berkelanjutan dan berdaya saing tinggi.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

B. Potensi Sumber Biomassa Sebagai Produk Biokomposit di Indonesia

Indonesia memiliki potensi yang sangat besar dalam pengembangan produk biokomposit berbasis biomassa, seiring dengan melimpahnya sumber daya lignoselulosa dari sektor kehutanan, perkebunan, dan pertanian. Berbagai jenis bahan seperti kayu cepat tumbuh, bambu, serat alam, serta residu pertanian seperti jerami padi, bagas tebu, dan tandan kosong kelapa sawit, merupakan sumber bahan baku utama yang dapat diolah menjadi produk biokomposit bernilai tambah tinggi. Ketersediaan bahan ini tidak hanya mendukung kontinuitas produksi, tetapi juga membuka peluang diversifikasi produk sesuai dengan kebutuhan pasar domestik maupun global.

Pemanfaatan biomassa sebagai bahan baku biokomposit memberikan keunggulan dari sisi keberlanjutan, karena material yang digunakan bersifat terbarukan, *biodegradable*, dan memiliki jejak karbon yang lebih rendah dibandingkan material berbasis fosil. Produk biokomposit seperti papan partikel, papan serat, kayu lapis, serta komposit serat alam memiliki potensi aplikasi yang luas, mulai dari sektor konstruksi, furnitur, hingga otomotif ringan. Dalam konteks ini, integrasi antara bahan baku biomassa dan perekat hayati menjadi kunci dalam menghasilkan produk yang tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga aman dari emisi bahan berbahaya seperti formaldehida.

Selain itu, karakteristik biomassa Indonesia yang beragam memungkinkan pengembangan biokomposit dengan sifat yang dapat disesuaikan (*tailor-made*), baik dari segi kekuatan mekanik, ketahanan terhadap lingkungan, maupun aspek estetika. Misalnya, bambu dan serat alam tertentu memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, sehingga cocok untuk aplikasi struktural ringan. Sementara itu, limbah pertanian dapat dimanfaatkan sebagai bahan inti (*core material*) dalam

Buku ini tidak diperjualbelikan.

struktur panel komposit berlapis, sehingga meningkatkan efisiensi penggunaan bahan.

Namun demikian, pengembangan biokomposit juga menghadapi sejumlah tantangan, antara lain terkait dengan kualitas dan homogenitas bahan baku, teknologi pengolahan, serta standar mutu produk yang harus dipenuhi. Variabilitas sifat biomassa dapat memengaruhi performa akhir produk, sehingga diperlukan proses sortasi, perlakuan awal, dan kontrol kualitas yang ketat. Selain itu, adopsi teknologi produksi skala industri masih memerlukan investasi yang tidak kecil, serta dukungan kebijakan yang mendorong penggunaan material ramah lingkungan.

Dengan demikian, potensi biomassa sebagai bahan baku produk biokomposit di Indonesia sangat menjanjikan dan strategis untuk dikembangkan lebih lanjut. Melalui sinergi antara inovasi teknologi, pemanfaatan sumber daya lokal, dan dukungan kebijakan industri, biokomposit berbasis biomassa dapat menjadi salah satu pilar utama dalam pengembangan industri manufaktur berkelanjutan di Indonesia.

C. Penerapan Teknologi Perekat Hayati dan Produk Biokomposit dalam Skala Besar di Industri

Penerapan teknologi perekat hayati berbasis asam organik dan sakarida dalam skala industri merupakan tahap krusial dalam mendorong hilirisasi produk biokomposit di Indonesia. Secara teknis, berbagai hasil penelitian telah menunjukkan bahwa sistem perekat hayati mampu memberikan performa perekatan yang mendekati, bahkan pada kondisi tertentu setara dengan, perekat sintetis konvensional. Namun, keberhasilan implementasi pada skala besar tidak hanya ditentukan oleh aspek kinerja teknis, tetapi juga oleh kesiapan proses produksi, efisiensi operasional, serta kompatibilitas dengan sistem industri yang telah ada.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Salah satu tantangan utama dalam penerapan skala industri adalah penyesuaian parameter proses, seperti suhu dan waktu pengepresan, yang umumnya lebih tinggi dibandingkan perekat sintetis. Kondisi ini berimplikasi pada kebutuhan energi yang lebih besar serta potensi penurunan efisiensi produksi. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dalam formulasi perekat maupun rekayasa proses untuk menurunkan suhu aktivasi dan mempercepat reaksi perekatan tanpa mengorbankan kualitas produk. Pengembangan sistem katalis, modifikasi bahan baku, serta optimasi kondisi proses menjadi pendekatan yang penting untuk meningkatkan kelayakan industri dari perekat hayati.

Selain aspek teknis, faktor ekonomi juga menjadi pertimbangan penting dalam adopsi teknologi ini. Industri cenderung mempertimbangkan biaya produksi, ketersediaan bahan baku, serta stabilitas pasokan dalam jangka panjang. Meskipun biomassa tersedia melimpah di Indonesia, sistem rantai pasok yang terintegrasi masih perlu diperkuat agar mampu menjamin kontinuitas dan konsistensi kualitas bahan baku. Di sisi lain, skala produksi yang masih terbatas dapat menyebabkan biaya perekat hayati relatif lebih tinggi dibandingkan perekat sintetis yang telah diproduksi secara massal. Dengan demikian, diperlukan strategi industrialisasi yang mencakup peningkatan skala produksi, efisiensi proses, serta dukungan insentif ekonomi.

Dalam konteks regulasi dan pasar, tren global yang semakin menekankan aspek keberlanjutan dan keamanan lingkungan menjadi peluang besar bagi penerapan perekat hayati. Pembatasan emisi formaldehida pada produk panel kayu di berbagai negara mendorong industri untuk beralih ke sistem perekat yang lebih ramah lingkungan. Hal ini dapat menjadi momentum bagi Indonesia untuk mengembangkan dan mengadopsi teknologi perekat hayati secara lebih luas, sekaligus meningkatkan daya saing produk biokomposit di pasar internasional.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Dengan demikian, penerapan teknologi perekat hayati dan produk biokomposit dalam skala besar memerlukan pendekatan yang holistik, mencakup aspek teknis, ekonomi, dan kebijakan. Sinergi antara lembaga penelitian, industri, dan pemerintah menjadi kunci dalam mempercepat proses adopsi teknologi ini. Melalui penguatan ekosistem inovasi dan hilirisasi, perekat hayati berbasis biomassa diharapkan dapat menjadi solusi nyata dalam mendukung transformasi industri menuju sistem produksi yang lebih berkelanjutan dan berdaya saing tinggi.

D. Kelayakan Ekonomi dan Dampak Sosial

Keberhasilan hilirisasi tidak cukup dibuktikan oleh kinerja teknis, tetapi juga harus ditunjukkan melalui angka keekonomian produk. Sebagai ilustrasi pada produk hilir genteng biomassa yang sedang dikembangkan, perhitungan skala demonstrasi menghasilkan harga pokok produksi (HPP) sekitar Rp12.600 per buah atau setara Rp88.200 per m^2 pada kebutuhan tujuh buah per m^2. Dengan asumsi margin usaha sekitar 19% untuk menutup distribusi, pemasaran, dan risiko produksi, harga produk akhir indikatif adalah Rp15.000 per buah atau sekitar Rp105.000 per m^2. Nilai tersebut masih perlu divalidasi kembali pada skala pilot dan industri karena perubahan kapasitas produksi, harga perekat, energi, tenaga kerja, logistik, serta tingkat produk cacat akan memengaruhi HPP dan harga jual akhir.

Pada tahap berikutnya, studi kelayakan dilakukan melalui perhitungan biaya produksi per satuan produk, analisis titik impas, serta analisis sensitivitas terhadap harga asam organik, sakarida, energi, dan logistik biomassa. Kajian ini juga membandingkan biaya dengan perekat konvensional dan menilai kesediaan pasar membayar manfaat produk rendah emisi. Pada tahap awal, perekat hayati lebih realistis diarahkan pada produk bernilai tambah dan pasar yang

Buku ini tidak diperjualbelikan.

mensyaratkan emisi rendah; peningkatan skala, integrasi rantai pasok lokal, serta penurunan suhu dan waktu kempa menjadi kunci untuk memperkecil kesenjangan biaya dengan perekat formaldehida yang telah mapan.

Dampak sosial-ekonomi diwujudkan melalui terbentuknya kegiatan ekonomi baru pada rantai pasok biomassa, mulai dari pengumpulan, pemilahan, pengeringan, penggilingan, hingga prapengolahan residu pertanian dan perkebunan. Kegiatan tersebut membuka peluang kerja lokal dan sumber pendapatan tambahan bagi petani, kelompok masyarakat, serta UMKM pemasok bahan baku. Pada sisi pengguna, tersedianya panel dan bahan bangunan rendah emisi mengurangi paparan formaldehida di ruang hunian dan tempat kerja. Dampak sosial selanjutnya perlu diukur dengan indikator yang jelas, antara lain jumlah biomassa yang terserap, jumlah tenaga kerja dan UMKM yang terlibat, tambahan pendapatan pemasok, biaya produk per m^2, serta jumlah rumah atau fasilitas yang menggunakan produk.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB V. KONTRIBUSI UMUM

Pengembangan perekat hayati berbasis asam organik dan sakarida yang telah dilakukan selama lebih dari satu dekade tidak hanya menghasilkan berbagai temuan ilmiah mengenai mekanisme perekatan biomassa, tetapi juga memberikan kontribusi yang lebih luas terhadap pengembangan ilmu pengetahuan, inovasi teknologi, hilirisasi industri, serta penguatan ekosistem riset nasional. Kontribusi tersebut merupakan hasil dari integrasi penelitian fundamental, penelitian terapan, pengembangan prototipe, kerja sama dengan berbagai mitra, serta pembinaan sumber daya manusia yang dilakukan secara berkelanjutan.

A. Kontribusi terhadap Pengembangan Ilmu Pengetahuan

Kontribusi ilmiah utama dari penelitian ini adalah pengembangan paradigma baru bahwa sistem perekat hayati berbasis asam organik dan sakarida mampu menghasilkan ikatan struktural yang kuat melalui mekanisme reaksi kimia yang terkontrol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembentukan ikatan ester bukan merupakan satu-satunya mekanisme yang berperan, tetapi berlangsung secara sinergis dengan pembentukan anhidrida, karamelisasi sakarida, pembentukan 5-hidroksimetilfurfural (HMF), serta polimerisasi senyawa furanik sehingga menghasilkan jaringan polimer yang stabil.

Pendekatan tersebut memperluas pemahaman mengenai kimia perekat hayati dan menghasilkan konsep *Biomass Reactivity Matching*, yaitu pendekatan yang menyesuaikan karakteristik kimia perekat dengan komposisi lignoselulosa biomassa sehingga proses perekatan menjadi lebih efektif. Konsep ini diharapkan dapat menjadi salah

Buku ini tidak diperjualbelikan.

satu landasan ilmiah dalam pengembangan perekat hayati generasi berikutnya.

B. Kontribusi terhadap Pengembangan Teknologi

Penelitian ini telah menghasilkan berbagai formulasi perekat hayati berbasis asam sitrat, sukrosa, molasis, tepung porang, dan bahan alami lainnya yang diaplikasikan pada papan partikel, papan serat, kayu lapis, papan laminasi, serta genteng biomassa. Secara empiris, papan partikel dengan kadar asam sitrat 30% menghasilkan internal bond (IB) mendekati 1,0 MPa. Kondisi kempa optimum dicapai pada suhu 200 °C selama 10 menit; peningkatan hingga 220 °C atau perpanjangan waktu hingga 15 menit justru menurunkan IB akibat degradasi termal. Pada aplikasi genteng komposit dengan penambahan molasis 20%, penggunaan partikel sangat halus menghasilkan IB tertinggi, mendekati 1,9 MPa, dibandingkan partikel kasar sekitar 1,0 MPa, partikel halus sekitar 0,8 MPa, dan campuran ukuran sekitar 0,3 MPa (Kusumah et al., 2016; Kusumah, Umemura, et al., 2017; Syahfitri et al., 2024).

Melalui optimasi formulasi perekat, kadar perekat, suhu dan waktu pengepresan, ukuran partikel, serta penggunaan bahan tambahan, diperoleh sistem perekat yang memiliki karakteristik mekanik dan termal yang semakin kompetitif sebagai alternatif perekat sintetis berbasis formaldehida. Pengembangan tersebut menjadi dasar penting dalam menghasilkan teknologi perekat yang lebih ramah lingkungan dan sesuai dengan kebutuhan industri panel kayu modern.

C. Kontribusi terhadap Hilirisasi Industri

Kontribusi penelitian tidak berhenti pada skala laboratorium, tetapi diarahkan menuju hilirisasi melalui pengembangan prototipe, pengujian skala semi-pilot, serta kolaborasi dengan mitra industri,

Buku ini tidak diperjualbelikan.

yaitu CV. Kibti Furniture, PT. Coir Indonesia Global, PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk, dan PT. Invest Indo International, disertai penjajakan kerja sama dengan industri atap ringan seperti PT. Alderon, PT. Baja Tangguh Lestari, dan beberapa perusahaan pemula yang berfokus pada produk kemasan seperti PT. Evogaia Karya Indonesia dan PT. Jentera Garda Futura (Plepah). Kemitraan tersebut menjadi wahana validasi proses dan produk, penyesuaian teknologi terhadap kebutuhan pengguna, serta penyusunan jalur alih teknologi dari laboratorium menuju produksi dan pasar.

Pengembangan perekat hayati juga memberikan peluang untuk mengurangi ketergantungan pada perekat sintetis, meningkatkan kandungan komponen lokal (TKDN), serta memperkuat industri biokomposit nasional. Dampak lingkungannya terjadi secara nyata melalui penggantian perekat berbasis formaldehida pada produk sasaran sehingga sumber emisi formaldehida dari komponen perekat dapat dihilangkan atau dikurangi; pemanfaatan residu biomassa mengalihkan bahan dari pembakaran terbuka dan pembuangan; serta penggunaan bahan baku terbarukan mengurangi ketergantungan pada bahan kimia berbasis fosil. Besarnya penurunan emisi, jejak karbon, dan beban limbah selanjutnya harus dibuktikan secara kuantitatif melalui pengujian emisi serta Life Cycle Assessment (LCA) pada skala pilot dan industri.

D. Kontribusi terhadap Kebijakan dan Pembangunan Nasional

Pengembangan perekat hayati berbasis biomassa memiliki keterkaitan yang erat dengan berbagai agenda pembangunan nasional, antara lain penguatan ekonomi hijau, ekonomi sirkular, hilirisasi sumber daya alam, pengurangan emisi gas rumah kaca, serta pencapaian target Net Zero Emission Indonesia.

Teknologi yang dikembangkan mendukung pemanfaatan biomassa

Buku ini tidak diperjualbelikan.

lokal sebagai sumber bahan baku industri bernilai tambah tinggi, sekaligus sejalan dengan kebijakan pemerintah dalam mendorong substitusi bahan kimia berbasis fosil menuju material yang lebih ramah lingkungan. Oleh karena itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu referensi ilmiah dalam penyusunan kebijakan pengembangan industri biokomposit berbasis biomassa di Indonesia.

E. Kontribusi terhadap Pengembangan Sumber Daya Manusia dan Jejaring Riset

Selain menghasilkan inovasi teknologi, kegiatan penelitian juga memberikan kontribusi dalam pengembangan kapasitas sumber daya manusia melalui pembimbingan mahasiswa, peneliti muda, serta kegiatan kolaborasi penelitian dengan berbagai perguruan tinggi, lembaga penelitian, pemerintah daerah, dan industri.

Berbagai publikasi ilmiah, paten, serta kerja sama riset yang dihasilkan diharapkan dapat memperkuat jejaring penelitian nasional maupun internasional dalam bidang perekat hayati dan biokomposit. Kolaborasi tersebut menjadi faktor penting dalam mempercepat proses transfer pengetahuan, peningkatan kualitas penelitian, serta pengembangan inovasi yang berorientasi pada kebutuhan industri.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB VI. KESIMPULAN

Pengembangan perekat hayati berbasis asam organik dan sakarida merupakan strategi teknologi yang prospektif untuk mempercepat hilirisasi industri biokomposit nasional menuju sistem yang lebih berkelanjutan. Secara ilmiah, kontribusi utama keilmuan ini mampu menggeser paradigma lama bahwa perekat non-formaldehida tidak mampu mencapai stabilitas struktural yang tinggi. Melalui pembuktian mekanisme esterifikasi makromolekul antara gugus karboksilat perekat hayati dan gugus hidroksil lignoselulosa, riset ini menetapkan posisi ilmiah baru bahwa kekuatan mekanis dan durabilitas biokomposit tidak harus dibayar dengan risiko lingkungan, melainkan dapat direkayasa secara presisi melalui sinkronisasi kimia molekuler berbasis hayati.

Hasil kajian juga menunjukkan bahwa parameter proses, seperti kadar perekat, suhu, dan waktu pengepresan, serta komposisi bahan tambahan seperti sukrosa, molasis, dan katalis, memiliki pengaruh signifikan terhadap sifat reologi, karakteristik termal, serta performa mekanik produk biokomposit. Optimasi yang tepat terhadap faktor-faktor tersebut terbukti mampu meningkatkan kekuatan ikatan, stabilitas termal, dan durabilitas produk, sehingga memenuhi persyaratan teknis untuk aplikasi industri.

Dari sisi sumber daya, Indonesia memiliki potensi biomassa tropis yang sangat melimpah dan beragam, seperti limbah kehutanan, perkebunan (misalnya sawit dan tebu), serta serat alam non-kayu, yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku perekat hayati maupun produk biokomposit. Sistem perekat berbasis asam organik dan sakarida ini terbukti adaptif terhadap karakteristik kimia biomassa tropis. Secara spesifik, tantangan tingginya kandungan ekstraktif dan variabilitas komponen kimia pada biomassa tropis dapat dimitigasi melalui

Buku ini tidak diperjualbelikan.

optimalisasi kondisi asam, sementara karakteristik lignoselulosa tropis yang kaya akan gugus hidroksil bebas justru menunjukkan kompatibilitas dan reaktivitas yang tinggi untuk berikatan dengan gugus karboksilat dari perekat melalui reaksi esterifikasi. Hal ini memberikan peluang besar untuk mengembangkan industri berbasis sumber daya lokal yang bernilai tambah tinggi.

Dalam konteks hilirisasi, penerapan perekat hayati pada skala besar terutama ditujukan bagi industri panel kayu (kayu lapis, papan partikel, dan papan serat/MDF), industri furnitur, serta industri bahan bangunan dan komponen konstruksi berbasis biomassa, termasuk genteng komposit. Implementasinya memerlukan sinergi aspek teknis, ekonomi, dan kebijakan. Dukungan terhadap pengembangan teknologi, standardisasi produk, insentif bagi industri, serta kemitraan uji produksi menjadi faktor penting untuk mempercepat adopsi sistem perekat ramah lingkungan dan membangun industri biokomposit nasional yang berdaya saing dan berkelanjutan.

Selain memiliki kinerja teknis yang kompetitif, sistem perekat hayati berbasis asam organik dan sakarida menunjukkan kompatibilitas yang baik terhadap berbagai biomassa tropis Indonesia, sehingga berpotensi menjadi platform teknologi perekat nasional berbasis sumber daya lokal. Oleh karena itu, pengembangan perekat hayati tidak hanya berfungsi sebagai substitusi perekat sintetis berbasis formaldehida, tetapi juga sebagai instrumen strategis dalam mempercepat hilirisasi biomassa dan transformasi industri biokomposit Indonesia menuju sistem produksi yang mandiri, bernilai tambah tinggi, dan berkelanjutan.

Keberlanjutan merupakan keunggulan strategis utama sistem ini, sedangkan daya saing ekonominya harus dibuktikan secara spesifik menurut produk dan skala produksi. Karena perekat konvensional

Buku ini tidak diperjualbelikan.

telah memiliki harga murah, rantai pasok mapan, dan waktu proses singkat, percepatan adopsi perekat hayati memerlukan penurunan suhu dan waktu kempa, konsistensi bahan baku, peningkatan skala, kajian tekno-ekonomi, serta penghargaan pasar dan kebijakan terhadap manfaat produk rendah emisi. Dengan batasan tersebut, kesimpulan mengenai prospek teknologi menjadi lebih terukur dan realistis.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB VII. PENUTUP

Pengembangan perekat hayati berbasis asam organik dan sakarida tidak hanya mencerminkan capaian ilmiah dalam bidang ilmu dan teknologi bahan, tetapi juga merupakan bagian dari upaya strategis dalam menjawab tantangan global terkait keberlanjutan, efisiensi sumber daya, dan perlindungan lingkungan. Transformasi dari ketergantungan terhadap perekat sintetis berbasis formaldehida menuju sistem perekat yang lebih ramah lingkungan menjadi langkah penting dalam mendukung industri biokomposit yang berorientasi pada masa depan.

Perjalanan pengembangan teknologi ini menunjukkan bahwa inovasi tidak dapat dilepaskan dari integrasi antara pemahaman fundamental, eksperimen laboratorium, hingga implementasi pada skala yang lebih luas. Berbagai temuan yang telah dihasilkan menjadi dasar yang kuat untuk terus dikembangkan, baik melalui penyempurnaan formulasi, peningkatan efisiensi proses, maupun perluasan aplikasi pada berbagai jenis produk biokomposit. Dalam konteks ini, kolaborasi lintas disiplin dan kelembagaan menjadi sangat penting untuk mempercepat proses alih teknologi dari laboratorium ke industri.

Ke depan, tantangan yang dihadapi tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga mencakup aspek kebijakan, ekonomi, dan kesiapan pasar. Oleh karena itu, diperlukan komitmen bersama antara peneliti, industri, dan pemerintah dalam menciptakan ekosistem inovasi yang kondusif, termasuk melalui dukungan regulasi, insentif, serta penguatan kapasitas sumber daya manusia. Dengan langkah yang

Buku ini tidak diperjualbelikan.

terarah dan berkelanjutan, pengembangan perekat hayati diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam mewujudkan industri nasional yang mandiri, berdaya saing, dan berwawasan lingkungan.

Akhirnya, inti kontribusi keberlanjutan dari bidang kepakaran ini terletak pada pengembangan perekat hayati berbasis asam organik dan sakarida sebagai penghubung antara kemajuan ilmu perekatan, pemanfaatan biomassa terbarukan, dan transformasi industri rendah emisi. Pengurangan penggunaan perekat formaldehida, pemanfaatan residu biomassa, serta peluang menurunkan jejak karbon produk biokomposit merupakan manfaat lingkungan yang harus diwujudkan dan diukur secara nyata. Karena itu, implementasi skala industri perlu disertai pengujian emisi, Life Cycle Assessment (LCA), pengembangan standar nasional, dan kolaborasi berkelanjutan antara lembaga penelitian, industri, pemerintah, serta masyarakat.

Percepatan hilirisasi yang menjadi inti orasi ini berarti mengubah bukti ilmiah menjadi teknologi yang dapat diproduksi, memenuhi standar, layak secara ekonomi, diterima pasar, dan memberi manfaat kepada masyarakat. Karena itu, agenda berikutnya diarahkan pada demonstrasi skala pilot dan industri, kajian tekno-ekonomi dan daur hidup, standardisasi produk, penguatan rantai pasok biomassa, serta skema alih teknologi bersama mitra usaha.

Kolaborasi dengan CV Kibti Furniture, PT Wijaya Karya (Persero) Tbk, PT Invest Indo International, dan calon mitra industri panel kayu menjadi jembatan penting dari laboratorium menuju pasar. Melalui pembagian peran yang jelas antara BRIN, perguruan tinggi, industri, pemerintah daerah, dan masyarakat pemasok biomassa, perekat hayati berbasis asam organik dan sakarida diharapkan berkembang menjadi inovasi nasional yang tidak hanya menghasilkan publikasi dan paten, tetapi juga produk rendah emisi, kegiatan ekonomi baru, dan peningkatan kesejahteraan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur saya panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat, kesehatan, dan kesempatan yang memungkinkan saya menyelesaikan orasi ilmiah ini. Penyusunan dan penulisan orasi ini tidak akan terwujud tanpa dukungan, bimbingan, kerja sama, dan kontribusi dari berbagai pihak yang telah menjadi bagian penting dalam perjalanan akademik, profesional, dan spiritual saya.

Dengan penuh rasa hormat, izinkan saya menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Presiden Republik Indonesia, Bapak Prabowo Subianto dan kepada negara atas dukungan, kebijakan, serta komitmen dalam mendorong pengembangan riset dan inovasi nasional.

Saya juga menyampaikan penghargaan yang mendalam kepada Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Prof. Dr. Arif Satria, S.P., M.Si. atas arahan, kebijakan, serta dukungan kelembagaan yang memungkinkan tumbuhnya iklim riset yang kuat dan kondusif bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan inovasi di tanah air.

Ucapan terima kasih saya lanjutkan kepada Wakil Kepala BRIN Prof. Dr. Ir. Amarulla Octavian M.Sc., DESD., ASEAN Eng., atas dukungan beliau dalam menciptakan ekosistem riset yang kondusif bagi para periset untuk berkarya dan berkembang secara profesional. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset BRIN, Prof. Ir. Wimpie Agoeng Noegroho Aspar, MSCE., Ph.D.; Sekretaris Majelis Pengukuhan Profesor Riset BRIN, Prof. Dr. Ir. Zainal Arifin, M.Sc.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Saya berhutang budi kepada Tim Penelaah Naskah Orasi Ilmiah: Prof. Dr. Ir. Nurul Taufiqurrahman, Prof. Dr. Ir. Bambang Subiyanto, M.Sc., Prof. Dr. Ir. Subyakto, Prof. Dr. Ing . Andika Widya Pramono, dan Prof. Dr. Drs. Adi Santoso, M.Si. Prof. Dr. Ir. Dede Hermawan, MSc. atas waktu, perhatian, serta masukan konstruktif yang sangat berharga dalam penyempurnaan naskah ini. Tidak lupa, saya menyampaikan apresiasi kepada Sekretaris Utama BRIN, Ibu Nur Tri Aries Suestiningtyas, M.A, Deputi Bidang Fasilitasi Riset dan Inovasi Prof. Dr. Ir. Agus Haryono, Kepala Organisasi Riset Nanoteknologi dan Material, Prof. Dr. Ratno Nuryadi; Kepala Biro Organisasi dan Sumber Daya Manusia, Ratih Retno Wulandari serta seluruh pimpinan BRIN; dan Panitia Pelaksana Pengukuhan; dan pihak-pihak lain yang berkenaan sehingga naskah orasi ini layak disampaikan pada sidang terbuka pengukuhan ini.

Kepada Kepala Pusat Riset Biomassa dan Bioproduk BRIN Dr. Akbar Hanif Dawam Abdullah beserta jajaran, Kepala Pusat Penelitian Biomaterial-LIPI Prof. Dr. Ir. Bambang Subiyanto, Prof. Dr. Ir. Sulaeman Yusuf, Ketua Kelompok Penelitian Rekayasa dan Modifikasi Biomaterial-Pusat Penelitian Biomaterial LIPI Almarhum Prof. Dr. Ir. Wahyu Dwianto, M.Sc., Ketua Kelompok Riset Perekat dan Pelapis Kayu Eko Setio Wibowo, S.Si. Ph.D. anggota kelompok riset Perekat dan Pelapis Kayu Dr. Jajang Sutiawan, Dr. M. Alvin Savero, Dr. Byantara Purusutama, Dr. Mulya Supianto, Dr. Muh. Iqbal Maulana, Dr. Efrida Basri, Dr. Jamaludin Malik, Dr. M. Adly Rahandy Lubis, saya menyampaikan terima kasih atas bimbingan, dukungan moral, dan kesempatan berkarya dalam lingkungan riset yang penuh kolaborasi dan inovasi. Pusat riset ini telah menjadi rumah intelektual yang membentuk identitas ilmiah dan arah penelitian saya hingga hari ini.

Saya juga menghaturkan rasa terima kasih kepada para pembimbing akademik S1 dan S2 saya di IPB Almarhum Prof. Dr.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Ir. Muh. Yusram Massijaya, M.Si., dan Prof. Dr. Ir. Yusuf Sudo Hadi, M.Agr. Penghormatan dan penghargaan setinggi-tingginya kepada Prof. Kanayama dan Prof. Dr. Kenji Umemura yang telah membimbing saya dan memotivasi saya dalam melakukan riset dengan gigih dan terbaik dalam studi S-3 saya di Kyoto University. Penghormatan dan penghargaan yang setinggi-tingginya saya sampaikan kepada para guru saya dari SD, SMP, SMA.

Apresiasi saya tujukan kepada para mitra industri, pemerintah daerah, dan pemangku kepentingan lainnya yang telah bekerja sama dalam berbagai penelitian, uji coba lapangan, program hilirisasi, dan penguatan ekosistem inovasi biomassa di Indonesia.

Dengan penuh rasa syukur, saya menyampaikan terima kasih kepada keluarga tercinta — orang tua Alamrhum Bapak Syamsudin dan Ibu Eni Rohaeni, istri Nurhayati, S.Hut., anak Shakila Aulia Kusumah, serta seluruh anggota keluarga besar — atas doa, pengorbanan, kesabaran, dan dukungan tanpa syarat yang telah menjadi sumber kekuatan dalam perjalanan panjang penelitian dan pengabdian ilmiah ini.

Saya juga menghargai dedikasi rekan-rekan peneliti, teknisi laboratorium, mahasiswa, dan seluruh staf pendukung yang telah membantu dalam proses eksperimen, pengumpulan data, analisis, publikasi, serta berbagai kegiatan administratif dan teknis lainnya.

Akhirnya, saya menyampaikan penghargaan kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, namun telah memberikan kontribusi nyata, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam perjalanan akademik dan penyelesaian orasi ilmiah ini. Semoga segala bentuk dukungan, kebaikan, dan kerja sama yang telah diberikan kepada saya mendapatkan balasan yang terbaik dari Tuhan Yang Maha Esa.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR PUSTAKA

Abdillah, I. B., Syahfitri, A., Aulia, M. I., Syukur, A., Augustina, S., **Kusumah, S. S.**, Lubis, M. A. R., Sutiawan, J., Mubarok, M., Sari, R. K., Nugroho, N., Hadi, Y. S., & Hermawan, D. (2025). Evaluation of Porang Flour (*Amorphophallus muelleri*) as Natural Filler for Enhancing Urea Formaldehyde and Citric Acid Adhesives in Plywood Production. *BioResources*, *20*(3), 6135–6160. https://doi.org/10.15376/biores.20.3.6135-6160

Adelka, Y. F., Purnomo, D., Widyaningrum, B. A., Handayani, M., Sutiawan, J., Umemura, K., Hermawan, D., & **Kusumah, S. S.** (2023). Effectiveness of Nanocatalyst in the Improvement of Sorghum Bagasse Particleboard Bonded with Bio-Adhesive. *Jurnal Sylva Lestari*, *11*(3), 382–395. https://doi.org/10.23960/jsl.v11i3.765

Aristri, M. A., Lubis, M. A. R., Yadav, S. M., Antov, P., Papadopoulos, A. N., Pizzi, A., Fatriasari, W., Ismayati, M., & Iswanto, A. H. (2021). Recent developments in lignin- and tannin-based non-isocyanate polyurethane resins for wood adhesives—a review. *Applied Sciences (Switzerland)*, *11*(9). https://doi.org/10.3390/app11094242

Augustina, S., Bazhafah, A. S., Sutiawan, J., Wibowo, E. S., Solihat, N. N., Savero, A. M., Ismadi, I., Jayadi, J., Wismogroho, A. S., Ratnaningtyas, N. I., & **Kusumah, S. S.** (2025). Molasses Adhesive Boosts Bio-Pellet Potential: A Study on Oyster Mushroom Baglog Waste. *Journal of Renewable Materials*, *13*(9), 1765–1781. https://doi.org/10.32604/jrm.2025.02025-0014

Aulia, M. I., Syahfitri, A., Abdillah, I. B., Syukur, A., Hermawan, D., Sari, R. K., Mubarok, M., Lubis, M. A. R., **Kusumah, S. S.**, Augustina, S., & Sutiawan, J. (n.d.). Citric Acid as an Alternative Adhesive: Optimisation of Concentrations on Characteristics of

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Jabon Plywood. In *Journal of Renewable Materials* . https://doi.org/10.32604/jrm.2025.02025-0160

Bahanawan, A., **Kusumah, S. S.**, Darmawan, T., Masruchin, N., Pramasari, D. A., Triwibowo, D., Kusumaningrum, W. B., Wibowo, E. S., Syamani, F. A., Krishanti, N. P. R. A., Lestari, E., Amin, Y., Sufiandi, S., Syahrir, A., & Dwianto, W. (2019). Moisture content, color quantification and starch content of oil palm trunk (*Elaeis guineensis* Jacq.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *374*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/374/1/012041

Calvez, I., Garcia, R., Koubaa, A., Landry, V., & Cloutier, A. (2024). Recent Advances in Bio-Based Adhesives and Formaldehyde-Free Technologies for Wood-Based Panel Manufacturing. *Current Forestry Reports*, *10*(5). https://doi.org/10.1007/s40725-024-00227-3

Dunky, M. (2020). Wood adhesives based on natural resources: A critical review: Part II. carbohydrate-based adhesives. *Reviews of Adhesion and Adhesives*, *8*(3). https://doi.org/10.7569/RAA.2020.097310

Dunky, M., & Mittal, K. L. (2023). Biobased adhesives: Sources, characteristics, and applications. In *Biobased Adhesives: Sources, Characteristics, and Applications*. https://doi.org/10.1002/9781394175406

Emergen Research. (2024). Bio Based Adhesive Market (2024-2034). https://www.emergenresearch.com/industry-report/bio-based-adhesives-market?utm_source=chatgpt.com

Grand View Research. (2024). Wood Adhesives Market Size, Share & Trends Analysis Report, 2024–2030. https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/wood-adhesives-market

Gopar, M., **Kusumah, S. S.**, Astari, L., Syamani, F. A., Marlina, R., Umemura, K., & Hermawan, A. (2022). Investigation of

Buku ini tidak diperjualbelikan.

optimum particles size and citric acid content for coconut husk particleboard manufacturing. *AIP Conference Proceedings*, *2454*. https://doi.org/10.1063/5.0078508

He, Z. (2017). Bio-based wood adhesives: Preparation, characterization, and testing. In *Bio-Based Wood Adhesives: Preparation, Characterization, and Testing*. https://doi.org/10.1201/9781315369242

Hermawan, D. (2001a). Manufacture and properties of oil palm frond cement-bonded board. *Journal of Wood Science*, 47(3). https://doi.org/10.1007/bf01171223

Hermawan, D. (2001b). Rapid production of high-strength cement-bonded particleboard using gaseous or supercritical carbon dioxide. *Journal of Wood Science*, 47(4). https://doi.org/10.1007/bf00766716

Hermawan, D., Hata, T., Kawai, S., Nagadomi, W., & Kuroki, Y. (2002a). Effect of carbon dioxide-air concentration in the rapid curing process on the properties of cement-bonded particleboard. *Journal of Wood Science*, 48(3). https://doi.org/10.1007/BF00771364

Hermawan, D., Hata, T., Kawai, S., Nagadomi, W., & Kuroki, Y. (2002b). Manufacturing oil palm fronds cement-bonded board cured by gaseous or supercritical carbon dioxide. *Journal of Wood Science*, 48(1). https://doi.org/10.1007/BF00766233

Hermawan, D., Hata, T., Umemura, K., Kawai, S., Kaneko, S. I., & Kuroki, Y. (2000). New technology for manufacturing high-strength cement-bonded particleboard using supercritical carbon dioxide. *Journal of Wood Science*, 46(1). https://doi.org/10.1007/BF00779559

Iswanto, A. H., Lubis, M. A. R., Sutiawan, J., Al-Edrus, S. S. O., Lee, S. H., Antov, P., Kristak, L., Reh, R., Mardawati, E., Santoso, A., & **Kusumah, S. S.** (2023). Latest Advancements in the Development of High-Performance Lignin- and Tannin-Based

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Non-Isocyanate Polyurethane Adhesive for Wood Composites. *Polymers*, *15*(19). https://doi.org/10.3390/polym15193864

Iswanto, A. H., Manurung, H., Sohail, A., Hua, L. S., Antov, P., Nawawi, D. S., Latifah, S., Kayla, D. S., **Kusumah, S. S.**, Lubis, M. A. R., Osvaldová, L. M., Hussin, M. H., Selvasembian, R., Chen, L. W., Nurcahyani, P. R., Kim, N. H., & Fatriasari, W. (2024). Thermo-Mechanical, Physico-Chemical, Morphological, and Fire Characteristics of Eco-Friendly Particleboard Manufactured with Phosphorylated Lignin Addition. *Journal of Renewable Materials*, *12*(7), 1311–1341. https://doi.org/10.32604/jrm.2024.052172

Kartikawati, A., Augustina, S., Lubis, M. A. R., **Kusumah, S. S.**, Santoso, A., Sutiawan, J., Zulfiana, D., Manurung, H., Herawati, E., Marwanto, M., Oramahi, H. A., Aristri, M. A., & Martha, R. (2025). Tannin-based Polyurethane Coating for Quality Improvement of Roof Tiles Composite. *BioResources*, *20*(3), 7088–7106. https://doi.org/10.15376/biores.20.3.7088-7106

Komariah, R. N., Miyamoto, T., **Kusumah, S. S.**, Tanaka, S., Umezawa, T., Kanayama, K., & Umemura, K. (2021). Effects of Adding Ammonium Dihydrogen Phosphate to a Water-soluble Extract of the Inner Part of Oil Palm Trunk on Binderless Particleboard. *BioResources*, *16*(3), 6015–6030. https://doi.org/10.15376/biores.16.3.6015-6030

Kristak, L., Antov, P., Bekhta, P., Lubis, M. A. R., Iswanto, A. H., Reh, R., Sedliacik, J., Savov, V., Taghiyari, H. R., Papadopoulos, A. N., Pizzi, A., & Hejna, A. (2023). Recent progress in ultra-low formaldehyde emitting adhesive systems and formaldehyde scavengers in wood-based panels: a review. In *Wood Material Science and Engineering* (Vol. 18, Issue 2). https://doi.org/10.1080/17480272.2022.2056080

Kusumah, S. S., Arinana, A., Hadi, Y. S., Guswenrivo, I., Yoshimura, T., Umemura, K., Tanaka, S., & Kanayama, K. (2017). Utilization of sweet sorghum bagasse and citric acid in the manufacturing of particleboard. III: Influence of adding sucrose on the properties

Buku ini tidak diperjualbelikan.

of particleboard. *BioResources*, *12*(4), 7498–7514. https://doi.org/10.15376/biores.12.4.7498-7514

Kusumah, S. S., Massijaya, S. Y., Prasetyo, K. W., Sutiawan, J., Lubis, M. A. R., & Hermawan, D. (2020). Surface modification of eco-friendly particleboard made from sorghum bagasse and citric acid sucrose adhesive. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *935*(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/935/1/012054

Kusumah, S. S., Santosa, D. J. M., Hermawan, D., Sutiawan, J., Purnomo, D., Syahrir, A., & Akbar, F. (2025). Optimization of Pressing Temperature and Pressing Time Sweet Sorghum Bagasse Moulding Bonded by Sucrose-Citric Acid Binder. *Green Energy and Technology*, 83–92. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1596-3_7

Kusumah, S. S., Syamani, F. A., Prasetiyo, K. W., Widodo, E., Astari, L., Munawar, S. S., & Umemura, K. (2025). Eco-Friendly Particleboard Made of Alang-Alang/Sorghum Bagasse Mixture Bonded with Citric Acid-Sucrose. *Green Energy and Technology*, 45–56. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1596-3_4

Kusumah, S. S., Umemura, K., Guswenrivo, I., Yoshimura, T., & Kanayama, K. (2017). Utilization of sweet sorghum bagasse and citric acid for manufacturing of particleboard II: influences of pressing temperature and time on particleboard properties. *Journal of Wood Science*, *63*(2), 161–172. https://doi.org/10.1007/s10086-016-1605-0

Kusumah, S. S., Umemura, K., Yoshioka, K., Miyafuji, H., & Kanayama, K. (2016). Utilization of sweet sorghum bagasse and citric acid for manufacturing of particleboard I: Effects of pre-drying treatment and citric acid content on the board properties. *Industrial Crops and Products*, *84*, 34–42. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.01.042

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Kusumah, S. S., Wibowo, D. T., Pramasari, D. A., Widyaningrum, B. A., Darmawan, T., Dwianto, W., & Umemura, K. (2020). Investigation of eco-friendly plywood bonded with citric acid - Starch based adhesive. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *460*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/460/1/012009

Laksana, R. P. B., Lubis, M. A. R., Akbar, F., **Kusumah, S. S.**, Juliana, I., Putri, R., & Mardawati, E. (2024). Influence of different organic acids hardener on performance of ultra-low molar ratio urea-formaldehyde resins adhesive. *AIP Conference Proceedings*, *2973*(1). https://doi.org/10.1063/5.0185194

Lee, S. H., Tahir, P. M., Lum, W. C., Tan, L. P., Bawon, P., Park, B. D., Al Edrus, S. S. A. O., & Abdullah, U. H. (2020). A review on citric acid as green modifying agent and binder for wood. In *Polymers* (Vol. 12, Issue 8). https://doi.org/10.3390/POLYM12081692

Lei, H., Zhou, X., Pizzi, A., Du, G., & Xi, X. (2025). Recent Developments in Bioadhesives and Binders. *Journal of Renewable Materials*, *13*(2). https://doi.org/10.32604/jrm.2025.02024-0048

Lin, Q., Zhang, X., Zhu, N., **Kusumah, S. S.**, Umemura, K., & Zhao, Z. (2023). Preparation and investigation of an eco-friendly plywood adhesive composed of sucrose and ammonium polyphosphate. *Wood Material Science and Engineering*, *18*(4), 1202–1211. https://doi.org/10.1080/17480272.2022.2121176

Massijaya, S. Y., Laksana, R. P. B., Nissa, R. C., Nurhamiyah, Y., Irmayanti, M., Ningrum, R. S., **Kusumah, S. S.**, & Karlinasari, L. (2024). Enhancement of PLA-based Biopolymer Composite Physical Properties with Addition of Sucrose. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1354*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/1354/1/012033

Massijaya, S. Y., Lubis, M., Nissa, R. C., Nurhamidah, Y., Kusumaningrum, W. B., Marlina, R., Ningrum, R. S., Sutiawan, J., Hidayat, I., **Kusumah, S. S.**, Karlinasari, L., & Hartono, R.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

(2024). Thermal Properties ' Enhancement of PLA-Starch-Based Polymer Composite Using Sucrose. *Polymers*, *16*(1028). https://doi.org/https://doi.org/10.3390/polym16081028

Nafisah, P. M., Wibowo, E. S., Mubarok, M., Darmawan, W., Lubis, M. A. R., Santoso, A., **Kusumah, S. S.**, Afif, S., & Park, B.-D. (2025). The role of lignin in enhancing adhesion performance and reducing formaldehyde emissions of phenol–resorcinol–formaldehyde resin adhesives. *International Journal of Biological Macromolecules*, *323*. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.147251

Oktay, S., Pizzi, A., Köken, N., & Bengü, B. (2024). Tannin-based wood panel adhesives. In *International Journal of Adhesion and Adhesives* (Vol. 130). https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2024.103621

Pizzi, A., & Antov, P. (2025). *Bio-based Wood Adhesives: Recent Developments*. https://doi.org/10.1007/978-981-96-3400-2_1

Prasetiyo, K. W., Hermawan, D., Hadi, Y. S., Amanda, P., & **Kusumah, S. S.** (2023). Utilization of water-soluble chitosan as a sizing agent incorporated in a paper composite: effects of pulp weight and water-soluble chitosan concentration. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *13*(13), 12265–12276. https://doi.org/10.1007/s13399-021-02031-6

Putri, D. N., Santoso, A., Laksana, R. P. B., Akbar, F., **Kusumah, S. S.**, Wibowo, E. S., Sutiawan, J., & Lubis, M. A. R. (2024). Recent developments on ultra-low formaldehyde emitting system of tannin-based adhesive derived from tropical wood barks for wood-based products manufacturing: A review. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, *132*. https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2024.103727

Putri, D. N., Santoso, A., Laksana, R. P. B., Akbar, F., **Kusumah, S. S.**, Wibowo, E. S., Sutiawan, J., & Lubis, M. A. R. (2025). Greener tannin–resorcinol–formaldehyde adhesive derived from

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Acacia mangium for the manufacture of multiply bamboo panel products. *Iranian Polymer Journal (English Edition)*, *34*(6), 853–870. https://doi.org/10.1007/s13726-024-01421-7

Saad, S., Augustina, S., Sutiawan, J., **Kusumah, S. S.**, Lubis, M. A. R., Syahfitri, A., Syukur, A., Abdillah, I. B., Aulia, M. I., Wahyudi, I., Hermawan, D., & Suhasman, S. (2025). Feasibility of Bio-Based Molasses and Citric Acid for The Manufacturing of Oil Palm Frond Particleboard. *BioResources* , *20*(2), 2656–2669. https://doi.org/10.15376/biores.20.2.2656-2669

Salise Oktay, Antonio Pizzi, Nesrin K¨oken, & Basak Bengü. (2024). Tannin-based wood panel adhesives. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, *130*.

Savero, A. M., **Kusumah, S. S.**, Lubis, M. A. R., Sutiawan, J., Wibowo, E. S., Santoso, A., Rani, I. T., Wahyudi, I., Kim, N.-H., Zhao, Z., Umemura, K., & Pizzi, A. (2025). Naturally occurring organic acid-based adhesives for manufacturing high-performance wood composites - A review. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, *142*. https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2025.104091

Siahaan, A. J. F. P., Purnomo, D., Burhani, D., Arundina, R. Y., Togatorop, E. R. S., **Kusumah, S. S.**, Hermawan, D., & Marlina, R. (2025). Development of Bentonite-Cellulose-Lignin Composite for Fire-Retardant Roof Tile Applications. *Journal of Physics: Conference Series*, *2980*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/2980/1/012013

Supianto, M., Wibowo, E. S., Nashrah, N., Purusatama, B. D., Sutiawan, J., Lubis, M. A. R., **Kusumah, S. S.**, Maulana, S., & Park, B.-D. (2026). Glyoxal-mediated structural modification enhances interfacial adhesion of soy protein adhesive in plywood. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, *148*. https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2026.104306

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Sutiawan, J., Hartono, R., Hermawan, D., Hadi, Y. S., Nawawi, D. S., Abdillah, I. B., Syahfitri, A., **Kusumah, S. S.**, Adi, D. S., Kusumaningrum, W. B., & Lubis, M. A. R. (2023). Properties of Table Tennis Blade from Sorghum Bagasse Particleboard Bonded with Maleic Acid Adhesive at Different Pressing Temperatures and Times. *Polymers*, *15*(1). https://doi.org/10.3390/polym15010166

Sutiawan, J., Hermawan, D., Hadi, Y. S., Nawawi, D. S., **Kusumah, S. S.**, Ningrum, R. S., Amanda, P., Ismayati, M., & Abdillah, I. B. (2024). Properties of sorghum (*Sorghum bicolor*) biomass particleboard at different maleic acid content and particle size as potential materials for table tennis blade. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *14*(2), 1607–1619. https://doi.org/10.1007/s13399-022-02525-x

Sutiawan, J., Hermawan, D., Hadi, Y. S., Nawawi, D. S., **Kusumah, S. S.**, Zulfiana, D., & Pramasari, D. A. (2024). Termite and decay resistance of three Sorghum (*Sorghum bicolor*) accessions particleboard bonded with maleic acid adhesive. *AIP Conference Proceedings*, *2973*(1). https://doi.org/10.1063/5.0185161

Sutiawan, J., Hermawan, D., **Kusumah, S. S.**, Widyaningrum, B. A., & Sukara, E. (2020). Utilization of Cassava Maltodextrin for Eco-friendly Adhesive in the Manufacturing of Sorghum Bagasse Particleboard. *Jurnal Sylva Lestari*, *8*(2), 144–154. https://doi.org/10.23960/jsl28144-154

Sutiawan, J., Hermawan, D., Massijaya, M. Y., **Kusumah, S. S.**, Lubis, M. A. R., Marlina, R., Purnomo, D., & Sulastiningsih, I. M. (2022). Influence of different hot-pressing conditions on the performance of eco-friendly jabon plywood bonded with citric acid adhesive. *Wood Material Science and Engineering*, *17*(6), 400–409. https://doi.org/10.1080/17480272.2021.1884898

Sutiawan, J., Sudo, Y., Sarip, D., Busyra, I., Zhao, Z., Handayani, M., Lisak, G., & Surya, S. (2022). The properties of particleboard composites made from three sorghum (*Sorghum bicolor*) accessions using maleic acid adhesive. *290*(November 2021).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Sutiawan, J., Syahfitri, A., **Kusumah, S. S.**, Hermawan, D., Sari, R. K., Hakim, L., Mardawati, E., & Lubis, M. A. R. (2024). Influence of Formulation and Hot-Pressing Conditions on the Performance of Bio-Based Molasses Adhesive for Plywood. *Journal of Renewable Materials*, *12*(8), 1383–1397. https://doi.org/10.32604/jrm.2024.052052

Sutiawan, J., Syahfitri, A., Purnomo, D., Akbar, F., Triwibowo, D., Amanda, P., **Kusumah, S. S.**, Lubis, M. A. R., Hermawan, D., Sulastiningsih, I. M., Nuryawan, A., & Hakim, L. (2023). Characterization and Application of Non-Formaldehyde Binder Based Citric Acid, Maleic Acid, and Molasses Adhesive for Plywood Composite. *Polymers*, *15*(19). https://doi.org/10.3390/polym15193897

Syahfitri, A., Hermawan, D., **Kusumah, S. S.**, Lubis, M. A. R., Widyaningrum, B. A., Ismayati, M., Amanda, P., Ningrum, R. S., & Sutiawan, J. (2024). Conversion of agro-industrial wastes of sorghum bagasse and molasses into lightweight roof tile composite. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *14*(1), 1001–1015. https://doi.org/10.1007/s13399-022-02435-y

Syamani, F. A., Arifqi, A. Z., Munawar, S. S., Astari, L., Prasetiyo, K. W., Gopar, M., **Kusumah, S. S.**, Hussin, M. H., Hadi, Y. S., & Umemura, K. (2022). Utilization of citric acid as bonding agent in sembilang bamboo (*Dendrocalamus giganteus* munro) particleboard production. *Indonesian Journal of Forestry Research*, *9*(1), 99–120. https://doi.org/10.20886/ijfr.2022.9.1.99-120

Syamani, F. A., **Kusumah, S. S.**, Astari, L., Prasetiyo, K. W., & Wibowo, E. S. (2018). Effect of pre-drying time and citric acid content on Imperata cylindrica particleboards properties. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *209*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/209/1/012034

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Syamani, F. A., Ramatia, D., Akbar, F., **Kusumah, S. S.**, & Hermawan, D. (2020). Combination of citric acid and maltodextrin as bonding agent in sorghum bagasse particleboard. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *935*(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/935/1/012058

Syukur, A., Syahfitri, A., Abdillah, I. B., Aulia, M. I., Amanda, P., Augustina, S., **Kusumah, S. S.**, Rahandi Lubis, M. A., Sutiawan, J., Mubarok, M., & Hermawan, D. (2025). Effect of pre-drying time on plywood properties bonded with citric acid and maleic acid adhesives. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1445*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/1445/1/012118

Tampubolon, R., Sribudiani, E., Somadona, S., Amin, Y., & **Kusumah, S. S.** (2022). Characteristics of Particleboard from Sorghum and Nypa Fruit Skin Fiber Bonded with Citric Acid-Sucrose Adhesive. *Jurnal Sylva Lestari*, *10*(3), 426–438. https://doi.org/10.23960/jsl.v10i3.574

Triwibowo, D., Akbar, F., Amin, Y., **Kusumah, S. S.**, & Hadi, Y. S. (2025). Hot Pressing Treatment on Physical and Mechanical Properties of Com-Ply Bonded with Citric Acid. *Lecture Notes in Civil Engineering*, *255 LNCE*, 129–137. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1422-5_10

Wibowo, E. S., **Kusumah, S. S.**, Subyakto, & Umemura, K. (2021). Modification of novel bio-based adhesive made from citric acid and sucrose by ZnCl2. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, *108*. https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2021.102866

Wibowo, E. S., Park, B.-D., Lubis, M. A. R., **Kusumah, S. S.**, Santoso, A., Sari, A. A., & Iswanto, A. H. (2025). Enhancing the performance of cold-setting phenol–resorcinol–formaldehyde resin adhesives through condensation extension. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, *138*. https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2025.103958

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Widodo, E., **Kusumah, S. S.**, Subyakto & Umemura, K. (2020). Development of moulding using sweet sorghum bagasse and citric acid: Effects of application method and citric acid content. *Forest Products Journal*, *70*(2), 151–157. https://doi.org/10.13073/FPJ-D-19-00060

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR CAPAIAN DALAM BIDANG IPTEK, RISET, DAN INOVASI

Karya Tulis Ilmiah

1.	Bagian dari Buku Internasional	1 buah
2.	Jurnal Internasional	54 buah
3.	Jurnal Nasional	17 buah
4.	Prosiding Internasional	27 buah
5.	Prosiding Nasional	6 buah

Kekayaan Intelektual

6.	Paten Nasional	
	a) Terdaftar	45 buah
	b) Tersertifikasi	11 buah

Kerjasama

7.	Transaksi Lisensi	1 buah

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

Bagian dari Buku Internasional

1. **Kusumah S. S**., Astari L, Subyakto, Umemura K. 2019. Sweet sorghum bagasse as prospective raw material for eco-friendly particleboard in Sweet sorghum: characteristic, cultivation and uses. Nova Science Publisher, ISBN: 978-1-53615-386-6. New York.

Jurnal Internasional

2. Abdillah, I. B., Syahfitri, A., Aulia, M. I., Syukur, A., Augustina, S., **Kusumah, S. S.**, Lubis, M. A. R., Sutiawan, J., Mubarok, M., Sari, R. K., Nugroho, N., Hadi, Y. S., & Hermawan, D. (2025). Evaluation of Porang Flour (*Amorphophallus muelleri*) as Natural Filler for Enhancing Urea Formaldehyde and Citric Acid Adhesives in Plywood Production. *BioResources* , *20*(3), 6135–6160. https://doi.org/10.15376/biores.20.3.6135-6160
3. Adelka, Y. F., Purnomo, D., Widyaningrum, B. A., Handayani, M., Sutiawan, J., Umemura, K., Hermawan, D., & **Kusumah, S. S.** (2023). Effectiveness of Nanocatalyst in the Improvement of Sorghum Bagasse Particleboard Bonded with Bio-Adhesive. *Jurnal Sylva Lestari*, *11*(3), 382–395. https://doi.org/10.23960/jsl.v11i3.765
4. Annifah, R. U., Nissa, R. C., **Kusumah, S. S.**, Iasya, Y. K. A. A., Adi, D. T. N., Martina, A., & Nurhamiyah, Y. (2026). Unlocking the potential of the red alga *Mastocarpus papillatus* as a sustainable source of 5-hydroxymethylfurfural (HMF). *Journal of Applied Phycology*, *38*(1), 693–700. https://doi.org/10.1007/s10811-026-03783-2

Buku ini tidak diperjualbelikan.

5. Arra'd Sofianto, I., Dwianto, W., Adi, D. S., Triwibowo, D., Darmawan, T., Amin, Y., Bahanawan, A., Sejati, P. S., Damayanti, R., Rahmanto, R. G. H., Agustiningrum, D. A., Pari, R., Dewi, L. M., **Kusumah, S. S.**, Augustina, S., & Marbun, S. D. (2024). Application of near-infrared spectroscopy for predicting the wood density of teakwood stands by increment cores and thin wood surface sampling. *International Wood Products Journal*, *15*(1), 55–62. https://doi.org/10.1177/20426445241230424

6. Augustina, S., Bazhafah, A. S., Sutiawan, J., Wibowo, E. S., Solihat, N. N., Savero, A. M., Ismadi, I., Jayadi, J., Wismogroho, A. S., Ratnaningtyas, N. I., & **Kusumah, S. S.** (2025). Molasses Adhesive Boosts Bio-Pellet Potential: A Study on Oyster Mushroom Baglog Waste. *Journal of Renewable Materials*, *13*(9), 1765–1781. https://doi.org/10.32604/jrm.2025.02025-0014

7. Burhani, D., Septevani, A. A., Setiawan, R., Djannah, L. M., Putra, M. A., **Kusumah, S. S.**, & Sondari, D. (2021). Self-assembled behavior of ultralightweight aerogel from a mixture of cnc/cnf from oil palm empty fruit bunches. *Polymers*, *13*(16). https://doi.org/10.3390/polym13162649

8. Damanik, A. G., Hermawan, D., **Kusumah, S. S.**, Guswenrivo, I., Zulfiana, D., Kusumaningrum, W. B., Suryanegara, L., Ningrum, R. S., & Hidayat, I. (2023). Resistance of Chip Block Pallet from Teak Wood Particle against Decay Fungi and Subterranean Termites. *Jurnal Sylva Lestari*, *11*(2), 284–297. https://doi.org/10.23960/jsl.v11i2.704

9. Hartono, R., Sutiawan, J., **Kusumah, S. S.**, Tarmadi, D., Wikantyoso, B., Himmi, S. K., Yusuf, S., Zulfiana, D., Roseley, A. S. M., & Abu, F. (2025). Belangke Bamboo (*Gigantochloa pruriens*) Laminated Board Modified with Polystyrene, Citric,

Buku ini tidak diperjualbelikan.

and Boric Acid: Resistance from Termite and Decay Attacks. *BioResources* , *20*(1), 426–437. https://doi.org/10.15376/biores.20.1.426-437

10. Hermawan, D., Damanik, A. G., Sudarmanto, S., Purnomo, D., Narto, N., Suryanegara, L., Ismadi, I., Marlina, R., Ningrum, R. S., Massijaya, S. Y., Sutiawan, J., Umemura, K., **Kusumah, S. S.**, & Iswanto, A. H. (2024). Production and Properties Chip Block Pallets from Teak Wood (*Tectona grandis* sp.) Biomass. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, *52*(5), 423–437. https://doi.org/10.5658/WOOD.2024.52.5.423
11. Iasya, Y. K. A. A., Nissa, R. C., **Kusumah, S. S.**, Annifah, R. U., & Nurhamiyah, Y. (2025). Comparative study on the blends of PBS with thermoplastic starch and agar on their potential as renewable source of bioplastic. *Polymer Bulletin*, *82*(12), 6507–6523. https://doi.org/10.1007/s00289-025-05796-2
12. Iswanto, A. H., Lubis, M. A. R., Sutiawan, J., Al-Edrus, S. S. O., Lee, S. H., Antov, P., Kristak, L., Reh, R., Mardawati, E., Santoso, A., & **Kusumah, S. S.** (2023). Latest Advancements in the Development of High-Performance Lignin- and Tanin-Based Non-Isocyanate Polyurethane Adhesive for Wood Composites. *Polymers*, *15*(19). https://doi.org/10.3390/polym15193864
13. Iswanto, A. H., Manurung, H., Sohail, A., Hua, L. S., Antov, P., Nawawi, D. S., Latifah, S., Kayla, D. S., **Kusumah, S. S.**, Lubis, M. A. R., Osvaldová, L. M., Hussin, M. H., Selvasembian, R., Chen, L. W., Nurcahyani, P. R., Kim, N. H., & Fatriasari, W. (2024). Thermo-Mechanical, Physico-Chemical, Morphological, and Fire Characteristics of Eco-Friendly Particleboard Manufactured with Phosphorylated Lignin Addition. *Journal of Renewable Materials*, *12*(7), 1311–1341. https://doi.org/10.32604/jrm.2024.052172

Buku ini tidak diperjualbelikan.

14. Juwono, A. L., Budiman, I., Lubis, M. A. R., **Kusumah, S. S.**, Kusumaningrum, W. B., & Adi, D. S. (2022). Effect of cold-water treatment and hydrothermal carbonization of oil-palm-trunk fibers on compatibility with cement for the preparation of cement-bonded particleboard. *Wood Material Science and Engineering*, *17*(6), 979–988. https://doi.org/10.1080/17480272.2021.1983871

15. Kartikawati, A., Augustina, S., Lubis, M. A. R., **Kusumah, S. S.**, Santoso, A., Sutiawan, J., Zulfiana, D., Manurung, H., Herawati, E., Marwanto, M., Oramahi, H. A., Aristri, M. A., & Martha, R. (2025). Tanin-based Polyurethane Coating for Quality Improvement of Roof Tiles Composite. *BioResources* , *20*(3), 7088–7106. https://doi.org/10.15376/biores.20.3.7088-7106

16. Kartikawati, A., Basri, E., Malik, J., Santoso, A., Maulana, M. I., Wibowo, E. S., **Kusumah, S. S.**, Sutiawan, J., & Lubis, M. A. R. (2025). Technological advancement in development of super-hydrophobic coatings for high-performance wood composites: A review. *Progress in Organic Coatings*, *203*. https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2025.109160

17. Komariah, R. N., Miyamoto, T., **Kusumah, S. S.**, Tanaka, S., Umezawa, T., Kanayama, K., & Umemura, K. (2021). Effects of Adding Ammonium Dihydrogen Phosphate to a Water-soluble Extract of the Inner Part of Oil Palm Trunk on Binderless Particleboard. *BioResources*, *16*(3), 6015–6030. https://doi.org/10.15376/biores.16.3.6015-6030

18. Kusumah, S. S., Arinana, A., Hadi, Y. S., Guswenrivo, I., Yoshimura, T., Umemura, K., Tanaka, S., & Kanayama, K. (2017). Utilization of sweet sorghum bagasse and citric acid in the manufacturing of particleboard. III: Influence of adding sucrose on the properties of particleboard. *BioResources*, *12*(4), 7498–7514. https://doi.org/10.15376/biores.12.4.7498-7514

Buku ini tidak diperjualbelikan.

19. **Kusumah, S. S.**, Astari, L., & Umemura, K. (2019). Sweet sorghum bagasse as prospective raw material for eco-friendly particleboard. In *Sweet Sorghum: Characteristics, Cultivation and Uses* (pp. 97–131). https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85077826612&partnerID=40&md5=52478fca674d27f3535f3338f94e60bd

20. **Kusumah, S. S.**, Umemura, K., Guswenrivo, I., Yoshimura, T., & Kanayama, K. (2017). Utilization of sweet sorghum bagasse and citric acid for manufacturing of particleboard II: influences of pressing temperature and time on particleboard properties. *Journal of Wood Science*, *63*(2), 161–172. https://doi.org/10.1007/s10086-016-1605-0

21. **Kusumah, S. S.**, Umemura, K., Yoshioka, K., Miyafuji, H., & Kanayama, K. (2016). Utilization of sweet sorghum bagasse and citric acid for manufacturing of particleboard I: Effects of pre-drying treatment and citric acid content on the board properties. *Industrial Crops and Products*, *84*, 34–42. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.01.042

22. Lin, Q., Zhang, X., Zhu, N., **Kusumah, S. S.**, Umemura, K., & Zhao, Z. (2023). Preparation and investigation of an eco-friendly plywood adhesive composed of sucrose and ammonium polyphosphate. *Wood Material Science and Engineering*, *18*(4), 1202–1211. https://doi.org/10.1080/17480272.2022.2121176

23. Massijaya, S. Y., Lubis, M. A. R., Nissa, R. C., Nurhamiyah, Y., Kusumaningrum, W. B., Marlina, R., Ningrum, R. S., Sutiawan, J., Hidayat, I., **Kusumah, S. S.**, Karlinasari, L., & Hartono, R. (2024). Thermal Properties' Enhancement of PLA-Starch-Based Polymer Composite Using Sucrose. *Polymers*, *16*(8). https://doi.org/10.3390/polym16081028

24. Masssijaya, S. Y., Lubis, M. A. R., Nissa, R. C., Nurhamiyah, Y., Nugroho, P., Antov, P., Lee, S.-H., Papadopoulos, A. N.,

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Kusumah, S. S., & Karlinasari, L. (2023). Utilization of Spent Coffee Grounds as a Sustainable Resource for the Synthesis of Bioplastic Composites with Polylactic Acid, Starch, and Sucrose. *Journal of Composites Science*, *7*(12). https://doi.org/10.3390/jcs7120512

25. Mubarok, M., Arifin, B., Priadi, T., Hadi, Y. S., Trisatya, D. R., Wibowo, E. S., Abdillah, I. B., Martha, R., Syukur, A., Farobie, O., Zaini, L. H., **Kusumah, S. S.**, Gérardin, P., Militz, H., Zhou, X., Papadopoulou, I. A., & Papadopoulos, A. N. (2026). Characteristics of Particleboards Made from Esterified Rattan Skin Particles with Glycerol–Citric Acid: Physical, Mechanical, Chemical, and Durability Properties. *Polymers*, *18*(1). https://doi.org/10.3390/polym18010107
26. Mustaghfirin, M., Hermawan, D., Nawawi, D. S., **Kusumah, S. S.**, Ismayati, M., Sutiawan, J., Ningrum, R. S., & Wikantyoso, B. (2026). Enhancing solid fuel potential of water hyacinth: A study on chemical modification through composting and demineralization. *International Journal of Renewable Energy Development*, *15*(1), 135–146. https://doi.org/10.61435/ijred.2026.61468
27. Nafisah, P. M., Wibowo, E. S., Mubarok, M., Darmawan, W., Lubis, M. A. R., Santoso, A., **Kusumah, S. S.**, Afif, S., & Park, B.-D. (2025). The role of lignin in enhancing adhesion performance and reducing formaldehyde emissions of phenol–resorcinol–formaldehyde resin adhesives. *International Journal of Biological Macromolecules*, *323*. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.147251
28. Nissa, R. C., Hanifah, A., Nurhamiyah, Y., Firdiana, B., Christian, D., Veridianti, D. D., Abdullah, A. H. D., & **Kusumah, S. S.** (2024). The processability and properties of agar/gelatin film in a melt-mixing process. *Green Materials*. https://doi.org/10.1680/jgrma.24.00002

Buku ini tidak diperjualbelikan.

29. Nissa, R. C., Nugroho, R. W. N., Irmayanti, M., Laksana, R. P. B., Nurhamiyah, Y., **Kusumah, S. S.**, Khoerunnisa, F., Abdullah, A. H. D., Ishmayana, S., Sumiarsa, D., hidawati, H., hidayat, H., & fateha, F. (2026). Optimization of DES-based Pretreatment for Enhanced Lignin Removal from Sugarcane Bagasse: An Experimental and Response Surface Methodology Approach. *Sugar Tech*, *28*(2), 555–566. https://doi.org/10.1007/s12355-025-01672-5

30. Nurani, D., Masruchin, N., Widyaningrum, B. A., **Kusumah, S. S.**, Ningrum, R. S., Darmokoesoemo, H., & Kusuma, H. S. (2024). Pickering emulsion stabilized by cellulose nanofibril from pineapple leaves for biofoam manufacture. *Nano-Structures and Nano-Objects*, *39*. https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2024.101223

31. Pitaloka, M. K., Tyas, K. N., Santoso, M., Isnaeni, I., Rozak, A. H., Fathoni, A., **Kusumah, S. S.**, Zulkarnaen, R. N., Usmadi, D., Rini, D. S., Triadiati, T., Ismayati, M., Damayanti, F., & Rivai, R. R. (2025). Artificial light at night (ALAN) induces different photosynthetic activities and secondary metabolite accumulation in several plant species. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, *98*, 147–157. https://doi.org/10.5073/JABFQ.2025.098.017

32. Prasetiyo, K. W., Hermawan, D., Hadi, Y. S., Amanda, P., & **Kusumah, S. S.** (2023). Utilization of water-soluble chitosan as a sizing agent incorporated in a paper composite: effects of pulp weight and water-soluble chitosan concentration. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *13*(13), 12265–12276. https://doi.org/10.1007/s13399-021-02031-6

33. Putri, D. N., Santoso, A., Laksana, R. P. B., Akbar, F., **Kusumah, S. S.**, Wibowo, E. S., Sutiawan, J., & Lubis, M. A. R. (2024). Recent developments on ultra-low formaldehyde emitting system of tanin-based adhesive derived from tropical wood barks for wood-based products manufacturing: A review.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

International Journal of Adhesion and Adhesives, *132*. https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2024.103727

34. Putri, D. N., Santoso, A., Laksana, R. P. B., Akbar, F., **Kusumah, S. S.**, Wibowo, E. S., Sutiawan, J., & Lubis, M. A. R. (2025). Greener tanin–resorcinol–formaldehyde adhesive derived from *Acacia mangium* for the manufacture of multiply bamboo panel products. *Iranian Polymer Journal (English Edition)*, *34*(6), 853–870. https://doi.org/10.1007/s13726-024-01421-7
35. Rahman, S., Akter, M., Farhabi, A. N., **Kusumah, S. S.**, Umemura, K., & Shams, M. I. (2026). A Simplified Manufacturing Technique of Fabricating Jute Stick Cross-banded Board Reinforced with Citric Acid as a Natural Binder: Process Optimization and Characterization. *BioResources* , *21*(1), 1515–1528. https://doi.org/10.15376/biores.21.1.1515-1528
36. Saad, S., Augustina, S., Sutiawan, J., **Kusumah, S. S.**, Lubis, M. A. R., Syahfitri, A., Syukur, A., Abdillah, I. B., Aulia, M. I., Wahyudi, I., Hermawan, D., & Suhasman, S. (2025). Feasibility of Bio-Based Molasses and Citric Acid for The Manufacturing of Oil Palm Frond Particleboard. *BioResources* , *20*(2), 2656–2669. https://doi.org/10.15376/biores.20.2.2656-2669
37. Savero, A. M., **Kusumah, S. S.**, Lubis, M. A. R., Sutiawan, J., Wibowo, E. S., Santoso, A., Rani, I. T., Wahyudi, I., Kim, N.-H., Zhao, Z., Umemura, K., & Pizzi, A. (2025). Naturally occurring organic acid-based adhesives for manufacturing high-performance wood composites - A review. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, *142*. https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2025.104091
38. Supianto, M., Wibowo, E. S., Nashrah, N., Purusatama, B. D., Sutiawan, J., Lubis, M. A. R., **Kusumah, S. S.**, Maulana, S., & Park, B.-D. (2026). Glyoxal-mediated structural modification enhances interfacial adhesion of soy protein adhesive in plywood.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

International Journal of Adhesion and Adhesives, *148*. https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2026.104306

39. Supianto, M., Wibowo, E. S., Rahandi Lubis, M. A., **Kusumah, S. S.**, Sutiawan, J., Yadav, S. M., & Park, B.-D. (2025). Evaluating the differences of adhesion strength between mussel-inspired and conventional soy protein adhesives: A critical review. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, *141*. https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2025.104059
40. Sutiawan, J., Hadi, Y. S., Nawawi, D. S., Abdillah, I. B., Zulfiana, D., Lubis, M. A. R., Nugroho, S., Astuti, D., Zhao, Z., Handayani, M., Lisak, G., **Kusumah, S. S.**, & Hermawan, D. (2022). The properties of particleboard composites made from three sorghum (*Sorghum bicolor*) accessions using maleic acid adhesive. *Chemosphere*, *290*. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133163
41. Sutiawan, J., Hartono, R., Hermawan, D., Hadi, Y. S., Nawawi, D. S., Abdillah, I. B., Syahfitri, A., **Kusumah, S. S.**, Adi, D. S., Kusumaningrum, W. B., & Lubis, M. A. R. (2023). Properties of Table Tennis Blade from Sorghum Bagasse Particleboard Bonded with Maleic Acid Adhesive at Different Pressing Temperatures and Times. *Polymers*, *15*(1). https://doi.org/10.3390/polym15010166
42. Sutiawan, J., Hermawan, D., Hadi, Y. S., Nawawi, D. S., **Kusumah, S. S.**, Ningrum, R. S., Amanda, P., Ismayati, M., & Abdillah, I. B. (2024). Properties of sorghum (*Sorghum bicolor*) biomass particleboard at different maleic acid content and particle size as potential materials for table tennis blade. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *14*(2), 1607–1619. https://doi.org/10.1007/s13399-022-02525-x
43. Sutiawan, J., Hermawan, D., **Kusumah, S. S.**, Widyaningrum, B. A., & Sukara, E. (2020). Utilization of Cassava Maltodextrin for Eco-friendly Adhesive in the Manufacturing of Sorghum Bagasse

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Particleboard. *Jurnal Sylva Lestari*, *8*(2), 144–154. https://doi.org/10.23960/jsl28144-154

44. Sutiawan, J., Hermawan, D., Massijaya, M. Y., **Kusumah, S. S.**, Lubis, M. A. R., Marlina, R., Purnomo, D., & Sulastiningsih, I. M. (2022). Influence of different hot-pressing conditions on the performance of eco-friendly jabon plywood bonded with citric acid adhesive. *Wood Material Science and Engineering*, *17*(6), 400–409. https://doi.org/10.1080/17480272.2021.1884898
45. Sutiawan, J., Syahfitri, A., **Kusumah, S. S.**, Hermawan, D., Sari, R. K., Hakim, L., Mardawati, E., & Lubis, M. A. R. (2024). Influence of Formulation and Hot-Pressing Conditions on the Performance of Bio-Based Molasses Adhesive for Plywood. *Journal of Renewable Materials*, *12*(8), 1383–1397. https://doi.org/10.32604/jrm.2024.052052
46. Sutiawan, J., Syahfitri, A., Purnomo, D., Akbar, F., Triwibowo, D., Amanda, P., **Kusumah, S. S.**, Lubis, M. A. R., Hermawan, D., Sulastiningsih, I. M., Nuryawan, A., & Hakim, L. (2023). Characterization and Application of Non-Formaldehyde Binder Based Citric Acid, Maleic Acid, and Molasses Adhesive for Plywood Composite. *Polymers*, *15*(19). https://doi.org/10.3390/polym15193897
47. Syahfitri, A., Hermawan, D., **Kusumah, S. S.**, Lubis, M. A. R., Widyaningrum, B. A., Ismayati, M., Amanda, P., Ningrum, R. S., & Sutiawan, J. (2024). Conversion of agro-industrial wastes of sorghum bagasse and molasses into lightweight roof tile composite. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *14*(1), 1001–1015. https://doi.org/10.1007/s13399-022-02435-y
48. Syamani, F. A., Arifqi, A. Z., Munawar, S. S., Astari, L., Prasetiyo, K. W., Gopar, M., **Kusumah, S. S.**, Hussin, M. H., Hadi, Y. S., & Umemura, K. (2022). Utilization of citric acid as bonding agent in sembilang bamboo (*Dendrocalamus*

Buku ini tidak diperjualbelikan.

giganteus munro) particleboard production. *Indonesian Journal of Forestry Research*, *9*(1), 99–120. https://doi.org/10.20886/ijfr.2022.9.1.99-120.

49. Syukur, A., Damanik, A. G., Mubarok, M., Hermawan, D., Sutiawan, J., Kartikawati, A., Lubis, M. A. R., **Kusumah, S. S.**, Wibowo, E. S., Purnomo, D., & Hidayat, A. (2025). Effects of Adhesives on the Physical and Mechanical Properties of Chip Block Pallets from Mixed Forest Group Wood Biomass. *BioResources* , *20*(2), 3788–3807. https://doi.org/10.15376/biores.20.2.3788-3807
50. Tampubolon, R., Sribudiani, E., Somadona, S., Amin, Y., & **Kusumah, S. S.** (2022). Characteristics of Particleboard from Sorghum and Nypa Fruit Skin Fiber Bonded with Citric Acid-Sucrose Adhesive. *Jurnal Sylva Lestari*, *10*(3), 426–438. https://doi.org/10.23960/jsl.v10i3.574
51. Tascioglu, C., Umemura, K., Kusuma, S. S., & Yoshimura, T. (2017). Potential utilization of sodium fluoride (NaF) as a biocide in particleboard production. *Journal of Wood Science*, *63*(6), 652–657. https://doi.org/10.1007/s10086-017-1654-z
52. Triwibowo, D., Akbar, F., Amin, Y., **Kusumah, S. S.**, & Hadi, Y. S. (2025). Hot Pressing Treatment on Physical and Mechanical Properties of Com-Ply Bonded with Citric Acid. *Lecture Notes in Civil Engineering*, *255 LNCE*, 129–137. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1422-5_10
53. Wibowo, E. S., **Kusumah, S. S.**, & Umemura, K. (2021). Modification of novel bio-based adhesive made from citric acid and sucrose by ZnCl2. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, *108*. https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2021.102866
54. Wibowo, E. S., Park, B.-D., Lubis, M. A. R., **Kusumah, S. S.**, Santoso, A., Sari, A. A., & Iswanto, A. H. (2025). Enhancing the performance of cold-setting phenol–resorcinol–formaldehyde

Buku ini tidak diperjualbelikan.

resin adhesives through condensation extension. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, *138*. https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2025.103958

55. Widodo, E., **Kusumah, S. S.**, & Umemura, K. (2020). Development of moulding using sweet sorghum bagasse and citric acid: Effects of application method and citric acid content. *Forest Products Journal*, *70*(2), 151–157. https://doi.org/10.13073/FPJ-D-19-00060

Jurnal Nasional

56. Khairaummah, A., Puspitasari, I., Bazhafah, A. S., Ratnaningtyas, N. I., Mumpuni, A., Ismadi, I., **Kusumah, S. S.,** & Ningrum, R. S. (2022). The properties of particleboard composite made from *Pleurotus ostreatus* baglog waste using citric acid and sucrose adhesive. Jurnal Bahan Alam Terbarukan. 11(2): 115-123. DOI: 10.15294/jbat.v11i2.40279

57. Ismadi, I., Marlina R., **Kusumah S S.,** Subiyanto B., Suryanegara L., Subyakto, S. (2020). Characteristics of Environmentally Friendly Food Container Composite Made From Sorghum Bagasse and Citric Acid. Jurnal Bahan Alam Terbarukan 9 (2):103-112.

58. Zulfiana, D. & **Kusumah, S. S.** (2014). Resistance of composite board made from sago frond (*Metroxylon sago Rottb*.) against rotting fungi and subteranean termite. Jurnal Penelitian Hasil Hutan, 32(4), 253-262. ISSN: 0216-4329.

59. Kusumah, S. S., Subiyanto, B., & Massijaya, M. Y. (2011). Process Optimation of Composite Board Production made from Wood Waste and Bamboo. Journal of Widyariset: Natural/ Engineering Science edition. Indonesian Institute of Sciences (LIPI). Vol 14 No. 2: 415-422. ISSN: 1411-7932.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

60. Yusro, F., **Kusumah, S. S.,** & Massijaya, M. Y. (2011). Utilization of Tanin Jeunjing Wood (*Paraserienthes falcataria*) as Fortifier Urea Formaldehyde Adhesive at Plywood Making. Journal of Belian. Politeknik Negeri Pontianak. Vol. 10. No. 2: 118-124. ISSN: 0854 – 9954.

61. Kusumah, S. S., Subiyanto, B., & Massijaya, M. Y. (2010). Arrangement Design and Thickness Determination of Log Core Strips of Composite Board. Journal of Tropical Wood Science and Technology, The Indonesian Wood Research Society. Vol 8. No. 1: 68-76. ISSN: 1693-3834

62. Kusumah, S. S., & Massijaya, M. Y. (2005). Technical Feasibility Analysis of Particleboard Made from Wood Waste and Corrugated Cartoon. Journal of Forest Product Technology, Bogor Agricultural University. Vol 18: 36-39.

63. Massijaya, M. Y., Bakar, E. S., Yusfeirosyid, K. L., & **Kusumah, S. S.** (2009). Quality Improvement of Palm Wood (*Elaeis guineensis* Jaqc.) by "*Compress*" Method. Annual Seminar and Congress - Indonesian Palm Society. Bogor. Indonesia

64. Sutiawan, J., Mardhatillah, S., Hermawan, D., Syamani, F. A., & **Kusumah, S. S**. (2020). Karakteristik papan partikel campuran limbah kayu sengon dan bagas sorgum menggunakan perekat asam sitrat. Jurnal Penelitian Hasil Hutan, 38(3), 139-150. DOI: 10.20886/jphh.2020.38.3.139-150

65. Sutiawan, J., Mardhatillah, S., Hermawan, D., Syamani, F. A., Subyakto, S., & **Kusumah, S. S**. (2020). Pengaruh Jenis Perekat terhadap Sifat Papan Partikel dari Campuran Limbah Vinir Sengon dan Bagas Sorgum urnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis, 18(1), 1-10.

66. Hermiyati, I., Hasan, A., & **Kusumah**, S. S. (2020). Karakteristik Pematangan Dan Sifat Mekanik Karet Bantalan Kaki Sepeda

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Motor Dengan Bahan Pengisi Pasir Kuarsa. Jurnal Dinamika Penelitian Industri, 31(1), 51-58.

67. Cahyaningtyas, A. A., Ermawati, R., Supeni, G., Syamani, F. A., Masruchin, N., Kusumaningrum, W. B., Pramasari, D. A., Darmawan, T., Ismadi, I., Wibowo, E. S., Triwibowo, D., & **Kusumah, S. S.** (2019). Modifikasi dan karakterisasi pati batang kelapa sawit secara hidrolisis sebagai bahan baku bioplastic. Jurnal Kimia dan Kemasan, 41(1), 37-44. DOI: doi.org/10.24817/jkk.v41i1.4623

68. Rumbaremata, A., Cahyono, T. C., Darmawan, T., **Kusumah, S. S.,** Akbar, F., & Dwianto, W. 2019. Peningkatan kerapatan kayu Samama melalui pre-kompresi asam sitrat (Density improvement of Samama wood by pre-compression of citric acid). Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis, 17(2), 122-133.

69. Zulfiana, D., & **Kusumah, S. S**. (2014). Ketahanan Papan Komposit dari Pelepah Sagu (*Metroxylon sago* Rottb.) terhadap Jamur Pelapuk dan Rayap Tanah. Jurnal Penelitian Hasil Hutan, 32(4), 253-256. DOI: 10.20886/jphh.2014.32.4.253-262

70. Yoga, E. P., **Kusumah, S. S.,** Suryana, J., & Massijaya, M. Y. (2014). Characteristics of Plybamboo made from woven mat of Andong Bamboo (*Gigantochloa pseudoarundinaceae*). Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis, 12(1), 65-73.

71. Amin, Y., Danang, S. A, Wahyuni, I., **Kusumah, S. S.,** & Damayanti, R. (2013). Anatomical characteristics and chemical properties of the branch-wood of *Schizolobium amazonicum* Ducke species and its potential uses. Indonesian Journal of Forestry Research, 10(2), 119-125

72. Kusumah, S. S., Subiyanto, B., & Massijaya, M. Y. Optimizing of composite board production made from wood waste and bamboo. Widyariset, 14(2), 145-422.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Prosiding Internasional

73. Agustina, W., Aditiawati, P., & **Kusumah, S. S.** (2022). Myco-briquettes from sugar palm dregs fibre, cassava dregs and coconut shell charcoal with solid substrate fermentation technology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *963*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/963/1/012016

74. Agustina, W., Aditiawati, P., **Kusumah, S. S.**, & Dungani, R. (2019). Physical and mechanical properties of composite boards from the mixture of palm sugar fiber and cassava bagasse using mycelium of *Ganoderma lucidum* as a biological adhesive. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *374*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/374/1/012012

75. Astari, L., **Kusumah, S. S.**, Akbar, F., & Prasetiyo, K. W. (2019). Quality of particleboard made from rattan waste. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *374*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/374/1/012009

76. Bahanawan, A., **Kusumah, S. S.**, Darmawan, T., Masruchin, N., Pramasari, D. A., Triwibowo, D., Kusumaningrum, W. B., Wibowo, E. S., Syamani, F. A., Krishanti, N. P. R. A., Lestari, E., Amin, Y., Sufiandi, S., Syahrir, A., & Dwianto, W. (2019). Moisture content, color quantification and starch content of oil palm trunk (*Elaeis guineensis* Jacq.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *374*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/374/1/012041

77. Burhani, D., **Kusumah, S. S.**, Septevani, A. A., Setiawan, R., Ningrum, R. S., Widyaningrum, B. A., Djannah, L. M., Putra, M. A., & Sondari, D. (2025). The Potential of Kapok/Chitosan/Cellulose Nanofiber Aerogel as Oil Absorbent. *Green Energy and Technology*, 17–29. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1596-3_2

Buku ini tidak diperjualbelikan.

78. Dwianto, W., Bahanawan, A., **Kusumah, S. S.**, Darmawan, T., Amin, Y., Pramasari, D. A., Lestari, E., & Akbar, F. (2019). Study on the existence and characteristics of Sonokeling (*Dalbergia latifolia* Roxb) as an Appendix II CITES Wood. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *374*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/374/1/012063

79. Dwianto, W., **Kusumah, S. S.**, Darmawan, T., Amin, Y., Bahanawan, A., Pramasari, D. A., Lestari, E., Himmi, S. K., Hermiati, E., Fatriasari, W., Laksana, R. P. B., & Damayanti, R. (2019). Anatomical observation and characterization on basic properties of Agarwood (Gaharu) as an Appendix II CITES. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *374*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/374/1/012062

80. Gopar, M., **Kusumah, S. S.**, Astari, L., Syamani, F. A., Marlina, R., Umemura, K., & Hermawan, A. (2022). Investigation of optimum particles size and citric acid content for coconut husk particleboard manufacturing. *AIP Conference Proceedings*, *2454*. https://doi.org/10.1063/5.0078508

81. **Kusumah, S. S.**, Massijaya, S. Y., Prasetyo, K. W., Sutiawan, J., Lubis, M. A. R., & Hermawan, D. (2020). Surface modification of eco-friendly particleboard made from sorghum bagasse and citric acid sucrose adhesive. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *935*(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/935/1/012054

82. **Kusumah, S. S.**, Santosa, D. J. M., Hermawan, D., Sutiawan, J., Purnomo, D., Syahrir, A., & Akbar, F. (2025). Optimization of Pressing Temperature and Pressing Time Sweet Sorghum Bagasse Moulding Bonded by Sucrose-Citric Acid Binder. *Green Energy and Technology*, 83–92. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1596-3_7

Buku ini tidak diperjualbelikan.

83. **Kusumah, S. S.**, Syamani, F. A., Prasetiyo, K. W., Widodo, E., Astari, L., Munawar, S. S., & Umemura, K. (2025). Eco-Friendly Particleboard Made of Alang-Alang/Sorghum Bagasse Mixture Bonded with Citric Acid-Sucrose. *Green Energy and Technology*, 45–56. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1596-3_4

84. **Kusumah, S. S.**, Wibowo, D. T., Pramasari, D. A., Widyaningrum, B. A., Darmawan, T., Dwianto, W., & Umemura, K. (2020). Investigation of eco-friendly plywood bonded with citric acid - Starch based adhesive. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *460*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/460/1/012009

85. Laksana, R. P. B., Lubis, M. A. R., Akbar, F., **Kusumah, S. S.**, Juliana, I., Putri, R., & Mardawati, E. (2024). Influence of different organik acids hardener on performance of ultra-low molar ratio urea-formaldehyde resins adhesive. *AIP Conference Proceedings*, *2973*(1). https://doi.org/10.1063/5.0185194

86. Marlina, R., Nissa, R. C., Purnomo, D., Sebastian, G., **Kusumah, S. S.**, Nugroho, A., Prasetiyo, K. W., Syammani, F. A., Sulastiningsih, I. M., & Subiyanto, B. (2023). Mechanical and Physical Properties of Biodegradable Foams Made from Sorghum Fiber and Rice Straw for Food Packaging Applications. *BIO Web of Conferences*, *77*. https://doi.org/10.1051/bioconf/20237701006

87. Masruchin, N., Kurniawan, Y. D., **Kusumah, S. S.**, Amanda, P., Suryanegara, L., & Nuryawan, A. (2019). TEMPO-mediated oxidation cellulose pulp modified with Monosodium Glutamate (MSG). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *374*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/374/1/012010

88. Massijaya, S. Y., Laksana, R. P. B., Nissa, R. C., Nurhamiyah, Y., Irmayanti, M., Ningrum, R. S., **Kusumah, S. S.**, & Karlinasari,

Buku ini tidak diperjualbelikan.

L. (2024). Enhancement of PLA-based Biopolymer Composite Physical Properties with Addition of Sucrose. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1354*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/1354/1/012033

89. Munawar, S. S., **Kusumah, S. S.**, Subiyanto, B., Purnomo, D., Akbar, F., & Syahrir, A. (2021). Physical and Mechanical Properties of Natural Fiber Polyester Laminate Composites. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *891*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/891/1/012002
90. Prasetiyo, K. W., Syamani, F. A., Amalia, Y. R., Ermawati, R., Fatimah, D., Mailisa, T., Amalia, B., Karima, R., Solikhin, A., **Kusumah, S. S.**, Masruchin, N., Munawar, S. S., & Marlina, R. (2021). Cassava starch-chitosan-sorghum micro-fibrillated cellulose biocomposite wrapping film to prevent COVID-19 outspread. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *914*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/914/1/012075
91. Sejati, P. S., **Kusumah, S. S.**, Dwianto, W., & Surjasa, D. (2020). Modification of rice biomass wastes for eco-friendly particleboard. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *572*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/572/1/012005
92. Siahaan, A. J. F. P., Purnomo, D., Burhani, D., Arundina, R. Y., Togatorop, E. R. S., **Kusumah, S. S.**, Hermawan, D., & Marlina, R. (2025). Development of Bentonite-Cellulose-Lignin Composite for Fire-Retardant Roof Tile Applications. *Journal of Physics: Conference Series*, *2980*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/2980/1/012013
93. Sutiawan, J., Hermawan, D., Hadi, Y. S., Nawawi, D. S., **Kusumah, S. S.**, Zulfiana, D., & Pramasari, D. A. (2024). Termite and decay resistance of three Sorghum (*Sorghum bicolor*) accessions particleboard bonded with maleic acid

Buku ini tidak diperjualbelikan.

adhesive. *AIP Conference Proceedings*, *2973*(1). https://doi.org/10.1063/5.0185161

94. Syamani, F. A., **Kusumah, S. S.**, Astari, L., Prasetiyo, K. W., & Wibowo, E. S. (2018). Effect of pre-drying time and citric acid content on *Imperata cylindrica* particleboards properties. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *209*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/209/1/012034
95. Syamani, F. A., Pramasari, D. J., Kusumaningrum, W. B., **Kusumah, S. S.**, Masruchin, N., Ermawati, R., Supeni, G., & Cahyaningtyas, A. A. (2020). Characteristics of Bioplastic Made from Cassava Starch Filled with Fibers from Oil Palm Trunk at Various Amount. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *439*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/439/1/012035
96. Syamani, F. A., Ramatia, D., Akbar, F., **Kusumah, S. S.**, & Hermawan, D. (2020). Combination of citric acid and maltodextrin as bonding agent in sorghum bagasse particleboard. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *935*(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/935/1/012058
97. Syukur, A., Syahfitri, A., Abdillah, I. B., Aulia, M. I., Amanda, P., Augustina, S., **Kusumah, S. S.**, Rahandi Lubis, M. A., Sutiawan, J., Mubarok, M., & Hermawan, D. (2025). Effect of pre-drying time on plywood properties bonded with citric acid and maleic acid adhesives. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1445*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/1445/1/012118
98. Togatorop, E. R. S., Arundina, R. Y., Sejati, P. S., **Kusumah, S. S.**, & Marlina, R. (2024). Proximate and structural analysis of activated carbon with different structures from oil palm biomass. *AIP Conference Proceedings*, *2973*(1). https://doi.org/10.1063/5.0184530

Buku ini tidak diperjualbelikan.

99. Vitasasti, S., & **Kusumah, S. S.** (2020). Mechanical properties investigation of green composite from ramie (*Boehmeria nivea* (L.) Gaud) and epoxy. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *591*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/591/1/012005

Prosiding Nasional

100. Darmawan, T., Adi, D. S., **Kusumah, S. S.,** Amin, Y., Rosalita, Y., & Dwianto, W. (2010). Raw Materials Alternative of Dowel from Densified Wood. Proceedings of the National Symposium Indonesian Wood Research Society (MAPEKI) XIII, November 10-11, 2010. Bali. Indonesia. P.: 555-560. ISBN: 978-979-96348-7-0.

101. Sitorus, R,. Massijaya, M. Y., & **Kusumah, S. S.** (2009). Determination Optimum Composition of Isocyanate and Melamine Formaldehyde Adhesive with Wax Content of Composite Board from Wood Waste and Betung Bamboo (*Dendrocalamus asper* (Schult.f.) Backer ex Heyne) Mat. Proceedings of the First National Symposium on Forest Products Technology Forum, October 2009. Bogor. P.: 43-50.

102. Hermawan, D,. **Kusumah, S. S.,** & Ariyani, M. S. (2009). Quality of Particleboard Made from Coconut Husk (*Cocos nucifera, L.*). Proceedings of the First National Symposium on Forest Products Technology Forum, October 2009. Bogor. Indonesia. P.: 57-65.

103. Kusumah, S. S,. Massijaya, M. Y., & Subiyanto, B. (2009). Determination of Log Core Arranggement Design and Thicknesses in Environmentally Friendly Composite Board Production. Proceedings of the First National Symposium on Forest Products Technology Forum, October 2009. Bogor. Indonesia. P.: 86-89.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

104. Pasaribu, G., **Kusumah, S. S.,** Parubak, B. S., & Massijaya, M. Y. (2009). Utilization of Tanin as Urea Formaldehyde Filler on Plywood Production (IV): Formaldehyde Emision Content. Proceedings of the First National Symposium on Forest Products Technology Forum, October 2009. Bogor. Indonesia. P.: 113-118. ISBN: 978-602-96372-0-5.

105. Sufiandi, S., Darmawan, T., **Kusumah, S. S.,** & Dwianto, W. (2019). Pretreatment in Wood Densification: Effect of Impregnated Water and Preheating Time to Material Compressibility. Prosiding Seminar Lignoselulosa ed N Masruchin (Bogor), 113-5.

Paten Terdaftar

106. Maulana, M. I., Purusatama, B. D., Lubis, M. A. R., Savero, A. M., Ariyanti, D., Wibowo, E. S., **Kusumah, S. S.,** Sutiawan, J., Santoso, A., Supianto, M., & Sulhidayatun. Formulasi Perekat Kayu Berbasis Pati dan Poliamida serta Metode Pembuatannya. Paten Terdaftar, No. P00202513959, 2025.

107. Abidin, K. Y., Nurhamiyah, Y., Nissa, R. C., Isroni, M., Pangestu, R., Fateha., Nandyawati, D., Aji, N. P., **Kusumah, S. S.,** Dawam A, A. H., Risanto, L., & Abdullah. Komposisi dan Proses Pembuatan Biopolimer Poli-Hidroksi-Butirat (PHB) dari Pati Singkong, Urea, Menggunakan Bacillus Megaterium Inacc B465 Dan B475 Secara Fermentasi. Paten Terdaftar, No. P00202513926, 2025.

108. Nurhamiyah, Y., **Kusumah, S. S.,** Rossy., & Nissa, C. Formulasi Biokomposit Berbasis Poli Asam Laktat (PLA) dan Ampas Kopi Untuk Produk Cetak Ramah Lingkungan. Paten Terdaftar, No. S00202512739, 2025.

109. Nurhamiyah, Y., Nissa, R. C., Abidin, K. Y., & **Kusumah, S. S.** Formulasi Biokomposit Berbasis Pati Termoplastik, Batang

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Jagung dengan Poli Asam Laktat untuk Aplikasi Produk Cetak. Paten Terdaftar, No. S00202510412, 2025.

110. Wibowo, E. S., Supianto, M., Sutiawan, J., & **Kusumah, S. S.** Komposisi dan Metode Pembuatan Perekat Alami Berbasis Isolat Protein Kedelai dan Produk yang Dihasilkannya. Paten Terdatar, No. P00202510344, 2025.
111. Sutiawan, J., **Kusumah, S. S.,** Wibowo, E. S., Kartikawati, A., Mustaghfirin., Hermawan, D., & Nawawi, D. S. Komposisi Bahan Praperlakuan dalam Pembuatan Biopelet Berbasis Eceng Gondok. Paten Terdaftar, No. S00202509611, 2025.
112. Sutiawan, J., **Kusumah, S. S.,** Wibowo, E. S., Ismadi., Sudarmanto., Purnomo, D., & Kartikawati, A. Genteng Komposit Ringan dari Sabut Kelapa dan Cocopeat Menggunakan Perekat Hayati. Paten Terdaftar, No. P00202508953, 2025.
113. Wibowo, E. S., Lubis, M. A. R., **Kusumah, S. S.,** Nafisah, P. M., & Mubarok, M. Komposisi dan Metode Pembuatan Perekat Kempa Dingin Lignin-Fenol Resorsinol-Formaldehida. Paten Terdaftar, No. P00202508950, 2025.
114. Santoso, A., Basri, E., Malik, J., Maulana, M. I., Sutiawan, J., Lubis, M. A. R., **Kusumah, S. S.,** & Wibowo, E. S. Komposisi dan Proses Pembuatan Perekat Non Formalin Berbasis Taninkarbohidrat-Lateks untuk Pembuatan Kayu Lapis Ramah Lingkungan dengan Proses Kempa Suhu Rendah. Paten Terdaftar, No. P00202507118, 2025.
115. Ningrum, R. S., **Kusumah, S. S.,** Indrawan, D. A., Riyanto, Y., Septiansyah, G., & Damayanti, L. A. Formulasi dan Proses Pembuatan Kertas dari Limbah Kardus dan Biomassa Non-Kayu Beserta Produk yang Dihasilkannya. Paten Terdaftar, No. P00202505970, 2025.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

116. Adi, D. T. N., Darmawan, T., Sudarmanto., **Kusumah, S. S.,** Narto., Bahanawan, A., Triwibowo, D., Augustina, S., Adi, D. S., Amin, Y., Nugroho, A., & Juwono, A. L. Plywood Sawit Tanpa Perekat dan Proses Pembuatannya. Paten Terdaftar, No. P00202415427, 2024.

117. Fateha., Nurhamiyah, Y., Nissa, R. C., **Kusumah, S. S.,** Dawam A, A. H., & Abidin, K. Y. Komposisi Bioplastik Berbasis Rumput Laut Merah (*Gracilaria verrucosa*) Berkualitas Rendah dan Metode Pembuatannya. Paten Terdaftar, No. P00202415237, 2024.

118. Sutiawan, J., Augustina, S., **Kusumah, S. S.,** Hermawan, D., Abdillah, I. B., Aulia, M. I., Syahfitri, A., & Syukur, A. Kayu Lapis Menggunakan Perekat Asam Sitrat-Gula Tetes-Tepung Porang. Paten Terdaftar, No. P00202415151, 2024.

119. Sutiawan, J., **Kusumah, S. S.,** Ismadi., Augustina, S., Hermawan, D., & Adelka, Y. F. Perekat Produk Kayu Komposit Berbasis Gula Tetes dan Asam Sitrat yang Termodifikasi Nanopartikel Seng Oksida dan Grafena Oksida. Paten Terdaftar, No. P00202415147, 2024.

120. Sutiawan, J., **Kusumah, S. S.,** Lubis, M. A. R., Hidayat, A., Hidayat, I., Dawam A, A. H., Sudarmanto., Purnomo, D., Narto., Laksana, R. P. B., Akbar, F., Utomo, S. B., & Nurman. Perekat Bantalan Palet Menggunakan Poli-Urea-Formaldehida, Poliuretan, dan Poliuretan Berbasis Tanin. Paten Terdaftar, No. P00202414967, 2024.

121. Sutiawan, J., **Kusumah, S. S.,** Lubis, M. A. R., Hermawan, D., Mubarok, M., Abdillah, I. B., Syukur, A., & Hartono, R. Komposisi Bahan Pelapis Poliuretan Menggunakan Tanin. Paten Terdaftar, No. S00202415026, 2024.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

122. Wibowo, E. S., Lubis, M. A. R., & **Kusumah, S. S.** Komposisi dan Metode Pembuatan Perekat Kempa Dingin Fenol-Resorsinol-Formaldehida dengan Modifikasi Waktu Kondensasi, Hardener, dan Produk yang Dihasilkannya. Paten Terdaftar, No. P00202414586, 2024.

123. Nissa, R. C., Nurhamiyah, Y., Adi, D. T. N., Dawam A, A. H., **Kusumah, S. S.,** Nurfadhilah, P., Darniwa, A. V., Ishmayana S., Sumiarsa, D., & Finna. Metode Pembuatan Asam Laktat dari Ampas Tebu Dalam Kondisi Fermentasi Statis. Paten Terdaftar, No. S00202408710.

124. Lubis, M. A. R., Santoso, A., **Kusumah, S. S.,** Wibowo, E. S., & Putri, D. N. Proses Pelaburan dan Kompregnasi Batang Kelapa Sawit Menggunakan Resin Tanin-Resorsinol-Formaldehida dan Produk yang Dihasilkannya. Paten terdaftar, No. P00202408718, 2024.

125. Nurhamiyah, Y., Nissa, R. C., Aswandi., **Kusumah, S. S.,** & Sakaria, L. N. M. Polimer Foto Resin Tipe Digital Light Processing dari Minyak Macadamia dan Proses Pembuatannya. Paten Terdaftar, No. P00202407758, 2024.

126. Ismadi., **Kusumah, S. S.,** & Sutiawan, J. Proses Pembuatan Biopelet Ramah Lingkungan Berbahan Dasar Kulit Kopi dan Karakteristik Produk yang Dihasilkannya. Paten Terdaftar, No. P00202314828, 2023.

127. Fateha., Nurhamiyah, Y., Nissa, R. C., **Kusumah, S. S.,** Dawam A, A. H., Abidin, K. Y., Christian, D., & Verdianti, D. D. Formulasi Bioplastik Berbahan Dasar Agar, Gliserol, Gelatin, Isolate Soy Protein dan Karakteristik Produk yang Dihasilkannya. Paten Terdaftar, No. P00202314800, 2023.

128. Lubis, M. A. R., Wibowo, E. S., Santoso, A., **Kusumah, S. S.,** Laksana, R. P. B., Akbar, F., & Maulana, S. Formulasi dan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Metode Pembuatan Perekat Rendah Emisi Formaldehida dengan Metilolasi Melamin. Paten Terdaftar, No. P00202314704, 2023.

129. Nissa, R. C., Dawam A, A. H., Hidawati., **Kusumah, S. S.,** Nurhamiyah, Y., Fateha., Nugroho, R. W. N., Sumiarsa, D., Ishmayana, S., & Khoerunnisa, F. Metode Pemisahan Lignin Pada Ampas Tebu dengan Larutan Eutektik dan Produk yang Dihasilkannya. Paten Terdaftar, No. P00202314723, 2023.
130. Marlina, R., Syamani, F. A., Subiyanto, B., Sulastiningsih, I. M., Nissa, R. C., Ismadi., Purnomo, D., Prasetiyo, K. W., **Kusumah, S. S.,** Nugroho, A., Narto., & Butar-butar, G. S. Formulasi Komposit Biofoam Berbahan Pulp Kertas dan Serbuk Batang Sorgum Serta Proses Pembuatannya. Paten Terdaftar, No. P00202314699, 2023.
131. Ismadi., Ningrum, R. S., **Kusumah, S. S.,** Puspitasari, I., Khairaummah, A., Bazhafah, A. S., Mumpuni, A., & Ratnaningtyas, N. I. Proses Pembuatan Biobriket dari Limbah Baglog Jamur Tiram dengan Perekat Molase dan Produk Yang Dihasilkannya. Paten Terdaftar, No. P00202314644, 2023.
132. Ismadi., **Kusumah, S. S.,** & Sutiawan, J. Bioplastik Ampas Kopi Sebagai Material Tahan Panas dan Proses Pembuatannya. Paten Terdaftarm No. P00202312298, 2023.
133. Sutiawan, J., **Kusumah, S. S.,** Ismadi., Hermawan, D., & Adelka, Y. F. Proses Pembuatan dan Produk Papan Partikel Bagas Sorgum Menggunakan Perekat Hayati Berbasis Nanopartikel Oksida. Paten Terdaftar, No. P00202311536, 2023.
134. Kusumaningrum, W. B., Ningrum, R. S., Widyaningrum, B. A., Fateha., Nissa, R. C., **Kusumah, S. S.,** Cristian, D., & Verdianti, D. D. Formulasi Bioplastik Berbasis Agar Terplastisasi Yang Berpengisi Mineral Anorganik dan Proses Pembuatannya. Paten Terdaftar, No. P00202311385, 2023.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

135. Ningrum, R. S., **Kusumah, S. S.,** Ismadi., Ratnaningtyas, N. I., Mumpuni, A., Khairaummah, A., Bazhafah, A. S., Puspitasari, I., & Bahtiar, A. Proses Pembuatan Kemasan Pangan dari Limbah Baglog Jamur Tiram dan Produk Yang Dihasilkanya. Paten Terdaftar, No. P00202311364, 2023.

136. Ismadi., **Kusumah, S. S.,** Hermawan, D., & Wati, B. S. Komposisi dan Proses Pembuatan Kemasan Makanan Komposit dari Serbuk Pelepah Pinang dengan Perekat Maltodekstrin. Paten Terdaftar, No. P00202308242, 2023.

137. Triwibowo, D., Darmawan, T., **Kusumah, S. S.,** Adi, D. S., Sudarmanto., Narto., Widyaningrum, B. A., Amin, Y., Nugroho, A., & Dwianto, W. Proses Pembuatan Laminated Veneer Lumber dengan Teknik Densifikasi dari Vinir Kayu Cepat Tumbuh Terimpregnasi Asam Sitrat. Paten Terdaftar, No. P00202306951, 2023.

138. Abidin, K. Y., Dawam A, A. H., **Kusumah, S. S.,** Nurhamiyah, Y., Nissa, R. C., Firdiana, B., Dermawan, H., Christian, D., & Veridianti, D. D. Metode Pembuatan Bijih Bioplastik Berbahan Dasar Agar, Pati Singkong, Gliserol, Dan Poly(Butylene Adipate-Co-Terephthalate) Dengan Proses Ekstrusi Kering Untuk Produk Cetak. Paten Terdaftar, No. P00202304397, 2023.

139. Ningrum, R. S., **Kusumah, S. S.,** Sudarmanto., Yanto, D. H. Y., Rodhibilah, F. I., & Safitri, R. Biofoam Dari Miselia Jamur Rhizopus Oligosporus dan Proses Pembuatannya. Paten Terdaftar, No. P00202215762, 2022.

140. Triwibowo, D., Sudarmanto., Narto., Darmawan, T., Amin, Y., Adi, D. S., Dwianto, W., Bahanawan, A., & **Kusumah, S. S.** Panel Akustik dari Partikel Bambu dan Vinir Sengon Berlubang Sebagai Material Penyerap Suara dan Proses Pembuatannya. Paten Terdaftar, No. P00202211777, 2022.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

141. Marlina, R., Subyakto., Ismadi., Subhan, A., **Kusumah, S. S.,** Budiman, I., Purnomo, D., Nurhamiyah, Y., & Darma, Y. Proses Pembuatan dan Produk Karbon Aktif Mesopori dari Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Material Elektroda Superkapasitor. Paten Terdaftar, No. P00202205478, 2022.

142. Kusumah, S. S., Ismadi., Jayadi., Darmawan, T., Syahrir, A., & Marlina, R. Pot Komposit untuk Wadah Semai Tanaman Berbahan Lignoselulosa dengan Perekat Asam Sitrat dan Gliserol dan Proses Pembuatannya. Paten Terdaftar, No. P00202205479, 2022.

143. Kusumah, S. S., Ismadi., Purnomo, D., Munawar, S. S., Sudarmanto., Marlina, R., Syahfitri, A., & Hermawan, D. Proses Pembuatan Genteng Komposit Berbahan Partikel Bagas Sorgum dengan Perekat Molase. Paten Terdaftar, No. P00202203714, 2022.

144. Syahrir, A., Purnomo, D., Akbar, F., Prasetiyo, K. W., Suryanegara, L., Narto, N., Marlina, R., Munawar, S. S., Sudarmanto, S., & **Kusumah, S. S.** Proses Pembuatan Bantalan Palet Komposit dari Produk Samping Industri Furnitur dengan Perekat Campuran Isosianat, Poliol, Dan Metilena Klorida an Produk yang Dihasilkannya. Paten Terdaftar, No. P00202108472, 2021.

145. Zulfiana, D., Ismadi., Marlina, R., Sudarmanto., **Kusumah, S. S.,** Sutiawan, J., & Hermawan, D. Papan Partikel Berbahan Baku Bagas Sorgum Menggunakan Perekat Asam Maleat dan Proses Pembuatannya. Paten Terdaftar, No. P00202010058, 2020.

146. Nissa, R. C., Nugroho, P., Satoto, R., Nurhamiyah, Y., **Kusumah, S. S.,** Dawam A., A. H., Christian, D., Dominika., Dermawan, H., & Firdiana, B. Proses Pembuatan Bijih Bioplastik Berbasis Agar Memanfaatkan Iradiasi Gamma. Paten Pemeriksaan Substantif Tahap I, No. S00202304838, 2023.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

147. Munawar, S. S., Subiyanto, B., **Kusumah, S. S.,** Ismadi., Marlina, R., Ajie, F. T., Purnomo, D., Sudarmanto., Narto., Syahrir, A., Akbar, F., Dwisetyo, B., Palupi, M. R., Jacob, A. B., Vinata, R., & Sartik, T. D. Proses Pembuatan Papan Lapis dari Busa Poliuretan Kaku Dengan Serat Alam dan Produk yang Dihasilkannya. Paten Pemeriksaan Substantif Tahap I, No. P00202203708, 2022.

148. Syamani, F. A., Prasetiyo, K. W., Masruchin, N., Marlina, R., Munawar, S. S., Subyakto., **Kusumah, S. S.,** & Ermawati, R. Formulasi dan Proses Pembuatan Biodegradabel Plastik Berbahan Dasar Patiasetat dan Kitosan Sebagai Pembungkus Peti Jenazah. Paten Pemeriksaan Substantif Tahap I, No. P00202107082, 2021.

149. Syahrir, A., Purnomo, D., Syamani, F. A., Ismadi., Prasetiyo, K. W., Marlina, R., Munawar, S. S., Subyakto., **Kusumah, S. S.,** & Gopar, M. Biofoam untuk Kemasan Makanan Berbahan Limbah Lignoselulosa dan Proses Pembuatannya. Paten Pemeriksaan Substantif Tahap I, No. P00202005887, 2020.

150. Jayadi., Sufiandi, S., Sudarmanto., **Kusumah, S. S.,** Darmawan, T., Dwianto, W., Amin, Y., Pramasari, D. A., & Prianto, A. H. Proses Pelengkungan Kayu Dengan Perlakuan Uap Panas. Paten Pemeriksaan Substantif Tahap I, No. P00201810001, 2018.

Paten Tersertifikasi

151. Guswenrivo, I., Kartika, T., Zulfitri, T., Ismadi., **Kusumah, S. S.,** Ilyas, M., Ajidarma, E., & Prianto, A.H. Proses Pembuatan dan Produk Kemasan Makanan yang Ramah Lingkungan dari Jamur Basidiomiset. Paten Terpublikasi, No. P00202203809, 2022.

152. Triwibowo, D., Darmawan, T., Sudarmanto., Narto., Syahrir, A., Akbar, F., Bahanawan, A., Adi, D. S., Amin, Y., Sofianto, I. A., Ismadi., Amanda, P., Dwianto, W., **Kusumah, S. S.,** & Hadi, Y. S. Papan Com-Ply Berbahan Baku Bambu Betung dan Vinir Sengon

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Menggunakan Perekat Asam Sitrat dan Proses Pembuatannya. Paten Terpublikasi, No. P00202203701, 2021.

153. Ningrum, R. S., **Kusumah, S. S.,** Ismadi., Narto., khairaummah, A., Bazhafah, A. S., Puspitasari, I. Biokomposit Limbah Baglog Jamur Tiram dengan Perekat Polivinil Alkohol. Paten Tersertifikasi, No. S00202403812, 2024.
154. Fateha., Nurhamiyah, Y., Nissa, R. C., **Kusumah, S. S.,** Ismadi., Syamani, F. A., Dawam A., A. H., Kusumaningrum, W. B., Firdiana, B., Christian, D., Dominika, D.V., & Yovilianda, M. U. Formulasi Bioplastik Berbahan Dasar Agar, Gliserol, Gelatin Sapi, dan Kitosan. Paten Tersertifikasi, No. S00202305083, 2023.
155. Nissa, R. C., Dawam A, A. H., Nurhamiyah, Y., **Kusumah, S. S.,** Syamani, F. A., Kusumaningrum, W. B., Fransiska, D., Firdiana, B., Christian, D., Dominika D.V., & Yovilianda M.U. Formulasi Bioplastik Berbahan Dasar Agar, Gliserol, Gelatin Sapi. Paten Tersertifikasi, No. S00202214372, 2022.
156. Ismadi., **Kusumah, S. S.,** Susilowati, A., & Mahandaru, R. B. Kemasan Makanan Berbahan Baku Pelepah Pisang dengan Perekat Kitosan dan Proses Pembuatannya. Paten Tersertifikasi, No. P00202010619, 2020.
157. Widyaningrum, B. A., Syamani, F. A., Ismadi., Masruchin, N., Munawar, S.S., **Kusumah, S. S.,** Kusumaningrum, W. B., Pramasari, D. A., Cahyaningtyas, A. A., & Ermawati, R. Bioplastik Pati Batang Kelapa Sawit dan Proses Pembuatannya. Paten Tersertifikasi, No. P00202002728, 2020.
158. **Kusumah, S. S.,** Agustina, W., & Aditiawati, P. Briket Berbahan Dasar Ampas Singkong, Serat Ampas Aren dan Tepung Arang dengan Perekat Alami Menggunakan Miselium Jamur. Paten Tersertifikasi, No. S00201911853, 2019.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

159. **Kusumah, S. S.,** Agustina, W., & Aditiawati, P. Komposit Berbahan Dasar Ampas Singkong dan Serat Ampas Aren dengan Perekat Alami Menggunakan Miselium Jamur. Paten Tersertifikasi, No. S00201911854, 2019.

160. Bahanawan, A., Widyaningrum, B. A., Adi, D. S., Sejati, P. S., Sufiandi, S., **Kusumah, S. S.,** Darmawan, T., Dwianto, W., Amin, Y., Triwibowo, D., & Pramasari, D. A. Komposisi Perekat Kayu Lapis. Paten Tersertifikasi, No. P00201910452, 2019.

161. Syamani, F. A., Prasetiyo, K. W., Astari, L., Munawar, S. S., Subyakto., **Kusumah, S. S.,** Umemura, K., & Widodo, E. Papan Partikel dari Daun Alang-Alang dengan Perekat Asam Sitrat dan Proses Pembuatannya. Paten Tersertifikasi, No. P00201809593, 2018.

Kerjasama

Transaksi Lisensi

162. Lisensi paten biasa (P00202108472) dengan no kontrak lisensi 46/II/KS/11/2021 dan No. 002/Perjanjian/KF/BRIN/IX/2021: Proses Pembuatan Bantalan Palet Komposit dari Produk Samping Industri Furniture dengan Perekat Campuran Isosianat, Poliol, dan Metilena Klorida dan Produk yang dihasilkannya, oleh CV. Kibti Furniture tahun 2021.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA

1. Bahan Ajar Mahasiswa Pascasarjana IPB dengan judul "Teknologi Papan Serat dan Panel Laminasi"
2. Bahan Ajar Mahasiswa Pascasarjana IPB dengan judul "Teknologi Papan Partikel"
3. Bahan Ajar Mahasiswa Sarjana Universitas Brawijaya dengan judul "Riset dan Teknologi Biomaterial"
4. Bahan Ajar Mahasiswa Sarjana Universitas Negeri Solo dengan judul "Biopolymer"
5. Optimasi Campuran Perekat Melamine Formaldehyde (MF) dan Water Based Polymer Isocyanate (WBPI) Pada Pembuatan Papan Komposit dari Limbah Kayu dan Karton Gelombang. Skripsi. Astuti, Dhewi Puji | Massijaya, Muh Yusram | Kusumah, Sukma Surya (2012). IPB
6. Papan Partikel Bagas Sorgum Berperekat Hayati dengan Penambahan Nanokatalis. Tesis. Adelka, Yunia Frida | Hermawan, Dede | Kusumah, Sukma Surya. (2023). IPB
7. Papan Partikel Bagas Sorgum Berperekat Asam Maleat untuk Bet Tenis Meja. Disertasi. Sutiawan, Jajang | Hermawan, Dede | Kusumah, Sukma Surya | Hadi, Yusuf Sudo | Nawawi, Deded Sarip. (2022). IPB

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. DATA PRIBADI

Nama	:	Dr. Sukma Surya Kusumah, S.Hut., M.Si.
Tempat, Tanggal Lahir	:	Cianjur, 27 September 1982
Anak ke	:	5 dari 6 Bersaudara
Jenis Kelamin	:	Laki-laki
Nama Ayah Kandung	:	Syamsudin
Nama Ibu Kandung	:	Eni Rohaeni
Nama Istri	:	Nurhayati, S.Hut.
Jumlah Anak	:	1
Nama Anak	:	Shakila Aulia Kusumah
Nama Unit	:	Pusat Riset Bimassa dan Biroduk
Nama Orgaisasi	:	Organisasi Riset Nanoteknologi dan Material
Nama Instansi	:	Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
Judul Orasi	:	Perekat Hayati Berbasis Asam Organik dan Sakarida untuk Mempercepat Hilirisasi Industri Produk Biokomposit
Ilmu	:	Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan
Bidang	:	Biomassa dan Bioproduk
Kepakaran	:	Perekat Hayati dan Komposit Lignoselulosa
No. SK Pangkat Terakhir	:	Kepala badan Riset dan Inovasi Nasional, 221/II.2/KP/2025, tanggal 16 September 2025

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No. SK Peneliti Ahli Utama	:	Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 21/M Tahun 2023, tanggal 15 Mei 2023
Tautan Scopus	:	https://www.sciencedirect.com/author/57096020000/sukma-surya-kusumah
Tautan Google Scholar	:	https://scholar.google.com/citations?user=M_rVQGYAAAAJ&hl=en

B. PENDIDIKAN FORMAL

No.	Jenjang	Nama Sekolah/ PT/Universitas	Tempat/Kota/ Negara	Tahun Lulus
1.	SD	Ibu Jenab IV	Cianjur	1995
2.	SMP	SMP N 1	Cianjur	1998
3.	SMA	SMA N 1	Cianjur	2021
4.	S1	IPB	Bogor	2005
5.	S2	IPB	Bogor	2009
6.	S3	Kyoto University	Jepang	2017

C. PENDIDIKAN NONFORMAL

No.	Nama Pelatihan/ Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
1.	Diklat Peneliti Pertama	Cibinong	2011
2.	Pelatihan drafting paten	Bogor	2012
3.	Young researcher exchange – HOPE Meeting	Jepang	2016

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Pelatihan/ Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
4.	Digital Leadership Academy	Jakarta	2022
5.	Green Productivity Training	Jakarta	2023
6.	Training of Trainer in Intellectual Property Valuation	Jakarta	2025

D. JABATAN STRUKTURAL

No.	Jabatan/Pekerjaan	Nama Instansi	Tahun
1.	Kepala Pusat Riset Konservasi Tumbuhan dan Kebun Raya	BRIN	2021 -2022

E. JABATAN FUNGSIONAL

No.	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1.	Peneliti Ahli Pertama	2008
2.	Peneliti Ahli Muda	2012
3.	Peneliti Ahli Madya	2021
4.	Peneliti Ahli Utama	2023

Buku ini tidak diperjualbelikan.

F. PENUGASAN KHUSUS NASIONAL/ INTERNASIONAL

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
1.	Tugas Belajar S3 ke Jepang	LIPI/Setneg	2013 – 2017
2.	Tenaga Ahli Pengembangan Industri Bambu di Fiji	Kementerian Perindustrian	2024 – 2025

G. KEIKUTSERTAAN DALAM KEGIATAN ILMIAH

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyeleng-gara (Kota, Negara)	Tahun
1.	International Symposium of Wood Science	Oral Presenter	Jepang	2015
2.	International Symposium of Adhesive	Oral Presenter	Jepang	2016
3.	Indonesia Science Expo	Exibitor	Indonesia	2017
4.	Honda Y-E-S Forum	Poster Presenter	Jepang	2017
5.	International Symposium of Indonesian Wood Research Society (IWORS)	Oral Presenter	Indonesia	2025

Buku ini tidak diperjualbelikan.

H. KETERLIBATAN DALAM PENGELOLAAN JURNAL ILMIAH

No	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/Tugas	Tahun
1.	Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu	Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (MAPEKI)	Editorial	2013 – 2015
2.	Jurnal Sylva Indonesia	Universitas Sumatera Utara	Editorial	2023 – 2025
3.	International Journal of Adhesive and Adhesion	Elsivier	International Reviewer Board Member	2024 – 2025
4.	International Journal of Industrial Crops and Products	Elsivier	Reviewer	2024 – 2025
5.	International Journal of Macromolecule Biology	Elsivier	Reviewer	2024 – 2025

Buku ini tidak diperjualbelikan.

I. CAPAIAN DALAM BIDANG IPTEK, RISET, DAN INOVASI

1. Karya Tulis Ilmiah

a) Kualifikasi Karya

No	Kualifikasi Karya	Jumlah
1.	Buku Internasional	-
2.	Buku Nasional	-
3.	Bagian dari Buku Internasional	1
4.	Bagian dari Buku Nasional	-
5.	Jurnal Internasional	54
6.	Jurnal Nasional	17
7.	Prosiding Internasional	27
8.	Prosiding Nasional	6
9.	Paten Internasional	-
	Terdaftar	-
	Tersertifikasi	-
10.	Paten Nasional	-
	Terdaftar	45
	Tersertifikasi	11
11.	Perlindungan Varietas Tanaman (PVT)	-
12.	Rumpun atau Galur Hewan/Ikan/Benih Unggul Tanaman Hutan	-
13.	Hak Cipta	-

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Kualifikasi Karya	Jumlah
14.	Desain Industri	-
15.	Desain dan Tata Letak Sirkuit Terpadu	-
16.	Transaksi Lisensi	1

b) Kualifikasi Penulis

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1.	Penulis Tunggal	-
2.	Bersama Penulis Lainnya	105
	Total	105

c) Kualifikasi Bahasa

No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1.	Bahasa Indonesia	23
2.	Bahasa Inggris	82
3.	Bahasa Lainnya	-
	Total	105

2. Kekayaan Intelektual

No	Kualifikasi Karya	Jumlah
1.	Paten Internasional	-
	Terdaftar	-
	Tersertifikasi	-
2.	Paten Nasional	56

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Kualifikasi Karya	Jumlah
	Terdaftar	45
	Tersertifikasi	11
3.	Perlindungan Varietas Tanaman (PVT)	-
4.	Rumpun atau Galur Hewan/Ikan/Benih Unggul Tanaman Hutan	-
5.	Hak Cipta	-
6.	Desain Industri	-
7.	Desain dan Tata Letak Sirkuit Terpadu	-

3. Kerjasama bersama Mitra

No.	Kualifikasi Karya	Jumlah
1.	Transaksi Lisensi	1

J. PEMBINAAN KADER ILMIAH

Pejabat Fungsional Peneliti

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
1.	Jajang Sutiawan	BRIN	Pembimbing	2025
2.	Eko Setio Wibowo	BRIN	Pembimbing	2018

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
3.	Alvin M. Savero	BRIN	Pembimbing	2025
4.	Sarah Augustina	BRIN	Pembimbing	2024
5.	Lilik Astari	BRIN	Pembimbing	2019

Mahasiswa

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
1.	Fina	UGM	Pembimbing anggota	2018
2.	Fajar	UNILA	Pembimbing anggota	2018
3.	Dimas Tri Wibowo	IPB	Pembimbing anggota	2018
4.	M. Muhajir Hasibuan	ITERA	Pembimbing anggota	2018
5.	Jajang Sutiawan	IPB	Pembimbing anggota	2019
6.	Firda	Universitas Brawijaya	Pembimbing anggota	2020
7.	Wawan	ITB	Pembimbing anggota	2022
8.	Ananda Suci	UNSOED	Pembimbing anggota	2022

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
9.	Mustagfirin	IPB	Pembimbing anggota	2023
10.	Yustika Massijaya	IPB	Pembimbing anggota	2023
11.	Alesandro	IPB	Pembimbing anggota	2023
12.	Yunita Adelka	IPB	Pembimbing anggota	2023
13.	Iwan Rusiardi	IPB	Pembimbing anggota	2024
14.	Sunirma	Universitas Hasanudin	Pembimbing anggota	2024
15.	Dwi Ramadani	UNPAD	Pembimbing anggota	2024
16.	Siti Masriva	IPB	Pembimbing anggota	2024
17.	M. Haikal A.	IPB	Pembimbing anggota	2024
18.	Radinka	IPB	Pembimbing anggota	2024
19.	Dwi Jaksana Megah Santosa	IPB	Pembimbing anggota	2024
20.	Teguh Darmawan	UI	Pembimbing anggota	2025

Buku ini tidak diperjualbelikan.

K. ORGANISASI PROFESI ILMIAH

No.	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1.	Ketua	Pusat Unggulan IPTEK Lignoselulosa	2017 – 2019
2.	Anggota	Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia	2010 – 2025
3.	Anggota	Masyarakat Kelapa Sawit Indonesia	2011 – 2015
4.	Angota	Asian Adhesive Association	2016 – 2017
5.	Anggota	Japan Wood Research Society	2015 – 2017
6.	Anggota	Perhimpunan Periset Indonesia	2021 – Sekarang

L. TANDA PENGHARGAAN

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1.	101 Inovasi Indonesia Prospektif	Bussiness Innovation Center	2009
2.	Honda Young Researcher Innovation Award	Honda – Japan	2017

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
3.	Satyalancana Karya Satya 10 Tahun	Presiden RI	2018
4.	Research Innovation of Green Building	UGM	2025
5.	Peneliti top 3 pada jejang Peneliti Ahli Utama di Pusat Riet Biomassa dan Bioproduk	BRIN	2025
6.	Periset Berdampak di Organisasi Riset Nanoteknologi dan Material	BRIN	2026

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Naskah orasi ilmiah ini menyajikan pemikiran dan kontribusi keilmuan dalam pengembangan perekat hayati berbasis asam organik dan sakarida sebagai upaya strategis mendukung hilirisasi industri produk biokomposit di Indonesia. Dalam konteks transformasi menuju material yang berkelanjutan, pengurangan ketergantungan terhadap perekat sintetis berbasis formaldehida menjadi suatu keniscayaan, baik dari persepektif kesehatan, lingkungan, maupun keberlanjutan sumber daya.

Melalui pendekatan yang komprehensif, orasi ini menguraikan landasan ilmiah, perkembangan konsep, serta formulasi sistem perekat hayati berbasis interaksi multikomponen antara asam organik dan sakarida. Pendekatan ini menghasilkan sistem perekat yang reaktif, adaptif terhadap karakteristik biomassa tropis, serta mampu membentuk jaringan polimer yang kuat dan stabil, sehingga menunjukkan kinerja teknis yang kompetitif terhadap perekat sintetis konvensional.

Lebih lanjut, dipaparkan berbagai hasil penelitian yang mencakup aspek fundamental hingga aplikatif, khususnya pada produk biokomposit seperti papan partikel dan kayu lapis. Temuan-temuan tersebut menegaskan potensi besar pemanfaatan biomassa lokal sebagai sumber bahan baku perekat hayati yang bernilai tambah tinggi, sekaligus memperkuat kemandirian industri nasional berbasis sumber daya terbarukan.

Orasi ini juga menyoroti peluang dan tantangan dalam pengembangan serta implementasi teknologi perekat hayati pada skala industri, termasuk pentingnya integrasi antara riset, inovasi, dan kebijakan. Dengan demikian, karya ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, serta menjadi landasan bagi percepatan hilirisasi produk biokomposit yang berdaya saing dan berkelanjutan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BRIN Publishing
The Legacy of Knowledge

Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, anggota Ikapi
Gedung B.J. Habibie Lt. 8,
Jln. M.H. Thamrin No. 8,
Kota Jakarta Pusat 10340
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id

DOI: 10.55981/brin.3907

ISSN 3090-8485