PENINGKATAN KUALITAS KAYU MELALUI PERLAKUAN PANAS TINGGI (Enhancement of Wood Quality by High Thermal Heating)

TEGUH PRIBADI

Staf Pengajar Jurusan Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas PGRI Palangka Raya

ABSTRACT

Effort of improvement of wood quality on the efficiency of forest resources utilization scheme is always involve science and technology. However, this is circumstances frequently are obstructed by expenditure, environmental issues and technical problems. Applications of high thermal as drying process continuation indicate increasing of some wood properties and negative effects simultaneously consequence of thermal degradation process. Effectiveness of high thermal heating was able to reach by vacuum heating method, molten metal heating method, regulation of temperature and timing heating method, and weight loss limitation method.

Key Words: improvement of wood quality, wood properties, high thermal, thermal degradations

PENDAHULUAN

Dinamika zaman dengan segala tren kemajuannya, tidak menyurutkan konsumsi kayu oleh manusia. Berbagai aplikasi teknologi material hingga saat ini, tidak membuat kayu sebagai material, tersubstitusikan. Modernitas manusia, selalu paralel dengan kebutuhan akan kayu. Bahkan Prawirohatmodjo (1984) menyatakan bahwa kayu merupakan tonggak peradaban manusia, setiap derap periodisasi perikehidupan manusia dan kayu selalu beriringan.

Karakteristik intrinsik kayu selalu menjadi daya pikat kayu sekaligus keunggulan komperatif kayu, sifat-sifat itu meliputi ;

1. Kayu merupakan material yang mudah diperoleh dengan tingkat peradaban dan kemampuan teknis yang relatif sederhana
2. Proses pengerjaan dan penggunaannya cukup sederhana, tidak mensyaratkan ketrampilan dan pengetahuan teknis khusus
3. Kayu bersifat (serba guna) *multiuse* dan (beragam tujuan)*multigoal*. Dimana kayu

terdapat dalam berbagai ragam warna, corak, berat jenis dari kekuatan. Kekuatan kayu relatif lebih tinggi dibandingkan material lain dalam keadaan berat yang identik, serta memberikan kesan lebih hangat dibandingkan logam

4. kayu merupakan isolator panas, listrik dan akustisitas yang baik
5. kayu hampir terdapat di seluruh dunia dan merupakan sumber daya alam yang bisa terbaharukan (Panshin & Zeeuw 1980).

Sedangkan Syafii (1999) menyatakan bahwa nilai tambah kayu, selain yang disebutkan di atas, ada beberapa lagi, yaitu: sifat kembang susut oleh panas yang relatif kecil, tidak berkarat dan relatif lebih tahan asam dalam konsentrasi rendah, mudah dipadukan (direkatkan). Kayu merupakan sumber bahan baku selulosa dan derivasinya, seperti: kertas, rayon, film, dan berbagai macam bahan kimia (Fengel & Wegener 1995; Pandit 1995; Sjostrom 1995; Syafii 1999). Selain itu, kayu merupakan produk yang ramah lingkungan, karena bersifat (mudah terurai

secara biologis) *biodegradable* sekaligus sebagai sumber energi.

Namun demikian, kayu bukanlah material superlatif, kayu juga memiliki kelemahan, antara lain:

1. Bersifat anisotropik, yang mengakibatkan kayu memiliki perbedaan sifat kembang susut dan mekanik pada 3 orientasi struktur yang berbeda
2. Higroskopis (rentan terhadap perubahan kelembaban udara dan suhu) sehingga menghasilkan variasi perubahan dimensi dan akselerasi infestasi organisme perusak kayu
3. mudah terbakar dan mudah lapuk (*deterioration*) oleh faktor biologis dan klimatis
4. Kayu memiliki sifat dan struktur yang sangat beragam, baik antar jenis maupun dalam satu jenis sebagai konsekuensi produk proses biologis selama masa pertumbuhannya (Panshin & Zeeuw 1980; Pandit 1995; Syafii 1999)

Kelemahan-kelemahan kayu tidak menjadi faktor limitasi manusia untuk memanfaatkan kayu secara optimal. Beragam disiplin ilmu disintesis untuk memecahkan permasalahan ini. Dari azas ilmu tunggal, seperti biologi, fisika dan kimia sampai teknologi molekuler yang melibatkan beragam disiplin ilmu.

Proses pengolahan kayu yang memanfaatkan ilmu dan teknologi dapat mengeliminir sisi negatif dari karakteristik kayu. Higroskopisitas kayu dapat ditanggulangi dengan teknologi pengeringan yang tepat (pemanfaatan suhu atau kelembaban) dan atau dengan memberikan bahan stabilisator. Anisotropis

kayu dapat direduksi dengan teknik pembebanan yang tepat, karena tak selamanya sifat ini merugikan. Sedangkan sifat mudah terbakar dapat dicegah dengan impregnasi (bahan pencegah api) *fire retardent*. Ketahanan kayu terhadap deteriorasi dapat ditingkatkan dengan aplikasi teknologi pengawetan. Variasi sifat dan struktur yang bersifat melekat dapat dieliminasi dengan teknologi kayu komposit (Syafii 1999).

Higroskopisitas dan daya tahan alami (*natural durable of wood*) merupakan aras utama permasalahan kayu. Menurut laporan Martawijaya (1990) yang dikutip oleh Pribadi (2004) dari 3132 kayu Indonesia yang telah teridentifikasi sampai sekarang hanya 14,3 % saja yang termasuk dalam kayu dengan keterawetan baik (kelas awet I dan II). Hal ini menuntut perlakuan awal sebelum kayu digunakan. Apalagi hampir kayu awet dihasilkan dari hutan alam, padahal hutan alam sebagai sumber kayu awet semakin menipis bahkan telah menuju tahap (jeda balak) *logging moratorium*. Sedangkan HTI yang diplot sebagai penghasil kayu selain hutan alam melalui teknik silvikultur menghasilkan kayu yang berasal dari pohon cepat tumbuh. Padahal pada beberapa penelitian kecepatan tumbuh berkorelasi negatif dengan kualitas kayu (Brazier 1986 dalam Martawijaya 1990 yang dikutip oleh Jauhari 1998; Pandit 1995; Sulistyio & Marsoem 2000; Hamidah 2000; Nurmilawati 2005).

Teknologi pengeringan sebagai alternatif perbaikan sifat kayu telah dapat memperbaiki sifat kayu seperti: peningkatan stabilisasi dimensi kayu, meningkatkan sifat kemudahan untuk diolah (*treatmenticity*) kayu sebelum diproses lebih lanjut, meningkatkan kekuatan kayu dan menghambat penetrasi efikasi jamur kayu

(Abdurrohim & Kadir 1991; Kasmudjo 2001). Namun demikian, kekuatan kayu dan keterawetan kayu terhadap organisme lain belum terjawab. Untuk itu di sini mencoba memaparkan tentang teknologi pengeringan dengan suhu tinggi sebagai optimalisasi proses pengeringan untuk menjawab permasalahan tersebut.

Keawetan dan Kekuatan Kayu sebagai Parameter Kualitas Kayu

Kayu adalah material kompleks yang merupakan bahan alamiah komposit yang terbentuk dari jaringan perennial sebagai manifestasi proses fisiologis tanaman melalui mekanisme pembelahan kambium (Fengel & Wegener 1995; Pandit 1995; Syafii 1999; Desyanti *et al* 2003). Kayu secara material merupakan perpaduan senyawa-senyawa kimia yang didominasi oleh selulosa, jaringan anatomis dan bahan sifat fisik kayu yang saling berkaitan satu sama lain.

Kualitas kayu merupakan parameter kecocokan dan kesesuaian kayu untuk suatu penggunaan tertentu. Hal ini ditunjukkan dengan satu atau lebih variabel yang dipengaruhi oleh struktur dan karakteristik fisiknya (Panshin & Zeeuw 1980). Berdasarkan pembatasan ini maka kualitas kayu mengacu pada *pertama* sifat fisika kayu yang meliputi ; berat jenis dan stabilisasi dimensi kayu; dan *kedua* sifat mekanis kayu yaitu nilai-nilai kayu dalam kaitannya dengan keteguhan lengkung statis (*bending strength/modulus of repture/MoE*), dan keteguhan tekan kayu (*compression strength/modulus of elasticity/MoR*); *ketiga*, daya tahan alami kayu terhadap serangan organisme perusak kayu dan faktor klimatis.

Berdasarkan asumsi di atas, kualitas kayu di Indonesia menurut Seng (1990) dibagi menjadi 5 kelas. Lebih lanjut lihat Tabel 1

Tabel 1. Pembagian kelas kualitas kayu di Indonesia

Parameter Kualitas Kayu	Kelas Kualitas Kayu				
	I	II	III	IV	V
Kekuatan Kayu					
Berat Jenis/ <i>Specivic gravity</i>	> 0,90	0,60 – 0,90	0,40 – 0,60	0,30 -0,40	< 0,30
Keteguhan Lengkung Mutlak / <i>Absolute Bending Strength</i> (kg/cm ²)	> 1100	725 - 1100	500 - 725	360 - 500	< 360
Keteguhan Tekan Mutlak/ <i>Absolute Compression Strength</i> (kg/cm ²)	> 650	425 - 650	300 - 425	215 – 300	< 215
Keawetan Kayu					
Kondisi Selalu Basah	8 tahun	5 tahun	3 tahun	Sangat pendek	Sangat pendek
Terbuka tetapi terlindungi dari pengaruh kelembaban	20 tahun	15 tahun	10 tahun	Beberapa tahun	Sangat pendek
Tertutup dan terlindungi	Tak terbatas	Tak terbatas	Sangat lama	Beberapa tahun	Pendek
Tertutup, terlindungi dan terawat	Tak terbatas	Tak terbatas	Tak terbatas	20 tahun	20 tahun
Infestasi rayap tanah	Tidak	Jarang	Lekas diserang	Sangat cepat	Sangat cepat
Infestasi bubuk kayu kering	Tidak	Tidak	Hampir tidak	Tidak berarti	Sangat cepat

Sumber : Seng (1990)

Teknologi Pengeringan Panas Tinggi pada Kayu

Pemanfaatan panas tinggi semula digunakan hanya untuk keperluan kayu energi, karena dengan perlakuan ini akan dihasilkan kayu dengan nilai kalor yang lebih tinggi dan penanganannya lebih mudah dibandingkan arang. Permadi (2000) menyatakan aplikasi ini di Perancis dinamakan dengan "*Torrefaction*".

Torrefaction pada dasarnya adalah proses pirolisis (*Pyrolysis*), yaitu proses karbonasi (pengarangan), pemanasan atau pembakaran kayu dalam kondisi atmosfer *inert* yang diawali dengan reaksi eksoterm (Sjostrom 1995; Fengel & Wegener 1995). Lebih lanjut dideskripsikan oleh

Permadi (2000) bahwa aplikasi pemanasan ini dibatasi pada suhu antara 150 °C hingga 250 °C dengan kadar oksigen selama proses berlangsung sangat rendah bahkan nol (hampa udara) dalam sistem yang tertutup.

Kollman & Schnieder (1963) yang dikutip oleh Fengel & Wegener (1995) menyatakan bahwa perlakuan suhu tinggi mengakibatkan perubahan sifat-sifat fisika kayu yang ditandai dengan pengurangan berat kering kayu dan dimensi kayu. Proses ini terjadi karena energi panas yang memapar kayu mengakibatkan suhu air di dalam kayu meningkat dan menguap. Uap yang terjadi di dalam rongga sel-sel kayu menimbulkan terjadinya tekanan uap (*internal*

steam pressure) yang mendesak air keluar sehingga kayu menjadi kering dalam waktu cepat. Selama proses ini, air dalam dinding sel juga terlepas, mengakibatkan penebalan struktur sel kayu, sedangkan kerapatan dinding sel menyusut. Lebih lanjut keseluruhan bahan mengalami kontraksi sehingga kayu berkurang kerapatannya (Krisdianto 2003).

Kerusakan struktur dinding sel, terutama kerusakan pada sel jari-jari dan tilosis pada pembuluh (Krisdianto 2004), menyebabkan kayu menjadi lebih stabil dan menurunkan higroskopisitas kayu. Hal ini diakibatkan oleh proses degradasi sudut mikrofibril pada daerah kristalin menjadi lebih menyebar atau amorf (Dwianto & Norimoto 2000; Permadi 2000). Sedangkan Fengel & Wegener (1995) menjelaskan kerusakan pada struktur kristalin selulosa mengakibatkan reaktivitas selulosa terhadap atom hidrogen menjadi berkurang karena rantai selulosa mengalami proses oksidasi.

Efek kerusakan struktur dinding sel kayu berdampak pada penurunan berat kering kayu. Hal ini telah dibuktikan oleh Kossile *et al* (1969) yang dikutip oleh Fengel & Wegener (1995). Perlakuan panas pada kayu *beech* (*Fagus sylvatica*) dengan suhu 5 °C per menit menghasilkan kehilangan berat 8,1 % pada 150 °C dan 9,8 % pada suhu 200 °C. Sedangkan Torgoumkow & Vinden (2001) yang dikutip oleh Krisdianto (2003) melaporkan kayu pinus radiata (*Pinus radiata* D. Don) setelah pemanasan tinggi (teknologi *microwave*) mengalami penurunan berat jenis sampai 15 %. Sedangkan Yusuf *et al* (2002) menyatakan penyusutan berat sengon (*Paraserianthes falcataria*) mencapai 18 % pada

proses penguapan dengan suhu 150 °C pada tekanan 0,49 Mpa di *autoclave* 331 selama 2 jam. Penyusutan berat berbanding lurus dengan kenaikan suhu dan lamanya pemaparan (Dwianto & Norimoto 2000; Permadi 2000; Jasni *et al* 2004).

Perlakuan suhu tinggi juga mengakibatkan turunnya derajat polimerisasi holoselulosa, yang diiringi dengan reaksi dehidrasi dan oksidasi (Fengel & Wegener 1995). Akibatnya kayu memiliki stabilisasi dimensi yang tinggi dan sifat regas atau mudah rapuh (*brittle*) yang meningkat (Dwianto & Norimoto 2000; Permadi 2000; Subiyanto & Alamsyah 2002). Fenomena ini ditunjukkan dengan peningkatan nilai keteguhan tekan kayu (*MoE*) sedangkan keteguhan lengkung kayu (*MoR*) mengalami hal sebaliknya (Dwianto & Norimoto 2000; Subiyanto & Alamsyah 2002). Hal ini disebabkan oleh proses kristalisasi selulosa pada areal amorf dan parakristalin (*paracrystalline*) di dalam mikrofibril (Hirai *et al* 1972 yang dikutip oleh Dwianto & Norimoto 2000). Hal ini juga selaras dengan pernyataan Panshin & Wegener (1995) bahwa stabilisasi dimensi kayu meningkat secara paralel dengan penurunan berat jenis kayu.

Berdasarkan penelitian Jasni *et al* (2004) peningkatan suhu yang dipaparkan pada kayu akan meningkatkan daya tahan kayu terhadap serangan rayap kayu kering *Cryptotermes cynocephalus* Light dan bubuk kayu *Heterobostrychus aequalis*. Mekanisme ini terjadi karena proses pemanasan menyebabkan degradasi holoselulosa, sehingga rayap dan bubuk kayu kering tidak terlalu suka menyantapnya. Padahal hemiselulosa ini bersifat higroskopis yang memancing jamur dan serangga

untuk menginfestasinya (Stamm 1964 yang dikutip oleh Jasni *et al* 2004). Hal serupa juga terjadi pada penelitian Permadi (2000) yang membuktikan bahwa perlakuan panas tinggi akan meningkatkan keawetan kayu terhadap infestasi jamur.

Namun demikian penelitian ini berkontradiksi dengan penelitian Yusuf *et al* (2002). Dimana efek termal yang menyebabkan kehilangan berat akan meningkatkan preferensi makan rayap tanah *Coptotermes* sp secara laboratoris dan rayap tanah *Macrotermes gilvus* Hagen pada uji lapangan dibandingkan kontrol. Proses panas diduga ikut juga mendegradasi zat-zat penolak (*deterrent factors*) dan atau menghasilkan beberapa stimulan yang meningkatkan preferensi makan rayap tanah. Kontradiksi ini membuktikan bahwa pola makan rayap tergantung pada faktor inheren kayu, makroekologi dan jenis serta perilaku rayap (Pribadi 2004).

Minimasi Efek Negatif Degradasi Termal pada Kayu

Telah dipahami bahwa perlakuan panas akan mengakibatkan degradasi sudut mikrofibril dan derajat polimerisasi polisakarida yang berdampak pada perombakan struktur inti selulosa dan hemiselulosa sehingga dinding sel menjadi rusak yang direpresentasikan dengan laju kehilangan berat jenis kayu. Maka untuk mengatasi persolan ini ada beberapa alternatif pemecahan yaitu :

1. Perlakuan panas dilakukan dalam kondisi tanpa oksigen (*vacuum heating*)

Dwianto & Norimoto (2000) membuktikan bahwa ketidakhadiran oksigen dapat mereduksi laju kehilangan berat kayu dibandingkan dengan

perlakuan panas yang melibatkan oksigen pada jenis kayu, suhu dan waktu pemanasan yang sama. Absensi oksigen akan menggeser puncak eksotermal kayu ke arah yang lebih tinggi sehingga titik lebur kayu meningkat. Akibatnya degradasi struktural kayu menjadi lebih lambat (Fengel & Wegener 1995). Padahal oksigen merupakan pemicu degradasi termal yang berlebih (Stamm & Hansen 1937 yang dikutip oleh Dwianto & Norimoto 2000)

2. Perlakuan Panas dalam Perendaman Logam Cair (*molten metal heating*)

Proses ini sama dengan proses *vacuum heating* dimana fungsi utama logam cair adalah untuk menghambat penetrasi oksigen sehingga reaksi oksidasi tidak terjadi akibatnya degradasi termal material kayu tereduksi.

Proses ini biasanya menggunakan campuran logam timbel, selenium dan kadmium dengan rasio 0,306 : 0,512 : 0,182 dengan suhu 142 °C (Dwianto & Norimoto 2000).

3. Pengaturan Suhu dan Waktu Pemanasan
Penelitian Dwianto & Norimoto (2000) menyimpulkan bahwa nilai optimum *MoR* dan *MoE* tercapai pada suhu 160 °C selama 3 jam dan/atau 180 °C dalam waktu 1 jam. Peningkatan suhu sampai batas tertentu akan mempercepat proses degradasi termal dan titik stasionernya dicapai pada suhu 200 °C. Hal ini juga sesuai dengan penelitian Jasni *et al* (2004) untuk memperoleh tingkat keterawetan kayu yang optimum.

Permadi (2000) membuat suatu permodelan matematis sederhana untuk meningkatkan derajat optimalisasi proses panas sebagai berikut :

$$d\alpha/dt = (1 - \alpha)^n/t$$

dimana : τ = mengikuti hukum arhenius

$$\tau = \tau_0 e^{\frac{E}{RT}}$$

dimana : α = sifat kayu

t = waktu n = orde reaksi

τ = waktu spesifik E = energi aktivasi

R = konstanta gas T = suhu mutlak

4. Pembatasan penyusutan berat (*weight loss limitation*)

Perbaikan *MoE* dan *MoR* kayu yang dipanaskan dapat terjadi selama penyusutan berat kayu tidak lebih atau sama dengan 2 % dari berat awal (Dwianto & Norimoto 2000; Subiyanto & Alamansyah 2002).

KESIMPULAN

1. Metode pemaparan panas tinggi dapat memperbaiki kualitas kayu dalam batasan-batasan tertentu. Peningkatan ini direpresentasikan oleh stabilisasi dimensi, keterawetan kayu terhadap jamur, rayap kayu kering dan bubuk kayu kering, *MoE* dan treatmetabilitas serta preferensi makan rayap tanah. Sedangkan nilai *MoR*, higroskopisitas, berat jenis kayu mengalami penurunan.
2. Pengurangan dampak negatif degradasi termal dapat dilakukan dengan metode *vacuum heating*, *molten metal heating*, permodelan waktu dan suhu pemanasan dan pembatasan penurunan berat jenis.
3. Metode pemaparan panas tinggi cukup sederhana dan layak untuk diterapkan sebagai proses kelanjutan pengeringan untuk meningkatkan kualitas kayu.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrohim, S & K, Kadir. 1991. Peranan Pengawetan dan Pengeringan Kayu dalam Upaya Pelestarian Sumber Daya Alam. *Majalah Kehutanan Indonesia edisi 3 Hal 38 – 43*
- Desyanti; I.M. Padlinurjaji & I. Wahyudi. 2003. Kewetan Kayu dan Faktor-Faktor yang Mempengaruhinya. *Prosiding Seminar Nasional VI MAPEKI Hal 84 – 96*. Universitas Muhammadiyah Padang, Bukit Tinggi
- Dwianto, W & M. Norimoto. 2000. Peningkatan Sifat Kekuatan Kayu dengan Perlakuan Suhu Tinggi yang optimum. *Dalam S.Y. Marsoem, G. Sutopo, Y. Suranto, R. Widyorini & J. Sulisty. Prosiding MAPEKI Buku I. Hal 72 – 79*. Bigrat Publishing, Yogyakarta
- Fengel, D & G. Wegener. 1995. *Kayu Kimia Ultrastruktur Reaksi-reaksi*. Terjemahan. Gajah Mada University Press, Yogyakarta
- Hamidah, S. 2000. *Pengaruh Kecepatan Pertumbuhan dan Bagian Batang terhadap Sifat Anatomi, Sifat Fisika dan Mekanika Kayu Sengon (Paraserianthes falcataria (L) Nielsen)*. Tesis Program Pascasarjana Universitas Mulawarman, Samarinda. Tidak dipublikasikan
- Jasni, P. Permadi, D.A. Sudika & R. Rushelia. 2004. Aplikasi Panas sebagai Alternatif untuk Mengawetkan Kayu. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis Vol 2 No 1 Hal 27 – 33*.
- Kasmudjo. 2001. *Pengantar Teknologi Hasil Hutan Bagian II. Pengeringan Kayu dan Pengawetan Kayu*. Penerbit Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Krisdianto. 2003. Aplikasi Teknologi *Microwave* untuk Pengolahan Bahan Kayu : Suatu Tinjauan Pustaka. *Prosiding Seminar Nasional VI MAPEKI Hal 199 –211*. Universitas Muhammadiyah Padang, Bukit Tinggi

- Krisdianto. 2004. Perubahan Struktur Anatomi Akibat Pemanasan dengan Microwave. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis* Vol 2 No 2 Hal 73 – 78.
- Nurmilawati. 2005. *Dimensi serat dan Sifat Fisika Kayu Manis (Cinnamomum burmanii Blume) pada Tiga Tingkat Umur*. Skripsi Fakultas Kehutanan Universitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru. Tidak dipublikasikan
- Pandit, I.K.N. 1995. *Anatomi Kayu Pertumbuhan dan Kualitas Kayu*. Bidang Studi Ilmu Pengetahuan kehutanan Institut Pertanian Bogor, Bogor
- Panshin, A.J & C. de Zeeuw. 1980. *Textbook of Wood Technology*. Mc Graw-Hill Book, New York
- Permadi, P. 2000. Proses Panas sebagai Alternatif Pengawetan Kayu yang Berwawasan Lingkungan. *Sylva Tropika* No. 25 Hal 5 – 7. Forestry and Estate Crops Research and Development Agency (FORDA), Jakarta
- Prawiroatmodjo, S. 1984. Kayu, Ilmu Kayu, Teknologi Kayu dan Masa Depan. *Pengukuhan Guru Besar pada Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Pribadi, T. 2004. *Efektivitas Campuran Feses Sapi dan Kapur terhadap Serangan Rayap Tanah Coptotermes curvignathus holmgren*. Skripsi Fakultas Kehutanan Universitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru. Tidak dipublikasikan
- Seng, O.D. 1990. *Berat Jenis dari Kayu Indonesia dan Pengertian Berat Kayunya untuk Keperluan Praktik*. Terjemahan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Bogor
- Sjostrom, E. 1995. *Kimia Kayu Dasar-dasar dan Penggunaan*. Terjemahan. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Subiyanto, B & E.M. Alamsyah. 2002. The Effect of Heating Temperature on Physical and Mechanical Properties of Compressed Indonesian Bamboo. *Proceeding of the Fourth International Wood Science Symposium*. Hal 69. LIPI – JSPS Core University Program in The Field of Wood Science Research Center of Physics, LIPI – Indonesia. Wood Reserch Institute Kyoto University - Japan
- Sulistyo, J & S.N. Marsoem. 2000. Pengaruh Umur terhadap Sifat Fisika dan mekanika Kayu Jati (*Tectona grandis* L.F). Dalam S.Y. Marsoem, G. Sutopo, Y. Suranto, R. Widyorini & J. Sulistyo. *Prosiding MAPEKI Buku 1*. Hal 49 – 64. Bigrat Publishing, Yogyakarta
- Syafii, W. 1999. Pentingnya Penelitian Sifat-sifat Dasar Kayu dalam Rangka Peningkatan Efisiensi Pemanfaatan Sumber Daya Hutan. *Jurnal Teknologi Hasil Hutan* Vol XII No. 1 Hal 1 – 9. Jurusan Teknologi Hasil Hutan Institut Pertanian Bogor, Bogor
- Yusuf, S, M. Gofar & S. Doi. 2002. Effect of Steaming Treatment of Indonesin Wood on termite Feeding Behavior. *Proceeding of the Fourth International Wood Science Symposium*. Hal 123 - 127. LIPI – JSPS Core University Program in The Field of Wood Science Research Center of Physics, LIPI – Indonesia. Wood Reserch Institute Kyoto University - Japan