

PENGUJIAN NON DESTRUKTIF GELOMBANG ULTRASONIK PADA BALOK TIGA JENIS KAYU TANAMAN INDONESIA

(Non Destructive Testing of Three Indonesian Plantations Wood Beam)

Lina Karlinasari, Surjono Surjokusumo, Naresworo Nugroho, Yusuf Sudo Hadi

Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan IPB
karlinasari@ipb.ac.id

ABSTRACT

*Ultrasonic-based methods of non destructive testing applied to wood have been intensively developed during the last decade. There are two parameters used to evaluate of wood based on ultrasonic method, ultrasonic velocity and attenuation. The main objective of this research was to analyze ultrasonic velocity characteristics of wood beam. Three wood species were used in this research representing high, medium, and low density. The beam specimen of (8 x 12 x 200) cm from tectona (*Tectona grandis*), manii wood (*Maesopsis eminii*), and sengon (*Paraserianthes falcataria*) were prepared in air dried condition. The ultrasonic wave propagation was measured by SylvatestDuo®. The dynamic stiffness (MOEd) was gained based on Christoffel equation formulating correlation between the ultrasonic velocities and density. The results showed that ultrasonic velocity propagation decreased by increasing wood density between species. On the other hand, in same species higher wood density caused increase in ultrasonic velocity propagation. Statistical analysis showed that no significant influence of vertical position of beam in tree (bottom, middle, and top) on *V_{us}* and MOEd. However, there was significant effect from measurement direction of wave propagation (longitudinal, radial, and tangential). Length dimensions were influenced by ultrasonic velocity values in which those values decreased by increasing length dimension.*

Keyword: *ultrasonic velocity, MOEd, beam, vertical position, and symmetry axes*

PENDAHULUAN

Evaluasi non destruktif (*non destructive evaluation/testing, NDE/T*) didefinisikan sebagai metode mengidentifikasi sifat fisis dan mekanis bahan tanpa menimbulkan kerusakan yang berarti yang dapat mengubah kemampuan pemanfaatan akhir dari bahan tersebut (Ross, 1992). Metode pengujian non destruktif kayu berbeda dengan pengujian terhadap bahan homogen yang isotropis seperti metal, glass, plastik dan keramik. Pada bahan tersebut pengujian non destruktif digunakan untuk menilai cacat yang muncul

akibat dari diskontinuitas, adanya rongga (*voids*) serta kemungkinan adanya pembesaran (*inclusions*) selama proses pembuatan yang dapat berpengaruh terhadap sifat fisis dan mekanis produknya. Pada kayu yang merupakan bahan biologis yang tersusun secara heterogen, pengujian non destruktif digunakan untuk mengetahui ketidakraturan yang muncul akibat faktor alami atau dipengaruhi lingkungan yang dapat mempengaruhi sifat fisis dan mekanis kayu (Ross, 1992).

Terdapat beberapa tipe pengujian non destruktif kayu yang dikembangkan antara lain: teknik mekanis, vibrasi, akustik/

gelombang tegangan (*stress waves*), gelombang ultrasonik, gelombang elektromagnetik, dan nuklir (IUFRO, 2006). Pada pengujian non destruktif gelombang ultrasonik atau suara terdapat dua parameter utama yang digunakan untuk mengevaluasi sifat kayu yaitu kecepatan gelombang ultasonik dan atenuasi (pelemahan energi gelombang). Kecepatan gelombang ultrasonik berkaitan dengan struktur kayu, sementara itu atenuasi berhubungan dengan komposisi atau kandungan suatu bahan. Dari kecepatan gelombang ultrasonik dapat diduga sifat mekanis kekakuan kayu. Beberapa faktor yang mempengaruhi kecepatan rambatan gelombang ultrasonik pada kayu, antara lain karakteristik mikrostruktural kayu (ukuran, frekuensi, komposisi dan kondisi ultrastruktur sel penyusun kayu), komposisi kimia kayu (selulosa, hemiselulosa, dan lignin), asal tempat tumbuh pohon, tingkat tegangan kayu, kadar air, temperatur, kelembaban, serta arah rambatan gelombang (longitudinal, radial, tangensial) (Smith, 1989 dan Curtu *et al.*, 1996). Aplikasi metode pengujian ini sudah berkembang untuk pohon berdiri, log, balok kayu, produk komposit kayu (seperti kayu laminasi, papan partikel, papan serat), hingga pada bangunan kayu yang sudah berdiri (Ross, 1992; Wang, 2006; Sandoz dan Benoit, 2002).

Dewasa ini terjadi perubahan paradigma pemanfaatan kayu dari kayu yang berasal dari hutan alam pada kayu yang berasal dari hutan tanaman. Hal ini berkaitan dengan kondisi kehutanan dewasa ini dimana degradasi hutan alam semakin memprihatinkan. Penelitian terhadap karakteristik kayu dari hutan tanaman telah berkembang cukup baik. Beberapa kayu tanaman yang potensial digunakan untuk keperluan bahan baku kayu konstruksi antara lain kayu mangium

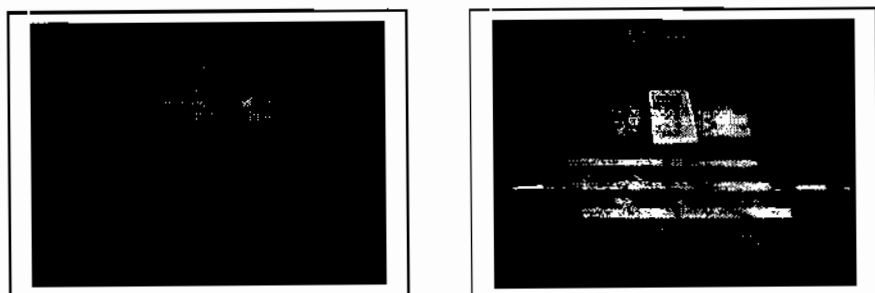
(*Acacia mangium*), kayu manii (*Maesopsis eminii*), sengon (*Paraserianthes falcataria*), gmelina (*Gmelina arborea*), kayu nangka (*Heterophyllus sp.*) (Surjokusumo dan Karlinasari, 2005).

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis karakteristik gelombang ultrasonik yang bekerja pada balok kayu. Pengujian dilakukan terhadap jenis kayu hutan tanaman yaitu jati (*Tectona grandis*), kayu manii (*Maesopsis eminii*), dan sengon (*Paraserianthes falcataria*) yang masing-masing mewakili tiga jenis kategori kerapatan kayu yaitu tinggi, sedang, dan rendah.

BAHAN DAN METODE

Balok kayu yang digunakan pada penelitian ini berukuran tebal x lebar x panjang (8 x 12 x 200) cm dalam kondisi kering udara. Balok tersebut diperoleh dari log berdiameter 30 cm pada posisi pangkal, tengah, dan ujung yang dipotong dengan pola ortotropis atau arah sumbu simetri yang jelas (longitudinal, radial, dan tangensial).

Alat utama yang digunakan adalah alat uji non destruktif metode gelombang ultrasonik merk SylvatestDuo® ($f = 22\text{kHz}$). Aplikasi alat dilakukan dengan menempatkan 2 (dua) buah transduser pada kayu yang akan dievaluasi, setelah sebelumnya dilakukan pelubangan dengan diameter 5 mm sedalam ± 2 cm pada kedua ujungnya untuk menempatkan transduser. Selanjutnya dengan dibangkitkan dari alat tersebut, gelombang ultrasonik mengalir dari transduser pengirim yang kemudian akan diterima oleh transduser yang lain. Kecepatan gelombang ultrasonik terbaca pada alat (Gambar 1). Pembacaan data dilakukan dengan ulangan sebanyak tiga kali.



Gambar 1. Alat uji gelombang ultrasonik serta contoh pengujian dan pembacaan alat

Pada penelitian ini, pengujian dilakukan pada arah longitudinal, radial, dan tangensial untuk masing-masing dari balok pangkal, tengah, dan ujung. Selain itu pengujian terhadap berbagai panjang balok (berjenjang dari panjang 200 cm, 164 cm, 123 cm, 82 cm, dan 41 cm) dilakukan untuk mengetahui pengaruh panjang terhadap kecepatan gelombang ultrasonik.

Data berupa kecepatan gelombang ultrasonik dipergunakan untuk menghitung kekakuan kayu (modulus elastisitas, MOE) dugaan atau dinamis melalui turunan persamaan Christoffel (Bucur, 2006):

$$MOEd = \frac{Vus^2 \times \rho}{g}, \text{ dimana,}$$

MOEd adalah *Modulus of Elasticity* dinamis (GPa), ρ adalah kerapatan kayu berdasarkan berat kering udara (g/cm^3), Vus adalah kecepatan gelombang ultrasonik (m/detik) dan g adalah konstanta gravitasi ($9,81 \text{ m/detik}^2$).

$$1 \text{ Gpa} = 1,02 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan diperoleh nilai rata-rata kerapatan kayu jenis jati adalah sebesar $0,79 \text{ g/cm}^3$, kayu manii dan sengon masing-masing $0,42 \text{ g/cm}^3$ dan $0,35 \text{ g/cm}^3$. Kecepatan gelombang ultrasonik kayu jati berkisar antara 4163-4969 m/detik, untuk kayu manii 4574-5151 m/detik, dan kayu sengon 5278-5498 m/detik. Sementara itu untuk nilai rata-rata modulus elastisitas dinamis kayu jati, manii dan sengon masing-masing adalah 16,25 GPa, 9,92 GPa dan 10,19 GPa (Tabel 1). Dari hasil analisis statistik diperoleh antar jenis kayu (yang ditunjukkan oleh kerapatan kayu yang berbeda) memberikan pengaruh yang nyata pada tingkat selang kepercayaan 95% untuk Vus dan MOEd. Sementara itu, posisi ketinggian vertikal balok (pangkal, tengah, ujung) tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap nilai-nilai tersebut. Hal ini diduga karena bagian vertikal yang diambil mewakili daerah yang sama, sehingga karakteristiknya juga hampir sama. Untuk dalam satu jenis kayu hanya nilai Vus pada kayu jati dan manii saja yang memberikan perbedaan nilai secara nyata yaitu antara posisi pangkal dan tengah terhadap ujungnya, sedangkan untuk nilai parameter lainnya (kerapatan kayu dan MOEd) posisi vertikal balok tidak berbeda nyata pada tingkat kepercayaan 95%.

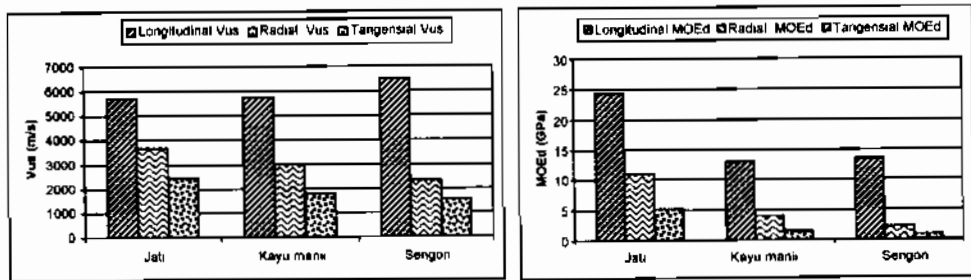
Tabel 1. Nilai rata-rata kerapatan (ρ), kecepatan gelombang ultrasonik (V_{us}), dan modulus elastisitas dinamis (MOEd) untuk balok (8x12x200) cm pada berbagai posisi ketinggian jenis kayu jati, manii dan sengon

Jenis kayu dan posisi pada pohon	Parameter pengujian		
	ρ (g/cm ³)	V_{us} (m/detik)	MOEd (GPa)
Jati			
-Pangkal-	0,77	4696b	17,35
-Tengah-	0,79	4622b	17,25
-Ujung-	0,80	4163a	14,15
Rataan	0,79	4494	16,25
SD	0,04	259	1,85
CV(%)	5,4	5,7	11,4
Manii			
-Pangkal-	0,46	4575c	9,72
-Tengah-	0,42	4653c	9,33
-Ujung-	0,40	5151d	10,71
Rataan	0,42	4793	9,92
SD	0,05	333	1,22
CV(%)	11,5	6,9	12,3
Sengon			
-Pangkal-	0,36	5278	10,16
-Tengah-	0,35	5332	10,08
-Ujung-	0,33	5498	10,32
Rataan	0,35	5369	10,19
SD	0,03	234	0,85
CV(%)	9,7	4,4	8,3

Catatan: SD = standar deviasi; CV = koefisien variasi; nilai rata-rata yang diikuti huruf menunjukkan perbedaan yang nyata berdasarkan uji perbandingan ganda Tukey pada taraf 5% untuk setiap parameter pengujian

Kayu merupakan bahan yang memiliki sifat anisotropis yang digambarkan sebagai ortotropis (berbeda untuk ketiga arah sumbu simetri). Pada penelitian yang dilakukan pengujian arah longitudinal dilakukan pada balok terpendek (41 cm) sementara itu untuk arah radial dan

tangensial masing-masing pada tebal (8 cm) dan lebar balok (12 cm). Arah sumbu simetri ini memberikan perbedaan yang nyata terhadap nilai kecepatan gelombang ultrasonik dan modulus elastisitas dinamis seperti yang disajikan pada Gambar 2.

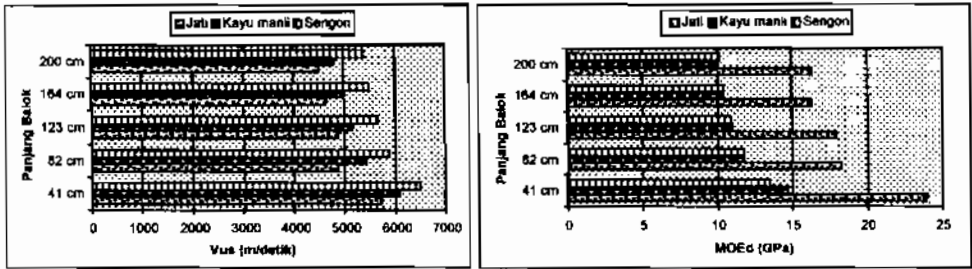


Gambar 2. Histogram kecepatan gelombang ultrasonik (a) dan modulus elastisitas dinamis (MOEd) pada jati, kayu manih, dan sengon

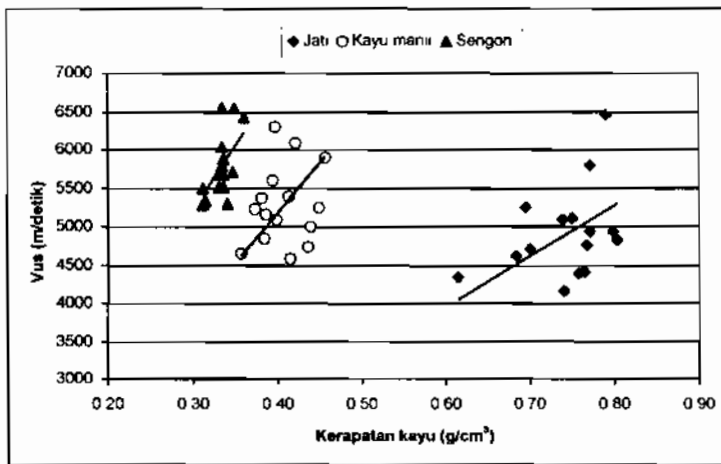
Perbedaan kecepatan gelombang ultrasonik berdasarkan tiga arah sumbu simetri yang terjadi berkaitan dengan orientasi sel penyusunan kayu. Pada arah longitudinal, seluruh sel utama tersusun searah sumbu memanjang karenanya gelombang dapat merambat dengan cepat. Sementara itu untuk arah radial sel tersusun memotong sumbu memanjang tapi searah jaringan radial akibatnya gelombang merambat lebih lambat. Pada arah tangensial selain memotong sumbu memanjang juga membentuk sudut terhadap jaringan radial kayu karenanya gelombang merambat lambat. Selain itu hasil penelitian menunjukkan bahwa kekakuan kayu (MOEd) tertinggi terjadi pada arah longitudinal (L) diikuti arah sumbu R dan terendah arah T. Rata-rata modulus elastisitas arah R lebih besar 50% dibandingkan arah T. Hasil penelitian ini mengkonfirmasi yang telah disampaikan di Bucur (2006) dimana kekakuan terbesar ada pada arah longitudinal dan rata-rata modulus elastisitas dinamis yang diuji secara vibrasi arah R lebih besar 41% dibandingkan arah T. Hal ini dapat dijelaskan bahwa secara struktur anatomi kayu, pada sumbu R memiliki sel jari-jari

yang dapat memfasilitasi rambatan energi gelombang ultrasonik (Bucur, 2006).

Dimensi panjang memberikan pengaruhnya terhadap karakteristik gelombang ultrasonik seperti disajikan pada Gambar 3. Kecepatan gelombang ultrasonik tercepat adalah pada panjang balok 41 cm yaitu sebesar 5727 m/detik untuk kayu jati, 5750 m/detik untuk kayu manih dan 6505 m/detik untuk kayu sengon, sementara itu terlama pada panjang balok 200 cm dengan masing-masing nilai kecepatan gelombang ultrasonik untuk kayu jati, manih, dan sengon adalah sebesar 4494 m/detik, 4793 m/detik, dan 5369 m/detik. Sementara itu MOEd terbesar untuk kayu jati, manih, dan sengon adalah pada panjang balok 41 cm, diikuti oleh panjang balok 82 cm, 123 cm, 164 cm dan 200 cm. Semakin panjang contoh uji maka kecepatan gelombang ultrasonik yang merambat akan semakin lambat. Hal ini berkaitan dengan panjangnya wilayah yang harus dijangkau oleh gelombang termasuk pengaruh hambatan internal yang dijumpai ketika gelombang merambat di dalam kayu dengan kata lain intensitas gelombang ultrasonik akan berkurang terhadap jarak yang ditempuh.



Gambar 3. Histogram kecepatan gelombang ultrasonik (a) dan modulus elastisitas dinamis (MOEd) pada berbagai panjang balok untuk jati, kayu manii, dan sengon



Gambar 4. Hubungan antara kerapatan kayu dengan kecepatan gelombang ultrasonik jati, kayu manii, dan sengon

Terdapat pengaruh kerapatan kayu terhadap kecepatan gelombang ultrasonik baik antar jenis maupun dalam satu jenis kayu. Gambar 4 menyampaikan variasi kerapatan antar jenis dan dalam satu jenis kayu.

Pada antar jenis kayu yang digunakan (jati, kayu manii, dan sengon) semakin tinggi kerapatan kayu maka kecepatan gelombang ultrasonik semakin lambat. Berkaitan dengan hal ini, faktor karakteristik suatu jenis kayu, baik anatomi-mikrostruktural, sifat fisis, mekanis dan sifat kimia, dianggap berpengaruh terhadap kecepatan

gelombang ultrasonik untuk antar jenis kayu. Berdasarkan pendekatan hubungan antara proporsi volume rongga dalam kayu (porositas) dan kerapatan diketahui bahwa kerapatan zat kayu kering sama untuk semua jenis kayu dimana kerapatan dinding sel kayu dalam kondisi kering tanur kurang lebih $1,5 g/cm^3$ atau berat jenisnya sama dengan 1,5. Jadi apabila suatu jenis kayu memiliki kerapatan tinggi dibandingkan kayu dengan kerapatan rendah dengan kondisi zat kayu yang sama maka gelombang akan merambat lebih cepat pada kayu yang memiliki kerapatan rendah karena dengan interaksi

partikel yang relatif sama jarak yang ditempuh oleh gelombang semakin pendek.

Dalam Smith (1989) disampaikan bahwa kerapatan suatu jenis kayu tidak secara nyata mempengaruhi kecepatan gelombang, tetapi rasio antara modulus elastisitas atau kekakuan bahan dengan kerapatan kayulah yang lebih berpengaruh. Hal ini seperti ditunjukkan oleh hubungan $v^2 = (E/\rho)$. Penelitian yang dilakukan Mishiro (1996) menghasilkan tiga macam hubungan antara kecepatan gelombang ultrasonik dan kerapatan kayu (untuk beberapa jenis kayu Jepang), yaitu kecepatan gelombang ultrasonik meningkat dengan penurunan kerapatan kayu, kedua kecepatan ultrasonik tidak dipengaruhi kerapatan kayu, dan yang ketiga kecepatan gelombang ultrasonik akan menurun sejalan dengan penurunan kerapatan kayu. Penelitian Chiu *et al.* (2000) mengindikasikan bahwa kecepatan gelombang ultrasonik dipengaruhi oleh kerapatan kayu melalui sebuah persamaan yang linier, sementara itu pada Bucur (2006) secara jelas dinyatakan pada keragaman jenis kayu yang besar kecepatan gelombang menurun dengan meningkatnya kerapatan kayu.

Di dalam satu jenis kayu semakin besar kerapatan kayu maka gelombang ultrasonik merambat lebih cepat. Hal ini dapat dijelaskan karena semakin tinggi kerapatan kayu maka dinding sel kayu semakin tebal, yang berarti tersedianya media untuk gelombang merambat dimana interaksi partikel di dalamnya semakin kuat. Sementara itu, dinding sel dengan porositas dan permeabilitas yang tinggi akan memperlambat kecepatan gelombang ultrasonik (Oliveira, *et al.*, 2002). Tsoumis (1991) menyampaikan pada kayu oak dengan kisaran kerapatan 0,60-0,75 g/cm³ diperoleh rata-rata kecepatan suaranya adalah sebesar 4600 m/detik,

dimana dalam satu jenis kayunya semakin tinggi kerapatan kayu maka semakin cepat pula gelombang suara merambat. Sementara itu untuk kayu spruce yang memiliki kisaran kerapatan kayu 0,46-0,54 g/cm³ nilai rata-rata kecepatan gelombang suaranya adalah sebesar 6000 m/detik, di dalam jenisnya sendiri semakin tinggi kerapatan kayu maka kecepatan gelombang bunyinya cenderung meningkat.

Simpulan

Gelombang ultrasonik merambat lebih cepat dengan menurunnya kerapatan kayu pada antar jenis kayu. Sebaliknya untuk dalam satu jenis kayu, semakin tinggi kerapatan kayu maka kecepatan gelombang ultrasonik semakin cepat. Hal ini terjadi terutama karena pengaruh karakteristik mikrostruktural penyusun kayu, sifat fisis, mekanis, dan kimia kayu.

Tidak ada pengaruh yang nyata dari posisi ketinggian pohon (pangkal, tengah, dan ujung) terhadap kecepatan gelombang ultrasonik balok. Sementara itu, nilai kecepatan gelombang ultrasonik berbeda pada tiga arah sumbu simetri balok (longitudinal, radial, dan tangensial). Kecepatan gelombang terbesar ada pada arah longitudinal diikuti oleh arah transversal radial dan tangensial. Dalam hal ini orientasi sel penyusun kayu terhadap sumbu utama simetri batang berpengaruh terhadap laju rambatan gelombang ultrasonik. Selain itu diketahui bahwa semakin panjang contoh uji maka kecepatan gelombang ultrasonik semakin menurun. Hal ini berkaitan dengan intensitas gelombang ultrasonik yang berkurang terhadap jarak yang ditempuh.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh *International Timber Trade Organization* (ITTO) pada

ITTO fellowship programme tahun 2006-2007.

Financial support from International Timber Trade Organization (ITTO) is gratefully acknowledge.

DAFTAR PUSTAKA

Bucur, V. 2006. *Acoustics of Wood*. Springer Series in Wood Science. Springer-Verlag Berlin Heidelberg NewYork.

Chiu, C.M., S.Y. Wang, dan C.J. Lin. 2000. *Effect of Density of Taiwania Plantation Wood on Ultrasonic Velocity and Dynamic Young's Modulus*. Taiwan Q. Jour. China.For, 33(4):585-590.

Curtu, I., C. Rosca, M.C. Barbu, L.Al. Curtu, dan R.L. Crisan. 1996. *Research Regarding The Growth Stress Measurement in Beech Using Ultrasound Technique*. Dalam Prosiding: 10th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. 26-28 Agustus 1996. Swiss Federal Institute of Technology Chair Timber Construction. Swiss. Hal. 155-164.

IUFRO. *International Union of Forest Research Organizations*. 2006. Divisi 5.02.01. *Non destructive evaluation on wood and wood based materials*. <http://www.iufro.org/science/divisions/division-5/50000/50200/50201/>. [20 Agustus 2006]

Mishiro, A. 1996. *Effect of Density on Ultrasonic Velocity in Wood*. Mokuza Gakkaishi 42(9), 887-894.

Oliveira, F.G.R., J.A.O. de Campos, dan A. Sales. 2002. *Ultrasonic Measurements in Brazilian Hardwoods*. *Material Research Journal*. Vol. 5 No 1. Hal. 51-55.

Ross, R.J. 1992. *Nondestructive Testing of Wood*. Dalam Prosiding: *Nondestructive Evaluation of Civil Structures and Materials*. Mei 1992. University of Colorado Boulder, Colorado. USA.

Sandoz, J.L, Y. Benoit, dan L. Demay. 2002. *High Performance Timber by Ultrasonic Grading*. Dalam Prosiding: The 7th World Conference on Timber Engineering, WCTE 2002. 12-15 Agustus 2002. Shah Alam. Malaysia. Hal. 328-333.

Smith, W.R. 1989. *Acoustic Properties*. Dalam: *Concise Encyclopedia of Wood and Wood-Based Materials*. Schniewind, AP., editor. Pergamon Press. NewYork.

Surjokusumo, S. dan L. Karlinasari. 2005. *Current State and Future Chances of Low Density Timber Utilization*. International Workshop on Timber Structures. 15-16 November 2005. Bandung. Indonesia.

Wang, X. 2006. *Fundamental Mechanics and Their Application in NDT of Wood*. *IUFRO Workshop Nondestructive Testing of Wood and Wood Physics*. 7-9 Agustus 2006. Harbin, China.