

Perubahan Struktur Anatomi Kayu akibat Pemanasan dengan Microwave

Wood Anatomical Changes due to Microwave Heating

Krisdianto

Abstract

Microwave technology has been developed for wood material in the last few decades. The aim of micro waving wood material is to solve the problem of wood processing, such as drying time and permeability. During microwave radiation, the wood structure has been changed microscopically as well as macroscopically. Microscopic modification includes ruptured of ray cell parenchyma tissue, breakage of pit aspiration and open tylosis blockade in vessels. While, macroscopic modification includes checks radially.

Key words: microwave, wood anatomy, microscopic, macroscopic, ray, pit, tylosis, checks

Pendahuluan

Kayu merupakan bahan yang porus dimana struktur anatominya sangat mempengaruhi aliran cairan dan gas di dalamnya. Hubungan antara struktur anatomi kayu dengan kemampuan mengalirkan cairan telah dipelajari oleh beberapa peneliti, baik pada kayu daun lebar maupun kayu daun jarum (Bamber dan Burley 1983, Booker 1977 dan 1990, Booker dan Evans 1994, Choong *et al.* 1974, Côté 1963, Nicholas dan Siau 1973; Siau 1983, Stamm 1961, 1964, 1967).

Pada arah longitudinal, aliran cairan dalam kayu daun jarum adalah melalui jaringan trakeida (Booker 1990, Booker dan Evans 1994, Siau 1983). Kayu daun jarum yang tidak memiliki pembuluh mengandalkan transportasi longitudinalnya melalui jaringan trakeida. Sel trakeida mempunyai arah sejajar sumbu batang, berdimensi ramping dan panjang, dengan lubang ditengahnya (rongga sel) dan tertutup di kedua ujungnya. Sambungan antar trakeida dihubungkan dengan noktah yang berjumlah antara 50 ~ 300 noktah dalam setiap trakeidanya (Stamm 1961, 1964, 1967). Dengan kata lain, aliran cairan pada arah longitudinal tergantung dari keberadaan noktah dalam trakeida.

Pada kayu daun lebar, aliran cairan dan gas sebagian besar melalui pembuluh. Pembuluh adalah sel berbentuk tabung yang tersusun bersambungan dari ujung ke ujung yang terbuka, sehingga membentuk jaringan yang menyerupai pipa (Jane 1970). Diameter pembuluh relatif lebih besar dari komponen struktur anatomi lainnya, sehingga laju cairan dalam kayu pada arah longitudinal terutama adalah melalui pembuluh.

Pada arah radial, aliran cairan dan gas pada kayu daun jarum dan kayu daun lebar adalah melalui jaringan sel jari-jari (Côté 1963, Nicholas dan Siau 1973). Pada dasarnya, jaringan jari-jari merupakan sel parenkima yang bersusun memanjang pada arah radial dari empulur ke arah kulit kayu. Jari-jari bersusun secara horizontal dengan lebar satu sel (*uniseriate*) atau lebih

dari satu sel (*biseriate* dan *multiseriate*) bergantung dari jenis kayunya (Jane 1970).

Pada arah tangensial, aliran cairan dalam kayu adalah melalui noktah antar serat dan difusi antar seratnya. Kondisi ini menyebabkan aliran cairan pada arah tangensial cenderung lebih lambat daripada kedua arah lainnya. Pada beberapa jenis kayu daun jarum dapat disimpulkan bahwa aliran cairan dan gas pada arah tangensial sangat lambat, sehingga urutan kecepatan aliran cairan dan gas dalam kayu daun jarum yang terbesar adalah aliran longitudinal, diikuti aliran radial dan yang paling lambat adalah aliran tangensial (Booker 1977, Booker dan Evans 1994).

Perbedaan kecepatan aliran cairan pada ketiga arah utama kayu daun lebar pada dasarnya sama dengan kayu daun jarum (Siau 1983). Tetapi variasi struktur anatomi dari berbagai jenis kayu daun lebar mengakibatkan kecepatan aliran cairan arah tangensial pada beberapa jenis kayu lebih besar daripada aliran cairan arah radialnya. Pada jenis kayu *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. misalnya, aliran cairan arah tangensial lebih besar dari arah radialnya. Hal ini disebabkan susunan parenkima yang membentuk garis tangensial secara berkesinambungan (Pendlebury dan Petty 1993).

Beberapa hal lain yang mempengaruhi laju aliran cairan dalam kayu adalah adanya noktah yang beraspirasi pada kayu daun jarum (Erickson dan Crawford 1959) dan tilosis yang menutup pembuluh kayu daun lebar (Jane 1970, Wilson dan White 1986). Struktur noktah pada sebagian besar kayu daun jarum mempunyai selaput dengan torus yang menebal di bagian tengahnya (Haygreen dan Bowyer 1982). Karena sifatnya yang lentur, selaput ini dapat bergeser ke salah satu sisi rongga noktah sehingga mengakibatkan tersumbatnya mulut noktah oleh torus. Kondisi yang demikian disebut noktah dalam keadaan ter-aspirasi. Penyumbatan mulut noktah menyebabkan terhambatnya aliran cairan dan gas.

Tilosis adalah sel-sel parenkim yang masuk ke dalam rongga pembuluh melalui noktah dinding

pembuluh (Wilson dan White 1986). Tilosis terbentuk selama proses transisi dari kayu gubal ke kayu teras, dan dapat pula sebagai akibat luka, infeksi cendawan atau bakteri dan kekeringan. Tilosis yang berbentuk tonjolan dalam dinding sel pembuluh pada mulanya mempunyai dinding yang tipis, tetapi dalam perkembangannya dindingnya menjadi tebal. Selain itu, pembentukannya dalam pembuluh dapat lebih dari satu, sehingga tilosis saling menekan satu dengan yang lain sehingga bentuknya menyerupai prisma. Keberadaan tilosis dalam pembuluh menyumbat sebagian atau seluruh bagian pembuluh dan menghambat laju aliran cairan.

Pengetahuan mengenai laju aliran cairan dan gas di dalam kayu sangat penting dalam pengolahan kayu, seperti pengawetan atau impregnasi dengan bahan perekat. Tujuan utama dalam proses pengawetan kayu adalah memasukkan bahan pengawet sesuai dengan retensi yang ditargetkan ke dalam kayu. Proses pemasukan bahan pengawet ke dalam kayu dipengaruhi oleh kemampuan difusi bahan pengawet yang berbentuk cair tersebut ke dalam kayu.

Berbagai cara telah dikembangkan untuk memodifikasi struktur kayu sebagai usaha untuk memperlancar aliran cairan dalam kayu. Beberapa perlakuan pendahuluan sebelum proses pengawetan meliputi proses pengeringan, perebusan, penguapan, penggunaan bakteri atau pembentukan lubang-lubang kecil pada kayu dengan sinar laser (*laser incising*) (McQuire 1962 dan 1974, Stamm 1964, Archer 1985, Bellman 1968). Setiap perlakuan pendahuluan memiliki kelebihan dan kekurangan dalam penerapannya. Namun, secara garis besar seluruh proses pendahuluan tersebut memerlukan waktu yang lama.

Teknologi pemanasan dengan microwave telah dikembangkan aplikasinya untuk proses pengeringan dan perlakuan pendahuluan kayu sebelum proses pengawetan dan impregnasi bahan kimia (Barnes *et al.* 1976, Vinden *et al.* 2000, Vinden dan Torgovnikov 1996). Teknologi ini memanfaatkan gelombang mikro-elektromagnetik yang dapat diserap oleh kayu.

Pada saat gelombang microwave melewati bahan kayu, molekul-molekul di dalam kayu bergetar karena susunan positif dan negatif dipolar molekul kayu bergerak ke arah sumbu elektromagnetik secara bergantian. Gerakan memutar ke arah positif dan negatif secara bergantian tersebut mengakibatkan perubahan energi kinetik menjadi energi panas. Energi panas yang terjadi mampu menguapkan air di dalam kayu (Barnes, *et al.* 1976; Vinden *et al.* 2000).

Penguapan air yang terjadi di dalam kayu menimbulkan terjadinya tekanan uap yang mendesak keluar dari bahan kayu. Tekanan uap ini mampu memodifikasi struktur sel kayu, terutama sel-sel kayu yang menjadi penghambat laju aliran cairan di dalam kayu, sehingga permeabilitas kayu meningkat setelah

proses pemanasan dengan microwave. (Vinden dan Torgovnikov 1996, Love *et al.* 2001).

Tulisan ini menguraikan perubahan struktur anatomi yang terjadi akibat pemanasan dengan microwave, secara mikroskopik dan makroskopik.

Bahan dan Metode

Bahan

Tiga jenis kayu komersial dari Australia, yaitu Radiata pine (*Pinus radiata*), kayu Ash (*Eucalyptus regnans*) dan kayu Polonia (*Paulownia* sp.) yang dipersiapkan untuk proses impregnasi dengan bahan perekat.

Metode

Kayu yang telah dipersiapkan dengan ukuran lebar x tebal x panjang = 30 cm x 30 cm x 2 m, dipanaskan dalam microwave dengan kekuatan 50 kW dan frekuensi 2.45 GHz dengan kecepatan *conveyor belt* rata-rata 10 mm/detik. Jadi waktu yang dibutuhkan untuk meradiasi kayu dengan panjang 2 m tersebut adalah 200 detik atau sekitar 3.5 menit. Seluruh contoh uji kayu diradiasi di *Microwave facility, University of Melbourne, Creswick, Australia*.

Kadar air awal Radiata pine, kayu Ash dan kayu Polonia masing-masing adalah 95%, 86%, dan 96%. Setelah pemanasan dengan microwave, kadar air masing-masing jenis kayu tersebut menjadi 24%, 32% dan 28%.

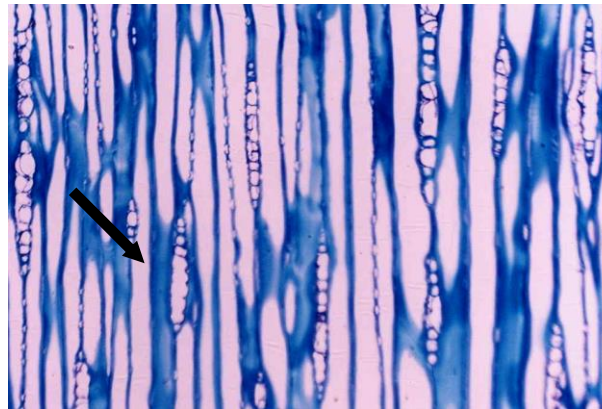
Setelah diradiasi dengan microwave, ujung contoh uji kayu dipotong setebal 10 cm, dan dihaluskan bagian melintangnya untuk persiapan pengamatan dan pengambilan foto makroskopis. Sedangkan untuk melihat perubahan struktur kayu secara mikro, foto mikroskopis dibuat dari preparat sayatan kayu yang telah dipanaskan.

Untuk menghindari kerusakan struktur anatomi akibat penyayatan, sebelum penyayatan dengan mikrotom, contoh uji melalui proses *embedding* dengan LR *white resin*. Proses *embedding* dilakukan pada contoh uji dalam ukuran kurang lebih 2 mm (T) x 2 mm (R) x 10 mm (L), dimana T = tangensial, R = radial dan L = longitudinal. Kemudian contoh uji dicuci dengan alkohol secara bertahap dari 30%, 60%, 95% dan alkohol *absolute* selama masing-masing 24 jam dalam *rotary shaker*. Setelah itu, masih dalam proses yang sama, sampel diberi campuran resin LR *white* dan alkohol *absolute*, secara bertahap dengan perbandingan 1 : 1; 3 : 1 dan 100% LR *white*.

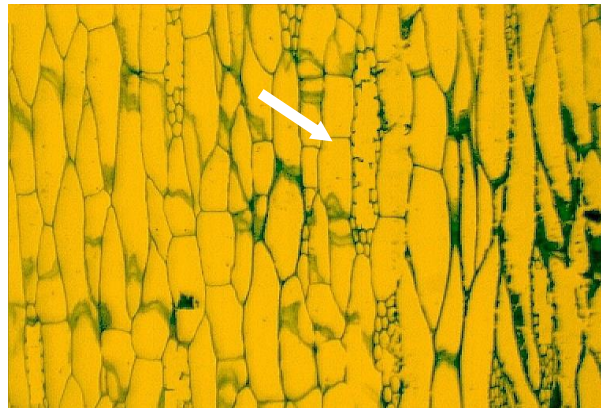
Contoh uji kemudian dimasukkan dalam kapsul transparan yang telah diisi penuh oleh LR *white resin*. Kapsul yang berisi contoh uji di masukkan ke dalam oven dengan suhu 60°C selama kurang lebih 4 jam. Setelah resin mengeras dalam bentuk kapsul yang terdapat contoh uji kayu di dalamnya, kemudian kapsul dipersiapkan untuk disayat dengan *rotary mikrotom* yang

menggunakan pisau dari kaca diagonal. Contoh uji disayat dengan ketebalan antara 4 ~ 10 μm . Kemudian hasil sayatan dipanaskan dalam *hot plate* dan diberi

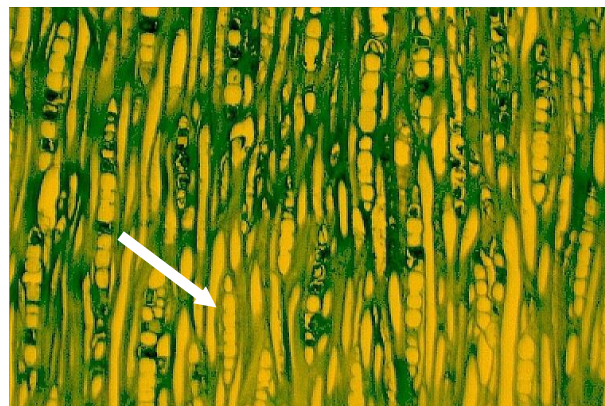
pewarna dengan *toluidine blue* atau *safranin-O* sebelum direkat dengan *entellan* (Proscitech 2000).



a. *Pinus radiata*



b. *Pauwlonia* sp.



c. *Eucalyptus regnans*

— = 100 μm

Figure 1. Tangential surfaces of *Pinus radiata* (a), *Pauwlonia* sp. (b) and *Eucalyptus regnans* (c) that have been microwaved.

Note: Arrows show rays breakage.

Hasil dan Pembahasan

Setelah melalui proses pemanasan dengan microwave, kayu mengalami beberapa perubahan. Pada contoh uji kayu daun jarum (*Pinus radiata*) dan kayu daun lebar (*Pauwlonia* sp. dan *Eucalyptus regnans*) jaringan jari-jari mengalami kerusakan seperti ditunjukkan dalam Gambar 1a, b dan c.

Selain kerusakan jaringan jari-jari, pada kayu daun jarum juga ditemukan kerusakan pada noktah yang

beraspirasi (Gambar 2). Seperti ditunjukkan dalam Gambar 2, noktah yang pada penampang tangensial berbentuk lonjong dengan mulut noktah berbentuk lingkaran yang lebih kecil tampak rusak (Jane 1970).

Pada kayu daun lebar, selain kerusakan yang terjadi pada jaringan jari-jari, perubahan struktur juga terjadi berupa rusaknya blokade tilosis dalam pembuluh (Gambar 3).

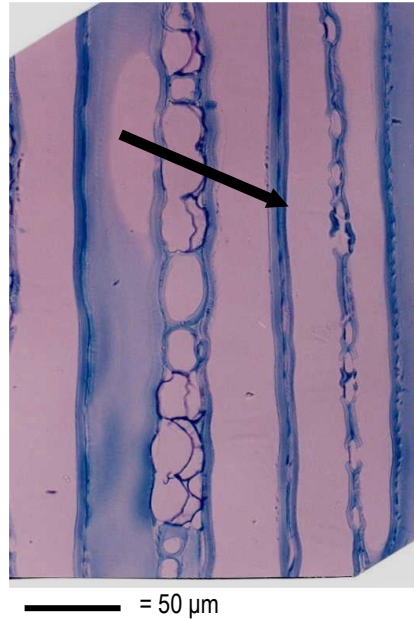


Figure 2. Broken pit is shown in tangential surface of microwaved *Pinus radiata*

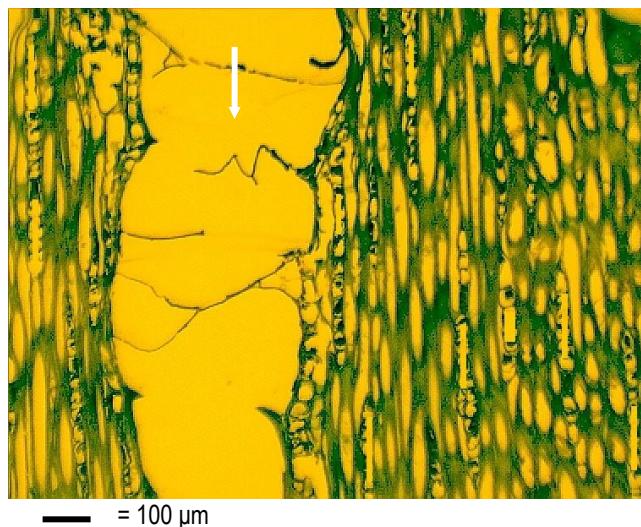


Figure 3. Breakage of tyloses blockade in *Eucalyptus regnans*

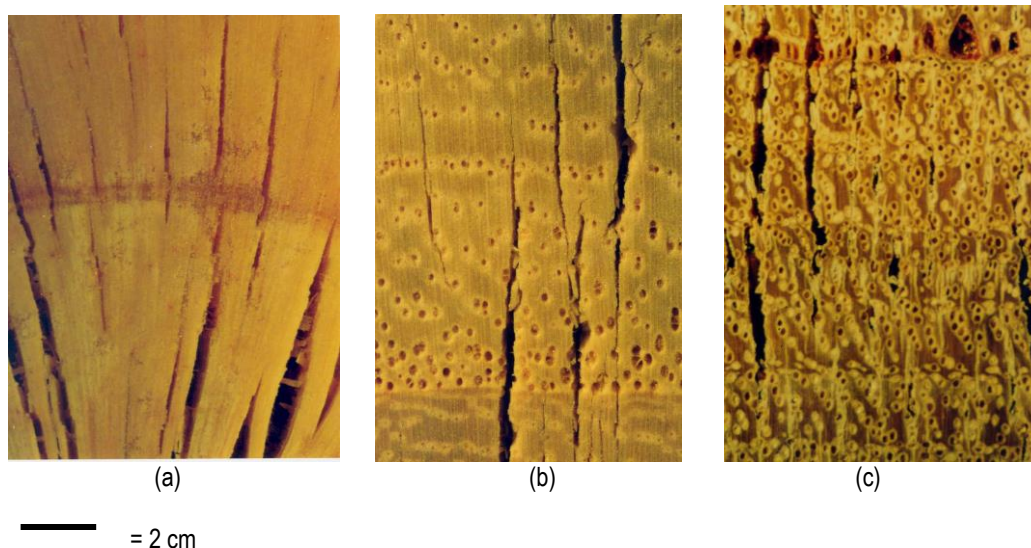


Figure 4. Radially checks that happen in microwaved *Pinus radiata* (a), *Pauwlonia* sp. (b) and *Eucalyptus regnans* (c).

Secara makroskopis, perubahan yang terjadi pada kayu daun jarum maupun kayu daun lebar yang dipanaskan dengan microwave adalah pecah retak yang terjadi pada arah radial (Gambar 4a, b dan c). Hal ini disebabkan karena proses pengeringan oleh microwave menyebabkan air dalam kayu, baik air bebas maupun air terikat menguap. Penguapan yang terjadi pada air yang terikat di dalam dinding sel menyebabkan sel kayu mengalami penyusutan (Vinden dan Torgovnikov 2001). Penyusutan dinding sel kayu secara keseluruhan menyebabkan pecah retak pada arah radial. Hal ini disebabkan karena Modulus of Rupture (MOR) arah radial pada umumnya kayu adalah dua kali lebih rendah dari sisi tangensialnya (Vinden dan Torgovnikov 2000).

Seperti telah disebutkan dalam bahan dan metode, bahwa pengamatan dilakukan terhadap kayu yang akan diimpregnasi dengan bahan perekat menjadi sebuah produk dengan nama VINTORG (Love *et al.* 2001). Dalam hal ini kekuatan microwave yang digunakan cukup besar untuk membuat kayu mengalami pecah retak seperti yang tampak pada Gambar 4. Pecah retak tersebut terjadi secara memanjang pada arah radialnya dan digunakan sebagai jalan bagi aliran bahan perekat.

Menurut hasil wawancara langsung dengan Profesor Torgovnikov, perubahan struktur anatomi secara mikroskopis berupa rusaknya jaringan jari-jari dan noktah yang beraspirasi pada kayu daun jarum dan tilosis yang memblokir pembuluh pada kayu daun lebar pada dasarnya tidak memerlukan kekuatan microwave yang tinggi. Pada saat air di dalam kayu menguap, tekanan uap cukup kuat untuk merusak jaringan jari-jari, aspirasi noktah dan tilosis. Berdasarkan kenyataan tersebut dapat diasumsikan bahwa kerusakan

struktur anatomi yang bersifat mikro dapat terjadi beberapa saat setelah air mulai menguap. Berdasarkan pengamatan langsung pada proses pemanasan dengan microwave berkekuatan 50 kW dan kecepatan konveyor belt 10 mm/detik, air di dalam kayu mulai menguap pada menit pertama.

Energi microwave yang keluar dari dalam wave generator dapat diatur besar kecilnya, sehingga kerusakan struktur anatomi kayu juga dapat diatur sesuai dengan yang diinginkan (Vinden dan Torgovnikov 1996). Kerusakan struktur anatomi secara makro yang berupa pecah retak memanjang pada arah radial dapat dihindari dengan memberikan kekuatan microwave yang rendah. Selain itu, untuk mendapatkan intensitas pemanasan microwave yang rendah dapat juga dilakukan dengan mempercepat laju kecepatan konveyor belt, sehingga waktu pemanasan kayu dalam lorong (*tunnel*) microwave dapat diperpendek dan energi yang diterima oleh kayu menjadi lebih rendah.

Kesimpulan

Perubahan struktur anatomi kayu daun jarum secara mikroskopis meliputi rusaknya jaringan sel jari-jari dan rusaknya noktah yang beraspirasi.

Perubahan struktur anatomi kayu daun lebar secara mikroskopis meliputi rusaknya jaringan sel jari-jari dan rusaknya tilosis yang menutup pembuluh.

Secara makroskopis, kayu daun jarum dan kayu daun lebar mengalami pecah retak pada arah radialnya.

Perubahan struktur kayu dapat diatur dengan memperbesar atau memperkecil kekuatan microwave dan mempercepat atau memperlambat konveyor belt.

Daftar Pustaka

- Archer, K. 1985. Bacterial Modification of Douglas Fir Roundwood Permeability. Desertasi Doctor of Philosophy, The University of Canterbury. (Tidak diterbitkan).
- Bamber, R.K. and J. Burley. 1983. The Wood Properties of Radiata Pine. Commonwealth Agricultural Bureaux, London.
- Barnes, D., L. Admiral, R.L. Pike, and V.N.P. Mathur. 1976. Continuous System for The Drying of Lumber. Forest Products Journal. 26(5): 31-42.
- Bellman, H. 1968. Pretreatment of Wood for Pressure Impregnation. Journal of the Institute of Wood Science. 4(3): 54-62.
- Booker, R.E. 1977. Problems in The Measurement of Longitudinal Sapwood Permeability and Hydraulic Conductivity. New Zealand Journal of Forest Science. 7(3): 297-306.
- Booker, R.E. 1990. Changes in Transverse Wood Permeability During The Drying of Rimu and Radiata Pine. The International Research Group on Wood Preservation. No. doc. IRG/WP. 3636.
- Booker, R. and J.M. Evans. 1994. The Effect of Drying Schedule on The Radial Permeability of *Pinus radiata* D.Don. Holz als Roh-und Werkstoff. 52:150-156.
- Choong, E.T., F.O. Tesoro, and F.G. Manwiller. 1974. Permeability of Twenty-Two Small Diameter Hardwoods Growing on Southern Pine Sites. Wood and Fiber. 6(1): 91-101.
- Côté Jr., W.A. 1963. Structural Factors Affecting Permeability of Wood. Journal of Polymer Science: Part C. 2:231-242
- Erickson, H.D. and R.J. Crawford. 1959. The effect of several seasoning methods upon the permeability of wood to liquids. AWPA. 55: 210-220.
- Haygreen, J.G. and J.L. Bowyer. 1982. Forest products and wood science, an introduction. Iowa State University Press, Iowa.
- Jane, F.W. 1970. The Structure of Wood, Revised Edition. Adam & Charles Black, London.
- Love, J., G. Torgovnikov, P. Vinden, and P. Ades. 2001. Microwave Modification of Wood: Measurement of Wood Permeability. Conference paper at The 32nd Annual Meeting of The International Research Group on Wood Preservation, Nara, Japan.
- McQuire, A.J. 1962. The Pressure Treatment of Green Radiata Pine with Boron. Research note No.29. Forest Research Institute, New Zealand Forest Science, New Zealand.
- McQuire, A.J. 1974. The Treatment of Partially Seasoned Pine Post by The Bethell Process. Conference Paper at New Zealand Wood Preservers Association Conference, New Zealand Forest Service. Reprint No. 824.
- Nicholas, D.D. and F.S. Siau. 1973. Factors Influencing Treatability. In D.D.Nicholas (Eds.) Wood deterioration and its prevention by preservatives treatments (pp. 299-344). Syracuse University Press, New York.
- Pendlebury, A.J. and J.A. Petty. 1993. Rubberwood Anatomy and Its Influence on Gaseous Permeability. Conference paper at The 24th Annual Meeting of The International Research Group on Wood Preservation, Orlando, Florida.
- Proscitech, 2000. Download dari Proscitech, website, <http://www.proscitech.com.au>, Januray 2000.
- Siau, J.F. 1983. Transport Process in Wood. Revised Edition. Springer-Verlag, Berlin.
- Stamm, A.J. 1961. Determining The Distribution of Interstructural Openings in Wood. Forest Products Journal. March 1961, pp.141-144.
- Stamm, A.J. 1964. Wood and Cellulose Science. Ronald Press, New York.
- Stamm, A.J. 1967. Movement of Fluid in Wood Part I: Flow of Fluids in Wood. Wood Science and Technology. 1:122-141
- Vinden, P. and G. Torgovnikov. 1996. A Method for Increasing The Permeability of Wood Patent Application. International Publication No. WO 99/64213.
- Vinden, P. and G. Torgovnikov. 2001. Microwave Wood Modification Commercial Applications. Lecture note, Forestry Department Melbourne University, Melbourne.
- Vinden, P., J. Romero, and G. Torgovnikov. 2000. Microwave Conditioning of *Pinus radiata* D.Don for Preservative Treatment. Lecture Notes on Forestry Department Melbourne University, Melbourne.
- Wilson, K. and D.J.B. White. 1986. The Anatomy of Wood: Its Diversity and Variability. Stobart & Son, London.

Diterima tanggal 15 Desember 2003

Krisdianto
Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Hasil Hutan, Bogor
(Research and Development Center for Forest Products Technology)
Jl Gunung Batu 5, PO.Box 182 Bogor
Telpon 251-633378