

Pengaruh Pengawetan Kayu Terhadap Kecepatan Gelombang Ultrasonik dan Sifat Mekanis Lentur serta Tekan Sejajar Serat Kayu *Acacia Mangium Willd*

Lina Karlinasari

Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan IPB, Kampus IPB Darmaga Bogor
E-mail: karlinasari@ipb.ac.id

Maya Rahmawati

Alumni Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan IPB, Kampus IPB Darmaga Bogor

TR. Mardikanto

Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan IPB, Kampus IPB Darmaga Bogor
E-mail: dhht@ipb.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan pengawetan kayu terhadap kecepatan gelombang ultrasonik, sifat mekanis lentur kayu, dan kekuatan tekan sejajar serat kayu. Kayu yang digunakan adalah jenis *Acacia mangium* yang diketahui mulai banyak digunakan karena kekuatannya yang cukup baik (kelas kuat II-III) tetapi memiliki keawetan alami yang cukup rendah (kelas awet II-III). Bahan pengawet yang digunakan adalah CCB (chrome, copper, boron) dengan konsentrasi 4%, 7%, 10% dan metode yang diaplikasikan adalah rendaman dingin dan vakum tekan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode vakum tekan berpengaruh secara nyata menurunkan nilai kecepatan gelombang ultrasonik, kekuatan lentur, dan tekan sejajar serat kayu tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap nilai modulus elastisitas kayu. Konsentrasi bahan pengawet berpengaruh secara nyata terhadap nilai retensi dan penetrasi bahan pengawet tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap kecepatan gelombang ultrasonik dan sifat mekanis di atas. Kecepatan gelombang ultrasonik melalui nilai MOE dinamis yang diperoleh memiliki koefisien korelasi yang baik untuk menduga nilai modulus elastisitas statis dan kekuatan kayu.

Kata-kata Kunci: CCB, retensi, penetrasi, MOE, kecepatan gelombang ultrasonik.

Abstract

This paper presents the results of a study that investigated the effect of preservation treatment on ultrasonic velocity, bending strength and compressive strength parallel to grain. *Acacia mangium* wood which has moderate strength and low-moderate natural durability were used in this study. Retention and penetration of preservative compound on wood as well as ultrasonic velocity and mechanical properties were determined as impact of using three concentrations of waterborne preservatives CCB (chrome, copper, boron) and two preservation methods (cold-dipping and pressure-vacuum). The result showed that pressure-vacuum method significantly reduced ultrasonic velocity, bending strength and compressive strength parallel to grain of wood, but no significance influence on modulus of elasticity (MOE). Meanwhile, concentrations of preservative compounds were no significance effect on those properties except on retention and penetration. Ultrasonic velocity through dynamic MOE had close correlation to predict static MOE and wood strength.

Keywords: CCB, retention, penetration, MOE, ultrasonic velocity.

1. Pendahuluan

Jenis kayu yang mulai dipakai untuk perumahan saat ini berasal dari kayu hutan tanaman yang diketahui memiliki keawetan alami yang cukup rendah. Salah satu jenis kayu hutan tanaman yang mulai banyak digunakan untuk keperluan kayu konstruksi adalah

Acacia mangium Willd. Kayu ini memiliki kelas kuat (KK) cukup baik yaitu KK II-III dengan keawetan alami resisten sampai agak resisten (kelas awet (KAw) II-III). Menurut SNI 03-5010.1-1999 kayu dengan KAw III s.d. V memerlukan perlakuan pengawetan. Kayu mangium ini sangat mudah diserang oleh rayap tanah (*Macrotermes* spp) dengan intensitas serangan

hebat, sementara itu ketahanan terhadap penggerek (*Pholadidae* spp) di laut termasuk dalam kelas sedang (Malik *et al.* 2007). Sementara itu menurut Rudi (1999) jenis kayu mangium sangat disukai (preferensi tinggi) oleh rayap tanah jenis *Coptotermes curvignathus* yang merupakan jenis rayap yang paling banyak menimbulkan kerusakan pada bangunan di Indonesia. Selain sebagai bahan baku konstruksi ringan kayu mangium sering dijadikan sebagai bahan baku furniture alternatif pengganti kayu jati karena memiliki tekstur yang indah sehingga dikenal juga dengan sebutan jati mangium.

Untuk meningkatkan keawetan kayu khususnya terhadap serangan rayap maka pengawetan kayu sangat diperlukan. Beberapa bahan pengawet masih layak dan dapat digunakan dengan beberapa teknik/metode pengawetan. Selain keefektifan bahan pengawet dalam peningkatan keawetan kayu, maka penurunan kekuatan kayu seringkali menjadi pertimbangan dalam pengawetan kayu.

Bahan pengawet yang digunakan dalam penelitian ini yaitu bahan pengawet yang larut dalam air dengan menggunakan jenis pengawet *Copper Chrome Boron* (CCB). Menurut Muslich dan Jasni (2004) bahan pengawet CCB adalah salah satu bahan pengawet yang telah diijinkan oleh komisi pestisida dan bersifat pencegahan bukan pemberantasan. Bahan pengawet yang berbahan dasar borat umum digunakan untuk aplikasi di dalam ruangan (interior) karena tidak berbau, relatif memiliki daya racun yang rendah dan efektif mencegah rayap dan jamur pelapuk. Kelemahan bahan pengawet ini adalah sangat mudah tercuci (Ibach, 1999; Lebow, *et al.*, 2010).

Pengujian kayu menggunakan metode gelombang ultrasonik dapat digunakan untuk menduga kekuatan kayu. Terdapat hubungan antara kecepatan gelombang suara/ultrasonik dengan modulus elastisitas (dikenal dengan modulus elastisitas dinamis, MOEd)

berdasarkan persamaan $MOEd = \frac{Vus^2 \times \rho}{g}$ dimana

Vus adalah kecepatan gelombang ultasonik (m/detik), ρ adalah kerapatan kayu (kg/m^3), dan g adalah konstanta gravitasi ($9,8 m/detik^2$). Selanjutnya dapat diketahui dugaan nilai pengujian statis untuk modulus elastisitas (MOEs) dan kekuatan lentur kayu berupa MOR (*modulus of rupture*) maupun kekuatan tekan kayu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanis lentur dan tekan sejajar serat kayu serta kecepatan gelombang gelombang ultrasonik akibat proses pengawetan kayu.

2. Bahan dan Metode Penelitian

2.1 Bahan dan alat

Bahan dalam penelitian ini adalah balok kayu mangium (*Acacia mangium* Willd.) yang diperoleh dari satu blok tebang di KPH Parung Panjang, Bogor yang sudah dalam kondisi kering udara (15%). Bahan pengawet yang dipakai adalah CCB. Bahan-bahan lain yang digunakan untuk kegiatan pengawetan uji retensi dan penetrasi adalah bahan kimia berupa ekstrak kurkuma, asam klorida (HCl), alkohol, aquades, asam rubianat, amoniak (NH_4OH), asam salisilat, aseton dan cat duko. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *circular saw*, mesin bor, kaliper, penggaris dan meteran, silinder vakum tekan, alat uji sifat mekanis kayu *Universal Testing Machine* (UTM) merek Instron® dan alat uji non destruktif gelombang ultrasonik merk Sylvatest Duo® (frekuensi = 22kHz).

2.2 Pembuatan contoh uji

Bahan penelitian berupa balok berukuran 5cm x 5cm x 100cm dibagi menjadi beberapa ukuran contoh uji terdiri dari contoh uji yang tidak mengalami pengawetan kayu (untuk pengujian sifat fisis berupa kadar air, berat jenis, dan kerapatan kayu sebelum proses pengawetan) serta contoh uji yang mengalami proses pengawetan kayu (untuk pengujian kecepatan gelombang ultrasonik, dan sifat mekanis lentur kayu serta kekuatan tekan sejajar serat kayu setelah proses pengawetan). Skema pengujian penelitian disajikan pada **Gambar 1**.

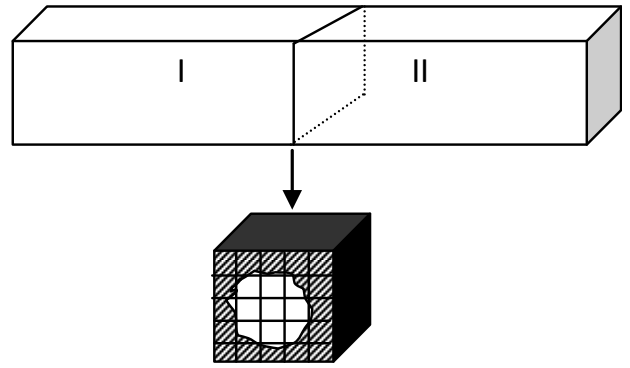
2.3 Proses pengawetan kayu

Bahan pengawet yang digunakan yaitu CCB dengan konsentrasi 4%, 7%, dan 10%. Metode pengawetan yang diaplikasikan dalam penelitian adalah rendaman dingin dan vakum tekan. Proses pengawetan kayu mengacu pada SNI 03-3233-1998 dan SNI 01-5010.1-1999. Perendaman dilakukan selama 3 hari pada suhu kamar dimana pada hari pertama sampai hari ketiga biasanya kayu menyerap bahan pengawet lebih banyak. Tinggi larutan dalam wadah 10 cm di atas permukaan contoh uji untuk menjamin proses pengawetan. Untuk metode vakum tekan, pemvakuman awal dilakukan selama 15 menit untuk mengalirkan larutan bahan pengawet kedalam silinder vakum. Setelah itu diberi tekanan sebesar $10 kg/cm^2$ selama 1 jam lalu divakum akhir selama 15 menit. Setelah proses pengawetan, kayu ditiriskan terlebih dahulu sampai bahan pengawet tidak menetes. Selanjutnya kayu dikering udarakan selama 7 hari menggunakan kipas angin hingga mencapai kadar air sekitar 17%.

Total contoh uji yang digunakan adalah 70 buah, terdiri dari 3 konsentrasi bahan pengawet, 2 metode/proses pengawetan kayu, dengan 10 ulangan untuk masing-masing proses pengawetan ditambah 10 contoh uji kontrol.

2.4 Pengujian hasil pengawetan kayu

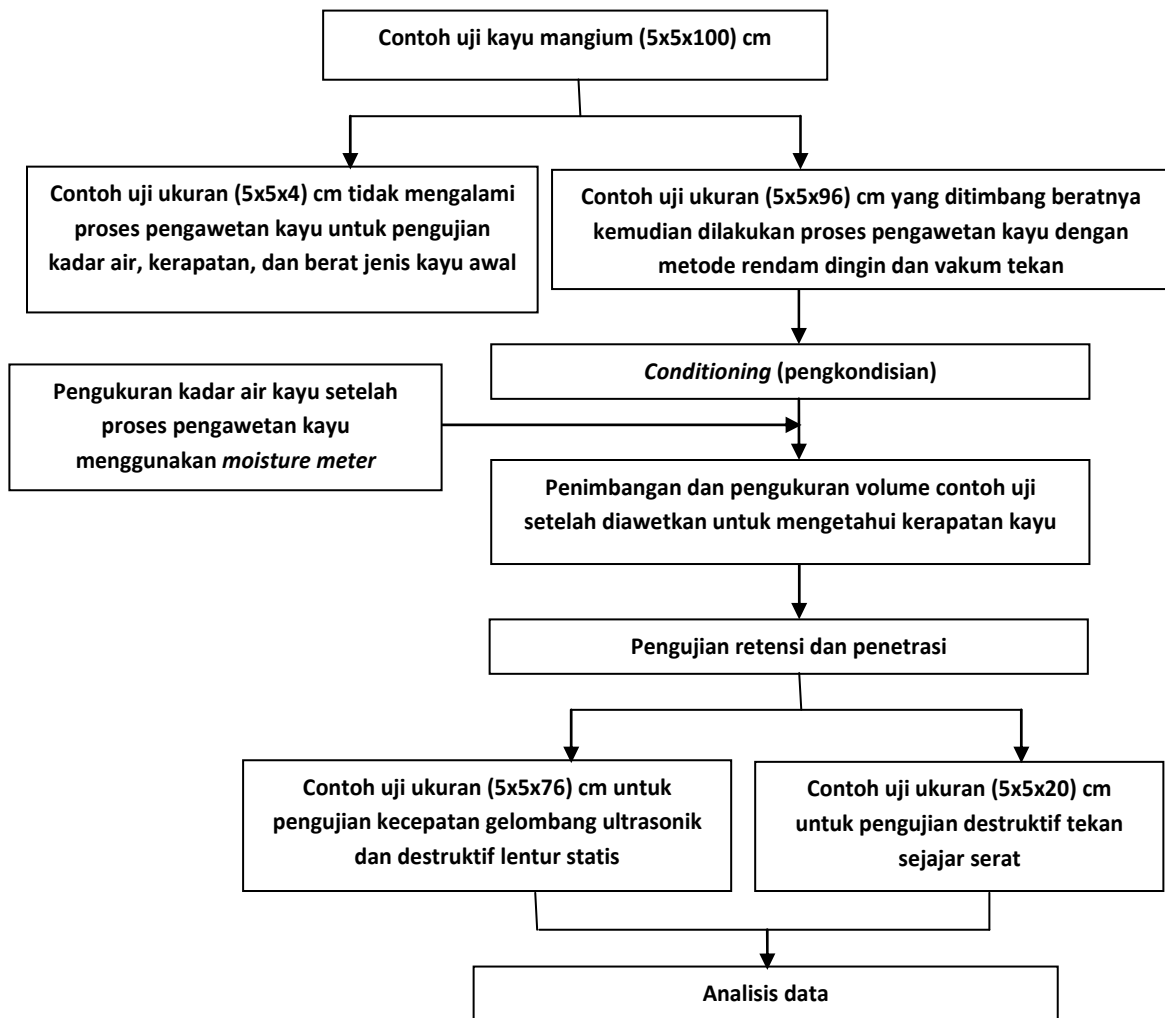
Pengujian hasil proses pengawetan kayu meliputi retensi dan penetrasi bahan pengawet. Retensi merupakan jumlah bahan pengawet yang masuk ke dalam kayu dan dihitung berdasarkan berat kayu sebelum dan sesudah pengawetan terhadap volume kayunya dalam satuan (kg/m^3), sementara penetrasi merupakan kedalaman bahan pengawet dari permukaan yang masuk ke kayu berdasarkan luasan penampang contoh uji sebagai reaksi warna atas senyawa kimia indikator yang diberikan. Mengacu pada SNI 03-3233-1998 maka penampang contoh uji dipotong melintang pada bagian tengahnya kemudian disemprot dengan pereaksi. Dalam penelitian ini yang ingin diketahui adalah penetrasi dari senyawa boron dan tembaga. Pada bagian penampang kayu yang ditembusi bahan pengawet akan menunjukkan warna tertentu, selanjutnya bagian tersebut dapat dihitung sebagai bagian yang dimasuki senyawa tersebut di atas (Gambar 2).



Keterangan :

- = Bagian yang ditembusi senyawa boron dan tembaga
- = Bagian yang tidak ditembusi senyawa boron

Gambar 2. Pengambilan contoh uji dan cara pengukuran penetrasi bahan pengawet



Gambar 1. Skema pengujian penelitian

2.5 Pengujian gelombang ultrasonik dan sifat mekanis kayu

Pengujian non destruktif dilakukan terhadap contoh uji mekanis lentur untuk mengetahui kecepatan gelombang ultrasonik (Vus) yang merambat. Selanjutnya dari nilai Vus tersebut ditentukan nilai MOE dinamis (MOEd) dengan sebelumnya menghitung kerapatan kayu (ρ) melalui rasio berat terhadap volume contoh uji. Pengujian mekanis kayu mengacu pada ASTM D-143 (2005). Seluruh pengujian kecepatan gelombang ultrasonik, sifat mekanis lentur dan tekan dilakukan terhadap kayu yang telah diawetkan dan kondisi kering udara dengan contoh uji seperti disampaikan pada Tabel 1. Untuk pengujian lentur statis yang diuji adalah modulus of elasticity (MOE) dan modulus of rupture (MOR) dengan pembebanan terpusat (one center point loading), selain itu dilakukan pengujian tekan sejajar serat (TSS). Selanjutnya dibuat hubungan kecepatan gelombang ultrasonik dengan nilai MOE, MOR, dan kekuatan tekan sejajar serat kayu.

Pada pengujian statis nilai MOE dan MOR masing-masing dihitung berdasarkan rumus :

$$MOE = \frac{PL^3}{4bh^3\Delta} \quad MOR = \frac{3P_{maks}L}{2bh^2} \quad (1)$$

dimana :

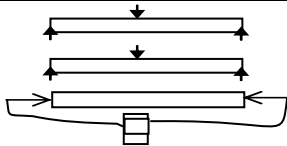

- P = perubahan beban di bawah batas proporsi (kg)
- P_{maks} = beban maksimum (kg)
- L = bentang atau jarak sangga (cm)
- b = lebar contoh uji (cm)
- h = tebal contoh uji (cm)
- Δ = perubahan defleksi berkaitan dengan P (cm)

Sementara itu untuk nilai TSS dihitung menggunakan persamaan:

$$TSS = \frac{P_{maks}}{A} \quad (2)$$

- dimana: P_{maks} = beban maksimum (kg)
- A = luas bidang tekan (cm²)

Tabel 1. Pengujian kecepatan gelombang ultrasonik dan sifat mekanis kayu

Pengujian	Satuan	Standar	Ukuran contoh uji (dalam cm)	Bentuk contoh uji
Kekuatan lentur statis (MOR)	kg/cm ²	ASTM D-143	5 x 5 x 76	
Modulus elastisitas statis (MOEs)	kg/cm ²	ASTM D-143	5 x 5 x 76	
Kecepatan gelombang ultrasonik (Vus)	m/dtk	-	5 x 5 x 76	
Pengujian tekan sejajar serat (TSS)	kg/cm ²	ASTM D-143	5 x 5 x 20	

Catatan : contoh uji dipasang dua buah transduser di kedua ujungnya dan dihubungkan ke alat SylvatestDuo®

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengawetan kayu

Berdasarkan pengujian sifat fisis kayu sebelum proses pengawetan maka diketahui bahwa nilai rata-rata kadar air untuk seluruh contoh uji adalah sebesar 15,6% dan kerapatan serta berat jenis masing-masing adalah 0,57 g/cm³ dan 0,49. Tabel 2 menunjukkan bahwa retensi bahan pengawet rata-rata seluruh konsentrasi adalah 2,33 kg/cm³ untuk metode rendaman dingin selama 3 hari dan 10,97 kg/cm³ untuk metode vakum tekan selama 1 jam. Nilai retensi dari metode rendaman dingin adalah kurang dari 4 kg/cm³ untuk seluruh konsentrasi, sementara pada metode vakum tekan pada konsentrasi bahan pengawet 7% dan 10% nilai retensi mencapai di atas 11 kg/cm³.

Mengacu pada SNI 01-5010.1-1999 maka retensi minimum yang disyaratkan untuk pemakaian di bawah atap dan diluar atap adalah masing-masing 8,2 kg/m³ dan 11,3 kg/m³. Sehingga berdasarkan penelitian yang dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa pada konsentrasi bahan pengawet CCB minimal 7% dengan lama tekanan 1 jam dengan metode vakum tekan pada kayu *A. mangium* sudah dapat memenuhi standar SNI untuk pemakaian pada gedung/bangunan. Sementara itu metode rendaman dingin belum dapat memenuhi nilai retensi yang dipersyaratkan.

Nilai rata-rata penetrasi tembaga adalah 4,96 mm dan 18,66 mm masing-masing untuk metode rendaman dingin dan vakum tekan pada seluruh konsentrasi. Sementara itu penetrasi boron untuk seluruh konsentrasi pada metode rendaman dingin adalah sebesar 38,37 mm sementara untuk vakum tekan sebesar 92,68 mm. Senyawa tembaga (*Copper*) dalam bahan pengawet berguna untuk mencegah serangan jamur mikro perusak selulosa yang disebabkan oleh jamur pelunak (*soft rots*) selain itu mencegah serangan penggerek laut. Sementara itu adanya senyawa boron dimaksudkan untuk mencegah serangan serangga dan jamur yang toleran terhadap tembaga. Sedangkan senyawa *Chrome* dimaksudkan untuk mengikat tembaga dan boron didalam kayu (fiksasi) pada bahan pengawet golongan CCB (Abdurrohim, 2000).

Tabel 2. Rangkuman nilai retensi, penetrasi, kecepatan gelombang ultrasonik, sifat mekanis lentur (MOEd, MOEs dan MOR), serta kekuatan tekan sejajar serat berdasarkan variasi konsentrasi bahan pengawet dan metode pengawetan pada kayu *A. Mangium*

Metode pengawetan	Konsentrasi bahan pengawet (%)	Retensi (kg/m ³)	Penetrasi (mm)		ρ (g/cm ³)	Vus (m/dtk)	MOEd x 1000 (kg/cm ²)	MOEs x 1000 (kg/cm ²)	MOR (kg/cm ²)	TSS (kg/cm ²)
			Tembaga	Boron						
Kontrol (n=10)	0	-	-	-	0,58	5632	186.7	82.6	721.6	385.3
Rendaman dingin (n=30)	4	1,5	2,01	28,58	0,56	5687	182.4	79.7	674.0	393.8
	7	2,17	3,05	32,91	0,61	5534	186.4	87.7	738.7	441.3
	10	3,02	9,81	53,63	0,60	5725	200.6	81.7	727.2	385.2
	Rata-rata	2,23	4,96	38,37	5,91	5649	189.8	83.0	713.3	406.8
					(0.30)	(1.68)	(0.57)	(-1.15)	(5.58)	
Vakum tekan (n=30)	4	7,32	14,67	91,57	0,63	5384	185.3	79.0	652.9	352.7
	7	11,35	23,16	100	0,60	5434	178.7	79.0	578.9	344.2
	10	14,24	18,14	86,47	0,63	5350	182.6	81.2	628.7	379.5
	Rata-rata	10,97	18,66	92,68	0,62	5389	182.2	79.7	620.2	358.8
					(-4.31)	(-2.38)	(-3.42)	(-14.05)	(-6.88)	

Angka dalam kurung menyatakan persen (%) perubahan akibat metode pengawetan terhadap kontrol

Tabel 3. Ringkasan analisis sidik ragam perlakuan variasi konsentrasi bahan pengawet dengan metode pengawetan

Sumber	Retensi	Penetrasi		Vus	MOEd	MOEs	MOR	TSS
		Tembaga	Boron					
	<i>p value</i>	<i>p value</i>	<i>p value</i>	<i>p value</i>	<i>p value</i>	<i>p value</i>	<i>p value</i>	<i>p value</i>
Konsentrasi bahan pengawet	0.000*	0.027*	0.473tn	0.864tn	0.833tn	0.816tn	0.445tn	0.829tn
Metode pengawetan	0.000*	0.004*	0.000*	0.007*	0.448tn	0.431tn	0.023*	0.018*
Konsentrasi X metode pengawetan	0.009*	0.070tn	0.005*	0.457tn	0.759tn	0.720tn	0.227tn	0.089tn

p value = peluang pada tingkat kepercayaan 5%, * = nyata pada tingkat kepercayaan 5%, tn = tidak nyata pada tingkat kepercayaan 5%

Hasil analisis statistik sidik ragam pada **Tabel 3** menunjukkan bahwa konsentrasi, metode pengawetan, dan interaksi keduanya memberikan pengaruh yang nyata terhadap nilai retensi pengawetan kayu. Dalam hal ini peningkatan konsentrasi dan kegiatan vakum tekan meningkatkan nilai retensi kayu. Untuk penetrasi senyawa tembaga maka pengaruh nyata terjadi pada konsentrasi dan metode pengawetan sedangkan pada senyawa boron hanya metode pengawetan dan interaksi konsentrasi dan metode pengawetan yang berpengaruh nyata.

3.2 Pengujian gelombang ultrasonik dan sifat mekanis kayu

Berdasarkan **Tabel 2** diketahui pada metode rendaman dingin terjadi peningkatan nilai rata-rata Vus, MOEd, MOEs, dan TSS dari kontrol yang tidak mengalami pengawetan kayu masing-masing sebesar 0,3%; 1,68%; 0,57%; dan 5,58% kecuali untuk nilai MOR terjadi penurunan sebesar 1,15%. Sementara itu untuk vakum tekan terjadi penurunan nilai terbesar untuk MOR

sebesar 14,05% diikuti nilai TSS sebesar 6,88% dan Vus sebesar 4,31% dari kontrolnya sementara itu untuk nilai MOEd dan MOEs masing-masing mengalami penurunan sebesar 2,38%; dan 3,42% dari nilai kontrolnya. Dari hasil analisis sidik ragam pada **Tabel 3** diketahui metode pengawetan kayu memberikan pengaruh yang nyata terhadap nilai kecepatan gelombang ultrasonik (Vus) dan kekuatan lentur (MOR) serta tekan sejajar serat kayu (TSS) tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap kekakuan lentur kayu baik dinamis maupun statis (MOEs dan MOEd). Sementara itu konsentrasi bahan pengawet dan interaksi bahan pengawet dan metode pengawetan tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap parameter yang diuji.

Penelitian Rachmat (2007) menunjukkan penurunan kekuatan kayu *A. mangium* mencapai 25% dengan metode vakum tekan pada konsentrasi bahan pengawet Enbor® (berbahan dasar boron) 6%. Pengawetan kayu menggunakan *boric acid* 5% dengan metode impregnasi selama 20 menit terhadap vinir pada

laminated veneer lumber (LVL) kayu beech menunjukkan penurunan MOR dan MOEs sebesar masing-masing 5,12% dan 3,75% sementara itu nilai TSS meningkat sebesar 1,38% (Colakoglu, *et al.*, 2003). Penggunaan bahan pengawet larut air yang menggunakan standar pengawetan AWWPA (American Wood Preservers' Association) dapat menurunkan nilai MOR dan kekuatan tarik sejajar serat 0%-20%, dan hampir tidak berpengaruh atau justru sedikit terjadi peningkatan nilai MOE dan kekuatan tekan sejajar serat (Green, 1999).

Berdasarkan **Tabel 2** juga diketahui bahwa nilai dugaan MOE (MOEd) yang diperoleh lebih besar 55,95% dari pada nilai MOEs. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya (Oliveira *et al.*, 2002; Karlinasari, *et al.* 2005 dan 2008; Karlinasari, 2007) yang menunjukkan rata-rata nilai MOEd 20%-50% lebih tinggi dibandingkan dengan nilai MOEs. Perbedaan nilai modulus MOE antara uji dinamis dengan statis disebabkan oleh karakteristik mikrostruktural sel penyusun setiap jenis kayu yang berbeda, sifat viskoelastis kayu, serta adanya efek *creep* (rangkak). Kayu merupakan bahan yang memiliki tingkat absorpsi atau penyerapan yang cukup tinggi. Pada saat bahan kayu mengalami vibrasi, gaya elastis yang disimpan sebanding dengan kecepatan gelombangnya. Oleh karena itu, ketika ada gaya yang diberikan untuk waktu yang singkat bahan menunjukkan perilaku elastis solid bahan, sementara untuk gaya yang diberikan pada waktu yang cukup lama perilakunya termasuk sifat viskos cair bahan. Perilaku ini menjadi pembuktian pengujian MOEd (ultrasonik) akan lebih besar dibandingkan pengujian statis defleksi (Oliveira, *et al.*, 2002). Tingkat akurasi yang berbeda disebabkan oleh adanya pengaruh laju pembebanan pada pengujian statis dimana ada pengaruh *creep* didalamnya pada saat pengujian kayu defleksi statis (Bodig dan Jayne, 1993; Madsen, 1992). Fenomena *creep* juga mencakup perubahan atau defleksi yang terjadi pada suatu komponen struktural yang dipengaruhi waktu. Sehingga *creep* ini dapat dikatakan berhubungan dengan adanya beban yang diberikan, perubahan atau defleksi yang terjadi, serta waktu yang diperlukan akibat perubahan yang terjadi (Madsen, 1992).

3.3 Hubungan gelombang ultrasonik dengan sifat mekanis kayu

Pengujian gelombang ultrasonik (Vus) dapat digunakan untuk menduga kekuatan kayu (MOR, TSS) dan kekakuan lentur (MOEs) baik secara langsung maupun tidak langsung melalui MOEd. Nilai kerapatan kayu digunakan untuk menentukan nilai MOEd. Dengan metode yang sama pada penelitian ini diketahui bahwa MOEd dapat digunakan untuk menduga nilai MOEs dan MOR untuk sejumlah *kayu hardwood* dan *softwood* Indonesia (Karlinasari, *et al.*,

2005); Karlinasari 2007) dan kayu tropis jenis cupiuba dan jatoba dari Brasil (Oliveira, *et al.*, 2002). Begitu pula MOEd dapat digunakan dengan baik untuk menduga MOEs dan MOEs kayu *Western hemlock* dan *Sitka spruce* menggunakan metode gelombang sonik (*strees wave*) (Wang, *et al.*, 2001).

Hasil penelitian pada **Tabel 4** menunjukkan bahwa Vus dapat menduga kekakuan kayu dinamis dan statis (MOEd dan MOEs) dengan nilai koefisien korelasi di atas 0,50 baik untuk kontrol maupun perlakuan pengawetan rendaman dingin dan vakum tekan. Sementara itu untuk pendugaan kekuatan kayu (MOR dan TSS) model regresi hubungan Vus dan MOR serta TS pada taraf kepercayaan (α) 0,05 yang dibentuk belum dapat digunakan dengan nilai koefisien korelasi $< 0,4$ untuk kontrol, perlakuan rendaman dingin, dan vakum tekan. Sementara itu nilai MOEd dapat digunakan untuk menduga nilai MOEs dan TSS pada proses pengawetan rendaman dingin dan kontrol tetapi belum dapat digunakan untuk menduga nilai MOR nya. Sementara itu pada proses pengawetan vakum tekan nilai MOEd dapat digunakan untuk menduga nilai MOEs, MOR, dan TSS dengan nilai koefisien korelasi di atas 0,45. Walaupun demikian penelitian lebih lanjut menggunakan jumlah contoh uji yang lebih banyak diperlukan untuk memvalidasi model yang terbangun.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan disimpulkan bahwa:

1. Metode pengawetan vakum tekan menurunkan kecepatan gelombang ultrasonik dan sifat mekanis lentur (MOE dan MOR) serta kekuatan tekan sejajar serat (TSS).
2. Sementara itu pada metode rendaman dingin hanya menurunkan nilai kekuatan lentur kayu.
3. Konsentrasi bahan pengawet tidak berpengaruh nyata terhadap sifat-sifat tersebut tetapi hanya berpengaruh terhadap retensi dan penetrasi bahan pengawet.
4. Kecepatan gelombang ultrasonik melalui nilai MOEd yang diperoleh memiliki koefisien korelasi yang baik untuk menduga nilai modulus elastisitas statis dan kekuatan kayu.

Daftar Pustaka

- ASTM, American Society for Testing and Material, 2005, *Annual Book of ASTM Standards*, USA: Section Four: Construction, Volume 0410, Wood. D-143- Reapproved 2000 (*Standard Test Method for Small Clear Specimens of Timber*).
- Abdurrohim, S., 2000, Manfaat Pengawetan Kayu Perumahan dan Gedung, Bogor: Prosiding Diskusi Peningkatan Kualitas Kayu, Maret, Pusat Penelitian Hasil Hutan.
- Bodig, J and Jayne, B.A., 1993, *Mechanics of Wood and Wood Composites*. Florida. USA: Krieger Publishing Company Malabar.
- Colakoglu, G., Colak, S., Aydin, I., Yildiz, U.C., and Yildiz, S., 2003, *Effect of Boric Acid Treatment on Mechanical Properties of Laminated Beech Veneer Lumber*. *Silva Fennica* 37(4): 505–510.
- Green, D.W., Winandy, J.E., and Kretschmann, D.E., 1999, *Mechanical Properties of Wood*. USA: Wood Handbook: Wood as Engineering Material, Forest Products Society.
- Ibach, R.E., 1999, *Wood Preservation*, USA: Wood Handbook: Wood as Engineering Material, Forest Products Society.
- Karlinasari, L., Surjokusumo S., Hadi, Y.S., and Nugroho, N., 2005, *Non Destructive Testing on Six Tropical Woods Using Ultrasonic Method*. Bali. Indonesia: Prosiding: 6th International Wood Science Symposium, 28-30 Agustus.
- Karlinasari, L., 2007, Analisis Kekakuan Kayu Berdasarkan Pengujian Non Destruktif Metode Gelombang Ultrasonik dan Kekuatan Lentur Kayu Berdasarkan Pengujian Destruktif, Disertasi, Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Karlinasari, L., Wahyuna, M.E. and Nugroho, N., 2008, Non-Destructive Ultrasonic Testing Method for Determining Bending Strength Properties of Gmelina Wood (*Gmelina arborea* Roxb). *Journal of Tropical Forest Science* 20(2): 99-104.
- Lebow S.P., Lebow, and Halverson, S., 2010, Penetration of Boron from Topically Applied Borate Solutions. *Forest Products Journal*. 60 (1): 13-22.
- Madsen, B., 1992, *Structural Behavior of Timber*, Canada: Timber Engineering Ltd., Hal. 111-176.
- Malik, J.A., Santoso, and Rachman, O., 2007, Sari Hasil Penelitian Mangium (*Acacia mangium* Willd), [http://www.dephut.go.id/files/SARI%20HASIL%20PENELITIAN%20MANGIUM%20\(Acacia%20mangium%20Willd.\).pdf](http://www.dephut.go.id/files/SARI%20HASIL%20PENELITIAN%20MANGIUM%20(Acacia%20mangium%20Willd.).pdf) (diunduh 7 Juli 2010)
- Muslich, M., dan Jasni, 2004, Keterawetan dan Ketahanan Enam Jenis Kayu yang Diawetkan dengan CKB Terhadap Rayap Tanah dan Bubuk Kayu Kering. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis* 2(1): 53-58.
- Oliveira, F.G.R., de Campos, J.A.O. and Sales, A., 2002, Ultrasonic Measurements in Brazilian Hardwoods. *Material Research Journal*. 5(1): 51-55.
- Rachmat K.R., 2007, *Pengaruh Pengawetan Terhadap Sifat Mekanis Tiga Jenis Kayu*, Skripsi, Bogor: Departemen Hasil Hutan Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- Rudi, 1999, *Preferensi Makan Rayap Tanah Coptotermes Curvignathus Holmgren (Isoptera: Rhinotermitidae) Terhadap Delapan Jenis Kayu Bangunan*. Tesis, Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia Nomor 03-3233-1998, *Tata Cara Pengawetan Kayu untuk Bangunan Rumah dan Gedung*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Indonesia.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia Nomor 03-5010.1-1999, *Pengawetan Kayu Untuk Perumahan dan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Indonesia.
- Wang X., Ross, R.J., McClellan, M., Barbour, R.j., Erickson J.R., Forsman, J.W., and McGinnis, G.D., 2001, *Nondestructive Evaluation of Standing Trees with a Stress Wave Method*. *Wood and Fiber Science*. 33 (4): 522-533.

Tabel 4. Model regresi hubungan antara kecepatan gelombang ultrasonik dengan sifat mekanis lentur dinamis dan statis, serta kekuatan tekan sejajar serat kayu mangium

Model regresi	Koefisien korelasi r	Koefisien determinasi R ²	Signifikansi model
Kontrol (n=10)			
MOEd = 0.0626 V _{us} - 165.7	0.868	0.754	0.001*
MOEs = 0.0193 V _{us} - 25.916	0.688	0.474	0.028*
MOR = 0.0785 V _{us} + 279.29	0.320	0.102	0.368 tn
TSS = 0.0696 V _{us} - 6.6611	0.396	0.157	0.258 tn
MOEs = 0.2785 MOEd + 30.58	0.717	0.514	0.019*
MOR = 0.8324 MOEd + 566.22	0.244	0.059	0.496tn
TSS = 1.6276 MOEd + 81.462	0.667	0.445	0.035*
MOR = 6.0367 MOEs + 223.14	0.687	0.472	0.028*
TSS = 1.8554 MOEs + 232.09	0.295	0.087	0.407tn
Rendaman dingin (n=30)			
MOEd = 0.0763 V _{us} - 241.14	0.746	0.557	0.000*
MOEs = 0.0219 V _{us} - 40.644	0.524	0.275	0.003*
MOR = 0.0461 V _{us} + 453.09	0.113	0.013	0.550 tn
TSS = 0.0122 V _{us} + 337.67	0.076	0.006	0.689 tn
MOEs = 0.2394 MOEd + 37.601	0.585	0.342	0.000*
MOR = 0.8602 MOEd + 550	0.216	0.046	0.250tn
TSS = 0.3074 MOEd + 348.43	0.195	0.038	0.299tn
MOR = 6.9742 MOEs + 134.15	0.718	0.515	0.000*
TSS = 1.743 MOEs + 262.04	0.453	0.205	0.011*
Vakum tekan (n=30)			
MOEd = 0.0762 V _{us} - 228.43	0.865	0.749	0.000*
MOEs = 0.0256 V _{us} - 58.218	0.640	0.410	0.000*
MOR = 0.0461 V _{us} + 453.09	0.161	0.026	0.395 tn
TSS = 0.0752 V _{us} - 46.322	0.348	0.121	0.060 tn
MOEs = 0.3481 MOEd + 16.308	0.766	0.588	0.000*
MOR = 2.255 MOEd + 209.25	0.487	0.237	0.006*
TSS = -0.3303 MOEd + 418.14	0.574	0.329	0.000*
MOR = 2.184 MOEs + 184.61	0.535	0.286	0.002*
TSS = 2.184 MOEs + 184.61	0.403	0.163	0.026*

* = nyata pada tingkat kepercayaan 5%, tn = tidak nyata pada tingkat kepercayaan 5%