

Jurnal Ilmu Kehutanan

Journal of Forest Science
<https://jurnal.ugm.ac.id/v3/jik/>
ISSN: 2477-3751 (online); 0126-4451 (print)



Ketahanan Gubal Jati Hutan Rakyat Diawetkan dengan Senyawa Boron Menggunakan Metode Tekan Lowry terhadap Serangan Rayap Tanah dan Kayu Kering

(The Durability of Teak Sapwood from Community Forest Threatened by Boron Compound though Lowry-Preservation Method against Subterranean And Dry-Wood Termites)

Yus Andhini Bhukti Pertiwi^{1*} & Joko Sulistyono²

¹Program Studi Pengelolaan Hutan, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, 57126

²Jurusan Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 55281

*Email : yus_andhini@staff.uns.ac.id

HASIL PENELITIAN

DOI: 10.22146/jik.v15i1.1509

RIWAYAT NASKAH :

Diajukan (*submitted*): 1 Agustus 2020

Diperbaiki (*revised*): 15 Februari 2021

Diterima (*accepted*): 10 Maret 2021

KEYWORD

Teak sapwood, wood preservation, boron compound, Lowry method, termite attack.

ABSTRACT

Nowadays, most of teak wood available on the market was mainly from community forest. Those teak woods were commonly harvested in the early age. The young teak wood from community forest possesses lower proportion of heartwood than sapwood. Those condition was generally had an effect on the wood durability. Although the wood durability was estimated to be low, but the teak wood from community forest was intensively used for furniture and house construction. Therefore, study on the sapwood durability of young teak wood from community forest is necessary. In the present study, the durability of sapwood treated by boron compound (boric acid and borax) as wood preservatives was investigated. The boron concentrations were 5%, 7%, and 10%. The vacuum process was used to impreg the preservative into the wood specimens called as Lowry method. The effectivity of the preservation method was investigated, namely absorption, retention, penetration, efficacy of subterranean and dry-wood termites. The absorption, retention, and penetration of boron compound were 69.10–96.41 kg/m³, 4.53–5.31 kg/m³, and 3.04–3.16 mm, respectively. Absorption, retention, and penetration of preservatives showed an increasing value by increasing the preservatives concentrations, with the highest value was obtained for 10% boron concentration. Graveyard test was used to evaluate the efficacy of boron in teak sapwood to subterranean termites. During 2 months observation, mass loss and degree of wood damage were 0.42–1.37% and 6.31–18.72%. Furthermore, the efficacy of boron was also conducted for dry-wood termites. The mass loss, degree of wood damage, and dry-wood termite mortality after 28 days observation were 1.46–1.67%, 29.45–32.38%, and 87.33–95.33%, respectively. The durability of boron threatened teak sapwood against subterranean and dry-wood termites increased. The increased teak sapwood durability was characterized by reduction of mass loss and degree of wood damage compared to untreated teak sapwood (control).

INTISARI

Kayu jati yang tersedia di pasaran saat ini sebagian berasal dari hutan rakyat yang umumnya ditebang pada umur muda. Kayu jati berumur muda dari hutan rakyat tersebut memiliki proporsi kayu

KATA KUNCI

Gubal jati, pengawetan kayu, senyawa boron, metode Lowry, serangan rayap.

teras yang lebih sedikit dibandingkan kayu gubalnya sehingga dikhawatirkan akan mempengaruhi keawetan kayunya. Meskipun keawetan kayunya diduga rendah, tetapi kayu jati hutan rakyat digunakan cukup intensif untuk bahan meubel dan konstruksi rumah. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk meningkatkan keawetan kayu gubal jati yang berasal dari hutan rakyat berumur muda dengan menggunakan senyawa boron berupa asam borat dan boraks dengan konsentrasi 5%, 7%, dan 10% dengan metode tekan Lowry. Sampel kayu gubal yang telah diawetkan, kemudian diuji parameter efektifitas pengawetan yang meliputi absorpsi, retensi, penetrasi, efikasi terhadap rayap tanah dan rayap kayu kering. Absorpsi, retensi, dan penetrasi bahan pengawet boron secara berturut-turut 69,10–96,41 kg/m³, 4,53–5,31 kg/m³, dan 3,04–3,16 mm. Absorpsi, retensi, dan penetrasi bahan pengawet yang masuk kedalam kayu menunjukkan nilai yang semakin meningkat dengan bertambahnya konsentrasi bahan pengawet, dengan hasil tertinggi pada konsentrasi boron 10%. Efikasi bahan pengawet boron pada rayap tanah melalui *graveyard test* selama 2 bulan menunjukkan bahwa terjadi pengurangan berat sebesar 0,42–1,37% dengan derajat kerusakan 6,31–18,72%. Uji umpan paksa pada rayap kayu kering menunjukkan terjadi pengurangan berat 1,46–1,67%, derajat kerusakan kayu 29,45–32,38%, dan mortalitas rayap kayu kering sebesar 87,33–95,33%. Kayu gubal jati yang diawetkan dengan senyawa boron dengan metode tekan Lowry dapat meningkatkan keawetan kayu gubal jati terhadap serangan rayap tanah dan rayap kayu kering, yang ditandai dengan persentase pengurangan berat dan derajat kerusakan kayu yang rendah bila dibandingkan dengan kayu gubal tanpa perlakuan pengawetan (kontrol).

©Jurnal Ilmu Kehutanan - All right reserved

Pendahuluan

Kayu jati merupakan salah satu jenis kayu mahal yang dapat diolah menjadi berbagai macam produk yang tergolong fancy products. Kayu ini memiliki kelebihan antara lain kuat, awet, mudah dikerjakan, mampu menahan beban dengan baik, perubahan dimensinya kecil, dan memiliki kenampakan menarik (Martawijaya et al. 2005). Ketersediaan kayu jati semakin lama semakin berkurang karena eksploitasi berlebihan pada awal dekade yang lalu dan pertumbuhan kayu yang relatif lambat. Di Yogyakarta, pohon jati tumbuh dan ditanam oleh masyarakat di beberapa wilayah seperti Gunung Kidul, Kulon Progo, Bantul, dan Sleman. Pohon jati yang berasal dari hutan rakyat memiliki harga lebih murah jika dibandingkan dengan jati Perhutani, karena daurnya yang lebih pendek serta sifatnya yang dianggap kurang baik. Kayu jati yang berasal dari

tegakan muda memiliki proporsi kayu gubal yang banyak, sehingga bila dilihat dari segi kualitas, baik dari segi keawetan maupun kekuatan akan berbeda dengan kayu jati yang selama ini sudah dikenal. Informasi mengenai sifat dasar dan pengolahan kayu jati muda belum banyak diketahui karena sifat dasar kayu jati hutan rakyat merupakan sifat alami yang dihasilkan selama proses pertumbuhan dengan pengelolaan yang tidak sesuai dengan kaidah-kaidah silvikultur yang benar. Oleh karena itu, penggalian informasi terhadap kelemahan dan keunggulan kayu jati muda hutan rakyat perlu dilakukan. Hal ini merupakan hal positif yang harus diketahui oleh pihak industri dan masyarakat yang telah memakai kayu jati dari hutan rakyat.

Sifat unggul kayu sebagai bahan organik akan lebih lengkap jika kayu mempunyai ketahanan terhadap kerusakan, baik oleh faktor biologi maupun

faktor lain. Serangan faktor biologi ini tidak saja akan menurunkan umur pakai kayu, tetapi juga menurunkan nilai jualnya. Sebagai konsekuensi logis dari pertimbangan dalam penurunan umur tebang, maka usaha yang telah banyak dilakukan oleh masyarakat adalah melakukan usaha pengawetan kayu. Pengawetan kayu dikatakan berhasil apabila bahan pengawet yang digunakan dapat melakukan absorpsi, penetrasi, dan retensi dengan baik pada kayu. Faktor yang mempengaruhi keberhasilan pengawetan adalah bahan pengawet dan metode pengawetan (Hunt & Garrat 1986).

Pengawetan bagian gubal kayu jati pada penelitian ini menggunakan pengawet berbasis air yaitu senyawa boron (asam borat dan boraks). Bahan ini dipilih karena merupakan bahan yang murah, mudah diperoleh, dan mudah untuk dipakai. Asam borat dan boraks secara terpisah atau bersama-sama, bersifat racun terhadap serangga dan cendawan perusak kayu (Hunt & Garratt 1986; Nicholas 1987; Lebow 2006). Metode pengawetan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode tekanan Lowry. Proses pengawetan dengan tekanan dilakukan dengan mengimpregnasikan bahan pengawet pada suatu bejana tertutup dengan tekanan di atas atmosfer (Ibach 1999). Metode tekanan Lowry ini efektif meningkatkan absorpsi bahan pengawet terhadap kayu dengan menggunakan peralatan yang sederhana (Hunt & Garrat 1986; Nicholas 1988; Ibach 1999; Bowyer et al. 2007). Penggunaan metode tekan telah dilakukan pada beberapa jenis kayu antara lain jati, mahoni, meranti, dan karet (Muslich & Ruliaty 2008; Lelana et al. 2011). Namun, belum ada laporan terkait pengawetan kayu gubal jati berumur muda dan sifat keawetannya terhadap serangan rayap tanah di lapangan.

Penelitian keawetan kayu terhadap serangan rayap tanah di lapangan ini dapat memberikan gambaran yang lebih realistis terhadap keawetan kayu

(Brischke et al. 2009). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya absorpsi, retensi, dan penetrasi bahan kimia pada kayu gubal hutan jati rakyat terhadap konsentrasi bahan kimia dengan metode Lowry. Kayu gubal dari jati muda yang telah diawetkan kemudian diuji keawetannya melalui graveyard test terhadap serangan rayap tanah dan uji pakan paksa terhadap serangan rayap kayu kering.

Bahan dan Metode

Penyiapan Bahan

Pohon jati berumur 20 tahun sebanyak 3 pohon dengan rerata diameter 20 cm ditebang dari hutan rakyat Kecamatan Temon, Kabupaten Kulon Progo. Disc kayu setebal 3 cm diperoleh pada ketinggian DBH (1,3 m) untuk selanjutnya digunakan dalam menentukan berat jenis, kadar air, dan persentase kayu gubal dan teras. Kemudian, kayu jati tersebut dipotong menjadi log dengan ukuran panjang 1,5 m. Log kayu jati tersebut kemudian dibelah untuk mendapatkan papan gergajian tebal 25 mm. Papan gergajian tersebut kemudian dipotong untuk memisahkan kayu teras dan kayu gubal. Selanjutnya, kayu gubal dan teras tersebut dipotong sesuai dengan ukuran sortimen contoh uji yang diperlukan.

Dalam penelitian ini, kayu gubal dipotong menjadi dua ukuran berbeda yaitu 300 (L) × 25 (T) × 25 (R) mm untuk uji ketahanan terhadap rayap tanah (graveyard test) dan 50 (L) × 30 (T) × 25 (R) mm untuk uji ketahanan terhadap serangan rayap kayu kering. Contoh uji berukuran 300 (L) × 25 (T) × 25 (R) disiapkan sebanyak 72 buah contoh uji kayu gubal (masing-masing 18 contoh uji untuk kontrol dan contoh uji yang diberikan perlakuan pengawetan 5%, 7%, dan 10%) dan 18 buah kayu teras. Selanjutnya, contoh uji berukuran 50 (L) × 30 (T) × 25 (R) mm disiapkan sejumlah 36 buah contoh uji kayu gubal (masing-masing 9 contoh uji untuk kontrol dan contoh uji yang diberikan perlakuan pengawetan

5%, 7%, dan 10%) dan 9 buah contoh uji kayu teras. Sebelum diberikan perlakuan pengawetan, maka semua contoh uji di amplas agar permukaannya rata dan dikering anginkan sampai kondisi kering udara.

Contoh uji yang telah kering udara kemudian dicat penampang transversalnya. Pengecatan ini bertujuan untuk menghindari peresapan bahan pengawet pada arah longitudinal dan untuk mewakili bagian permukaan yang terlemah terhadap serangan. Setelah dicat, contoh uji dikering anginkan kembali hingga beratnya konstan. Kemudian, setiap contoh uji tersebut diberikan perlakuan pengawetan sesuai dengan konsentrasi bahan pengawet yang telah ditentukan.

Penyiapan Bahan Pengawet

Bahan pengawet yang digunakan dalam penelitian ini adalah senyawa boron, yaitu campuran boraks ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) dan asam borat (H_3BO_3) teknis yang diperoleh dari toko bahan kimia lokal. Boraks dan asam borat dicampurkan dengan perbandingan 1: 1,54. Dalam penelitian ini, campuran bahan pengawet tersebut disiapkan dengan konsentrasi larutan 5%, 7%, dan 10% berdasarkan berat bahan aktif dibagi berat larutan (%w/w).

Proses Pengawetan

Contoh uji dalam kondisi telah kering udara diukur volumenya (v) dan ditimbang (b_0) untuk menentukan berat awal dan volume contoh uji. Untuk menghindari selisih kadar air sebelum dan setelah pengawetan, maka kadar air contoh uji harus diukur terlebih dahulu. Contoh uji kemudian disusun dalam tangki Lowry untuk diawetkan. Pemberat diberikan pada susunan contoh uji agar menjamin semua contoh uji tercelup larutan bahan pengawet. Proses tekan dengan metode Lowry dimulai dengan proses vakum selama 30 menit, selanjutnya bahan kimia dimasukkan ke dalam tangki dan tekanan diatur

sebesar 7 atm selama 5 jam. Setelah waktu yang ditentukan tercapai, contoh uji kayu dan bahan pengawet yang tersisa dikeluarkan. Setelah itu, permukaan contoh uji dibersihkan dari larutan bahan pengawet dengan menggunakan lap basah yang bersih, lalu ditimbang untuk mendapatkan berat setelah pengawetan (b_b). Kemudian, ditentukan nilai absorpsi bahan pengawet melalui persamaan (1).

Contoh uji dikering udarkan selama 3 minggu hingga dicapai berat konstan (b_1). Untuk menghindari selisih kadar air sebelum dan setelah proses pengawetan, maka proses pengeringan harus dilakukan pada suhu dan kelembaban yang sama. Selanjutnya, jumlah bahan pengawet yang tertinggal di dalam kayu tanpa pelarut (retensi) dapat ditentukan dengan persamaan (2).

$$\text{Absorpsi (A) (kg/m}^3\text{)} = \frac{bb - b_0}{v} \quad (1)$$

$$\text{Retensi aktual (R) (kg/m}^3\text{)} = \frac{b_1 - b_0}{v} \quad (2)$$

Untuk mengetahui kedalaman penetrasi bahan pengawet pada contoh uji, maka setiap contoh uji dipotong melintang pada salah satu ujungnya. Setelah dikering anginkan, pada salah satu bidang potong dilaburkan larutan pereaksi untuk mengetahui kedalaman peresapan bahan pengawet boron. Pengukuran kedalaman retensi hanya dilakukan pada penampang radial dan tangensial. Pereaksi yang digunakan untuk mengetahui keberadaan boron dalam contoh uji adalah sebagai berikut:

Larutan A: 2 g ekstrak curcuma dalam 100 ml alkohol

Larutan B: 20 ml alkohol + 30 ml HCl yang dijenuhkan dengan asam salisilat

Adanya unsur boron ditunjukkan oleh warna merah jambu, sedangkan bagian contoh uji yang tidak mengandung boron berwarna kuning (Martawijaya & Abdurrahim 1984; Abdurrohman & Djarwanto 2000;

Sumaryanto et al. 2013). Pengukuran penetrasi dilakukan pada keempat sisi pada penampang melintang dengan menggunakan kaliper digital. Kedalaman penetrasi dinyatakan dalam satuan mm.

Pengujian Efikasi terhadap Rayap Tanah dan Rayap Kayu Kering

Rayap tanah

Contoh uji berukuran 300 (L) × 25 (T) × 25 (R) mm dikering udarkan sampai beratnya konstan (b₁). Pengujian ketahanan terhadap serangan rayap tanah dilakukan dengan menggunakan metode graveyard test (The Australian Wood Preservation Committee, 2007). Stick contoh uji ditanam di dalam tanah sepanjang 2/3 total panjang contoh uji tersebut secara tegak lurus dengan jarak kubur antar contoh uji adalah 30 × 30 cm (The Australian Wood Preservation Committee, 2007). Lokasi graveyard test berada di Kecamatan Kalibawang, Kabupaten Kulon Progo seluas 6 × 4 m. Setiap bulan selama 2 bulan, stick contoh uji diambil untuk mengetahui tingkat serangan rayap (Tabel 1). Stick contoh uji kemudian dibersihkan dan dikering anginkan sampai beratnya konstan (b₂). Pengurangan berat stick contoh uji dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Pengurangan berat (\%)} = ((b_1 - b_2)/b_1) \times 100\% \quad (3)$$

Rayap Kayu Kering

Pengujian ketahanan kayu terhadap serangan rayap kayu kering (*Cryptotermes cynocephalus* Light.) dilakukan dengan mengumpankan contoh uji pada rayap kayu kering pada stadium nimpha berjumlah 50 ekor (N) per contoh uji. Rayap kayu

kering pekerja tersebut telah dikondisikan di dalam tabung kaca berdiameter 1,8 cm dan tinggi 3,5 cm. Tabung ditempelkan pada salah satu sisi contoh uji kayu yang tidak dicat dengan menggunakan lem kayu (Sumaryanto et al. 2013). Setelah kaca terpasang dengan baik dan lem benar-benar kering, contoh uji ditimbang untuk mengetahui berat awal sebelum pengumpulan (b₁). Contoh uji kayu tersebut diletakkan dalam ruangan sejuk dan gelap dengan sirkulasi dan kelembaban udara yang terjaga. Mortalitas rayap (M_i) diamati setiap hari selama 4 minggu. Rayap yang mati dihitung (m_i) dan diambil agar tidak dimakan oleh rayap yang lain. Setelah 4 minggu, maka contoh uji kayu yang telah diumpankan pada rayap kemudian ditimbang berat akhirnya (b₂). Selanjutnya, dilakukan perhitungan pengurangan berat contoh uji dengan persamaan (3), sedangkan mortalitas dihitung dengan persamaan (4).

$$\text{Mortalitas rayap (M}_i\text{) (\%)} = \frac{m_i}{N} \times 100 \quad (4)$$

Selanjutnya, ditentukan pula derajat kerusakan pada contoh uji berdasarkan ASTM D 1758-06 dengan cara membandingkan penurunan berat contoh uji yang diberikan perlakuan pengawetan terhadap kontrol, sebagaimana persamaan berikut ini.

$$\text{Derajat kerusakan} = \frac{\text{Penurunan berat contoh uji}}{\text{penurunan berat kontrol}} \times 100 \quad (5)$$

Kontrol yang digunakan dalam penelitian ini adalah kayu gubal tanpa perlakuan pengawetan. Selain itu, kayu teras jati yang berasal dari pohon yang sama juga digunakan sebagai pembanding.

Tabel 1. Klasifikasi kelas awet dan ketahanan kayu terhadap serangan rayap tanah berdasarkan SNI 01-7207-2006
Table 1. Classes for durability and wood resistance against subterranean termite based on SNI 01-7207-2006

Kelas Awet	Ketahanan	Pengurangan berat (%)
I	Sangat tahan	< 3,52
II	Tahan	3,52-7,50
III	Sedang	7,50-10,96
IV	Buruk	10,96-18,94
V	Sangat Buruk	18,94-31,89

Tabel 2. Klasifikasi kelas awet dan ketahanan kayu terhadap serangan rayap kayu kering berdasarkan SNI 01-7207-2006
Table 2. Classes for durability and wood resistance against dry-wood termites based on SNI 01-7207-2006

Kelas Awet	Ketahanan	Pengurangan berat (%)
I	Sangat tahan	< 2
II	Tahan	2-4,4
III	Sedang	4,4-8,2
IV	Buruk	8,2-28,1
V	Sangat Buruk	>28,1

Analisis Data

Analisis varian (ANOVA) satu arah digunakan untuk mengevaluasi absorpsi, retensi aktual, dan penetrasi dari tiga konsentrasi bahan pengawet. Uji ANOVA satu arah pada $\alpha = 5\%$ dilakukan dengan menggunakan Excel 2007, kemudian dilanjutkan dengan Tukey HSD (Honestly Significant Difference). Selain itu, pengurangan berat yang diakibatkan oleh serangan rayap tanah (melalui metode graveyard test) dan rayap kayu kering (melalui uji umpan paksa) juga dianalisis.

Hasil dan Pembahasan

Absorpsi, Retensi Aktual, dan Penetrasi

Kadar air segar dan berat jenis gubal jati yang diperoleh dalam penelitian ini adalah 91,9%, dan 0,62. Berdasarkan perhitungan luas area, diperoleh nilai rerata persentase kayu teras 45,7% dan kayu gubal 54,3% pada disc yang diperoleh pada ketinggian 1,3 m. Hal ini menunjukkan bahwa kayu teras dan gubal memiliki proporsi yang hampir sama pada kayu jati hutan rakyat berumur 20 tahun. Pada jati berumur 39 tahun, proporsi kayu terasnya adalah 65% (Wahyudi et al. 2001). Basri & Wahyudi (2013) menyebutkan bahwa persentase kayu teras jati plus Perhutani (JPP) berumur 9 tahun dengan diameter 29 cm adalah 25%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tua umur kayu jati maka proporsi kayu gubalnya semakin rendah sehingga keawetan kayunya semakin tinggi. Oleh karena itu, kayu jati berumur muda perlu untuk diawetkan untuk memperpanjang umur pakainya.

Tabel 3 menyajikan parameter pengawetan kayu gubal jati melalui metode tekan Lowry dengan

konsentrasi bahan pengawet boron 5%, 7%, dan 10%, sedangkan Tabel 4 menyajikan hasil analisa keragaman. Konsentrasi bahan pengawet berpengaruh sangat nyata terhadap absorpsi dan mortalitas rayap kayu kering selama 28 hari. Selain itu, konsentrasi bahan pengawet berpengaruh nyata terhadap pengurangan berat dan derajat kerusakan contoh uji yang diumpankan pada rayap tanah setelah 2 bulan.

Absorpsi bahan pengawet boron pada konsentrasi 5%, 7%, dan 10% secara berturut-turut adalah 69,10; 80,31; dan 96,41 kg/m³ (Tabel 3). Absorpsi yang diperoleh pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan yang dilaporkan pada beberapa penelitian sebelumnya (Sumaryanto et al. 2013; Fitriani et al. 2018). Absorpsi pengawet boron pada konsentrasi 5% melalui metode perendaman selama 12-48 jam yaitu sebesar 33,09-70,77 kg/m³ (Sumaryanto et al. 2013). Fitriani et al. (2018) melaporkan bahwa absorpsi bahan pengawet boron pada konsentrasi 10% sebesar 66,67 kg/m³ pada kayu angka yang direndam selama 3 jam melalui metode rendaman dingin. Hal ini menunjukkan bahwa proses pengawetan melalui metode tekan menyebabkan campuran bahan pengawet dapat meresap lebih banyak dibandingkan dengan hanya dengan direndam.

Retensi aktual bahan pengawet boron dalam kayu gubal jati pada konsentrasi 5%, 7%, dan 10% secara berturut-turut 4,53; 5,28; dan 5,31 kg/m³ (Tabel 3). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa retensi bahan pengawet berbanding lurus dengan konsentrasi bahan pengawet. Abdurrohim &

Tabel 3. Parameter pengawetan kayu gubal jati melalui metode tekan Lowry dengan konsentrasi bahan pengawet boron 5,7, dan 10%

Table 3. Teak sapwood preservation parameters of using Lowry process with boron concentration of 5, 7, and 10%

Parameter	5%			7%			10%			Kayu teras			Kayu gubal		
	Min.	Rerata (SD)	Maks.	Min.	Rerata (SD)	Maks.	Min.	Rerata (SD)	Maks.	Min.	Rerata (SD)	Maks.	Min.	Rerata (SD)	Maks.
Absorpsi (kg/m ³)	60,20	69,10 (6,02) ^a	75,93	73,06	80,31 (4,29) ^a	83,96	89,15	96,41 (5,31) ^b	101,68	-	-	-	-	-	-
Retensi aktual (kg/m ³)	1,52	4,53 (2,38)	7,66	4,28	5,28 (0,75)	6,23	4,12	5,31 (1,07)	6,69	-	-	-	-	-	-
Penetrasi (mm)	2,65	3,04 (0,34)	3,48	2,92	3,10 (0,17)	3,32	2,96	3,16 (0,16)	3,37	-	-	-	-	-	-
Rayap Tanah (setelah 2 bulan pengamatan)															
Pengurangan berat (%)	0,85	1,37 (0,50) ^a	1,87	0,11	0,95 (0,86) ^{ab}	1,82	0,22	0,42 (0,31) ^b	0,79	2,87	3,22 (0,43)	3,69	6,43	7,07 (0,56)	7,41
Derajat kerusakan (%)	13,23	18,72 (4,84) ^a	22,37	1,43	14,35 (8,54) ^{ab}	13,51	2,47	6,31 (0,87) ^b	3,71	42,29	48,11 (7,82)	57,00	-	-	-
Rayap Kayu Kering (setelah 28 hari pengamatan)															
Mortalitas rayap (%)	86,00	87,33 (1,15) ^a	88,00	94,00	95,33 (1,15) ^b	96,00	94,00	95,33 (1,15) ^b	96,00	68,00	72,00 (3,46)	74,00	44,00	46,67 (3,06)	50,00
Pengurangan berat (%)	1,46	1,55 (0,09)	1,63	1,33	1,46 (0,11)	1,55	1,43	1,67 (0,22)	1,87	1,32	1,51 (0,17)	1,65	5,55	5,75 (0,18)	5,90
Derajat kerusakan (%)	28,48	29,45 (1,15)	30,72	27,94	31,23 (3,06)	33,99	29,19	32,38 (3,71)	36,45	27,77	29,34 (1,67)	31,10	-	-	-

Keterangan: Kayu gubal digunakan sebagai kontrol. Huruf yang sama antara parameter menunjukkan hasil yang tidak berbeda sangat nyata pada uji Tukey HSD ($\alpha = 1\%$).

Remark: Teak sapwood used as control. Among parameters with the same letter symbols shows results with very not significant differences at Tukey HSD test ($\alpha = 1\%$).

Tabel 4. Hasil ANOVA satu arah untuk parameter pengawetan kayu gubal jati melalui metode tekan Lowry dengan konsentrasi bahan pengawet boron 5,7, dan 10%

Table 4. Results of one-way ANOVA for the parameters of teak sapwood preservation using Lowry process with boron concentration of 5, 7, and 10%

Parameter	db	Jumlah kuadrat	Kuadrat tengah	F hitung	Signifikansi
Absorpsi (kg/m ³)	2	1885,26	942,63	34,13	<0,01**
Retensi aktual (kg/m ³)	2	1,95	0,98	0,40	0,68ns
Penetrasi (mm)	2	0,04	0,02	0,34	0,72ns
Rayap Tanah (setelah 2 bulan pengamatan)					
Pengurangan berat (%)	2	1,35	0,67	1,87	0,03*
Derajat kerusakan (%)	2	323,26	161,63	6,10	0,04*
Rayap Kayu Kering (setelah 28 hari pengamatan)					
Mortalitas rayap (%)	2	128,00	64,00	48,00	<0,01**
Pengurangan berat (%)	2	0,06	0,03	1,35	0,33ns
Derajat kerusakan (%)	2	13,07	6,53	0,80	0,49ns

Keterangan: db = derajat bebas; ns = tidak berbeda nyata, ** = berbeda sangat nyata pada $\alpha = 1\%$, * = berbeda nyata pada $\alpha = 5\%$.

Remark: db = degree of freedom; ns = non-significant difference; ** = very significant difference at $\alpha = 1\%$, * = significant difference $\alpha = 5\%$.

Martawijaya (1983), menyatakan salah satu faktor yang mempengaruhi keterawetan kayu adalah konsentrasi larutan bahan pengawet yang umumnya semakin tinggi konsentrasi larutan bahan pengawet, semakin besar bahan pengawet yang mampu diserap oleh kayu. Lelana et al. (2011) melaporkan bahwa perlakuan pengawetan dengan metode tekan pada kayu karet menunjukkan bahwa nilai retensi bahan pengawet boron-kromium (campuran borak, asam borat, dan natrium dikromat) meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi bahan pengawet. Tabel 3 juga menunjukkan bahwa retensi bahan pengawet berbanding lurus dengan absorpsi. Hal serupa juga telah dilaporkan oleh penelitian sebelumnya (Sumaryanto et al. 2013; Fitriani et al.

2018). Hal ini menunjukkan bahwa semakin pekat larutan pengawet, sampai pada konsentrasi tertentu, menyebabkan semakin banyaknya bahan pengawet yang mampu masuk ke dalam sel kayu.

Retensi aktual pada penelitian berada dibawah nilai yang dianjurkan untuk retensi bahan pengawet sebesar 8 kg/m³ untuk daerah beriklim tropis seperti Indonesia (SNI 01-5010.1-1999). Nilai retensi bahan pengawet boron pada kayu gubal jati yang diperoleh berdasarkan penelitian ini serupa dengan yang dilaporkan oleh Sumaryanto et al. (2013). Akan tetapi, lebih rendah dibandingkan dengan retensi boron pada kayu mangium, pinus, sengon, ganitri, mahoni, dan nangka (Djarwanto & Sudradjat 2002; Barly & Lelana 2010; Suhaendah & Siarudin 2015; Fitriani et al.

2018). Hal ini diduga karena perbedaan struktur anatomi setiap kayu yang berbeda sehingga menyebabkan perbedaan kemudahan dalam retensi bahan pengawet. Martawijaya & Barly (1982), hasil pengawetan ditentukan paling tidak oleh empat faktor, yaitu jenis kayu, kondisi kayu, teknik, dan bahan pengawet yang digunakan. Selain itu, dalam penelitian ini, penampang transversal kayu dicat sehingga larutan pengawet hanya dapat masuk ke dalam kayu melalui penampang radial dan tangensial. Hal inilah yang diduga menyebabkan kecilnya nilai retensi boron.

Dalam proses pengawetan kayu, tentunya jumlah bahan pengawet yang dapat masuk ke dalam kayu merupakan hal yang sangat penting. Namun, kedalaman penembusan bahan pengawet ke dalam kayu (penetrasi) juga menjadi perhatian karena memberikan gambaran seberapa dalam bahan pengawet tersebut mampu melindungi kayu dari serangan organisme perusak kayu. Rerata penetrasi bahan pengawet boron pada konsentrasi 5%, 7%, dan 10% adalah 3,04; 3,10; dan 3,16 mm. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, peningkatan konsentrasi pengawet boron tidak mengakibatkan bertambah dalamnya penetrasi. Djarwanto & Sudradjat (2002) melaporkan hal yang serupa, peningkatan konsentrasi boron dari 5-10% tidak menyebabkan peningkatan penembusan bahan pengawet. Selain itu, Hunt & Garrat (1986) menyatakan bahwa kedalaman penetrasi tidak berhubungan dengan retensi bahan pengawet. Sumaryanto et al. (2013) melaporkan perendaman dingin kayu jati dengan bahan pengawet boron pada konsentrasi 5% selama 12-48 jam menunjukkan penetrasi sebesar 2,3-3,9 mm. Penetrasi yang dihasilkan melalui penelitian ini lebih kecil dibandingkan persyaratan yang ditetapkan untuk penggunaan dalam ruangan dan luar ruangan yaitu sedalam 5 mm (Barly & Abdurrohman 1996).

Efikasi terhadap Rayap Tanah dan Rayap Kayu Kering

Rayap Tanah

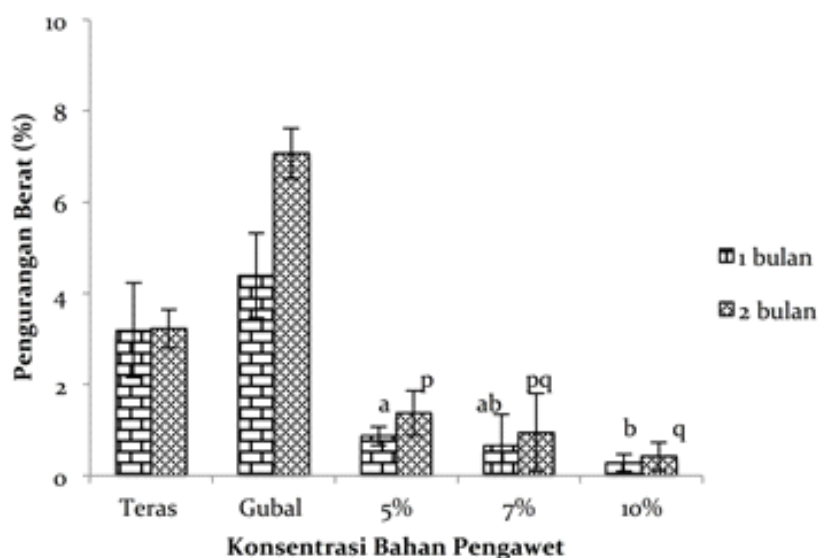
Hasil pengujian efikasi bahan pengawet boron di lapangan terhadap rayap tanah melalui graveyard test menunjukkan bahwa senyawa boron cukup efektif mencegah serangan rayap tanah. Salah satu parameter yang dapat menunjukkan efektifitas bahan pengawet adalah dengan cara mengamati kehilangan berat contoh uji. Semakin kecil kehilangan berat contoh uji, maka efektifitas bahan pengawet semakin tinggi.

Gambar 1 menunjukkan pengurangan berat contoh uji pengawetan pada berbagai konsentrasi, kayu teras dan kontrol (kayu gubal). Adanya kehilangan berat menunjukkan terjadinya kerusakan atau pelapukan pada kayu. Pengamatan yang telah dilakukan selama 2 bulan menunjukkan bahwa kayu gubal mengalami pengurangan berat yang paling tinggi (Gambar 1). Kayu gubal mengalami kehilangan berat sebesar 4,39% dan 7,07% pada bulan pertama dan kedua. Sebagai perbandingan, kayu teras menunjukkan pengurangan berat sebesar 3,19% dan 3,22% pada bulan pertama dan kedua pengamatan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kayu gubal mengalami kehilangan berat 2 kali lebih cepat dibandingkan dengan kayu teras. Hal ini serupa dengan hasil penelitian Lukmandaru (2013) yang melaporkan bahwa kayu gubal jati hutan rakyat memberikan hasil yang paling rentan terhadap serangan rayap sedangkan pada kayu teras bagian luarnya menunjukkan sifat anti rayap paling baik.

Efikasi terhadap Rayap Tanah dan Rayap Kayu Kering

Rayap Tanah

Hasil pengujian efikasi bahan pengawet boron di lapangan terhadap rayap tanah melalui graveyard test menunjukkan bahwa senyawa boron cukup efektif mencegah serangan rayap tanah. Salah satu parameter



Gambar 1. Penurunan berat kayu gubal jati yang telah diawetkan pada uji *graveyard* pada pengamatan 1 dan 2 bulan. Huruf yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata pada uji Tukey HSD ($\alpha = 1\%$)

Figure 1. Mass loss of treated teak sapwood after 1 and 2 months graveyard test. The same letter indicates that no significant difference was found by Tukey HSD ($\alpha = 1\%$)

yang dapat menunjukkan efektifitas bahan pengawet adalah dengan cara mengamati kehilangan berat contoh uji. Semakin kecil kehilangan berat contoh uji, maka efektifitas bahan pengawet semakin tinggi.

Gambar 1 menunjukkan pengurangan berat contoh uji pengawetan pada berbagai konsentrasi, kayu teras dan kontrol (kayu gubal). Adanya kehilangan berat menunjukkan terjadinya kerusakan atau pelapukan pada kayu. Pengamatan yang telah dilakukan selama 2 bulan menunjukkan bahwa kayu gubal mengalami pengurangan berat yang paling tinggi (Gambar 1). Kayu gubal mengalami kehilangan berat sebesar 4,39% dan 7,07% pada bulan pertama dan kedua. Sebagai perbandingan, kayu teras menunjukkan pengurangan berat sebesar 3,19% dan 3,22% pada bulan pertama dan kedua pengamatan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kayu gubal mengalami kehilangan berat 2 kali lebih cepat dibandingkan dengan kayu teras. Hal ini serupa dengan hasil penelitian Lukmandaru (2013) yang melaporkan bahwa kayu gubal jati hutan rakyat memberikan hasil yang paling rentan terhadap serangan rayap sedangkan pada kayu teras bagian luarnya menunjukkan sifat anti rayap paling baik.

Semua contoh uji yang diawetkan dengan senyawa boron menunjukkan pengurangan berat yang lebih kecil dibandingkan dengan kayu teras dan kayu gubal (Gambar 1). Pada bulan pertama pengamatan, kehilangan berat tertinggi ditunjukkan oleh contoh uji diawetkan dengan konsentrasi boron 5% sebesar 0,87%, sedangkan kehilangan berat paling rendah ditunjukkan oleh contoh uji dengan konsentrasi boron 10% yaitu 0,28%. Setelah 2 bulan, kehilangan berat contoh uji meningkat (0,42-1,37%), meskipun kehilangan berat yang ditunjukkan oleh semua contoh uji yang diawetkan masih berada jauh dibawah nilai kehilangan berat kayu teras (Gambar 1; Tabel 3). Hal ini mengindikasikan bahwa pengawetan kayu jati dengan boron cukup efektif melindungi kayu gubal jati dari serangan rayap tanah. Berdasarkan SNI 01-7207-2006 (Tabel 1), maka kayu gubal jati yang diawetkan dengan senyawa boron dapat digolongkan dalam kelas awet I.

Derajat kerusakan contoh uji setelah 2 bulan graveyard test disajikan pada Tabel 3. Rerata derajat kerusakan contoh uji pada konsentrasi 5%, 7%, dan 10% secara berurutan adalah 18,72%; 14,35%; dan 6,31%. Derajat kerusakan contoh uji menurun dengan

bertambahnya konsentrasi bahan pengawet yang digunakan. Bahkan, pada konsentrasi bahan pengawet 5%, derajat kerusakan yang diamati nilainya lebih kecil dibandingkan dengan kayu teras (48,11%; Tabel 3). Hal ini menunjukkan bahwa boron cukup efektif melindungi kayu gubal dari serangan rayap tanah.

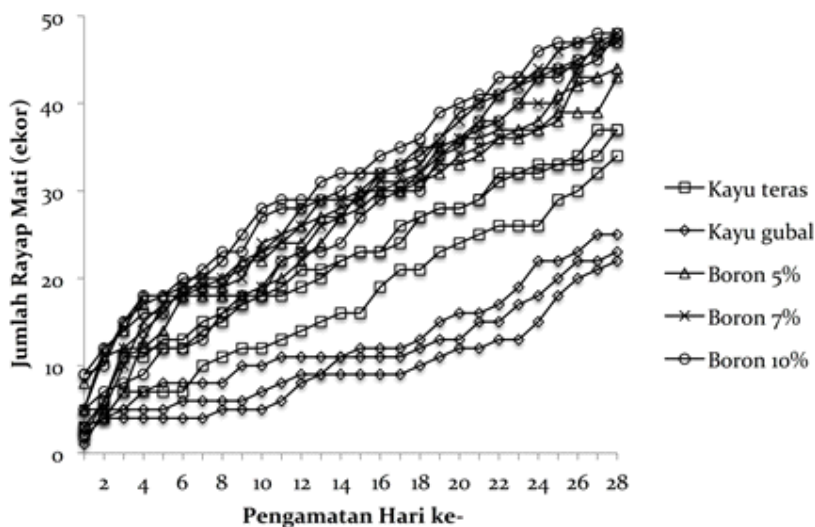
Rayap Kayu Kering

Pengawetan kayu gubal jati dengan pengawet berbahan aktif boron telah meningkatkan keawetan kayunya yang ditandai dengan nilai persentase pengurangan berat yang jauh lebih rendah dibanding dengan kontrol setelah pengumpanan terhadap rayap kayu kering selama 4 minggu, seperti ditunjukkan Tabel 3. Perbedaan konsentrasi bahan pengawet tidak menunjukkan perbedaan yang nyata pada nilai persentase penurunan berat dan derajat kerusakan kayu. Rerata pengurangan berat kayu yang terjadi pada contoh uji dengan konsentrasi boron 5%, 7%, dan 10% adalah 1,55%; 1,46%; dan 1,43% (Tabel 3). Rerata derajat kerusakan contoh uji yang diawetkan dibandingkan dengan kayu gubal secara berurutan yaitu 29,45%; 31,23%; dan 32,38% (Tabel 3). Sumaryanto et al. (2013) melaporkan derajat kerusakan kayu gubal jati akibat serangan rayap kayu

kering setelah diawetkan dengan boron 5% sebesar 30,34–31,27%. Derajat kerusakan yang diperoleh dalam penelitian ini serupa dengan penelitian sebelumnya (Sumaryanto et al. 2013).

Pengurangan berat yang terjadi pada uji rayap kayu kering berdasarkan klasifikasi SNI 01-7207-2006 (Tabel 2), menunjukkan bahwa kayu teras, kayu gubal jati yang telah diawetkan dengan senyawa boron dengan konsentrasi 5%, 7%, dan 10% termasuk dalam kelas I (sangat tahan), sedangkan kayu gubal yang tidak diawetkan (kontrol) termasuk dalam kelas III (sedang). Hal ini menunjukkan bahwa bahan pengawet dengan bahan aktif boron dapat menaikkan kelas awet kayu gubal jati menjadi seperti kayu terasnya.

Senyawa boron diketahui mempunyai aktivitas insektisida. Asam borat dilaporkan berinteraksi dengan berbagai molekul penting, seperti riboflavin, vitamin B6, koenzim A, vitamin B-12, dan nikotinamida adenin dinukleotida (NAD+) sehingga mengganggu proses fisiologis sel serangga (Woods 1994 dalam Lelana et al. 2011). Boron bereaksi sebagai racun perut bagi rayap kayu kering, racun membunuh rayap setelah bahan aktif masuk kedalam perut rayap melalui kegiatan makan. Hal tersebut dapat dilihat dari proses matinya rayap yang mengeluarkan feses



Gambar 2. Pengamatan mortalitas rayap kayu kering selama 28 hari
 Figure 2. Observation of dry-wood termite mortality for 28 days

yang lunak tidak berupa butiran sebelum mati, sehingga saat mati rayap menempel pada kayu.

Gambar 2 menampilkan data kematian rayap kayu kering (*C. cynocephalus*) yang diamati setiap hari selama 28 hari. Untuk mengukur efektifitas bahan pengawet kayu terhadap rayap, kematian rayap merupakan salah satu parameter penting untuk diamati. Pada awal masa pengumpanan, sudah terdapat rayap yang mati (Gambar 2). Akan tetapi, jumlah tersebut hanya sedikit. Namun, memasuki pekan kedua pengamatan, sekitar hari ke-8, jumlah rayap yang mati meningkat tajam sampai dengan akhir pengamatan.

Total mortalitas rayap kayu kering setelah 28 hari disajikan pada Tabel 3. Contoh uji kontrol menunjukkan mortalitas yang lebih rendah dibandingkan dengan kayu teras dan kayu gubal yang telah diawetkan. Mortalitas rayap kayu kering pada kontrol dan teras yaitu 47% dan 72%. Mortalitas rayap kayu kering pada contoh uji yang diawetkan dengan boron 5% adalah 87,33%, sedangkan pada konsentrasi bahan pengawet 7% dan 10% persentase mortalitas rayap kayu kering menunjukkan nilai yang sama yaitu 95,33%. Kondisi ini menunjukkan bahwa kayu gubal jati yang diawetkan dengan boron 5% memiliki nilai mortalitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan kayu teras (Tabel 3). Hadikusumo (2004) menyebutkan bahwa perlakuan pengawetan disebut efektif apabila nilai mortalitas rayap adalah 100% dan minimal 70%. Hal ini mengindikasikan bahwa perlakuan pengawetan pada kayu gubal jati memberikan daya racun yang efektif terhadap rayap kayu kering, meskipun pada konsentrasi yang paling rendah (5%). Adapun kategori tingkat mortalitas rayap mengikuti standar ASTM D 3345-08 sebagai berikut rendah (0-33%), sedang (34-66%), berat (67-99%), dan sempurna (100%). Pada penelitian ini, ketiga konsentrasi bahan pengawet termasuk dalam kategori mortalitas tingkat berat.

Kesimpulan

Nilai rerata absorpsi bahan pengawet boron pada konsentrasi 5%, 7%, dan 10% secara berturut-turut adalah 69,10; 80,31; dan 96,41 kg/m³ dan retensinya adalah 4,53; 5,28; dan 5,31 kg/m³, serta penetrasinya adalah 3,04; 3,10; dan 3,16 mm. Absorpsi, retensi, dan penetrasi bahan pengawet boron pada kayu jati dengan menggunakan metode tekan *Lowry* menunjukkan hasil yang semakin meningkat dengan bertambahnya konsentrasi bahan pengawet dengan hasil tertinggi pada dari konsentrasi 10%.

Kayu gubal jati yang diawetkan dengan senyawa boron dengan metode tekan *Lowry* dapat meningkatkan keawetan kayu gubal jati terhadap serangan rayap tanah dan rayap kayu kering, yang ditandai dengan persentase pengurangan berat dan derajat kerusakan kayu yang rendah bila dibandingkan dengan kayu gubal tanpa perlakuan pengawetan.

Kayu gubal jati hutan rakyat yang telah diawetkan dengan senyawa boron menggunakan metode tekan *Lowry* memiliki keawetan yang cukup tinggi yaitu sama dengan kayu teras yang tidak diawetkan ditunjukkan dengan nilai mortalitas rayap kayu kering sebesar 90% dan termasuk dalam kelas awet I (sangat tahan).

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dilaksanakan dengan dukungan DPP Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada Tahun Anggaran 2012.

Daftar Pustaka

- Abdurrohim S, Djarwanto. 2000. Pengawetan kayu mangium secara rendaman dingin dengan senyawa boron. Buletin Penelitian Hasil Hutan 18(1):19-26.
- Abdurrohim S, Martawijaya A. 1983. Beberapa faktor yang mempengaruhi keterawetan kayu. Prosiding Pertemuan Ilmiah Pengawetan Kayu. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Jakarta.
- ASTM. D1758-06. Standard test method of evaluating wood preservatives by field tests with stakes, ASTM International, West Conshohocken, PA.

- ASTM. D3345-08. Standard test method for laboratory evaluation of wood and other cellulosic materials for resistance to termites. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Badan Standardisasi Nasional. 1999. SNI 03-5010-1999. Pengawetan kayu untuk perumahan dan gedung. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2006. SNI 01-7207-2006. Uji ketahanan kayu dan produk kayu terhadap organisme perusak kayu. Badan Standardisasi Nasional.
- Barly, Abdurrohman S. 1996. Petunjuk Teknis Pengawetan Kayu untuk Bangunan Hunian dan Bukan Hunian. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Departemen Kehutanan, Jakarta.
- Barly, Lelana NE. 2010. Pengaruh ketebalan kayu, konsentrasi larutan dan lama perendaman terhadap hasil pengawetan kayu. *Jurnal Hasil Hutan* 28(1):1-8.
- Basri E, Wahyudi I. 2013. Sifat dasar kayu jati plus perhutani dari berbagai umur dan kaitannya dengan sifat dan kualitas pengeringan. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 31(2):93-102.
- Bowyer JL, Shmulsky R, Haygreen JG. 2007. *Forest Product and Wood Science: An Introduction*. Fifth Edition. Blackwell Publishing Professional. Iowa.
- Brischke C, Welzbacher CR, Rapp AO, Augusta U, Brandt K. 2009. Comparative studies on the in-ground and above ground durability of European oak heartwood (*Quercus petraea* Lielbl and *Quercus robur* L). *European Journal of Wood Science* 67:329-338.
- Djarwanto, Sudrajat R. 2002. Pengawetan kayu mangium secara rendaman panas-dingin dengan bahan pengawet boron dan CCB. *Buletin Penelitian Hasil Hutan* 20(1):12-19.
- Fitriani IE, Istikowati WT, Lusyani. 2018. Pengawetan kayu nangka (*Artocarpus heterophyllus* Lmk.) menggunakan pengawet boron dengan metode rendaman dingin untuk mencegah serangan rayap tanah (*Coptotermes curvignathus*). *Jurnal Sylva Scientiae* 1(1):72-80.
- Hadikusumo SA. 2004. Pengawetan Kayu. Fakultas Kehutanan. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Hunt GN, Garrat GA. 1986. Pengawetan Kayu. Akademika Pressindo, Jakarta.
- Ibach RE. 1999. Wood handbook Wood as an Engineering Material Chapter 14: Wood Preservation. US Department of Agriculture, Madison.
- Lebow ST. 2006. Preservative-Treated Wood and Alternative Products in the Forest Service. USDA Forest Service Technology and Development Program Missoula, MT.
- Lelana NE, Barly, Ismanto A. 2011. Toksisitas bahan pengawet boron-kromium terhadap serangga dan jamur pelapuk kayu. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 29(2):142-154.
- Lukmandaru G. 2013. The natural termite resistance of teak wood grown in community forest. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis* 11(2):131-139.
- Martawijaya A, Abdurrohman S. 1984. Spesifikasi Pengawetan Kayu untuk Perumahan. Edisi Ketiga. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Bogor.
- Martawijaya A, Barly. 1982. Resistensi kayu Indonesia terhadap impregnasi dengan bahan pengawet CCA. Pengumuman No.5. Balai Penelitian Hasil Hutan, Bogor.
- Martawijaya A, Kartasudjana I, Mandang YI, Prawira SA, Kadir K. 2005. Atlas Kayu Indonesia Jilid I. Departemen Kehutanan, Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. Bogor.
- Muslich M, Ruliaty S. 2008. *Keterawetan Sepuluh Jenis Kayu terhadap Bahan Pengawet Copper-Crome-Boron melalui Metode Vakum Tekan*. Hlm. 639-643. Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia. 8-10 Agustus 2008, Palangka Raya.
- Nicholas DD. 1987. Kemunduran (Deteriorasi) Kayu dan Pencegahannya dengan Perlakuan-Perlakuan Pengawetan Jilid I: Degradasi dan Proteksi Kayu. Diterjemahkan oleh Haryanto Yudodibroto. Airlangga University Press, Surabaya.
- Suhaendah E, Siarudin M. 2015. Pengawetan kayu ganitri dan mahoni melalui rendaman dingin dengan bahan pengawet Boric Acid Equivalent. *Jurnal Ilmu Teknologi Kayu Tropis* 13(2):185-192.
- Sumaryanto A., Hadikusumo SA, Lukmandaru G. 2013. Pengawetan kayu gubal jati secara rendaman dingin dengan pengawet boron untuk mencegah serangan rayap kayu kering (*Cryptotermes cynocephalus* Light.). *Jurnal Ilmu Kehutanan* 7(2):93-107.
- The Australian Wood Preservation Committee. 2007. Protocol for Assessment of Wood Preservatives. Australia.
- Wahyudi I, Okuyama T, Hadi YS, Yamamoto H, Watanabe H, Yoshida M. 2001. Relationship between released strain and growth rate in 39 year-old planted in Indonesia. *Holzforchung* 55(1):63-66.