

PENGEMBANGAN PEREKAT UREA FORMALDEHIDA TERMODIFIKASI ASAM SITRAT UNTUK APLIKASI KAYU LAPIS

ABDUS SYUKUR



**PROGRAM STUDI ILMU DAN TEKNOLOGI HASIL HUTAN
FAKULTAS KEHUTANAN DAN LINGKUNGAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Pengembangan Perekat Urea Formaldehida Termodifikasi Asam Sitrat untuk Aplikasi Kayu Lapis” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Mei 2025

Abdus Syukur
E2501231002

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RINGKASAN

ABDUS SYUKUR. Pengembangan Perekat Urea Formaldehida Termodifikasi Asam Sitrat untuk Aplikasi Kayu Lapis. Dibimbing oleh DEDE HERMAWAN, MAHDI MUBAROK, dan JAJANG SUTIAWAN.

Kayu lapis banyak digunakan karena sifatnya yang serbaguna dan stabil secara dimensi, namun penggunaannya masih menghadapi isu emisi formaldehida dari perekat poli-urea-formaldehida (PUF) yang berdampak terhadap kesehatan dan regulasi lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan asam sitrat terhadap kualitas perekat PUF dan kayu lapis.

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimental menggunakan perekat PUF berformulasi rasio molar formaldehida terhadap urea (F/U) sebesar 0,8 mol, yang dimodifikasi dengan penambahan asam sitrat dalam tiga formula perekat PUF dengan variasi konsentrasi asam sitrat (0%, 2,5%, dan 5%) serta satu perekat komersial sebagai kontrol dikarakterisasi berdasarkan nilai pH, kadar padatan, waktu gelatinasi, dan viskositas. Selain itu, perekat dianalisis menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectrometry* (FTIR), *X-ray Diffraction* (XRD), *Thermogravimetric Analysis* (TGA), dan *Pyrolysis-Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (Py-GCMS). Kayu lapis yang dibuat menggunakan tiga jenis finir (sengon, jabon, dan karet) dianalisis sifat fisis dan mekanisnya, meliputi kerapatan, kadar air, daya serap air, pengembangan tebal, dan keteguhan geser. Selain itu, karakterisasi struktur kimia dan tingkat kristalinitas kayu lapis dilakukan menggunakan FTIR dan XRD.

Hasil menunjukkan bahwa perekat PUF dengan penambahan asam sitrat 2,5% memberikan performa optimal. Formula ini memiliki pH netral, viskositas rendah, dan waktu gelatinasi tercepat tanpa mengurangi kadar padatan. Kayu lapis yang direkatkan dengan perekat ini menunjukkan penurunan daya serap air dan pengembangan tebal, serta peningkatan keteguhan geser yang signifikan. Karakterisasi FTIR dan XRD menunjukkan adanya indikasi interaksi kimia antara perekat dan substrat kayu melalui pembentukan ikatan ester dan peningkatan keterkristalan lokal. Hasil TGA dan Py-GCMS menunjukkan bahwa penggunaan asam sitrat juga berpengaruh terhadap peningkatan stabilitas termal dan perubahan profil senyawa volatil. Namun demikian, formulasi dengan konsentrasi asam sitrat lebih tinggi (5%) tidak menunjukkan peningkatan lanjutan dalam performa kayu lapis, yang mengindikasikan pentingnya pengendalian konsentrasi bahan aditif dalam sistem perekat.

Temuan ini dapat menjadi dasar untuk pengembangan lebih lanjut dengan fokus pada pengoptimalan formulasi dan efisiensi waktu proses. Implikasi dari penelitian ini mencakup kontribusi terhadap upaya pengurangan emisi formaldehida di industri kayu lapis, peningkatan daya saing produk di pasar global, dan mendukung keberlanjutan lingkungan. Selain itu, mengevaluasi kinerja perekat ini dalam jangka waktu lebih panjang dan pada aplikasi yang lebih beragam guna memastikan konsistensi hasil dan keberlanjutan penggunaannya.

Kata kunci: asam sitrat, katalis organik, kayu lapis, poli-urea-formaldehida



SUMMARY

ABDUS SYUKUR. Development of Urea Formaldehyde Adhesive Modified with Citric Acid for Plywood Applications. Supervised by DEDE HERMAWAN, MAHDI MUBAROK, and JAJANG SUTIAWAN.

Plywood is widely used due to its versatility and dimensional stability; however, its application still faces challenges related to formaldehyde emissions from poly-urea-formaldehyde (PUF) adhesives, which pose health risks and are increasingly regulated by environmental standards. This study aimed to analyze the effect of citric acid addition on the quality of PUF adhesives and the resulting plywood performance.

An experimental method was employed using PUF adhesives formulated with a formaldehyde-to-urea (F/U) molar ratio of 0,8 mol, modified with citric acid at three concentration levels (0%, 2,5%, and 5%), along with a commercial adhesive as the control. The adhesives were characterized based on pH, solid content, gelation time, and viscosity. Additional analyses were conducted Fourier Transform Infrared Spectrometry (FTIR), X-ray Diffraction (XRD), Thermogravimetric Analysis (TGA), dan Pyrolysis-Gas Chromatography-Mass Spectrometry (Py-GCMS). Plywood was fabricated using three types of veneers (sengon, jabon, and karet) and tested for physical and mechanical properties, including density, moisture content, water absorption, thickness swelling, and shear strength. FTIR and XRD were also used to characterize the chemical structure and crystallinity of the resulting plywood.

The results showed that the PUF adhesive modified with 2,5% citric acid exhibited optimal performance. This formulation had a near-neutral pH, low viscosity, and the fastest gelation time without compromising solid content. Plywood bonded with this adhesive demonstrated reduced water absorption and thickness swelling, along with significantly improved shear strength. FTIR and XRD analyses indicated chemical interaction between the adhesive and wood substrate through ester bond formation and localized increases in crystallinity. TGA and Py-GCMS results further revealed enhanced thermal stability and modified volatile compound profiles with citric acid addition. However, increasing the citric acid concentration to 5% did not result in further performance improvement, highlighting the importance of optimizing additive concentration within the adhesive system.

These findings provide a basis for further development focused on formulation refinement and processing efficiency. The implications of this study support efforts to reduce formaldehyde emissions in the plywood industry, enhance product competitiveness in global markets, and promote environmental sustainability. Future studies should evaluate the long-term performance and broader application potential of this adhesive system to ensure consistent results and sustainable use.

Keywords: citric acid, organic catalyst, plywood, poly-urea- formaldehyde



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PENGEMBANGAN PEREKAT UREA FORMALDEHIDA TERMODIFIKASI ASAM SITRAT UNTUK APLIKASI KAYU LAPIS

ABDUS SYUKUR

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan

**PROGRAM STUDI ILMU DAN TEKNOLOGI HASIL HUTAN
FAKULTAS KEHUTANAN DAN LINGKUNGAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:
Prof. Dr. Ir. Deded Sarip Nawawi, M.Sc.



Judul Tesis : Pengembangan Perekat Urea Formaldehida Termodifikasi Asam
Sitrat untuk Aplikasi Kayu Lapis

Nama : Abdus Syukur
NIM : E2501231002

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Dede Hermawan, M.Sc.

Pembimbing 2:
Dr. Mahdi Mubarak, S.Si., M.Si.

Pembimbing 3:
Dr. Jajang Sutiawan, S.Hut., M.Si.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. I Wayan Darmawan, M.Sc.
NIP. 196602121991031002

Dekan Fakultas Kehutanan dan Lingkungan:
Prof. Dr. Ir. Naresworo Nugroho, M.S.
NIP. 196501221989031002



Tanggal Ujian: 06 Mei 2025

Tanggal Lulus: 26 MAY 2025



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan karya ilmiah ini dengan judul "Pengembangan Perekat Urea Formaldehida Termodifikasi Asam Sitrat untuk Aplikasi Kayu Lapis". Penelitian ini dilaksanakan sejak bulan Mei hingga Desember 2024 sebagai bagian dari proses akademik dalam Program Magister Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, IPB University.

Sebagai doa dan harapan pribadi, penulis mengutip firman Allah dalam QS. Asy-Syu'arā' ayat 83–85: *"Ya Tuhanku, anugerahkanlah kepadaku hikmah dan masukkanlah aku ke dalam golongan orang-orang yang saleh. Dan jadikanlah aku buah tutur yang baik bagi orang-orang (yang datang) kemudian. Dan jadikanlah aku termasuk orang-orang yang mewarisi surga yang penuh kenikmatan."* (QS. Asy-Syu'arā': 83–85)

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada para pihak yang telah memberikan bimbingan, dukungan, dan semangat selama proses penyusunan tesis ini:

- Prof. Dr. Ir. Dede Hermawan, M.Sc., Dr. Mahdi Mubarak, S.Si., M.Si., dan Dr. Jajang Sutiawan, S.Hut., M.Si., selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dengan dedikasi dan arahan yang sangat berarti.
- Seluruh sivitas akademika Program Studi Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, IPB University dan Pusat Riset Biomassa dan Bioproduk BRIN atas ilmu, fasilitas dan arahan yang telah diberikan sepanjang masa studi.
- Keluarga tercinta – Bapak Miswandi, Ibu Nyairah, Indra Irawan, Arif Rahwanto, dan Mutmaini Khamidah – yang senantiasa menjadi sumber kekuatan melalui doa, cinta, dan dukungan yang tiada henti.
- Orang tua asuh, guru, dan para mentor yang telah mewarnai perjalanan akademik dan spiritual penulis – atas nasihat dan keteladana yang begitu berharga.
- Rekan dan sahabat dari PMDSU Batch 7, Remaja Masjid Babul Jannah Pontianak, Komunitas Balek Yok Pontianak, Yayasan Sahabat Subuh, Pesantren Global Leadership, IPB Prestasi, Pemuda ICMI Orwilsus Bogor, Sekolah Baitullah, serta Tim Laboratorium Biokomposit DHH IPB dan Tim Riset Asisten BRIN yang telah memberikan semangat dan dukungan moril.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, namun telah memberikan kontribusi yang berarti selama proses penyelesaian tesis ini. Penulis berharap karya ilmiah ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang teknologi hasil hutan, serta menjadi amal jariyah yang terus mengalirkan kebaikan.

Bogor, Mei 2025

Abdus Syukur



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xiv
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Kayu Lapis	4
2.2 Perekat Poli-Urea-Formaldehida	4
2.3 Asam Sitrat	6
III METODE	8
3.1 Waktu dan Tempat	8
3.2 Alat dan Bahan	8
3.3 Prosedur Kerja	8
3.4 Analisis Data	16
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	18
4.1 Karakteristik Perekat	18
4.2 Karakteristik Kayu Lapis	26
V SIMPULAN DAN SARAN	36
5.1 Simpulan	36
5.2 Saran	36
DAFTAR PUSTAKA	37



DAFTAR TABEL

1	Perbandingan kerapatan jenis finir untuk pembuatan kayu lapis	8
2	Perbandingan formula perekat	10
3	Standar pengujian sifat fisis dan mekanis kayu lapis	14
4	Perbandingan karakteristik berbagai formula perekat	18
5	Derajat kristalinitas berbagai formula perekat PUF berdasarkan rasio intensitas daerah kristal dan amorf	23
6	Intensitas senyawa volatil berbagai formula perekat PUF	25
7	Derajat kristalinitas kayu lapis dari berbagai formula perekat PUF berdasarkan rasio intensitas daerah kristal dan amorf	34

DAFTAR GAMBAR

1	Ilustrasi sintesis perekat PUF	5
2	Struktur kimia asam sitrat	6
3	Diagram alir penelitian	9
4	Sintesis pembuatan perekat PUF termodifikasi asam sitrat	10
5	Ilustrasi perakitan tiga finir menjadi kayu lapis	13
6	Pola pemotongan contoh uji kayu lapis. (A) Kerapatan dan kadar air (50 mm × 50 mm), (B) Daya serap air dan pengembangan tebal (50 mm × 50 mm), dan (C) Keteguhan geser (25 mm × 75 mm)	14
7	Contoh uji keteguhan geser kayu lapis. (X) panjang bidang geser, (Y) orientasi retak kupas tertutup, (1) lapisan muka, (2) lapisan tengah, (3) lapisan belakang	16
8	Kenampakan visual berbagai formula perekat PUF	18
9	Perubahan gugus fungsi perekat PUF hasil modifikasi asam sitrat	22
10	Pola kristalinitas berbagai formula perekat PUF	23
11	Profil dekomposisi termal berbagai perekat PUF	24
12	Profil senyawa berbagai formula perekat PUF	25
13	Kerapatan kayu lapis berdasarkan kombinasi jenis finir dan formula perekat PUF	27
14	Persentase kadar air kayu lapis berdasarkan kombinasi jenis finir dan formula perekat PUF	28
15	Persentase daya serap air kayu lapis berdasarkan kombinasi jenis finir dan formula perekat PUF	29
16	Persentase pengembangan tebal kayu lapis berdasarkan kombinasi jenis finir dan formula perekat PUF	30
17	Keteguhan geser kayu lapis berdasarkan kombinasi jenis finir dan formula perekat PUF	32
18	Perubahan gugus fungsi kayu lapis menggunakan perekat PUF hasil modifikasi asam sitrat	33
19	Pola kristalinitas kayu lapis dari berbagai formula perekat PUF	34