

Pengaruh Suhu dan Tekanan Uap Air terhadap Fiksasi Kayu Kompresi dengan menggunakan *Close System Compression*

Temperature and Steam Pressure Dependency on the Fixation of Compressed Wood by Close System Compression

Yusup Amin dan Wahyu Dwianto

Abstract

It is known that compression wood by heat treatment needs approximately 20 hours at 180°C to attempt the permanent fixation of compressive deformation. On the other hand, even the permanent fixation of compressive deformation by steam treatment is reached in 10 minutes at the same temperature, this method needs expensive apparatus and inapplicable for large wood dimensions. These both problems can be solved by *Close System Compression* (CSC) method. CSC is a method to press the wood inside an airtight seal chamber, which is placed between the two hot press plates. Wood moisture contents, which evaporate due to heat from hot press, are trapped inside the CSC and produce steam.

The wood species used in this research was Randu (*Bombax ceiba*. L) with dimensions of 2 cm (L) x 2 cm (T) x 3 cm (R). The wood specimens were compressed into 2 cm in radial direction inside the CSC at 140°C, 160°C, and 180°C for 10 min, 20 min and 30 min. They were compressed in air-dried, water saturated and steam saturated conditions, because it was predicted that moisture content of wood and steam pressure, which was produced inside the CSC has significantly effects on the fixation of wood, beside the temperature.

The result shows that moisture content of the wood has an effect on the decreasing of recovery of set. However, it was needed 180°C temperature and 10 kg/cm² steam pressure to attempt the permanent fixation. Therefore, it was necessary to add water to produce the steam pressure besides that was produced from the evaporation of wood moisture content.

Key words: wood densification, fixation, Close System Compression, temperature, steam pressure.

Pendahuluan

Teknik densifikasi kayu adalah teknik pengempaan kayu utuh (*solid*) yang bertujuan untuk meningkatkan kekerasan permukaan dan kekuatan kayu. Teknik ini dapat diterapkan pada jenis-jenis kayu cepat tumbuh yang pada umumnya berkualitas rendah melalui peningkatan kerapatannya. Proses densifikasi kayu dapat dibagi menjadi 3 tahap, yaitu: (1) pelunakan (*softening*); (2) deformasi (*deformation*); dan (3) fiksasi (*fixation*). Kayu harus mengalami pelunakan sebelum dikempa. Selanjutnya pada tahap deformasi, kayu yang dikempa tersebut baru mengalami *drying set*. Kayu kompresi secara komersial telah dibuat di Jerman dengan nama *Lignostone* (Stamm 1964). Tetapi hasil pengempaannya belum bersifat permanen, karena masih kembali ke ketebalan semula bila mendapat pengaruh kelembaban atau perendaman (*recovery*). Hasil pengempaan yang permanen mutlak diperlukan untuk memanfaatkan kayu-kayu kompresi tersebut sebagai pengganti kayu-kayu komersial.

Densifikasi kayu yang bersifat permanen dapat dilakukan dengan menggunakan metode (1) perekatan atau modifikasi kimia, (2) perlakuan suhu tinggi pada kondisi kayu kering dan (3) perlakuan uap air suhu tinggi pada kondisi kayu basah (*steam*).

Prinsip densifikasi kayu metode (1) adalah dengan memasukkan perekat (Stamm dan Seborg 1941) atau bahan kimia (Fujimoto 1992) ke dalam kayu dan proses *curing* atau polimerisasinya terjadi pada saat pengempaan dalam kondisi kayu terdeformasi. Pada metode ini dapat digunakan perekat fenol, melamin, urea, tanin atau perekat yang berasal dari lateks. Sedangkan modifikasi kimia dapat menggunakan metode formalisasi, esterifikasi atau asetilasi.

Densifikasi kayu metode (2) dapat diterapkan dengan menggunakan alat kempa panas atau oven pengering, tetapi membutuhkan waktu yang lama untuk mencapai fiksasi kayu yang permanen, yaitu sekitar 20 jam pada suhu 180°C (Dwianto *et al.* 1997), disamping itu cukup banyak menurunkan sifat mekanik kayu tersebut. Beberapa pendapat mengenai sifat permanen kayu dengan metode ini antara lain adalah akibat terdegradasinya lignin sehingga menyebabkan menurunnya *internal stress* (Seborg *et al.* 1945) dan menurunnya sifat higroskopis kayu (Inoue dan Norimoto 1991).

Metode (3) adalah memanaskan kayu dengan menggunakan uap air suhu tinggi (*steam treatment*). Metode ini dilakukan dengan memasukkan uap air panas dari *boiler* ke dalam *autoclave* yang dilengkapi

dengan alat kempa tahan panas (Inoue *et al.* 1993). Kelebihan dari metode ini adalah fiksasi yang bersifat permanen dari kayu yang dikempa dapat dicapai lebih cepat jika dibandingkan dengan metode (2), dan tidak banyak mempengaruhi atau menurunkan sifat mekanik kayu. Fiksasi yang permanen pada suhu 180°C dapat dicapai hanya dalam waktu sekitar 10 menit. Pendapat-pendapat mengenai sifat permanen dengan metode ini antara lain adalah akibat perubahan struktural selulosa (Ito *et al.* 1998) dan terjadinya hidrolisa hemiselulosa yang mengakibatkan menurunnya *internal stress* pada kayu (Hsu *et al.* 1988). Tetapi metode (3) tersebut sulit untuk diterapkan pada skala pemakaian karena membutuhkan perangkat yang sangat mahal, yaitu *boiler*, *autoclave* dan alat kempa tahan panas yang dimasukkan ke dalam *autoclave*; serta tidak dapat dilakukan terhadap kayu dengan ukuran besar.

Metode ini dapat dimodifikasi dengan prinsip *Close System Compression* (CSC). CSC merupakan alat cetakan kedap udara yang terbuat dari logam *stainless* dan diberi 2 lubang, yaitu untuk keluarnya uap air dan untuk mengukur tekanan yang terjadi pada saat pengempaan. Contoh uji yang akan dikempa, diletakkan di tengah cetakan, kemudian ditutup dengan lembaran logam *stainless* dan diletakkan di antara plat kempa panas. Kadar air yang menguap akibat pemanasan dari alat kempa tidak dapat keluar dari cetakan sehingga akan memproduksi uap air panas yang menggantikan uap air panas dari *boiler* pada metode (3).

Diperkirakan bahwa faktor tekanan uap air panas dari kadar air kayu yang menguap di dalam alat CSC tersebut sangat berpengaruh terhadap tercapainya fiksasi yang permanen dari metode ini, selain faktor suhu. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kedua faktor yang saling terkait, yaitu suhu dan tekanan uap air terhadap fiksasi kayu.

Bahan dan Metode

Kayu yang digunakan pada penelitian ini adalah kayu Randu (*Bombax ceiba* L.) dengan diameter log 30 cm yang berasal dari hutan rakyat di kawasan Gunung Sindur Serpong, propinsi Banten. Pengambilan contoh uji dilakukan dengan cara memotong log sepanjang 1 m pada ketinggian diameter setinggi dada (± 1.3 m dari pangkal batang pohon). Selanjutnya dari log tersebut dibuat contoh uji berukuran 20 mm (L) x 20 mm (T) x 30 mm (R); dengan kerapatan rata-rata 0.37 g/cm³.

Sebelum dilakukan pengempaan, seluruh contoh uji dikeringkan di dalam oven selama 3 hari pada suhu 60°C dan diukur dimensi tebal (*To*) serta berat awalnya (*Wo*). Kemudian contoh uji tersebut dibagi menjadi tiga kelompok perlakuan, yaitu kelompok kering udara (KU); jenuh air (JA); dan penambahan air pada kayu jenuh air (PA). Kadar air rata-rata untuk kelompok KU adalah

10.83%, sedangkan untuk kelompok JA dan PA adalah 225.36%. Jumlah contoh uji untuk tiap perlakuan adalah 10 buah. Contoh uji dari masing-masing kelompok perlakuan tersebut kemudian diletakkan di dalam alat CSC berukuran 255 mm x 245 mm x 20 mm yang dilengkapi dengan penutup cetakan dari bahan *stainless*, serta *pressure-meter* untuk mengukur tekanan uap di dalam cetakan (Gambar 1). Selanjutnya contoh uji dikempa pada arah radial (R) dengan target ketebalan 20 mm pada suhu 140°C; 160°C; 180°C dan waktu pengempaan 10 menit; 20 menit; dan 30 menit. Untuk kelompok PA, dilakukan penambahan kadar air di dalam cetakan sebanyak 400 ml ($\pm 30\%$ dari volume cetakan).

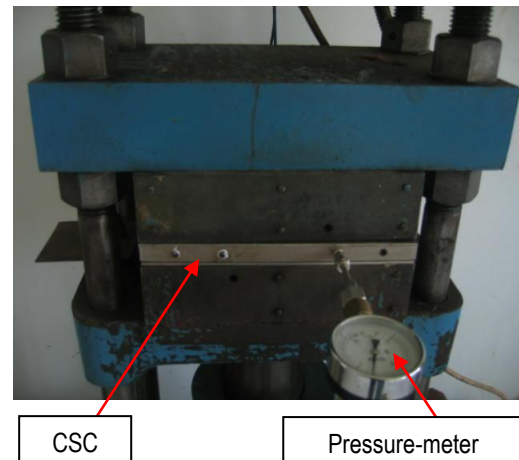


Figure 1. Close System Compression between the hot press.

Kayu yang telah dikempa selanjutnya dikeringkan dalam oven dan diukur tebalnya (*Tc*). Kemudian dilakukan pengujian pemulihan tebal dengan cara merendam di dalam air pada suhu ruang selama 24 jam, dan dilanjutkan dengan perebusan di dalam air panas pada suhu 98°C selama 30 menit. Kayu yang telah direbus dikeringkan lagi dalam oven, kemudian diukur kembali tebal (*Tr*) dan berat akhir kayu (*Wr*) setelah *recovery*.

Besarnya pemulihan tebal (*recovery of set = RS*) dan kehilangan berat (*weight loss = WL*) diukur dengan rumus:

$$RS = [(Tc - Tc) / (To - Tc)] \times 100\%$$

$$WL = [(Wo - Wr) / Wo] \times 100\%$$

Hasil dan Pembahasan

Pada Tabel 1 dapat dilihat nilai rata-rata RS dan WL dari masing-masing kelompok perlakuan pada pembuatan kayu kompresi dengan metode CSC.

Table 1. Average values of recovery of set (RS) and weight loss (WL).

Treatment	Steam pressure (kg/cm ²)	RS (%)	WL (%)
KU/140/10	1.1	88.67	1.67
KU/140/20	1.3	86.33	2.23
KU/140/30	1.3	85.63	2.33
KU/160/10	1.3	86.24	2.20
KU/160/20	1.4	83.17	2.25
KU/160/30	1.5	82.25	2.37
KU/180/10	1.4	83.22	2.18
KU/180/20	1.4	80.62	2.23
KU/180/30	1.5	76.21	2.39
JA/140/10	3.0	61.28	4.56
JA/140/20	3.0	58.82	4.69
JA/140/30	3.4	50.48	5.06
JA/160/10	5.0	56.05	3.18
JA/160/20	5.0	37.88	5.09
JA/160/30	5.0	32.74	5.15
JA/180/10	6.5	37.70	4.58
JA/180/20	7.5	10.82	5.19
JA/180/30	8.5	9.60	7.20
PA/140/10	3.4	58.33	5.56
PA/140/20	3.8	50.46	6.23
PA/140/30	4.1	39.70	6.47
PA/160/10	6.3	32.33	5.07
PA/160/20	6.5	16.74	5.77
PA/160/30	6.5	15.83	6.85
PA/180/10	8.7	9.72	8.00
PA/180/20	9.0	9.41	9.20
PA/180/30	9.5	8.92	12.79

Notes: KU: air dry
JA: water saturation
PA: water additional

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa faktor suhu, waktu dan tekanan uap panas pada saat pengempaan memberikan pengaruh yang nyata terhadap tingkat RS dan WL kayu kompresi. Sedangkan besarnya tekanan uap panas yang terjadi di dalam alat cetakan CSC sangat dipengaruhi oleh kombinasi antara faktor suhu, waktu dan kadar air kayu (Gambar 2).

Panas yang berasal dari alat kempa selama proses pengempaan menyebabkan naiknya suhu air di dalam

kayu, sehingga air dalam kayu tersebut menguap. Semakin tinggi kadar air yang terdapat di dalam kayu, maka semakin banyak uap air yang dikeluarkan pada tingkat suhu dan waktu pengempaan tertentu. Uap air yang diproduksi ini terperangkap dalam alat cetakan CSC yang kedap udara, sehingga menyebabkan terjadinya tekanan uap panas. Semakin tinggi kadar air kayu dan meningkatnya suhu, serta semakin lamanya waktu pengempaan maka tekanan uap semakin meningkat pula, karena jumlah uap air panas yang dihasilkan semakin banyak.

Pada kondisi kayu kering udara (KU), tekanan uap yang terjadi hanya mencapai kisaran 1.1 ~ 1.5 kg/cm², sedangkan pada kondisi jenuh air (JA) terjadi peningkatan tekanan uap yang cukup tinggi dengan kisaran 3.0 ~ 8.5 kg/cm². Tekanan uap ini mengalami peningkatan lagi setelah dilakukan penambahan air di dalam cetakan sebanyak 400 ml (\pm 30% dari volume cetakan CSC), hingga dapat mencapai 9.5 kg/cm² pada suhu 180°C dengan waktu pengempaan 30 menit (Tabel 1).

Selama proses pengempaan, dinding sel kayu mengalami perubahan bentuk (*deformasi*) sampai mencapai target ketebalan yang ditentukan akibat adanya tekanan dari alat kempa. Stamm (1964) menjelaskan bahwa produk *Staypak* cenderung tidak mengembang lagi ketika pengempaan berlangsung pada suatu kondisi yang menyebabkan pelunakan lignin (*flow*) dan pelepasan tegangan dalam (*internal stress*). Dikatakan pula bahwa stabilitas dimensi yang optimum dapat dicapai dengan mengkombinasikan kadar air kayu, suhu, waktu pemanasan, serta besarnya tekanan kempa. Tetapi kombinasi perlakuan tersebut tidak dapat mencapai fiksasi permanen dalam waktu yang singkat.

Metode CSC merupakan salah satu metode dalam pembuatan kayu kompresi dengan cara mengkombinasikan antara faktor kadar air kayu, suhu, waktu pengempaan, serta tekanan uap panas yang berasal dari kadar air kayu yang menguap selama proses pengempaan. Meningkatnya suhu dan tekanan uap panas pada kayu jenuh air akan melunakkan hemiselulosa dan lignin sebagai komponen utama kimia kayu sehingga bersifat plastis. Pelunakan hemiselulosa dan lignin pada kayu terjadi pada perlakuan suhu di atas 120°C, sehingga dengan pemberian suhu 140°C, 160°C dan 180°C dapat mempercepat terjadinya deformasi sel penyusun kayu dan fiksasi. Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa semakin besar tekanan uap panas di dalam cetakan yang dihasilkan dari kombinasi perlakuan kadar air kayu, suhu dan waktu pengempaan pada metode CSC ini menurunkan tingkat RS sampai di bawah 10%; dengan nilai koefisien korelasi 0.92.

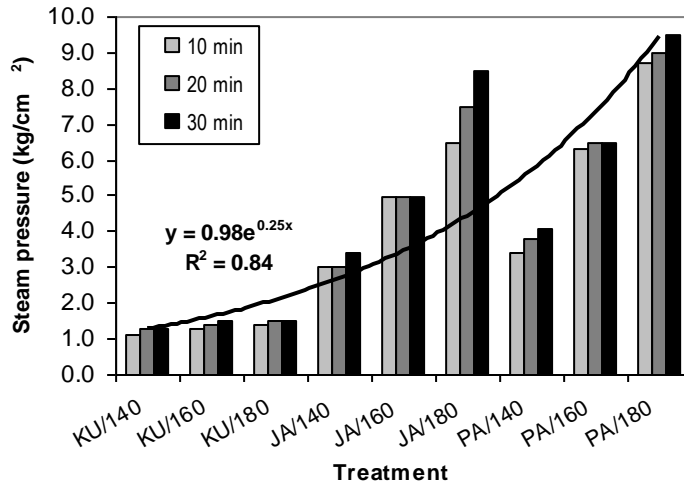


Figure 2. Relationship between treatment conditions and steam pressure

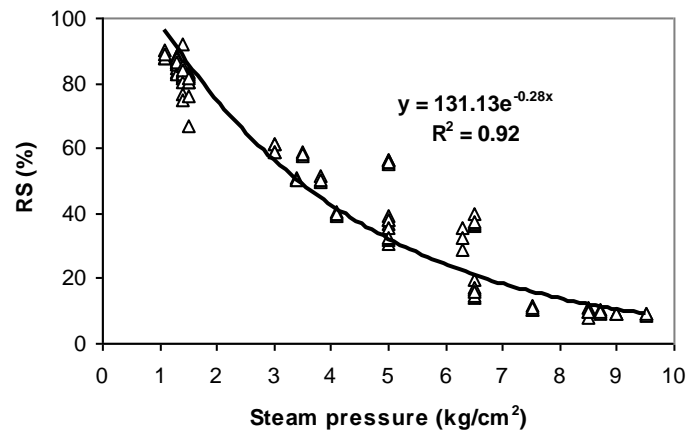


Figure 3. Relationship between steam pressure and recovery of set (RS).

Kadar air kayu yang berubah menjadi uap panas tersebut dapat terdifusi ke bagian dalam struktur kayu (Kawai 1996), sehingga akan menimbulkan tekanan uap (*internal vapour pressure*) di dalam rongga sel kayu (Krisdianto 2004). Tekanan uap panas ini akan mendesak uap air keluar dari dalam kayu. Keluarnya uap air dari dalam kayu karena terdesak oleh tekanan uap panas ini kemungkinan menyebabkan rusaknya sebagian struktur anatomi kayu, sehingga mengakibatkan ikut menguapnya sebagian komponen kimia kayu, seperti zat-zat *volatile* dan zat-zat ekstraktif, bersamaan dengan keluarnya uap air dari dalam kayu tersebut. Menguapnya sebagian dari komponen penyusun kayu menyebabkan WL pada kayu kompresi.

Selama proses pengempaan, lignin yang merupakan polimer berikatan silang (*cross-link*) akan melunak/mengalir dan mengisi ruang matriks di dalam kayu karena pengaruh tekanan uap panas. Rusaknya molekul air akibat perlakuan suhu tinggi tersebut

menyebabkan terjadinya kerusakan pada ikatan H antar molekul-molekul di dalam matriks hemiselulosa-lignin. Sedangkan terdegradasinya hemiselulosa sebagai komponen utama yang berperan dalam pengikatan molekul air dapat mengurangi sifat higroskopis dinding sel pada kayu kompresi.

Menurut Stamm dan Seborg (1941), pengempaan kayu dengan suhu tinggi menyebabkan reaksi ikatan silang antara polimer-polimer di dalam dinding sel, walaupun hal ini dibantah oleh Seborg *et al.* (1945). Menurut Dwianto *et al.* (1998), pengempaan kayu pada suhu di atas 180°C dapat menyebabkan terdegradasinya komponen hemiselulosa dan lignin di dalam dinding sel, sebagai akibatnya maka tegangan yang tersimpan dalam mikrofibril akan mengalami relaksasi. Pada kondisi ini deformasi yang terjadi tidak kembali ke bentuk semula atau mengalami fiksasi. Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa semakin rendahnya tingkat RS menyebabkan meningkatnya WL.

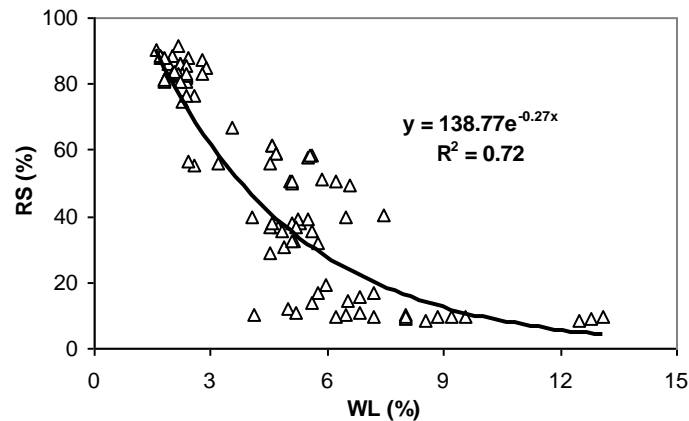


Figure 4. Relationship between weight loss (WL) and recovery of set (RS).

Pada kondisi kayu jenuh air dengan penambahan air (PA), kombinasi antara perlakuan suhu 180°C dan waktu pengempaan 30 menit, menyebabkan tekanan uap panas dalam cetakan CSC hampir mendekati 10 kg/cm², hal berarti hampir seluruh ruang di dalam cetakan diisi oleh uap air panas. Ketentuan ini mengikuti hukum termodinamika mengenai hubungan antara tekanan absolut (P), volume spesifik (V), suhu absolut (T) dan konstanta gas (R) dimana PV = RT (Singh dan Heldman 1984). Dengan tekanan uap panas yang makin meningkat tersebut diperkirakan prosentase komponen hemiselulosa dan lignin yang terdegradasi makin banyak. Hal ini ditunjukkan oleh WL = 12.79%. WL dari metode CSC ini lebih besar dibandingkan WL dari metode pemanasan kayu pada kondisi kering (*heat treatment*) dengan menggunakan alat kempa panas atau oven pengering (Dwianto *et al.* 1997); karena memanaskan kayu dalam kondisi basah akan menyebabkan komponen kimia kayu lebih banyak terdegradasi. Terdegradasinya beberapa komponen kimia kayu ini dapat pula menyebabkan terjadinya pecah dan retak pada kayu yang dikempa, akibat perlakuan suhu tinggi dan waktu pengempaan yang terlalu lama.

Mekanisme fiksasi dari metode CSC ini diperkirakan merupakan kombinasi dari mekanisme fiksasi metode *heat treatment* dan *steam treatment*. Kemungkinan selain terdegradasinya komponen kimia kayu, terjadi pula kristalisasi bagian amorf pada mikrofibril akibat adanya perlakuan suhu dan tekanan uap panas yang tinggi.

Kesimpulan

Untuk mencapai fiksasi yang permanen, selain faktor suhu dan waktu pemanasan, diperlukan pula sejumlah uap air yang berasal dari kadar air kayu yang dikempa maupun air yang ditambahkan di dalam alat CSC agar dapat mencapai tekanan uap yang diinginkan, yaitu 10 kg/cm². Perbedaan metode ini dengan metode *steam treatment* adalah, pada metode *steam treatment*,

uap air panas yang berasal dari *boiler* dimasukkan ke dalam *autoclave* yang dilengkapi dengan alat kempa tahan panas, sehingga tekanan uap panasnya dapat segera mencapai 10 kg/cm². Pada penelitian ini tekanan uap panas yang terdapat di dalam cetakan CSC masih dibawah 10 kg/cm², yaitu 9.5 kg/cm². Oleh karena itu masih terjadi RS sebesar 8.92%, walaupun telah ditambahkan air pada kelompok PA dengan suhu 180°C dan waktu pengepmaan 30 menit. Untuk menghasilkan tekanan uap sebesar 10 kg/cm² dan mencapai fiksasi yang permanen, maka diperlukan penambahan air ataupun zat cair tertentu serta menambah waktu pengempaan.

Daftar Pustaka

- Dwianto, W.; M. Inoue; M. Norimoto. 1997. Fixation of Compressive Deformation of Wood by Heat Treatment. *Mokuzai Gakkaishi* 43 (4), 303-309.
- Dwianto, W.; T. Morooka; M. Norimoto. 1998. The Compressive Stress Relaxation of Wood during Heat Treatment. *Mokuzai Gakkaishi* 44 (6), 403-409.
- Fujimoto, H. 1992. *New Zealand FRI Bull.* 176: 87-96.
- Hsu, W.E.; W. Schwald; J. Schwald; J.A. Shield. 1988. *Wood Sci. Tech.* 22, 281-289
- Inoue, M. and M. Norimoto. 1991. *Wood Research and Technical Notes* 27: 31-40.
- Inoue, M.; M. Norimoto; M. Tanahashi; R.M. Rowell. 1993. *Wood and Fiber Science* 25(3): 224-235.
- Ito, Y.; M. Tanahashi; M. Shigematsu; Y. Shinoda. 1998. *Holzforchung* 52(2): 217-221.
- Kawai, S and H. Sasaki. 1996. *Steam Injection Compressing Technology. Proc. of the First International Wood Science Seminar. Kyoto. Japan.*
- Krisdianto. 2004. *Aplikasi Teknologi Microwave dalam Meningkatkan Kualitas Kayu. Ekspose Hasil-Hasil Litbang Hasil Hutan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan. Bogor*

Seborg, R.M.; M.A. Millet; J.A. Stamm. 1945. Mech. Eng. 67(1): 25-31.
Singh, R.P. and R. Heldman. 1984. Introduction to Food Engineering. Academic Kempas, Inc.

Stamm, A.J. and R.M. Seborg. 1941. Trans. Am. Inst. Chem. Eng. 37, 385.
Stamm, A.J. 1964. Wood and Cellulose Science. The Ronald Kempas Company. 343-358.

Diterima (*accepted*) tanggal 19 Mei 2006

Yusup Amin dan Wahyu Dwianto
UPT Balai Litbang Biomaterial (*Research and Development Unit for Biomaterials*)
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (*Indonesian Institute of Sciences*)
Jl. Raya Bogor Km. 46 Cibinong, Bogor
Tel : 021-87914509
Fax : 021-87914510
E-mail : wahyudwianto@yahoo.com