

Keterawetan Kayu Tropis dengan Proses Pengawetan Menggunakan Karbon Dioksida sebagai Pelarut Pembawa

Treatability of Tropical Wood Species with Preservative Treatment Using Carbon Dioxide as a Carrier Solvent

Musrizal Muin dan Astuti Arif

Abstract

The feasibility of a preservative treatment using carbon dioxide (CO₂) as a carrier solvent under various conditions was determined based on the treatability of three different commercial tropical wood species (*Agathis* sp., *Palaquium* sp., and *Heritiera* sp.). Treatment was conducted at six combinations of temperature and pressure (15°C and 40 kgf/cm², 15°C and 60 kgf/cm², 15°C and 80 kgf/cm², 25°C and 60 kgf/cm², 25°C and 80 kgf/cm², dan 35°C and 80 kgf/cm²) with five replicates using two specimens of each wood species for each treatment. Results showed that most of these treatment conditions, except treatment at 15°C and 40 kgf/cm², resulted in retention levels above the Silafluofen toxic threshold value (< 0.25 kg/m³) without any physical damages to all treated materials. The treatability of wood with CO₂ impregnation was affected by the wood properties and treatment conditions.

Key words: treatability, preservative treatment, carbon dioxide, retention

Pendahuluan

Pengawetan kayu memegang peranan penting dalam menjamin penggunaan kayu dengan umur pakai yang lama. Dengan demikian, teknologi pengawetan kayu sangat penting artinya dalam mencegah penebangan pohon secara berlebihan dan kehilangan keanekaragaman hayati (*biodiversity*) yang telah dikenal sebagai sumber potensial pemanasan global saat ini. Peranan teknologi pengawetan tersebut semakin nyata mengingat sebagian besar jenis-jenis kayu yang tersedia memiliki daya tahan alami yang tergolong rendah. Di Indonesia, dari 4000 jenis kayu yang dikenal, sekitar 85.7% termasuk kedalam kelas keawetan rendah sehingga untuk dapat dipergunakan dengan memuaskan harus diawetkan (Martawijaya 1996). Tanpa melalui proses pengawetan yang baik, kayu-kayu yang digunakan akan mudah diserang organisme perusak dan menyebabkan kerugian ekonomis yang sangat nyata. Kerugian akibat serangan rayap pada bangunan/rumah masyarakat di Indonesia diperkirakan telah mencapai Rp. 1.67 triliun per tahunnya (Rakhmawati 1996). Disamping itu, data yang dikemukakan oleh Supriana (2002) menunjukkan bahwa kerugian dengan adanya serangan rayap pada bangunan gedung milik pemerintah mencapai Rp. 100 milyar/tahun.

Metode pengawetan yang ada saat ini telah mampu memperpanjang umur pakai kayu, tetapi memiliki beberapa kelemahan, antara lain bahwa kayu yang diawetkan harus dikeringkan ulang sehingga dapat menurunkan sifat fisik dan mekaniknya. Di samping itu, penerapan metode konvensional tersebut dapat menyebabkan masalah pencemaran lingkungan akibat buangan atau tetesan-tetesan bahan kimia pengawet.

Untuk mengatasi masalah tersebut, saat ini dikembangkan metode alternatif dengan menggunakan karbon dioksida (CO₂) sebagai pelarut pembawa dalam pengawetan kayu. CO₂ memiliki suhu dan tekanan kritis masing-masing pada 304°K atau 30.84°C dan 73 atm atau 75.43 kg/cm² (Kitao *et al.* 1998). Pemanasan dan pemberian tekanan hingga mencapai daerah di atas titik kritis tersebut menyebabkan fase CO₂ berada dalam daerah superkritisnya (*supercritical region*) dan memiliki sifat melarutkan mirip cairan maupun sifat penembusan seperti gas. Hal ini telah menjadi subyek penelitian yang menarik di berbagai negara maju dan pengembangannya kearah komersialisasi menjadi suatu tantangan (Acda *et al.* 1996; 1997; Morrell *et al.* 1993; 1997; Anderson *et al.* 2000; Kim dan Morrell 2000; Muin *et al.* 2001; 2003).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keterawetan beberapa jenis kayu tropis dengan proses pengawetan menggunakan CO₂ pada beberapa kondisi perlakuan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi titik awal alternatif pengembangan teknologi pengawetan yang mampu menghasilkan produk-produk kayu yang awet, bersih, dan dapat digunakan langsung segera setelah proses pengawetan tanpa harus melalui proses pengeringan ulang seperti yang diperlukan dalam teknologi konvensional.

Bahan dan Metode

Persiapan Sampel

Sampel uji dari tiga jenis kayu, yaitu *Agathis* (*Agathis* sp.), Nyatoh (*Palaquium* sp.), dan Palapi (*Heritiera* sp.) yang masing-masing memiliki kerapatan 0.49; 0.55; dan 0.65 g/cm³ dibuat dengan ukuran 1.5 cm

(radial) x 1.5 cm (tangensial) x 15 cm (longitudinal). Bagian ujung dari setiap sampel uji tersebut diberi *coating* berupa epoxy-resin untuk menghindari masuknya bahan pengawet dari arah longitudinal kayu. Sampel uji tersebut dikering-udarkan kemudian dikondisikan pada suhu 60°C selama 48 jam dan ditimbang beratnya sebelum diawetkan.

Bahan Pengawet

Bahan pengawet yang digunakan adalah *Silafloufen* (94.2%, Hoechst AG, Jerman), suatu termitisida *non-ester pyrethroid* yang telah digunakan secara luas dalam pengawetan kayu karena sifatnya yang stabil pada berbagai kondisi lingkungan pemakaian (Minamite *et al.* 1990). Bahan pengawet tersebut dipersiapkan dengan cara melarutkannya dalam *co-solvent ethanol* (p.a. 99.9%, Merc) konsentrasi 20%.

Proses Pengawetan

Dua sampel uji dari setiap jenis kayu ditempatkan dalam silinder (tangki) pengawetan yang memiliki diameter dan panjang rongga masing-masing 6 cm dan 19 cm dalam satu kali proses pengawetan. Suhu di bagian dalam tangki pengawetan diatur hingga mencapai target kondisi yang telah ditetapkan. CO₂ (99.5%, PT. Aneka Gas, Makassar) kemudian dialirkan ke dalam tabung bahan pengawet untuk selanjutnya diteruskan secara perlahan-lahan ke tangki pengawetan yang telah berisi sampel uji hingga mencapai tekanan yang diinginkan. Suhu dan tekanan dalam tangki pengawetan masing-masing diukur menggunakan termometer dan *pressure gauge* yang dihubungkan langsung dengan tangki pengawetan. Dalam tahap penelitian ini, kondisi perlakuan pengawetan terdiri atas kombinasi-kombinasi suhu dan tekanan: 15°C dan 40 kgf/cm², 15°C dan 60 kgf/cm², 15°C dan 80 kgf/cm², 25°C dan 60 kgf/cm², 25°C dan 80 kgf/cm², dan 35°C dan 80 kgf/cm². Perlakuan pengawetan dilakukan baik dengan hanya memasukkan CO₂ maupun dengan memasukkan campuran CO₂ dan 5 ml larutan bahan pengawet yang telah dipersiapkan. Setiap kondisi perlakuan pengawetan dipertahankan selama 30 menit. Setelah setiap perlakuan pengawetan selesai, sampel uji kemudian langsung ditimbang kembali beratnya. Setiap perlakuan pengawetan dilakukan dengan lima kali ulangan.

Retensi bahan pengawet didasarkan pada penambahan berat sampel uji setelah diawetkan dan dapat dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$\text{Retensi (kg/m}^3\text{)} = \frac{Bw - Bo}{V}$$

dimana:

Bw = Berat setelah diawetkan

Bo = Berat sebelum diawetkan

V = Volume sampel uji

Kemungkinan adanya pelarutan komponen ekstraktif kayu oleh CO₂ yang dapat menyebabkan perhitungan retensi di atas menjadi bias diantisipasi dengan memperhitungkan hasil yang diperoleh dari proses pengawetan dengan hanya menggunakan CO₂ tanpa bahan pengawet.

Gradien retensi bahan pengawet dari bagian permukaan ke bagian tengah kayu ditentukan secara kimia. Untuk tujuan tersebut, bagian tengah panjang dari setiap sampel uji dipotong sepanjang 3 cm dan dibagi atas dua bagian (permukaan dan tengah). Masing-masing bagian dipisah dan dibuat menjadi serbuk dengan ukuran melewati 60 mesh. Satu gram dari setiap bagian dilarutkan dalam 100 ml toluen, dibiarkan selama 24 jam, kemudian dihomogenkan dengan gelombang sonik dalam air selama 5 menit pada suhu ruangan. Selanjutnya, larutan toluen dipisahkan dari bahan kayu. Bahan kayu tersebut ditambahkan lagi 100 ml toluen dengan 5 ml asam formic, dibiarkan semalam, kemudian dikocok pada 150 rpm selama 10 menit sebelum disaring dengan kertas filter. Filtrat yang dihasilkan termasuk larutan toluen yang dipisahkan pertama kali dikonsentrasikan dan dianalisa dengan Gas Chromatography, GC (Shimadzu GC-15 A, kolom kapile CBP1-W12-300 dengan panjang 30 m dan diameter lobang 0.53 mm, dan detektor FID). GC tersebut dijalankan pada suhu kolom 230°C dan suhu detektor 280°C menggunakan gas pembawa berupa helium dengan laju 20 ml/menit.

Analisa Data

Nilai-nilai retensi yang diperoleh dari setiap kondisi perlakuan pengawetan yang dilakukan untuk setiap jenis kayu dibandingkan menggunakan uji Tukey pada $\alpha = 0.01$. Analisa data ini dilakukan dengan bantuan program komputer inerSTAT-a v1.3 (Vargas 1999).

Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan CO₂ sebagai pelarut pembawa bahan kimia pengawet dalam pengawetan kayu memiliki potensi yang sangat baik untuk dikembangkan. Hal ini didukung oleh kenyataan bahwa proses pengawetan menggunakan CO₂ tersebut mampu memasukkan bahan kimia pengawet ke dalam sampel-sampel uji dari ketiga jenis kayu yang diteliti tanpa menunjukkan adanya kerusakan fisik terhadap kayu yang diawetkan pada semua kombinasi perlakuan.

Proses pengawetan menggunakan CO₂ dalam penelitian ini menunjukkan kemampuannya melarutkan dan mengantarkan bahan kimia pengawet ke dalam struktur kayu. Penggunaan CO₂ tanpa bahan pengawet terbukti menghilangkan komponen tertentu dari kayu yang ditunjukkan oleh kehilangan berat dari kayu yang diimpregnasi, meskipun persentasenya sangat kecil,

yaitu berkisar 0.17 ~ 0.27% pada kayu Agathis; 0.35 ~ 0.85% pada kayu Nyatoh; dan 0.32 ~ 0.71% pada kayu Palapi. Proses pengawetan dengan memasukkan bahan pengawet menggunakan CO₂ dalam keadaan di bawah titik kritis, yaitu pada fase cair, menghasilkan nilai-nilai retensi yang lebih rendah dibanding menggunakannya pada fase superkritisnya. Meskipun demikian, nilai-nilai rata-rata retensi yang dihasilkan dalam penggunaan CO₂ di bawah titik kritisnya masih dapat mencapai nilai retensi di atas nilai toksik efektif dari bahan pengawet *Silafluofen* yang digunakan (< 0.025 kg/m³), kecuali pada kondisi perlakuan suhu 15°C dan tekanan 40 kgf/cm². Ketidakmampuan kondisi perlakuan yang satu tersebut dalam menghasilkan nilai retensi yang cukup dapat disebabkan oleh tidak mempunyainya kombinasi suhu dan tekanan tersebut untuk mencapai fase CO₂ cair dalam tangki pengawetan atau fase yang dapat melarutkan bahan pengawet yang digunakan. Peningkatan tekanan menjadi 60 kgf/cm² ke atas mampu memasukkan bahan kimia pengawet ke dalam kayu-kayu yang diteliti hingga jumlahnya beberapa kali lipat seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Hasil analisis statistik seperti dalam Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai retensi yang diperoleh dengan penggunaan CO₂ pada kondisi superkritis lebih tinggi dan berbeda sangat nyata dibanding dengan

penggunaannya pada kondisi cair. Penggunaan tekanan yang lebih tinggi dapat meningkatkan nilai retensi bahan pengawet pada kayu yang diawetkan. Hal tersebut dapat dilihat dari adanya peningkatan nilai retensi yang sangat nyata pada penggunaan suhu 15°C dengan peningkatan tekanan dari 60 kgf/cm² menjadi 80 kgf/cm² untuk semua jenis kayu yang diteliti. Pada sisi lain, peningkatan suhu perlakuan yang terjadi di bawah titik kritis menunjukkan perbedaan yang tidak nyata dalam nilai retensi bahan pengawet yang dihasilkan. Namun demikian, peningkatan suhu dan tekanan perlakuan dari 15°C dan 60 kgf/cm² hingga di atas titik kritis, 35°C dan 80 kgf/cm², menghasilkan peningkatan nilai-nilai retensi yang mencapai 144% pada kayu Agathis; 63.33% pada kayu Nyatoh; dan 69.649% pada kayu Palapi.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa distribusi bahan pengawet yang dimasukkan ke dalam kayu kurang merata. Hal ini ditunjukkan oleh nilai gradien retensi antara bagian permukaan dan bagian tengah dari kayu yang diawetkan pada seluruh kondisi perlakuan yang cukup tinggi (Tabel 2). Gradien retensi cenderung lebih kecil pada penggunaan CO₂ pada fase superkritisnya. Hal ini mudah dimengerti karena pada fase kritisnya, CO₂ memiliki kemampuan berdifusi yang tinggi menyerupai gas disamping kemampuan melarutkannya.

Table 1. Retentions of Silafluofen in several preserved wood species impregnated with CO₂ as a carrier solvent under various conditions.

Treatment conditions	Silafluofen retentions (kg/m ³)*		
	Agathis	Nyatoh	Palapi
15°C and 40 kgf/cm ²	0.008 ± 0.001 a	0.016 ± 0.002 a	0.019 ± 0.004 a
15°C and 60 kgf/cm ²	0.025 ± 0.002 b	0.060 ± 0.002 b	0.056 ± 0.006 b
15°C and 80 kgf/cm ²	0.031 ± 0.009 b	0.060 ± 0.005 b	0.067 ± 0.008 bc
25°C and 60 kgf/cm ²	0.024 ± 0.004 b	0.059 ± 0.008 b	0.051 ± 0.007 b
25°C and 80 kgf/cm ²	0.027 ± 0.002 b	0.056 ± 0.013 b	0.070 ± 0.003 c
35°C and 80 kgf/cm ²	0.061 ± 0.011 c	0.098 ± 0.014 c	0.095 ± 0.012 d

* Mean and standard deviation of ten replications.

Values in column with different letter are very significantly different by Tukey's test at $\alpha = 0.01$

Tabel 2. Retention gradients of Silafluofen in several wood species impregnated with CO₂ as a carrier solvent under various conditions.

Treatment conditions	Silafluofen retentions (kg/m ³)*		
	Agathis	Nyatoh	Palapi
15°C and 40 kgf/cm ²	_ ^{**}	_ ^{**}	_ ^{**}
15°C and 60 kgf/cm ²	4.923	4.961	5.091
15°C and 80 kgf/cm ²	5.110	4.992	4.816
25°C and 60 kgf/cm ²	4.821	5.336	4.635
25°C and 80 kgf/cm ²	4.560	4.328	4.091
35°C and 80 kgf/cm ²	4.076	3.488	3.517

* Mean of ten replications

** The absence of a ratio reflects the inability to resolve silafluofen in the core section under the detection limit of 0.01 kg/m³

Perbedaan nilai retensi pada jenis kayu yang berbeda dan perbedaan besarnya peningkatan nilai-nilai retensi pada penggunaan kondisi perlakuan yang berbeda seperti ditunjukkan pada Tabel 1 memberikan indikasi bahwa keterawetan kayu dengan penggunaan CO₂ dipengaruhi oleh sifat dasar kayu yang diawetkan dan kondisi perlakuannya. Dalam beberapa kasus seperti yang dikemukakan oleh Hunt dan Garratt (1953), tidak ada korelasi umum antara kerapatan kayu dan penetrasi bahan pengawet, terutama pada jenis kayu yang berbeda. Dijelaskan bahwa kayu *Douglas fir* yang memiliki kerapatan yang tinggi lebih mudah dimasuki bahan pengawet dibanding kayu dengan kerapatan rendah seperti *Western redcedar*. Sebaliknya, dijelaskan pula bahwa kayu seperti *Ponderosa pine* yang berkerapatan rendah lebih mudah dimasuki bahan pengawet dibanding *western larch* yang berkerapatan lebih tinggi.

Menurut Hunt and Garratt (1953), impregnasi kayu dengan bahan pengawet dipengaruhi oleh banyak faktor yang secara umum dapat diklasifikasikan atas faktor-faktor anatomi kayu, persiapan kayu sebelum pengawetan, dan prosedur perlakuan pengawetan. Dalam penelitian ini, dapat dijelaskan pengaruh faktor jenis kayu dan kondisi perlakuan pengawetan terhadap nilai retensi bahan pengawet. Secara umum, tanpa memperhatikan kondisi perlakuan, nilai-nilai rata-rata retensi bahan pengawet *Silaflofen* yang dapat dicapai untuk jenis-jenis kayu yang diteliti adalah 0.029 kg/m³ pada kayu Agathis; 0.058 kg/m³ pada kayu Nyatoh; dan 0.060 kg/m³ pada kayu Palapi. Di samping itu, juga dapat dilihat bahwa nilai rata-rata gradien retensi antara bagian permukaan kayu dan bagian tengahnya masih tinggi (3.488~5.336). Dari data-data tersebut dapat dilihat bahwa proses pengawetan yang sama terhadap jenis kayu yang berbeda menghasilkan nilai retensi dan gradien distribusi bahan pengawet yang berbeda. Demikian pula halnya pada perlakuan pengawetan suatu jenis kayu, perbedaan kombinasi suhu dan tekanan pada tingkatan tertentu akan menyebabkan perbedaan nilai retensi yang dihasilkan. Hasil tersebut memberikan gambaran bahwa kondisi optimum perlakuan pengawetan berbeda untuk suatu kelompok jenis kayu seperti yang ditunjukkan oleh perbedaan nilai retensi pada kayu daun jarum (Agathis) dengan kayu daun lebar (Nyatoh dan Palapi) dalam penelitian ini.

Kesimpulan dan Saran

Kayu Agathis, Nyatoh, dan Palapi dapat diawetkan dengan baik melalui proses pengawetan menggunakan bahan pengawet *Silaflofen* dan karbon dioksida sebagai pelarut pembawa pada suhu 15 ~ 35°C dikombinasikan dengan tekanan 60 ~ 80 kgf/cm². Dengan perlakuan pengawetan tersebut, nilai retensi bahan pengawet yang dihasilkan dapat melewati nilai

toksik efektif dari *Silaflofen* untuk mencegah serangan rayap tanah tanpa menyebabkan kerusakan fisik pada kayu yang diawetkan tersebut. Pengujian lebih lanjut menyangkut pengaruh kondisi perlakuan tersebut di atas terhadap sifat fisik dan mekanik kayu serta efektivitasnya dalam mencegah serangan serangga perusak perlu dilakukan. Penelitian untuk memodifikasi siklus proses perlakuan pengawetan juga perlu dilakukan karena nilai gradien retensi bahan pengawet yang dihasilkan dalam penelitian ini masih cukup besar (3.488 ~ 5.336).

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dibiayai oleh Proyek Peningkatan Penelitian Pendidikan Tinggi, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Depdiknas. Terima kasih kepada Muh. Asgaf dan Heru Arisandi atas bantuannya untuk persiapan bahan dan pengoperasian alat dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Acda, M.N.; J.J. Morrell; K.L. Levien. 1996. Decay Resistance of Composites Following Supercritical Fluid Impregnation with Tebuconazole. *Material and Organismen* 30(4):293-300.
- Acda, M.N.; J.J. Morrell; K.L. Levien. 1997. Effects of Supercritical Fluid Treatments on Physical Properties of Wood-based Composites. *Wood and Fiber Science* 29(2):121-130.
- Anderson, M.E.; R.J. Leichti; J.J. Morrell. 2000. The Effects of Supercritical CO₂ on the Bending Properties of Four Refractory Wood Species. *Forest Products Journal* 50(11/12):85-93.
- Hunt, G.M. and G.A. Garratt. 1953. *Wood Preservation*. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York.
- Kitao, O.; K. Tanabe; S. Ono; S. Kumakura; K. Nakanishi. 1998. Theoretical Studies on the Cluster Structure in the Supercritical Area. *Fluid Phase Equilibria* 144(1-2), 279-286.
- Kim, G.H. and J.J. Morrell. 2000. In-situ Measurement of Dimensional Changes during Supercritical Fluid Impregnation of White spruce Lumber. *Wood and Fiber Science* 32(1):29-36.
- Martawijaya, A. 1996. *Keawetan Kayu dan Faktor yang Mempengaruhinya*. Petunjuk Teknis. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan dan Sosial Ekonomi Kehutanan. Bogor.
- Minamite, Y.; T. Kanzaki; Y. Katsuda. 1990. Application of a Novel Silaneophane (Hoe-498) to Termiticides (dalam bahasa Jepang dengan ringkasan bahasa Inggris). *Japan Journal of Environmental Entomology and Zoology* 2:177-122.
- Morrell, J.J.; K.L. Levien; E.S. Demessie; S. Kumar; S. Smith; H.M. Barnes. 1993. *Treatment of Wood Using Supercritical Fluid Processes*. Proceedings

- of Canadian Wood Preservers Association 14:6-25.
- Morrell, J.J.; K.L. Levien; E.S. Demessie; M.N. Acda. 1997. Impregnating Wood with Biocides Using Supercritical Carbon Dioxide: Process Parameters, Performance and Effects on Wood Properties. *Proceedings of American-Wood Preservers Association* 93:367-384.
- Muin, M.; A. Adachi; K. Tsunoda. 2001. Applicability of Supercritical Carbon Dioxide to the Preservative Treatment of Wood-based Composites. *The International Research Group on Wood Preservation, Document No. IRG/WP 01-40199*.
- Muin M; A. Adachi; M. Inoue; T. Yoshimura; K. Tsunoda. 2003. Feasibility of Supercritical Carbon Dioxide as Carrier Solvent for Preservative Treatment of Wood-based Composites. *Journal of Wood Science* 49:65-72.
- Rakhmawati. 1996. Prakiraan Kerugian Ekonomis akibat Serangan Rayap pada Bangunan Perumahan di Indonesia. Skripsi Jurusan Teknologi Hasil Hutan. Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor. Bogor (Tidak diterbitkan).
- Supriana, N. 2002. Kajian Peran Pengawetan Kayu Perumahan dan Gedung dalam rangka Pengelolaan Hutan Lestari. Laporan Hasil Penelitian (Tidak diterbitkan).
- Vargas, M.H. 1999. inerSTAT-a v1.3. Instituto Nacional de Enfermedade Respiratorias Mexico (program komputer).

Diterima (*accepted*) tanggal 18 Januari 2006

Musrizal Muin dan Astuti Arif
Laboratorium Teknologi Hasil Hutan, Jurusan Kehutanan Universitas Hasanuddin
(*Forest Products Laboratory, Forestry Department of Hasanuddin University*)
Jl. Perintis Kemerdekaan KM 10, Tamalanrea Makassar 90245
Tel/Fax : 411-585917
E-mail : musrizal@yahoo.com.