

## PEMBUATAN RESIN FENOLIK DARI DESTILAT CAIRAN KULIT BIJI METE SEBAGAI BAHAN BAKU VERNIS

Tatang Hidayat<sup>1</sup>, Illah Sailah<sup>2</sup>, Ani Suryani<sup>2</sup>, Titi C. Sunarti<sup>2</sup>, dan Risfaheri<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian

Jl. Tentara Pelajar no. 12 A Bogor 16114

e-mail: bb\_pascapanen@litbangdeptan.go.id, bb\_pascapanen@cbn.net.id

<sup>2</sup>Institut Pertanian Bogor

Kampus IPB Darmaga Bogor

Destilat cairan kulit biji mete (CNSL) merupakan cairan yang diperoleh dari hasil destilasi CNSL dengan komponen utamanya kardanol. Salah satu pemanfaatan destilat CNSL yang prospektif yaitu sebagai sumber fenol dalam pembuatan resin fenolik. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi proses pembuatan resin fenolik dari destilat CNSL yang sesuai sebagai bahan baku vernis, baik untuk pemakaian di dalam (interior) maupun di luar (eksterior). Tahapan penelitian, yaitu 1) karakterisasi destilat CNSL dan 2) pembuatan resin fenolik dari destilat CNSL. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi terbaik pembuatan resin fenolik dari destilat CNSL dicapai pada nisbah mol formaldehida terhadap destilat CNSL 0,9:1 dengan pH 3. Reaksi metilolasi pada suhu 100°C memerlukan waktu yang relatif lama, yaitu 9,0 jam. Meningkatnya suhu reaksi dari 100 menjadi 120°C mempercepat waktu reaksi metilolasi dari 9,0 jam menjadi 4,0 jam. Reaksi metilolasi destilat CNSL (kardanol kasar) dengan formaldehida memenuhi pola reaksi ordo kedua. Konstanta laju reaksi metilolasi ( $k$ ) meningkat secara eksponensial dengan semakin tingginya suhu reaksi sesuai dengan persamaan  $k=116.104.360,02 e^{-7.230,7(1/T)}$ . Suhu reaksi metilolasi tidak berpengaruh nyata pada karakteristik dan sifat film resin yang dihasilkan. Lapisan film resin memiliki waktu kering yang cukup singkat, yaitu waktu kering sentuh 3,0 jam dan kering keras 6,0 jam. Secara umum, karakteristik dan sifat lapisan film resin yang dihasilkan cukup baik kecuali daya lekat dalam media besi dan daya lenturnya. Resin yang dihasilkan sudah memadai untuk digunakan sebagai bahan baku vernis kayu untuk pemakaian di dalam (interior) karena kekerasan lapisan film yang tinggi. Sebagai bahan baku vernis kayu untuk pemakaian di luar (eksterior) masih perlu perbaikan dalam sifat daya lenturnya.

**Kata kunci :** Jambu mete, CNSL, destilat CNSL, kardanol, resin fenolik, vernis

**ABSTRACT.** Tatang Hidayat, Illah Sailah, Ani Suryani, Titi C. Sunarti, and Risfaheri. 2008. **Production of phenolic resin from cashew nut shell liquid distillate as raw material for varnish.** CNSL distillate is a liquid which is obtained from CNSL distillation with cardanol as the main component. One of prospective utilization of CNSL distillate that is as a source of phenol in phenolic resin production. The objective of this research was to get the best process condition of phenolic resin production from CNSL distillate as raw material for interior and exterior varnish. The stages of experiment, were : 1) characterization of CNSL distillate and 2) phenolic resin production from CNSL distillate. The optimal condition in phenolic resin production was achieved at mole ratio of formaldehyde to CNSL distillate 0,9:1 and pH 3. Methylation reaction at 100°C needed 9.0 hours to be completed. The increasing of methylation reaction temperature from 100 to 120°C was able to reduce reaction time from 9.0 hours to 4.0 hours. Methylation reaction formaldehyde with CNSL distillate (*crude cardanol*) fulfilled second order reaction pattern. Constant of reaction rate ( $k$ ) increased exponentially with increasing the temperature according to equation  $k=116.104.360,02e^{-7.230,7(1/T)}$ . Temperature of methylation reaction did not effect to the characteristic and properties of resin film. Resin film has short dry time i.e. touch-dry 3.0 hours and hard-dry 6.0 hours. Generally, characteristic and resin film properties show very good result except the adhesion on steel and its flexibility. Based on the properties of its film, phenolic resin produced has been fulfilled for using as raw material in interior wood varnish because of good hardness properties. While for exterior wood varnish, the improvement on its flexibility properties is still needed.

**Key words :** Cashew nut, CNSL, CNSL distillate, cardanol, phenolic resin, varnish

### PENDAHULUAN

Jambu mete (*Anacardium occidentale* L.) merupakan komoditas hasil perkebunan yang memiliki nilai ekonomis tinggi. Di Indonesia, pada awalnya jambu mete dikenal sebagai tanaman yang berguna untuk merehabilitasi lahan-lahan kritis, sedangkan pengembangannya sebagai suatu usaha komersial baru dimulai pada periode tahun

1974–1979. Pada tahun 2006, luas areal pertanaman jambu mete di Indonesia telah mencapai 595.111 ha dengan produksi gelondong mete sebesar 140.573 ton (Ditjenbun, 2007).

Kulit mete merupakan hasil samping dari industri pengolahan kacang mete yang mengandung cairan kulit biji mete atau CNSL (*Cashew Nut Shell Liquid*) dengan rendemen 18-23%. CNSL merupakan cairan kental



berwarna coklat tua yang tersusun dari empat komponen utama senyawa fenolik, yaitu asam anakardat, kardanol, kardol, dan metil kardol (Mahanwar dan Kale, 1996; Bhunia *et al.*, 1998). Destilat cairan kulit biji mete (CNSL) merupakan cairan yang diperoleh dari hasil destilasi CNSL. Hasil penelitian Bhunia *et al.* (1998) menunjukkan bahwa destilasi CNSL dengan metode destilasi vakum pada suhu 230-240°C dengan tekanan vakum 5-10 mm Hg menghasilkan destilat sebanyak 65%. Menurut Kumar *et al.* (2002), komponen terbesar dalam destilat CNSL yaitu senyawa kardanol sebanyak 94%, sedangkan komponen lainnya senyawa kardol sebanyak 6% sebagai pengotor.

Senyawa kardanol sebagai komponen utama dalam destilat CNSL memiliki struktur kimia yang mirip fenol, sehingga kardanol berpeluang dimanfaatkan sebagai pengganti fenol dalam pembuatan resin fenolik. Resin fenolik banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan produk pelapis permukaan seperti cat, vernis, dan enamel. Berbeda dengan senyawa fenol, kardanol memiliki rantai karbon samping tidak jenuh pada posisi meta dari cincin aromatikanya. Ketidakhajutan rantai karbon samping tersebut merupakan campuran dari satu (monoena), dua (diena), tiga (triena) ikatan rangkap serta ikatan tidak jenuh (Nagabhushana dan Ravindranath, 1995; Kumar *et al.*, 2002). Rantai karbon samping tidak jenuh tersebut memberikan keuntungan karena kardanol dapat dengan mudah mengalami polimerisasi (Mahanwar dan Kale, 1996). Selain itu, bentuk struktur kimia yang dimiliki kardanol dapat memberikan sifat pengeringan yang baik sehingga resin fenolik dari kardanol sangat prospektif digunakan sebagai bahan baku produk pelapis permukaan.

Resin fenolik merupakan produk polimer yang diperoleh melalui reaksi polimerisasi kondensasi senyawa fenol dengan aldehida. Formaldehida merupakan aldehida yang banyak digunakan karena kereaktifannya tinggi dan harganya relatif murah. Dalam produk pelapis permukaan, resin fenolik memainkan peranan penting karena sifat filmnya yang keras dan tahan terhadap air serta bahan kimia (Tobiason, 1990). Mahanwar dan Kale (1996) telah memanfaatkan CNSL sebagai sumber fenol dalam pembuatan resin fenolik, namun pengujian terhadap kemampuan resin fenolik khususnya sebagai bahan baku produk pelapis permukaan belum dilakukan.

Sifat resin fenolik dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain nisbah mol formaldehida dengan fenol, jenis dan konsentrasi katalis (pH), suhu serta waktu reaksi metilolasi, dan polimerisasi kondensasi (Tobiason, 1990). Resin fenolik komersial untuk produk pelapis permukaan umumnya menggunakan nisbah mol formaldehida dengan fenol antara 0,75-2,0:1. Untuk pelapis permukaan seperti vernis yang proses pengeringan lapisan filmnya melalui mekanisme polimerisasi oksidatif umumnya menggunakan

nisbah mol formaldehida dengan fenol < 1 (resin novolak).

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi proses pembuatan resin fenolik dari destilat CNSL yang sesuai sebagai bahan baku vernis baik untuk pemakaian di dalam (interior) maupun di luar (eksterior). Manfaat penelitian diharapkan dapat meningkatkan nilai tambah CNSL dan mendorong berkembangnya industri pengguna CNSL.

## BAHATANMETODE

Penelitian dilaksanakan pada tahun 2005 di Balai Besar Litbang Pascapanen Pertanian dan Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat, Badan Litbang Pertanian, serta di Balai Besar Bahan dan Barang Teknik, Badan Litbang Perindustrian. Bahan penelitian antara lain CNSL, formaldehida 37%, asam sulfat 45%, Co- dan Pb-naftenat, dan toluen. CNSL yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Wonogiri, Jawa Tengah yang merupakan salah satu daerah sentra produksi jambu mete di Indonesia. Alat penelitian meliputi destilasi vakum, labu reaksi yang dilengkapi pemanas, pengaduk, pendingin refluks, dan termokontrol. Alat untuk analisis meliputi pH meter, viskometer Brookfield, *glossmeter*, *cross hatch cutter*, *wolff-wilborn pencil tester*, *cylindrical mandrel bend test*, dan HPLC.

Penelitian dilaksanakan dalam beberapa tahap, yaitu 1) karakterisasi destilat CNSL, dan 2) pembuatan resin fenolik dari destilat CNSL yang meliputi : a). optimasi nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL dan pH reaksi serta b) optimasi suhu reaksi metilolasi (Gambar 1).

### A. Karakterisasi Destilat CNSL

Destilat CNSL yang digunakan dalam penelitian diperoleh dengan menggunakan metode destilasi vakum (Risfaheri *et al.*, 2004). Karakterisasi destilat CNSL meliputi bobot jenis, indeks bias, bilangan asam, bilangan iod, dan bilangan hidroksil dengan metode AOAC (1995) serta viskositas dengan viskometer Brookfield. Selain itu dilakukan identifikasi komponen kimia destilat CNSL dengan HPLC (Kumar *et al.*, 2002).

### B. Pembuatan Resin Fenolik dari Destilat CNSL

#### 1. Optimasi nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL dan pH reaksi

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL dan pH reaksi yang dapat menghasilkan resin fenolik yang sesuai untuk bahan baku vernis. Pembuatan resin fenolik dilakukan melalui reaksi polimerisasi kondensasi pada suasana asam dengan nisbah mol formaldehida terhadap destilat CNSL < 1 (resin novolak).



Destilat CNSL direaksikan dengan formaldehida 37% pada suhu 100°C sambil dilakukan refluks. Asam sulfat 45% ditambahkan ke dalam medium reaksi sampai pH dalam perlakuan tercapai. Reaksi metilolasi dihentikan setelah konsentrasi formaldehida  $\leq 0,5\%$  (Santana *et al.*, 1996). Sejumlah contoh (5 ml) diambil untuk pengukuran konsentrasi formaldehida (ISO, 1995) dan didinginkan dalam *ice bath* agar reaksi tidak berlanjut. Produk yang dihasilkan kemudian dipolimerisasi kondensasi dengan pemanasan pada suhu 100°C selama 2 jam.

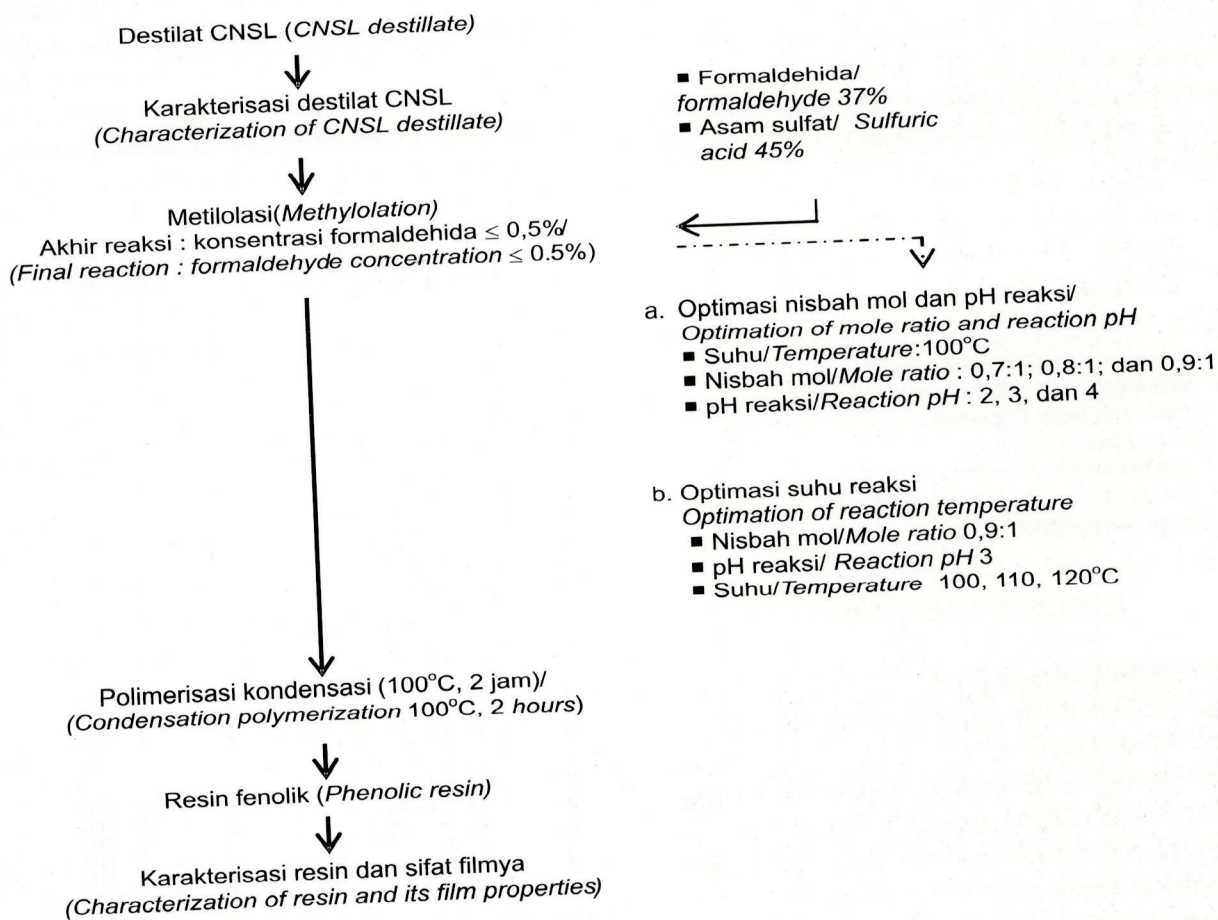
Perlakuan yang diuji terdiri atas dua faktor yaitu (A) nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL (0,7:1; 0,8:1; dan 0,9:1); dan B) pH reaksi (2,0; 3,0; dan 4,0). Percobaan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) pola faktorial dengan dua kali ulangan. Data yang diperoleh diuji normalitasnya dengan uji Kolmogorov-Smirnov sebelum dilakukan analisis dengan anova. Analisis resin fenolik meliputi : 1) karakteristik resin : kadar padatan (ASTM D-2832, 1993), viskositas menggunakan viskometer Brookfield, dan 2) sifat lapisan film resin : waktu kering (ASTMD-1640, 1993), kekerasan (ASTMD-3363-74, 1993), daya lentur (ASTMD-522, 1993), dan daya lekat (ASTM D-3359, 1993). Lapisan film resin yang diuji

diperoleh dari formulasi resin dengan bahan pengering (Co-naftenat 0,1% dan Pb-naftenat 1,0%) dan diencerkan dengan pelarut toluen sampai viskositas 40 mPa.s.

## 2. Optimasi suhu reaksi metilolasi

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan suhu reaksi metilolasi yang dapat menghasilkan resin fenolik yang sesuai untuk bahan baku vernis dan mengetahui parameter kinetika reaksinya. Prosedur percobaan sama seperti penelitian pembuatan resin tahap pertama. Destilat CNSL direaksikan dengan formaldehida 37% pada nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL 0,9:1 (perlakuan terbaik tahap-1). Setelah suhu reaksi yang diinginkan dalam perlakuan tercapai, asam sulfat 45% ditambahkan ke dalam medium reaksi sampai pH 3 (perlakuan terbaik tahap-1), kemudian waktu reaksi mulai dihitung. Perlakuan yang diuji yaitu suhu reaksi (100, 110, dan 120°C) dengan tiga kali ulangan. Resin fenolik yang dihasilkan dianalisis dengan parameter yang sama seperti penelitian tahap pertama.

Pendekatan yang digunakan dalam menentukan parameter kinetika reaksi yaitu berdasarkan berkurangnya konsentrasi pereaksi di dalam medium reaksi (Malhotra dan Avinash, 1976). Contoh diambil untuk analisis



Gambar 1. Diagram alir proses pembuatan resin fenolik berbasis destilat CNSL dan tahapan penelitiannya  
Figure 1. Flow chart of CNSL destillate-based phenolic resin production and steps of the experiment



konsentrasi formaldehida (ISO, 1995) dan kardanol dalam medium reaksi (Kumar *et al.*, 2002). Sampel yang diambil segera didinginkan dalam *ice bath* agar reaksi tidak berlanjut.

Persamaan laju reaksi metilolasi ordo-1 dan 2 masing-masing disajikan pada persamaan 1 dan 2. Pemilihan ordo reaksi yang sesuai ditentukan berdasarkan nilai koefisien korelasi (r) kedua persamaan linier yang diperoleh.

$$C_c = C_{co} - C_{xc}; \quad C_f = C_{fo} - C_{xf}; \quad n = \frac{C_{xc}}{C_{xf}}$$

Ordo-1 :  $-\frac{\partial C}{\partial t} = k_1 C_f \quad \ln \frac{C_{fo}}{C_{fo} - C_{xf}} = k t \dots\dots\dots(1)$

Ordo-2 :  $-\frac{\partial C}{\partial t} = k_1 C_c C_f \quad \ln \frac{C_{fo}(C_{co} - nC_{xf})}{C_{co}(C_{fo} - C_{xf})} = \frac{(C_{co} - nC_{fo})}{n} k t \dots\dots\dots(2)$

- dimana :
- $C_{fo}, C_{co}$  : Konsentrasi awal formaldehida dan kardanol/ *Initial concentration of formaldehyde and cardanol (moles/liter)*
  - $C_f, C_c$  : Konsentrasi formaldehida dan kardanol pada waktu *t*/ *Concentration of formaldehyde and cardanol at t time (moles/liter)*
  - $C_{xf}, C_{xc}$  : Konsentrasi formaldehida dan kardanol yang bereaksi pada waktu *t*/ *Concentration of formaldehyde and cardanol reacted at t time/ (moles/liter)*
  - $k$  : Konstanta laju reaksi (liter/mol.jam) *Reaction rate constant (liter/moles.hours)*
  - $n$  : Rata-rata perbandingan formaldehida dan kardanol yang bereaksi *Average of formaldehyde and cardanol reacted (moles/liter)*

Konstanta laju reaksi metilolasi (k) merupakan *slope* dari persamaan linier terpilih. Hubungan konstanta laju reaksi (k) dengan suhu reaksi dinyatakan oleh persamaan Arrhenius (Malhotra dan Avinash, 1976; Misra dan Pandey, 1983).

$$k = Ae^{-E/RT} \dots\dots\dots (3)$$

$$k = \ln A - E/RT \dots\dots\dots (4)$$

- dimana :
- $k$  : Konstanta laju reaksi/ *Reaction rate constant (liter/moles.hours)*
  - $A$  : *Frequency factor / Frequency factor (liter/moles.hours)*
  - $E$  : Energi aktivasi/ *Activation energy (kcal/moles)*
  - $R$  : Konstanta gas / *Gas constant (1,987x10<sup>-3</sup> kcal/moles°K)*
  - $T$  : Suhu/ *Temperature (°K)*

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Karakteristik Destilat CNSL**

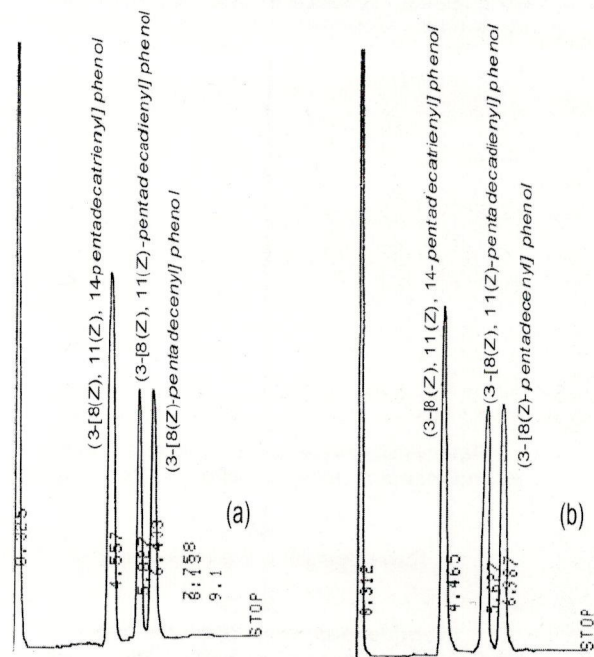
Rendemen destilat CNSL yang dihasilkan dengan metode destilasi vakum pada suhu 280°C dengan tekanan vakum 4-8 mm Hg berkisar 62-64%. Rendemen destilat CNSL tersebut relatif sama dengan hasil penelitian Bhunia *et al.* (1998) yang mendapatkan rendemen sekitar 65%. Dengan menggunakan metode yang sama, Risfaheri *et al.* (2004) mendapatkan rendemen destilat CNSL yang lebih tinggi (74%). Perbedaan rendemen tersebut diduga disebabkan

Karakteristik/ <i>Characteristics</i>	Destilat CNSL/ CNSL <i>destillate</i>	Kardanol komersial/ <i>Commercial cardanol</i>
- Bobot jenis/ <i>Specific gravity (20°C)</i>	0,9328	0,927-0,933
- Indeks bias/ <i>Refractive index (20°C)</i>	1,5054	1,5050- 1,5080
- Viskositas/ <i>Viscosity (30°C, mPa.s)</i>	46,60	35-50
- Bilangan hidroksil/ <i>hydroxyl number</i>	183,81	180-200
- Bilangan iod/ <i>Iod number</i>	255,05	Min./ <i>Min.</i> 220
- Bilangan asam/ <i>Acid number</i>	0,60	Maks./ <i>Max.</i> 5

\*) Produksi Golden Product, India

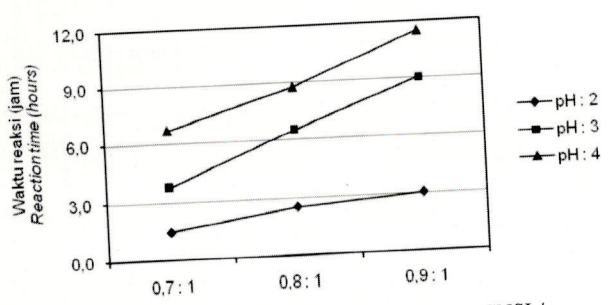
oleh perbedaan karakteristik bahan bakunya. Destilat CNSL yang dihasilkan memiliki sifat fisiko-kimia yang relatif sama dengan kardanol komersial (Tabel 1).

Kandungan kardanol dalam destilat CNSL yang dihasilkan sebesar 90,24% sehingga destilat CNSL dapat disebut sebagai kardanol kasar (*crude cardanol*). Kardanol komersial merupakan kardanol alami yang tingkat kemurniannya lebih tinggi karena sudah mengalami proses pemurnian lebih lanjut. Destilat CNSL yang dihasilkan masih mengandung komponen lain selain kardanol, diduga sebagian besar terdiri atas senyawa kardol. Hasil penelitian Kumar *et al.* (2002), menunjukkan bahwa kardanol yang diperoleh dengan metode destilasi vakum masih mengandung senyawa kardol ± 6%.



Gambar 2. Kromatogram HPLC : (a) Kardanol standar (Sigma); dan (b) Destilat CNSL (Sigma); and (b) CNSL distillate





Gambar 3. Pengaruh nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL dan pH reaksi terhadap waktu reaksi metilolasi (kisaran kritis : 0,5105 (2); 0,5328 (3); p = 0,05)/  
 Figure 3. Effect of mole ratio of formaldehyde to CNSL distillate and reaction pH on methylation reaction time (critical range : 0,5105 (2); 0,5328 (3); p = 0,05)

Hasil identifikasi tersebut menunjukkan bahwa ketidakjenuhan pada rantai karbon samping kardanol merupakan campuran dari satu (monoena), dua (dicna), dan tiga (triena) ikatan rangkap, sesuai dengan hasil penelitian Nagabhushana dan Ravindranath (1995), Kumar *et al.* (2002), dan Risfaheri *et al.* (2004).

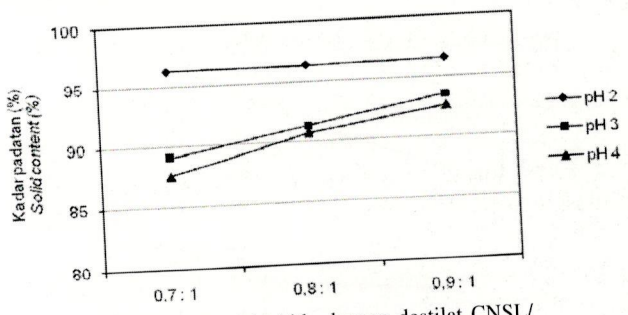
**B. Pembuatan resin fenolik dari destilat CNSL**  
**1. Optimasi nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL dan pH reaksi**

*a. Uji normalitas data*

Salah satu asumsi yang harus dipenuhi sebelum dilakukan analisis data dengan anova yaitu data harus memiliki sebaran normal. Hasil pengujian normalitas data dengan uji Kolmogorov-Smirnov menunjukkan bahwa variabel yang diuji memiliki Asymp. Sig sebesar 0,736, 0,624, 0,193, 0,641, 0,255, dan 0,276 masing-masing untuk variabel waktu reaksi metilolasi, kadar padatan, viskositas, waktu kering sentuh, waktu kering keras, dan daya lentur. Nilai Asymp. Sig seluruh variabel yang diuji lebih besar dari 0,05, sehingga data yang diuji memiliki sebaran normal. Berdasarkan hasil uji normalitas tersebut maka analisis data dapat dilanjutkan ke uji anova.

*b. Waktu reaksi metilolasi*

Novolak merupakan resin fenolik yang dihasilkan dari reaksi fenol dengan formaldehida dengan menggunakan fenol berlebih pada suasana asam. Tahap awal reaksinya melibatkan metilolasi, yaitu pemasukan gugus metilol ke kedudukan *orto-* atau *para-* dalam fenol. Dalam reaksi tersebut, formaldehida merupakan reaktan pembatas sehingga akhir reaksi metilolasi dapat dideteksi dengan mengukur konsentrasi formaldehida (Mahanwar dan Kale, 1996; Santana *et al.*, 1996). Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu reaksi untuk mencapai konsentrasi formaldehida  $\leq 0,5\%$  pada akhir reaksi berkisar 1,5–11,5 jam dengan rata-rata 5,9 jam. Konsentrasi formaldehida pada akhir reaksi dari penelitian ini berkisar 0,35–0,43%.



Gambar 4. Pengaruh nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL dan pH reaksi terhadap kadar padatan resin (kisaran kritis : 0,5731 (2); 0,5982 (3); p = 0,05)  
 Figure 4. Effect of mole ratio of formaldehyde to CNSL distillate and reaction pH on solid content (critical range : 0,5731 (2); 0,5982 (3); p = 0,05)

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa semua faktor perlakuan dan interaksinya berpengaruh nyata terhadap waktu reaksi metilolasi. Semakin tinggi nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL maka waktu reaksi metilolasi semakin lama (Gambar 3), dan nyata perbedaannya pada ketiga taraf perlakuan nisbah mol yang diuji. Namun demikian, untuk seluruh nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL waktu reaksi metilolasi dapat dipercepat dengan menurunkan pH reaksi (Gambar 3). Hal tersebut diduga disebabkan oleh semakin rendahnya energi aktivasi pada reaksi dengan pH rendah. Reaksi yang memiliki energi aktivasi rendah akan berjalan lebih cepat karena banyak reaktan yang memiliki cukup energi kinetik untuk mengatasi energi aktivasi reaksi. Penelitian Malhotra dan Avinash (1976) dalam reaksi fenol dengan formaldehida menunjukkan bahwa energi aktivasi semakin menurun dengan semakin rendahnya pH reaksi. Menurunnya energi aktivasi pada pH rendah diduga dipengaruhi oleh konsentrasi ion H<sup>+</sup> yang merupakan hasil disosiasi dari katalis asam. Meningkatnya konsentrasi ion H<sup>+</sup> dalam medium reaksi akan meningkatkan kereaktifan formaldehida.

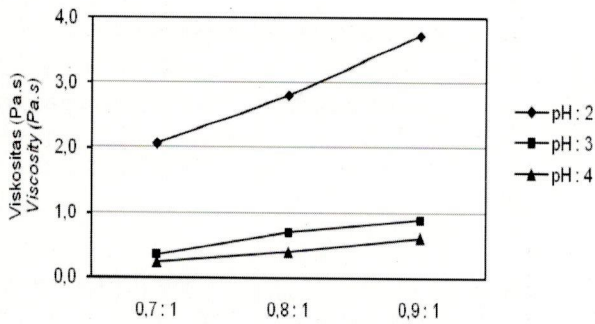
*c. Karakteristik resin*

- Kadar padatan

Kadar padatan merupakan parameter yang menunjukkan kandungan bahan yang tidak menguap dalam resin. Kadar padatan sangat mempengaruhi bobot jenis dan viskositas resin. Dalam pelapis permukaan, kadar padatan resin mempengaruhi daya tutup dan daya kilap lapisan film. Kadar padatan yang diperoleh pada penelitian ini berkisar 87,55–96,58% dengan rata-rata 92,68%.

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa semua faktor perlakuan dan interaksinya berpengaruh nyata terhadap kadar padatan resin. Pada Gambar 4, dapat dilihat bahwa kadar padatan resin semakin meningkat dengan semakin tingginya nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL, dan nyata perbedaannya pada ketiga taraf



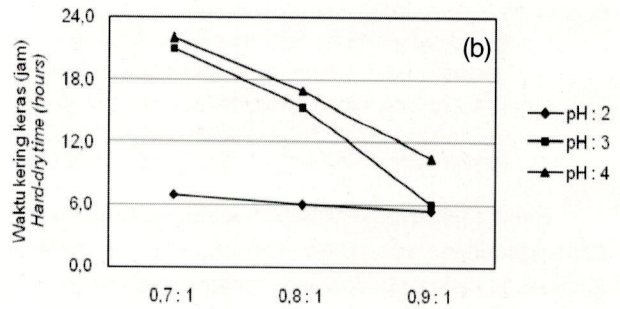
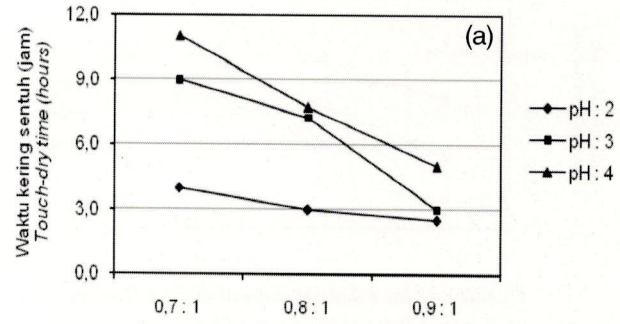


Nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL/  
Mole ratio of formaldehyde to CNSL distillate

Gambar 5. Pengaruh nisbah mol formaldehida dengan estilat CNSL dan pH reaksi terhadap viskositas resin (kisaran kritis : 0,0909 (2); 0,0949 (3) ;  $p = 0,05$ )  
Figure 5. Effect of mole ratio of formaldehyde to CNSL distillate and reaction pH on resins viscosity (critical range : 0.0909 (2); 0.0949 (3);  $p = 0.05$ )

perlakuan nisbah mol yang diuji. Formaldehida merupakan reaktan yang memiliki kontribusi terhadap pembentukan ikatan metilen dalam menghasilkan resin fenolik sehingga semakin banyak formaldehida dalam setiap nisbah mol yang digunakan derajat polimerisasi resin semakin meningkat. Meningkatnya derajat polimerisasi akan meningkatkan kadar padatan, karena komponen terpolimerisasi ini akan menjadi bahan tidak menguap dalam resin. Molekul resin yang terbentuk pada nisbah mol yang tinggi akan memiliki rantai lebih panjang dan bobot molekul lebih tinggi. Resin novolak merupakan polimer linier dengan derajat polimerisasi 2–10 cincin aromatik tergantung nisbah mol formaldehida dengan fenol. Dalam resin fenol formaldehida, meningkatnya nisbah mol formaldehida dengan fenol dari 0,2:1 sampai 0,9:1 akan meningkatkan bobot molekul dari 250 sampai 1000 (Hsu dan Lee, 1995).

Berbeda dengan resin dari pH 3 dan 4, resin yang dihasilkan dari pH 2 untuk seluruh nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL memiliki kadar padatan yang jauh lebih tinggi (Gambar 4). Hal tersebut diduga disebabkan oleh semakin meningkatnya derajat polimerisasi dan bobot molekul resin yang dihasilkan akibat meningkatnya reaktivitas kardanol pada pH rendah. Peningkatan reaktivitas kardanol diduga muncul akibat struktur molekul kardanol yang memiliki ikatan rangkap pada rantai karbon sampingnya. Menurut Pillai *et al.* (1990) dan Manjula *et al.* (1992), kardanol dapat berpolimerisasi melalui ikatan rangkap pada rantai karbon sampingnya pada penggunaan katalis asam dengan konsentrasi yang tinggi (pH rendah). Oleh karena itu, resin yang dihasilkan pada pH 2 diduga dibentuk baik melalui polimerisasi dengan ikatan metilen maupun polimerisasi pada rantai karbon samping kardanol. Pada pH reaksi yang lebih tinggi (pH 3 dan 4), kardanol



Nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL/  
Mole ratio of formaldehyde to CNSL distillate

Gambar 6. Pengaruh nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL dan pH reaksi terhadap waktu kering sentuh (kisaran kritis : 0,8975 (2); 0,9368 (3) ;  $p = 0,05$ ) dan waktu kering keras (kisaran kritis : 0,2424 (2); 0,2530 (3) ;  $p = 0,05$ )

Figure 6. Effect of mole ratio of formaldehyde to CNSL distillate and reaction pH on touch-dry time (critical range : 0.8975 (2); 0.9368 (3) ;  $p = 0.05$ ) and hard-dry time (critical range : 0.2424 (2); 0.2530 (3);  $p = 0.05$ )

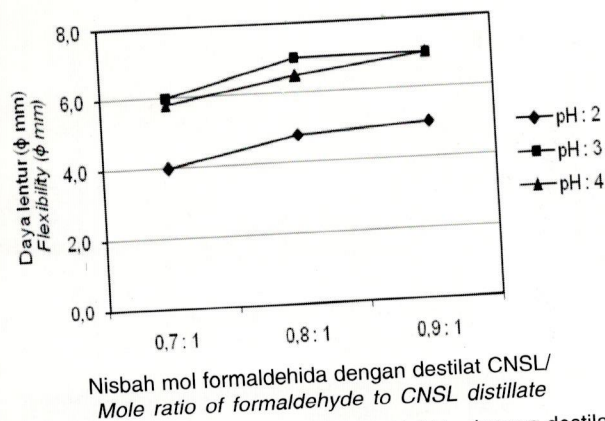
kurang reaktif sehingga polimerisasi sebagian besar terjadi melalui ikatan metilen dan kurang melibatkan polimerisasi melalui ikatan rangkap kardanol.

#### - Viskositas

Pengaruh nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL dan pH reaksi terhadap viskositas disajikan pada Gambar 5. Pengaruh kedua perlakuan tersebut terhadap viskositas memiliki pola yang sama seperti pengaruhnya terhadap kadar padatan (Gambar 4). Resin yang memiliki viskositas tinggi akan memiliki kadar padatan yang tinggi pula. Viskositas resin yang diperoleh pada penelitian ini berkisar 0,23–3,72 Pa.s dengan rata-rata 1,31 Pa.s (viskositas pada konsentrasi resin 80%).

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa perlakuan nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL dan pH reaksi serta dan interaksi kedua perlakuan tersebut berpengaruh nyata terhadap viskositas resin. Semakin tinggi nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL maka viskositas resin semakin tinggi (Gambar 5). Hal tersebut disebabkan oleh semakin meningkatnya derajat polimerisasi dan bobot molekul resin.





Gambar 7. Pengaruh nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL dan pH reaksi terhadap daya lentur (kisaran kritis : 0,7623 (2); 0,7741 (3);  $p = 0,05$ )  
 Figure 7. Effect of mole ratio of formaldehyde to CNSL distillate and reaction pH on flexibility critical range : 0.7623 (2); 0.7741 (3);  $p = 0.05$ )

Resin yang dihasilkan dari pH 2 untuk seluruh nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL memiliki viskositas yang sangat tinggi berkisar 2,07–3,72 Pa.s. Viskositas resin yang terlalu tinggi tidak dikehendaki karena resin sangat kental. Kondisi tersebut akan menyulitkan penanganan dan formulasi resin menjadi produk vernis karena kemampuan mengalir yang rendah dan kelarutan resin dalam pelarut yang semakin berkurang. Viskositas resin yang diperoleh dari pH 3 dan 4 untuk seluruh nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL lebih rendah sehingga resin ini sangat mudah ditangani dan memiliki kemampuan mengalir yang sangat baik.

#### d. Sifat film resin

##### - Waktu Kering

Waktu kering merupakan parameter untuk mengetahui kecepatan pengeringan lapisan film resin. Pengukuran waktu kering lapisan film resin dilakukan pada suhu ruang (28-30°C). Pengeringan lapisan film resin terjadi karena adanya penguapan pelarut yang diikuti oleh polimerisasi oksidatif ikatan rangkap pada rantai samping kardanol dengan adanya oksigen dan bahan pengering. Oleh karena itu, resin fenolik dari destilat CNSL dapat digunakan sebagai bahan baku vernis tipe *air drying*.

Waktu kering sentuh lapisan film resin berkisar 2,5–11,0 jam dengan rata-rata 5,8 jam, sedangkan waktu kering keras berkisar 5,5–22,0 jam dengan rata-rata 12,4 jam. Seluruh resin yang dihasilkan dari pH 2 memiliki waktu kering yang cukup singkat, sedangkan waktu kering yang singkat pada resin yang dihasilkan dari pH 3 diperoleh pada perlakuan nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL 0,9:1.

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL dan pH reaksi serta interaksinya berpengaruh nyata terhadap waktu

kering sentuh dan kering keras lapisan film resin. Kedua waktu kering tersebut semakin cepat dengan semakin tingginya nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL (Gambar 6a-b), dan nyata perbedaannya pada ketiga taraf perlakuan yang diuji. Semakin cepatnya waktu kering pada nisbah mol yang tinggi diduga disebabkan oleh meningkatnya bobot molekul resin. Peningkatan bobot molekul resin tersebut dapat terlihat dari semakin tingginya kadar padatan (Gambar 4) dan viskositas (Gambar 5). Menurut Hsu dan Lee (1995), viskositas merupakan parameter yang mengindikasikan nilai bobot molekul resin. Resin yang memiliki bobot molekul tinggi akan memiliki waktu kering yang lebih singkat karena ikatan silang yang diperlukan untuk membentuk lapisan film yang koheren lebih sedikit.

Resin yang dihasilkan dari pH 2 untuk seluruh nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL memiliki waktu kering sentuh dan kering keras yang jauh lebih singkat dibandingkan dengan pH 3 dan 4, kecuali resin yang dihasilkan dari pH 3 dengan nisbah mol 0,9:1 (Gambar 6a-b). Resin yang dihasilkan dari pH 2 diduga memiliki bobot molekul yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan resin yang dihasilkan dari pH 3 dan 4 karena adanya polimerisasi melalui rantai karbon samping kardanol sehingga waktu keringnya lebih singkat.

##### - Daya Lentur

Daya lentur merupakan ukuran ketahanan lapisan film terhadap keretakan. Lapisan film yang lentur memiliki ketahanan yang baik terhadap perubahan suhu dan kelembaban lingkungan. Sifat daya lentur sangat penting karena berkaitan dengan kemampuan vernis untuk pemakaian di luar (eksterior). Daya lentur lapisan film resin yang diperoleh pada penelitian ini berkisar 4–7 mm, dengan rata-rata 5,9 mm.

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL dan pH reaksi serta interaksinya berpengaruh nyata terhadap daya lentur lapisan film resin. Daya lentur lapisan film ditentukan oleh kemampuan gerak dari rantai polimernya. Cincin aromatik yang terdapat pada struktur polimer cenderung memberikan efek pengerasan rantai yang mengurangi kebebasan gerak rantai polimer sehingga lapisan film menjadi kaku (*rigid*), rapuh dan berkurang sifat lenturnya (Mythili *et al.*, 2004). Gambar 7, memperlihatkan kecenderungan terjadinya pengurangan daya lentur lapisan film resin dengan semakin tingginya nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL. Berkurangnya daya lentur pada nisbah mol yang tinggi diduga disebabkan oleh struktur molekul resin yang mengandung cincin aromatik kardanol lebih banyak akibat derajat polimerisasi resin yang lebih tinggi.



Tabel 2. Pengaruh nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL dengan pH reaksi terhadap kekerasan, dan daya lekat lapisan film resin

Table 2. Effect of mole ratio of formaldehyde to CNSL distillate and reaction pH on hardness and adhesion of resin film

Kombinasi Perlakuan/ Treatment combination	Daya Lekat* Adhesion	Kekerasan Hardness/ (Pencil hardness method)
0,7 : 1; pH 2	0 B	2 H
0,8 : 1; pH 2	1 B	2 H
0,9 : 1; pH 2	1 B	2 H
0,7 : 1; pH 3	1 B	2 H
0,8 : 1; pH 3	0 B	4 H
0,9 : 1; pH 3	1 B	4 H
0,7 : 1; pH 4	0 B	3 H
0,8 : 1; pH 4	0 B	4 H
0,9 : 1; pH 4	0 B	4 H

Keterangan/ Note :

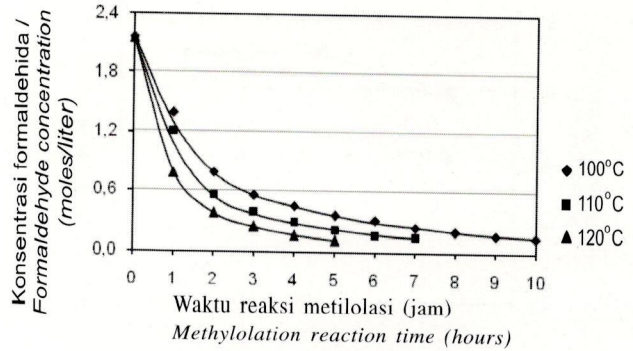
\*) 0B (> 65% mengelupas/flaking); 1B (35-65% mengelupas/flaking); 2B (15-35% mengelupas/flaking); 3 B (5-15% mengelupas flaking); 4 B (<5% mengelupas flaking); dan 5 B (0% mengelupas/flaking)

Daya lentur lapisan film resin yang dihasilkan dari pH 2 lebih baik dibandingkan dengan resin dari pH 3 dan 4 (Gambar 7). Resin yang diperoleh dari pH 2 diduga memiliki percabangan rantai sebagai akibat terjadinya polimerisasi melalui ikatan rangkap pada rantai karbon samping kardanol. Adanya percabangan rantai tersebut mengakibatkan kerapatan ikatan silang molekul resin menjadi rendah sehingga efek pengerasan rantai polimer menurun dan daya lentur lapisan film yang dihasilkan menjadi lebih baik. Menurut Mythili *et al.* (2004), sifat mekanis polimer seperti daya lentur dan kekerasan lapisan film sangat dipengaruhi oleh struktur kimia resin antara lain panjang rantai, percabangan, kerapatan ikatan silang, dan gaya ikatan sekunder.

- Kekerasan dan daya lekat

Kekerasan merupakan ukuran ketahanan lapisan film resin terhadap lekukan permukaan, gesekan, dan goresan. Sebagai bahan baku yang digunakan dalam produk vernis, sifat mekanis ini memiliki peranan penting karena vernis umumnya berfungsi sebagai *topcoat*. Dengan fungsi sebagai *topcoat*, maka kekerasan lapisan film yang tinggi sangat diperlukan terutama untuk mempertahankan film dari keausan akibat gesekan dan goresan, baik pada vernis untuk pemakaian di dalam (interior) maupun untuk pemakaian di luar (eksterior).

Pengujian kualitatif daya lekat lapisan film menunjukkan bahwa seluruh perlakuan tidak memiliki daya lekat yang baik karena sebagian besar lapisan film mengelupas saat pengujian. Daya lekat lapisan film resin (dalam media besi) berkisar antara 0B (>65% mengelupas) sampai 1B (35-65% mengelupas) (Tabel 2). Rendahnya daya lekat lapisan film disebabkan oleh media besi dan



Gambar 8. Perubahan konsentrasi formaldehida pada beberapa suhu reaksi metilolasi

Figure 8. Change of formaldehyde concentration at several reaction temperature

polimer yang tidak kompatibel sehingga tidak dapat membentuk gaya-gaya ikatan dengan baik (Backman dan Linberg, 2002).

Pengujian kualitatif kekerasan lapisan film menunjukkan bahwa untuk seluruh nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL, perlakuan pH 3 dan 4 menghasilkan kekerasan lapisan film yang lebih baik dibandingkan dengan pH 2 (Tabel 2). Secara umum, polimer yang tersusun dari monomer aromatik termasuk resin fenolik memiliki sifat lapisan film yang keras, tahan terhadap bahan kimia, pelarut, dan tahan terhadap suhu tinggi (Tobiason, 1990). Berlawanan dengan resin dari pH 2, resin yang dihasilkan dari pH 3 dan 4 diduga tidak memiliki percabangan rantai sehingga jarak antara molekul resin menjadi lebih dekat. Dengan demikian, kerapatan ikatan silang antara molekul resin menjadi lebih tinggi sehingga lapisan film resin memiliki ikatan yang lebih kuat dan sifat lapisan filmnya mejadi lebih keras.

Berdasarkan sifat lapisan film resin yang dihasilkan, perlakuan terbaik pada penelitian tahap pertama yaitu perlakuan nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL 0,9:1 pada pH 3. Sifat lapisan film yang dihasilkan memiliki kekerasan yang tinggi dengan waktu kering cukup singkat (kering sentuh 3 jam dan kering keras 6,0 jam). Kadar padatan dan viskositas resin cukup rendah yang akan mempermudah pemrosesan resin selanjutnya. Beberapa sifat lapisan film pada perlakuan dengan pH 2 cukup baik,

Tabel 3. Konsentrasi formaldehida dan persentase formaldehida yang telah bereaksi

Table 3. Formaldehyde concentration and percentage of reacted formaldehyde

Suhu reaksi / Reaction temperature (°C)	Waktu reaksi optimal (jam)/ Optimal reaction time (hours)	Konsentrasi formaldehida/ Formaldehyde concentration		Formaldehida yang bereaksi/ yang bereaksi/ Reacted formaldehyde (%)
		%	mol/liter moles/liter	
100	9	0,49	0,1674	92,44
110	6	0,50	0,1709	92,18
120	4	0,42	0,1437	93,47



Tabel 4. Rata-rata perbandingan kardanol dan formaldehida yang bereaksi  
 Table 4. Average of formaldehyde and cardanol reacted

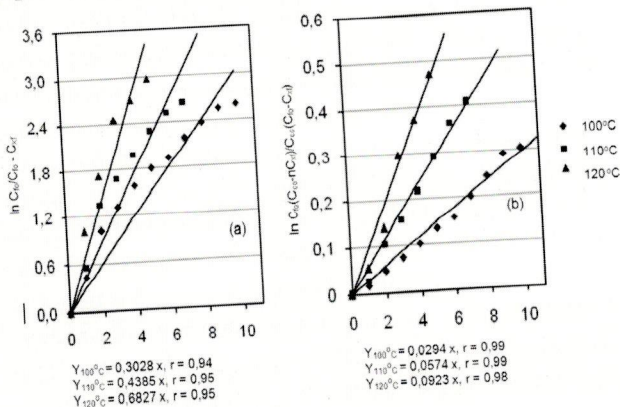
Suhu reaksi (°C) Reaction temperature	C <sub>co</sub> (mol/liter) (moles/liter)	C <sub>fo</sub> (mol/liter) (moles/liter)	Waktu reaksi (jam) Reaction time (hours)	C <sub>xc</sub> (mol/liter) (moles/liter)	C <sub>xf</sub> (mol/liter) (moles/liter)	C <sub>xc</sub> /C <sub>xf</sub> (mol/liter) (moles/liter)
100	2.4692	2.1660	1	0,8059	0,7732	1,04
			3	1,6383	1,5822	1,05
			5	2,0566	1,8086	1,14
			7	2,1916	1,9202	1,14
			9	2,2659	1,9986	1,13
110	2.4599	2.1360	1	0,9586	0,9254	1,04
			3	2,0705	1,7374	1,19
			5	2,2660	1,9175	1,18
			7	2,3092	1,9856	1,16
120	2.4607	2.1494	1	1,4613	1,3723	1,06
			3	2,1969	1,9649	1,12
			5	2,3016	2,0400	1,13
Rata-rata (n) Average (n)						
1,11						

namun resin yang dihasilkan terlalu kental dengan kemampuan mengalir sangat rendah sehingga sulit melakukan pemrosesan resin selanjutnya. Namun demikian, reaksi metilolasi pada perlakuan terbaik memerlukan waktu yang sangat lama (9 jam) pada suhu 100°C. Untuk mempersingkat waktu reaksi metilolasi pada penelitian tahap ke-2, suhu reaksi akan ditingkatkan.

C. Optimasi suhu reaksi metilolasi

1. Laju reaksi metilolasi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaksi metilolasi kardanol dengan formaldehida berlangsung lebih cepat pada suhu yang lebih tinggi (Gambar 8). Hal ini disebabkan oleh laju reaksi metilolasi yang semakin meningkat dengan semakin tingginya suhu reaksi. Laju reaksi metilolasi rata-rata pada suhu 100, 110, dan 120°C berturut-turut sebesar 0,2221, 0,3275, dan 0,5014 mol/liter/jam. Menurut Misra dan Pandey (1983), kenaikan suhu reaksi menyebabkan pergerakan molekul lebih cepat dan tumbukan antara molekul lebih intensif sehingga reaksi dapat berlangsung lebih cepat.

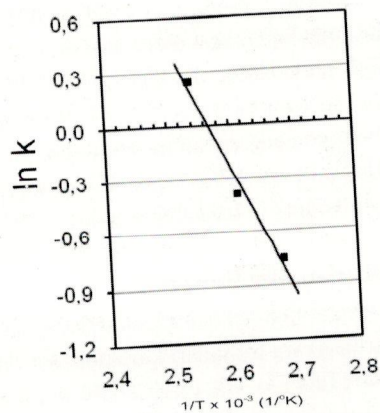


Gambar 9. Penentuan ordo reaksi : ordo-1 (a) dan ordo-2 (b)  
 Figure 9. Determination of reaction order : orde-1 (a) dan orde-2 (b)

Gambar 8, menunjukkan bahwa konsentrasi formaldehida relatif konstan setelah reaksi berlangsung selama 4, 6, dan 9 jam masing-masing pada suhu 120, 110 dan 100°C. Waktu reaksi metilolasi tersebut merupakan waktu reaksi optimal untuk masing-masing suhu reaksi. Jumlah formaldehida yang telah bereaksi sampai waktu reaksi optimalnya sebesar 92,44; 92,18; dan 93,47% masing-masing untuk suhu 100, 110 dan 120°C (Tabel 3).

2. Ordo reaksi dan konstanta laju reaksi metilolasi

Berdasarkan konsentrasi formaldehida dan kardanol yang bereaksi, maka rata-rata perbandingan kardanol dengan formaldehida yang bereaksi (n) sebesar 1,11 (Tabel 4). Nilai rata-rata perbandingan (n) tersebut akan digunakan pada persamaan laju reaksi metilolasi ordo kedua. Kesesuaian ordo reaksi pada reaksi metilolasi kardanol dengan formaldehida ditentukan dengan memplotkan  $\ln C_{fo}/C_{fo} - C_{xf}$  terhadap waktu reaksi untuk ordo pertama dan  $\ln C_{fo}(C_{co} - nC_{xf})/C_{co}(C_{fo} - C_{xf})$  terhadap waktu reaksi untuk ordo kedua. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa reaksi metilolasi kardanol dengan formaldehida



Gambar 10. Hubungan konstanta laju reaksi dengan suhu reaksi metilolasi  
 Figure 10. Relationship between reaction rate constant with methylation reaction temperature



Tabel 5. Karakteristik dan sifat film resin dari beberapa suhu reaksi metilolasi  
 Table 5. Characteristics and properties of resins film from several reaction temperature

Karakteristik dan sifat film resin/ Characteristics and properties of resins film	Reaksi metilolasi/ Methylation reaction			Vernis komersial/ Commercial Varnish	
	100°C, 9 jam hours	110°C, 6 jam hours	120°C, 4 jam hours	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>
- Viskositas / Viscosity (Pa.s)	15,96	15,48	15,35	-	-
- Kadar padatan / Solid content (%)	92,04	92,31	91,83	-	-
- Waktu kering/ Dry time					
- Kering sentuh (jam)/ Touch-dry (hours)	3,0	3,3	3,0	1,5	2,0
- Kering keras (jam)/ Hard-dry (hours)	6,5	6,5	6,0	5,0	6,0
- Kekerasan/ Hardness	4H	4H	4H	3H	1H
- Daya lentur/ Flexibility (Φ, mm)	7,0	6,5	7,0	3,0	12,0
- Daya kilap/ Glossy (%)					
- Besi/ Steel	97,2	96,8	97,6	96,0	97,0
- Kayu / Wood	72,4	72,1	72,5	66,0	67,0
- Daya lekat <sup>*)</sup> Adhesion					
- Besi /Steel	1B	1B	1B	1B	0B
- Kayu /Wood	5B	5B	5B	5B	5B

<sup>\*)</sup> 0B (> 65% mengelupas flaking), 1B (35–65% mengelupas flaking), 5B (0% mengelupas flaking)

menggunakan katalis asam tidak memenuhi pola reaksi ordo pertama untuk seluruh suhu reaksi yang digunakan (Gambar 9a). Reaksi metilolasi kardanol dengan formaldehida sangat sesuai dengan pola reaksi ordo kedua (Gambar 9b). Regresi linier antara waktu reaksi dengan  $\ln \frac{C_{co} - nC_{xt}}{C_{co} - C_{xt}}$  menghasilkan persamaan garis lurus dengan koefisien korelasi yang tinggi ( $r=0,98-0,99$ ). Hasil ini sesuai dengan penelitian Malhotra dan Avinash (1976), pada reaksi fenol dengan formaldehida menggunakan katalis asam yang mengikuti pola reaksi ordo kedua.

Plot  $\ln k$  dengan suhu reaksi ( $1/T$ ) menghasilkan garis lurus dengan slope ( $-E/R$ ) sebesar  $-7.230,7$  (Gambar 10). Dengan demikian, nilai energi aktivasi untuk reaksi metilolasi kardanol dengan formaldehida pada perbandingan nisbah mol 0,9:1 dengan pH 3 sebesar 14,37 kkal/mol. Konstanta laju reaksi metilolasi meningkat secara eksponensial dengan semakin tingginya suhu reaksi. Hubungan konstanta laju reaksi metilolasi ( $k$ ) dengan suhu dinyatakan oleh persamaan  $\ln k = 18,57 - 7.230,7 (1/T)$ ,  $r^2 = 0,97$  atau  $k = 116.104.360,02 e^{-7.230,7 (1/T)}$ . Kenaikan suhu reaksi menyebabkan pergerakan molekul lebih cepat dan tumbukan antar molekul lebih intensif sehingga reaksi berlangsung lebih cepat (Misra dan Pandey, 1983).

### 3. Karakteristik dan sifat film resin

Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu reaksi metilolasi tidak berpengaruh nyata terhadap karakteristik dan sifat lapisan film resin (Tabel 5). Hal ini disebabkan oleh reaksi metilolasi pada masing-masing suhu dilakukan sampai dengan waktu reaksi optimalnya, sehingga polimer resin diduga memiliki sifat yang tidak jauh berbeda.

Waktu kering lapisan film resin yang dihasilkan masih lebih lambat dibandingkan dengan waktu kering vernis komersial, sedangkan kekerasan lapisan filmnya lebih tinggi untuk seluruh suhu reaksi metilolasi yang digunakan. Daya lenturnya juga lebih baik dibandingkan dengan vernis komersial K<sub>2</sub>, namun dibandingkan dengan vernis komersial K<sub>1</sub> masih kurang lentur (Tabel 5). Menurut spesifikasinya, vernis komersial K<sub>1</sub> merupakan vernis yang dapat digunakan baik untuk pemakaian di dalam (interior) maupun di luar (eksterior). Resin fenolik yang dihasilkan sudah memadai untuk digunakan sebagai bahan baku vernis interior karena kekerasan lapisan filmnya cukup tinggi. Untuk penggunaan sebagai bahan baku vernis eksterior daya lentur lapisan filmnya masih perlu perbaikan.

Daya kilap lapisan film resin pada media kayu lebih rendah dibandingkan dengan besi, sedangkan daya lekatnya jauh lebih baik (Tabel 5). Kondisi permukaan kayu yang lebih kasar dapat menurunkan daya kilap akibat terjadinya hamburan cahaya pada permukaan film. Daya lekat yang baik dalam media kayu diduga disebabkan oleh terbentuknya gaya-gaya ikatan antara lapisan film resin dengan kayu. Menurut Tobiason (1990), komposisi kimia kayu terdiri atas selulosa 40–45%, hemiselulosa dan lignin masing-masing 20–30%. Gugus hidroksil pada komponen kayu dapat membentuk ikatan hidrogen dengan gugus hidroksil pada resin sehingga meningkatkan daya lekatnya. Peningkatan daya lekat tersebut juga dapat disebabkan oleh meningkatnya peranan gaya perekatan secara mekanis melalui pori-pori. Dibandingkan dengan media besi, permukaan kayu mengandung pori-pori yang lebih baik sehingga resin dapat berpenetrasi dengan baik ke bagian dalam kayu ketika diaplikasikan.



### KESIMPULAN

Kondisi proses pembuatan resin fenolik dari destilat CNSL yang terbaik dicapai pada nisbah mol formaldehida dengan destilat CNSL 0,9 : 1 dengan pH 3. Reaksi metilolasi destilat CNSL (kardanol kasar) dengan formaldehida memenuhi pola reaksi ordo kedua. Konstanta laju reaksi metilolasi meningkat secara eksponensial dengan semakin tingginya suhu reaksi. Suhu reaksi tidak berpengaruh nyata pada karakteristik dan sifat lapisan film resin. Berdasarkan waktu reaksinya yang lebih singkat, reaksi metilolasi terbaik dicapai pada suhu 120°C. Karakteristik dan sifat lapisan film resin yang dihasilkan cukup baik kecuali daya lekat dalam media besi dan daya lenturnya. Resin fenolik yang dihasilkan sudah memadai digunakan sebagai bahan baku vernis kayu untuk pemakaian di dalam (interior). Sebagai bahan baku vernis kayu untuk pemakaian di luar (eksterior) masih perlu perbaikan dalam sifat daya lenturnya.

### DAFTAR PUSTAKA

- AOAC, 1995. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist. Washington DC.
- ASTM, 1993. Paints-Pigment, Resins, and Polymers, Cellulose. Annual Book of ASTM Standard: 06.02. American Society of Testing Materials. Philadelphia.
- Backman, A.C. and K.A.H. Linberg, 2002. Interaction wood and polyurethane lacquer resulting in a decrease in the glass transition temperature. *Journal of Applied Polymer Science* 85: 59–605.
- Bhunia, H.P., R.N. Jana, A. Basak, S. Lenka, and G.B. Nando, 1998. Synthesis of polyurethane from cashew nut shell liquid (CNSL), a renewable resource. *Journal of Applied Polymer Science Part A : Polymer Chemistry* 36: 391–400.
- Ditjenbun, 2007. Statistik Perkebunan Jambu mente. Direktorat Jenderal Perkebunan. Jakarta.
- Hsu, K.C. and Y.F. Lee, 1995. Water soluble sulfonated phenolic resin. I. Synthesis. *Journal of Applied Polymer Science* 57: 1501-1509.
- ISO, 1995. Determination of free formaldehyde content. Hydroxylamine hydrochloride method. International Organization for Standardization. Geneva.
- Kumar, P.P., R. Paramashivappa, P.J. Vithayathil, P.V.S. Rao PVS, and S. Rao, 2002. Process for isolation of cardanol from technical cashew (*Anacardium occidentale*) nut shell liquid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 4705–4708.
- Mahanwar, P.A. and D.D. Kale, 1996. Effect of cashew nut shell liquid (CNSL) on properties of phenolic resins. *Journal of Applied Polymer Science* 61:2107–2111.
- Malhotra, H.C. and Avinash, 1976. Kinetics of the acid-catalyzed phenol-formaldehyde reaction. *Journal of Applied Polymer Science* 20: 2461–2471.
- Misra, A.K. and G. N. Pandey, 1983. Kinetics of alkaline-catalyzed cardanol formaldehyde reaction. *Journal of Applied Polymer Science* 29: 361–372.
- Manjula, S., V.G. Kumar and C.K.S. Pillai, 1992. Kinetics and mechanism of oligomerization of cardanol using acid catalyst. *Journal of Applied Polymer Science* 45: 309–315.
- Mythili, C.V., A.M. Retna, and S. Gopalakrishnan, 2004. Synthesis, mechanical, thermal and chemical properties of polyurethanes based on cardanol. *Bulletin of Material Science* 27 (3): 235–241.
- Nagabhushana, K.S. and B. Ravindranath, 1995. Efficient medium-scale chromatographic group separation of anacardic acid from solvent-extracted Cashew Nut (*Anacardium occidentale*) Shell Liquid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 43: 2381–2383.
- Pillai, C.K.S., V.S. Prasad, J.D. Sudha, S.C. Bera, and A.R.R. Menon, 1990. Polymeric resin from renewable resources. II. Synthesis and characterization of flame-retardant prepolymers from cardanol. *Journal of Applied Polymer Science* 41: 2487–2501.
- Risfaheri, T. T. Irawadi, M. A. Nur, I. Sailah, Z. A. Mas'ud dan M. S. Rusli, 2004. Pemisahan kardanol dari minyak kulit biji mete dengan metode destilasi vakum. *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian* 1 (1): 1–11.
- Santana, M.A.E, M.G. Baumann and A.H. Conner, 1996. Phenol-formaldehyde plywood adhesive resin prepared with liquefied bark of black wattle. *Journal of Wood Chemistry and Technology* 16: 1–19.
- Tobiason, F.L., 1990. Phenolic Resin Adhesives. Di dalam *Handbook of Adhesives*. Editor: Skeits I. Van Vostrand Reinhold. New York.