

OPTIMASI KOMPOSISI KARDANOL DARI MINYAK KULIT METE SEBAGAI SUBSTITUSI FENOL DALAM FORMULASI PEREKAT FENOL FORMALDEHIDA

Risfaheri¹, Tun Tedja Irawadi², M. Anwar Nur², Illah Sailah²,
Zainal Alim Mas'ud² dan Meika S. Rusli²

¹Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapenen Pertanian

²Institut Pertanian Bogor

Minyak kulit biji mete merupakan hasil samping dari pengolahan kacang mete, mengandung senyawa fenolik terutama kardanol. Penelitian ini bertujuan mendapatkan komposisi kardanol yang optimum sebagai substitusi fenol dalam formulasi perekat fenol formaldehida. Pelaksanaan penelitian dibagi atas beberapa tahap, yaitu (1) optimasi komposisi mol senyawa fenolik, nisbah mol senyawa fenolik terhadap formaldehida, dan lama reaksi (2) optimasi komposisi mol senyawa fenolik dan pH reaksi, dan (3) analisis struktur resin perekat dengan FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*). Formulasi perekat yang optimum diperoleh dengan komposisi senyawa fenolik (1 mol kardanol : 1 mol fenol), nisbah mol formaldehida terhadap senyawa fenolik (1,5 : 1,0). Kondisi optimum pembuatan perekat dicapai pada reaksi polikondensasi pH 10 dan berlangsung selama 1 jam. Kardanol dapat menggantikan fenol sebanyak 70 % dalam formulasi perekat fenol formaldehida. Perekat tersebut menghasilkan keteguhan rekat kayu lapis dalam keadaan kering dan basah (setelah direbus selama 72 jam) rata-rata 15,36 kg/cm² dan 13,61 kg/cm². Persyaratan keteguhan rekat untuk perekat fenol formaldehida menurut Standar Nasional Indonesia 06-4567-1998, yaitu minimum 10 kg/cm² (hasil uji dalam keadaan kering) dan 8 kg/cm² (hasil uji dalam keadaan basah). Terjadi sinergis antara kardanol dan fenol pada reaksinya dengan formaldehida, sehingga reaksi formaldehida dengan kardanol tidak hanya pada cincin aromatiknnya tetapi juga terjadi pada rantai samping tidak jenuh (C₁₅) dari kardanol, sehingga meningkatkan keteguhan rekat kayu lapis.

Kata kunci: *Annacardium occidentale*, minyak kulit biji mete, kardanol, fenolik, perekat

ABSTRACT. Risfaheri, Tun Tedja Irawadi, M. Anwar Nur, Illah Sailah, Zainal Alim Mas'ud and Meika S. Rusli. 2005. **Optimation of cardanol composition from cashew-nut shell liquid as phenol substitute in phenol formaldehyde adhesives formulation.** The cashew nut shell liquid is a by product obtained from the cashew nut processing, contains phenolics compound mainly cardanol. The objective of the research was to find out the optimum cardanol composition as phenol substitute in phenol formaldehyde adhesives formulation. The experiment was carried out in several stages as followed: (1) optimation of mole composition of the phenolics and mole ratio of the phenolics to formaldehyde, and reaction time; (2) optimation of mole composition of the phenolics and pH reaction; and (3) the resin structure analysis using FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*). The optimum formulation of adhesive synthesis as followed: the composition of phenol portion (1 mole cardanol : 1 mole phenol), the mole ratio of formaldehyde to total phenol (1.5 : 1,0). The optimum condition of polycondensation reaction was achieved at pH 10 for 1 hour. Cardanol could substitute phenol as much as 70 % in the fenol formaldehyde adhesives formulation. The average of the bond strength of plywood produced using the adhesives in dry and wet condition (after boiled 72 hours) was 15.36 kg/cm² and 13.61 kg/cm² respectively. Requirement of the bond strength in Indonesian National Standard 06-4567-1998 is minimum 10 kg/cm² (the result test on dry condition) and 8 kg/cm² (the result test on wet condition). There are synergism of cardanol and phenol in reaction with formaldehyde, so therefore reaction of formaldehyde and cardanol did not only happen at the aromatics ring but also at unsaturated chain C₁₅ of cardanol which caused an increase in the bond strength of plywood.

Key words: *Anacardium occidentale*, cashew-nut shell liquid, cardanol, phenolic, adhesive

PENDAHULUAN

Kulit biji mete merupakan hasil samping pengolahan kacang mete, mengandung CNSL (*Cashew nut shell liquid*/Minyak kulit biji mete) sekitar 20 %. Komponen utama penyusun CNSL terdiri atas asam anakardat (6-pentadecylsalicylic acid), kardol (5-pentadecylresorcinol), 2-metil kardol (2-methyl-5-pentadecylresorcinol) dan kardanol (3-pentadecylphenol). Komponen-komponen ini merupakan

senyawa fenolik yang mempunyai ikatan rangkap pada rantai sampingnya (Kubo *et al.*, 1986). Kardol mempunyai sifat toksik terhadap kulit, sedangkan asam anakardat mempunyai banyak kegunaan diantaranya sebagai anti tumor (Kubo *et al.* 1993a), anti mikroba (Kubo *et al.* 1993b), anti jerawat (Kubo *et al.* 1994) dan sebagai molluscicides (Kubo *et al.* 1986). Senyawa kardanol mempunyai struktur kimia yang mirip dengan fenol, sehingga berpotensi dimanfaatkan untuk mensubstitusi fenol dalam formulasi perekat fenol formaldehida. Senyawa kardanol memiliki

rantai samping tak jenuh (C_{15}) pada posisi meta dari inti fenolnya, yang merupakan pembedanya dari senyawa fenol.

Potensi produksi CNSL di Indonesia cukup besar. Hasil penelitian Mulyono (1997), menunjukkan rendemen CNSL dari kulit mete dapat mencapai 22 % dengan menggunakan alat kempa hidrolik pada tekanan 425 Psi, sedangkan persentase kulit mete dari gelondong mete sekitar 45 – 50 %. Bila produksi gelondong mete pada tahun 2002 sebesar 94.439 ton (BPS, 2002), akan diperoleh kulit mete sekitar 42.498 – 47.220 ton yang mengandung CNSL sekitar 9.350 – 10.388 ton. Komposisi kimia CNSL dipengaruhi oleh proses ekstraksinya. Ekstraksi CNSL dari kulit biji mete dapat dilakukan dengan metode penyangraian (*roasting*), penggorengan (*hot oil bath*), pengempaan (*press*) dan ekstraksi dengan pelarut kimia.

Bila ekstraksi CNSL dari kulit biji mete melalui proses panas (*hot-processed*), komponen utamanya terdiri atas kardanol (60 - 70 %), kardol (20 - 25 %) dan sejumlah kecil 2-metilkardol (9 - 12 %). Bila ekstraksi CNSL melalui proses dingin (*cold-processed*), komponen utamanya terdiri atas asam anakardat (60 - 70%) dan kardol (20 - 25%). Komposisi kimia CNSL tersebut dipengaruhi oleh komponen asam anakardat yang bersifat termolabil, dan akan terdekomposisi menjadi kardanol dan karbon dioksida akibat pengaruh pemanasan (Pramashivappa *et al.*, 2001).

Kardanol dapat dipisahkan dengan metode destilasi vakum. Tahap pertama CNSL dipanaskan pada suhu 140 °C selama 1 jam, sehingga asam anakardat berubah menjadi kardanol, kemudian kardanol dipisahkan dengan metode destilasi vakum pada suhu 280 °C dengan tekanan vakum (4-8 mmHg). Hasil yang diperoleh 74 % destilat (kardanol) dan 26 % sisa destilasi berupa Cairan kental berwarna hitam dikenal dengan nama residol (Risfaheri *et al.*, 2004). Residol kaya dengan senyawa kardol, sehingga berpeluang dimanfaatkan untuk berbagai produk resin. Menurut Kumar *et al.* (2002), pemisahan kardanol dan kardol dapat dilakukan dengan metode *solvent extraction*. CNSL dilarutkan dalam campuran metanol dan ammonium hidroksida (8 : 5) dan diekstraksi dengan heksan untuk mendapatkan kardanol. Lapisan metanol-amonia yang tersisa diekstrak dengan campuran etil asetat dan heksan untuk mendapatkan kardol.

Senyawa kardanol merupakan campuran dari bentuk jenuh dan tidak jenuh pada ikatan rantai karbon sampingnya. Rantai karbon samping kardanol merupakan campuran dari satu (monoene), dua (diene) dan tiga (triene) ikatan rangkap serta ikatan jenuh (Khumar *et al.*, 2002). Kardanol dengan ikatan tidak jenuh triene akan mudah mengalami polimerisasi, sedangkan ikatan tak jenuh monoene dan diene lebih stabil. Hasil penelitian Risfaheri

et al. (2004), komponen kimia kardanol terdiri atas: 3-[8(Z),11(Z),14-pentadecatrienyl]phenol (74,25 %), 3-[8(Z),11(Z)-pentadecadienyl] phenol (10,94 %) dan 3-[8(Z)-pentadecenyl]phenol (14,81 %).

Dalam lima tahun terakhir (1998 – 2002), Indonesia mengimpor fenol rata-rata per tahun 32.090 ton atau senilai US \$ 24.552.971, dan resin fenolik rata-rata per tahun 20.570 ton atau senilai US \$ 16.707.203 (Anonymous, 2002). Kondisi ini memberikan peluang pasar yang sangat besar untuk dipenuhi oleh senyawa yang dapat mensubstitusi fenol, diantaranya senyawa fenolik yang berasal dari minyak kulit biji mete yang jumlahnya cukup besar.

Perekat fenol formaldehida merupakan perekat resin fenolik, dibentuk melalui reaksi kondensasi antara formaldehida dengan senyawa fenolik (Pizzi *et al.*, 1997). Pada umumnya perekat yang sering digunakan untuk kayu lapis adalah perekat urea formaldehida, fenol formaldehida dan melamin formaldehida (Davis, 1997). Perekat fenol formaldehida memiliki sifat tahan terhadap air, panas dan jamur sehingga digolongkan ke dalam jenis perekat tipe eksterior. Perekat urea formaldehida tidak tahan terhadap pengaruh cuaca sehingga digolongkan ke dalam perekat tipe interior. Dalam pembuatan kayu lapis, perekat memegang peranan penting meskipun faktor venir (lembaran kayu penyusun kayu lapis) tidak dapat diabaikan.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan komposisi kardanol yang optimum sebagai substitusi fenol dalam formulasi perekat fenol formaldehida. Kardanol memiliki rantai samping tak jenuh (C_{15}) sehingga reaksi polimerisasi tidak hanya terjadi pada cincin aromatik, tetapi diduga juga terjadi pada rantai sampingnya, yang memungkinkan kardanol dapat meningkatkan keteguhan rekat dari perekat fenol formaldehida.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan pada tahun 2003 – 2004 di BB-Pascapanen dan Balitro, Badan Litbang Pertanian serta di Pusat Penelitian Hasil Hutan, Badan Litbang Kehutanan. Bahan baku penelitian berupa kardanol didestilasi langsung dari CNSL dengan metode destilasi vakum (Risfaheri *et al.*, 2004). Bahan uji venir diperoleh dari Pusat Penelitian Hasil Hutan, Badan Litbang Kehutanan. Venir berupa kupasan kayu meranti dengan tebal 1,5 mm, kadar air 8 - 10 % dan ukuran 20 x 20 cm. Alat untuk keperluan proses meliputi pengaduk (Karl Kolb D-6072 – West Germany), pemanas *flat* 1000 Watt, termokontrol (Han Young Electronic Hy-72D0399°C), destilasi vakum, pemanas jaket 1000 watt dan pompa vakum merk Edwards model RV12 No.A655-01-903), labu reaksi, alat pengempa

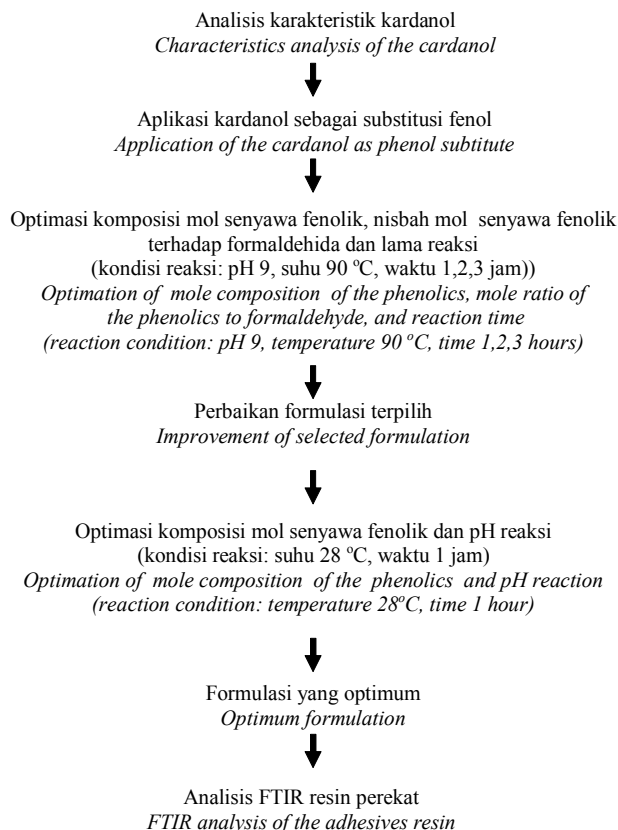
dan pengukur waktu. Alat untuk keperluan analisis diantaranya pH meter, viskosimeter (Brookfield), piknometer, neraca, oven, seperangkat alat gelas, alat ukur keteguhan rekat kayu lapis (Alb. Von Tarnogroeli Inh. M.Mohaupt Essen model UPH2 No.7872, Baujahr 1971) dan FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) – Bio Rad Merlin FTS 3000.

Penelitian dilaksanakan dalam beberapa tahapan (Gambar 1) yaitu:

1. Optimasi komposisi mol senyawa fenolik, nisbah mol senyawa fenolik terhadap formaldehida dan lama reaksi. Pembuatan perekat resin fenolik melalui reaksi polimerisasi kondensasi pada suasana basa dengan nisbah mol fenolik terhadap formaldehida kurang dari satu (kelebihan formaldehida), merujuk pembuatan resin fenolik menurut Pizzi (1983). Nisbah mol senyawa fenolik terhadap formaldehida berkisar antara (1 : 1,1) - (1 : 2), dan pH reaksi 8 - 11. Reaksi senyawa fenolik dengan formaldehida dapat berlangsung pada suhu 80 - 100 °C dengan waktu bervariasi 1 – 8 jam tergantung pH reaksi, nisbah mol fenolik terhadap formaldehida dan suhu reaksi (Pizzi, 1983). Pada percobaan ini reaksi berlangsung pada pH 9 dengan menambahkan NaOH 50 %, suhu reaksi 90 °C dan waktu

reaksi 1 – 3 jam. Percobaan dirancang dalam Rancangan Acak Lengkap (RAL) Faktorial dengan ulangan sebanyak tiga kali. Sebagai perlakuan yaitu: (A) komposisi mol senyawa fenolik (kardanol : fenol) untuk meminimalisir penggunaan fenol [(1:0), (2:1), (1:1), (1:2) dan (1:3)], (B) nisbah mol formaldehida terhadap senyawa fenolik (1,2:1,0), (1,5:1,0), (1,8:1,0) dan (C) Lama reaksi (1, 2, 3 jam). Pengamatan meliputi keteguhan rekat kayu lapis dan kadar bahan tidak menguap (SNI 06-4567-1998).

2. Optimasi komposisi mol senyawa fenolik dan pH reaksi. Hasil dari percobaan 1 diperoleh komposisi mol senyawa fenolik terbaik yaitu 1 mol kardanol dan 1 mol fenol. Formulasi perekat yang dihasilkan memiliki viskositas tinggi sehingga daya simpannya sangat pendek. Pada percobaan 2, proses formulasi dilakukan pada suhu kamar (28°C) dan lama reaksi dipersingkat menjadi 2 jam. Percobaan ini dirancang dalam RAL Faktorial dengan ulangan sebanyak tiga kali. Sebagai perlakuan yaitu: (A) komposisi mol senyawa fenolik (kardanol : fenol) [(0:1), (1:1), (1:0,5) dan (1:0)], (B) pH reaksi (9, 10, 11) dan (C) umur perekat sebelum diaplikasikan (0, 1, 2, 4, 7 hari). Selama proses, reaksi dipertahankan pada nilai pH yang diinginkan dengan menambahkan NaOH 50 %. Pengamatan meliputi keteguhan rekat kayu lapis dan karakteristik perekat (SNI 06-4567-1998).
3. Analisis resin perekat dengan FTIR. Analisis resin perekat dilakukan dengan mengidentifikasi gugus fungsi yang dimiliki resin. Contoh yang akan dianalisis dicampurkan dengan KBr dengan perbandingan 3 : 1. Campuran dibuat sampai homogen, kemudian dibuat lapisan tipis (0,1 mm) dengan *plate press* ukuran 2 x 1,5 cm. Contoh discan dengan FTIR (Bio-Rad Merlin FTS 3000) pada daerah 4000 – 400 cm⁻¹.



Gambar 1. Diagram alir tahapan penelitian
Figure 1. Steps of the experiment

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kardanol yang digunakan dalam penelitian dipisahkan dari CNSL dengan metode destilasi vakum (Risfaheri et al. 2004). Hasil analisis terhadap kardanol yang digunakan dalam penelitian sesuai dengan spesifikasi kardanol yang diperdagangkan (Tabel 1).

Optimasi Komposisi Mol Senyawa Fenolik, Nisbah Mol Senyawa Fenolik terhadap Formaldehida dan Lama Reaksi

Substitusi kardanol terhadap fenol dilakukan pada formulasi perekat fenol formaldehida. Perekat fenol formaldehida dihasilkan melalui reaksi polikondensasi dan merupakan resin fenolik tipe resol. Polimerisasi kondensasi

melibatkan penggabungan molekul kecil-kecil, menghasilkan molekul besar melalui reaksi kondensasi. Dalam hal ini fenol bereaksi dengan formaldehida dan menghasilkan produk kondensasi. Tahap pertama dalam pembuatan resol melibatkan reaksi adisi anion ke formaldehida untuk menghasilkan metilol fenol tersubstitusi pada posisi *orto* atau *para*. Tingkat metilolasi tergantung pada perbandingan molekul-molekul formaldehida terhadap fenol dalam campuran reaksi. Sebagai hasil reaksi kondensasi, senyawa metilol-metilol fenol membentuk senyawa rantai pendek yang disebut resol (Gambar 2). Selanjutnya, pertumbuhan membentuk rantai lebih besar dan belum banyak bersambung-silang. Tahap terakhir polimerisasi kondensasi, pengembangan sambung-silang membentuk struktur polimer tiga dimensi yang keras, tidak larut dan tidak meleleh (Steven, 2001).

1. Hasil uji keteguhan rekat kayu lapis

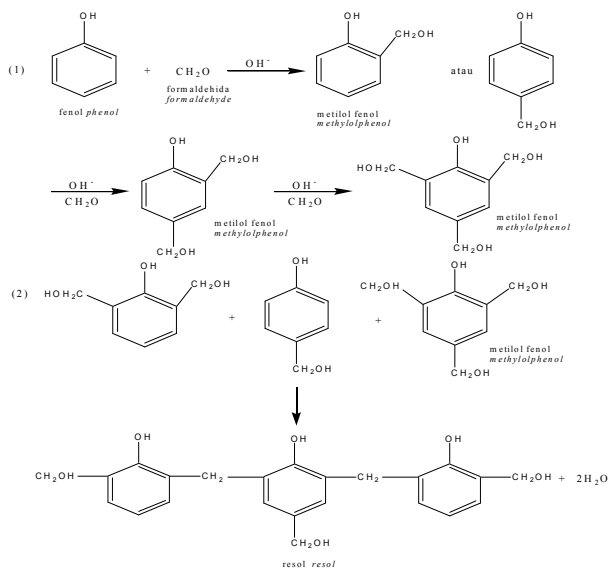
Hasil analisis statistik menunjukkan semua faktor perlakuan dan interaksinya berpengaruh nyata terhadap keteguhan rekat kayu lapis dalam keadaan kering. Komposisi mol senyawa fenolik merupakan faktor yang paling besar pengaruhnya yaitu 63 %, sedangkan pengaruh interaksi ketiga faktor perlakuan 18 % dan faktor lainnya masing-masing < 10 %. Pengaruh interaksi dari ketiga faktor perlakuan terhadap nilai keteguhan rekat kayu lapis dalam keadaan kering disajikan pada Tabel 2. Hampir semua perlakuan memiliki keteguhan rekat kayu lapis dalam keadaan kering di atas persyaratan untuk perekat fenol formaldehida (SNI 06-4567-1998), kecuali perekat dengan komposisi senyawa fenolik 100 % kardanol yang memenuhi SNI hanya perekat yang dihasilkan dari lama reaksi 1 jam.

Berdasarkan analisis statistik terhadap uji keteguhan rekat kayu lapis dalam keadaan basah setelah direbus 72 jam, terlihat semua faktor perlakuan dan interaksinya berpengaruh nyata.

Tabel 1. Karakteristik kardanol
Table 1. Cardanol characteristics

Karakteristik Characteristics	Kardanol Cardanol	Spesifikasi kardanol ^{*)} dalam perdagangan Cardanol specification on trading
Bobot jenis (30°C) Specific gravity	0,93	0,93 – 0,95
Viskositas (30°C, cPs) Viscosity	42,30	40 – 60
Bilangan iod Iodine value	231,97	Min. 210 Min
Bilangan asam Acid value	3,57	Maks. 5 Max.
Bilangan hidroksil Hydroxyl value	208,99	180 – 210

Sumber/Source : ^{*)} Krisan Tradelink Private Ltd. (2002)



Gambar 2. Reaksi pembentukan resol (Steven 2001)
Figure 2 . Reaction of resol synthesis

Hasil uji keteguhan rekat kayu lapis dalam keadaan basah setelah direbus selama 72 jam, terlihat semua faktor perlakuan dan interaksinya memberikan pengaruh relatif sama yaitu berkisar 17 – 20 %. Pengaruh interaksi dari ketiga faktor perlakuan tersebut terhadap nilai keteguhan rekat kayu lapis dalam keadaan basah setelah direbus selama 72 jam disajikan pada Tabel 3. Sebagian besar formulasi perekat memiliki keteguhan rekat dalam keadaan basah di atas SNI 06-4567-1998, kecuali pada komposisi senyawa fenolik (2 mol kardanol : 1 mol fenol) yang memenuhi syarat yang dihasilkan pada lama reaksi polikondensasi 1 - 2 jam (1 mol kardanol : 0 mol fenol), dan 1 jam untuk komposisi senyawa fenolik. Formulasi perekat yang memenuhi persyaratan SNI terhadap uji keteguhan rekat kayu lapis dalam keadaan basah, mengindikasikan perekat tersebut cocok untuk perekat eksterior.

Hasil uji keteguhan rekat kayu lapis dalam keadaan kering dan basah (Tabel 2 dan 3), menunjukkan bahwa formulasi perekat dengan nisbah mol senyawa fenolik/formaldehida (1 : 1,5) memiliki kecenderungan keteguhan rekat lebih tinggi dibandingkan nisbah mol senyawa fenolik (1 : 1,2) dan (1 : 1,8). Reaksi formaldehida dengan kardanol dapat terjadi pada cincin aromatik dan rantai samping tidak jenuhnya. Bila nisbah mol formaldehida terlalu tinggi (1 : 1,8), kemungkinan terjadi reaksi yang berlebihan pada rantai samping tidak jenuh kardanol sehingga perekat yang dihasilkan akan semakin kental. Kondisi ini akan menyulitkan pelaburan perekat pada venir dan masuknya perekat ke dalam pori-pori venir, sehingga menurunkan keteguhan rekatnya. Pada nisbah mol senyawa fenolik/formaldehida (1 : 1,2), struktur kompleks yang terbentuk antara kardanol dengan formaldehida tidak optimal karena

Tabel 2. Pengaruh komposisi mol senyawa fenolik, nisbah mol senyawa fenolik/formaldehida dan lama reaksi terhadap keteguhan rekat kayu lapis dalam keadaan kering

Table 2. Effect of mole composition of the phenolics, mole ratio of the phenolics to formaldehyde, and reaction time on the bond strenght of plywood in dry condition

Komposisi mol senyawa fenolik (kardanol : fenol) Mole composition of phenolic (cardanol : phenol)	Nisbah mol senyawa fenolik/ formaldehida Mole ratio of the phenolics/ formaldehyde								
	1 : 1,2			1 : 1,5			1 : 1,8		
	Lama reaksi (jam) Reaction time (hours)			Lama reaksi (jam) Reaction time (hours)			Lama reaksi (jam) Reaction time (hours)		
	3	2	1	3	2	1	3	2	1
1 : 3	5,01 p	14,00 hijk	14,64 efghi	16,13 cd	16,13 cd	15,81 ode	13,65 hijk	14,23 fghij	13,60 hijk
1 : 2	13,89 hijk	13,15 ijkl	13,31 ijkl	18,40 a	17,60 ab	16,91 bc	12,53 kl	14,93 defgh	14,88 defgh
1 : 1	14,12 ghij	13,93 hijk	15,52 cdefg	17,55 ab	16,08 ode	16,05 ode	12,11 ml	11,92 ml	15,57 odef
2 : 1	12,88 jkl	10,06 n	10,81 mn	6,69 o	14,03 hij	10,37 n	0,00 q	0,00 q	12,96 jkl
1 : 0	0,00 q	3,71 p	1,25 q	0,00 q	0,00 q	10,05 n	4,75 p	10,28 n	0,00 q

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom dan baris tidak berbeda nyata dengan uji DMR pada taraf 5 % Keteguhan rekat kayu lapis dalam keadaan kering minimum 10 kg/cm² menurut SNI 06-4567-1998

Remark : Mean value with the same letters in columns and rows are not significantly different by DMRT at 5% level Minimum requirement by Indonesian National Standard 06-4567-1998 for the bond strength of plywood in dry condition is 10 kg/cm²

terbatasnya formaldehida, sehingga keteguhan rekatnya lebih rendah dibandingkan formulasi perekat dengan nisbah mol fenolik/formaldehida (1 : 1,5). Menurut Manhanwar dan Kale (1996), kardanol bereaksi dengan metilen aktif seperti formaldehida melalui gugus hidroksil dan dapat mengalami polimerisasi adisi melalui rantai samping yang tidak jenuh.

Nilai rata-rata keteguhan rekat kayu lapis tidak menunjukkan peningkatan dengan semakin lamanya reaksi kondensasi berlangsung, bahkan sebagian menunjukkan penurunan terutama hasil uji keteguhan rekat kayu lapis setelah direbus 72 jam. Menurut Pizzi (1983), pada proses pembuatan resin sangat penting diperhatikan waktu terjadinya polimerisasi diantara molekul-molekul fenol formaldehida, kondisi pH reaksi dan perbandingan mol fenol terhadap formaldehida. Lama reaksi berkaitan dengan waktu terjadinya polimerisasi diantara molekul-molekul fenolik dengan formaldehida yang berpengaruh terhadap proses pematangan resin. Pematangan resin yang terlalu awal tidak dikehendaki karena akan menghasilkan perekat yang kental sehingga menyulitkan pelaburan perekat dan masuknya perekat ke pori-pori venir, sehingga menurunkan keteguhan rekatnya. Pematangan resin

Tabel 3. Pengaruh komposisi mol senyawa fenolik, nisbah mol senyawa fenolik/formaldehida dan lama reaksi terhadap keteguhan rekat kayu lapis dalam keadaan basah setelah direbus 72 jam

Table 3. Effect of mole composition of the phenolics, mole ratio of the phenolics to formaldehyde, and reaction time on the bond strenght of plywood in wet condition (after for 72 hours boiling)

Komposisi mol senyawa fenolik (kardanol : fenol) Mole composition of phenolic (cardanol : phenol)	Nisbah mol senyawa fenolik/ formaldehida Mole ratio of the phenolics/ formaldehyde								
	1 : 1,2			1 : 1,5			1 : 1,8		
	Lama reaksi (jam) Reaction time (hours)			Lama reaksi (jam) Reaction time (hours)			Lama reaksi (jam) Reaction time (hours)		
	3	2	1	3	2	1	3	2	1
1 : 3	0,00 k	0,00 k	9,15 odefg	8,75 defg	9,68 abcdefg	8,96 defg	9,32 bcdefg	8,80 defg	10,83 ab
1 : 2	0,00 k	0,00 k	10,37 abcd	8,78 defg	8,67 defg	9,28 bcdefg	9,79 abcdef	9,97 abcde	11,03 a
1 : 1	1,15 jk	0,67 jk	10,75 abc	10,31 abcd	9,58 abcdefg	8,93 defg	2,05 j	4,44 i	5,97 h
2 : 1	1,44 jk	1,82 j	8,45 efg	0,00 k	8,75 defg	8,77 defg	0,00 k	0,00 k	8,72 efg
1 : 0	0,00 k	0,00 k	0,00 k	0,00 k	0,00 k	8,03 g	4,28 i	8,19 fg	0,00 k

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom dan baris tidak berbeda nyata dengan uji DMR pada taraf 5% Keteguhan rekat kayu lapis dalam keadaan basah (setelah direbus 72 jam) minimum 8kg/cm² menurut SNI 06-4567-1998

Remark : Mean value with the same letters in columns and rows are not significantly different by DMRT at 5% level Minimum requirement by Indonesian National Standard 06-4567-1998 for the bond strength of plywood in wet condition (after 72 hours boiling process) is 8 kg/cm²

yang terlalu awal dapat terjadi bila reaksi kondensasi berlangsung terlalu lama atau berlangsung pada suhu yang terlalu tinggi.

Pematangan resin fenolik melibatkan pembentukan jembatan metilena, yang diharapkan terjadi pada waktu pengepresan panas. Perekatan yang baik dicapai melalui reaksi antara resin tersebut dan konstituen-konstituen fenolik dari kayu tersebut (Steven 2001). Kardanol memiliki inti fenol dan rantai tidak jenuh C₁₅ pada posisi metanya reaksi kardanol dengan formaldehida, selain melibatkan reaksi kondensasi juga dimungkinkan terjadi reaksi adisi pada rantai tidak jenuhnya, sehingga polimer yang terbentuk lebih kompleks. Kardanol tidak sereaktif fenol, sehingga reaksi polimerisasi kompleks agak lambat terjadi. Campuran senyawa fenol dengan kardanol akan meningkatkan reaktivitasnya, sehingga memungkinkan terjadinya reaksi polimerisasi kompleks. Sinergis fenol dengan kardanol inilah yang menyebabkan keteguhan rekat dari perekat dengan formulasi komposisi senyawa fenolik (1 mol kardanol : 1 mol fenol) dan (2 mol kardanol : 3 mol fenol) lebih tinggi dari formulasi yang lainnya.

Persyaratan kadar bahan tidak menguap untuk perekat fenol formaldehida 40 – 45 %, dan persyaratan bahan pengisi maksimum 30 % (SNI 06-4567-1998). Berdasarkan kedua persyaratan tersebut, maka kadar bahan tidak menguap di dalam formulasi perekat yang siap dilaburkan dapat mencapai 75 %. Sebagian besar kadar bahan tidak menguap dari setiap formulasi perekat (Tabel 4) tidak memenuhi SNI 06-4567-1998 untuk perekat yang siap dilaburkan. Kadar bahan tidak menguap cenderung meningkat dengan semakin besarnya komposisi senyawa kardanol dan semakin lamanya reaksi polikondensasi berlangsung. Hasil analisis statistik menunjukkan semua faktor perlakuan berpengaruh nyata terhadap kadar bahan tidak menguap di dalam perekat, sedangkan interaksi yang berpengaruh nyata hanya faktor komposisi senyawa fenolik dengan nisbah mol senyawa fenolik terhadap formaldehida.

Tabel 4. Pengaruh komposisi mol senyawa fenolik, nisbah mol senyawa fenolik/formaldehida dan lama reaksi terhadap kadar bahan tidak menguap

Table 4 . *Effect of mole composition of the phenolics, mole ratio of the phenolics to formaldehyde, and reaction time on the non volatile matter content*

Perlakuan Treatments	Bahan tidak menguap Non volatile matter content (%)	Interaksi Interaction (K x R)	Bahan tidak menguap Non volatile matter content (%)
Komposisi mol senyawa fenolik (kardanol : fenol) <i>Mole composition of phenolics (cardanol : phenol) (K)</i>			
K ₁ (1 : 3)	75,60 e	(K ₁ x R ₁)	78,99 e
K ₂ (2 : 3)	78,56 d	(K ₁ x R ₂)	75,36 de
K ₃ (1 : 1)	80,4 c	(K ₁ x R ₃)	72,45 e
K ₄ (2 : 1)	81,52 b	(K ₂ x R ₁)	81,11 bc
K ₅ (1 : 0)	84,53 a	(K ₂ x R ₂)	79,23 c
Nisbah mol senyawa fenolik/ formaldehida <i>Mole ratio of the phenolics/ formaldehyde</i>		(K ₂ x R ₃)	75,35 de
		(K ₃ x R ₁)	82,69 b
	(R) ₁ (1 : 1,2)	(K ₃ x R ₂)	80,88 bc
	R ₂ (1 : 1,5)	(K ₃ x R ₃)	78,05 dc
Lama reaksi (jam) <i>Reaction time (hours) (T)</i>	R ₃ (1 : 1,8)	(K ₄ x R ₁)	83,63 b
		(K ₄ x R ₂)	80,45 bc
		(K ₄ x R ₃)	80,50 bc
		(K ₅ x R ₁)	89,20 a
		(K ₅ x R ₂)	83,21 b
		(K ₅ x R ₃)	81,19 bc
T ₁ 1	77,49 c		
T ₂ 2	79,99 b		
T ₃ 3	82,98 a		

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada setiap column tidak berbeda nyata dengan uji DMR pada taraf 5 % Kadar bahan tidak menguap dari perekat yang siap dilaburkan maksimum 75 % menurut SNI 06-4567-1998

Remark : Mean value with the same letters in each column are not significantly different by DMRT at 5% level
Maximum requirement of the non volatile matter content in ready for use adhesive ready for use by Indonesian National Standard 06-4567-1998 is 75%

Perekat yang memiliki kadar bahan tidak menguap perekat cukup tinggi, tidak memerlukan penambahan bahan pengisi. Bila kadar bahan tidak menguap yang terlalu tinggi, akan menyulitkan pada saat pelaburan perekat pada venir, perekat sulit untuk menembus pori-pori venir, dan perekat cepat mengeras pada suhu kamar. Tingginya kadar bahan tidak menguap, selain dipengaruhi oleh struktur molekul kardanol yang memiliki rantai cabang tidak jenuh C₁₅, juga disebabkan terjadinya proses pematangan polimer terlalu dini. Hasil percobaan memperlihatkan bahwa kondisi reaksi yang dicobakan (suhu 90 °C, pH 9 dan lama reaksi 1-3 jam) menghasilkan kadar bahan tidak menguap yang cukup tinggi, sehingga pada percobaan selanjutnya suhu reaksi perlu diturunkan dan lama reaksi dipersingkat.

Optimasi Komposisi Mol Senyawa Fenolik dan pH reaksi

Berdasarkan hasil percobaan tahap pertama diperoleh hasil bahwa formulasi perekat dengan nisbah mol formaldehida/ senyawa fenolik (1,5 : 1,0), memiliki kecenderungan menghasilkan keteguhan rekat lebih tinggi dibandingkan formulasi lainnya. Waktu reaksi 2 dan 3 jam tidak menunjukkan peningkatan keteguhan rekat kayu lapis. Kondisi reaksi yang digunakan menghasilkan kadar bahan tidak menguap melebihi persyaratan SNI 06-4567-1998. Pada percobaan tahap dua, akan dioptimasi komposisi mol senyawa fenolik dan pH reaksi. Waktu reaksi dipersingkat menjadi 1 jam dan suhu reaksi diturunkan menjadi 28 °C (suhu kamar), tetapi pH reaksi-nya ditingkatkan untuk mempercepat reaksi. Menurut Pizzi (1983), pada kondisi basa, semakin tinggi nilai pH reaksi waktu polimerisasinya semakin cepat.

1. Hasil uji keteguhan rekat kayu lapis

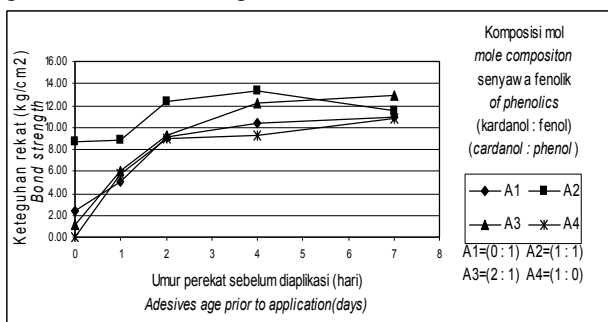
Berdasarkan analisis statistik terlihat hampir semua faktor perlakuan berpengaruh nyata terhadap keteguhan rekat kayu lapis dalam keadaan kering, kecuali pengaruh interaksi ketiga faktor (komposisi senyawa fenolik, pH reaksi dan umur perekat sebelum diaplikasikan) tidak nyata. Faktor komposisi mol senyawa fenolik pengaruhnya 52 %, interaksi komposisi mol senyawa fenolik dan pH reaksi 19 %, sedangkan pengaruh faktor yang lain dan interaksinya relatif kecil masing-masing < 10 %. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh faktor komposisi mol senyawa fenolik terhadap keteguhan rekat kayu lapis dalam keadaan kering sangat dominan dibandingkan faktor lainnya.

Pengaruh interaksi ketiga faktor tersebut baru terlihat pada keteguhan rekat kayu lapis dalam keadaan basah setelah direbus selama 72 jam, yang menunjukkan pengaruhnya terhadap sifat eksterior. Pengaruh interaksi antara umur perekat sebelum diaplikasikan dengan faktor komposisi senyawa fenolik dan pH reaksi relatif kecil (7,8

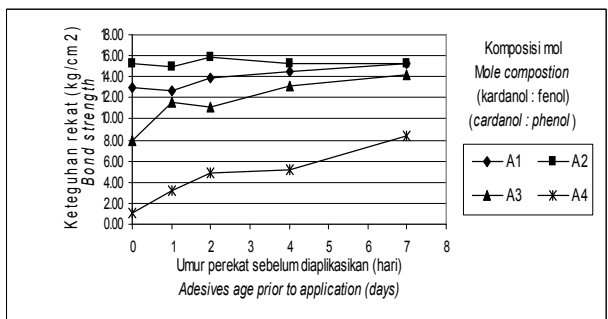
%), sehingga pengaruhnya baru terlihat nyata pada keteguhan rekat kayu lapis dalam keadaan basah setelah direbus 72 jam. Hasil analisis statistik menunjukkan semua faktor perlakuan dan interaksinya berpengaruh nyata terhadap keteguhan rekat kayu lapis dalam keadaan basah. Komposisi mol senyawa fenolik merupakan faktor paling besar pengaruhnya yaitu 61 %, sedangkan pengaruh faktor lain dan interaksinya relatif kecil masing-masing <10 %.

Nilai rata-ran keteguhan rekat dalam keadaan kering dari perekat yang dihasilkan pada pH reaksi 10 dan 11 tidak berbeda nyata, dan lebih tinggi dibandingkan perekat yang dihasilkan pada pH reaksi 9. Nilai rata-ran keteguhan rekat setelah direbus 72 jam dari perekat yang dihasilkan

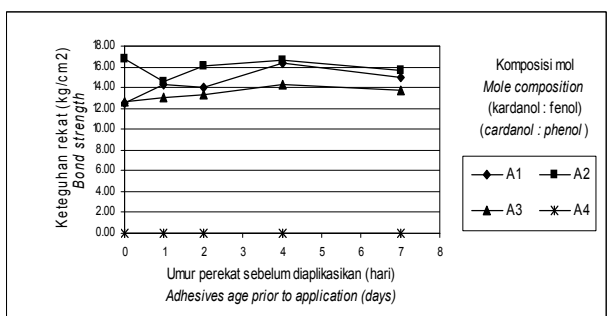
pH reaksi 9 /reaction pH 9



pH reaksi 10/reaction pH 10



pH reaksi 11/reaction pH 11

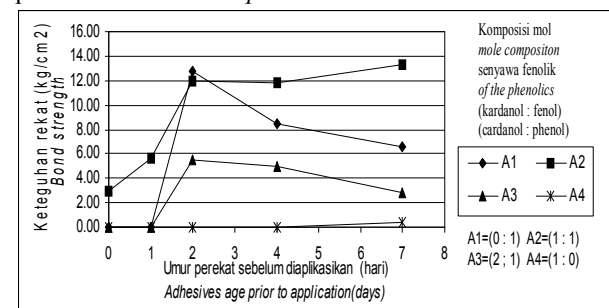


Gambar 3. Pengaruh komposisi mol senyawa fenolik dan umur perekat sebelum diaplikasikan terhadap keteguhan rekat kayu lapis dalam keadaan kering

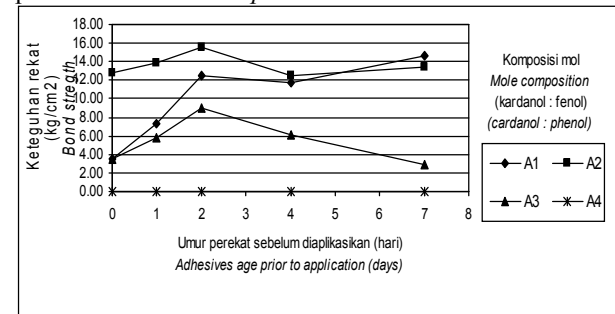
Figure 3. Effect of mole composition of the phenolics and the adhesives age prior to application on the bond strenght of plywood in dry condition

pada pH reaksi 10 berbeda nyata dan lebih tinggi dibandingkan perekat yang dihasilkan pada pH reaksi 9 dan 11. Formulasi perekat dengan komposisi mol senyawa fenolik (1 mol kardanol : 1 mol fenol) memiliki nilai rata-ran keteguhan rekat kayu lapis yang lebih tinggi dibandingkan formulasi lainnya termasuk perekat dengan komposisi senyawa fenolik 100 % fenol (kontrol), baik hasil uji keteguhan rekat dalam keadaan kering maupun setelah direbus 72 jam (Gambar 2 dan 3). Substitusi fenol 100 % dengan kardanol, tidak dapat dilakukan untuk formulasi perekat yang dibuat pada pH reaksi 11, karena perekat yang dihasilkan sangat kental dan cepat mengeras sehingga tidak dapat diaplikasikan.

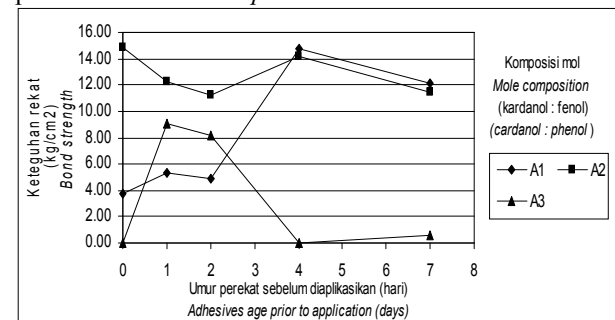
pH reaksi 9 /reaction pH 9



pH reaksi 10/reaction pH 10



pH reaksi 10/reaction pH 10



Gambar 4. Pengaruh komposisi mol senyawa fenolik dan umur perekat sebelum diaplikasikan terhadap keteguhan rekat kayu lapis dalam keadaan basah setelah direbus 72 jam

Figure 4. Effect of mole composition of the phenolics and the adhesives age prior to application on the bond strenght of plywood after for 72 hours boiling

Pengaruh umur perekat terhadap keteguhan rekat terlihat nyata pada formulasi perekat yang dihasilkan dari reaksi polikondensasi pada pH 9, sedangkan pada pH 10 dan 11 pengaruhnya relatif kecil. Perekat yang dihasilkan pada pH 9 mulai stabil setelah perekat berumur 2 hari, karena reaksi polikondensasi berjalan lambat pada pH 9. Perekat yang telah berumur 4 dan 7 hari memiliki nilai rata-ran keteguhan rekat kayu lapis tidak berbeda nyata dan lebih tinggi dibandingkan umur perekat 0 – 2 hari, baik hasil uji dalam keadaan kering maupun setelah direbus 72 jam. Formulasi perekat dengan komposisi senyawa fenolik (1 mol fenol : 1 mol kardanol) yang dihasilkan pada pH 10 – 11 dan umur perekat 0 – 7 hari semuanya memiliki keteguhan rekat di atas persyaratan SNI 06-4567-1998.

Nilai rata-ran keteguhan rekat tertinggi dihasilkan dari formulasi perekat dengan komposisi senyawa fenolik (1 mol fenol : 1 mol kardanol) pada pH 10, dengan nilai keteguhan rekat kayu lapis dalam keadaan kering (15,36 kg/cm²) dan dalam keadaan basah setelah direbus 72 jam (13,61 kg/cm²). Tingginya keteguhan rekat kayu lapis dari perekat dengan komposisi senyawa fenolik (1 mol kardanol : 1 mol fenol) baik dalam keadaan kering maupun dalam keadaan basah setelah direbus 72 jam, menunjukkan terjadinya sinergis antara kardanol dan fenol sebagaimana diungkapkan oleh Mahanwar dan Kale (1996).

2. Karakteristik perekat yang dihasilkan pada pH 10

Hasil percobaan optimasi komposisi mol senyawa fenolik dan pH reaksi, terlihat bahwa formulasi perekat dengan komposisi senyawa fenolik (1 mol kardanol : 1 mol fenol) yang dihasilkan pada pH 10, memiliki keteguhan rekat lebih tinggi dibandingkan formulasi lainnya.

Pada komposisi senyawa fenolik (1 mol kardanol : 1 mol fenol), berarti komposisi senyawa fenolik dalam persentase massa terdiri atas 70 % kardanol dan 30 % fenol, karena kardanol memiliki bobot molekul 300 dan fenol memiliki bobot molekul 94,11. Karakteristik perekat yang dihasilkan disajikan pada Tabel 5.

Rataan waktu gelatinasi perekat pada formulasi terbaik (1 mol kardanol : 1 mol fenol) = 28 menit. Persyaratan waktu gelatinasi untuk perekat fenol formaldehida cair menurut SNI 06-4567-1998 minimum 30 menit. Rendahnya waktu gelatinasi dari formulasi perekat (1 mol kardanol : 1 mol fenol), mengindikasikan perekat tersebut memiliki umur yang pendek dan cepat mengeras. Waktu gelatinasi yang terlalu singkat kurang diharapkan, karena perekat akan cepat mengeras sehingga umur simpannya lebih singkat. Waktu gelatinasi yang terlalu lama menyebabkan perekat akan lambat mengeras, tetapi umur simpannya lebih lama.

Tabel 5. Karakteristik perekat kardanol fenol formaldehida dan fenol formaldehida cair

Table 5. Characteristics of the cardanol phenol formaldehyde and the liquid phenol formaldehyde adhesives

No.	Karakteristik Characteristics	Satuan Unit	Perekat kardanol ¹⁾ fenol formaldehida Cardanol phenol formaldehyde adhesive	Perekat fenol ²⁾ formaldehida cair SNI 06-4567-1998 Liquid phenol formaldehyde adhesive according to SNI 06-4567-1998
1.	Bentuk <i>Form</i>	-	cair <i>liquid</i>	cair <i>liquid</i>
2.	Kenampakan <i>Appearance</i>	-	coklat kehitaman dan <i>blackist brrown and</i> bebas dari kotoran <i>free from impurity</i>	merah kehitaman dan <i>blackist red and</i> bebas dari kotoran <i>free from impurity</i>
3.	Nilai <i>Value</i> pH (25 °C)	-	10	10,0 – 13,0
4.	Kekentalan <i>Viscosity</i> (25 °C)	cPs	408	130 – 300
5.	Bobot jenis <i>Specific gravity</i> (25 °C)	-	–	1,165 – 1,200
6.	Padatan tidak menguap <i>Non volatile content</i>	(%)	64	40 – 45
7.	Waktu gelatinasi (100 °C) <i>Gelatination time</i>	menit <i>minutes</i>	28	min. 30
8.	Keteguhan rekat kayu lapis: <i>Bond strength of plywood</i>			
	- keadaan kering <i>dry condition</i>	(kg/cm ²)	15,36	min. 10
	- setelah direbus 72 jam <i>after boilling for 72 hours</i>	(kg/cm ²)	13,61	min.8

Keterangan : ¹⁾Formulasi (1 mol kardanol + 1 mol fenol + 3 mol formaldehida)

²⁾Dapat ditambahkan bahan pengisi, maks. 30 %

Remark : ¹⁾*Formulation (1 mole cardanol+ 1 mole phenol+ 3 mole formaldehyde)*

²⁾*The filler could be added, max. 30 %*

Rendahnya umur simpan perekat dapat diatasi dengan melakukan proses pembuatan perekat secara *in situ*, sehingga dapat segera diaplikasikan. Bila pembuatan perekat dilakukan secara *ex situ*, maka proses pembuatannya harus dilakukan pada pH rendah (pH 8 - 9), kemudian pada saat akan diaplikasikan pH-nya ditingkatkan menjadi 10.

Kadar bahan tidak menguap perekat pada formulasi terbaik 64 %, sedangkan rekomendasi SNI 06-4567-1998 untuk perekat fenol formaldehida cair maksimum 40 – 45 %. Bila kadar bahan tidak menguap dari perekat sudah tinggi, maka tidak diperlukan lagi penambahan bahan pengisi. Kadar bahan tidak menguap tersebut dipengaruhi oleh faktor komposisi mol senyawa fenolik (99 %). Semakin besar komposisi kardanol di dalam formulasi perekat, semakin tinggi kadar bahan tidak menguapnya. Penambahan bahan pengisi untuk perekat fenol formaldehida yang direkomendasikan menurut SNI 06-4567-1998 maksimum 30 %. Penambahan bahan pengisi ke dalam perekat bertujuan untuk mengatur kekentalan campuran perekat agar mudah dilaburi pada venir, sekaligus penambahan ini dapat menurunkan biaya produksi perekat.

Nilai viskositas dari formulasi perekat pada formulasi terbaik 408 cPs, lebih tinggi dibandingkan rekomendasi SNI 06-4567-1998 untuk perekat fenol formaldehida cair yaitu 130 – 300 cPs (sebelum ditambahkan bahan pengisi) (Tabel 4). Sebaliknya, formulasi perekat dengan komposisi senyawa fenolik (100 % fenol) memiliki viskositas 19 cPs, lebih rendah dari rekomendasi SNI.

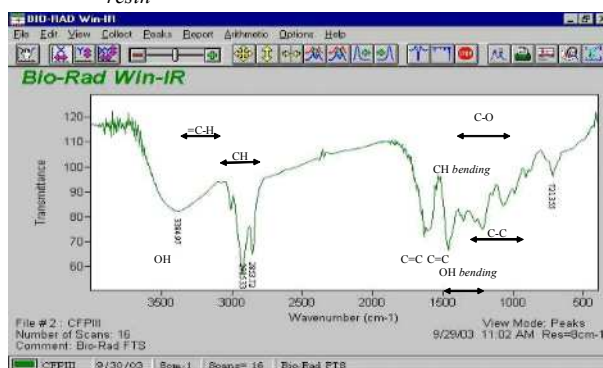
Bila perekat berbasis kardanol dibandingkan dengan perekat fenol formaldehida cair yang telah ditambahkan bahan pengisi sesuai rekomendasi SNI, maka viskositas perekat berbasis kardanol memenuhi persyaratan untuk perekat yang siap dilaburkan.

C. Analisis FTIR Resin Fenolik

Pita absorpsi gugus OH yang mengindikasikan senyawa fenolik, muncul pada frekuensi 3.385 cm^{-1} (Gambar 5) dan 3.443 cm^{-1} (Gambar 6). Pita yang muncul pada frekuensi $3.008 - 2.854\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan adanya rantai cabang C-H pada resin fenolik yang berasal dari kardanol (Gambar 5), sedangkan resin yang tidak mengandung senyawa kardanol (Gambar 6) tidak memiliki pita absorpsi pada frekuensi tersebut.

Pita absorpsi yang mengindikasikan ikatan C=C muncul pada frekuensi $1.680 - 1.600\text{ cm}^{-1}$ untuk alkena, 1.600 dan 1.475 cm^{-1} untuk cincin aromatik (Young 1996), sedangkan menurut Bhunia *et al.* (1998) pita absorpsi ikatan C=C muncul pada frekuensi $1.625 - 1.430\text{ cm}^{-1}$. Ikatan C=C pada senyawa kardanol terdapat pada cincin aromatik dan rantai cabang, sehingga absorpsinya

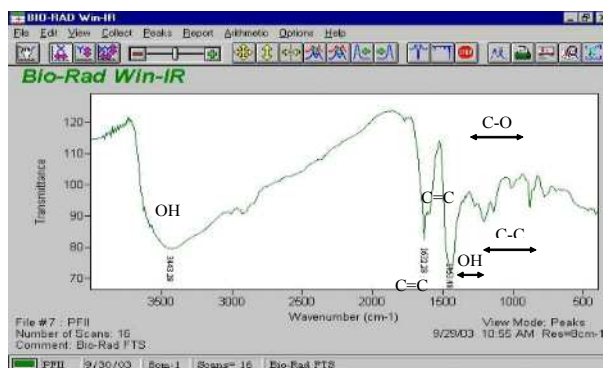
Gambar 4. Spektrum FTIR resin kardanol fenol formalehida
Figure 4. FTIR spectrum of cardanol phenol formaldehyde resin



cukup kuat (Risfaheri *et al.*, 2004), sedangkan pita yang muncul pada 1.458 cm^{-1} mengindikasikan ikatan C=C yang berasal dari cincin aromatik (Gambar 5 dan 6). Setelah reaksi polikondensasi dengan formaldehida, terlihat pita absorpsi ikatan C=C pada frekuensi sekitar 1.600 cm^{-1} lebih pendek dari pita absorpsi ikatan C=C pada kardanol (Risfaheri *et al.*, 2004). Hal ini mengindikasikan terjadinya reaksi pada ikatan tak jenuh rantai samping dari kardanol. Reaksi tersebut dapat terjadi karena serangan formaldehida maupun karena reaksi antar molekul kardanol sehingga terjadi ikatan antar rantai samping. Reaksi yang terjadi pada rantai samping tersebut, menyebabkan keteguhan rekat dari perekat kardanol fenol formaldehida lebih kuat dari pada perekat fenol formaldehida.

Pita yang muncul pada wilayah $1.465 - 1.370\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan adanya gugus C-H dari metilena, sedangkan pada wilayah $1.300 - 1.000\text{ cm}^{-1}$ menandai adanya gugus C-O dari eter dan senyawa fenolik ($1.260 - 1.000\text{ cm}^{-1}$) (Gambar 5 dan 6). Menurut Steven (2001), tahap terakhir pada pematangan resol terjadi pengembangan sambung-silang membentuk suatu struktur polimer tiga dimensi melalui pembentukan jembatan metilena dan jembatan eter. Pita yang muncul pada wilayah $1.100 - 1.060\text{ cm}^{-1}$ juga mengindikasikan adanya gugus C-O pada rantai cabang kardanol (Gambar 5).

Gambar 5. Spektrum FTIR resin fenol formaldehida
Figure 5. FTIR Spectrum phenol formaldehyde resin



KESIMPULAN

1. Formulasi perekat yang optimum diperoleh dengan komposisi senyawa fenolik (1 mol kardanol : 1 mol fenol), nisbah mol formaldehida terhadap senyawa fenolik (1,5 : 1). Kondisi optimum pembuatan perekat dicapai pada reaksi polikondensasi pH 10 dan berlangsung selama 1 jam.
2. Kardanol dapat menggantikan fenol sebanyak 70 % dalam formulasi perekat fenol formaldehida.
3. Perekat tersebut menghasilkan keteguhan rekat kayu lapis dalam keadaan kering dan basah (setelah direbus selama 72 jam) rata-rata 15.36 kg/cm² dan 13.61 kg/cm², lebih tinggi dibandingkan persyaratan SNI untuk keteguhan rekat kayu lapis perekat fenol formaldehida, yaitu minimum 10 kg/cm² (hasil uji dalam keadaan kering) dan 8 kg/cm² (hasil uji setelah direbus 72 jam).
4. Terjadi sinergis antara kardanol dan fenol pada reaksinya dengan formaldehida. Reaksi formaldehida dengan kardanol tidak hanya pada cincin aromatiknnya tetapi juga terjadi pada rantai samping tidak jenuh (C₁₅) dari kardanol, sehingga meningkatkan keteguhan rekat kayu lapis.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Lalu Sukarno BSc. dari BB-Pascapanen dan Dedi Kustiwa dari Balitro atas bantuannya dalam pelaksanaan penelitian

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. 2002. Statistik Indonesia. Biro Pusat Statistik, Jakarta.
- Bhunia H.P., R.N. Jana, A. Basak, S. Lenka, G.B. Nando. 1988. Synthesis of polyurethane from cashew nut shell liquid (CNSL), a renewable resources. J of Polymer Sci. Part A : Polymer Chemistry 36:391-400.
- Davis G. 1997. The performance of adhesives systems for structural timbers. Int. J. Adhesion and Adhesives 17(3): 247 – 255.
- Krisan Tradelink Private Ltd. Cardanol Specification. http://business.vsnl.com/mitsan/card_p.html. [16 Mei 2002].
- Kumar P.P., R. Paramashivappa, P.J. Vithayathil, P.V.S. Rao, A.S. Rao. 2002. Process for isolation of cardanol from technical cashew (*Anacardium occidentale* L.) nut shell liquid. J Agric Food Chem 50:4705-4708.
- Kubo I., S. Komatsu, M. Ochi. 1986. Molluscicides from the cashew *Anacardium occidentale* and their large isolation. J Agric Food Chem 34: 970-973.
- Kubo I., M. Ochi, P.C. Vieira, S. Komatsu. 1993a. Antitumor agents from the cashew (*Anacardium occidentale*) apple juice. J Agric Food Chem 41: 1012 –1015.
- Kubo I *et al.* 1993b. Structure antibacterial activity relationships of anacardic acids. J Agric Food Chem 41: 1016 –1019.
- Kubo I., H. Muroi, A. Kubo. 1994. Naturally occurring antiacne agents. J Nat Prod 57: 9 – 17.
- Manhanwar P.A., dan D.D. Kale. 1996. Effect of cashew nut shell liquid (CNSL) on Properties of phenolic resins. J of Applied Polymer Sci 61:2107-2111.
- Mulyono E. 1997. Karakteristik CNSL dan metode ekstraksinya. Laporan Teknis Penelitian Penguasaan Teknologi Tanaman Rempah dan Obat Cimanggu Tahun 1996/1997. Bogor: Balitro 101-116.
- Paramashivappa R., P.P. Kumar, P.J. Vithayathil PJ, and A.S. Rao. 2001. Novel method for isolation of major phenolic constituents from cashew (*Anacardium occidentale* L.) nut shell liquid. J Agric Food Chem 49:2548-2551.
- Pizzi A. 1983. Wood Adhesive. Chemistry and Technology. New York: Marcel Dekker Inc.
- Pizzi A., R. Garcia, S. Wang. 1997. On the networking Mechanisms of additives accelerated phenol-formaldehyde polycondensates. J Applied Polymer Sci 66: 255 – 266.
- Risfaheri, T.I. Tun, M.N. Anwar, S. Illah, A.M. Zainal, S.R. Meika. 2004. Pemisahan kardanol dari minyak kulit biji mete dengan metode destilasi vakum. J. Pascapanen I (1) 2004: 1-11.
- Steven M.P. Kimia Polimer. Sopyan I, penerjemah; Jakarta: Pradnya Paramitha; 2001. Terjemahan dari: Polymer Chemistry: An Introduction. Oxford University Press, Inc.
- Young P.R. 1996. Basic Infrared Spectroscopy. Organic Chemisstry On Line. <http://chipo.chem.uic.edu/web1/ocol/spec/IR.htm>. [1 Nopember 2003].