



Studi Mutu Kayu Jati di Hutan Rakyat Gunungkidul.

VII. Ketahanan terhadap Rayap Tanah

Study of Teakwood Quality from Community Forests in Gunungkidul.

VII. Natural Subterranean Termite Resistance

Ganis Lukmandaru*, Pito Wargono, Arsy Rahman Mohammad, & Vendy Eko Prasetyo

Departemen Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, Jl. Agro No 1, Bulaksumur, Sleman, 55281

*E-mail : ganisarema@lycos.com

HASIL PENELITIAN

Riwayat naskah:

Naskah masuk (*received*): 11 Agustus 2017

Diterima (*accepted*): 8 Januari 2018

KEYWORDS

Tectona grandis

Coptotermes curvignathus

natural durability

chemical properties

color properties

ABSTRACT

*Teak wood has been used for various uses because of its excellent natural durability as well as beautiful grain and colour of its heartwood. However, variability in natural durability exists between trees of different geographical zones. The previous paper in this series reported on the chemical properties of teak wood from different zones (Nglipar, Panggang, and Playen). In this study, as a continuation, natural termite resistance of teak wood grown in community forests of Gunungkidul and the factors correlating to the termite resistance i.e. chemical and colour properties, were determined. Further, the data obtained here were compared with that of wood samples from Perhutani forest plantation (Randublatung site). No-choice termite feeding test by using a subterranean termite *Coptotermes curvignathus* were conducted on wood samples taken from three trees of three planted sites. The colour properties of each sample were measured using the CIELAB (L^* , a^* , b^*) system. The chemical and colour characteristics results then were correlated with the mass loss of wood and survival rate of termites after 13 days of feeding. The heartwood and sapwood of all of the trees tested exhibited antitermitic activities. Significant differences were found in survival rate of termites due to interaction of the site and radial position. Samples from Panggang had larger termite resistance judging by its survival rate of termites. Further, the heartwood regions of Panggang and Playen sites exhibited higher antitermite activities than those of Randublatung samples. Measurements of colour showed that no significant differences were found between outer and inner heartwood parts. Samples from Playen showed the lightest on the basis of the sites. In the combined sapwood and heartwood data, mass loss was positively associated with hot-water solubility levels and negatively with ethanol-toluene extractive content. In addition, pH values moderately correlated with survival rate on 8-day*

observation. With regard to colour properties, it was measured that larger a^* values (redness) induced larger mass loss of heartwood.

INTISARI

KATA KUNCI

Tectona grandis

Coptotermes curvignathus

keawetan alami

sifat kimia

sifat warna

Kayu jati telah digunakan untuk bermacam produk karena sifat ketahanan alami di atas rata-rata serta keindahan serat dan warna kayunya. Meski demikian, terdapat variasi untuk sifat ketahanan alami di antara pohon yang tumbuh di tempat tumbuh yang berbeda. Penelitian sebelumnya telah mendeskripsikan sifat kimia kayu jati tumbuh di zona ekologis yang berbeda (Nglipar, Panggang, dan Playen). Sebagai lanjutan, penelitian ini bertujuan menentukan sifat ketahanan alami terhadap rayap pada kayu jati yang tumbuh di hutan rakyat Gunungkidul dan mengeksplorasi faktor yang berkorelasi terhadap sifat tersebut yaitu sifat kimia dan warna kayu. Tujuan lainnya adalah membandingkan data yang diperoleh dengan data kayu yang tumbuh di hutan tanaman Perhutani (Randulabung). Uji pengumpanan tanpa pilihan menggunakan rayap tanah *Coptotermes curvignathus* terhadap sampel kayu dari tiga tempat tumbuh tersebut. Sifat warna tiap sampel diukur dengan sistem diukur menggunakan sistem CIELAB(L^* , a^* , b^*). Data sifat kimia dan warna kemudian dihubungkan dengan kehilangan berat dan persen hidup rayap setelah 13 hari pengumpanan. Kayu gubal dan teras dari semua pohon menunjukkan aktivitas anti rayap. Perbedaan nyata diamati dalam persen hidup dalam interaksi faktor tempat tumbuh dan arah radial pohon. Sampel dari Panggang menunjukkan ketahanan alami yang lebih tinggi didasarkan persen hidup rayapnya. Selanjutnya, bagian teras dari sampel Playen dan Panggang menunjukkan aktivitas anti rayap yang lebih tinggi dibandingkan sampel dari Randublatung. Pengukuran warna menghasilkan tidak adanya beda nyata untuk kecerahan (L^*) antara teras bagian luar dan dalam. Berdasar tempat tumbuhnya, sampel Playen memberikan warna kayu yang paling cerah. Apabila data di bagian teras dan gubal digabungkan, nilai kehilangan berat berhubungan positif dengan nilai kelarutan dalam air panas serta nilai kehilangan berat berhubungan negatif dengan nilai kadar ekstraktif etanol-toluena. Selain itu, nilai pH berkorelasi secara moderat dengan persen hidup rayap selama 8 hari pengamatan. Untuk sifat warna, diamati nilai kemerahan (a^*) yang semakin tinggi diiringi oleh kenaikan kehilangan berat di bagian teras.

© Jurnal Ilmu Kehutanan-All rights reserved

Pendahuluan

Selain dari hutan tanaman, untuk merespon tingginya permintaan terhadap kayu jati di Jawa, sebagian kekurangan tersebut juga dipenuhi dari sumber pohon yang tumbuh di hutan rakyat. Pengelolaan tanaman jati di hutan rakyat memiliki keunikan tersendiri apabila dibandingkan dengan pengelolaan tanaman jati pada secara konvensional di lahan Perhutani. Dari segi metode pengelolaannya,

tanaman jati di hutan rakyat dipanen pada umur yang relatif lebih muda, yaitu pada umur kurang dari 30 tahun karena praktek 'tebang butuh'. Percepatan tersebut diduga dapat mempengaruhi proporsi gubal yang dihasilkan serta proporsi kayu mudanya (juvenil). Oleh karena itu, relatif tingginya proporsi gubal dan juvenil dari kayu hutan rakyat dikhawatirkan berpengaruh pada sifat lainnya seperti keawetan alami. Sifat ini menjadi penting karena jati dikenal

sebagai kayu yang awet selain tahan terhadap perlakuan cuaca.

Dari tinjauan keawetan alaminya, publikasi-publikasi terakhir untuk pohon jati dengan berbagai variasi kondisi pohon lebih ditekankan pada keawetan dari serangan jamur (mis. Bhat & Florence 2003; Bhat et al. 2005; Kokutse et al. 2006; Moya & Berrocal 2010; Niamke et al. 2011) dibandingkan laporan yang membahas serangan rayap (Lukmandaru & Takahashi 2008; Lukmandaru 2011). Dari penelitian-penelitian tersebut, pendekatan sifat kimia dan sifat warna kayu sebagai indikator ketahanan alaminya telah dievaluasi dengan hasil yang bervariasi dan kadang dengan pola yang saling berlawanan. Hal tersebut mengindikasikan kompleksitas dalam faktor-faktor yang berpengaruh terhadap keawetan alami di kayu jati.

Penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi mutu kayu jati dari hutan rakyat Gunungkidul dari tiga zona ekologis yang berbeda baik untuk sifat fisik (Marsoem et al. 2014a, 2014b, 2015) maupun sifat kimia (Lukmandaru et al. 2016; Lukmandaru & Hidayah 2017). Di lain pihak, rayap adalah musuh alami kayu yang paling merusak dan merugikan (Shmulsky & Jones 2011). Sebagai lanjutannya, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat ketahanan alami terhadap rayap tanah. Sebagai pembanding, kayu jati dewasa yang tumbuh dari pohon di hutan Perhutani juga dievaluasi. Tujuan lainnya adalah ingin mengetahui hubungan sifat anti rayap dengan sifat kimia maupun dengan sifat warna kayunya. Khusus untuk sifat warna, pengujiannya adalah relatif murah dan sederhana. Oleh karena itu, bila ada hubungan kuat dengan ketahanan alami terhadap rayap maka

informasi ini akan bermanfaat dalam program pemuliaan pohon di masa-masa mendatang.

Bahan dan Metode

Penyiapan sampel

Sampel kayu jati diperoleh dari hutan rakyat di Kabupaten Gunungkidul pada tiga tempat tumbuh berbeda, yaitu Desa Kedungkeris Kecamatan Nglipar (zona Batur Agung/selatan), Desa Girisekar Kecamatan Panggang (zona Pegunungan Seribu/utara), dan Desa Dengok Kecamatan Playen (zona Ledok Wonosari/tengah). Dari masing-masing daerah asal, ditebang tiga buah pohon sebagai ulangan yang selanjutnya digergaji piringan/disk dengan ketebalan 5 cm. Disk diambil dari bagian pangkal masing-masing pohon (20 cm bebas banir). Sebagai pembanding, disk sampel kayu jati dewasa dari KPH Randublatung dengan KU VI (70 tahun) diambil dari tiga pohon di bagian pangkal.

Cara penentuan sampel (pohon) adalah secara acak, yaitu dipilih pohon yang mempunyai fisik yang bagus dan tidak cacat. Sebagai pembanding, tiga batang pohon jati bagian pangkal yang berumur 70 tahun ditebang dari Perhutani RPH Kedung Ringin, BKPH Ngliron, KPH Randublatung. Deskripsi tempat tumbuh dan kayu telah sebelumnya dijelaskan pada penelitian pendahuluan (Marsoem et al. 2014b; Lukmandaru et al. 2016). Deskripsi lebih lengkapnya bisa dilihat pada Tabel 1.

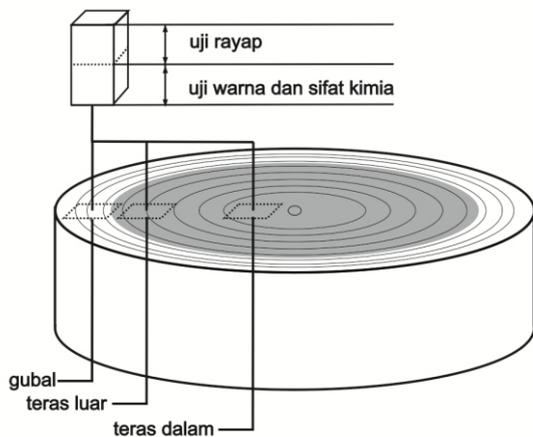
Pembuatan sampel

Pada setiap penampang melintang (radial) disk, dibagi menjadi tiga bagian, yaitu G (gubal, $\pm 0,5$ cm

Tabel 1. Deskripsi tempat tumbuh dan sampel pohon dari hutan rakyat Kabupaten Gunungkidul
Table 1. Description of sites and tree samples from community forests in Gunungkidul Regency

Asal	Panggang	Playen	Nglipar	Perhutani
Ketinggian tempat (m dpl)	270	150	115	250
Jenis tanah	Lithosol	Grumusol	Mediteran	Mediteran
Tipe tanah	Berbatu	Lempung berat	Lempung	Lempung
Kisaran dbh (cm)	28 - 37	29 - 32	31 - 37	54 - 67
Σ lingkaran tahun	15 - 18	10 - 15	13 - 21	67 - 70
Persen teras (%)	46 - 73 (60)	33 - 67 (50)	65 - 74 (70)	94 - 97 (96)

dari kulit), TL (teras luar, $\pm 0,5$ cm dari perbatasan gubal-teras), dan TD (teras dalam, ± 1 cm dari kulit). Dari setiap bagian tersebut, diambil serbuk kayu sebagai sampel pengujian kimia dan pengujian warna kayu. Selanjutnya juga diambil blok berukuran 5 cm (L) x 0,8 cm (T) x 0,8 cm (R) dengan kisaran berat antara 1–4 g, sebagai sampel pengujian serangan rayap. Skema pengambilan sampel Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema pengambilan sampel dari piringan kayu dalam arah radial

Figure 1. Scheme of sampling position of a wood disk in radial direction

Penentuan ketahanan terhadap rayap

Pengujian tingkat ketahanan alami kayu terhadap serangan rayap *Coptotermes curvignathus*, dilakukan dengan metode pengumpanan tanpa pilihan (*no choice feeding method*) mengacu pada Lukmandaru (2013). Sampel blok dikeringkan ke dalam tanur pada suhu 100°C selama 3 jam, kemudian sampel dimasukkan ke dalam gelas plastik berdiameter 4,5 cm dan tinggi 11,5 cm. Sebelumnya 100 g pasir steril yang telah dikeringkan pada suhu 100°C selama 1 jam dimasukkan ke gelas plastik. Setelah itu, dimasukkan 50 ekor rayap (Gambar 2) dan kemudian gelas plastik disimpan di dalam sebuah ruangan gelap, dan dijaga kelembabannya dengan cara dibasahi secara teratur. Untuk mengetahui jumlah hidup (persen hidup), dilakukan penghitungan pada hari ke-1, ke-3, ke-8, dan ke-13. Pada hari ke-13 sampel

dikeringkan ke dalam tanur pada suhu 100°C selama 3 jam, kemudian ditimbang beratnya. Penentuan tingkat ketahanan alami kayu dihitung dari jumlah berat kayu yang hilang selama pengujian tersebut dan persen jumlah rayap yang hidup (persen hidup). Untuk penghitungan persen hidup dilakukan transformasi arcsin pada data sebelum dilakukan uji analisis keragaman. Namun untuk memudahkan pembacaan, grafik ditampilkan berdasarkan data aktual. Dalam pengujian ini digunakan kontrol percobaan berupa kayu sengon dan pengumpanan tanpa kayu/makanan.



Gambar 2. Pengujian pengumpanan tanpa pilihan dari serangan rayap tanah *Coptotermes curvignathus* pada kayu jati

Figure 2. No-choice feeding test against *Coptotermes curvignathus* subterranean termites of teakwood

Penentuan sifat warna

Pengukuran sifat warna kayu dilakukan dengan alat *spectrocolorimeter* NF333 (Nippon Denshoku). Kondisi pengukuran: diameter bukaan 6 mm, pencahayaan A, sumber cahaya tungsten halogen. Pengukuran dilakukan dengan koordinat CIELAB yang diperoleh parameter yaitu L^* (tingkat kecerahan), a^* (tingkat kemerahan), dan b^* (tingkat kekuningan). L^* dengan skala 0 (hitam) – 100 (putih), a^* dengan skala + (merah) dan (-) untuk hijau, dan b^* dengan skala (+) kuning dan (-) biru.

Penentuan sifat kimia

Data sifat kimia untuk analisis korelasi menggunakan hasil dari publikasi pendahuluan (Lukmandaru et al. 2016; Lukmandaru & Hidayah 2017). Parameter yang dipakai adalah yaitu kadar ekstraktif larut etanol-toluena (ASTM D1107 - 96, 2002), kelarutan dalam air panas (ASTM D1110 - 80, 2002), kadar lignin TAPPI (T 222 os 1978, 1992), kadar selulosa (Browning 1967) dan nilai pH (Lukmandaru 2009). Kisaran nilainya untuk bagian gubal dan teras dan 3 tempat tumbuh adalah 46,72-50,90% (kadar selulosa), 29,22-32,80% (kadar lignin), 5,04-10,77% (kadar ekstraktif larut etanol-toluena), 2,74-7,85% (kelarutan dalam air panas) serta 5,53-6,27 (nilai pH).

Analisis data

Analisa keragaman dwi-arah (*two-way ANOVA*) digunakan untuk mengetahui perbedaan yang timbul di antara rerata tiga kelompok. Perbedaan dianggap nyata menggunakan taraf uji 1% (tingkat kepercayaan 99%) dan taraf uji 5% (tingkat kepercayaan 95%). Taraf uji 1% dinyatakan sangat berbeda nyata dan taraf uji 5% dinyatakan berbeda nyata. Apabila dari hasil analisis keragaman tersebut berbeda nyata, maka akan dilakukan analisis lanjutan uji perbandingan berganda Duncan untuk melihat seberapa jauh perbedaan nilai rata-rata. Untuk mengetahui keeratan hubungan antar parameter, yaitu antara tingkat ketahanan alami kayu dengan sifat kimia maupun sifat warna kayu digunakan analisis korelasi

Pearson yang ditunjukkan dengan koefisien korelasi (r). Perhitungan pada penelitian ini menggunakan program SPSS 16 for Windows.

Hasil dan Pembahasan

Ketahanan terhadap rayap tanah

Pengumpanan tanpa pilihan (*no-choice feeding method*) digunakan untuk mengevaluasi ketahanan terhadap rayap tanah melalui 3 parameter. Parameter kehilangan berat merupakan indikasi sifat penolakan (*repellent/antifeedant*) sedangkan persen hidup menunjukkan daya racun kayu terhadap rayap. Rangkuman data ditampilkan dalam Tabel 2 sedangkan hasil analisis keragaman pada Tabel 3.

Kehilangan berat

Ketahanan alami kayu jati terhadap rayap pada penelitian ini ditentukan dari besarnya kehilangan berat, yaitu selisih kayu sebelum dan sesudah diumpankan kepada rayap *C. curvignathus*. Pengumpanan dilakukan selama 13 hari, dimana pada waktu ini semua rayap pada sampel hutan rakyat dan Randublatung telah mati. Data kehilangan berat sayangnya hanya diukur setelah akhir pengumpanan sehingga tidak bisa diketahui perubahan yang paling besar seiring waktu. Hasil analisis keragaman menunjukkan hanya faktor radial saja yang berpengaruh nyata pada $\alpha = 1\%$ dan hasil uji lanjutnya ditampilkan pada Gambar 3. Terlihat bahwa

Tabel 2. Sifat ketahanan alami terhadap rayap kayu jati dari hutan rakyat Kabupaten Gunungkidul.

Table 2. Natural termite resistance of teakwood from community forests in Gunungkidul Regency.

Asal/jenis sampel	Kehilangan berat (mg)			Persen hidup hari ke-3 (%)			Persen hidup hari ke-8 (%)		
	Min.	Maks.	Rerata (sd)	Min.	Maks.	Rerata (sd)	Min.	Maks.	Rerata (sd)
Nglipar	24,6	63,3	46,11 (12,10)	28	100	84,2 (26,4)	0	32	12,7 (13,0)
Panggung	25,4	70,3	43,95 (13,72)	31	98	57,8 (29,4)	0	10	1,3 (3,3)
Playen	31,2	75,4	48,22 (15,05)	18	98	69,4 (29,3)	0	4	0,6 (1,4)
Kontrol									
- Randublatung	55,2	89,0	71,3 (12,7)	94	98	96,5 (1,4)	0	12	3,9 (2,7)
- Sengon	127,2	129,4	128 (1,1)	98	99	98,5 (1,0)	78	82	80 (2,1)
- Tanpa makanan	-	-	-	98	98	98 (0)	60	62	61(1,0)

Keterangan : min. = minimum, maks. = maksimum, sd = standar deviasi

Remarks : min. = minimum, maks. = maximum, sd = standar deviation

Tabel 3. Analisis keragaman sifat ketahanan rayap pada kayu jati
Table 3. Analysis of variance of natural termite resistance of teakwood

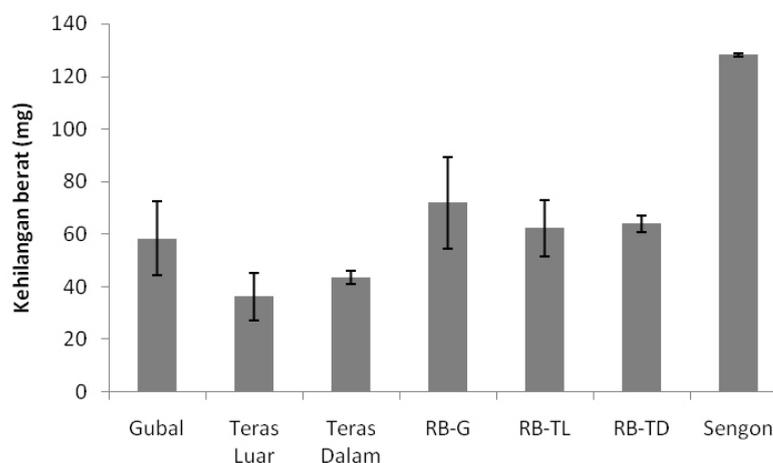
Sumber variasi	db	Kehilangan berat		Persen hidup pada hari ke-3		Persen hidup pada hari ke-8	
		KT	F	KT	F	KT	F
T	2	40,978	0,379	0,235	8,628**	0,187	28,828**
R	2	1143,071	10,594**	0,260	9,524**	0,147	22,607**
TxR	4	65,979	0,611	0,091	3,346*	0,082	12,580**
Galat	18	107,890		0,027		0,006	

Keterangan : T : tempat tumbuh; R : arah radial; db : derajat bebas; KT : rerata kuadrat tengah
 ** = beda sangat nyata pada taraf uji 1%, * = beda nyata pada taraf uji 5%, ns=tidak nyata
 Remark : T : sites; R : radial direction; db : degrees of freedom; KT : mean squares
 ** = highly significant at $\alpha = 1\%$, * = significant at $\alpha = 5\%$, ns = non significant

kehilangan berat oleh serangan rayap *C. curvignathus* terbesar ada pada posisi gubal (58,42 mg), berkurang pada posisi teras dalam (43,62 mg), dan terkecil pada posisi teras luar (36,30 mg). Terdapat perbedaan yang nyata antara bagian gubal dan teras luar, walaupun tidak ada perbedaan nyata antara bagian gubal dan bagian teras dalam, maupun antara bagian teras luar dengan bagian teras dalam. Penelitian sebelumnya (Da Costa et al. 1958; Rudman et al. 1966; Lukmandaru & Takahashi 2008; Lukmandaru 2011) tentang ketahanan kayu jati terhadap rayap menunjukkan bagian teras luar merupakan bagian paling tahan terhadap serangan organisme dibandingkan dengan posisi teras dalam maupun posisi gubal, sebagaimana juga terhadap serangan jamur (Narayanamurti et al. 1962; Bhat et al. 2005; Kokutse et al. 2006). Nilai kehilangan berat secara umum lebih besar di sampel kayu Randublatung dibanding dari sampel

Gunungkidul dalam arah radial (Gambar 3). Penelitian sebelumnya menunjukkan kecenderungan dimana untuk kayu teras jati dari pohon hutan rakyat berumur 30 tahun sudah mencapai ketahanan terhadap rayap setara dengan kayu jati dewasa dari Perhutani tetapi tidak setara untuk jati berumur 8 tahun (Lukmandaru & Takahashi 2008).

Kehilangan berat yang relatif tinggi ini menunjukkan sampel dimakan oleh rayap karena dalam *no-choice feeding method*, rayap dihadapkan pada satu pilihan atau keadaan tunggal (terpaksa) tanpa ada pilihan makanan lainnya. Hal ini bisa dilihat dari besarnya kehilangan berat pada sampel kayu sengon (kontrol) yang mencapai 128,1 mg. Selain karena faktor lingkungan, aktivitas rayap juga dipengaruhi oleh jenis rayap itu sendiri dimana rayap *C. curvignathus* merupakan rayap terganas di



Gambar 3. Kehilangan berat terhadap serangan rayap *Coptotermes curvignathus* pada kayu jati dalam 13 hari pengumpanan dalam arah radial.

Keterangan: rerata 3 ulangan dengan error bar sebagai standar deviasi. Huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata pada $P < 0,05$ melalui uji Duncan. G = Gubal, TL = teras luar, TD = teras dalam.

Figure 3. Mass loss against *Coptotermes curvignathus* on 13-day feeding of teakwood by radial position.

Remark : average of 3 trees, with the standard deviation error bar. The same letters are not statistically different at $P < 0.05$ by Duncan's test. HSG = sapwood, TL =outer heartwood, TD = inner heartwood.

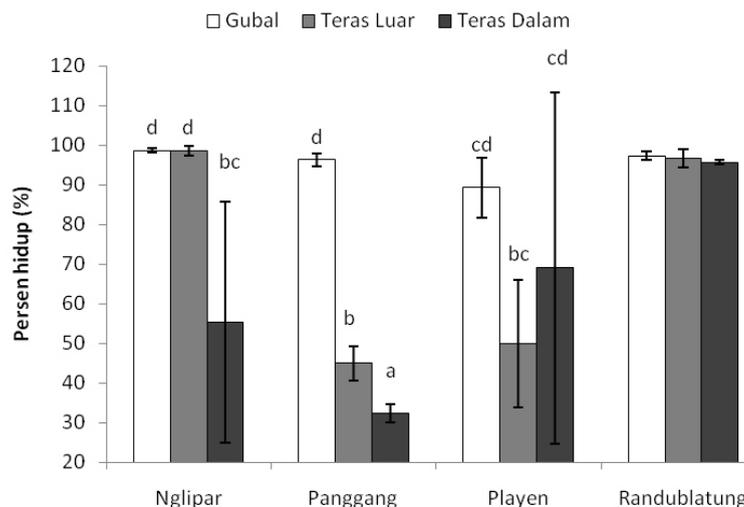
Indonesia (Nandika & Adijuwana 1995). Dari Gambar 3 juga dapat diketahui kehilangan berat kayu jati pada bagian gubal masih lebih rendah apabila dibandingkan dengan kehilangan berat pada kayu sengon (kontrol) yang diduga disebabkan oleh keberadaan zat ekstraktif pada bagian gubal kayu jati yang cukup menghambat aktivitas rayap. Pada penelitian sebelumnya, komponen-komponen yang bersifat anti-rayap seperti tektokinon, deoksilapakol, dan lapakol dideteksi pada bagian gubal kayu jati (Windeisen et al. 2003; Lukmandaru & Takahashi 2009; Niamke et al. 2011; Lukmandaru 2015). Pengaruh faktor fisik, khususnya kerapatan kayu, bisa diabaikan dimana pada sampel yang sama diperoleh hasil kerapatan dasar antara gubal dan teras luar tidak berbeda nyata sedangkan yang terendah adalah daerah teras dalam atau juvenil dalam penelitian pendahuluan (Marsoem et al. 2014b)

Persen hidup

Persen hidup pada penelitian ini diperoleh dari persentase rayap yang hidup pada saat pengamatan. Pengamatan dilakukan tiga kali, yaitu pada hari ke-3 (PH-3), ke-8 (PH-8), dan ke-13 (PH-13). Pengamatan pada hari ke-3 dilakukan karena ditemukan beberapa

rayap telah mengalami kematian, setelah itu pengamatan dilakukan setiap 5 hari sekali. Dari pengujian ini akan didapatkan nilai persen hidup pada masing-masing sampel yang berasal dari tiga tempat tumbuh dan tiga posisi radial. Pada hari ke-13, semua rayap pada sampel hutan rakyat dan Randublatung telah mati sehingga tidak dilakukan analisis data lebih lanjut. Persen hidup hari ke-13 untuk kontrol sengon adalah $72 \pm 2\%$ sedangkan kontrol tanpa makanan adalah $53 \pm 3\%$.

Nilai kisaran PH-3 rayap *C. curvignathus* dari tiga pengukuran adalah 89 – 99% pada bagian gubal, 45 – 99% pada bagian teras luar, dan 32 – 70% pada bagian teras dalam. Dari analisis keragaman PH-3 (Tabel 2) menunjukkan interaksi faktor tempat dan faktor posisi radial memberikan pengaruh yang nyata pada $\alpha = 5\%$. Kayu jati bagian gubal yang berasal dari Nglipar menunjukkan nilai PH-3 yang paling tinggi, yaitu mencapai 98,67% dan berbeda nyata dengan kayu bagian teras dalam yang berasal dari Panggang yang memiliki PH-3 yang paling rendah, yaitu hanya 32,33% (Gambar 4). Kecenderungan yang hampir sama juga ditunjukkan oleh PH-8, dimana interaksi antara faktor tempat dan faktor penampang radial



Gambar 4. Persen hidup rayap *Coptotermes curvignathus* yang diumpankan pada kayu jati untuk pengamatan hari ke-3. Rerata nilai kayu sengon (kontrol) dan kontrol tanpa makanan adalah $98,5 \pm 1,0\%$ dan $98 \pm 0\%$, secara berturutan.

Keterangan : lihat Gambar 3

Figure 4. Survival rate of *Coptotermes curvignathus* termites fed on teak wood on 3-day observation. Average survival rate of falcata wood and starvation (controls) were $98,5 \pm 1,0\%$ and $98 \pm 0\%$, respectively.

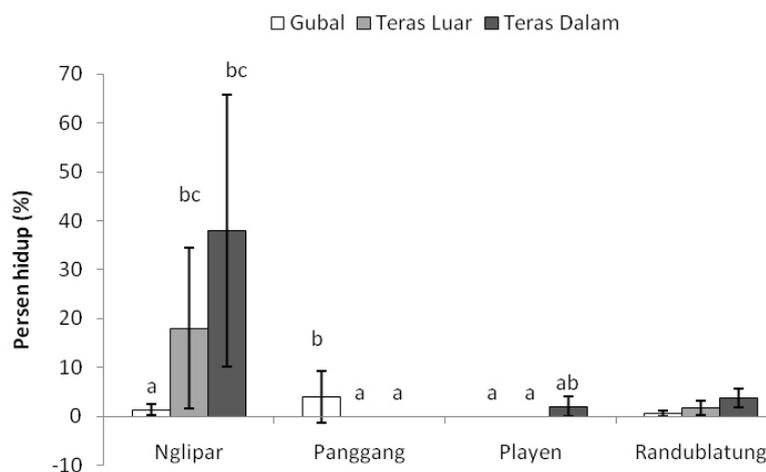
Remark : see Figure 3

memberikan pengaruh yang nyata pada $\alpha = 1\%$. Kayu jati bagian teras dalam yang berasal dari Nglipar menunjukkan PH-8 yang paling tinggi (22,00%) yang berbeda nyata dibandingkan dengan bagian-bagian yang lain (Gambar 5), terutama kayu bagian teras luar yang berasal dari Panggang dan Playen yang menunjukkan tidak ada rayap yang hidup (0%).

Variasi nilai PH-3 pada penampang radial diamati adanya perbedaan yang nyata antara bagian gubal dengan bagian teras luar atau teras dalam untuk sampel Panggang dan Playen, sedangkan antara teras luar dan teras dalam tidak ada perbedaan yang nyata untuk sampel Playen (Gambar 4). Untuk sampel Randublatung, tidak begitu terlihat perbedaan antara gubal dan teras. Variasi PH-8 menunjukkan tidak adanya perbedaan yang nyata antara bagian gubal, bagian teras luar, dan teras dalam untuk sampel Playen (Gambar 5). Perlu dicatat bahwa bagian gubal di sampel Nglipar menunjukkan nilai persen hidup yang lebih rendah dibandingkan terasnya, demikian juga untuk sampel Randublatung. Penelitian sebelumnya (Lukmandaru & Takahashi 2008) dengan metode sama tapi menggunakan rayap *Reticulitermes speratus* yang bukan musuh alami kayu jati,

didapatkan perbedaan nyata antara gubal dan teras untuk persen hidup pada minggu pertama. Untuk persen hidup di minggu kedua, kecenderungan serupa juga diamati pada kayu jati yang berumur 8 tahun yaitu ada perbedaan nyata antara gubal dan teras tetapi pola tersebut tidak diamati pada sampel umur 30 dan 51 tahun.

Data yang membandingkan ketahanan alami terhadap rayap untuk kayu jati berdasarkan faktor geografis masih terbatas. Diasumsikan kelas umur di ketiga tempat tumbuh dianggap homogen, sampel kayu yang berasal dari Nglipar memiliki persen hidup yang paling tinggi yang menandakan kayu tersebut lebih mudah diserang oleh rayap tanah sedangkan tidak ada beda nyata untuk persen hidup rayap antara sampel Playen dan Panggang. Penelitian sebelumnya untuk ketahanan alami terhadap jamur pada kayu jati India (Bhat et al. 2005) membuktikan bahwa kayu yang ditanam di daerah kering dengan kecepatan tumbuh relatif lambat memiliki ketahanan alami terhadap jamur pembusuk coklat yang lebih tinggi. Penelitian pada spesies *Chamaecyparis obtusa* didapatkan hasil kecepatan tumbuh (DBH) tidak banyak berpengaruh pada sifat anti-rayap di kayu



Gambar 5. Persen hidup rayap *Coptotermes curvignathus* yang diumpunkan pada kayu jati untuk pengamatan hari ke-8. Rerata nilai kayu sengon (kontrol) dan kontrol tanpa makanan adalah $80 \pm 2,1\%$ dan $61 \pm 1,0\%$, secara berturut-turut.

Keterangan : lihat Gambar 3

Figure 5. Survival rate of *Coptotermes curvignathus* termites fed on teak wood on 8-day observation. Average survival rate of falcata wood and starvation (controls) were $80 \pm 2.1\%$ and $61 \pm 1.0\%$; respectively. Remark : see Figure 3

terasnya (Kijidani et al. 2012). Perbedaan kehilangan berat terhadap jamur pembusuk coklat yang nyata pada daerah basah (3000 mm/thn) dan daerah kering (1900 mm/ thn). Meski perbedaannya tidak ekstrem seperti kondisi di India, daerah Nglipar yang mempunyai curah hujan terendah sedangkan Panggang yang tertinggi sedangkan hasil riap tertinggi diamati pada sampel Panggang dalam penelitian pendahuluan (Marsoem 2013). Perlu dicatat bahwa pohon yang tumbuh di Panggang dengan kondisi *top-soil* yang tipis dan berbatu tidak seperti kedua tempat lainnya. Faktor kecepatan tumbuh, curah hujan, serta pengaruh perbedaan jenis/kondisi tanah diduga secara tidak langsung mempengaruhi perbedaan respon ketahanan alaminya meski masih memerlukan pembuktian lebih lanjut.

Seperti halnya pada kehilangan berat, persen hidup juga sangat tergantung pada kandungan zat ekstraktif kayu yang dikonsumsi. Sebelumnya didapatkan adanya perbedaan hasil uji rayap dengan untuk kayu jati dalam kondisi alami maupun bentuk ekstraknya untuk rayap *Reticulitermes speratus* (Lukmandaru 2013). Kandungan zat ekstraktif kayu jati yang bersifat racun memungkinkan rayap *C. curvignathus* mati. Kemungkinan ini dilihat dari besarnya rerata persen hidup sampel kontrol tanpa kayu yang mencapai 61% di hari ke-8 atau 53% pada hari ke-13, dimana pada hari ini sudah tidak ada lagi rayap yang dapat bertahan hidup di sampel hutan rakyat. Sama halnya untuk kontrol kayu sengon dengan rerata persen hidup 80% dan 72% untuk hari ke-8 dan 13, secara berturut-turut. Hal ini menunjukkan bahwa rayap *C. curvignathus* mati karena zat racun dari ekstraktif dan bukan karena kelaparan dengan tidak mengonsumsi kayunya, atau karena faktor lingkungan. Hasil berbeda ditunjukkan oleh Da Costa et al. (1958); Lukmandaru dan Takahashi (2008) yang mendapatkan zat ekstraktif dalam kondisi alami pada kayu jati hanya menyebabkan efek penolakan (*repellent*) atau tidak makan (puasa) terhadap rayap *Coptotermes lacteus* dan *Reticulitermes speratus*. Daya racun tektokinon sendiri terhadap sesama rayap

tanah *Reticulitermes speratus* dan *Coptotermes formosanus* juga menunjukkan perbedaan yang nyata serta kadar tektokinon dalam ekstrak tidak banyak berpengaruh terhadap daya racun terhadap rayap (Ismayati et al. 2016). Hal ini kemungkinan disebabkan oleh daya makan rayap *C. curvignathus* yang tinggi, sebagaimana ditunjukkan pada penelitian sebelumnya bahwa *C. curvignathus* lebih ganas daripada rayap jenis lain (Ngee et al. 2004). Selain itu, efek racun ekstraktif pada kayu gubal diduga menjadi penyebab persen hidup yang lebih rendah dibandingkan terasnya khususnya untuk sampel Playen dan Randublatung. Kecenderungan tersebut sebenarnya tidak diharapkan sehingga perlu eksplorasi pada tingkat komponen ekstraktif untuk menjelaskan fenomena tersebut.

Rayap *C. curvignathus* mengonsumsi aktif dari hari pertama sampai hari ketiga. Setelah hari ketiga, rayap mulai mati, sehingga diduga pada hari ketiga racun dari ekstraktif kayu mulai mematikan protozoa yang terdapat di dalam perut rayap yang bisa disebabkan turunan senyawa kinon, seperti deoksilapakol dan plumbagin yang bersifat racun bagi protozoa *Leishmania* dan *Plasmodium* (Ganapaty et al. 2004). Disebutkan bahwa rayap sangat tergantung kepada protozoa yang menyediakan keperluan enzim untuk menghancurkan selulosa. Dugaan lainnya adalah adanya zat racun dalam ekstraktif kayu yang langsung menyerang sistem pencernaan pada rayap (*direct toxic effect*) sebagaimana dijelaskan oleh Ganapaty et al. (2004) yang dalam penelitiannya menunjukkan tektokinon dari kayu *Diopspyros sp.* menyebabkan rayap tanah *Odontotermes obesus* mati pada jam ke-48 sedangkan untuk sampel tanpa perlakuan rayapnya dapat bertahan hidup selama satu minggu lebih. Penelitian lainnya mengindikasikan kematian rayap karena kombinasi efek sifat racun maupun efek penolakan dari komponen-komponen ekstraktif jati (Lukmandaru & Ogiyama 2007). Hal ini terlihat pada hari ke-8, hanya beberapa rayap yang mampu bertahan hidup, sedangkan pada hari ke-13, semua rayap telah mati kecuali pada kedua sampel

kontrol percobaan yaitu sampel sengon dan pengumpanan tanpa kayu.

Kehilangan berat sampel kayu jati Randublatung mencapai 62–72 mg lebih tinggi apabila dibandingkan dengan kayu jati dari hutan rakyat, walaupun pada bagian gubal tidak banyak berbeda (Gambar 3). Nilai PH-3 pada kayu jati Randublatung juga lebih tinggi daripada kayu jati dari hutan rakyat, terutama pada bagian teras luar dan teras dalam yang mencapai 95 – 97% (Gambar 4). Begitu juga dengan PH-8 yang lebih tinggi (0 – 4%) dibandingkan dengan kayu jati dari Panggang dan Playen, namun masih lebih rendah dibandingkan dengan kayu jati dari Nglipar (Gambar 5). Hal ini menunjukkan dari segi keawetannya, kayu jati hutan rakyat mampu memberikan respon yang lebih baik dengan kayu jati Randublatung.

Sifat warna kayu

Sifat warna kayu dalam penelitian ini diukur secara spektroskopis dan dalam bentuk serbuk untuk menghilangkan pengaruh anisotropis kayu. Dari hasil penghitungan pada ketiga tempat tumbuh dan posisi radial, didapatkan kisaran L^* pada bagian teras dan gubal sebesar 42 – 62, a^* sebesar 10 – 15, dan b^* sebesar

23 – 26 yang disarikan pada Tabel 4 sedangkan hasil analisis keragaman pada Tabel 5. Untuk nilai L^* dan b^* , hasil ini masih dalam kisaran pada penelitian sebelumnya pada kayu jati Indonesia (Lukmandaru & Takahashi 2008; Lukmandaru 2011, 2016), jati India (Bhat et al. 2005), jati Togo (Kokutse et al. 2006), dan jati Costa Rika (Moya & Berrocal 2010). Untuk nilai a^* , relatif lebih besar dibandingkan penelitian sebelumnya kecuali jika dibandingkan sampel kayu jati Costa Rika.

Dari analisis keragaman nilai L^* (Tabel 5), faktor tempat dan posisi radial, masing-masing memberikan pengaruh yang nyata pada $\alpha = 1\%$. Kayu yang berasal dari Playen memiliki L^* yang paling tinggi (50,54) yang berbeda nyata bila dibandingkan dengan kayu dari Panggang (44,66) dan Nglipar (46,02). Hal ini menunjukkan bahwa kayu yang berasal dari Playen mempunyai warna yang paling cerah atau terang (Gambar 6). Untuk posisi radial (Gambar 7), terdapat perbedaan yang nyata antara bagian gubal (61,19), bagian teras luar (37,27), dan bagian teras dalam (42,76). Hasil analisis keragaman untuk a^* menunjukkan faktor posisi radial berpengaruh nyata pada $\alpha=1\%$. Dalam faktor posisi radial, bagian gubal (10,29)

Tabel 4. Sifat warna kayu jati dari hutan rakyat Kabupaten Gunungkidul

Table 4. Colour properties of teak wood from community forests in Gunungkidul Regency.

Sampel	Kecerahan (L^*)			Kemerahan (a^*)			Kekuningan (b^*)		
	Min.	Maks.	Rerata (sd)	Min.	Maks.	Rerata (sd)	Min.	Maks.	Rerata (sd)
Nglipar	33,1	62,1	46,0 (11,0)	8,5	14,8	12,6 (2,5)	22,3	27,1	24,3 (1,5)
Panggang	33,4	63,4	44,6 (12,3)	10,3	15,3	13,2 (1,9)	21,1	27,1	24,1 (1,9)
Playen	37,9	64,4	50,5 (10,0)	10,2	14,0	12,5 (1,5)	22,9	28,7	25,7 (1,8)
Randublatung	35,0	44,0	39,5 (3,3)	6,9	16,1	10,8 (3,2)	13,0	28,1	19,7 (5,2)

Keterangan : min. = minimum, maks. = maksimum, sd = standar deviasi

Remarks : min. = minimum, maks. = maximum, sd = standar deviation

Tabel 5. Analisis keragaman sifat warna kayu dari hutan rakyat Kabupaten Gunungkidul.

Table 5. Analysis of variance of colour properties of teak wood from community forests in Gunungkidul

Sumber variasi	db	Kecerahan (L^*)		Kemerahan (a^*)		Kekuningan (b^*)	
		KT	F	KT	F	KT	F
T	2	91,864	13,898**	1,335	2,751	6,518	2,753
R	2	1415,986	214,225**	44,140	90,951**	12,453	5,261*
TxR	4	6,271	0,949ns	1,413	2,912	1,467	0,620
Galat	18	6,610		1,335		2,367	

Keterangan : T : tempat tumbuh; R : arah radial; db : derajat bebas; KT : rerata kuadrat tengah

** = beda sangat nyata pada taraf uji 1%, * = beda nyata pada taraf uji 5%, ns=tidak nyata

Remark : T : sites; R : radial direction; db : degrees of freedom; KT : mean squares

** = highly significant at $\alpha = 1\%$, * = significant at $\alpha = 5\%$, ns = non significant

berbeda nyata dengan bagian teras luar (13,82), dan bagian teras dalam (14,37), namun pada bagian teras luar dan bagian teras dalam tidak berbeda nyata (Gambar 7). Analisis keragaman nilai b^* didapatkan faktor posisi radial juga memberikan pengaruh yang nyata pada $\alpha=5\%$. Bagian gubal (25,79) berbeda nyata dengan bagian teras luar (23,46) tetapi tidak berbeda nyata dengan bagian teras dalam (24,94), serta tidak ada beda nyata antara teras luar dan dalam.

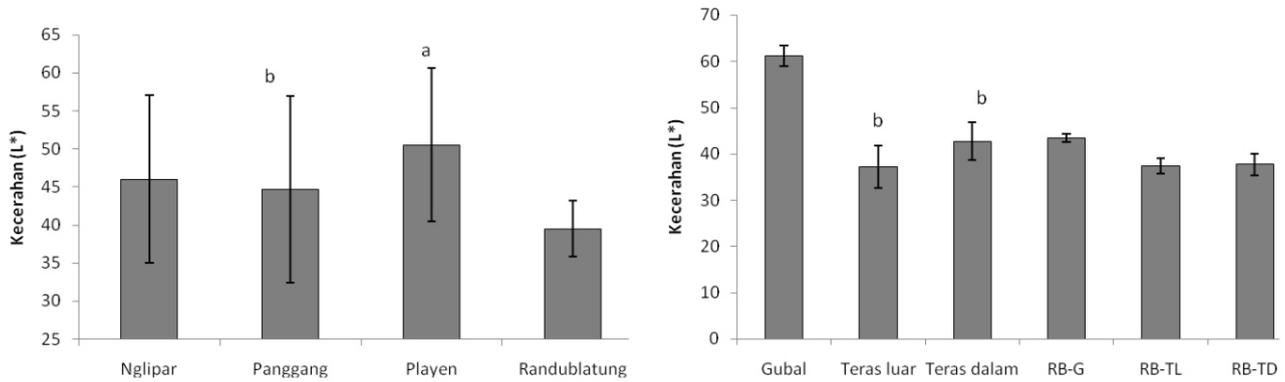
Dari Tabel 3 diamati antara nilai L^* dan a^* pada faktor tempat saling berkebalikan. Ditunjukkan nilai L^* tinggi pada kayu dari Playen dan rendah pada kayu dari Panggang sedangkan nilai a^* sebaliknya yaitu tinggi pada kayu dari Panggang, dan rendah pada kayu dari Playen. Hal ini diduga adanya faktor yang sama-sama mempengaruhi nilai L^* dan a^* , yaitu kadar atau komponen ekstraktif kayu jati. Secara teoritis, warna pada kayu berhubungan dengan keberadaan zat ekstraktifnya (Hon & Minemura 2001). Disebutkan warna gelap pada kayu diduga disebabkan oleh endapan fenolat zat ekstraktif kayu. Penelitian sebelumnya untuk sampel yang sama menunjukkan kadar ekstraktif etanol toluena sampel Panggang secara nyata lebih tinggi dibandingkan sampel dari Playen di teras luar sedangkan di teras dalam tidak berbeda nyata (Lukmandaru et al. 2016). Di lain pihak, hubungan terkuat antara kadar ekstraktif etanol-benzena dan sifat warna untuk teras jati hanya diperoleh untuk parameter L^* dengan derajat moderat (Lukmandaru 2016). Kecenderungan tersebut mengindikasikan tidak semua komponen ekstraktif berpengaruh terhadap sifat warna kayu. Oleh karena itu diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui hubungan antara ketiga parameter tersebut, terutama untuk komponen ekstraktif yang berpengaruh pada parameter L^* dan a^* .

Perbedaan yang nyata antara ketiga tempat tumbuh untuk parameter L^* diduga ada pengaruh curah hujan, faktor edafis, ataupun perlakuan silvikultur. Sampel kayu dari Nglipar dan Panggang yang lebih gelap merupakan keuntungan ditilik dari

sifat warnanya. Penelitian sebelumnya untuk kayu *Eucalyptus grandis* (Wilkins & Stamp 1990) menunjukkan warna kayu akan menjadi lebih merah dan kurang terang pada kayu yang mendapat perlakuan pemupukan menggunakan campuran nitrogen, fosfor, potasium, dan sulfur dengan rasio 12 : 10 : 18 : 11. Hasil pengukuran kadar kalsium total dan potassium total di tanah untuk ketiga tempat tumbuh tersebut memang menunjukkan selisih besar dalam penelitian sebelumnya (Lukmandaru & Hidayah 2017). Namun demikian belum diketahui secara pasti bagaimana pengaruh dari nutrisi tanah tersebut terhadap sifat warna kayu jati.

Hasil uji lanjut membuktikan tidak ada beda nyata antara teras luar dan dalam untuk eksperimen ini. Penelitian sebelumnya untuk sampel jati dewasa dari Randublatung pada kelas umur yang berbeda menunjukkan perbedaan kecenderungan antara teras luar dan teras dalam untuk parameter L^* dan a^* (Lukmandaru & Takahashi 2008; Lukmandaru 2011). Kokutse et al. (2006) mendapatkan teras luar lebih gelap dan merah secara nyata untuk jati Togo. Selanjutnya, dari hasil penelitian ini terdapat perbedaan yang nyata untuk L^* dan a^* antara bagian teras dengan bagian gubal. Nilai L^* bagian gubal lebih tinggi daripada bagian teras, sebaliknya a^* tinggi pada bagian teras namun rendah pada bagian gubal. Nilai b^* menunjukkan adanya perbedaan yang nyata antara gubal dan teras. Pola ini sesuai dengan penelitian sebelumnya pada kayu jati (Kokutse et al. 2006), dan untuk kayu spesies lainnya (Amusant et al. 2004; Burtin et al. 1998).

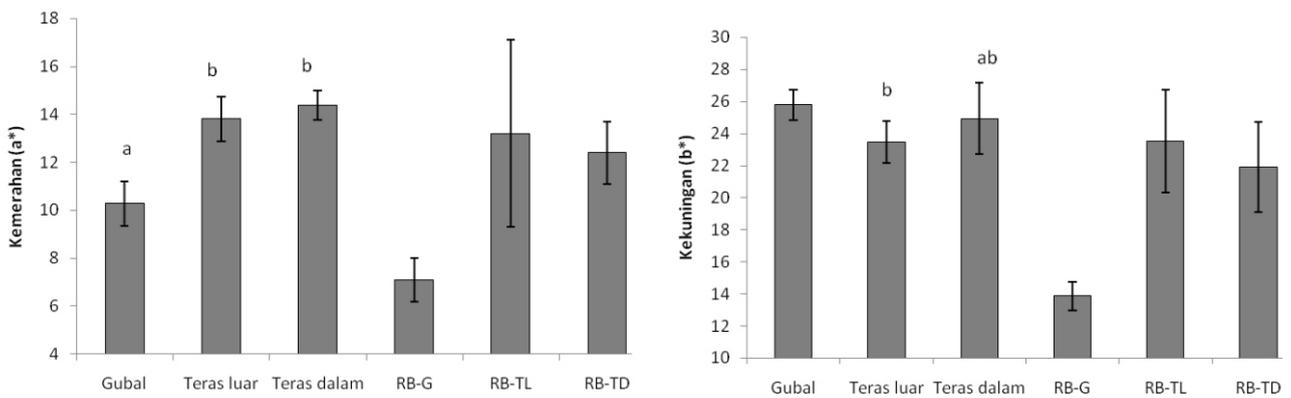
Kayu jati dewasa dari Randublatung memiliki nilai L^* yang lebih rendah dibandingkan dengan kayu jati hutan rakyat, yaitu hanya berkisar antara 37 – 44. Selain itu, sampel dari Randublatung juga memiliki nilai b^* (13 – 22) serta nilai a^* yang lebih rendah (7 – 13) dibanding sampel dari hutan rakyat. Hasil ini menguatkan dugaan sebelumnya bahwa kayu jati dewasa dari Perhutani memiliki warna yang lebih baik (lebih gelap dan tidak pucat) meskipun nilai



Gambar 6. Sifat warna L* (kecerahan) pada kayu jati berdasarkan tempat tumbuh dan arah radial pohon.
 Keterangan: rerata 3 ulangan dengan error bar sebagai standar deviasi. Huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata pada $P < 0,05$ melalui uji Duncan. RB-G = gubal dari sampel Randublatung, TL = teras luar dari sampel Randublatung, TD = teras dalam dari sampel Randublatung.

Figure 6. Color properties in L* (brightness) of teak wood by site and radial position.

Remark : mean of 3 trees, with the standard deviation error bar. The same letters on the same graphic are not statistically different at $P < 0.05$ by Duncan's test. RB-G = sapwood of Randublatung samples, RB-TL = outer heartwood of Randublatung samples, RB-IH = inner heartwood of Randublatung samples.



Gambar 7. Sifat warna a* (kemerahan) dan b* (kekuningan) pada kayu jati berdasarkan arah radial pohon.
 Keterangan: lihat Gambar 6.

Figure 7. Color properties in a* (redness) and b* (yellowness) of teak wood by site and radial position.
 Remark : see Figure 6.

kemerahan di bagian teras yang sedikit lebih rendah. Meski demikian, apabila dibandingkan kadar ekstraktifnya untuk sampel yang sama di penelitian pendahuluan (Lukmandaru et al. 2016), didapatkan hasil nilai kadar ekstrak etanol toluena sampel Randublatung hanya lebih tinggi di bagian teras dalam saja. Fenomena ini ditafsirkan bahwa kadar ekstraktif etanol-toluena tidak bisa dipakai untuk memprediksi kecenderungan sifat warna antara jati Randublatung dan hutan rakyat Gunungkidul.

Hubungan ketahanan alami kayu dengan sifat kimia kayu

Hubungan antara sifat anti rayap dengan sifat kimia kayu disajikan pada Tabel 6, 7, dan 8. Apabila data teras dan gubal digabungkan, maka didapatkan korelasi nyata dengan derajat moderat atau sedang untuk parameter KEAT ($r = -0,42^*$) dan KAP ($r = 0,42^*$; $0,56^{**}$) dengan kecenderungan yang berbeda. Apabila diamati hanya pada kayu gubal, didapatkan hubungan nyata antara PH-8 dengan nilai pH ($r = 0,74^*$) sedangkan tidak ada hubungan nyata antara parameter di bagian teras. Hubungan antara sifat kimia dan ketahanan rayap digambarkan dalam diagram pencar (Gambar 8 dan 9).

Tabel 6. Koefisien korelasi Pearson (r) antara sifat ketahanan terhadap rayap dengan sifat kimia dan warna pada bagian teras dan gubal kayu jati.**Table 6.** Pearson correlation coefficients (r) for the termite resistance parameters with chemical and color properties in sapwood and heartwood of teak.

Parameter	Kehilangan berat	Persen hidup pada hari ke-3	Persen hidup pada hari ke-8
Kadar ekstraktif etanol toluena	-0,42*	-0,23	0,16
Kelarutan dalam air panas	0,42	0,56**	-0,21
Lignin	-0,20	-0,25	-0,23
Selulosa	-0,05	-0,17	-0,10
Nilai pH	0,19	0,10	0,22
Kecerahan (L^*)	0,66	0,54**	-0,26
Kemerahan (a^*)	-0,57**	-0,54**	0,29
Kekuningan (b^*)	0,40*	0,40*	-0,09

Tabel 7. Koefisien korelasi Pearson (r) antara sifat ketahanan terhadap rayap dengan sifat kimia dan warna pada bagian gubal kayu jati**Table 7.** Pearson correlation coefficients (r) for the termite resistance parameters with chemical and color properties in sapwood of teak

Parameter	Kehilangan berat	Persen hidup pada hari ke-3	Persen hidup pada hari ke-8
Kadar ekstraktif etanol toluena	0,01	0,26	-0,32
Kelarutan dalam air panas	-0,17	0,02	-0,29
Lignin	0,11	-0,41	0,38
Selulosa	0,27	-0,50	-0,08
Nilai pH	0,50	-0,01	0,74*
Kecerahan (L^*)	0,31	-0,50	0,11
Kemerahan (a^*)	-0,26	-0,23	-0,13
Kekuningan (b^*)	-0,13	0,21	-0,18

Tabel 8. Koefisien korelasi Pearson (r) antara sifat ketahanan terhadap rayap dengan sifat kimia dan warna pada bagian teras kayu jati.**Table 8.** Pearson correlation coefficients (r) for the termite resistance parameters with chemical and color properties in heartwood of teak

Parameter	Kehilangan berat	Persen hidup pada hari ke-3	Persen hidup pada hari ke-8
Kadar ekstraktif etanol toluena	-0,23	0,08	0,09
Kelarutan dalam air panas	-0,27	0,33	-0,02
Lignin	-0,22	-0,42	-0,25
Selulosa	-0,15	-0,10	-0,17
Nilai pH	-0,06	0,17	0,17
Kecerahan (L^*)	0,18	0,02	-0,16
Kemerahan (a^*)	0,47*	0,01	0,28
Kekuningan (b^*)	0,37	0,21	0,01

Kehilangan berat diasumsikan indikasi dari adanya zat yang bersifat penolak rayap dalam kayu. Korelasi positif kehilangan berat dan kelarutan di dalam air panas (KAP) menunjukkan semakin tinggi KAP maka kayu lebih mudah diserang oleh rayap demikian pula sebaliknya. Di lain pihak, korelasi negatif antara kehilangan berat dan kadar ekstraktif etanol-toluena (KEAT) menunjukkan semakin tinggi

KEAT maka kayu diindikasikan lebih tahan terhadap rayap. Penjelasan dari kecenderungan tersebut adalah secara teoritis KEAT menunjukkan adanya komponen fenolat yang bersifat menolak rayap yang terlarut di dalamnya sedangkan KAP yang didominasi oleh senyawa-senyawa gula rantai pendek dimana bisa melemahkan kayu dari serangan rayap. Korelasi komponen fenolat atau gula dengan sifat anti jamur

sebelumnya telah diuji untuk jati tumbuh di Malaysia (Niamke et al. 2011). Secara umum derajat hubungan tersebut lebih dipengaruhi oleh perbedaan antara gubal dan teras dimana gubal mengandung lebih besar untuk KAP sedangkan teras mengandung KEAT lebih tinggi. Kehilangan berat pada bagian teras dalam mengelompok di antara angka 40–50 mg. Kehilangan berat pada bagian teras luar tersebar di bawah angka 40 mg. Hasil ini sesuai dengan data analisis keragaman pada kehilangan berat yang menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang nyata antara bagian teras luar dengan bagian teras dalam.

Beberapa perkecualian terlihat dari pencilan (*outlier*) dalam diagram pencar kehilangan berat-KEAT (Gambar 8a) dimana 2 titik kayu gubal (dari sampel Pangang dan Nglipar) mempunyai kehilangan berat yang lebih rendah dari 50 mg dan lebih rendah pada beberapa sampel teras. Perlu dicatat bahwa pada sampel gubal dari Pangang tersebut dengan KEAT hanya sebesar 4,29% tetapi kehilangan beratnya juga kecil yaitu 29,3 mg. Juga diamati bahwa teras luar kehilangan beratnya lebih rendah dibanding teras dalam pada sampel dengan KEAT antara 7,4-10,7%. Dalam diagram pencar kehilangan berat-KAP (Gambar 8b), pencilan di gubal juga diamati pada 2 titik (dari sampel Pangang dan Nglipar) dengan KAP tinggi tetapi kehilangan berat relatif rendah (<50 mg) serta 1 titik teras dalam (dari Nglipar) dengan KAP rendah (1,67%) tetapi kehilangan berat yang tinggi (49,9 mg). Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui penyebab anomali tersebut dimana ketahanan alami kayu diduga lebih dipengaruhi oleh senyawa tertentu dalam kadar ekstraktif daripada kadar ekstraktif totalnya. Lukmandaru dan Takahashi (2008) mendapatkan derajat hubungan antara ketahanan alami kayu jati dengan ekstraktif larut *n*-heksana lebih besar daripada hubungan antara ketahanan alami kayu dengan ekstraktif total. Dari beberapa penelitian, diketahui bahwa keberadaan senyawa-senyawa fenolat dan turunan dari senyawa kinon di dalam kayu adalah faktor utama yang menyebabkan beracunnya

zat ekstraktif terhadap rayap (Ganapaty et al. 2004). Namun, hanya korelasi moderat yang didapatkan untuk komponen-komponen kinon pada jati bila dihubungkan dengan serangan rayap *Reticulitermes speratus* (Lukmandaru & Takahashi 2009).

Persen hidup mengindikasikan adanya daya racun dari sampel kayu jati. Hubungan positif antara PH-3 dengan KAP maupun PH-8 dengan nilai pH diartikan bahwa semakin tinggi nilai KAP dan pH maka kayu menjadi kurang daya racunnya (Gambar 9). Untuk PH-3, seperti halnya pada parameter kehilangan berat, hubungan yang terjadi lebih disebabkan oleh distribusi bagian gubal dan teras. Hal ini dibuktikan dengan sebaran data yang mengelompok menurut bagian posisi radial kayu (Gambar 9a) dan juga dibuktikan dengan rendahnya nilai *r* pada masing-masing bagian posisi radial kayu (Tabel 6 dan 7). Khusus untuk teras luar, variasi persen hidup relatif tinggi meski dalam kisaran KAP yang sempit. Untuk nilai pH, korelasi hanya nyata pada bagian gubal dimana persen hidup relatif tinggi diamati pada pH gubal dengan nilai di atas 6,2 (Gambar 9b).

Hasil dengan hubungan nyata menguatkan penelitian-penelitian sebelumnya yang menemukan adanya hubungan antara ekstraktif dengan ketahanan alami pada kayu jati, baik terhadap rayap dengan derajat yang bervariasi (Lukmandaru & Takahashi 2008; Lukmandaru 2011; Da Costa et al. 1958), maupun terhadap jamur (Narayanamurti et al. 1966). Korelasi dengan sifat anti jamur juga diamati pada kayu jenis lain (Harju et al. 2003; Gierlinger et al. 2004). Meski demikian, tidak adanya korelasi nyata di bagian teras saja atau hanya nilai pH di bagian gubal menunjukkan ketahanan alami di jati relatif kompleks dan perlu pendekatan lain dari metode yang sudah umum (Taylor et al. 2002).

Rayap secara alami akan mengonsumsi selulosa dalam kayu sehingga dalam eksperimen ini juga dievaluasi hubungan ketahanan rayap terhadap kadar selulosa dalam kayu serta kadar lignin yang secara

teoritis akan menghalangi rayap mengakses selulosa. Hasil penelitian menunjukkan tidak ditemukan adanya hubungan yang nyata kedua parameter tersebut dengan sifat anti rayapnya (Tabel 5-7). Sebagaimana pada penelitian sebelumnya untuk kayu *Pinus sylvestris* juga tidak ditemukan adanya perbedaan kandungan lignin yang nyata antara kayu pinus yang tahan (*resistant*) dan pinus tidak tahan (*susceptible*) terhadap jamur *Coniophora puteana* (Harju et al. 2003). Ini menunjukkan bahwa lignin maupun selulosa pada kayu jati bukan indikator yang bagus untuk mengetahui tingkat keawetan alaminya.

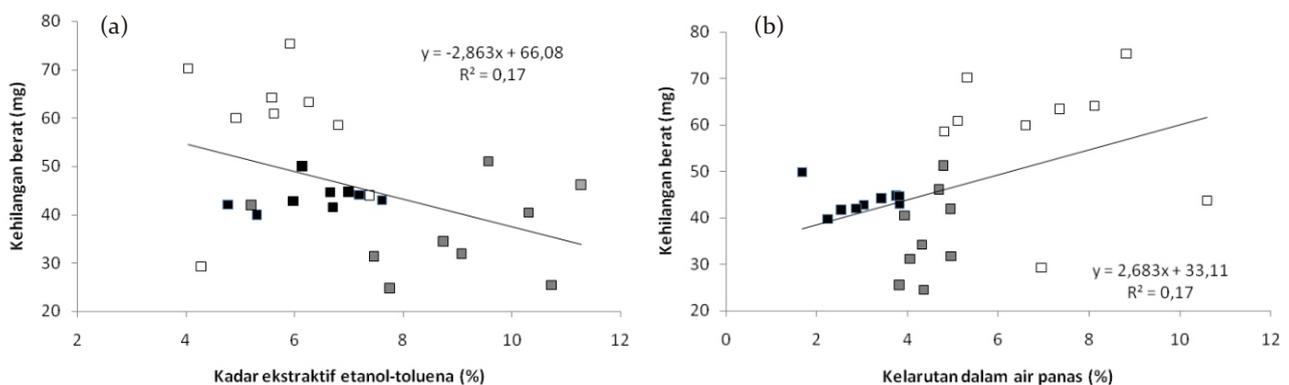
Nilai pH secara teoritis dipengaruhi oleh komponen fenolat yang bersifat asam, gugus asetil dan asam asetat dari hemiselulosa, maupun kadar zat anorganik (Fengel & Wegener 1989; Rowell et al. 2005; Lukmandaru 2009). Karena gubal tidak banyak mengandung ekstraktif fenolat, nilai pH di gubal diduga lebih dipengaruhi faktor kadar hemiselulosa dan zat anorganik. Di lain pihak, hubungan antara sifat anti rayap dan pH yang tidak nyata di bagian teras diduga karena faktor komponen ekstraktif fenolat/kinon lebih berpengaruh. Hubungan nyata antara nilai pH dan PH-8 di bagian gubal menunjukkan semakin mendekati asam maka persen hidup rayap menjadi kecil. Belum diketahui secara pasti penjelasan fenomena tersebut, diduga pH lebih

tinggi lebih kondusif untuk hidup rayap tanah selain kelembaban yang tinggi di bagian gubal.

Hubungan ketahanan alami kayu dengan sifat warna kayu

Dari Tabel 6-8, bila data gubal teras digabung didapatkan korelasi antara sifat anti rayap dan sifat warna menunjukkan hubungan nyata dengan derajat moderat (0,40-0,57). Hubungan nyata pada teras hanya diamati parameter a^* dan tidak ada hubungan yang nyata di bagian gubal. Selain itu, tidak ada hubungan nyata yang dihitung antara sifat warna dan PH-8 di semua bagian.

Parameter kehilangan berat berkorelasi negatif dengan nilai a^* ($r=-0,57^{**}$) dan positif dengan b^* ($r=0,40^*$). Nilai PH-3 berkorelasi positif dengan L^* ($r=0,54^{**}$) maupun b^* ($r=0,40$) tetapi negatif dengan a^* ($r=-0,54$). Perhitungan tersebut dimaknai bahwa semakin kuning dan terang kayu jati maka lebih mudah diserang rayap. Kecenderungan tersebut lebih karena perbedaan warna bagian gubal dan teras dimana warna cerah gubal dihubungkan ketahanan rayap yang lebih rendah, demikian juga sebaliknya meskipun beberapa pencilan juga diamati seperti halnya pada hubungan sifat anti-rayap dan sifat kimia. Selanjutnya juga diukur bahwa semakin merah warna kayu menandakan semakin tahan rayap untuk parameter kehilangan berat tetapi juga semakin

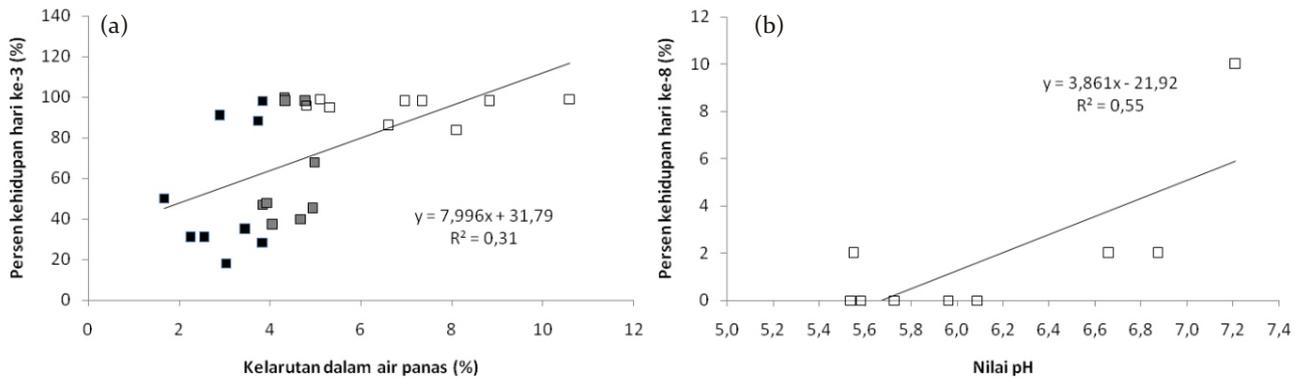


Gambar 8. Diagram pencar hubungan antara (a) kehilangan berat karena rayap *Coptotermes curvignathus* - kadar ekstraktif etanol-toluena dan antara (b) kehilangan berat - kelarutan dalam air panas,

Keterangan : □ = gubal, ■ = teras luar, ■ = teras dalam

Figure 8. Scatterplots between (a) mass loss against *Coptotermes curvignathus* - ethanol-toluene extractive content and between (b) mass loss - solubility in hot-water.

Remark : □ = sapwood, ■ = outer heartwood, ■ = inner heartwood



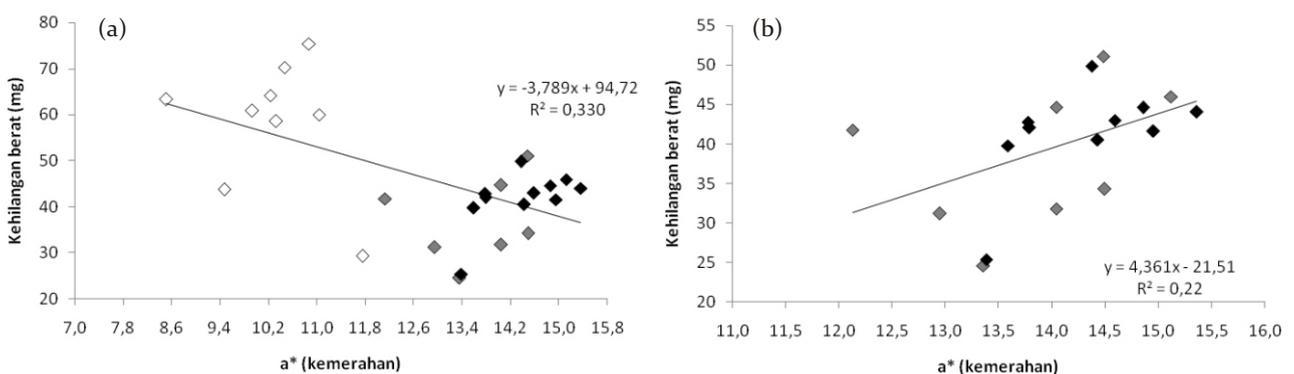
Gambar 9. Diagram pencar (a) persen hidup rayap *Coptotermes curvignathus* hari ke-3 - kelarutan dalam air panas dan (b) persen hidup hari ke-8 - nilai pH.
Keterangan : lihat Gambar 8

Figure 9. Scatterplots between (a) survival rate of *Coptotermes curvignathus* on 3-day observation - solubility in hot-water content and between (b) survival rate on 8-day observation - pH value.
Remark : see Figure 8

mudah diserang untuk parameter PH-3. Kecenderungan berlawanan tersebut bisa dijelaskan dari diagram pencar hubungan kehilangan berat dan a* di bagian gubal dan teras serta di bagian teras saja (Gambar 10). Di bagian gubal dengan nilai a* lebih rendah tetapi kehilangan berat lebih banyak sedangkan di bagian teras nilai a* yang tinggi (12,9-15,1) diiringi kenaikan kehilangan berat.

Penelitian sebelumnya yang membahas hubungan serangan rayap *Reticulitermes speratus* dengan sifat warna di kayu jati juga diamati adanya hubungan nyata (Lukmandaru & Takahashi 2008). Apabila yang diamati bagian teras saja, didapatkan kehilangan berat yang berkorelasi negatif dengan nilai a* (Lukmandaru 2011). Perbedaan kecenderungan di teras ini diduga karena perbedaan sifat antara kedua

spesies rayap tanah yang digunakan. Hal ini juga berkebalikan dengan kecenderungan pada *Chamaecypris obtusa* dimana semakin tinggi nilai a* maka semakin bagus sifat anti-rayapnya (Kijidani et al. 2012). Meski berbeda kecenderungan, hasil penelitian ini menguatkan hasil bahwa nilai a* merupakan indikator yang cukup baik untuk mengetahui ketahanan alami kayu jati terhadap serangan rayap tanah. Dalam penelitian sebelumnya, untuk memprediksi sifat anti jamur di kayu jati didapatkan parameter L* dan b* yang berkorelasi untuk jati India dan Togo (Bhat et al. 2005; Kokutse et al. 2006) sedangkan parameter L* dan a* yang berkorelasi untuk jati Costa Rica (Moya & Berrocal 2010). Hubungan antara a* dengan ketahanan terhadap jamur tersebut juga ditemukan pada kayu



Gambar 10. Diagram Pencar hubungan antara kehilangan berat dengan a* (kemerahan)
Keterangan : lihat Gambar 8

Figure 10. Scatterplots between mass loss against *Coptotermes curvignathus* and a* (redness).
Remark : see Figure 8

jenis lain (Gierlinger et al. 2004; Amusant et al. 2004). Apabila sifat warna bisa diturunkan secara genetis, maka ke depannya seleksi pohon bisa menerapkan uji warna yang cukup sederhana untuk mendapatkan kayu yang tahan rayap.

Ucapan Terima Kasih

Pembiayaan penelitian ini melalui skema Hibah Kompetitif Penelitian Sesuai Prioritas Nasional Nomor: 177/SP2H/PP/DP2M/V/2009 - DIKTI. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Untoro Tri Kurniawan (Perum Perhutani) yang telah membantu dalam sampling kayu jati dari KPH Randublatung.

Kesimpulan

Sifat ketahanan alami terhadap rayap tanah *C. curvignathus* pada kayu jati dari 3 zona berbeda di Gunungkidul menunjukkan interaksi yang nyata antara tempat tumbuh dan arah radial pohon dimana sampel kayu teras dari Panggang memberikan sifat racun tertinggi ditilik dari parameter persen hidup rayapnya dari pengamatan 13 hari. Bahkan sampel kayu teras dari Panggang dan Playen menunjukkan sifat anti-rayap yang lebih baik dibandingkan dari sampel jati dewasa dari Randublatung. Meskipun paling mudah diserang rayap, bagian gubal tetap menunjukkan ketahanan terhadap rayap bila dibandingkan dengan kontrol kayu sengon. Berdasarkan sifat warnanya, pengaruh nyata tempat tumbuh ditunjukkan pada tingkat kecerahan (L^*) dimana sampel kayu dari Playen memberi nilai yang lebih tinggi. Perbedaan warna antara teras dalam dan teras luar tidaklah nyata. Kadar ekstraktif etanol-toluena dan kelarutan dalam air panas merupakan parameter yang berkorelasi secara nyata dengan sifat anti-rayap meski berbeda kecenderungan dan dalam derajat sedang. Nilai pH berkorelasi nyata dengan persen hidup rayap hari ke-8 hanya di bagian gubal. Nilai kemerahan (a^*) berkorelasi nyata secara positif dengan kehilangan berat akibat serangan rayap di daerah teras. Analisis komponen-komponen ekstrak-

tif yang bersifat bioaktif diperlukan untuk menjelaskan beberapa pencilan atau anomali dalam analisis korelasi.

Daftar Pustaka

- Amusant N, Beauchene J, Fournier M, Janin G, Thevenson MF. 2004. Decay resistance in *Dicorynia guianensis* Amsh.: Analysis of inter-tree and intra-tree variability and relations with wood colour. *Annals of Forest Science* **61**: 373–380.
- American Society for Testing and Materials. 2002. Annual book of ASTM Standards. Section four – Construction, Volume 04.10 Wood. West Conshohocken, PA.
- Bhat KM, Florence M. 2003. Natural decay resistance of juvenile teak wood grown in high input plantations. *Holzforschung* **57**(5): 453 – 455.
- Bhat KM, Thulasidas PK, Maria Florence EJ, Jayaraman K. 2005. Wood durability of home-garden teak against brown-root. *Trees* **19**: 654 – 660.
- Browning BL. 1967. *Methods of wood chemistry Vol II*. Wiley (Interscience). New York.
- Burtin P, Jay-Allemand C, Charpentier, Janin G. 1998. Natural wood colouring process in *Juglans sp.* (*J. nigra*, *J. regia* and hybrid *J. nigra* 23 x *J. regia*) depends on native phenolic compounds accumulated in the transition zone between sapwood and heartwood. *Trees* **12**: 258 - 264.
- Da Costa EWB, Rudman P, Gay FJ. 1958. Investigations on the durability of *Tectona grandis*. *Empirical Forestry Review* **37**: 291–298.
- Fengel D, Wegener G. 1989. Kayu: Kimia, ultrastruktur, reaksi-reaksi. Prawirohatmodjo S, editor. Sastrohamidjojo H, penerjemah. Gadjah Mada University Press, Jogjakarta
- Ganapaty S, Thomas PS, Fotso S, Laatsch H. 2004. Antitermitic quinones from *Diospyros Sylvania*. *Phytochemistry* **65**: 1265 – 1271.
- Gierlinger N, Jacques D, Gardner M, Wimmer R, Schwanninger M, Rozenberg P, Pâques LF. 2004. Colour of larch heartwood and relationships to extractives and brown-rot decay resistance. *Trees* **18**: 102 – 108.
- Harju AM, Venalainen M, Anttonen S, Viitanen H, Kainulainen P, Sarapaa P, Vapaavuori E. 2003. Chemical factors affecting the brown-rot decay resistance of Scots pine heartwood. *Trees* **17**:263 – 268.
- Hon DNS & Minemura N. 2001. Color and discoloration. Hlm. 385 – 441 dalam Hon DNS, Shiraishi N, editor. *Wood and cellulosic chemistry*. Marcel Dekker, New York.
- Ismayati M, Nakagawa-Izumi A, Kamaluddin NN, Ohi H. 2016. Toxicity and feeding deterrent effect of 2-methylanthraquinone from the wood extractives of *Tectona grandis* on the subterranean termites *Coptotermes formosanus* and *Reticulitermes speratus*. *Insects* **7**:63. doi:10.3390/insects7040063
- Kijidani Y, Sakai N, Kimura K, Fujisawa Y, Hiraoka Y, Matsumura J, Koga S. 2012. Termite resistance and color of heartwood of hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) trees in 5 half-sib families in a progeny test stand in Kyushu, Japan. *Journal Wood Science* **58**:471–478.

- Kokutse AD, Stokes A, Bailleres H, Kokou K, Baudasse C. 2006. Decay resistance of Togolese teak (*Tectona grandis* L.) heartwood and relationship with colour. *Trees* **20**: 219 - 223.
- Lukmandaru G. 2009. Sifat kimia dan warna kayu teras jati pada tiga umur berbeda. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis* **7**(1): 1 - 7.
- Lukmandaru G. 2011. Variability in the natural termite resistance of plantation teak wood and its relations with wood extractive content and color properties. *Journal of Forestry Research* **8**(1):17-31.
- Lukmandaru G. 2013. The natural termite resistance of teak wood grown in community forest. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis* **11**(2): 131-139.
- Lukmandaru G. 2015. Quinones distribution of teak wood grown in community forest. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis* **13**(2): 193-204.
- Lukmandaru G, Hidayah RN. 2017. Studi mutu kayu jati di hutan rakyat Gunungkidul. VI. Kadar zat anorganik dan keasaman. *Jurnal Ilmu Kehutanan* **11**(1) : 63-75.
- Lukmandaru G, Mohammad AR, Wargono P, Prasetyo VE. 2016. Studi mutu kayu jati di hutan rakyat Gunungkidul. V. Sifat kimia kayu. *Jurnal Ilmu Kehutanan* **10**(2): 108-118
- Lukmandaru G, Takahashi K. 2008. Variation in the natural termite resistance of teak (*Tectona grandis* Linn. fil.) wood as a function of tree age. *Annals of Forest Science* **65**(7): 708 p1-p8.
- Lukmandaru G, Takahashi K. 2009. Radial distribution of quinones in plantation teak (*Tectona grandis* L.f.). *Annals of Forest Science* **66**(6): 605 p1 - p9.
- Lukmandaru G, Ogiyama K. 2005. Bioactive compounds from ethyl acetate extract of teakwood (*Tectona grandis* L.f.). Hlm. 346-350. Proceedings of the 6th International Wood Science Symposium LIPI-JSPS Core, Bali.
- Marsoem SN. 2013. Studi mutu kayu jati di hutan rakyat Gunungkidul. I. Pengukuran laju pertumbuhan. *Jurnal Ilmu Kehutanan* **7**(2):108-122.
- Marsoem SN, Prasetyo VE, Sulistyio J, Sudaryono, Lukmandaru G. 2014a. Studi mutu kayu jati di hutan rakyat Gunungkidul. III. Sifat fisika kayu. *Jurnal Ilmu Kehutanan* **8**(2):76-89.
- Marsoem SN, Prasetyo VE, Sulistyio J, Sudaryono, Lukmandaru G. 2014b. Studi mutu kayu jati di hutan rakyat Gunungkidul. II. Pengukuran tegangan pertumbuhan. *Jurnal Ilmu Kehutanan* **8**(1):3-13.
- Marsoem SN, Prasetyo VE, Sulistyio J, Sudaryono, Lukmandaru G. 2015. Studi mutu kayu jati di hutan rakyat Gunungkidul. IV. Sifat mekanika kayu. *Jurnal Ilmu Kehutanan* **9**(2):117-127.
- Moya R, Berrocal A. 2010. Wood colour variation in sapwood and heartwood of young trees of *Tectona grandis* and its relationship with plantation characteristics, site, and decay resistance. *Annals of Forest Science* **67**: 109.
- Nandika D, Adijuwana H. 1995. Ekstraksi enzim selulase dari rayap kayukering *Cryptotermes cynocephalus* Light serta rayap tanah *Coptotermes curvignathus* Holmgren serta *Macrotermes gilvus* Hagen. *Jurnal Teknologi Hasil Hutan* **8**(1):35-40.
- Narayanamurti D, George J, Pant HC, Singh J. 1962. Extractive in teak. *Silvae Genetica* **11**(3): 57 - 63.
- Ngee P, Tashiro A, Yoshimura T, Jaal Z, Lee C. 2004. Wood preference of selected Malaysian subterranean termites (Isoptera: *Rhinotermitidae*, *Termitidae*). *Sociobiology* **43**(3): 535 - 550.
- Niamké FB, Amusant N, Charpentier JP, Chaix G, Baissac Y, Boutahar N, Adima AA, Coulibaly SK, Allemand CJ. 2011. Relationships between biochemical attributes (non-structural carbohydrates and phenolics) and natural durability against fungi in dry teak wood (*Tectona grandis* L. f.). *Annals of Forest Science* **68**:201-211.
- Rowell R, Pettersen R, Han JS, Rowell JS, Tshabalala MS. 2005. Cell wall chemistry. Hlm. 50 dalam Rowell R, editor. *Handbook of wood chemistry and wood composites*. CRC Press. Boca Raton-London-New York-Washington D.C.
- Rudman P, Da Costa EWB, Gay FJ. 1966. Wood quality in plus trees of teak (*Tectona grandis* L.f.). *Silvae Genetica* **16**: 102 - 105.
- Shmulsky R & Jones PD. 2011. *Forest Products and Wood Science: An Introduction*, Sixth Edition. John Wiley & Sons, Inc.
- Taylor AM, Gartner BL, Morell JJ. 2002. Heartwood formation and natural durability - A review. *Wood and Fiber Science* **34**(4): 587-611.
- Technical Association for the Pulp and Paper Industries. 1992. TAPPI Test Method T 222 os-74. TAPPI Press. Atlanta.
- Wilkins AP, Stamp CM. 1990. Relationship between wood colour, silvicultural treatment and rate of growth in *Eucalyptus grandis* Hill (Maiden). *Wood Science and Technology* **24**:297 - 304.
- Windeisen E, Klassen A, Wegener G. 2003. On the chemical characterisation of plantation teakwood from Panama. *Holz als Roh- und Werkstoff* **61**: 416 - 418.