

KARAKTERISTIK RESIN URETAN NON ISOSIANAT BERBASIS LIGNIN TERMODIFIKASI SEBAGAI PEREKAT KAYU LAPIS

AJENG DZAKIYYAH SAPENTI



**PROGRAM STUDI ILMU DAN TEKNOLOGI HASIL HUTAN
FAKULTAS KEHUTANAN DAN LINGKUNGAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**

- 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.



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Karakteristik Resin Uretan Non Isosianat Berbasis Lignin Termodifikasi sebagai Perekat 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, September 2024

Ajeng Dzakiyyah Sapenti
E2501231006

- 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

AJENG DZAKIYYAH SAPENTI. Karakteristik Resin Uretan Non Isosianat Berbasis Lignin Termodifikasi sebagai Perekat Kayu Lapis. Dibimbing oleh RITA KARTIKA SARI, DEDE HERMAWAN, dan MUHAMMAD ADLY RAHANDI LUBIS.

Permintaan poliuretan sebagai perekat kayu lapis mengalami peningkatan akibat meningkatnya permintaan kayu lapis. Perekat poliuretan komersial terbentuk dari reaksi gugus hidroksil (-OH) polioliol dan isosianat (-NCO) Metilen Difenil Isosianat (MDI). Namun, polioliol dan MDI bersifat toksik, mahal, dan berasal dari minyak bumi yang tidak terbarukan. Lignin modifikasi demetilasi-glioksalasi yang berasal dari hasil isolasi lindi hitam memiliki fungsi yang sama dengan polioliol yaitu sebagai penghasil gugus -OH. Dimetil karbonat (DMC) dan Heksametilen Tetraamina (HMTA) memiliki fungsi yang sama dengan MDI yaitu sebagai agen *cross linker* poliuretan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh jenis formula perekat poliuretan berbasis lignin termodifikasi terhadap karakteristik formula perekat dan karakteristik kayu lapis sebagai upaya mengurangi konsentrasi isosianat dan mengganti polioliol pada perekat poliuretan. Pembuatan perekat poliuretan diawali isolasi lignin dari lindi hitam kemudian dianalisis rendemen, kadar air, dan gugus fungsinya. Lignin yang dihasilkan dimodifikasi demetilasi dan glioksalasi. Perekat poliuretan disintesis dengan mencampurkan lignin modifikasi (demetilasi-glioksalasi), DMC dan HMTA. Selanjutnya campuran ditambahkan Sodium silikat sebagai *filler* dan MDI sebagai agen *cross linker* tambahan yang konsentrasinya dibuat bervariasi. Formula perekat dibedakan berdasarkan nisbah campuran perekat poliuretan non isosianat dengan MDI yaitu formula F1 (10:0), F2 (9,9:0,1), F3 (9,5:0,5), F4 (9:1,0), dan F5 (8,5:1,5). Perekat yang diperoleh dianalisis morfologi dan kenampakan, pH, kadar padatan, sifat reologi, FTIR, *mass loss* perekat, dan pH larutan hidrolisis. Kayu lapis dibuat dengan kempa panas suhu 150 °C selama 4 menit selanjutnya dilakukan *conditioning*. Kayu lapis dikarakterisasi kerapatan, kadar air, delaminasi, keteguhan rekat, dan kerusakan kayunya. Rendemen lignin yang dihasilkan yaitu $43,09 \pm 1,57\%$ dengan kadar air $3,47 \pm 0,13\%$. Perekat berwarna coklat kehitaman dan tingkat homogenitasnya meningkat seiring penambahan MDI serta pH perekat bersifat basa. Kadar padatan, viskositas, dan kekuatan kohesi meningkat seiring penambahan MDI. Pada gugus fungsi perekat kondisi padat berhasil teridentifikasi gugus-gugus penanda terbentuknya ikatan uretan. *Mass loss* perekat berkurang seiring penambahan MDI, penurunan suhu hidrolisis, dan kondisi perekat setelah mengalami *curing*. Derajat keasaman larutan hidrolisis bersifat basa. Pengujian karakteristik kayu lapis mengacu pada SNI 8916.2:2023 dan JAS No. 233: 2003. Kadar air kayu lapis semua formula sudah memenuhi standar. Kerapatan kayu lapis yaitu pada rentang 0,32–0,43 g.cm⁻³. Delaminasi kayu lapis yang memenuhi standar <33,33% yaitu formula F2, F3, F4, dan F5. Keteguhan rekat yang memenuhi standar >0,7 MPa yaitu formula F2, F3, F4, dan F5. Kerusakan kayu yang memenuhi standar >50% yaitu formula F5. Formula F5 merupakan formula terbaik yang dapat mengurangi penggunaan 85% isosianat dan mengganti 100% polioliol.

Kata kunci : kayu lapis, lignin termodifikasi, non-isosianat, perekat poliuretan



SUMMARY

AJENG DZAKIYYAH SAPENTI. Characterization of Modified Lignin Based Non-Isocyanate Urethane Resin as Plywood Adhesive. Supervised by RITA KARTIKA SARI, DEDE HERMAWAN, and MUHAMMAD ADLY RAHANDI LUBIS.

The demand for polyurethane as a plywood adhesive has increased due to the increasing demand for plywood. Commercial polyurethane adhesives are formed from the reaction of the hydroxyl group (-OH) of polyol and the isocyanate (-NCO) of Methylene Diphenyl Isocyanate (MDI). However, polyols and MDI are toxic, expensive, and come from non-renewable petroleum. Demethylation-glyoxalation-modified lignin derived from the isolation of black liquor has the same function as a polyol, namely as a producer of -OH groups. Dimethyl carbonate (DMC) and Hexamethylene Tetraamine (HMTA) have the same function as MDI, namely as polyurethane cross-linker agents. This research aims to analyze the effect of a modified lignin-based polyurethane adhesive formula on the adhesive formula characteristics and plywood characteristics as an effort to reduce isocyanate concentration and replace polyol in polyurethane adhesive. The manufacture of polyurethane adhesive begins with the isolation of lignin from black liquor, and then the yield, moisture content, and functional groups are explained. The resulting lignin is demethylated and glyoxalized. Polyurethane adhesive was synthesized by mixing modified lignin (demethylation-glyoxalation), DMC, and HMTA. Next, the mixture was added with Sodium silicate as a filler and MDI as an additional cross-linker agent whose concentrations were varied. Adhesive formulas are differentiated based on the mixture ratio of non-isocyanate polyurethane adhesive with MDI, namely formula F1 (10:0), F2 (9.9:0.1), F3 (9.5:0.5), F4 (9:1.0), and F5 (8.5:1.5). The adhesive obtained was analyzed for morphology and appearance, pH, solids content, rheological properties, FTIR, adhesive mass loss, and pH of the hydrolyzate solution. Plywood is made by hot pressing at a temperature of 150 °C for 4 minutes, then conditioning. Plywood is characterized by density, moisture content, delamination, tensile strength, and wood failure. The yield of lignin produced was $43.09 \pm 1.57\%$ with a moisture content of $3.47 \pm 0.13\%$. The adhesive is blackish brown, and the level of homogeneity increases with the addition of MDI, and the pH of the adhesive is alkaline. Solids content, viscosity, and cohesive strength increase with the addition of MDI. In the solid-state adhesive functional groups, marker groups for forming urethane bonds were successfully identified. Adhesive mass loss decreases with the addition of MDI, decreasing hydrolysis temperature, and the condition of the adhesive after curing. The degree of acidity of the hydrolyzate solution is basic. Testing plywood characteristics refers to SNI 8916.2:2023 and JAS No. 233: 2003. The moisture content of all plywood formulas meets the standards. The density of plywood is in the range of 0.32–0.43 g.cm⁻³. Plywood delamination that meets the standard <33.33% is formula F2, F3, F4, and F5. Tensile strength that meets the standard >0.7 MPa, namely formulas F2, F3, F4, and F5. Wood failure that meets the standard >50% is formula F5. Formula F5 is the best formula that can reduce the use of 85% isocyanate and replace 100% polyol.

Keywords: modified lignin, non-isocyanate, plywood, polyurethane adhesive



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 2024
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 apa pun 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.

KARAKTERISTIK RESIN URETAN NON ISOSIANAT BERBASIS LIGNIN TERMODIFIKASI SEBAGAI PEREKAT KAYU LAPIS

AJENG DZAKIYYAH SAPENTI

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
2024**



@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:

- 1 Prof. Dr. Ir. Wasrin Syafii, M. Agr
- 2 Dr. Arinana, S.Hut., M.Si

Judul Tesis : Karakteristik Resin Uretan Non Isosianat Berbasis Lignin
Termodifikasi sebagai Perekat Kayu Lapis
Nama : Ajeng Dzakiyyah Sapenti
NIM : E2501231006

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. Ir. Rita Kartika Sari, M.Si



Pembimbing 2:
Prof. Dr. Ir. Dede Hermawan, M.Sc. F.Trop



Pembimbing 3:
Muhammad Adly Rahandi Lubis, Ph.D

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, MS
NIP 196501221989031002

Tanggal Ujian: 27 September 2024

Tanggal Lulus: 01 OCT 2024

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 kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Januari 2024 sampai bulan Juli 2024 ini ialah pengembangan perekat ramah lingkungan, dengan judul “Karakteristik Resin Uretan Non-Isosianat Berbasis Lignin Termodifikasi sebagai Perekat Kayu Lapis”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada Ibu Neneng Tika Ratna Juwita selaku ibu kandung dan Alm. Bapak Sugeng Riyadi selaku ayah kandung, serta Almh. Ibu Dewi Karmini selaku nenek, dan seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya. Terima kasih juga penulis ucapkan kepada dosen pembimbing, Ibu Dr. Ir. Rita Kartika Sari, M.Si, Bapak Prof. Dr. Ir. Dede Hermawan, M.Sc. F.Trop, dan Bapak Muhammad Adly Rahandi Lubis, Ph.D yang telah sabar membimbing dan banyak memberi saran dan masukan kepada penulis. Selain itu, penulis ucapkan terima kasih kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Wasrin Syafii, M. Agr selaku dosen penguji dan Ibu Dr. Arinana, S.Hut., M.Si selaku ketua sidang pada ujian akhir magister penulis. Penghargaan penulis sampaikan kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi yang telah mendanai penelitian ini pada skema Penelitian Tesis Magister (PTM) nomor kontrak 22300/IT3.D10/PT.01.03/P/B/2024. Selain itu, terima kasih kepada IPB University serta Badan Riset dan Inovasi Nasional yang telah memfasilitasi pelaksanaan penelitian ini. Di samping itu penulis sampaikan terima kasih kepada teman-teman sinergi S1-S2 ITHH, sahabat, serta teman dan kakak/adik satu bimbingan yang sudah berjuang bersama dan selalu memberikan semangat kepada penulis.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, September 2024

Ajeng Dzakiyyah Sapenti



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xi
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Kayu Lapis	4
2.2 Perekat Poliuretan Isosianat	4
2.3 Lignin	5
2.4 Demetilasi Lignin	6
2.5 Glioksalasi Lignin	6
2.6 Perekat Poliuretan Non Isosianat Berbasis Lignin	7
METODE	8
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	8
3.2 Alat dan Bahan	8
3.3 Prosedur Kerja	8
3.4 Analisis data	14
HASIL DAN PEMBAHASAN	16
4.1 Karakteristik Bahan Baku Perekat	16
4.2 Karakteristik Perekat	19
4.3 Karakteristik Kayu Lapis	26
4.4 Penentuan Formula Terbaik	32
SIMPULAN DAN SARAN	33
5.1 Simpulan	33
5.2 Saran	33
DAFTAR PUSTAKA	34
LAMPIRAN	39
RIWAYAT HIDUP	49

DAFTAR TABEL

1	Formula perekat poliuretan berbasis lignin termodifikasi	11
2	Parameter uji dan standar pengujian kayu lapis	13
3	Penilaian performa perekat poliuretan berbasis lignin pada kayu lapis	15
4	Karakteristik bahan baku perekat	16
5	pH perekat poliuretan berbasis lignin termodifikasi	21
6	Penilaian performa kayu lapis dari perekat poliuretan berbasis lignin	32

DAFTAR GAMBAR

1	Skema reaksi pembentukan poliuretan	4
2	Komponen lignin (a) struktur fenilpropana (b) struktur lignin (c) jenis lignin pada kingdom plantae	5
3	Jenis metode demetilasi lignin secara kimia	6
4	Glioksalasi lignin	7
5	Sintesis poliuretan non-isosianat berbasis lignin	7
6	Diagram alir penelitian	9
7	Pola pemotongan contoh uji karakteristik kayu lapis	12
8	Gugus fungsi bahan baku perekat	16
9	Kenampakan pengendapan lignin	17
10	Skema reaksi lignin termodifikasi (demetilasi-glioksalasi)	18
11	Ikatan uretan berbasis lignin termodifikasi (demetilasi-glioksalasi)	19
12	Kenampakan perekat poliuretan berbasis lignin termodifikasi	19
13	Morfologi perekat poliuretan berbasis lignin termodifikasi pada perbesaran 50x, 100x, dan 200x	20
14	Kadar padatan perekat poliuretan berbasis lignin termodifikasi	21
15	Viskositas, kekuatan kohesi, dan modulus relaksasi perekat	22
16	Gugus fungsi perekat poliuretan berbasis lignin termodifikasi (a) cair (b) padat	23
17	Mass loss perekat akibat hidrolisis (a) kondisi cair (b) kondisi padat	25
18	Larutan hidrolisat perekat poliuretan berbasis lignin termodifikasi	25
19	pH hidrolisat perekat akibat hidrolisis	26
20	Kerapatan kayu lapis dari perekat poliuretan berbasis lignin	27
21	Kadar air kayu lapis dari perekat poliuretan berbasis lignin	27
22	Delaminasi kayu lapis dari perekat poliuretan berbasis lignin	28
23	Garis rekat (a) Delaminasi (b) Tidak terjadi delaminasi	29
24	Keteguhan rekat kayu lapis dari perekat poliuretan berbasis lignin	29
25	Grafik <i>stress-strain</i> formula perekat F5	30
26	Kerusakan kayu lapis dari perekat poliuretan berbasis lignin	31
27	Serat yang menempel pada bidang garis rekat akibat kerusakan kayu	32

DAFTAR LAMPIRAN

1	Analisis ragam dan uji Duncan karakteristik perekat dan kayu lapis	39
---	--	----

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.



— Bogor Indonesia —

IPB University