

**IDENTIFIKASI FORMULA OPTIMUM PEREKAT TANIN
DENGAN METODE XRD DAN DTA**
(*Identification of Optimum Formula on Tannin Adhesive by XRD and DTA
Methods*)

Djadjat¹ dan Adi Santoso²

¹ Politeknik AKA-Bogor

² Puslitbang Hasil Hutan, Bogor

E-mail/telp: asanto10@yahoo.com/08128452840

ABSTRAK

Tanin merupakan senyawa polifenol yang terdapat dalam konsentrasi tinggi pada beberapa jenis tumbuhan seperti mangium (*Acacia mangium*). Senyawa ini dapat digunakan sebagai bahan perekat kayu dengan proses kopolimerisasi tanin dengan resorsinol dan formaldehida sehingga terbentuk tanin resorsinol formaldehida (TRF). Penelitian ini bertujuan memperoleh formula optimum dari perekat TRF dengan metode difraksi sinar-X (XRD) dan *differential thermal analysis* (DTA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa formula optimum TRF sebagai perekat kayu dapat diidentifikasi dengan metoda XRD dan DTA. Derajat kristalinitas dan suhu transisi pelelehan kopolimer TRF dipengaruhi oleh komposisi perbandingan mol tanin, resorsinol, dan formaldehida. Komposisi optimum perekat TRF adalah yang dibuat dengan nisbah mol tanin : resorsinol : formaldehida = 1 : 0,5 : 1.

Kata kunci: tanin, identifikasi, XRD, DTA, perekat

ABSTRACT

Tannin is the natural poliphenol compound and exists in high concentration in various types of plants, such as mangium (Acacia mangium). The tannin can be used as wood adhesives material by copolymerization of tannin, resorcinol and formaldehyde forming tannin resorcinol formaldehyde (TRF). The aims of the research were to find out the optimum formula of TRF as wood adhesive by X-ray diffraction (XRD) and differential thermal analysis (DTA) methods. The research result showed that optimum formula of TRF as wood adhesive can identified by XRD and DTA methods. The optimum composition of TRF adhesive in mole ratio were tannin : resorcinol : formaldehyde = 1 : 0.5 : 1.

Key words: tannin, identification, XRD, DTA, adhesive

1. PENDAHULUAN

Perekat merupakan komponen penting yang biayanya relatif besar dalam industri pengolahan kayu komposit, karena harga perekat sintetis yang digunakan

E-mail: jurnal.itekima@stack.ac.id

khususnya urea formaldehida (UF), phenol formaldehida (PF), dan resorsinol formaldehida (RF) atau resorsinol phenol formaldehida (RPF) cenderung semakin meningkat. Hal tersebut ditengarai antara lain disebabkan oleh sumber daya bahan bakunya yang semakin berkurang dan bersifat tidak dapat dipulihkan (*non renewable*), sehingga semakin tidak ekonomis. Akibat daripada itu akhir-akhir ini ada kecenderungan perhatian dialihkan kembali pada bahan perekat alam seperti tanin dan lignin (Santoso, 2005; Santoso *et al.*, 2014; Iskandar *et al.*, 2017).

Tanin adalah suatu senyawa polifenol alami dan terdapat dalam konsentrasi tinggi pada beberapa jenis tumbuhan, seperti akasia, eukaliptus, bakau (*Rhizophora* spp.) dan tusam. Jenis pohon yang berbeda menghasilkan struktur tanin yang berbeda pula (Ahmadi dan Aryetti, 1993). Beberapa negara telah mencoba menggunakan perekat berbahan dasar tanin pada tingkat percobaan untuk tahap produksi secara komersial. Sementara di Indonesia telah diteliti pembuatan perekat tanin dari kulit pohon Akasia (*Acacia decurrens* Willds), bakau (*Rhizophora* spp) dan tancang (*Prunilva* spp.) (Brandts, 1953; Santoso *et al.*, 1990; Santoso, 1998; Santoso dan Pari, 2000; Santoso *et al.*, 2001) dalam skala laboratorium untuk kayu lapis yang merupakan salah satu jenis produk kayu komposit.

Umumnya tanin yang digunakan dalam bentuk padatan, yang dalam proses mendapatkannya memerlukan suhu pemanasan $\leq 70^{\circ}\text{C}$, sehingga memakan waktu lama. Namun demikian hasil penelitian lain menunjukkan bahwa perekat berbasis tanin bisa dibuat dari bahan baku berupa cairan ekstrak tanin tanpa mengkristalkan taninnya terlebih dahulu, pada kondisi pH reaksi > 7 (basa) dengan mereaksikannya langsung dengan formaldehida sehingga terbentuk tanin formaldehida (TF) (Hindriani *et al.*, 2005). Dari bahan baku yang sama ternyata dapat pula dibentuk kopolimer dengan resorsinol sehingga terjadi tanin resorsinol formaldehida (TRF) yang dapat digunakan sebagai perekat Venir Lamina (Laminated Veneer Lumber (LVL)) dengan proses kempa dingin (Santoso, 2011).

Tulisan ini mengemukakan sintesis dan identifikasi perekat tanin resorsinol formaldehida (TRF) untuk perekat kayu. Karakterisasi formula optimum

dipelajari dengan pendekatan derajat kristalinitas dan sifat thermalnya masing-masing dengan menggunakan alat difraksi sinar-X dan diferensial thermal analisis. Karakter TRF sebagai perekat dibandingkan dengan perekat fenolik komersial.

2. BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: ekstrak tanin dari kulit kayu mangium (acacia mangium), resorsinol, formaldehida, phenol resorsinol formaldehida, NaOH dan bahan kimia lainnya. Alat yang diperlukan digunakan: seperangkat alat gelas (labu erlenmeyer; gelas kimia 100, 500 mL; gelas ukur 10, 25, 500 mL, cawan petri), batang pengaduk, pipet tetes, water bath, diferensial thermal analisis dan difraksi sinar-X.

Sintesis dan karakterisasi perekat tanin

Perekat yang dibuat adalah tanin resorsinol formaldehida (TRF) yang dibuat dengan cara: ekstrak cair tanin dicampur dengan NaOH 50% dalam gelas piala, diaduk pada suhu ruangan sampai homogen. Larutan tersebut kemudian dibubuhi dengan resorsinol sedikit demi sedikit dan diaduk sampai homogen lalu dikondisikan dengan NaOH 50% sampai pH mencapai 11. Kemudian ditambahkan larutan formaldehida 37% sambil diaduk. Kemudian larutan NaOH 10% dimasukkan, dan campuran diaduk lagi sampai pH larutan mencapai pH 11. Reaksi di atas dilakukan pada suhu kamar. Adapun komposisi bahan untuk perekat tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kopolimer tanin resorsinol formaldehida

Tanin cair (gram)	Resorsinol (mol)	Formaldehida (mol)
300	0	1
300	0,2	1
300	0,5	1
300	0,7	1
300	0,9	1
300	1,1	1

E-mail: jurnal.itekima@stack.ac.id

Karakterisasi Perekat Tanin

Penentuan formula optimum reaksi kondensasi antara tanin, resorsinol dan formaldehida dipelajari dengan mangacu kepada penelitian Santoso *et al.*, (2004), yaitu menggunakan metode difraksi sinar X (XRD) dan *differential thermal analysis* (DTA). Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan ulangan sebanyak 3 kali. Untuk melihat pengaruh faktor perlakuan berupa penambahan resorsinol terhadap variabel yang diukur (derajat kristalinitas dan suhu transisi pelelehan), maka dilakukan analisis keragaman dari data hasil pengamatan, menggunakan uji F, pada tingkat kepercayaan 95% atau 99% dengan membandingkan F-tabel dan F hitung. Bila F hitung > F tabel, berarti pengaruh perlakuan terhadap setiap respon yang diuji memberikan pengaruh nyata, maka selanjutnya dilakukan uji beda, yaitu dengan cara Duncan (Sudjana, 2006). Kualitas perekat tanin resorsinol formaldehida yang dengan formula yang optimum dibandingkan dengan perekat fenolik komersial (Akzonobel, 2001).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Formula Optimum Perekat Tanin dengan Cara Difraksi Sinar-X

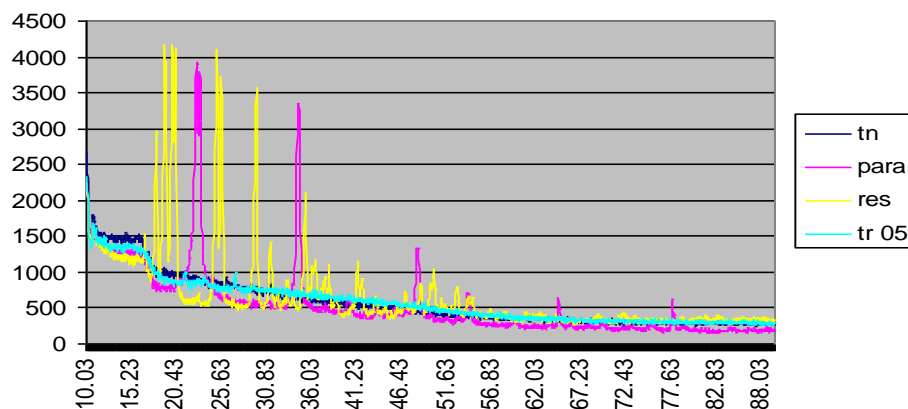
Ringkasan hasil analisis dari masing-masing reaktan yang digunakan dalam pembuatan perekat tanin resorsinol formaldehida dengan menggunakan difraksi sinar-X disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Derajat kekristalan reaktan & kopolimernya^{*)}

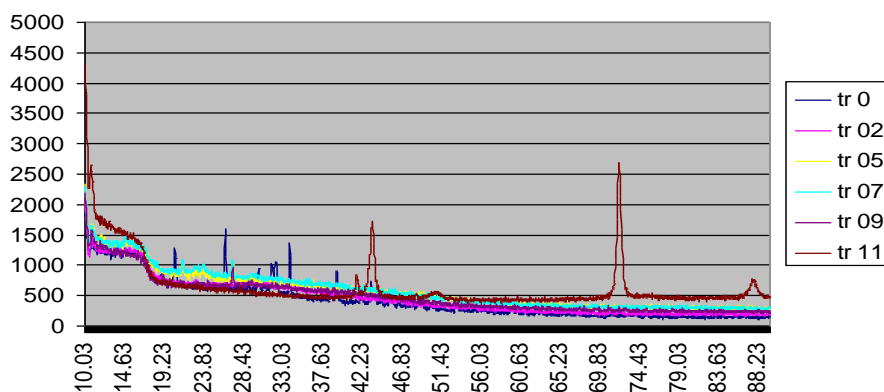
Contoh	Kristalinitas (%)
Tanin	42,89
Resorsinol	85,98
Paraformaldehida	69,18
Tanin formaldehida (TRF 0)	81,31
Tanin resorsinol formaldehida 02	44,59
Tanin resorsinol formaldehida 05	51,33
Tanin resorsinol formaldehida 07	69,20
Tanin resorsinol formaldehida 09	61,40
Tanin resorsinol formaldehida 11	54,24
<i>Phenol</i> resorsinol formaldehida	51,53

*Keterangan: *) rata-rata dari 3x ulangan*

Adanya pergeseran pita puncak dari posisi awal setiap reaktan terlihat dari hasil pencirian derajat kekristalan dengan difraksi sinar-X. Kristalinitas tanin 42,89%, paraformaldehida 69,18 %, resorsinol 85,98% dan 51,53% untuk perekat *phenol* resorsinol formaldehida (PRF). Pergeseran nilai kristalinitas di atas mengindikasikan terjadinya reaksi kopolimerisasi dengan derajat kekristalan yang bervariasi dari setiap komposisi yang dibuat. Derajat kekristalan kopolimer TRF yang tertinggi terjadi pada formula TRF (0) atau kontrol yaitu 81,31%, sedangkan yang terendah pada formula TRF 0,5 sebesar 51,33%. Karakterisasi kopolimer TRF dalam berbagai formula dengan menggunakan difraksi sinar-X yang dilakukan pada reaktan-reaktan penyusun kopolimer TRF, yang terdiri atas tanin, resorsinol, paraformaldehida dan perekat tanin resorsinol formaldehida sendiri dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2 berikut ini:



Gambar 1. Derajat kristalinitas kopolimer TRF dan reaktan-reaktannya



Gambar 2. Derajat kristalinitas kopolimer TRF pada berbagai formula

E-mail: jurnal.itekima@stack.ac.id

Analisis ragam (Tabel 3) dilakukan untuk mengetahui pengaruh formula terhadap derajat kristalinitas kopolimer TRF, yang hasilnya menunjukkan bahwa derajat kristalinitas kopolimer TRF dipengaruhi sangat nyata oleh formula atau komposisi reaktannya.

Tabel 3. Sidik ragam kristalinitas kopolimer TRF

Keterangan	<i>Sumber Keragaman</i>	<i>db</i>	<i>Jumlah Kuadrat</i>	<i>Kuadran Tengah</i>	<i>hitung</i>	<i>F</i>	
						<i>0,05</i>	<i>0,01</i>
: ** = sangat nyata	<i>Formula</i>	<i>5</i>	<i>2.655,88</i>	<i>531,17**</i>	<i>2.655,85</i>	<i>2,81</i>	<i>4,34</i>
	<i>Galat</i>	<i>12</i>	<i>0.0025</i>	<i>0,0002</i>			
	<i>Total</i>	<i>17</i>	<i>2.655,88</i>				

Hal ini diperkuat lagi dengan perhitungan uji beda (Tabel 4) yang memperlihatkan bahwa derajat kekristalan setiap kopolimer TRF yang dibuat satu dengan yang lain sangat berbeda nyata.

Tabel 4. Uji beda terhadap kristalinitas kopolimer TRF

<i>Parameter</i>	<i>Nilai rata-rata yang dibandingkan</i>					
<i>Kristalinitas (%)</i>	<i>TRF₀</i>	<i>TRF_{0,2}</i>	<i>TRF_{0,5}</i>	<i>TRF_{0,7}</i>	<i>TRF_{0,9}</i>	<i>TRF_{1,0}</i>
	<i>81,30</i>	<i>44,61</i>	<i>51,33</i>	<i>69,20</i>	<i>61,40</i>	<i>54,24</i>

Keterangan : TRF₀ = nisbah mol tanin: resorsinol : formaldehida = 1: 0: 1 (kontrol)

TRF_{0,2} = nisbah mol tanin: resorsinol : formaldehida = 1: 0,2 : 1

TRF_{0,5} = nisbah mol tanin: resorsinol : formaldehida = 1: 0,5 : 1

TRF_{0,7} = nisbah mol tanin: resorsinol : formaldehida = 1: 0,7 : 1

TRF_{0,9} = nisbah mol tanin: resorsinol : formaldehida = 1: 0,9 : 1

TRF_{1,1} = nisbah mol tanin: resorsinol : formaldehida = 1: 1,0 : 1

Berdasarkan Tabel 4 di atas nampak bahwa derajat kristalinitas tanin formaldehida sangat tinggi, hal ini mengindikasikan polimer tersebut memiliki struktur yang didominasi oleh rantai-rantai dengan keteraturan yang tinggi, dan memiliki gaya antar rantai yang cukup kuat, sehingga rantai atau bagian rantai dapat saling mendekati secara sejajar membentuk daerah berkrystal dengan demikian polimer ini memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi (tidak elastis).

E-mail: jurnal.itekima@stack.ac.id

Tarikan antar rantai ini terjadi salah satunya diakibatkan oleh ikatan hidrogen (Cowd, 1991).

Penambahan resorsinol berakibat menurunkan derajat kristalinitas, hal ini mengindikasikan bereaksinya resorsinol dengan formaldehida berlebih dalam senyawa tersebut sehingga terbentuk kopolimer tanin resorsinol formaldehida. Turunnya derajat kristalinitas ini mengindikasikan pula terbentuknya ketidakteraturan dalam struktur rantai, misalnya percabangan, dan akan berakibat menghambat rantai untuk saling mendekati, sehingga kekristalan menjadi terbatas (Cowd, 1991). Fenomena di atas sangat mempengaruhi sifat polimer, sehingga menjadi lebih bersifat kenyal (regang). Hal ini menguntungkan bagi kopolimer TRF untuk aplikasi perekat, karena yang diperlukan dalam perekatan bukan sekedar kekakuan atau kekuatannya, melainkan diperlukan rantai cabang guna menghambat atau membatasi gerakan antar rantai untuk saling mendekati, sehingga diharapkan setelah terjadi “pematangan” perekat tidak bersifat getas (Santoso, 2003).

Dari kopolimer TRF yang dibuat dalam berbagai formula, maka komposisi tanin : resorsinol : formaldehida = (1:0,5:1) mol nampaknya yang paling mendekati derajat kekristalan PRF yang digunakan sebagai perekat pembanding. dengan demikian diharapkan kopolimer ini memiliki sifat yang terbaik bila dibandingkan dengan komposisi mol kopolimer TRF lainnya yang dibuat dalam penelitian ini.

Identifikasi Formula Optimum Perekat Tanin dengan Cara Diferensial Thermal Analysis

Hasil analisis dengan *differential thermal analyzer* yang disajikan dalam Tabel 5 dan termogram (Gambar 3 dan Gambar 4) menunjukkan bahwa suhu transisi pelelehan yang terjadi mengalami pergeseran dari masing-masing reaktan pembentuk kopolimernya, sama halnya seperti derajat kekristalan. Suhu pelelehan tanin, resorsinol, formaldehida, TRF dan PRF yang masing-masing tercantum pada tabel tersebut menunjukkan suhu transisi pelehan sebesar 230,47 °C,

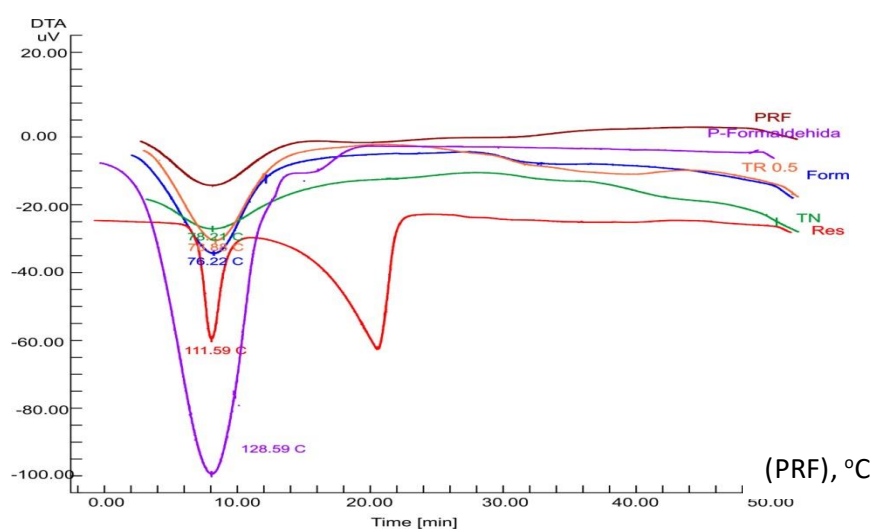
E-mail: jurnal.itekima@stack.ac.id

resorsinol sebesar 226,86 °C, paraformaldehida sebesar 128,59 °C dan PRF sebesar 273,04 °C. Setiap penambahan resorsinol pada formula kopolimer yang diteliti mem-perlihatkan pergeseran suhu transisi pelelehan kopolimer yang bersangkutan, di mana suhu transisi pelelehan terendah terjadi pada kontrol TRF(1:0:1) 124,65 °C yang tertinggi pada TPF(1:0,5:1) yaitu 277,14 °C.

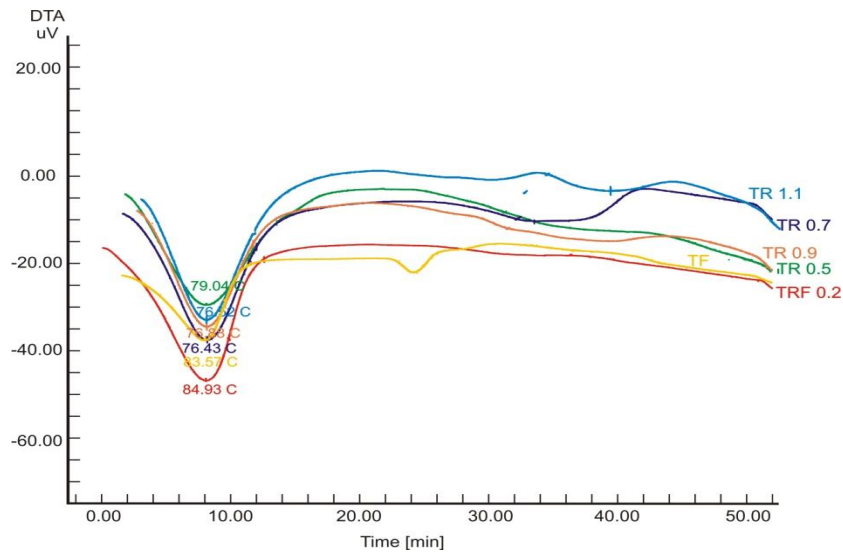
Tabel 5. Suhu transisi pelelehan (°C) reaktan kopolimer dan pembandingnya

Contoh	Suhu transisi pelelehan (°C)
Tanin	230,47
Resorsinol	226,86
Paraformaldehida	128,59
Tanin formaldehida (TRF 0)	124,65
Tanin resorsinol formaldehida 02	228,08
Tanin resorsinol formaldehida 05	277,14
Tanin resorsinol formaldehida 07	265,84
Tanin resorsinol formaldehida 09	254,44
Tanin resorsinol formaldehida 11	236,33
<i>Phenol</i> resorsinol formaldehida	273,04

Keterangan: *) rata-rata dari 3x ulangan



Gambar 3. Thermogram pelelehan kopolimer TRF dan reaktan-reaktannya



Gambar 4. Thermogram pelelehan kopolimer TRF pada berbagai formula

Analisis ragam dilakukan untuk mengetahui pengaruh formula terhadap suhu transisi pelelehan (Tabel 6). Berdasarkan tabel tersebut diketahui bahwa suhu transisi pelelehan kopolimer TRF dipengaruhi sangat nyata oleh formulanya. Suhu transisi pelelehan kopolimer TRF yang dibuat dalam berbagai formula sampai batas tertentu terlihat meningkat seiring dengan bertambahnya resorsinol.

Tabel 6. Sidik ragam transisi pelelehan perekat tanin

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Kuadran Tengah	F	
				Hitung	0,05 0,01
Formula	5	45.625,80	9.125,16**	16.391,52	2,81 4,34
Galat	12	0,6681	0,5567		
Total	17	45.626,47			

Keterangan: ** = sangat nyata

Hal ini diperkuat lagi dengan perhitungan uji beda (Tabel 7) yang memperlihatkan bahwa suhu transisi pelelehan dari setiap kopolimer TRF yang dibuat satu dengan yang lain sangat berbeda nyata. Suhu ini berkaitan erat dengan daerah amorf polimer, dan menyebabkan polimer berubah dari zat yang keras dan mudah hancur seperti kaca menjadi zat yang lunak dan kenyal seperti karet

E-mail: jurnal.itekima@stack.ac.id

dengan naiknya suhu. Dalam polimer yang amorf, pada suhu di bawah fase transisi pelelehan, rantai yang amorf ini membeku pada kedudukan tertentu dan polimer bersifat seperti kaca atau rapuh. Dengan naiknya suhu hingga mendekati fase transisi pelelehan, bagian-bagian rantai dapat bergerak, di atas suhu tersebut polimer menjadi lebih kenyal. Polimer yang amorf seperti kopolimer TRF, mempunyai daerah berkrystal dengan derajat kekrystalan dan suhu transisi pelelehan tertentu (Cowd, 1991).

Tabel 7. Uji beda suhu transisi pelelehan kopolimer TRF

<i>Parameter</i>	<i>Nilai rata-rata yang dibandingkan</i>					
Suhu transisi pelelehan (°C)	<i>TRF₀</i>	<i>TRF_{0,2}</i>	<i>TRF_{0,5}</i>	<i>TRF_{0,7}</i>	<i>TRF_{0,9}</i>	<i>TRF_{1,0}</i>
	124,65	228,08	277,14	265,84	253,77	236,33

Keterangan : TRF₀ = nisbah mol tanin: resorsinol : formaldehida = 1: 0: 1 (kontrol)

TRF_{0,2} = nisbah mol tanin: resorsinol : formaldehida = 1: 0,2 : 1

TRF_{0,5} = nisbah mol tanin: resorsinol : formaldehida = 1: 0,5 : 1

TRF_{0,7} = nisbah mol tanin: resorsinol : formaldehida = 1: 0,7 : 1

TRF_{0,9} = nisbah mol tanin: resorsinol : formaldehida = 1: 0,9 : 1

TRF_{1,1} = nisbah mol tanin: resorsinol : formaldehida = 1: 1,0 : 1

Berdasarkan thermogram diperoleh suhu transisi pelelehan dari masing-masing komposisi kopolimer yang dibuat, dengan mengacu kepada perekat *phenol* formaldehida (PRF), komposisi kopolimer yang paling mendekati standar adalah kopolimer yang dibuat dengan nisbah mol tanin : resorsinol : formaldehida = 1 : 0,5 : 1 dengan suhu transisi pelelehan: 277,14 °C. Dengan membandingkan kedua parameter yang diuji di atas maka kopolimer yang derajat kristalinitas dan suhu transisi pelelehannya paling mendekati standar PRF adalah kopolimer TRF 0,5.

Karakterisasi Perekat TRF pada Formula Optimum

Setelah formula optimum kopolimer diperoleh yaitu TRF05, selanjutnya dilakukan pengujian sifat fisis-kimianya (Tabel 8). Berdasarkan hasil pengamatan secara visual, kopolimer TRF05 ini merupakan cairan berwarna coklat kehitaman dan berbau khas seperti fenol.

E-mail: jurnal.itekima@stack.ac.id

Tabel. 8. Karakteristik kopolimer TRF pada formula optimum

Pengujian	TRF	Standar (Perekat PRF)
Keadaan	(+)	(+)
Bahan Asing	(-)	(-)
Waktu Tergelatin (menit))	100,5	85
Kadar resin padat (%)	32,72	57,03
Viskositas ($\pm 1^{\circ}\text{C}$), (poise)	0,88	3,4
Keasaman (pH)	10,62	8,0
Bobot jenis	1,14	1,15
Formaldehida bebas (%)	0,30	0,04

Keterangan : *) Sumber: SNI (1998);

(+) Cairan berwarna coklat sampai hitam, berbau khas (-) Tidak ada

Dalam contoh kopolimer ini tidak ditemukan adanya benda asing atau kotoran. Kadar resin padatnya sebesar 32,72%, jauh di bawah kadar resin padat pada perekat standar (PRF) yaitu 57,03%. Kadar resin padat yang tinggi menggambarkan peningkatan jumlah molekul dalam kopolimer, yang diduga akan berperan dalam reaksi antara perekat dengan adheren. Waktu tergelatin dari kopolimer ini adalah 100,5 menit, yang jauh lebih lama daripada waktu tergelatin perekat PRF yaitu 85 menit, hal ini dapat menguntungkan karena umur pakai kopolimer dapat menjadi lebih lama (Santoso *et al.*, 2004).

Viskositas atau kekentalan perekat dapat juga mempengaruhi lamanya waktu pengerasan perekat. Perekat TRF05 yang dibuat ini memiliki viskositas 0,88 poise, nilai ini jauh lebih encer dibandingkan viskositas perekat standar PRF (3,4 poise). Perekat yang terlalu kental akan cepat mengeras sehingga kurang menguntungkan karena lama waktu pengerasan ini diperlukan pada saat melaburkan perekat sehingga perekat dapat mengalir menyelimuti permukaan adheren dengan sempurna sehingga reaksi antara perekat dengan adheren dapat berjalan dengan baik dan ikatan yang terbentukpun menjadi lebih kuat (Santoso, 2003).

Bobot jenis perekat yang dibuat adalah 1,14, sementara standar perekat PRF adalah 1,15. Perekat TRF ini sengaja dibuat dalam kondisi basa (10,62) dengan harapan dapat memperlambat reaksi pematangan (kopolimerisasi) perekat

sehingga perekat cair dapat stabil dalam waktu yang relatif lama sewaktu penyimpanan (Santoso, 2003).

Kadar formaldehida bebas mengindikasikan adanya kelebihan formaldehida yang tidak bereaksi dalam pembentukan suatu polimer (SNI, 1998). Penetapan ini dilakukan dengan tujuan mengetahui jumlah kelebihan formaldehida yang tidak bereaksi dalam pembentukan resin TRF, dan tingkat emisi yang mungkin terjadi sebagai akibat formaldehida yang dilepaskan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa formaldehida bebas TRF05 berada dalam batas aman karena kurang dari 1% seperti yang disyaratkan bagi perekat fenolik yang mengandung formaldehida (SNI, 1998), sementara perekat pembandingnya 0,04%.

4. KESIMPULAN

Formula optimum kopolimer tanin resorsinol formaldehida (TRF) untuk perekat kayu dapat diidentifikasi dengan metode difraksi sinar-X dan *differential thermal analysis*. Derajat kristalinitas dan suhu transisi pelelehan kopolimer TRF dipengaruhi oleh komposisi perbandingan mol tanin, resorsinol, dan formaldehida. Penambahan resorsinol yang semakin meningkat pada tanin dan formaldehida mengakibatkan derajat kristalinitas dan suhu transisi pelelehan TRF bergeser hingga mencapai nilai yang relatif sama dengan derajat kristalinitas (51%) dan suhu transisi pelelehan (277 °C) perekat komersial *phenol* resorsinol formaldehida. Komposisi optimum kopolimer yang paling mendekati standar adalah kopolimer yang dibuat dengan nisbah mol tanin : resorsinol : formaldehida = 1 : 0,5 : 1. Kopolimer TRF tersebut berbentuk cairan berwarna cokelat sampai hitam, berbau khas, dengan waktu tergelatin 100,5 menit, kadar resin padat 32,72 %, viskositas 0,88 poise, pH 10,62, bobot jenis 1,14, dan kadar formaldehida bebas 0,30.

DAFTAR PUSTAKA

- Akzonobel. 2001. Synteko Phenol-resorcinol Adhesive 1711 with Hardeners 2620, 2622, 2623. Jakarta. Casco Adhesive (Asia).
- Achmadi SS, & Aryetti. 1993. Keragaman Tanin *Acacia Mangium* Dibandingkan Tanin Mimosa sebagai Perekat Kayu lapis. Lembaga Penelitian IPB.
- Brandts THG. 1953. Mangrove Tannin Formaldehyde Resin as Hot Press Pywood Adhesives. Pengumuman No. 37. LPHH. Bogor.
- Cowd MA. 1991. Kimia Polimer. Terjemahan. ITB. Bandung.
- Hindriani H, Pradono DI, & Santoso A. 2005. Sintesis dan pencirian kopolimer tanin fenol formaldehida dari ekstrak kulit pohon mangium (*Acacia mangium*) untuk perekat papan partikel. Prosiding Simposium Nasional Polimer V, 22 Nopember, Bandung : 56 – 63.
- Iskandar MI, Santoso A, & Wiyantina N. 2017. Pemanfaatan Lignin dari Lindi Hitam sebagai Perekat Kayu Komposit. *Jurnal ITEKIMA* 1(1):8 – 16.
- Santoso A. 2003. Sintesis dan Pencirian Resin Lignin Resorsinol Formaldehida untuk Perekat Kayu Lamina. Program Pascasarjana IPB. Disertasi. Tidak diterbitkan.
- Santoso A. 2005. Kulit mangium sebagai sumber tanin untuk perekat. Prosiding Seminar Hasil Litbang Hasil Hutan, 30 Nopember, Bogor: 165 – 175.
- Santoso A, R Memed dan P Sutigno. 1990. Pengaruh Berat Labur dan Kadar Pengisi Tanin Formaldehida terhadap keteguhan Rekat Kayu Lapis. *Jurnal PHH* 3 (9) : 111-114.
- Santoso A 1998. Penelitian Pemanfaatan Tanin Sebagai Perekat Kayu lapis. Proceedings, Seminar Nasional I-MAPEKI 24- Maret-1998. Fahutan IPB, Bogor.
- Santoso, A. 2011. Tanin dan Lignin dari *Acacia mangium* Willd. sebagai Bahan Perekat Kayu Majemuk Masa Depan. Orasi pengukuhan profesor riset bidang pengolahan hasil hutan tanggal 25 Oktober 2011 Jakarta: Badan Litbang Kehutanan, Kementerian Kehutanan.

- Santoso A dan G. Pari. 2000. Pemanfaatan Tanin dari kulit Pohon Mangium sebagai Perkat Kayu Lapis. Makalah penunjang pada seminar “Konservasi Lingkungan melalui Efisiensi Pemanfaatan Biomassa Hukum” tanggal 13 November di Yogyakarta.
- Santoso A, Sutigno P, & Krisnandi AK. 2001. Pemanfaatan Tanin Akasia (*Acacia decurrens*) sebagai Perkat Kayu Lapis Tusam (*Pinus merkusu*). *Jurnal Nusa Kimia* 1 (1) : 17-25.
- Santoso A, Ruhendi S, Hadi YS, & Achmadi S. 2004. Isolasi dan Karakterisasi Lignin dari Lindi Hitam untuk Bahan Perkat Kayu Kempa Dingin. *Majalah IPTEK* 15 (3): 68 – 75.
- Santoso A, Hadi YS, & Malik J. 2014. Composite Flooring Quality of Combined Wood Species Using Adhesive from Merbau Wood Extract. *Forest Products Journal*. 64(5/6): 179 -186.
- Sudjana. 2006. *Desain dan Analisis Eksperimen*. Bandung: Tarsito.