J. Il. Pert. Indon.Vol. 8(2). 1999

KUALITAS LIGNIN RESORSINOL FORMALDEHIDA BERBAHAN DASAR DARI LINDI HITAM SEBAGAI PEREKAT KAYU LAMINASI

Oleh :
Surdiding Ruhendi*

ABSTRACT

THE QUALITY OF LIGNIN RESORCINOL FORMALDEHYDE MADE OF BLACK LIQUOR AS WOOD LAMINATED ADHESIVES

The quality of Lignin Resorcinol Formaldehyde prepared from black liquor was investigated and used for wood laminated adhesives. Lignin was isolated from black liquor, while lignin resorcinol formaldehyde (LRF) was prepared by molar ratio of L : R : F was 1 : 0.1 to 0.4 :2.The isolated lignin is characterized by solid content (70.3%), ash content (7.95%), and pH (1.04). In general, the quality of LRF met the JIS K 6802 – 1986 standard for phenol formaldehyde (PF). The quality of laminated wood glued with LRF in terms of moisture content, density, and shear strength was about 13.34%, 0.36 g/cm³ and 8.2 kg/cm², respectively. The molar ratio L : R : F suitable for wood laminated adhesives is 1 to 0.6 to 2.

ABSTRAK

Kualitas lignin resorsinol formaldehida telah diteliti dan telah dicoba dalam pembuatan kayu laminasi. Lignin diekstrak dari lindi hitam, sementara resorsinol dan formaldehida digunakan untuk membuat perekat lignin resorsinol formaldehida. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas perekat lignin resorsinol formaldehida dan kualitas kayu laminasi yang direkat dengannya. JIS K 6802-1986 telah digunakan untuk menguji mutu perekat, sedangkan ASTM D 143-52 dan ASTM D 905-49 serta JAS (1996) dipakai untuk menguji mutu kayu laminasi. Perekat lignin resorsinol formaldehida (LRF) yang berbentuk cair, berwarna coklat kehitaman dan berbau khas fenol dengan kadar padatan 31,49%, berat jenis 1,22, pH 11,32, dan gelating time 7-165 menit, memenuhi standar JIS K 6802-1986. Demikian juga kayu laminasi yang direkat dengan LRF yang dibuat dengan rasio molar L : R : F = 1 : 0.6 : 2 dan penambahan paraformaldehida 0.5% memenuhi standar.

Kata kunci : lignin, resorsinol, lindi hitam, kayu laminasi

PENDAHULUAN

Lignin adalah salah satu kandungan dari limbah industri pulp yang sifat dan potensinya sangat besar sebagai perekat kayu. Limbah pulp atau lindi hitam mengandung lignin 45 – 70% dari berat basahnya. Sampai akhir tahun 1996, kapasitas terpasang industri pulp adalah 2.788.400 ton, sedangkan produksi pulp Indonesia pada tahun yang sama adalah 2.560.000 ton, dengan proses utama adalah proses kraft. Dari tahun ke tahun diperkirakan produksinya akan terus meningkat, yang berarti juga terjadinya peningkatan limbah pulp. Rudatin (1989) menyatakan bahwa dari 15.000 ton pulp (berat kering) proses kraft akan dihasilkan limbah yang berbentuk lindi hitam sekitar 130.000 ton dengan konsistensi 18% berat padatan/berat larutan. Jadi pada tahun 1996 saja dihasilkan lindi hitam sekitar dua milyar ton. Salah satu senyawa yang terkandung dalam lindi hitam adalah lignin sebanyak 45 – 75% dari berat basah (Bangun, 1998).

Lignin adalah polimer atau makromolekul dengan sifat-sifat yang cocok untuk berbagai tujuan teknis. Di alam, keberadaan lignin pada kayu berkisar antara 25% - 30%, tergantung pada jenis kayu dan faktor lain yang mempengaruhi perkembangan kayu (Sjostrom, 1995) dan merupakan bahan yang tidak larut air sehingga berfungsi sebagai perekat yang sangat baik. Sedangkan lignin dari limbah pulp merupakan bahan yang larut air sehingga perlu diberi perlakuan untuk mengurangi kelarutannya atau bahkan menjadikannya bahan yang tidak larut air. Dari penelitian terdahulu diketahui bahwa lignin dari limbah pulp kraft dapat digunakan sebagai perekat dengan cara mereaksikan lignin dengan formaldehida dan beberapa bahan kimia lain melalui proses hidroksimetilasi.

Sampai saat ini, produksi lignin dalam skala besar masih sangat rendah untuk seluruh dunia, begitu juga penggunaan lignin teknis sebagai perekat. Sebagian besar lignin ini masih digunakan pada skala laboratorium. Sebagai perekat, lignin yang dikombinasikan dengan formaldehida masih belum menunjukkan hasil yang memuaskan karena rendahnya reaktivitas lignin terhadap formaldehida dan terbatasnya posisi yang dapat bereaksi dengan formaldehida pada setiap gugus aromatis dari unit phenil propana lignin (Pizzi, 1994). Dalam upaya meningkatkan kualitas perekat lignin, maka dilakukan penambahan resorsinol dan paraformaldehida sebagai pengeras yang diharapkan akan meningkatkan kekuatan perekat berbahan dasar lignin.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan resorsinol dan paraformaldehida pada lignin isolat dari lindi hitam kraft terhadap keteguhan geser kayu laminasi. Hal ini didasarkan pada hipotesis, bahwa penambahan resorsinol pada perekat berbahan dasar lignin sebagai perekat Lignin Resorsinol Formaldehida akan meningkatkan keteguhan geser perekat berbahan dasar lignin, karena resorsinol merupakan senyawa yang reaktif.

* Staf Pengajar pada Jurusan Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini menggunakan analisis faktorial dalam Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan ulangan sebanyak tiga kali. Faktor A adalah jumlah penambahan resorsinol yang terdiri dari 4 taraf yaitu 0,1 mol, 0,2 mol, 0,3 mol dan 0,4 mol. Faktor B adalah penambahan paraformaldehida berdasarkan berat perekat campuran Lignin Resorsinol Formaldehida (LRF) cair yang terdiri dari 3 taraf yaitu 0,5%, 1% dan 1,5%.

Untuk melihat pengaruh penambahan resorsinol dan penambahan paraformaldehida, maka dilakukan analisis keragaman, kemudian dilakukan uji wilayah berganda Duncan untuk melihat pengaruh tiap faktor perlakuan terhadap respon yang diamati dan analisis regresi untuk mengetahui hubungan antara perlakuan dengan respon yang diamati.

Untuk mendapatkan lignin dari lindi hitam dilakukan isolasi metode Kim *et al.* (1987) dengan prosedur sebagai berikut : pertama-tama lindi hitam dilarutkan dengan H_2SO_4 2N agar lignin mengendap, kemudian disaring. Endapan yang tersaring kemudian dilarutkan kembali dengan larutan NaOH 0,1N dan disaring. Selanjutnya larutannya diambil dan diendapkan dengan H_2SO_4 dan disaring lagi. Hasil endapan kemudian dikeringkan pada suhu 50oC - 60oC dalam oven. Selanjutnya lignin yang didapat kemudian diuji kadar padatan, kadar abu dan pH-nya dengan mengacu kepada standar JIS K 6833 - 1980.

Perekat lignin resorsinol formaldehida dibuat dengan mereaksikan lignin isolat, formaldehida dan resorsinol dengan rasio molar L : R : F = 1 : 0.1-0.4 : 2. Penentuan komposisi ini berdasarkan asumsi bahwa 1 mol lignin setara dengan 180 bobot molekul lignin, yaitu bobot rata-rata unit struktur C9 pada prazat pembentuk lignin (Gillespie, 1988 *dalam* Bangun, 1998).

Selanjutnya perekat dibuat dengan mengacu kepada prosedur pembuatan perekat hidroksimetilasi lignin kraft oleh Gillespie *dalam* Bangun (1998). Prosedur pembuatan perekat tersebut adalah dengan mencampur lignin isolat dengan larutan NaOH 10%, larutan NaOH 50%, dan resorsinol sedikit demi sedikit sampai homogen. Setelah itu masukkan larutan formaldehida 37% sedikit demi sedikit sampai larut dan tambahkan larutan NaOH 10% sampai pH mencapai nilai 11. Kemudian tambahkan paraformaldehida sebelum perekat dilaburkan. Reaksi tersebut dilakukan pada suhu kamar.

Untuk mengetahui kinerja LRF sebagai perekat kayu, maka LRF ini digunakan dalam pembuatan kayu laminasi. Jenis kayu yang digunakan adalah Sengon (*Paraserianthes falcataria (L.) Nielsen*) berdiameter 20 cm – 30 cm. Kayu tersebut kemudian dipotong dengan ukuran (2 x 5 x 40) cm. Kemudian kayu dikeringkan dalam oven hingga kadar airnya berkisar $\pm$12%, lalu diserut dan diamplas permukaannya. Keadaan kayu diusahakan homogen dan dipilah secara visual untuk kemudian diambil secara acak untuk direkatkan.

Kayu yang telah disiapkan kemudian dibersihkan dan dilaburi perekat campuran Lignin Resorsinol Formaldehida (LRF) pada salah satu sisi kayu dengan berat labur 200 g/m^2. Setelah pelaburan merata, potongan kayu direkatkan dengan potongan kayu lainnya. Selanjutnya kayu laminasi dikempa dingin selama 24 jam dan didiamkan pada suhu ruangan selama satu minggu sebelum diuji.

Pembuatan contoh uji terdiri dari tiga macam, yaitu mengacu kepada ASTM D 143-52 untuk pengujian kadar air dan kerapatan dengan ukuran contoh uji (3 x 4 x 5) cm, dan ASTM D 905-49 untuk pengujian keteguhan geser.

Kualitas perekat LRF dan kayu laminasi yang dihasilkan kemudian diuji menurut standar JIS K 6833 – 1980, JIS K 6802 – 1986, ASTM D 143-52, ASTM D 905-49, dan JAS (1996). Kualitas perekat meliputi kenampakan, kadar padatan, pH, berat jenis dan gelating time, sedangkan kualitas kayu laminasi meliputi kadar air, kerapatan dan keteguhan geser.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas Perekat Lignin Resorsinol Formaldehida

(1) Sifat Fisik

Perekat Lignin Resorsinol Formaldehida (LRF) yang dihasilkan berbentuk cair, berbau khas fenol dan berwarna coklat kehitaman (Tabel 1). Bau khas fenol disebabkan

Tabel 1. Sifat Dasar Perekat Lignin Resorsinol Formaldehida

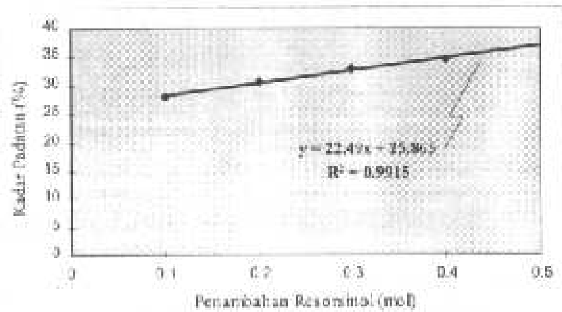
Perlakuan	Kadar padatan (%)	Berat jenis	pH	Gelating time (jam:menit)	Sifat fisik
L : R : F (1:0.1:2)	27,88	1,19	11,38	Panas = 2:45 Dingin > 8jam	bau : khas fenol warna : coklat kehitaman (gelap) bentuk :cair
L : R :F (1:0.2:2)	30,60	1,22	11,26	Panas = 1:10 Dingin = 6:45	S.D.A.
L : R : F (1:0.3:2)	32,84	1,22	11,42	Panas = 0:12 Dingin = 5:10	S.D.A.
L : R : F (1:0.4:2)	34,63	1,24	11,21	Panas = 0:7 Dingin = 4:30	S.D.A
Fenol Formaldehida	46,68	1,21	11,49	Panas = 0:46 Dingin > 8jam	bau : fenol warna :merah kehitaman (gelap) bentuk : cair

Keterangan :
L : R : F = Lignin : Resorsinol : Formaldehida
S.D.A. = sama dengan atas

adanya gugus aromatik fenol dalam unit dasar pembentuk lignin. Bau ini juga disebabkan oleh penambahan resorsinol yang merupakan gugus fenol yang ditambahkan satu gugus hidroksil pada salah satu rantai karbon aromatiknya sehingga membentuk posisi ortho (Pizzi, 1994). Warna coklat gelap yang dihasilkan perekat ini serupa dengan warna lignin ketika masih berbentuk serbuk.

(2) Kadar Padatan

Dari Tabel 1 terlihat bahwa penambahan resorsinol akan meningkatkan kadar padatan perekat LRF. Kadar padatan terendah dihasilkan oleh perekat LRF dengan penambahan resorsinol 0,1 mol yaitu 27,88%. Kadar padatan tertinggi dihasilkan oleh perekat dengan penambahan resorsinol 0,4 mol yaitu 34,63%. Peningkatan kadar padatan ini akan meningkatkan kualitas perekat yang dihasilkan. Hal ini sejalan dengan nilai keteguhan geser yang diamati, dimana peningkatan kadar padatan diikuti dengan peningkatan keteguhan geser kayu laminasi.



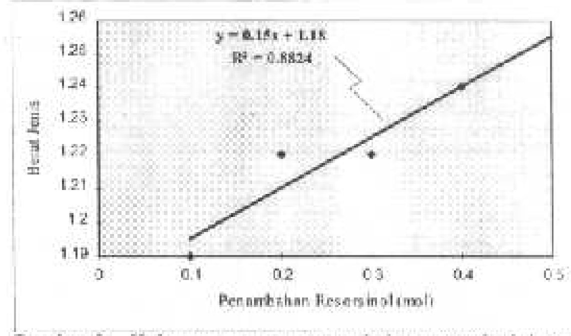
Gambar 1. Hubungan antara penambahan resorsinol dengan kadar padatan perekat.

Gambar 1 memperlihatkan hubungan antara penambahan resorsinol dan kadar padatan, dimana penambahan ini akan meningkatkan kadar padatan perekat LRF. Hubungan antara penambahan resorsinol dan kadar padatan dapat dinyatakan dalam persamaan Y= 22,49X + 25,865. Semakin tinggi kadar padatan perekat, maka molekul-molekul yang dikandung perekat tersebut juga meningkat. Hal ini berarti terjadi peningkatan molekul-molekul perekat yang akan bereaksi dengan kayu pada proses perekatan, sehingga tercipta keteguhan rekat yang lebih baik. Lebih lanjut dijelaskan oleh Vick (1999), ikatan rekat maksimum dapat terjadi jika perekat membasahi semua permukaan adherend sehingga terjadi kontak antara molekul perekat dan molekul kayu sehingga daya tarik intermolekular antara kayu dan perekat dapat terjalin dengan baik.

Nilai kadar padatan perekat LRF yang dihasilkan masih berada dibawah standar kadar padatan perekat fenol formaldehida untuk kayu dalam JIS K 6802-1986, yaitu 60%. Berdasarkan persamaan regresi yang dihasilkan dapat diketahui bahwa untuk menghasilkan perekat dengan kadar padatan 60% diperlukan penambahan resorsinol sebesar 1,52 mol, dan untuk menghasilkan kadar padatan sesuai dengan kadar padatan yang disarankan bagi perekat fenol formaldehida sebagai pembanding, yaitu 40%, diperlukan penambahan resorsinol sebesar 0,63 mol.

(3) Berat Jenis

Gambar 2 memperlihatkan hubungan antara penambahan resorsinol dengan berat jenis perekat. Hubungan tersebut menghasilkan persamaan Y = 0,15X + 1,18. Semakin banyak penambahan resorsinol, maka berat jenis perekat cenderung meningkat. Berat jenis terkecil didapatkan dari perekat dengan penambahan resorsinol 0,1 mol, yaitu 1,19, sedangkan berat jenis tertinggi diberikan oleh perekat dengan penambahan resorsinol 0,4 mol, yaitu 1,24. Nilai berat jenis perekat ini rata-rata mendekati berat jenis perekat fenol formaldehida sebagai pembanding, yaitu 1,21. Sedangkan pada standar JIS K 6802-1986 tidak disyaratkan berat jenis bagi perekat fenol untuk kayu.



Gambar 2. Hubungan antara penambahan resorsinol dengan berat jenis perekat

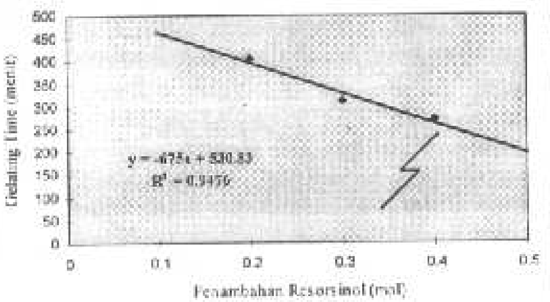
(4) pH

Nilai pH perekat yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 1. Nilai tertinggi dihasilkan oleh penambahan resorsinol 0,3 mol yaitu 11,42. Sedangkan nilai terkecil dihasilkan oleh perekat LRF dengan penambahan resorsinol 0,4 mol. Pada mulanya lignin bersifat asam dan penambahan NaOH membuatnya bersifat basa, kemudian penambahan resorsinol yang bersifat asam membuat pH perekat sedikit menurun. Namun ternyata nilai pH tidak menunjukkan suatu keteraturan. Hal ini sesuai dengan hasil yang didapatkan oleh Bangun (1998) ketika lignin dicampur dengan fenol formaldehida. Menurut Bangun (1998), ketidakteraturan nilai pH disebabkan karena dalam satu jenis kayu, sifat fisik dan kimia lignin berbeda-beda, begitu juga sifat lignin yang dihasilkan dari proses isolasi yang berasal dari ratusan spesies kayu sehingga memberi pengaruh yang berbeda-beda jika direaksikan dengan bahan tertentu. Selain itu proses pembuatan dan pencucian pulp membuat lignin mengalami perubahan kimia, sehingga sifat fisik, kimia dan sifat-sifat reaksinya juga berbeda.

Jika dibandingkan dengan perekat fenol formaldehida, nilai pH perekat LRF yang dihasilkan tidak jauh berbeda, sedangkan dalam standar perekat fenol untuk kayu pada JIS K 6802-1986 tidak disyaratkan nilai pH.

(5) Gelating Time

Gelating time merupakan waktu yang dibutuhkan perekat cair sampai perekat tersebut mengeras dan tidak dapat lagi digunakan karena sudah berbentuk gel. Pengamatan gelating time perekat LRF menghasilkan suatu kecenderungan bahwa semakin banyak penambahan resorsinol, maka gelating time-nya semakin singkat. Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa pengerasan tercepat terjadi pada perlakuan penambahan resorsinol 0,4 mol, yaitu 4 jam 30 menit pada suhu ruangan dan 7 menit pada penangas air mendidih. Sedangkan gelating time terlama dihasilkan oleh perlakuan penambahan resorsinol 0,1 mol yaitu lebih besar dari 8 jam pada suhu kamar dan 2 jam 45 menit pada penangas air mendidih.



Gambar 3. Hubungan antara penambahan resorsinol dengan gelating time perekat

Peningkatan gelating time ini disebabkan semakin meningkatnya senyawa reaktif dalam perekat sehingga reaksi yang terjadi lebih cepat. Selain itu pengerasan juga disebabkan penguapan pelarut dari perekat cair. Jika dilihat dari nilai pH sebagai pendukung reaksi, nilai pH tersebut masih aman, dimana selang pH yang baik bagi perekat fenolik adalah 9-12 sehingga tercipta lingkungan yang baik bagi perekat dan selanjutnya akan meningkatkan terbentuknya molekul-molekul yang lebih besar namun masih tetap berupa cairan.

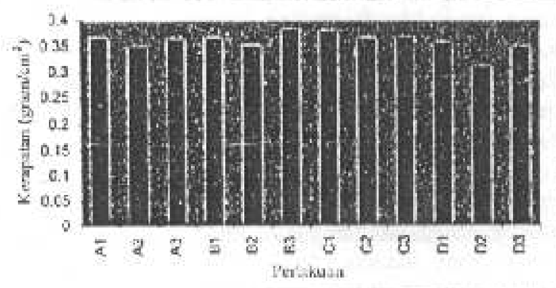
Pada standar perekat fenol untuk kayu dalam JIS K 6802-1986, disyaratkan gelating time pada suhu ruangan (25 ± 0,5°C) yaitu 60 - 300 menit. Dalam penelitian ini hanya penambahan resorsinol 0,4 mol yang memenuhi standar JIS K 6802-1986.

Pada uraian mengenai kadar padatan diketahui bahwa untuk menghasilkan perekat dengan kadar padatan sesuai standar JIS K 6802-1986 diperlukan penambahan resorsinol sebesar 1,52 mol, namun dari persamaan yang menghubungkan antara penambahan resorsinol dengan gelating time dapat diduga bahwa perekat yang dihasilkan akan mengeras terlalu cepat. Tetapi penambahan resorsinol 0,63 mol akan menghasilkan gelating time 105,58 menit, yang berarti penambahan ini akan menghasilkan perekat dengan gelating time masih sesuai dengan standar JIS K 6802-1986 (Gambar 3).

Kualitas Kayu Laminasi

(1) Kerapatan

Gambar 4 menunjukkan bahwa kerapatan kayu laminasi tertinggi dihasilkan oleh perlakuan penambahan resorsinol 0,3 mol dengan penambahan paraformaldehida 0,5% dan perlakuan penambahan resorsinol 0,2 mol dengan penambahan paraformaldehida 1,5%, yaitu 0,38 gram/cm³. Sedangkan kerapatan terkecil dihasilkan oleh perlakuan penambahan resorsinol 0,4 mol dengan penambahan paraformaldehida 1% yaitu 0,31 gram/cm³. Kayu laminasi yang dihasilkan memiliki kerapatan rata-rata sebesar 0,36 gram/cm³. Kerapatan rata-rata kayu laminasi yang dihasilkan tidak berbeda dengan kerapatan kayu penyusunnya, karena kerapatan kayu laminasi ini dipengaruhi oleh kerapatan kayu penyusunnya.



keterangan
A = penambahan resorsinol 0.1 mol
B = penambahan resorsinol 0.2 mol
C = penambahan resorsinol 0.3 mol
D = penambahan resorsinol 0.4 mol
1 = penambahan paraformaldehida 0.5%
2 = penambahan paraformaldehida 1%
3 = penambahan paraformaldehida 1.5%

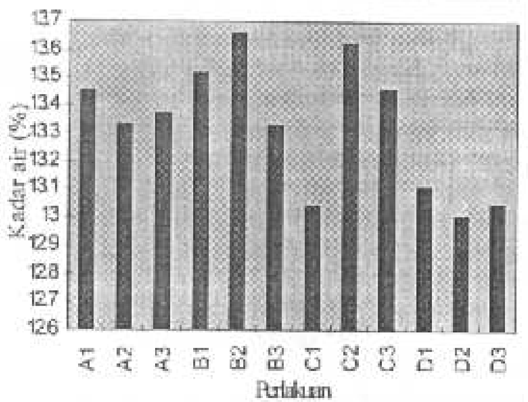
Gambar 4. Diagram batang kerapatan kayu laminasi

Dari analisis statistik untuk kerapatan kayu laminasi menunjukkan bahwa penambahan resorsinol berpengaruh nyata terhadap kerapatan kayu laminasi, dan dari uji lanjutan Duncan diketahui hanya penambahan resorsinol 0,4 mol yang berbeda.

(2) Kadar Air

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa nilai terbesar kadar air diberikan oleh perlakuan penambahan resorsinol 0,2 mol dengan penambahan paraformaldehida 1%, yaitu 13,66%, sedangkan nilai kadar air terkecil dihasilkan oleh perlakuan penambahan resorsinol 0,4 mol dengan penambahan paraformaldehida 1%, yaitu 13,01%. Nilai rata-rata kadar air lamina sebesar 13,34%. Nilai rata-rata ini lebih besar dari nilai rata-rata kayu sebelum direkatkan yaitu 11,40%. Kenaikan kadar air ini disebabkan oleh adanya penyerapan molekul air oleh kayu baik dari perekat, udara maupun air yang dihasilkan dari reaksi yang terjadi. Vick (1999), menjelaskan bahwa sebagian besar perekat kayu mengandung air sebagai pembawa dan pada proses perekatan air menguap dan diserap oleh kayu sehingga terjadi ikatan dan akan meningkatkan kadar air kayu yang direkat. Air juga diserap kayu dari udara sehingga kayu mengalami kesetimbangan dengan udara.

Menurut Vick (1999), kadar air berpengaruh terhadap kekuatan akhir, durabilitas rekatan dan stabilitas dimensi hasil rekatan. Selanjutnya menurut Tahir *et al.* (1998), kembang susut kayu, yang banyak dipengaruhi oleh penyerapan dan pelepasan molekul air oleh kayu, akan menyebabkan penurunan keteguhan geser, sebab kembang susut ini akan menghasilkan tegangan yang akan menyerang garis rekat dan menurunkan keteguhan gesernya. Oleh karena itu penyiapan kadar air kayu sebelum perekatan sangat penting, dimana kayu harus cukup kering sehingga jika ada penambahan kadar air setelah perekatan, kadar air kayu laminasi masih berada pada tingkat yang diharapkan. Dilain pihak perbedaan kadar air kayu yang akan direkat disarankan tidak terlalu besar, yaitu kurang dari 5% (Vick, 1999).



Keterangan :
A = penambahan resorsinol 0.1 mol
B = penambahan resorsinol 0.2 mol
C = penambahan resorsinol 0.3 mol
D = penambahan resorsinol 0.4 mol
1 = penambahan paraformaldehida 0.5%
2 = penambahan paraformaldehida 1%
3 = penambahan paraformaldehida 1.5%

Gambar 5. Diagram batang kadar air kayu laminasi

Perlakuan penambahan resorsinol memberikan pengaruh sangat nyata terhadap kadar air kayu laminasi, sedangkan penambahan paraformaldehida memberikan pengaruh tidak nyata terhadap kadar air kayu laminasi. Selanjutnya pengaruh penambahan resorsinol diuji beda dengan uji wilayah berganda Duncan, dan didapatkan bahwa hanya penambahan resorsinol 0,4 mol yang berbeda dari penambahan resorsinol 0,1 mol, 0,2 mol dan 0,3 mol.

Kadar air yang disarankan bagi kayu laminasi menurut standar JAS (1996) adalah tidak lebih dari 15%. Semua kadar air kayu laminasi yang dihasilkan berkisar antara 13,01% sampai 13,60% dengan rata-rata 13,33%. Hal ini berarti bahwa kadar air kayu laminasi yang dihasilkan sesuai dengan standar JAS (1996).

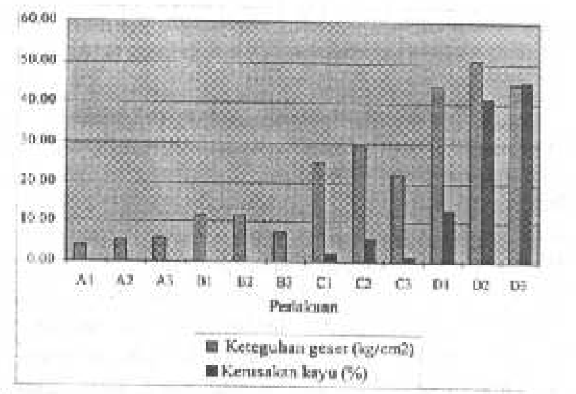
(3) Keteguhan Geser

Nilai rata-rata keteguhan geser dan kerusakan kayu pada uji kering dan uji basah dapat dilihat pada Tabel 2. Gambar 6 merupakan grafik keteguhan geser dan kerusakan kayu pada uji kering. Nilai keteguhan geser kayu laminasi yang didapat berbeda-beda. Pada uji kering, rata-rata keteguhan geser terkecil diberikan oleh perlakuan penambahan resorsinol 0,1 mol dan penambahan paraformaldehida 0,5% dengan nilai 3,79 kg/cm^2. Sedangkan keteguhan geser tertinggi diberikan oleh perlakuan penambahan resorsinol 0,4 mol dan penambahan paraformaldehida 1% dengan nilai 51,00 kg/cm^2. Kerusakan kayu pada uji kering hanya terjadi pada penambahan resorsinol 0,4 mol dan beberapa contoh uji pada penambahan resorsinol 0,3 mol.

Tabel 2. Rata-rata keteguhan geser dan kerusakan kayu laminasi masing-masing dalam uji basah dan uji kering

Perlakuan	Uji Kering		Uji Basah	
	Keteguhan Geser (Kg/cm^2)	Kerusakan Kayu (%)	Keteguhan Geser (Kg/cm^2)	Kerusakan Kayu (%)
A1	3,79	0	-	0
A2	5,66	0	-	0
A3	5,98	0	-	0
B1	11,79	0	-	0
B2	11,67	0	-	0
B3	7,55	0	-	0
C1	25,03	2,31	0,99	0
C2	29,66	6,02	2,29	0
C3	22,17	1,50	-	0
D1	44,40	13,29	7,34	0
D2	51,00	41,28	8,29	0
D3	44,87	45,73	6,59	0

Keterangan :
A = penambahan resorsinol 0.1 mol
B = penambahan resorsinol 0.2 mol
C = penambahan resorsinol 0.3 mol
D = penambahan resorsinol 0.4 mol
- = lepas sebelum diuji (ketika diberi perlakuan)
1 = penambahan paraformaldehida 0.5%
2 = penambahan paraformaldehida 1%
3 = penambahan paraformaldehida 1.5%



keterangan
A = penambahan resorsinol 0.1 mol
B = penambahan resorsinol 0.2 mol
C = penambahan resorsinol 0.3 mol
D = penambahan resorsinol 0.4 mol
1 = penambahan paraformaldehida 0.5%
2 = penambahan paraformaldehida 1%
3 = penambahan paraformaldehida 1.5%

Gambar 6. Diagram batang keteguhan geser rata-rata dan kerusakan kayu pada uji kering.

Menurut Tahir *et al.* (1998), kerusakan kayu yang rendah menunjukkan bahwa perekat telah rusak terlebih dahulu dibanding kayu. Dengan demikian nilai yang didapat menunjukkan kekuatan perekat bukan kekuatan kayu. Gejala ini terjadi pada semua contoh uji yang diberi perlakuan penambahan resorsinol 0,1 mol dan 0,2 mol, dimana pada contoh uji tidak terdapat kerusakan kayu. Tetapi pada penambahan resorsinol 0,3 mol, kerusakan kayu hanya terjadi pada beberapa contoh uji, dengan nilai kerusakan kayu sangat rendah, yaitu berkisar antara 1,5% sampai 6,02%. Pada penambahan resorsinol 0,4 mol dengan penambahan paraformaldehida 1% dan 1,5% menghasilkan rata-rata kerusakan kayu cukup besar, yaitu 41,28% dan 45,73%. Pada perlakuan ini besarnya nilai kerusakan kayu diikuti oleh tingginya nilai keteguhan geser rata-rata, yaitu 51,00 kg/cm^2 dan 44,87 kg/cm^2. Hal ini berarti bahwa perekat dapat dengan baik menyebar ke permukaan kayu dan terserap ke kayu sehingga ikatan dapat tercipta dengan baik. Tahir *et al.* (1998) menjelaskan bahwa perekatan yang baik adalah jika tingginya nilai keteguhan geser (diatas nilai keteguhan geser minimum) diikuti dengan kerusakan kayu yang cukup besar. Ini menunjukkan adanya efektifitas proses perekatan yang menyarankan kekuatan kayu setara dengan kekuatan perekat.

Pada penambahan resorsinol 0,1 mol, keteguhan geser yang dihasilkan berkisar antara 3,79 kg/cm^2 sampai 5,98 kg/cm^2 dan penambahan resorsinol 0,2 mol menghasilkan keteguhan geser rata-rata berkisar antara 7,55 kg/cm^2 sampai 11,79 kg/cm^2. Pada penambahan resorsinol 0,3 mol, nilai keteguhan geser rata-rata berkisar antara 22,17 kg/cm^2 sampai 29,66 kg/cm^2, dan pada penambahan resorsinol 0,4 mol keteguhan geser rata-rata berkisar antara 44,4 kg/cm^2 sampai 51,00 kg/cm^2.

Faktor penambahan resorsinol memberikan pengaruh nyata, sedangkan faktor penambahan paraformaldehida memberikan pengaruh tidak nyata pada keteguhan geser kayu laminasi. Pada uji lanjutan wilayah berganda Duncan untuk penambahan resorsinol, didapatkan bahwa penambahan resorsinol 0,1 mol dan 0,2 mol tidak saling berbeda sedangkan dengan penambahan resorsinol 0,3 mol dan 0,4 mol saling berbeda.

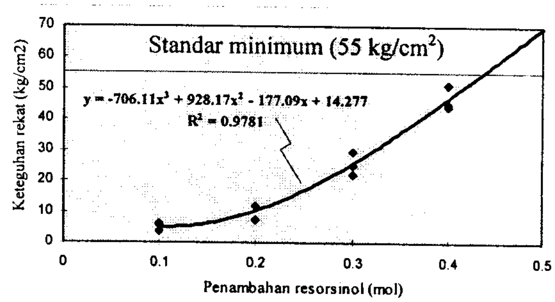
Perbedaan keteguhan geser yang dihasilkan dapat diterangkan melalui sifat dasar perekat yang digunakan, antara lain kadar padatan dan berat jenis. Dari data didapatkan bahwa peningkatan kadar padatan dan berat jenis akan meningkatkan keteguhan geser. Pada perekat LRF terdapat kecenderungan bahwa peningkatan kadar resorsinol meningkatkan kadar padatan dan berat jenis. Peningkatan keteguhan geser terjadi karena semakin banyak molekul-molekul perekat yang bereaksi dengan molekul-molekul kayu sehingga dihasilkan ikatan yang kuat. Lebih lanjut diterangkan oleh Vick (1999), bahwa menurut teori adhesi spesifik kekuatan perekatan dihasilkan oleh kekuatan tarik menarik yang disebabkan adanya interaksi atom-atom, ion-ion, dan molekul-molekul yang ada di dalam atau permukaan perekat dan adherend. Selanjutnya ikatan yang paling tahan akan dibangun ketika perekat berpenetrasi ke dalam rongga sel dan kemudian terjadi ikatan adhesi dengan selulosa dan hemiselulosa kayu. Dengan demikian perekat dapat secara efektif mentransfer dan mendistribusikan tegangan yang akan meningkatkan kekuatan dan keteguhan gesernya.

Gambar 7 menunjukkan hubungan antara penambahan resorsinol dengan keteguhan geser kayu laminasi yang dapat dinyatakan dengan persamaan $Y = -706{,}11X^3 + 928{,}17X^2 - 177{,}09X + 14{,}277$. Persamaan ini diambil karena memiliki nilai R^2 lebih tinggi, seperti terlihat pada Tabel 3. Persamaan ini menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan resorsinol maka keteguhan gesernya semakin meningkat. Pizzi (1994) menjelaskan bahwa peningkatan kekuatan perekat berbahan dasar lignin yang ditambahkan resorsinol disebabkan adanya reaksi antara resorsinol dengan lignin, dimana satu unit resorsinol bereaksi dengan dua unit senyawa lignin dan akan menjadi perekat yang mampu mengeras pada suhu ruangan dengan penambahan paraformaldehida melalui pembentukan formasi seri jembatan metilena yang menghubungkan dua molekul resorsinol yang tercangkok pada polimer lignin.

Tabel 3. Persamaan regresi antara penambahan resorsinol dengan keteguhan geser kayu laminasi pada uji kering

Persamaan Regresi	R^2
$Y = 140{,}21X - 13{,}067$	0,9179
$Y = 398{,}58X^2 - 59{,}168X + 6{,}8625$	0,9773
$Y = -706{,}11X^3 + 928{,}17X^2 - 177{,}09X + 14{,}277$	0,9781

Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai keteguhan geser yang dihasilkan pada uji kering tidak memenuhi standar keteguhan geser yang disarankan dalam Tahir *et al.* (1998) yaitu 55 kg/cm^2. Dari persamaan yang dihasilkan dan dengan mempertimbangkan kadar padatan dan gelating time, dapat diketahui bahwa untuk menghasilkan kayu laminasi yang memiliki keteguhan geser memenuhi standar yang disarankan, maka diperlukan penambahan resorsinol sebesar 0,63 mol.



Gambar 7. Hubungan penambahan resorsinol dengan keteguhan geser kayu laminasi pada uji kering

Pada uji basah, keteguhan geser mengalami penurunan dan tidak terjadi kerusakan kayu. Dari Tabel 2 terlihat bahwa keteguhan geser hanya dihasilkan oleh perlakuan penambahan resorsinol 0,4 mol dan pada beberapa contoh uji yang diberi penambahan resorsinol 0,3 mol. Pada penambahan resorsinol 0,4 mol keteguhan geser tertinggi dihasilkan oleh penambahan paraformaldehida 1%, yaitu 8,29 kg/cm^2. Sedangkan keteguhan geser tertinggi pada penambahan resorsinol 0,3 mol adalah 2,29 kg/cm^2. Menurut Tahir *et al.* (1998) penurunan keteguhan geser pada uji basah secara umum dipengaruhi oleh tegangan yang dihasilkan oleh kembang susut kayu yang menyerang garis rekat. Di sisi lain kayu Sengon merupakan jenis kayu yang memiliki kembang susut cukup tinggi yaitu 2,5% pada arah radial dan 5,2% pada arah tangensial (Martawijaya, 1981). Rendahnya nilai keteguhan geser yang dihasilkan menunjukkan bahwa perekat LRF ini tidak bisa digunakan sebagai perekat eksterior, karena nilai keteguhan gesernya masih berada dibawah nilai yang disarankan dalam Tahir *et al* (1998), yaitu 41 kg/cm^2.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan analisis dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Perekat yang dihasilkan berbentuk cair, berwarna coklat kehitaman dan berbau khas phenol. Kadar padatan rata-rata perekat tersebut sebesar 31,49%, berat jenis rata-rata sebesar 1,22, pH rata-rata sebesar 11,32 dan gelating time berkisar antara 7 - 165 menit pada penangas air mendidih dan 270 menit sampai lebih dari 8 jam pada suhu udara. Sifat dasar perekat kecuali kadar padatan memenuhi standar JIS K 6802-1986.
2. Kayu laminasi yang dihasilkan memiliki kadar air rata-rata sebesar 13,34% dan kerapatan rata-rata sebesar 0,36 gram/cm^3, dengan keteguhan geser tertinggi sebesar 51,00 kg/cm^2 pada uji kering dan 8,29 kg/cm^2 pada uji basah. Kadar air kayu laminasi yang dihasilkan sudah memenuhi standar yang disarankan dalam JAS (1996), tetapi keteguhan geser yang dihasilkan belum memenuhi standar minimum yang disarankan dalam Tahir *et al.* (1998).
3. Penambahan resorsinol terhadap perekat berbahan dasar lignin berpengaruh terhadap keteguhan geser kayu laminasi, sedangkan penambahan paraformaldehida tidak berpengaruh.
4. Berdasarkan efisiensi ekonomis dan hubungan penambahan Resorsinol dengan keteguhan geser kayu laminasi dengan persamaan persamaan $Y = -706{,}11x^3 + 928x^2 - 0\ 177{,}09x + 14{,}277$, perekat LRF yang akan menghasilkan kayu laminasi yang memenuhi standar JIS K 6802-1986, JAS (1996), dan Tahir *et al.* (1998) adalah perekat dengan perbandingan mol L : R : F = 1 :0,63 :2 dan penambahan paraformaldehida 0,5% dari berat perekat LRF cair.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih dan penghargaan kepada Adhi Suprihadhi, S.hut dan Drs Adi Santoso, M.Si yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan tulisan ini. Semoga semua bantuan ini menjadi amal soleh dan memperoleh pahala yang berlipat ganda dari Allah S.W.T. Amin.

DAFTAR PUSTAKA

Achmadi, S. 1990. Kimia Kayu. Bioteknologi Ilmu Hayat Pusat Antar Universitas Institut Pertanian Bogor. Bogor.

American Society for Testing and Materials. 1980. Standard Test Method for Strength Properties of Adhesive Bonds in Shear by Compression Loading. ASTM Designation : D905-49. Annual Book of ASTM Standard. Philadelphia.

Bangun, B. 1998. Pengaruh campuran perekat lignin dan phenol formaldehida terhadap sifat fisik mekanik papan partikel. Skripsi Jurusan Teknologi Hasil Hutan IPB. Bogor. Tidak diterbitkan.

Blomquist, R.F. (ed.). 1983. Adhesives Bonding of Wood and Other Structural Materials. Vol. III. Clark C. Herritage memorial series on wood. The Pennsylvania state university.

Fengel, D. dan G. Wegener. 1995. Kayu : Kimia, Ultra struktur, Reaksi-reaksi. Gadjah Mada University press. Yogyakarta.

Haygreen, J.G. dan J.L. Bowyer. 1989. Hasil Hutan dan Ilmu Kayu Suatu Pengantar (terjemahan). Gajah Mada University Press. Yogyakarta.

Japanese Agricultural Standard. 1996. Structural Glue Laminated Timber. Japanese Agricultural Standard. Japan Plywood Inspection Corporation, Tokyo.

Japanese Industrial Standard. 1980. General Testing Methods for Adhesives. JIS K 6833-1980. Japanese Standard Associations. Japan

Japanese Industrial Standard. 1986. Phenolic Resin Adhesives for Wood. JIS K 6802-1986. Japanese Standard Associations. Japan

Karliati, T. 1993. Penggunaan hidroksimetilat lignin sebagai perekat kayu lapis. Skripsi Jurusan Teknologi Hasil Hutan IPB. Bogor. Tidak diterbitkan.

Lai, Yuan-zong. 1996. Chemical Modification of Lignosellulosic Materials. Marcell Dekker, Inc. New York.

Martawijaya, A.I. Kartasujana, K. Kadir dan S.A. Prawira. 1981. Atlas Kayu Indonesia. Pusat Penelitian dan Pengembangan Bogor. Bogor.

Pizzi, A. 1994. Advanced Wood Adhesives Technology. Marcel Dekker, Inc. New York.

Rudatin, S. 1989. Potensi dan Prospek Pemanfaatan Lignin dari Limbah Industri Pulp dan Kertas di Indonesia. Berita Selulosa Vol. XXV : I. Balai Besar Selulosa. Bandung.

Santoso, A. 1995. Pencirian Isolat Lignin dan Upaya Menjadikannya Sebagai Bahan Perekat Kayu Lapis. Thesis Program Pasca Sarjana IPB. Bogor. Tidak diterbitkan.

Santoso, A. 1998. Pengaruh komposisi perekat lignin fenol formaldehida terhadap keteguhan rekat kayu lapis tusam. Laporan Penelitian. Pusat Penelitian Hasil Hutan Bogor. Bogor.

Santoso, A., I.M. Sulastiningsih., P. Sutigno. 1999. Sifat perekatan dari lima jenis kayu. Rancangan Laporan Penelitian. Pusat Penelitian Hasil Hutan Bogor. Bogor

SBP Board of Consultants and Engineers. n.d. Handbook of Adhesives. Small Business Publications. Delhi.

Sjostrom, E. 1995. Kimia Kayu : Dasar-Dasar dan Penggunaannya. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.

Tahir, P.Md. M.H.Sahri and Z. Ashari. 1998. Gluability of Less Used and Fast Growing Tropical Plantation Hardwood Species. Adhesives Technology and Bonded Tropical Wood Products. Taiwan Forestry Research Institute (TFRI). Extension Series 96:300-310.

Vick, C.B. 1999. Adhesive Bonding of Wood Material. Chapter :IX. Wood Handbook, Wood As an Engineering material. Forest Product Society. USA.