

KOMBINASI BORAKS DAN ASAM BORAT SEBAGAI BAHAN PENGHAMBAT API DAN ANTIRAYAP PADA KAYU MERANTI MERAH**MAHDI SANTOSO^{1*}, SUTJIPTO A. HADIKUSUMO², & ABDUL AZIZ³**¹Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian Universitas Palangkaraya

*Email: mahdisantoso@gmail.com

²Bagian Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada³Fakultas Kehutanan Universitas Negeri Papua**ABSTRACT**

Woods have properties which are easy to be ignited by fire and most of them have a low natural durability. Therefore, it is required to improve the quality of wood by impregnating the fire-retardant and anti-termites possessed chemicals. The aim of this research was to investigate the effect of impregnation duration by combination of borax:boric acid (1:1) against the fire and termites. This study used red meranti wood (Shorea spp) with the dimension of 6 x 15 x 500 cm. The pressure times were 1, 2, and 3 hours as the concentration of borax:boric acid was 7% in 5 replications. Empty cell method was applied as preservation method by 12 kg/cm² of pressure. Testing the fire resistance referred ASTM E 69-02 B and anti-termite evaluation was conducted by no-choice feeding method. Observed parameters were absorption, actual retention, burn intensity, maximum combustion temperature, glowing time, termite mortality, mass loss, the degree of damage and visual observation. The results showed that the combination of borax: boric acid (1: 1) could improve the quality of red meranti samples against the fire and termite attacks. The most effective impregnation process were 2 hours of pressing time to obtain the 331 kg/ m³ of absorption; actual retention of 28.8 kg/ m³; burnt intensity of 10.9%; maximum combustion temperature of 140°C; glowing time of 1.03 minutes, termite mortality of 100%; mass loss of 0.002%; and mild degrees of damage category.

Keywords: fire-retardant, anti-termite, borax, Shorea spp, Cryptotermes cynocephalus

INTISARI

Kayu mempunyai sifat yang mudah terbakar dan sebagian besar mempunyai keawetan alami yang rendah. Perbaikan kualitas kayu dilakukan untuk mengatasi kelemahan tersebut, salah satunya dengan mengimpregnasikan bahan kimia yang bersifat menghambat api dan beracun terhadap organisme perusak kayu. Tujuan penelitian ini adalah melihat kemampuan boraks:asam borat (1:1) untuk meningkatkan ketahanan kayu meranti merah terhadap api dan rayap kayu kering dan mengetahui proses pengawetan yang efektif. Penelitian ini menggunakan kayu meranti merah (Shorea spp) berukuran 6 x 15 x 500 cm. Waktu pengawetan adalah 1, 2, dan 3 jam serta konsentrasi bahan pengawet 7% dalam 5 ulangan. Metode pengawetan menggunakan metode sel kosong dengan tekanan 12 kg/cm². Pengujian ketahanan terhadap api mengacu pada ASTM E 69-02 prosedur B, pengujian ketahanan terhadap rayap kayu kering mengacu pada metode rayap makan tanpa pilihan. Parameter yang diamati ialah absorpsi, retensi aktual, intensitas bakar, suhu pembakaran maksimal, lama pembaraan, mortalitas rayap kayu kering, pengurangan berat contoh uji, derajat kerusakan dan kondisi fisik sampel setelah uji bakar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi boraks:asam borat (1:1) memiliki efektivitas yang tinggi untuk meningkatkan ketahanan kayu meranti merah terhadap api dan rayap kayu kering. Proses pengawetan yang paling efektif adalah lama penekanan 2 jam dengan absorpsi 331 kg/m³; retensi aktual 28,8 kg/m³; intensitas bakar 10,9%; suhu pembakaran maksimal 140°C; lama pembaraan 1,03 menit; mortalitas rayap kayu kering 100%; pengurangan berat contoh uji 0,002%; serta derajat kerusakan kategori ringan.

Katakunci: penghambat api, anti rayap, boraks, Shorea spp, Cryptotermes cynocephalus

PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan utama dalam pemakaian kayu sebagai bahan bangunan adalah bahwa kayu merupakan bahan yang bersifat *combustible* (dapat terbakar), yang akan terjadi jika kayu dikenai suhu yang tinggi misalnya oleh api. Mudahnya penjalaran api pada kayu disebabkan oleh sifat alami komponen kayu yang tersusun atas 50 persen karbon, 6 persen hidrogen, dan 44 persen oksigen yang memang mudah terbakar. Dalam kondisi cukup udara dan adanya api, unsur kimia ini mudah terurai menjadi komponen gas mudah terbakar, seperti CO, CO₂, H₂, dan CH₄. Permasalahan lainnya di dalam pemakaian kayu sebagai bahan bangunan di Indonesia adalah rendahnya tingkat keawetan alami kayu yang dipergunakan dan tingginya tingkat serangan organisme perusak kayu. Total 3.132 jenis kayu yang telah diklasifikasikan keawetannya hanya 14,3% yang memiliki keawetan tinggi, sisanya sebanyak 85,7% mempunyai keawetan rendah (Anonim, 2008). Praktek mengawetkan kayu terlebih dahulu sebelum dipakai akan meningkatkan umur pakai kayu tersebut sampai tiga kali lipat yaitu dapat bertahan selama kurang lebih kurang 15 tahun. Dari aspek ekologis penghematan terhadap kayu yang terjadi hingga mencapai 14,76 juta m³/ tahun, yang nilainya setara dengan hutan seluas 147.600 hektar dengan potensi produksi 100 m³ per hektar sehingga menekan kegiatan *illegal logging* mencapai 20,5%. Jika dilihat dari sisi ekonomi, penghematan biaya yang dapat dicapai selama 15 tahun pertama adalah Rp. 100,51 triliun atau sekitar Rp. 6,75 triliun per tahun (Mas'ud *cit.* Antara 2007).

Bahan pengawet yang umum digunakan dan sudah diketahui mempunyai kemampuan untuk menghambat api antara lain asam borat dan boraks (Nicholas, 1987; Hunt & Garrat, 1986; Haygreen dan Bowyer, 1982; Yamaguchi, 2001; Effendi, 2007;

Yuliyanto, 2009). Hasil pengujian U.S Product Laboratory (Hunt & Garratt, 1986), kombinasi asam borat dan boraks (6:4) dengan retensi 114,37 kg/m³ menghasilkan kehilangan berat sebesar 19,1% pada uji tabung pembakaran dengan tendensi untuk membara tidak ada. Sedangkan jika memakai retensi 49,8 kg/m³ maka persentase kehilangan berat mencapai 60,3% dan tendensi pembaraan kecil. Hunt dan Garratt (1986) dan Nicholas (1987) menyatakan bahwa asam borat dan boraks secara terpisah atau bersama-sama, bersifat racun terhadap serangga dan cendawan perusak kayu. Selanjutnya dikatakan bahwa di Selandia Baru senyawa-senyawa ini ternyata sangat beracun dalam melindungi kayu konstruksi rumah dan bahan-bahan yang serupa terhadap serangga-serangga penggerek kayu.

Kayu meranti merah merupakan jenis kayu Kalimantan yang telah dan banyak dimanfaatkan untuk keperluan masyarakat terutama dalam pemenuhan kebutuhan rumah tangga, baik untuk perumahan maupun perabotannya, bahkan untuk kerajinan kayu. Jika dipandang dari segi kualitas sebagai kayu gergajian, kayu ini dianggap memiliki beberapa kelemahan yaitu terkait dengan sifat keawetannya yang rendah. Di dalam pengkelasan kayu berdasarkan sifat keawetannya, kayu meranti merah termasuk dalam kelas awet III-IV (Martawijaya *et al.*, 1989) yang berarti rentan terhadap degradasi oleh rayap kayu kering. Sedangkan jika dipandang dari segi degradasi oleh api, kayu meranti merah sebagaimana sifat sebagian besar kayu, bersifat *combustible* jika dikenai dengan suhu yang tinggi, misalnya terbakar oleh api. Di dalam pengkelasan bahan terhadap pembakaran oleh api, kayu meranti merah termasuk dalam kelas M4 yang berarti bahan agak menghambat api (Effendi, 2007).

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk melihat kemampuan kombinasi boraks dan asam borat rasio 1:1 dalam meningkatkan sifat ketahanan kayu meranti merah terhadap degradasi oleh api dan degradasi oleh rayap kayu kering. Tujuan berikutnya adalah untuk melihat pengaruh lama proses pengawetan (1, 2, dan 3 jam) yang dilakukan pada tekanan 12 kg/cm^2 dan konsentrasi bahan pengawet 7% terhadap efektivitas bahan pengawet tersebut.

BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah boraks ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), asam borat (H_3BO_3); kayu meranti merah (*Shorea spp.*), rayap kayu kering (*Cryptotermes cynocephalus* Light). Boraks dan asam borat yang dipergunakan termasuk dalam *grade* teknis dan kayu meranti merah yang dipakai merupakan sortimen dan berasal dari bagian kayu teras. Contoh uji berukuran $0,95 \times 1,9 \times 101,6 \text{ cm}$ untuk uji ketahanan terhadap api dan $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}$ untuk uji ketahanan terhadap rayap kayu kering.

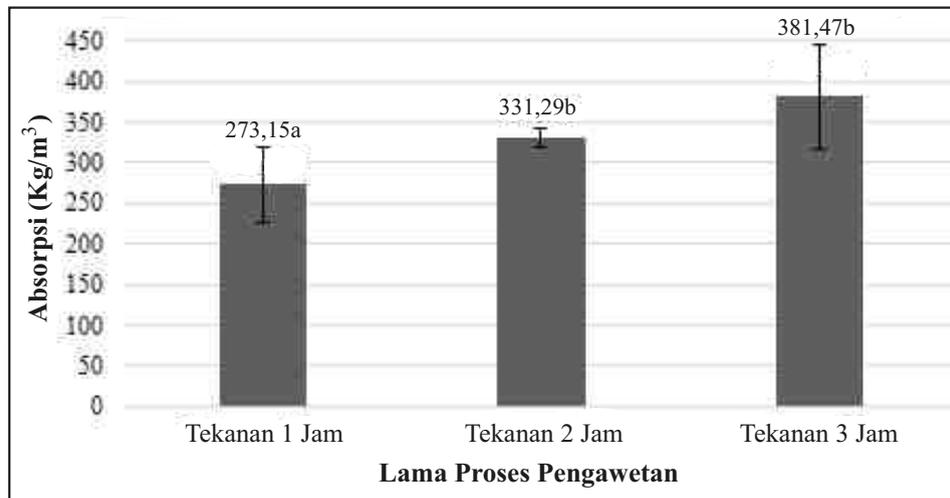
Larutan bahan pengawet yang dipergunakan mempunyai konsentrasi 7% sebanyak 30 liter. Proses pengawetan dilakukan mengacu pada metode tekanan sel kosong proses Lowry tanpa vakum akhir. Tekanan yang diberikan adalah 12 kg/cm^2 . Pengujian ketahanan terhadap api mengacu pada standar ASTM E 69-02 prosedur B (2007). Pengujian ketahanan terhadap rayap kayu kering menggunakan metode *no choice feeding test* dengan jumlah rayap 100 ekor dan lama penyerangan 30 hari. Parameter yang diamati adalah absorpsi, retensi aktual, intensitas bakar, suhu pembakaran maksimal, lama pembaraan, mortalitas rayap kayu kering, pengurangan berat contoh uji, pengurangan berat relatif dan kenampakan fisik contoh uji setelah uji bakar.

Faktor yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah lama proses pengawetan yang terdiri dari 3 aras, yaitu tekanan 1, 2 dan 3 jam dengan jumlah ulangan masing-masing 5 (lima). Sebagai data pembanding, maka dalam penelitian ini juga digunakan kontrol (tanpa bahan pengawet dan tanpa perlakuan) dengan jumlah ulangan yang sama. Analisis data dilakukan dengan menggunakan uji statistik berupa *analysis of variance* (ANOVA) dengan uji lanjut HSD, untuk membandingkan contoh uji dan kontrol digunakan uji t (*t-test*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Absorpsi

Rata-rata absorpsi bahan pengawet pada kayu meranti merah berturut-turut dari lama proses pengawetan 1, 2, dan 3 jam adalah 273 kg/m^3 , 331 kg/m^3 dan 381 kg/m^3 . Grafik rata-rata absorpsi bahan pengawet pada kayu meranti merah dapat dilihat pada Gambar 1. Hasil analisis statistik memberikan informasi bahwa lama proses pengawetan memberikan pengaruh sangat nyata terhadap besarnya absorpsi bahan pengawet pada kayu meranti merah. Dengan menaikkan lama proses pengawetan dari 1 menjadi 2 jam, maka absorpsi bahan pengawet dapat meningkat sekitar 18%, dan jika waktu tekanan diperpanjang lagi menjadi 3 jam, maka absorpsi akan meningkat sekitar 28%. Hasil uji lanjut memberikan informasi bahwa besarnya absorpsi antara lama proses pengawetan 2 dan 3 jam sama saja. Data ini memberikan informasi bahwa untuk parameter absorpsi bahan pengawet kombinasi boraks dan asam borat rasio 1:1 dengan konsentrasi 7% dan besar tekanan 12 kg/cm^2 , maka lama proses pengawetan yang paling optimal untuk kayu meranti merah adalah 2 jam.

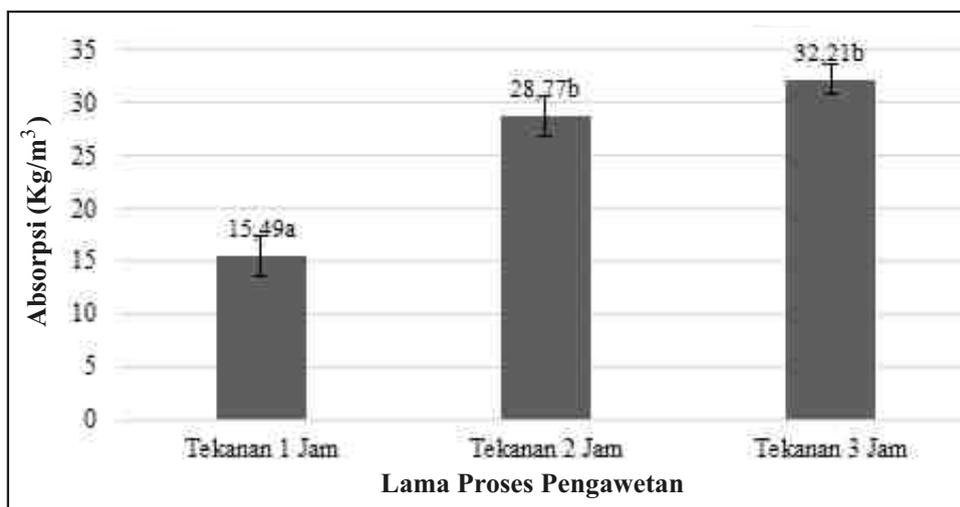


Gambar 1. Pengaruh lama proses pengawetan boraks/asam borat (1:1) terhadap absorpsi pada kayu meranti merah

Retensi aktual

Rata-rata retensi bahan pengawet pada kayu meranti merah berturut-turut dari lama perlakuan 1, 2, dan 3 jam adalah 15,5 kg/m³, 28,8 kg/m³, dan 32,2 kg/m³. Grafik rata-rata retensi bahan pengawet pada kayu meranti merah selama 1, 2 dan 3 jam dapat dilihat pada Gambar 2. Dari angka rata-rata tersebut, terlihat bahwa dengan memperlama proses penekanan dari 1 menjadi 2 jam, maka retensi bahan pengawet akan meningkat dengan sangat drastis dari 13,5 kg/m³ menjadi 33,7 kg/m³ (meningkat sampai 46%), akan tetapi jika tekanan diperlama lagi menjadi 3 jam, retensinya justru sedikit menurun

menjadi 31,2 kg/m³. Hasil ANOVA memberikan informasi bahwa lama proses pengawetan mempunyai pengaruh nyata terhadap tingginya retensi bahan pengawet pada kayu meranti merah. Hasil uji lanjut menunjukkan bahwa lama proses pengawetan yang mempunyai perbedaan nyata dalam mempengaruhi retensi aktual adalah antara lama penekanan 1 jam dengan 2 dan 3 jam; sedangkan antara lama perlakuan 2 dan 3 jam tidak ditemui adanya perbedaan besar retensi aktual yang dihasilkan. Data menunjukkan bahwa untuk parameter retensi aktual, lama proses pengawetan berpengaruh besar, adapun lama proses pengawetan yang optimal



Gambar 2. Pengaruh lama proses pengawetan boraks/asam borat (1:1) terhadap retensi pada kayu meranti merah

untuk bahan pengawet kombinasi boraks dan asam borat rasio 1:1 konsentrasi 7% dan besar tekanan 12 kg/m² adalah tekanan selama 2 jam.

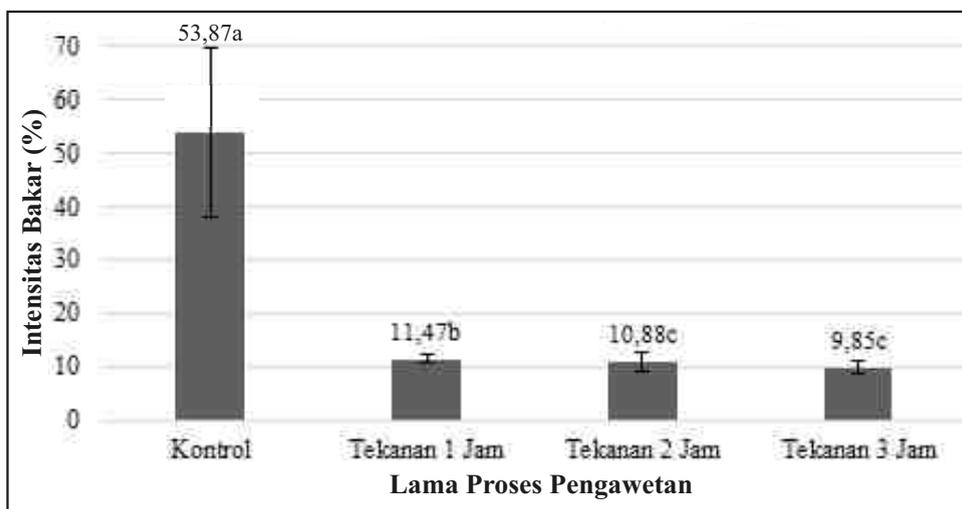
Intensitas bakar

Nilai rata-rata intensitas bakar akibat pengaruh lama proses pengawetan dari tekanan 1, 2, dan 3 jam adalah 11,5%, 10,9 % dan 9,9 %, secara berturutan. Grafik rata-rata intensitas bakar akibat pengaruh lama proses pengawetan dari tekanan 1, 2, dan 3 jam dapat dilihat pada Gambar 3. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa lama proses pengawetan mempunyai pengaruh yang nyata terhadap intensitas bakar. Lama penekanan 3 jam memberikan hasil terbaik diikuti dengan tekanan 2 dan 1 jam. Hasil uji lanjut memberikan informasi bahwa antara tekanan 2 dan 3 jam tidak ditemui adanya perbedaan intensitas bakar. Dari hasil uji *t* diketahui bahwa penambahan bahan pengawet kombinasi boraks dan asam borat rasio 1:1 pada kayu meranti merah, memberikan hasil yang berbeda dengan sangat nyata jika dibandingkan dengan kontrol (53,87%). Data tersebut menunjukkan bahwa bahan pengawet kombinasi boraks dan asam borat rasio 1:1 efektif untuk meningkatkan sifat ketahanan kayu meranti merah terhadap degradasi oleh api.

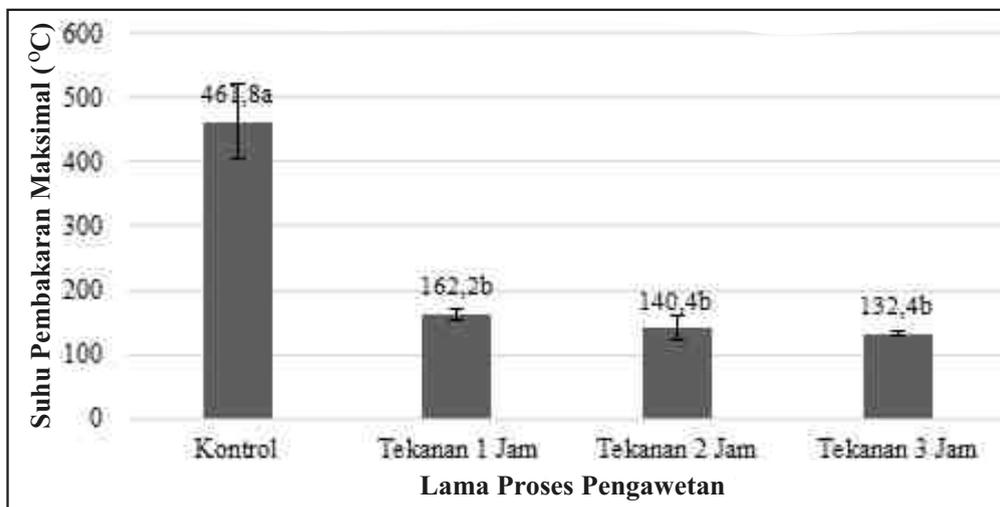
Nilai pengaruh pemberian bahan pengawet terhadap suhu pada kayu meranti dapat dilihat pada Gambar 4. Hasil uji ANOVA memberikan informasi bahwa lama proses pengawetan tidak berpengaruh. Hasil uji *t* memberikan informasi bahwa pemberian perlakuan pengawetan dengan menggunakan bahan pengawet kombinasi boraks dan asam borat rasio 1:1 akan meningkatkan sifat ketahanan kayu meranti merah terhadap degradasi oleh api. Pemberian bahan pengawet kombinasi boraks dan asam borat rasio 1:1 pada kayu meranti merah akan menurunkan suhu pembakaran maksimal dari 462°C menjadi rata-rata 145°C. Jika dihubungkan dengan penjelasan Nicholas (1987), dapat dikatakan bahwa bahan pengawet kombinasi boraks dan asam borat rasio 1:1 yang memenuhi syarat untuk memberikan proteksi pada kayu meranti merah terhadap degradasi oleh api khususnya untuk suhu pembakaran maksimal.

Lama pembaraan

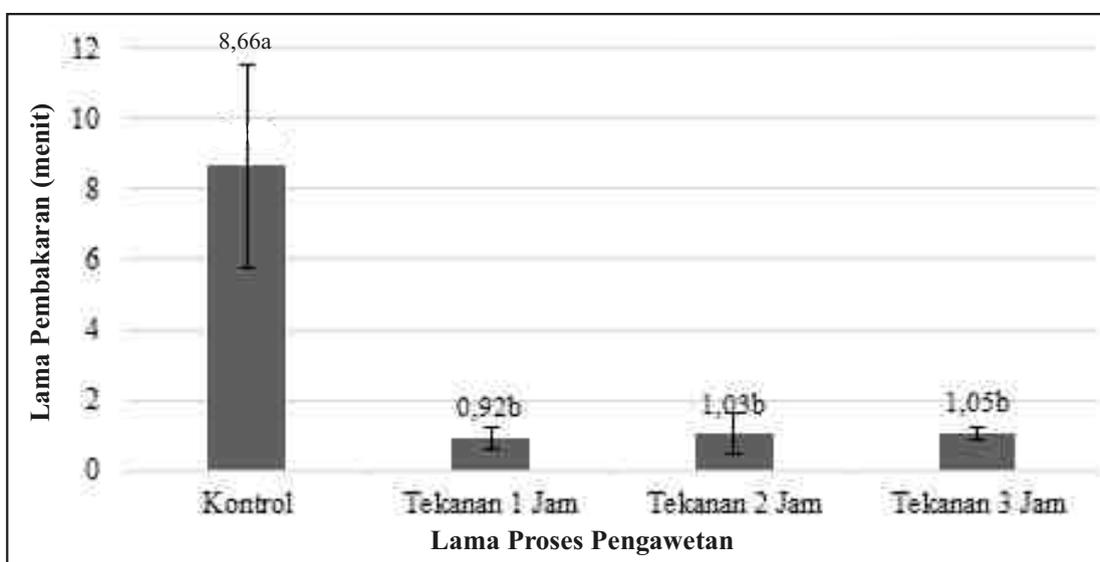
Nilai pengaruh pemberian bahan pengawet terhadap lama pembaraan terhadap kayu meranti dapat dilihat pada Gambar 5. Hasil uji ANOVA memberikan informasi bahwa lama proses pengawetan tidak berpengaruh secara nyata terhadap lama pembaraan yang terjadi pada kayu meranti



Gambar 3. Pengaruh pemberian bahan pengawet boraks/asam borat (1:1) terhadap intensitas bakar pada kayu meranti merah



Gambar 4. Pengaruh pemberian bahan pengawet boraks/asam borat (1:1) terhadap suhu pembakaran maksimal pada kayu meranti merah



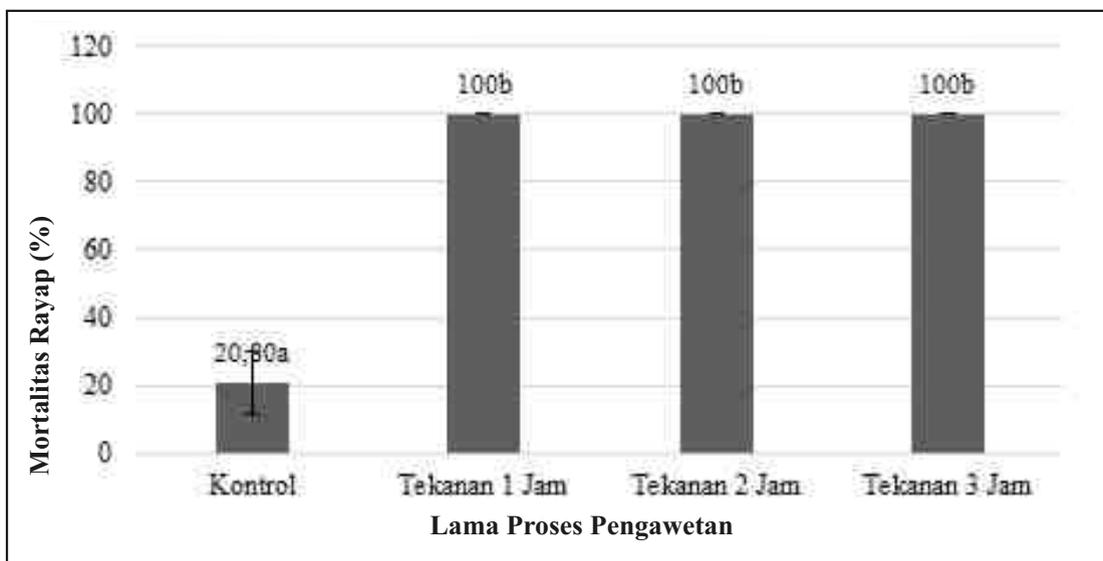
Gambar 5. Pengaruh pemberian bahan pengawet boraks/asam borat (1:1) terhadap lama pembakaran pada kayu meranti merah

merah. Hasil uji *t* memberikan informasi bahwa penambahan bahan pengawet kombinasi boraks dan asam borat rasio 1:1 secara nyata akan menurunkan lama pembakaran dari 8,66 menit menjadi 1,03 menit. Data ini memberikan informasi bahwa bahan pengawet kombinasi boraks dan asam borat rasio 1:1 efektif untuk meningkatkan sifat ketahanan kayu meranti merah terhadap degradasi oleh api.

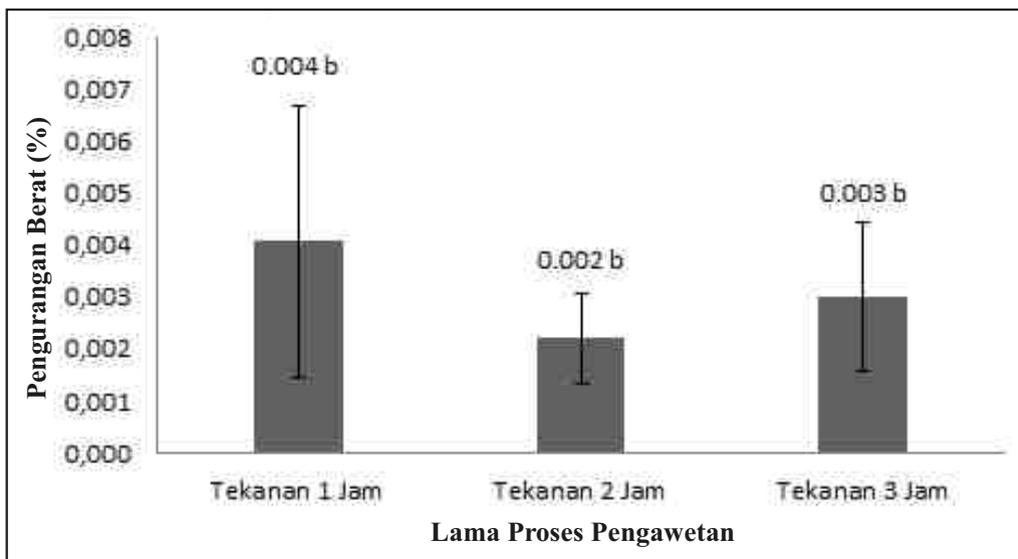
Mortalitas rayap kayu kering

Nilai pengaruh pemberian bahan pengawet terhadap mortalitas rayap kayu kering dapat dilihat

pada Gambar 6. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa lama proses pengawetan tidak berpengaruh nyata terhadap mortalitas rayap kayu kering. Hasil uji menunjukkan bahwa penambahan bahan pengawet kombinasi boraks dan asam borat rasio 1:1 pada kayu meranti merah akan meningkatkan sifat toksik kayu terhadap rayap kayu kering. Mortalitas rayap kayu kering pada kontrol hanya sekitar 20,80 % sedangkan dengan memberikan bahan pengawet kombinasi boraks dan asam borat rasio 1:1 maka mortalitas rayap akan meningkat dengan sangat



Gambar 6. Pengaruh pemberian bahan pengawet boraks/asam borat (1:1) terhadap mortalitas rayap kayu kering pada kayu meranti merah



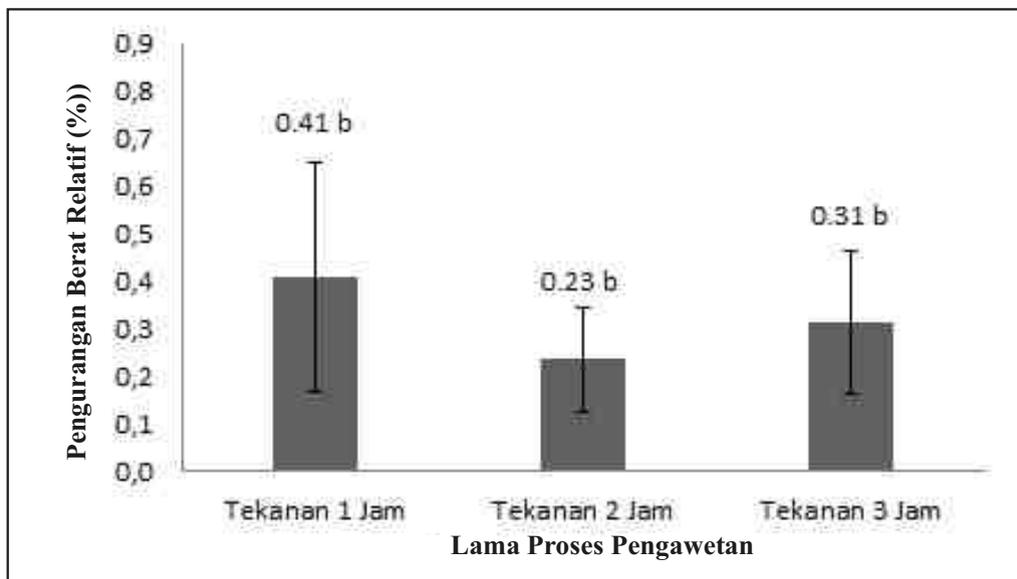
Gambar 7. Pengaruh pemberian bahan pengawet boraks/asam borat (1:1) terhadap pengurangan berat contoh uji pada kayu meranti merah. Pengurangan berat contoh uji kontrol adalah 1,035%.

drastis mencapai 100%, artinya semua rayap yang diserang pada contoh uji mati semuanya selama proses pengujian.

Pengurangan berat contoh uji

Nilai pengurangan berat contoh uji pada berbagai lama proses pengawetan dapat dilihat pada Gambar 7. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa lama proses pengawetan tidak berpengaruh nyata terhadap pengurangan berat contoh uji. Hasil uji menunjukkan bahwa penambahan bahan pengawet kombinasi

boraks dan asam borat rasio 1:1 pada kayu meranti merah akan meningkatkan sifat ketahanan kayu terhadap serangan rayap kayu kering. Pengurangan berat contoh uji pada kontrol mencapai sekitar 1,04%, sedangkan dengan memberikan bahan pengawet kombinasi boraks dan asam borat rasio 1:1 maka pengurangan berat contoh uji akan turun dengan sangat drastis mencapai 0,003%, artinya hampir tidak ada bagian kayu yang hilang akibat dimakan oleh rayap kayu kering.



Gambar 8. Pengaruh pemberian bahan pengawet boraks/asam borat (1:1) terhadap pengurangan berat relatif pada kayu meranti merah. Pengurangan berat relatif kontrol adalah 100%.

Pengurangan berat relatif

Lama proses pengawetan tidak berpengaruh nyata terhadap derajat kerusakan kayu. Hasil uji menunjukkan bahwa penambahan bahan pengawet kombinasi boraks dan asam borat rasio 1:1 pada kayu meranti merah akan menurunkan nilai pengurangan berat relatif kayu meranti merah akibat serangan rayap kayu kering. Pengurangan berat relatif pada kontrol 100%, sedangkan dengan memberikan bahan pengawet kombinasi boraks dan asam borat rasio 1:1 maka pengurangan berat relatif akan turun dengan sangat drastis menjadi rata-rata 0,32%.

Hasil analisa hubungan antara kehilangan berat dan kriteria derajat kerusakan kayu, serta dikonfirmasi dengan ciri-ciri visual kerusakan

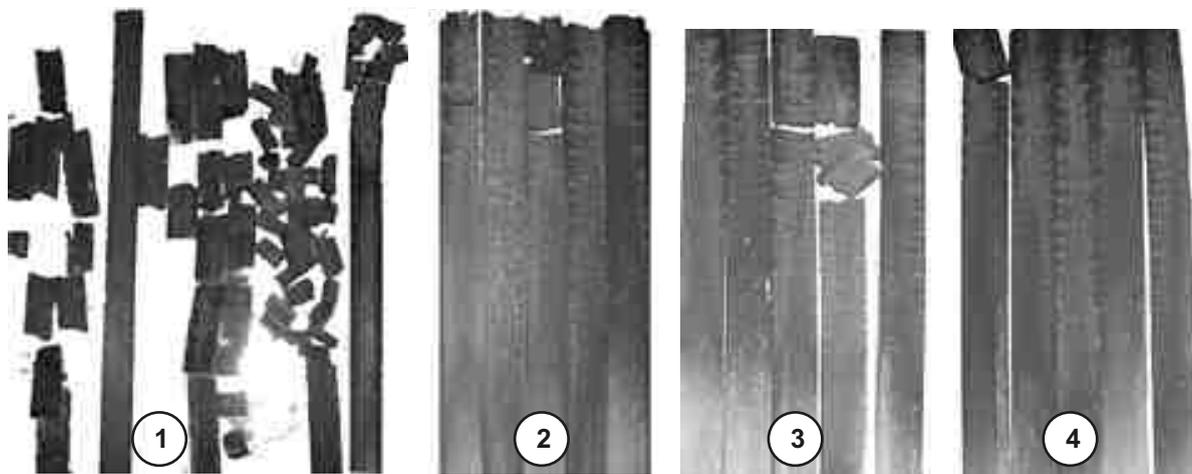
kayu, maka keefektifan bahan pengawet kombinasi boraks dan asam borat rasio 1:1 yang diuji terhadap degradasi oleh rayap kayu kering dapat digolongkan seperti disajikan pada Tabel 1.

Kondisi fisik contoh uji

Kombinasi boraks dan asam borat rasio 1:1 memberikan reaksi terhadap proses pembakaran yang terjadi pada kayu meranti merah berupa retak-retak kecil memanjang dan melintang arah panjang contoh uji, sehingga membentuk gambaran seperti susunan batu bata. Asap yang terjadi selama proses pembakaran relatif banyak, dan secara drastis menjadi sangat banyak sesaat setelah contoh uji diangkat dari tabung pembakaran setelah pengujian

Tabel 1. Kriteria kerusakan kayu berdasarkan jenis bahan pengawet yang dipergunakan pada kayu meranti merah

Jenis Bahan Pengawet	Lama Proses Pengawetan	Pengurangan Berat Relatif (%)	Derajat Kerusakan	Ciri-Ciri Kerusakan
Kombinasi boraks dan asam borat rasio 1:1	1 jam	0,41	ringan	Bekas gigitan dangkal dan tidak meluas
	2 jam	0,23	ringan	Bekas gigitan dangkal dan tidak meluas
	3 jam	0,31	ringan	Bekas gigitan dangkal dan tidak meluas



Gambar 9. Kondisi fisik contoh uji setelah dilakukan uji bakar pada tabung pembakaran.
Keterangan : 1 (kontrol), 2 (tekanan 1 jam), 3 (tekanan 2 jam) dan 4 (tekanan 3 jam)

selesai dilakukan (setelah empat menit pengujian). Api yang terjadi pada contoh uji langsung mati seketika ketika contoh uji diangkat dari tabung pembakaran (kontrol pada pengujian ini menunjukkan fenomena dimana api masih tetap menyala beberapa saat ketika diangkat dari tabung uji). Setelah contoh uji diangkat dari tabung pembakaran, pembaraan masih terjadi akan tetapi hanya dalam waktu singkat (rata-rata 1,00 menit). Abu yang dihasilkan dari proses pembaraan hanya sedikit dan berwarna keabu-abuan. Contoh uji sudah tidak utuh lagi, dan lepas dari bagian utamanya jika tersentuh atau mengalami sedikit getaran. Pada Gambar 9 ditunjukkan perbandingan kondisi fisik contoh uji setelah uji bakar.

KESIMPULAN

1. Bahan pengawet kombinasi boraks dan asam borat rasio 1:1 terbukti sangat efektif untuk meningkatkan sifat ketahanan kayu merah terhadap degradasi oleh api dan rayap kayu kering.
2. Lama proses pengawetan hanya berpengaruh terhadap nilai absorpsi, retensi dan intensitas

bakar saja, sedangkan pada parameter lain tidak berpengaruh nyata.

3. Lama proses pengawetan yang dinilai paling efektif untuk meningkatkan sifat ketahanan kayu merah terhadap degradasi oleh api dan rayap kayu kering, dengan menggunakan bahan pengawet kombinasi boraks dan asam borat rasio 1:1 konsentrasi 7% dan besar tekanan 12 kg/cm² adalah tekanan dalam silinder pengawet selama 2 jam.
4. Nilai parameter pada perlakuan yang paling efektif (tekanan 2 jam) ialah absorpsi 331 kg/m³; retensi aktual 28,8 kg/m³; intensitas bakar 10,9%; suhu pembakaran maksimal 140°C; lama pembaraan 1,03 menit; mortalitas rayap kayu kering 100%; pengurangan berat contoh uji 0,002%; derajat kerusakan kategori ringan.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society For Testing And Materials. 2007. ASTM E 69-02: *Standard method for combustible properties of treated wood by the fire-tube apparatus*. ASTM International, West Conshohocken, United States.
- Anonim. 2007. *Teknologi Pengawetan Kayu Mampu Hemat Konsumsi Kayu 7 Juta m³ Tiap Tahun*. Kantor Berita Antara 7 Agustus 2007, Jakarta.

- Effendi AH. 2007. Natrium silikat sebagai bahan penghambat api aman lingkungan. *Jurnal Teknologi Lingkungan* 8:(3):245-252.
- Haygreen JG & Bowyer JL. 1996. *Hasil Hutan dan Ilmu Kayu*. Diterjemahkan oleh Soetjipto A. Hadikusumo, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hunt GM & Garratt GA. 1986. *Pengawetan Kayu*. Diterjemahkan oleh Mohamad Jusuf, CV. Akademika Pressindo, Jakarta.
- Martawijaya A, Kartasujana I, Mandang YI, Prawira SA, & Kadir K. 1989. *Atlas Kayu Indonesia Jilid I*. Lembaga Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. Departemen Kehutanan Indonesia. Bogor.
- Martawijaya A. 1996. *Keawetan Kayu dan Berbagai Faktor yang Mempengaruhinya*. Petunjuk Teknis. Pusat Litbang Hasil Hutan dan Sosek Kehutanan. Bogor.
- 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.
- Yamaguchi H. 2003. Silicic acid: boric acid complexes as wood preservatives: ability of treated wood resist to termites and combustion. *Wood Science and Technology* 37: 287 – 297.
- Yuliyanto A. 2009. *Uji Ketahanan Api Trembulu (Maesopsis eminii Engl.) dengan Natrium Silikat pada Berbagai Konsentrasi dan Tekanan*. Skripsi (tidak dipublikasikan) Jurusan Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.