

APLIKASI KOPOLIMER TANIN RESORSINOL FORMALDEHIDA UNTUK MENINGKATKAN SIFAT FISIS-MEKANIS BAGIAN LUNAK KAYU KELAPA

(Application of Tannin Resorcinol Formaldehyde Copolymer for Physical-mechanical Improvement of Coconut Wood Inner part)

Oleh/By:

Adi Santoso & Barly

ABSTRACT

Copolymer application is one of the efforts on improvement of wood quality. This research is conducted by vacuum-pressure method with tannin resorcinol formaldehyde (TRF). The criteria of wood quality tested, i.e.: density, hardness and impregnability.

The result indicate that quality of wood can be improved by vacuum-pressure method using TRF copolymer at 35 %, and 0.3 poise of viscosity, applying the following treatment schedule: initial vacuum 720 mm Hg for 15 minutes, and hydraulic pressure 4 times at 11 atm 15 minutes, respectively.

After treated with TRF copolymer, properties of wood improved in the case of density (26-53 %), hardness (the parallel of fiber 23-128 %, the fiber perpendicular 19-165 %), and the impregnability (the parallel of fiber 9-25 %, the fiber perpendicular 3-85 %). The physical-mechanical properties of wood after treatment equivalent with wood strength class of I – II.

Keywords: Coconut wood, physical-mechanical properties, impregnation

ABSTRAK

Penggunaan kopolimer merupakan salah satu upaya dalam peningkatan kualitas kayu. Penelitian penggunaan kopolimer dilakukan dengan cara vakum-tekan pada bagian lunak kayu kelapa menggunakan kopolimer tanin resorsinol formaldehida (TRF). Pengujian kualitas kayu meliputi kerapatan, kekerasan dan keteguhan tekannya.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas bagian lunak kayu kelapa dapat ditingkatkan dengan menggunakan kopolimer TRF pada konsentrasi 35 %, dan kekentalan 0,3 poise dengan vakum awal 720 mm Hg selama 15 menit, dan tekanan hidraulik 4 kali pada 11 atm masing-masing 15 menit.

Bagian lunak kayu kelapa yang diberi perlakuan kopolimer TRF mengalami peningkatan kerapatan (26-53 %), kekerasan sejajar serat (23-128 %), tegak lurus serat (19-165 %), dan keteguhan tekan sejajar serat (9-25 %), keteguhan tekan tegak lurus serat (3-85 %). Kualitas bagian lunak kedua jenis kayu kelapa setelah diberi TRF setara dengan kayu rimba kelas kekuatan I – II.

Kata kunci: Kayu kelapa, sifat fisik-mekanis, impregnasi, tanin

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan kayu bulat tiap tahun diperkirakan mencapai 86,6 juta m³, sedangkan ketersediaannya hanya 29,9 juta m³ sehingga terjadi kekurangan pasokan sebanyak 56,7 juta m³ atau sekitar 190 % (Mulyadi, 2000). Kekurangan kayu bulat dalam jumlah yang sangat besar akan berakibat negatif terhadap kelestarian hutan.

Beberapa alternatif pemenuhan kebutuhan kayu bulat telah banyak dilakukan antara lain dengan penggunaan kayu kurang dikenal, kayu berdiameter kecil, kayu dari hutan rakyat dan hutan tanaman industri serta kayu perkebunan, seperti kelapa, sawit dan karet. Potensi kayu perkebunan cukup besar dengan aksesibilitas yang tinggi dan bentuk morfologi batang yang bagus sehingga pemanfaatan kayu perkebunan misalnya kelapa merupakan salah satu alternatif yang menjanjikan.

Bagian keras batang kelapa (*Cocos nucifera* L.) telah banyak dimanfaatkan, baik sebagai bahan struktural maupun non struktural seperti mebel, alat perkakas, mainan dan peti. Sementara itu bagian lunaknya masih jarang digunakan. Hal ini disebabkan kerapatan, stabilitas dimensi, kekuatan dan keawetan bagian lunak

batang kelapa sangat rendah. Oleh karena itu untuk dapat dimanfaatkan dengan baik, diperlukan penanganan khusus agar dapat dihasilkan produk yang berkualitas tinggi. Menurut Haygreen dan Bowyer (1982) untuk mengatasi perubahan dimensi dapat ditempuh dengan cara: melapisi dinding sel dengan resin fenol formaldehida atau polietilena glikol, polimerisasi radiasi dengan monomer plastik seperti metakrilat dan stirena-akrilkonitril.

Tulisan ini mengemukakan hasil penelitian tentang upaya peningkatan sifat fisis bagian lunak batang kelapa yang terdapat pada bagian pangkal, tengah dan ujung dari dua varietas, yaitu kelapa dalam dan kelapa hibrida melalui perlakuan vakum-tekan menggunakan kopolimer tanin resorsinol formaldehida.

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa bagian lunak pada bagian pangkal, tengah dan ujung batang kelapa dari dua varietas, yaitu kelapa hibrida (*hibrida coconut*) dan kelapa dalam (*tall coconut*) yang masing-masing berumur 18 tahun. Batang kelapa tersebut diperoleh dari Balai Penelitian Kelapa, Parungkuda - Jawa Barat. Pengambilan batang kelapa dilakukan dalam rangka penelitian penyempurnaan sifat dan kegunaan batang kelapa, yang salah satu kegiatannya adalah peningkatan kekerasan kayu.

Sebagai kopolimer digunakan tanin resorsinol formaldehida (TRF) dengan spesifikasi seperti tercantum pada Tabel 1. Alat yang digunakan antara lain gergaji, timbangan listrik, kaliper, alat vakum tekan, oven, eksikator dan alat tulis.

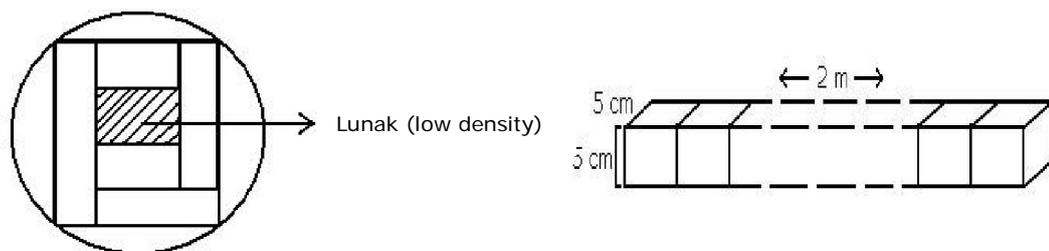
Tabel 1. Sifat kopolimer TRF
Table 1. Properties of TRF copolymer

Sifat (<i>Properties</i>)	Kopolimer TRF (<i>TRF co-polymer</i>)
Keadaan (<i>Appearance</i>)	(+)
Waktu tergelatin (<i>Gelatinous time</i>), menit (<i>minute</i>)	155
Kadar resin padat (<i>Solid content</i>), %	35,37
Viskositas (<i>Viscosity</i>) ($25 \pm 1^\circ\text{C}$), poise	0,3
Keasaman (<i>Acidity</i>), pH	11,0
Bobot jenis (<i>Specific gravity</i>)	1,08

Keterangan (*Remarks*): (+) Cairan, berwarna coklat - hitam, berbau khas fenol
(liquid, brown-black, specific phenol smell)

B. Metode

Untuk keperluan penelitian ini setiap varietas disediakan masing-masing satu pohon, terdiri atas tiga dolok, yaitu bagian pangkal, tengah dan ujung dengan panjang masing-masing 2 m. Dolok digergaji dengan pola seperti pada Gambar 1.

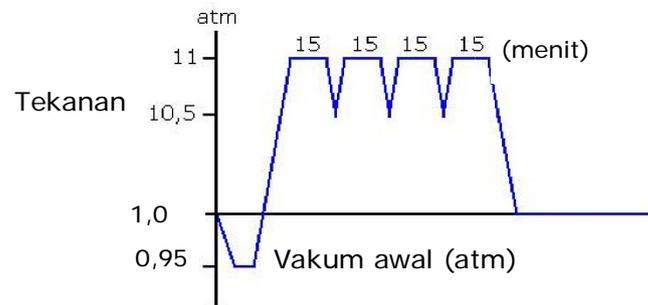


Gambar 1. Pola penggergajian

Figure 1. Cutting pattern

Contoh uji berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm, dari bagian pangkal, tengah dan ujung masing-masing 6 buah. Setiap varietas tersedia 18 buah, sehingga jumlah contoh uji seluruhnya sebanyak 36 buah. Contoh uji selanjutnya diukur dimensinya (panjang, lebar, tebal), volume dan ditimbang beratnya. Setelah TRF cair disiapkan, contoh dimasukkan ke dalam wadah yang terbuat dari botol air mineral berukuran 1,5 liter, bagian atasnya diberi pemberat. Kemudian resin TRF cair dengan konsentrasi 35,37%

dimasukkan ke dalam wadah tersebut sampai seluruh permukaan contoh terendam. Selanjutnya dimasukkan ke dalam tabung alat vakum-tekan, ditutup rapat dan diberi perlakuan vakum-tekan berganti dengan bagan sebagai berikut:



Gambar 2. Bagan perlakuan
Figure 2. Treatment schedule

Keterangan (*Remarks*):

Vakum awal (*Initial vacuum*) 72 cm Hg (0,95 atm), 15 menit (*minutes*)

Tekanan hidraulik (*Hydraulic pressure*) 4 kali pada (*times at*) 11,0 atm, 15 menit (*minutes*)

Setelah proses vakum-tekan selesai, contoh uji ditiriskan sampai tidak ada cairan yang menetes, lalu ditimbang untuk mengetahui banyaknya larutan yang diserap. Retensi TRF ditetapkan dengan cara menghitung selisih bobot sebelum dan sesudah perlakuan, yang dinyatakan dalam kg/m^3 . Selanjutnya contoh uji dikeringkan di dalam oven pada suhu $50\text{ }^\circ\text{C}$ selama 24 jam dan dilanjutkan pada suhu $103 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ sampai tercapai berat kering tanur. Pada setiap tahap dilakukan pengukuran dimensi dan penimbangan beratnya.

Pangujian sifat fisis terhadap contoh uji meliputi: kerapatan, retensi, keteguhan tekan dengan metode Eropa dan kekerasan menggunakan metode JANKA (Marta-wijaya *et al.*, 1981). Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap dengan percobaan faktorial, terdiri atas 3 faktor, yaitu A, B dan C. Faktor A adalah varietas (kelapa dalam dan hibrida), faktor B adalah jenis perlakuan (kontrol dan impregnasi),

dan faktor C adalah bagian batang (pangkal, tengah, dan ujung). Untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan, dilakukan uji beda cara Tukey (Steel dan Torrie, 1991).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai rata-rata dari 6 ulangan hasil pengujian kualitas kedua varietas kelapa yang terdiri atas kerapatan, retensi, keteguhan tekan dan kekerasan disajikan dalam Tabel 2. Sifat fisik kedua varietas kelapa yang diberi perlakuan kopolimer TRF pada umumnya mengalami penambahan berat bila dibandingkan dengan tanpa perlakuan (kontrol). Hal ini menunjukkan bahwa kopolimer TRF dengan kadar padat 35,37 %, bobot jenis 1,08 dan kekentalan 0,3 poise (Tabel 1) dapat memasuki dan mengisi celah kosong yang ada dalam kayu kelapa, serta mampu menembus pori kayu dengan baik dan membentuk ikatan yang optimum, sehingga kayu menjadi lebih padat.

Tabel 2. Sifat kayu kelapa sebelum dan sesudah perlakuan

Table 2. Properties of coconut wood before and after treatment

Sifat (<i>Properties</i>)		Varietas kelapa (<i>Coconut variety</i>)						
		Dalam (<i>Tail</i>)			Hibrida (<i>Hybrid</i>)			
		Pangkal (<i>Bottom</i>)	Tengah (<i>Middle</i>)	Ujung (<i>Edge</i>)	Pangkal (<i>Bottom</i>)	Tengah (<i>Middle</i>)	Ujung (<i>Top</i>)	
Retensi (<i>Retention</i>), kg/m ³		25,57	27,64	63,34	29,23	32,44	47,06	
Kerapatan (<i>Density</i>), g/cm ³	K	0,87	0,86	0,47	0,77	0,72	0,51	
	P	1,10	1,10	0,72	1,00	0,95	0,75	
Kekerasan (<i>Hardness</i>), kg/cm ²	K	<i>II</i>	571	550	274	545	434	243
			327	315	167	545	280	120
	P	<i>II</i>	865	863	365	673	659	555
			494	411	365	495	443	318
Keteguhan tekan (<i>impregnability depress</i>), kg/cm ²	K	<i>II</i>	812,54	781,69	307,60	603,81	559,63	303,55
			191,41	147,67	63,25	193,97	149,00	69,56
	P	<i>II</i>	858,64	815,57	359,26	758,00	641,19	377,16
			238,42	221,42	117,04	159,18	159,59	71,65

Keterangan (*Remarks*): K = kontrol (*Control*); P = perlakuan (*Treatment*).

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa banyaknya kopolimer TRF yang mengisi celah kosong yang ada dalam kayu kelapa berkisar antara 25,57- 63,34

kg/cm² (Tabel 2) dan cenderung meningkat dengan semakin lunaknya bagian kayu kelapa. Hal ini berkenaan dengan kerapatan dari masing-masing letak pada bagian lunak batang kelapa tersebut; bagian lunak pangkal kayu kelapa memiliki kerapatan yang lebih tinggi (kelapa dalam: 0,87 g/cm³, kelapa hibrida: 0,77 g/cm³) daripada bagian tengah (kelapa dalam: 0,86 g/cm³, kelapa hibrida: 0,72 g/cm³), kecuali pada bagian ujung (kelapa dalam: 0,47 g/cm³, kelapa hibrida: 0,51 g/cm³) sehingga kopolimer TRF yang meskipun pada bagian pangkal lebih sedikit dibandingkan dengan pada bagian tengah atau ujung.

Kerapatan dari kedua varietas kelapa pada setiap bagian yang diamati mengalami peningkatan setelah diberi perlakuan impregnasi. Nilai rata-rata sebelum perlakuan dari bagian ujung ke pangkal berkisar antara 0,47-0,87 g/cm³ (kelapa dalam) dan 0,51-0,77 (kelapa hibrida), sementara setelah perlakuan mengalami peningkatan sekitar 26 -53 %, yakni berkisar antara 0,72-1,10 g/cm³ (kelapa dalam) dan 0,75-1,00 (kelapa hibrida). Kecenderungan ini sejalan dengan hasil penelitian Santoso *et al.*, (2002) yang melakukan hal serupa terhadap kayu sawit, menggunakan resin fenol formal-dehida pada konsentrasi 30 % dengan waktu vakum 30 menit.

Bila dibandingkan dengan kayu asal hutan alam, nilai kerapatan kedua varietas kelapa yang telah diberi perlakuan kopolimer TRF ini setara bahkan lebih tinggi daripada kayu jati (*Tectona grandis*, L.f) (0,67 g/cm³), pasang (*Lithocarpus* sp.) (Martawijaya *et al.*, 1981) dan kempas (*Koompassia malaccensis* Maing.) (0,95 g/cm³) (Martawijaya *et al.*, 1989). Peningkatan kerapatan mengindikasikan bahwa kopolimer TRF membentuk polimer dengan molekul-molekul selulosa kayu kelapa sehingga kayu menjadi bertambah padat dan berat, ini diperkuat dengan sebagian besar contoh uji tenggelam dalam air.

Indikasi terjadinya ikatan antar dan inter molekul impregnan TRF dengan kedua varietas kelapa ditunjukkan pula dengan meningkatnya nilai kekerasan dan

kekuatan. Kekerasan sejajar serat (Tabel 2) kedua varietas sebelum perlakuan masing-masing berkisar antara 274-571 kg/cm² (kelapa dalam, dari ujung ke pangkal) dan 243-545 kg/cm² (kelapa hibrida, dari ujung ke pangkal), setelah perlakuan meningkat rata-rata 51-70% (kelapa dalam, dari pangkal ke ujung) dan 23-128% (kelapa hibrida, dari pangkal ke ujung). Parameter yang sama untuk tegak lurus serat (Tabel 2) sebelum perlakuan masing-masing berkisar antara 167-327 kg/cm² (kelapa dalam dari ujung ke pangkal) dan 120 - 545 kg/cm² (kelapa hibrida, dari ujung ke pangkal), setelah perlakuan meningkat rata-rata 51-118 % (kelapa dalam, dari pangkal ke ujung) dan 19 -165 % (kelapa hibrida, dari pangkal ke ujung). Seperti halnya dengan kerapatan, kekerasan varietas kelapa dalam (467-865 kg/cm²) maupun kayu kelapa hibrida (555- 673 kg/cm²) yang masing-masing diberi perlakuan TRF, nilainya setara bahkan lebih tinggi dibandingkan dengan kayu jati (414-428 kg/cm², kelas kuat II), pasang (585-700 kg/cm², kelas kuat I - II) (Martawijaya *et al.*, 1981) dan kempas (610-785 kg/cm², kelas kuat I - II) (Martawijaya *et al.*, 1989).

Keteguhan tekan sejajar serat sebelum perlakuan pada kayu kedua varietas kelapa (Tabel 2) rata-rata berkisar antara 307,60-813,21 (kelapa dalam, dari ujung ke pangkal) dan 303,55-603,81 kg/cm² (kelapa hibrida, dari ujung ke pangkal), setelah perlakuan meningkat rata-rata 9-17 % (kelapa dalam, dari pangkal ke ujung) dan 24-25 % (kelapa hibrida, dari ujung ke pangkal). Parameter yang sama untuk tegak lurus serat (Tabel 2) sebelum perlakuan masing-masing berkisar antara 63,25-191,41 kg/cm² (kelapa dalam, dari ujung ke pangkal) dan 69,56-193,97 kg/cm² (kelapa hibrida, dari ujung ke pangkal), setelah perlakuan meningkat rata-rata 24-85% (kelapa dalam, dari pangkal ke ujung) dan 3-5% (kelapa hibrida, dari ujung ke pangkal). Nilai keteguhan tekan sejajar serat kayu lunak pada kelapa dalam bagian tengah dan pangkal serta kelapa hibrida pada bagian yang sama masing-masing lebih besar dibandingkan dengan dengan nilai keteguhan tekan sejajar serat kayu jati (550

kg/cm², kelas kuat II), pasang (539 kg/cm², kelas kuat I - II) (Martawijaya *et al.*, 1981) dan kempas (737 kg/cm², kelas kuat I - II) (Martawijaya *et al.*, 1989), sementara kedua varietas kayu kelapa lunak pada bagian ujung lebih rendah daripada ketiga jenis kayu dari hutan alam tersebut.

Hasil analisis ragam (Tabel 3) memperlihatkan bahwa bagian batang (ujung, tengah dan pangkal) dari kedua varietas batang kelapa sangat berpengaruh nyata, yang menurut perhitungan pembagian jumlah kuadrat masing-masing perlakuan terhadap total, maka proporsi pengaruh faktor-faktor tersebut terhadap kemampuan menyerap TRF adalah 79,85 %, terhadap kerapatan 55,71%, terhadap kekerasan (sejajar serat = 51,29 %; tegak lurus serat = 40,35 %), dan terhadap keteguhan tekan (sejajar serat = 80,62 %; tegak lurus serat = 62,70 %). Demikian pula perlakuan impregnasi dengan kopolimer TRF memberikan pengaruh yang sangat nyata dengan proporsi masing-masing terhadap kerapatan 34,95 %, kekerasan (sejajar serat = 27,22 %; tegak lurus serat = 36,92 %), dan keteguhan tekan (sejajar serat = 3,20 %; tegak lurus serat = 8,24 %), sementara proporsi pengaruh interaksi antara perlakuan tersebut terhadap parameter yang diukur, relatif kecil (0,01-11,91 %).

Berdasarkan uraian di atas dapat dikemukakan bahwa perlakuan impregnasi dengan TRF pada bagian lunak kayu kelapa dengan larutan kopolimer TRF dengan bagan yang dicoba, mampu meningkatkan kualitas kayu tersebut dalam hal kerapatan, kekerasan dan keteguhan tekan yang hasilnya lebih tinggi dibandingkan dengan jati atau setara dengan beberapa jenis kayu rimba seperti kempas dan pasang. Dengan demikian bagian lunak kayu kelapa tersebut berpotensi untuk menggantikan peran kayu rimba, misalnya sebagai tiang pancang, bantalan rel kereta api, konstruksi bangunan, dan lain-lain.

Tabel 3. Sidik ragam sifat fisik kayu kelapa

Table 3. Analysis of variance of physical properties of coconut wood

Sifat (Properties)	Sumber keragaman (Source of variation)	F _{hitung} (F _{calculation})	Proporsi (Proportion), %
Retensi (Retention), %	Varietas kelapa (<i>Coconut varietas</i>), A	3,53	0,86
	Bagian batang (<i>part of shaft</i>), B	162,63 **	79,85
	Interaksi (Interaction), AB	24,26 **	11,91
Kerapatan (Density), g/cm ³	Varietas kelapa (<i>Coconut varietas</i>), A	102,34 **	3,11
	Jenis perlakuan (Treatment type), B	1.151,50 **	34,95
	Bagian batang (<i>part of shaft</i>), C	919,04 **	55,71
	Interaksi (Interaction), AB	0,51	0,02
	Interaksi (Interaction), AC	71,37 **	4,50
	Interaksi (Interaction), BC	2,80	0,17
	Interaksi (Interaction), ABC	0,82	0,03
Kekerasan (Hardness) //, kg/cm ²	Varietas kelapa (<i>Coconut varietas</i>), A	60,47 **	0,31
	Jenis perlakuan (Treatment type), B	198,08 **	27,22
	Bagian batang (<i>part of shaft</i>), C	186,63 **	51,29
	Interaksi (Interaction), AB	1,50	0,21
	Interaksi (Interaction), AC	10,80 *	2,97
	Interaksi (Interaction), BC	5,12	1,41
	Interaksi (Interaction), ABC	1,26	0,34
Kekerasan (Hardness) ⊥, kg/cm ²	Varietas kelapa (<i>Coconut varietas</i>), A	0,01	2,66
	Jenis perlakuan (Treatment type), B	130,43 **	36,92
	Bagian batang (<i>part of shaft</i>), C	71,78 **	40,35
	Interaksi (Interaction), AB	0,05	0,01
	Interaksi (Interaction), AC	3,93	2,23
	Interaksi (Interaction), BC	3,32	1,88
	Interaksi (Interaction), ABC	2,85	1,61
Keteguhan tekan (impregnability depress) //, kg/cm ²	Varietas kelapa (<i>Coconut varietas</i>), A	143,96 **	7,65
	Jenis perlakuan (Treatment type), B	60,16 **	3,20
	Bagian batang (<i>part of shaft</i>), C	758,75 **	80,62
	Interaksi (Interaction), AB	9,19	0,49
	Interaksi (Interaction), AC	42,00 **	4,46
	Interaksi (Interaction), BC	1,81	0,19
	Interaksi (Interaction), ABC	1,87	0,20
Keteguhan tekan (impregnability depress) ⊥, kg/cm ²	Varietas kelapa (<i>Coconut varietas</i>), A	44,06 **	6,69
	Jenis perlakuan (Treatment type), B	54,30 **	8,24
	Bagian batang (<i>part of shaft</i>), C	206,52 **	62,70
	Interaksi (Interaction), AB	0,79	0,12
	Interaksi (Interaction), AC	15,05 **	4,57
	Interaksi (Interaction), BC	19,27 **	5,85
	Interaksi (Interaction), ABC	8,98 *	2,72

Keterangan (Remarks): * nyata (significant); ** sangat nyata (Highly significant).

IV. KESIMPULAN

Kualitas bagian lunak kayu kelapa dalam maupun hibrida masing-masing pada bagian ujung, tengah dan pangkal dapat ditingkatkan dengan cara vakum-tekan menggunakan kopolimer tanin resorsinol formaldehida pada konsentrasi 35 %, dan kekentalan 0,3 poise. Aplikasi kopolimer tanin resorsinol formaldehida pada bagian lunak kayu kelapa sangat dipengaruhi oleh varietas dan letak pada bagian batang (ujung, tengah dan pangkal).

Bagian lunak kayu kelapa yang diberi perlakuan kopolimer TRF mengalami peningkatan kerapatan (26-53 %), kekerasan sejajar serat (23-128 %), tegak lurus serat (19-165 %), dan keteguhan tekan sejajar serat (9-25 %), keteguhan tekan tegak lurus serat (3-85 %). Kualitas bagian lunak kedua jenis kayu kelapa setelah diberi impregnan TRF berdasarkan kekuatan setara dengan kayu rimba kelas kekuatan I – II.

DAFTAR PUSTAKA

- Haygreen, J.G. and J.L. Bowyer. 1982. Forest Products and Wood Science. An Introduction. The IOWA State University Press.
- Martawijaya, A., I. Kartasudjana dan K. Kadir. 1981. Atlas Kayu Indonesia. Jilid 1. BPHH, Bogor. Indonesia.
- Martawijaya A., I Kartasujana, Y.I. Mandang, S.A. Prawira, K. Kadir. 1989. Atlas Kayu Indonesia Jilid II. Bogor: Badan Litbang Kehutanan, Departemen Kehutanan, Bogor.
- Mulyadi, A.T. 2000. Permintaan dan Pasokan Kayu di Indonesia. Rimbun No.18. Dephutbun, Jakarta.
- Santoso, A., F.D.J, Priyono, Rustamsjah dan Sutrisno. 2002. Peningkatan Kualitas kayu Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) dengan Kompregnasi Fenol Formaldehida dan Peningkatan Kualitas Kayu Balsa (*Ochroma bicolor*) dengan

Kompregnasi Larutan Stereofom dan Staybwood. Laporan Praktikum Program Studi IPK, Sekolah Pasca sarjana IPB, Bogor (Tidak diterbitkan).

Steel R.G.D. dan J.H. Torrie. 1993. Prinsip dan Prosedur Statistik. Gramedia. Jakarta.