



Kadar Ekstraktif dan Sifat Warna Kayu Jati Plus Perhutani Umur 11 Tahun dari KPH Ngawi

Extractives Content and Colour Properties of 11-year-old Perhutani Superior Teakwood from Ngawi Forest Management Unit

Zulkahfi², Denny Irawati¹, Tomy Listyanto¹, Dian Rodiana³, & Ganis Lukmandaru^{1*}

¹Departemen Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 55281

²Pasca sarjana Ilmu Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 55281

³Pusat Penelitian dan Pengembangan Perhutani, Perum Perhutani, Cepu, 58312

*Email: glukmandaru@ugm.ac.id

HASIL PENELITIAN

Riwayat Naskah :

Naskah masuk (received): 6 oktober 2019

KEYWORD

Tectona grandis, extractives, phenol, redness, fast growing.

ABSTRACT

*The utilization of young teak wood had increased due to the gap in demand and the supply of raw materials. To meet the high demand, Perhutani had planted the fast growing of superior teakwood (Jati Plus Perhutani/JPP). This vegetative reproduction may affect the wood properties. Extractive content is important considering its relationship with the natural durability of wood and colour properties. The purpose of this study was to find out the effect of radial and longitudinal directions on extractives content and colour properties from JPP. The JPP wood samples (11 years) were located in Ngawi Forest Management Unit. The observed factors were vertical (bottom, center, top) and radial (sapwood, outer heartwood, inner heartwood) directions. Wood extracts were obtained by successive extraction (toluene, ethanol, and hot water) in a soxhlet. Total phenolic content was also determined by Folin-Ciocalteu method in toluene soluble extract. Colour properties were determined by CIEL*a*b* system. The result showed that vertical direction had significant effect as the bottom part showed the highest value in ethanol extract content but it had lower value in total phenolic content. Brightness (L*) value was comparatively high at the top part, while redness (a*) value was high at the bottom part. The levels of toluene, ethanol, and total extract content had a significant different between sapwood and heartwood as well as between outer heartwood and inner heartwood. Based on radial direction, the colour was darker in outer heartwood compared to the other parts. The correlation degree between the values of hot water extract and L* was significant (r = -0.72) in sapwood part. In heartwood, the correlation between ethanol, hot water, and total extract content with L* values were negative (r = -0.70; -0.52; -0.78, respectively). The correlation between a* value and total phenolic content was moderately significant (r = -0.58). The comparatively low content of extractive compared to mature woods as well as inhomogeneity of colour properties in vertical position should be noticed for young JPP wood utilization.*

KATA KUNCI

Tectona grandis, ekstraktif, fenolat, kemerahan, pertumbuhan cepat.

INTISARI

Pemanfaatan kayu jati dari pohon umur muda meningkat disebabkan adanya kesenjangan permintaan dengan ketersediaan kayu. Perhutani menanam pohon Jati Plus Perhutani (JPP) dengan karakteristik cepat tumbuh untuk meningkatkan produksi kayu jati. Pembiakan secara vegetatif ini diduga bisa berpengaruh terhadap sifat-sifat kayu. Kadar ekstraktif menjadi penting mengingat hubungannya dengan keawetan alami kayu dan sifat warna kayu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi kadar ekstraktif dan warna pada arah radial dan longitudinal kayu JPP. Sampel kayu diambil dari tiga pohon JPP berumur 11 tahun di KPH Ngawi. Faktor yang diamati terdiri dari arah longitudinal (pangkal, tengah, ujung); dan radial (gubal, teras terluar, teras terdalam). Kayu diekstrak secara berurutan dengan pelarut toluena, etanol, air panas pada alat soklet. Kadar fenolat total diuji dengan metode Folin-Ciocalteu untuk ekstrak toluena. Pengukuran sifat warna menggunakan sistem CIEL*a*b*. Hasil menunjukkan bagian pangkal memiliki kadar ekstrak terlarut etanol tertinggi, tetapi memiliki kadar fenolat total relatif rendah. Nilai kecerahan (L^*) lebih tinggi di bagian ujung dibandingkan dengan bagian tengah dan pangkal sedangkan nilai kemerahan (a^*) relatif tinggi di bagian pangkal. Secara nyata, ekstrak terlarut toluena, ekstrak terlarut etanol, dan kadar fenolat total di bagian gubal berbeda nyata dengan bagian teras dan terdapat perbedaan antara teras terluar dan teras terdalam pada kadar ekstrak terlarut toluena dan kadar ekstraktif terlarut etanol. Berdasarkan variasi radial, warna lebih gelap di bagian teras terluar dibandingkan bagian lainnya. Kadar ekstraktif terlarut air panas memiliki hubungan yang nyata ($r = -0,72$) dengan nilai L^* di bagian gubal. Pada bagian teras, nilai L^* memiliki hubungan negatif dengan kadar ekstrak terlarut etanol ($r = -0,70$), kadar ekstraktif terlarut air panas ($r = -0,52$), dan kadar ekstraktif total ($r = -0,78$). Secara nyata, nilai a^* memiliki hubungan negatif ($r = -0,58$) dengan kadar fenolat total. Relatif rendahnya kadar ekstraktif dibandingkan umur dewasa serta tidak seragamnya sifat warna pada arah longitudinal perlu menjadi perhatian dalam pemanfaatan kayu JPP umur muda.

©Jurnal Ilmu Kehutanan - All right reserved

Pendahuluan

Salah satu jenis kayu yang sangat diminati untuk kebutuhan masyarakat khususnya di Jawa adalah kayu jati (*Tectona grandis* L.f.). Kayu jati memiliki keunggulan dalam aspek kekuatan, keawetan alami, ketahanan terhadap cuaca, warna dan corak serat yang indah. Kebutuhan kayu yang sangat tinggi menyebabkan permintaan kayu bulat semakin meningkat sehingga intensitas penggunaan kayu selalu meningkat. Untuk memenuhi permintaan kayu yang tinggi tersebut, Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada dan Perhutani telah mengembangkan

Jati Plus Perhutani (JPP) yang menggunakan sistem panen dengan rotasi yang lebih pendek dibandingkan dengan kayu jati konvensional.

JPP yang dikembangkan dengan teknik pemuliaan pohon memiliki diameter lebih besar dan batang bebas cabang lebih tinggi dalam kurun waktu yang singkat dibandingkan dengan kayu jati konvensional yang dikembangkan melalui perkecambahan biji (Sumarni & Muslich 2008; Perhutani 2011) sehingga JPP menghasilkan kuantitas kayu tinggi. Di lain pihak, kayu JPP memiliki kualitas lebih rendah dibandingkan dengan jati konvensional

antara lain warna lebih pucat dan tekstur lebih lunak sehingga harga kayu JPP lebih murah dibandingkan jati konvensional. Kayu JPP dan jati berumur muda merupakan produksi kayu bulat jati baru sehingga penelitian mengenai kayu tersebut masih terbatas.

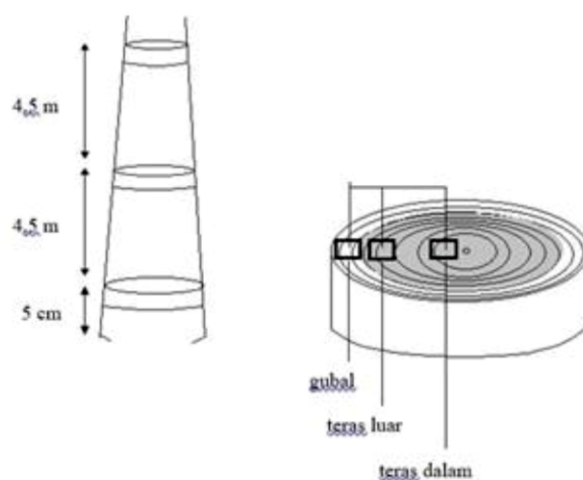
Sifat dan mutu kayu dipengaruhi oleh kadar dan sifat kimia dari komponen penyusun kayu, antara lain kadar ekstraktif karena berpengaruh terhadap warna, corak, dan ketahanan alami kayu. Ekstraktif (senyawa fenolat) terbentuk dari perubahan polisakarida selama pembentukan kayu teras (Nobuchi et al. 2005). Lukmandaru dan Takahashi (2008) mendeteksi kayu yang memiliki ekstrak terlarut n-heksan tinggi lebih tahan terhadap serangan rayap. Haupt et al. (2003) mendeteksi penghambatan pertumbuhan pada jamur setelah diberi ekstrak terlarut aseton/air dari kayu jati. Berdasarkan penelitian Rizanti et al. (2018) kayu jati berumur 10-40 tahun mengandung komponen 1,2-tetradecanediol, 4-ethyl-biphenylcarboxylic acid, tektokinon, dan tektol pada ekstrak toluena/etanol. Selain itu, sifat warna menjadi perhatian karena dapat meningkatkan nilai ekonomis produk akhir kayunya. Penelitian mengenai kadar ekstraktif dan sifat warna pada kayu jati muda baik dari hutan rakyat maupun dari tegakan Perhutani telah dilakukan (Lukmandaru & Takahashi 2008, 2009; Lukmandaru 2009a; Niamke et al. 2011) dengan hasil kayu jati berumur muda (8 dan 15 tahun) menunjukkan nilai kecerahan dan kekuningan yang tinggi dengan nilai kemerahan yang rendah saat dibandingkan dengan kayu jati berumur tua (30 dan 25 tahun), namun penelitian serupa pada kayu jati cepat tumbuh umur muda belum pernah dieksplorasi. Kadar ekstraktif dan warna kayu dapat dipengaruhi oleh perbedaan arah radial dan aksial kayu. Secara teoritis, warna kayu dipengaruhi oleh zat ekstraktif khususnya dari kelompok fenolat (Gierlinger et al. 2004; Lukmandaru 2016). Hubungan kadar ekstraktif dan sifat warna pada kayu jati umur dewasa atau abnormal telah diamati (Lukmandaru

2009b; 2016) dengan hasil hubungan yang kuat antara ekstrak etanol-benzena dan sifat warna kecerahan dan kekuningan, demikian juga dengan spesies lainnya (Gierlinger 2004; Burtin et al. 1998). Penelitian ini menguji perbedaan kadar zat ekstraktif dan pengaruhnya terhadap sifat warna kayu JPP.

Bahan dan Metode

Penyiapan bahan

Sampel pohon Jati Plus Perhutani (JPP) diambil di petak 61A (111°29'124 BT 7°38'109 LS) pada ketinggian 79 mdpl, tanah dengan drainase baik dan sedikit berkapur, BKPH Kedunggalan, KPH Sidolayu, Ngawi Indonesia yang ditanam pada tahun 2004 dan ditebang pada tahun 2015. Penelitian menggunakan 3 pohon yang kemudian dibagi menjadi 3 bagian arah longitudinal yaitu pangkal (35 cm di atas tanah), tengah (4,85 m di atas tanah), dan ujung (9,35 m di atas tanah). Setiap potongan tersebut dibagi tiga bagian arah radial yaitu gubal (0,5 cm dari kulit), teras terluar (1 cm dari perbatasan teras gubal), dan teras terdalam (1-2 cm dari empulur) (Gambar 1). Serbuk (40-60 mesh) sampel diambil pada kedua sisi berlawanan disk kayu kemudian digabungkan untuk meningkatkan keseragaman sampel.



Gambar 1. Skema pengambilan sampel: posisi longitudinal (kiri) dan radial (kanan)

Figure 1. Sampling scheme: longitudinal (left) and radial (right) positions

Penentuan kadar ekstraktif

Serbuk kayu sebanyak 3 g setara kering tanur (B_0) diekstrak secara berurutan dengan toluena dan etanol dengan alat ekstraksi soklet (ASTM D1107-96 2002) selama 6 jam dan air panas dengan alat penangas (ASTM D1110-80 2002) selama 3 jam pada suhu 100°C . Filtrat ekstrak dievaporasi hingga memperoleh ekstrak kering. Ekstrak ditimbang untuk mengetahui berat ekstrak (B_1). Persentase ekstrak dihitung berdasarkan persamaan:

$$ETt (\%) = ET (\%) + EEt (\%) + EAP (\%) \dots\dots\dots(1)$$

Pengujian kadar fenolat total

Pengukuran kadar fenolat total mengacu pada prosedur yang dilakukan oleh Gao et al. (2006). Sebanyak 0,5 mL ekstrak terlarut toluena dilarutkan dalam etanol (1000 ppm) dan ditambahkan 2,5 mL reagen Folin-Ciocalteu (1 ml/9 ml dalam aquades). Sebanyak 2 mL larutan sodium karbonat (Na_2CO_3 7,5%) ditambahkan ke dalam larutan dan didiamkan selama 30 menit dalam suhu ruang. Larutan diukur dalam alat spektrofometri UV-VIS Optima nano-3000 (765 nm) untuk melihat nilai serapan (absorbansi) yang dibandingkan dengan blanko. Kalibrasi menggunakan asam galat yang menghasilkan persamaan:

$$y = 0,0936x - 0,0007 \text{ dengan } R^2 = 0,9999 \dots\dots\dots(2)$$

Pengukuran sifat warna

Pengukuran dilakukan dengan alat spektrokolorimeter NF333 (Nippon Denshoku Co. Ind. Ltd.). Kondisi pengukuran: diameter bukaan 6 mm, pencahayaan D65, sumber cahaya tungsten halogen. Serbuk kayu kering angin ekstraksi ekstraksi diukur 3 kali tiap sampel dan dikonversikan ke sistem warna $\text{CIEL}^*a^*b^*$ (Burtin et al. 2000), yaitu L^* (kecerahan) dengan skala 0 (hitam) - 100 (putih), a^* (kemerahan) dengan skala + (merah) dan (-) untuk hijau, b^* dengan skala (+) untuk kuning dan (-) untuk biru.

Analisis statistik

Pengaruh faktor variasi longitudinal dan variasi radial terhadap kadar ekstraktif dan sifat warna dihitung dengan menggunakan analisis varians dua-arah (*two-way ANOVA*) dengan taraf kepercayaan 95%. Faktor yang menunjukkan pengaruh nyata kemudian diuji lanjut Duncan. Untuk menguji hubungan antara kadar ekstraktif dengan sifat warna menggunakan analisis korelasi Pearson yang ditunjukkan dengan koefisien korelasi (r). Regresi sederhana ($y = a + bx$) diterapkan pada parameter-parameter yang menunjukkan hubungan kuat. Semua analisis statistik menggunakan SPSS versi 25.

Hasil dan Pembahasan

Kadar ekstraktif

Kadar ekstraktif terlarut toluena (KET), etanol (KEEto), air panas (KEAP), total (KETt) disajikan dalam Tabel 1. Nilai KET (non polar) yang diperoleh masih dalam kisaran penelitian Lukmandaru dan Takahashi (2008) yang mengukur ekstrak terlarut n-heksan (non polar) sekitar 1,74% di kayu jati dari hutan rakyat berumur 8 tahun. Nilai KEEto (polar) memiliki kisaran nilai yang sama dengan hasil penelitian Rizanti et al. (2018) yang mendapatkan ekstrak terlarut polar mencapai 2,5% pada kayu jati berumur 7-10 tahun dari Perhutani. Nilai yang diperoleh cenderung lebih rendah dibandingkan dengan kayu jati berumur 15 tahun yang memiliki ekstrak terlarut etanol-benzena mencapai sekitar 6-8% (Lukmandaru, 2009a), dan kayu jati berumur 9 dan 15 tahun dengan jumlah ekstraksi non-polar masing-masing 2,8-6,0% dan 3,5-4,6% (Anda et al. 2019). Kadar dan jenis zat ekstraktif dapat dipengaruhi oleh umur kayu dan kayu jati berumur 11 tahun diduga masih dalam tahap kayu juvenil. Kayu juvenil memiliki serat yang kecil dan pendek dengan rongga sel yang besar dan dinding sel yang tipis serta kerapatan yang rendah (Gryc et al. 2011). Penelitian

Darmawan et al. (2015) mendeteksi ciri tersebut terdapat di kayu jati berumur 10 tahun saat dibandingkan dengan jati berumur 40 tahun. Lukmandaru (2009a) mengindikasikan kayu jati yang berumur 15 sampai 25 tahun memiliki porsi kayu juvenil yang relatif besar. Hal ini menyebabkan proporsi kayu teras lebih rendah pada kayu yang umur muda. Proporsi kayu teras yang rendah menyebabkan jumlah ekstrak terlarut toluen dan etanol lebih

rendah. Kayu yang dipanen dalam umur muda diduga menghasilkan ekstraktif fenolat yang rendah. Proses pembentukan kayu teras memiliki kaitan dengan proses terbentuknya ekstraktif (fenolat) dalam kayu dimana polisakarida di kayu gubal berubah menjadi ekstraktif kayu teras yang mengendap sehingga yang diakumulasikan selama pembentukan kayu teras (Nobuchi et al. 2005).

Tabel 1. Rata-rata nilai kadar ekstraktif kayu JPP (11 tahun) melalui ekstraksi berurutan
Table 1. Average values of JPP wood (11 years) in extractives content after successive extraction

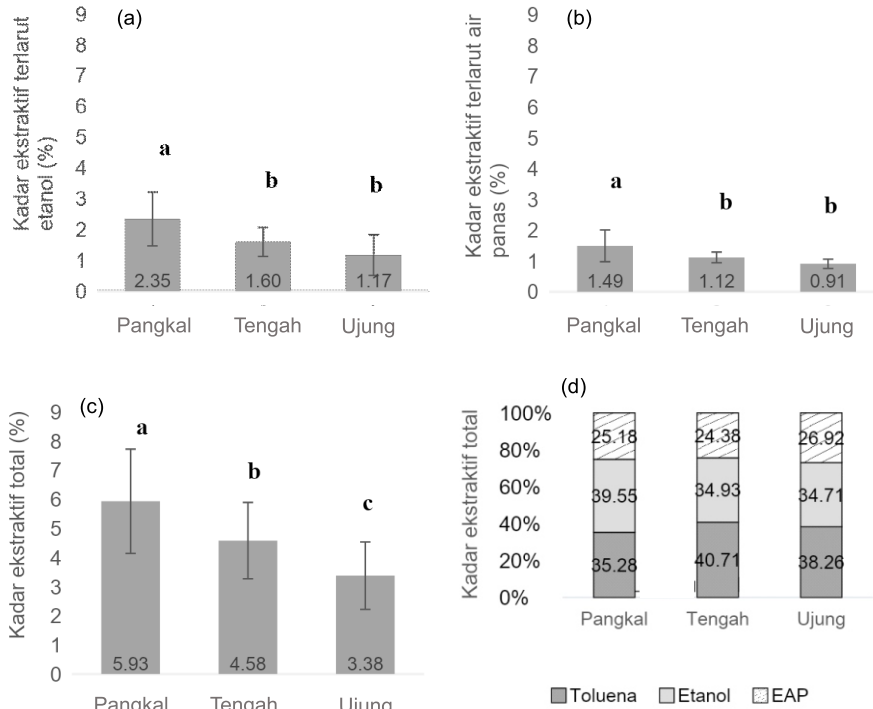
Parameter	Kadar ekstraktif (%)				
	KET	KEEto	KEAP	KETt	KFT
Pangkal					
Gubal	1,35 (0,95)	1,56 (0,04)	1,34 (0,33)	4,24 (1,23)	27,73 (9,48)
Teras terluar	2,91 (1,00)	3,19 (0,50)	1,67 (0,65)	7,77 (0,98)	46,62 (1,98)
Teras terdalam	2,02 (0,94)	2,28 (0,89)	1,47 (0,67)	5,78 (0,98)	37,04 (6,60)
Tengah					
Gubal	0,83 (0,48)	1,23 (0,37)	1,08 (0,19)	3,15 (0,71)	40,62 (12,10)
Teras terluar	2,68 (1,06)	1,99 (0,30)	1,14 (0,21)	5,81 (0,91)	60,64 (4,12)
Teras terdalam	2,08 (0,93)	1,58 (0,47)	1,13 (0,19)	4,79 (0,34)	58,26 (11,20)
Ujung					
Gubal	0,81 (0,53)	0,81 (0,38)	0,92 (0,16)	2,55 (0,74)	47,72 (12,19)
Teras	1,77 (0,27)	1,54 (0,74)	0,90 (0,18)	4,21 (0,86)	56,54 (4,26)
Pembanding					
Jati umur 30 tahun ^{1a}	4,36	2,09-2,59	-	3,53-8,53	-
Jati umur 51 tahun ^{1b}	1,52-4,52	2,05-4,41	-	6,78-9,71	-
Jati umur 25 tahun ^{2a}	-	-	3-40	7,30-7,40	-
Jati umur 72 tahun ^{2b}	-	-	4,80	7,50	-
Jati umur 67-70 tahun ³	-	-	4,30	8,48	-
Jati umur 7-10 tahun ^{4a}	0,30-0,50	-	2,50	3,70	-
Jati umur 40-60 tahun ^{4b}	1,10-2,80	-	2,50	8,00	-

Keterangan : KET= Kadar ekstraktif terlarut toluena; KEEto= Kadar ekstraktif terlarut etanol; KEAP= Kadar ekstraktif terlarut air panas; KETt= Kadar ekstraktif total; KFT= Kadar fenolat total terlarut toluena. Tanda kurung menunjukkan standar deviasi. 1a-b= Lukmandaru dan Takahashi (2008); 2a-b= Lukmandaru (2009a); 3= Lukmandaru et al. (2016); 4a-b= Rizanti et al. (2018); 2a, 2b, dan 3= ekstrak total (belum termasuk KEAP); 1= menggunakan n-heksan dan metanol; 2, 3= etanol-benzen; 4= diklorometana, aseton, toluena/etanol.

Remarks : TEC= Toluene extractive content; EEC= Ethanol extractive content; HWEC= Hot-water extractive content; TtEC= Total Extractive content; TPC= total phenolic content of toluena extract; parentheses indicate standard deviation; 1a-b= Lukmandaru and Takahashi (2008); 2a-b= Lukmandaru (2009a); 3= Lukmandaru et al. (2016); 4a-b= Rizanti et al. (2018); 2a, 2b, and 3= total extractive (not include HWEC); 1= using n-hexane and methanol; 2, 3= ethanol-benzene; 4= dichloromethane, acetone, toluene/ethanol.

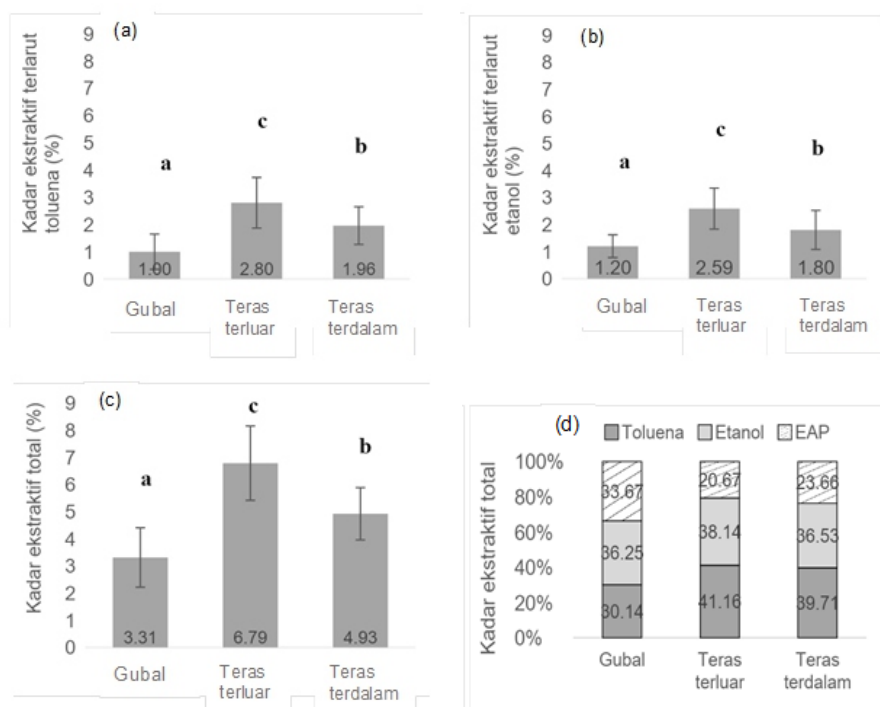
Hasil analisis varian menunjukkan bahwa variasi longitudinal mempengaruhi secara nyata nilai KEEto, KEAP, dan KETt, dimana bagian pangkal memiliki jumlah ekstraktif terlarut etanol dan terlarut air panas dan menurun seiring mendekati bagian ujung. Akumulasi ekstrak terlarut toluena tinggi terdapat di bagian tengah sedangkan ekstrak terlarut etanol terdapat di bagian pangkal. (Tabel 2 dan Gambar 2a-d). Penelitian Gominho et al. (2001); Caron et al. (2013) mendeteksi adanya konsentrasi ekstraktif tinggi pada bagian pangkal pada kayu jenis daun lebar. Fenomena tersebut mengindikasikan terjadi pengendapan ekstraktif polar yang intensif di bagian pangkal. Ekstraktif terakumulasi di bagian pangkal sehingga jumlah ekstraktif pada bagian ini lebih tinggi dibandingkan dengan di bagian ujung (Hillis 1987). Secara nyata, arah radial memberikan pengaruh terhadap KET, KEEto, KETt, dan KFTt (Tabel 2) dengan uji lanjut Duncan dijelaskan dalam Gambar

3a-c. Variasi arah radial mempengaruhi secara nyata nilai ekstrak terlarut toluena dan terlarut etanol yang diperoleh tinggi dibagian teras terluar dan rendah dibagian gubal. Penelitian Windeisen et al. (2003); Lukmandaru dan Takahashi (2008); Lukmandaru (2011b); Miranda et al. (2011) mengamati adanya peningkatan ekstraktif jati dari gubal ke bagian teras. Dalam Gambar 3d, komposisi ekstraktif berdasarkan berat ekstrak pada bagian gubal ditandai dengan tingginya nilai KEAP (33,67%) sedangkan bagian teras terluar dan terdalam ditandai dengan tingginya nilai KET (39,71-41,16%). Hasil yang berbeda ditunjukkan oleh penelitian Lukmandaru dan Takahashi (2008) yang mendapatkan bagian gubal dan teras terdalam lebih didominasi oleh ekstrak terlarut metanol pada jati berumur 51 tahun, sedangkan bagian teras terluar lebih mirip kecenderungannya dengan hasil penelitian ini dimana bagian tersebut didominasi oleh n-heksan (non polar) pada jati umur 51 tahun.



Gambar 2a-d. Nilai rata-rata kadar ekstraktif terlarut etanol (a), air panas (b), total (c), dan komposisi ekstraktif total berdasarkan berat ekstrak (d) berdasarkan variasi longitudinal pohon (huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata pada $\alpha = 5\%$ uji Duncan).

Figure 2a-d. Average values of ethanol extractive content (a), hot-water extractive content (b), total extractive content (c), and composition of total extractive based on weight extract (d) based on tree's longitudinal variation (the same letter are not statistically different at $\alpha = 5\%$ by Duncan test).



Gambar 3a-d. Nilai rata-rata kadar ekstraktif terlarut toluena (a), etanol (b), total (c), dan komposisi ekstraktif total berdasarkan berat ekstrak (d) berdasarkan variasi radial pohon (huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata pada $\alpha = 5\%$ uji Duncan).

Figure 3a-d. Average values of toluene extractive content (a), ethanol extractive content (b), total extractive content (c), and composition of total extractive based on weight extract (d) based on tree's radial variation (the same letter are not statistically different at $\alpha = 5\%$ by Duncan test).

Secara nyata, bagian teras terluar berbeda dengan bagian teras terdalam untuk ekstraktif terlarut toluena, etanol, dan total. Pola yang sama juga diamati oleh Lukmandaru dan Takahashi (2008) yang mendapatkan perbedaan ekstraktif terlarut n-heksan (non-polar) dan ekstrak total antara teras terluar dan teras terdalam pada kayu jati berumur 51 tahun sebaliknya pada umur yang sama teras terluar tidak berbeda nyata dengan teras terdalam pada ekstrak terlarut metanol (polar). Pola yang sama ditunjukkan dalam penelitian Anda et al. (2019) yang mengamati perbedaan teras terluar dan teras terdalam pada kayu jati berumur 21 tahun dari hutan tanaman Meksiko. Hal ini mengindikasikan antara teras terdalam dengan teras terluar kayu jati umur 11 tahun telah dapat menunjukkan perbedaan sifat kimia di kedua bagian tersebut meskipun masih dalam masa juvenil. Anda et al. (2019) mendeteksi ekstrak terlarut metanol (polar) tinggi dibagian teras terluar dibandingkan

teras terdalam kayu jati berumur 9 dan 15 tahun.

Hasil analisis varians menunjukkan bahwa variasi longitudinal mempengaruhi secara nyata kadar fenolat terlarut toluena (Tabel 2) dan keragaman KFT berdasarkan variasi longitudinal dijelaskan dalam Gambar 4a. Penelitian Neverova et al. (2013) mendeteksi flavonoid dan tanin yang tinggi di bagian tengah kayu Siberian Larch. Penelitian Rizanti et al. (2018) mendeteksi komponen 1,2-tetradecanediol, 4-ethyl-biphenylcarboxylic acid, tektokinon, dan tektol pada ekstrak toluena/etanol di kayu jati berumur 10-40 tahun. Hal ini mengindikasikan bagian tengah pohon lebih banyak mengandung fenolat dengan berat molekul rendah seperti komponen-komponen tersebut di atas. Berdasarkan variasi radial, KFT menunjukkan bagian gubal berbeda nyata dengan teras terluar (Gambar 4b). Hal ini menunjukkan terjadinya peningkatan kadar fenolat dari gubal ke bagian teras. Penelitian sebelumnya oleh Moya dan

Berrocal (2010); Niamke et al. (2011) juga mengamati peningkatan kadar fenolat dari gubal ke bagian teras pada kayu gubal jati berumur 8-10 tahun. Kecenderungan ini umum dalam sebaran ekstraktif di kayu dimana kayu gubal mengandung banyak ekstraktif primer sedangkan dalam kayu teras merupakan ekstraktif sekunder (senyawa-senyawa fenolat). Niamke et al. (2011) telah mendeteksi

tektokinon di bagian gubal kayu jati. Hasil yang sama juga didapatkan dalam penelitian Lukmandaru dan Takahashi (2009) yang mendeteksi beberapa komponen utama di bagian gubal pada kayu jati meskipun dalam jumlah kecil yaitu lapakol, tektokinon, deoksilapakol, squalen, tektol, dan asam palmitat.

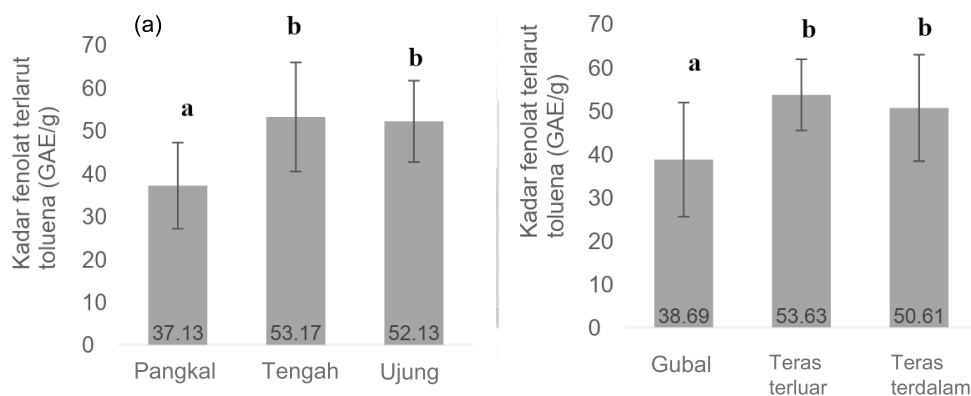
Tabel 2. Ringkasan nilai signifikansi analisis varians dari variasi longitudinal dan variasi radial kayu JPP

Table 2. Summary of the significance values of the analysis of variance of the longitudinal and radial variation of JPP wood

Parameter	Faktor		
	Longitudinal	Radial	Longitudinal x Radial
KET	0,675 ^{ns}	0,005 ^{**}	0,947 ^{ns}
KEEto	0,009 ^{**}	0,002 ^{**}	0,537 ^{ns}
KEAP	0,043 [*]	0,715 ^{ns}	0,913 ^{ns}
KETt	0,003 ^{**}	0,01 ^{**}	0,774 ^{ns}
KFT	0,001 ^{**}	0,003 ^{**}	0,774 ^{ns}
Kecerahan (L*)	0,01 ^{**}	0,01 ^{**}	0,577 ^{ns}
Kemerahan (a*)	0,044 [*]	0,01 ^{**}	0,650 ^{ns}
Kekuningan (b*)	0,687 ^{ns}	0,007 ^{**}	0,123 ^{ns}

Keterangan : **= berpengaruh nyata pada taraf uji 1%; *= berpengaruh nyata pada taraf uji 5 %; ns = tidak berpengaruh. KET= Kadar ekstraktif terlarut toluena; KEEto= Kadar ekstraktif terlarut etanol; KEAP= Kadar ekstraktif terlarut air panas; KETt= Kadar ekstraktif total; KFT= Kadar fenolat total terlarut toluena.

Remarks : **= significant effect at 1% level; *= significant effect at 5% level; ns= non significant. TEC= Toluene extractive content; EEC= Ethanol extractive content; HWEC= Hot-water extractive content; TtEC= Total extractive content; TPC= total phenolic content of toluena extract.



Gambar 4a-b. Nilai rata-rata kadar total fenolat terlarut toluena berdasarkan variasi longitudinal pohon (a) dan variasi radial (b) (huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata pada $\alpha = 5\%$ uji Duncan). GAE = mg asam galat.

Figure 4a-b. Average value of total phenolic content of toluene extract based on tree's longitudinal variation (a) and radial variation (b) (the same letter are not statistically different at $\alpha = 5\%$ by Duncan test). GAE = mg gallic acid

Dalam Tabel 1. mengindikasikan komponen dalam KET bukan hanya senyawa fenolat tetapi juga komponen lain yang diduga memiliki jumlah yang lebih besar. KET yang tinggi di bagian tengah bisa dikaitkan dengan ketahanan alami terhadap faktor perusak yaitu serangan rayap perusak kayu. Ekstrak terlarut n-heksan (non-polar) pada kayu jati memiliki ketahanan yang tinggi terhadap serangan rayap (Lukmandaru & Takahashi 2008). Hal ini didukung Lukmandaru dan Ogiyama (2005a, 2005b) yang mengamati ekstraktif terlarut n-heksan dan etil asetat menunjukkan sifat antirayap. KEeto (polar) yang tinggi di bagian pangkal memiliki keuntungan dalam meningkatkan ketahanan alami kayu terhadap jamur. Penelitian Lukmandaru (2013) pada kayu jati mendemonstrasikan ekstrak terlarut metanol (polar) menyebabkan penurunan pertumbuhan jamur *Trametes versicolor*. Meski demikian, nilai kadar ekstrak secara umum yang relatif rendah dibandingkan dengan ekstrak pada umur dewasa perlu diperhatikan bila dikaitkan dengan keawetan alaminya atau dalam bentuk solid. Perlu perbandingan kayu umur muda dan tua secara langsung dengan menguji kayu solid terhadap jamur dan rayap. Jumlah KET (non polar), KEeto (polar) dan KEAP (polar) yang rendah pada kayu jati muda dibandingkan dengan kayu jati umur tua diduga memiliki kelebihan dalam penggunaannya terutama dalam proses perekatan. Penelitian Sakuno dan Moredo (1998) mendeteksi hubungan negatif antara ekstraktif terlarut etanol-benzen dengan perekatan, dimana kandungan ekstraktif yang rendah dapat meningkatkan kualitas perekatan kayu. Di lain pihak, Kanazawa et al. (1978) mendapatkan ekstrak air panas mampu menurunkan kualitas perekatan pada kayu jati.

Sifat Warna

Sifat warna kayu JPP pada umur 11 tahun disajikan dalam Tabel 3. Nilai L^* dalam penelitian ini masih

dalam kisaran penelitian Lukmandaru (2016) dalam kayu jati kelas umur VI dari KPH Purwakarta dan kelas umur III-IV dari KPH Randublatung; Thulasidas et al. (2006) kayu jati umur 35 tahun dari Kerala (India). Namun nilai L^* yang diperoleh masih lebih cerah atau pucat jika dibandingkan dengan hasil penelitian Lukmandaru et al. (2018) pada kayu jati berumur 70 tahun dari Randublatung. Nilai a^* dan b^* ini masih dalam kisaran penelitian Thulasidas et al. (2006); Lukmandaru et al. (2018). Nilai a^* juga masih dalam kisaran dan nilai b^* lebih rendah jika dibandingkan dengan penelitian Lukmandaru (2016). Hal ini mengindikasikan sampel dalam penelitian ini meskipun berumur muda namun memiliki tingkat kecerahan, kemerahan, dan kekuningan yang sebanding dengan beberapa kayu jati yang lebih tua.

Hasil analisis varians pada sifat warna disajikan dalam Tabel 2. Pada nilai L^* , terdapat perbedaan setiap bagian variasi longitudinal (Gambar 5a-b) dan perbedaan secara nyata terjadi di bagian radial yang dijelaskan dalam Gambar 6a-c. Analisis yang diperoleh sejalan dengan penelitian Lukmandaru et al. (2018) yang memperoleh perbedaan sifat warna antara gubal dan teras pada kayu jati berumur sekitar 30 tahun dari hutan rakyat. Hal ini diduga adanya perbedaan kandungan ekstraktif yang terdapat dalam kayu gubal (primer) dan teras (sekunder) yang menyebabkan warna kayu di kedua bagian ini berbeda. Perbedaan ekstraktif tersebut dapat berupa jumlah ataupun komponen ekstraktif yang berbeda di kedua bagian tersebut. Perbedaan secara nyata juga terjadi di teras terluar dan teras terdalam pada nilai L^* , sedangkan pada nilai a^* dan b^* tidak terdapat perbedaan di kedua bagian tersebut. Nilai L^* yang diukur juga diamati oleh Lukmandaru dan Takahashi (2008) dengan umur jati 51 tahun dari Perhutani dan Lukmandaru (2011a) yang mengukur nilai L^* pada teras terluar berbeda dengan teras terdalam pada kayu jati dari Randublatung. Hal ini mengindikasikan

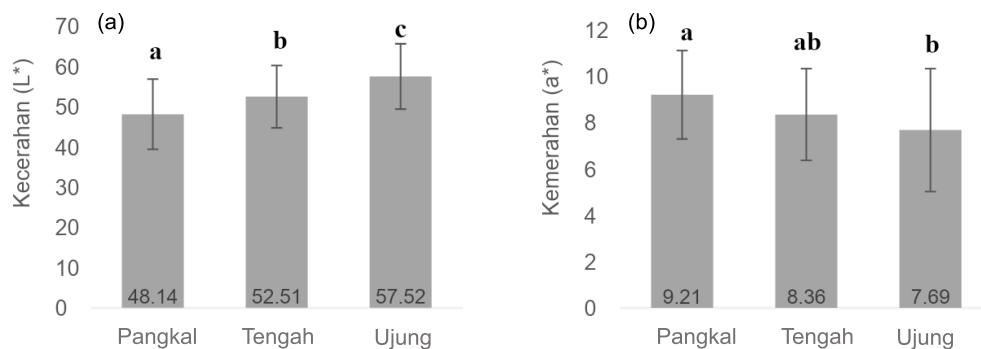
Tabel 3. Rata-rata nilai sifat warna kayu JPP (11 tahun).

Table 3. Average values of color properties of JPP wood (11 years)

Parameter	Sifat Warna		
	L*	a*	b*
Pangkal			
Gubal	59,37 (1,36)	6,83 (0,72)	22,04 (2,63)
Teras terluar	40,32 (2,03)	9,97 (0,71)	22,71 (0,36)
Teras terdalam	44,73 (0,83)	10,82 (0,55)	22,52 (0,84)
Tengah			
Gubal	62,27 (1,13)	6,06 (0,67)	20,50 (1,72)
Teras terluar	46,31 (2,50)	9,29 (1,48)	22,51 (1,36)
Teras terdalam	48,94 (3,63)	9,72 (1,04)	22,54 (1,32)
Ujung			
Gubal	64,87 (1,30)	5,28 (0,53)	19,66 (1,05)
Teras	50,17 (1,06)	10,09 (0,11)	24,23 (0,47)
Pembanding			
Jati umur 35 tahun ¹	54,04	6,37	23,40
Jati Kelas umur III-IV ^{2a}	55,40	7,07	26,31
Jati Kelas umur VI ^{2b}	50,61	8,34	25,40
Jati umur 70 tahun ³	39,50	10,80	19,70

Keterangan : L*= Kecerahan; a*= Kemerahan; b*= Kekuningan. 1= Thulasidas et al. (2006) umur 35 tahun; 2a-b= Lukmandaru (2016); 3= Lukmandaru et al. (2018).

Remarks : L*= brightness index; a*= redness index; b*= yellowness index. 1= Thulasidas et al. (2006) 35 years; 2a-b= Lukmandaru (2016); 3= Lukmandaru et al. (2018).

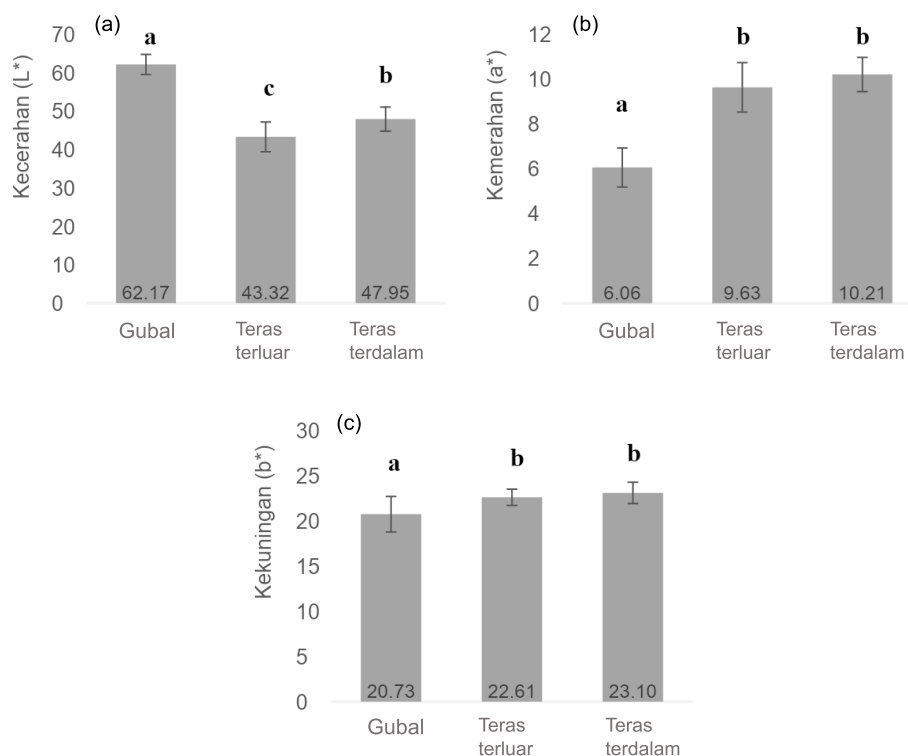


Gambar 5a-b. Nilai rata-rata kecerahan (L*)(a); kemerahan (a*)(b) berdasarkan variasi longitudinal pohon (huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata pada $\alpha = 5\%$ uji Duncan).

Figure 5a-b. Average values of brightness (L*)(a); redness (a*)(b) based on tree's longitudinal variation (the same letter are not statistically different at $\alpha = 5\%$ by Duncan test).

bagian teras terluar memiliki perbedaan dalam komponen ekstraktif yang memberi warna dengan teras terdalam. Dari hasil pengamatan di atas, bervariasi nilai sifat warna di bagian longitudinal pohon perlu menjadi perhatian untuk produk-produk

yang mengandalkan warna yang homogen. Dalam penelitian ini, jarak vertikal setiap bagian sebesar 4,5 m telah memberikan variasi warna khususnya di nilai L* (Gambar 5a).



Gambar 6a-c. Nilai rata-rata kecerahan (L^*)(a); kemerahan (a^*)(b); kekuningan (c) berdasarkan variasi radial pohon (huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata pada $\alpha = 5\%$ uji Duncan).

Figure 6a-c. Average values of brightness (L^*)(a); redness (a^*)(b); yellowness (c) based on radial variation (the same letter are not statistically different at $\alpha = 5\%$ by Duncan test).

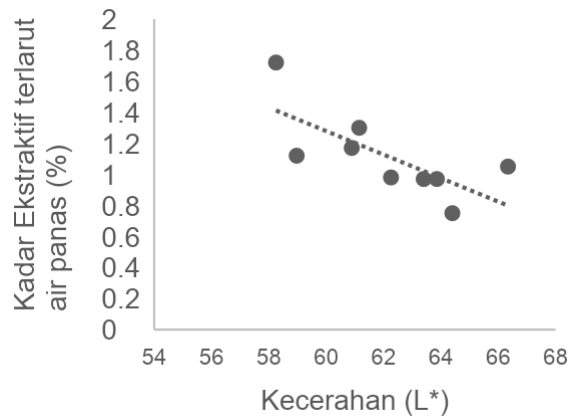
Tabel 4. Korelasi Pearson (r) antara sifat warna dengan kadar ekstraktif kayu JPP

Table 4. Pearson's correlation (r) between color properties and extractive content of JPP wood

Warna	Ekstraktif				
	KET	KEEto	EAP	KETt	KFT
Gubal					
Kecerahan (L^*)	-0,30	-0,60	-0,72*	-0,59	0,62
Signifikansi	0,43	0,09	0,03	0,10	0,07
Kemerahan (a^*)	0,35	0,57	0,59	0,58	-0,40
Signifikansi	0,35	0,11	0,10	0,10	0,29
Kekuningan (b^*)	0,46	0,35	0,51	0,53	-0,27
Signifikansi	0,22	0,36	0,16	0,14	0,48
Teras					
Kecerahan (L^*)	-0,37	-0,70**	-0,52*	-0,78**	0,37
Signifikansi	0,18	0,004	0,05	0,001	0,18
Kemerahan (a^*)	0,04	0,14	0,29	0,20	-0,58*
Signifikansi	0,88	0,62	0,29	0,47	0,02
Kekuningan (b^*)	0,01	-0,09	-0,17	-0,10	0,09
Signifikansi	0,98	0,75	0,55	0,72	0,76

Keterangan : KET= Kadar ekstraktif terlarut toluena; KEEto= Kadar ekstraktif terlarut etanol; KEAP= Kadar ekstraktif terlarut air panas; KETt= Kadar ekstraktif total; KFT= Kadar fenolat total terlarut toluena.

Remarks : TEC= Toluene extractive content; EEC= Ethanol extractive content; HWEC= Hot-water extractive content; TtEC= Total Extractive content; TPC= total phenolic content of toluena extract.



Gambar 7. Diagram pencar antara kecerahan (L*) dengan ekstraktif terlarut air panas di bagian gubal.
Figure 7. Scatter diagram between brightness (L*) and hot-water soluble extractive content in the sapwood part.

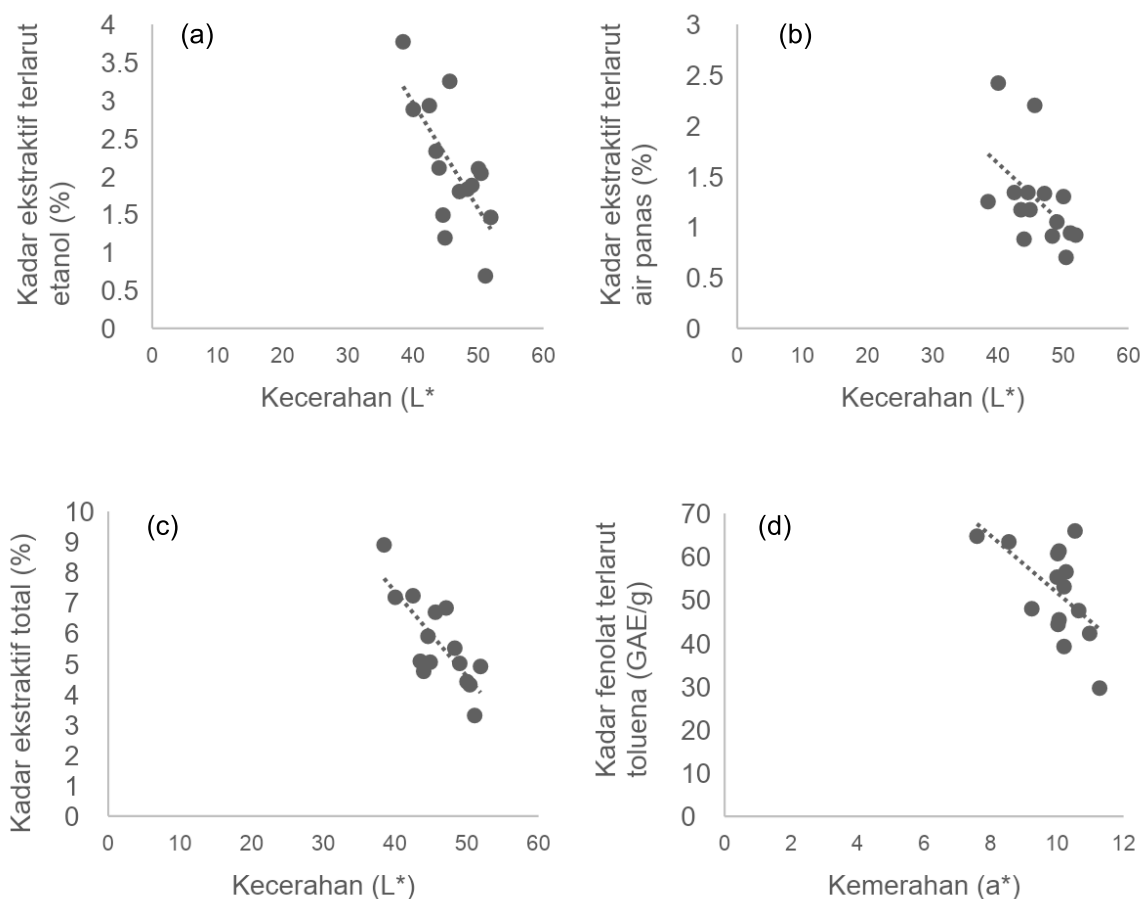
Hubungan Kadar Ekstraktif dengan Sifat Warna Kayu

Analisis hubungan sifat warna dan kadar ekstraktif kayu jati disajikan dalam Tabel 4. Analisis terpisah dilakukan pada bagian gubal dan teras untuk melihat perbedaan hubungan kedua bagian tersebut. Pada bagian gubal, hanya hubungan KEAP dengan nilai kecerahan (L*) yang menunjukkan hubungan yang nyata dengan nilai yang korelasi yang tinggi ($r = -0,72$) yang bersifat negatif (Gambar 7). Hal ini diartikan bahwa KEAP yang tinggi menyebabkan penurunan nilai L*. Hal ini menandakan ekstraktif yang dapat dilarutkan air panas memberikan warna gelap pada kayu gubal. Secara teknis air panas lebih banyak melarutkan gula, pati, getah, dan zat berwarna pada kayu (ASTM 2002).

Pada bagian teras, KEETo, KEAP, dan KETt memiliki hubungan yang nyata dengan nilai kecerahan (L*) dengan nilai korelasi yang tinggi ($r = -0,70, -0,52, -0,78$, secara berurutan). Ketiga hubungan tersebut bersifat negatif (Gambar 8a-c) yang artinya warna menjadi lebih gelap disebabkan nilai KEETo, KEAP, dan KETt yang tinggi. Pola ini juga diamati Lukmandaru (2016) yang mengukur korelasi moderat ($r = -0,60$) dan bersifat negatif antara nilai L* dengan kadar ekstraktif etanol-benzen pada kayu jati KPH Randublatung pada kelas umur III-IV. Hal ini menguatkan bahwa ekstrak dalam kayu dapat

memberikan warna lebih gelap, dimana penyebab rendahnya nilai L* adalah ekstraktif polar ($r = -0,70$). Penelitian sebelumnya ekstrak terlarut etanol atau pelarut polar melarutkan komponen fenolat seperti tektol, tektokinon, lapakol, dan naptakinon (Windeisen et al. 2003; Lukmandaru et al. 2009; Niamke et al. 2011).

Secara nyata, terdapat hubungan moderat ($r = -0,58$) antara kadar fenolat terlarut toluena (KFT) dengan kemerahan (a*) kayu (Gambar 8d). Hal ini diartikan jumlah KFT yang meningkat dalam kayu menyebabkan warna kayu menjadi ke arah warna hijau. Hal ini berbeda dengan penelitian Gierlinger et al. (2004) yang mendeteksi adanya korelasi positif yang kuat antara sifat kemerahan dengan kadar fenolat pada kayu *Larix* sp. Hal ini diduga terdapat komponen tekomakinon dalam ekstrak yang menyebabkan warna kehijauan. Penelitian Lukmandaru et al. (2009) mendeteksi komponen-komponen fenolat di bagian teras kayu jati dan salah satunya adalah tekomakinon. Cadelis et al. (2012) mensintesis tekomakinon pada tektol dalam toluena dimana komponen tersebut berwarna hijau solid. Kadar fenolat total untuk ekstrak yang terlarut etanol tidak berkorelasi nyata dengan sifat warna (data tidak ditampilkan). Hal ini mengindikasikan lebih ke pengaruh komponen fenolat dengan berat molekul rendah terhadap sifat kemerahan.



Gambar 8a-d. Diagram pencar antara kecerahan (L^*) dengan kadar ekstraktif terlarut etanol (a); kadar ekstraktif terlarut air panas (b); kadar ekstraktif total (c) dan kemerahan (a^*) dengan kadar fenolat total terlarut toluena (d) di bagian teras.

Figure 8a-d. Scatter diagram between brightness (L^*) and ethanol soluble extractive content (a); hot-water soluble extractive content (b); total extractive content (c); redness (a^*) and total phenolic content in toluene extracts (d) in the heartwood part.

Kesimpulan

Kadar ekstraktif yang dihasilkan setelah diekstrak secara berurutan menunjukkan sampel kayu JPP memiliki ekstrak terlarut polar yang lebih tinggi terutama ekstrak terlarut etanol. Kayu yang diamati cenderung lebih cerah terutama di bagian kayu gubal, sedangkan nilai kemerahan dan kekuningan masih dalam kisaran yang sama dengan penelitian lain. Nilai kecerahan di bagian gubal berkorelasi negatif dengan ekstrak air panas, dimana semakin tinggi ekstrak air panas semakin gelap warna kayu. Nilai kecerahan di bagian teras juga berkorelasi negatif dengan ekstrak terlarut etanol, dimana semakin tinggi ekstrak etanol semakin gelap kayu teras. Nilai kemerahan hanya

dipengaruhi fenolat terlarut toluena di bagian kayu teras. Fenolat di kayu jati didominasi oleh kelompok kinon sehingga penelitian lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengetahui pengaruh komponen kinon secara individual terhadap sifat warna serta korelasi dengan kadar fenolat total yang didapatkan pada umur muda apakah juga diamati pada kayu dewasa.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dibiayai oleh Hibah Penelitian Program Master menuju Doktor Sarjana Unggul (PMDSU) Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi (RISTEKDIKTI) pada tahun 2018.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Sugi Purwanta (Puslitbang Perhutani) dalam penyediaan sampel penelitian.

Daftar Pustaka

- Anda RR, Koch G, Richter HG, Talavera FJF, Guzmán JAS, Satyanarayana KG. 2019. Formation of heartwood, chemical composition of extractives and natural durability of plantation-grown teak wood from Mexico. *Holzforschung* **73**(6): 547-557.
- ASTM. 2002. Annual book of ASTM standards. Section Four - Construction, Volume 04.10 Wood. West Conshohocken, PA.
- Burtin P, Jay-Allemand C, Charpentier JP, Janin G. 1998. Natural wood colouring process in *Juglans* sp. (*J. nigra*, *J. regia* and hybrid *J. nigra*) depends on native phenolic compounds accumulated in the transition zone between sapwood and heartwood. *Trees* **12**: 258-264.
- Burtin P, Jay-Allemand C, Charpentier JP, Janin G. 2000. Modifications of hybrid walnut (*Juglans nigra* x *Juglans regia*) wood color and phenolic composition under various steaming conditions. *Holzforschung* **54**: 33-38.
- Cadelis MM, Barker D, Copp BR. 2012. Synthesis of hemitectol, tectol, and tecomaquinone I. *Synlett* **23**(20): 2939-2942.
- Caron A, Altaner CM, Gardiner B, Jarvis MC. 2013. Distribution of extractives in Sitka spruce (*Picea sitchensis*) grown in the northern UK. *European Journal of Wood and Wood Products* **71**(6): 697-704.
- Darmawan W, Nandika D, Sari RK, Sitompul A, Rahayu I, Gardner D. 2015. Juvenile and mature wood characteristics of short and long rotation teak in Java. *IAWA Journal* **36**(4): 428-442. DOI: 10.1163/22941932-20150112
- Gao H, Shupe TF, Hse CY, Eberhardt TL. 2006. Antioxidant activity of extracts from the bark of *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parl. *Holzforschung* **60**(4): 459-462.
- Gierlinger N, Jacques D, Grabner M, Wimmer R, Schwaninger M, Rozenberg P, Paques LE. 2004. Colour of larch heartwood and relationship to extractives and brown-rot decay resistance. *Trees* **18**: 102-108.
- Gominho J, Figueira J, Rodrigues JC. 2001. Within-tree variation of heartwood, extractives and wood density in tie eucalypt hybrid urograndis. *Wood and Fiber Science* **33**(1): 3-8.
- Gryc V, Vavřík H, Horn K. 2011. Density of juvenile and mature wood of selected coniferous species. *Journal of Forest Science* **57**(3): 123-130.
- Haupt M, Leithoff H, Meier D, Puls J, Richter HG, Faix O. 2003. Heartwood extractives and natural durability of plantation-grown teakwood (*Tectona grandis* L.)—a case study. *Holz als Roh- und Werkstoff* **61**(6): 473-474.
- Hillis WE. 1987. Heartwood and tree exudates. Dalam Timell TE, editor. Springer Series in Wood Science. State University, New York.
- Kanazawa H, Nakagami T, Nobashi K, Yokota T. 1978. The effects of teak wood extractives on the curing reaction and the hydrolysis rate of the resin urea adhesive. *Mokuzai gakkaiishi* **24**: 55-59.
- Lukmandaru G. 2009a. Sifat kimia dan warna kayu teras jati pada tiga umur berbeda. *Jurnal Ilmu Teknologi Kayu Tropis* **7**(1): 1-7.
- Lukmandaru G. 2009b. Pengukuran kadar ekstraktif dan sifat warna pada kayu teras jati doreng (*Tectona grandis*). *Jurnal Ilmu Kehutanan* **3**(2): 67-73.
- Lukmandaru G. 2011a. Komponen kimia kayu jati dengan pertumbuhan eksentris. *Jurnal Ilmu Kehutanan* **5**(1), 21-29.
- Lukmandaru G. 2011b. 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. Antifungal activities of certain components of teak wood extractives. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis* **11**(1): 11-18.
- Lukmandaru G. 2016. Hubungan antara kadar ekstraktif dengan sifat warna pada kayu teras jati. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* **34**(3): 207-216.
- 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, Ashitani T, Takahashi K. 2009. Color and chemical characterization of partially black-streaked heart-wood in teak (*Tectona grandis*). *Journal of Forestry Research* **20**(4): 377.
- Lukmandaru G, Takahashi K. 2008. Variation in the natural termite resistance of teak (*Tectona grandis* Lf) 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* Lf). *Annals of Forest Science* **66**(6): 605 p1 - p9.
- Lukmandaru G, Ogiyama K. Bioactive compounds from ethyl acetate extract of teakwood (*Tectona grandis* Lf). Hlm. 346-350. Proceedings of the 6th International Wood Science Symposium LIPI-JSPS Core. 29-31 Agustus 2005, Bali.
- Lukmandaru G, Ogiyama K. Bioactive extract from teakwood (*Tectona grandis* L.f.). Hlm. 413-414. Proceedings of International Symposium on Wood Science and Technology, Volume II: poster presentations. 27-30 November 2005, Yokohama.
- Lukmandaru G, Wargono P, Mohammad AR, Prasetyo VE. 2018. Studi mutu kayu jati di hutan rakyat Gunungkidul. VII. Ketahanan terhadap rayap tanah. *Jurnal Ilmu Kehutanan* **12**(1): 22-39.
- Miranda I, Sousa V, Pereira H. 2011. Wood properties of teak (*Tectona grandis*) from a mature unmanaged stand in East Timor. *Journal of Wood Science* **57**(3): 171-178.
- 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**(1): 109.
- Neverova NA, Levchuk AA, Ostroukhova LA, Medvedeva EN, Onuchina NA, Babkin VA. 2013. Distribution of extractive substances in wood of the Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb). *Russian Journal of Bioorganic Chemistry* **39**(7): 712-719.
- 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.
- Nobuchi T, Okada N, Nishida M, Siripatanadilok S, Veenin T, Tobing TL, Sahri MH. 2005. Some characteristics of wood formation in Teak (*Tectona grandis*) with special reference to water conditions. Hlm. 495-499 dalam Bhat KM, Nair KKN, Bhat KV, Muralidharan EM, Sharma JK, editor. Quality timber products of teak from sustainable forest management. India.
- Perhutani. 2011. Monitoring dan evaluasi pengembangan Jati Plus Perhutani (JPP) di KPH Kendal. Perum Perhutani KPH Kendal, Kendal.
- Rizanti DE, Darmawan W, George B, Merlin A, Dumarcay S, Chapuis H, Syafii W. 2018. Comparison of teak wood properties according to forest management: short versus long rotation. Annals of Forest Science **75**(2): 39.
- Sakuno T, Moredo C. Bonding properties of some tropical woods after solvent extraction. Hlm. 183-189. Proceeding of the Second International Wood Science Seminar. 1998, Serpong.
- Sumarni G, Muslich M. 2008. Kelas awet jati cepat tumbuh dan jati konvensional pada berbagai umur pohon. Jurnal Penelitian Hasil Hutan **26**(4): 342-351.
- Thulasidas PK, Bhat KM, Okuyama T. 2006. Heartwood colour variation in home garden teak (*Tectona grandis*) from wet and dry localities of Kerala, India. Journal of Tropical Forest Science **18**(1): 51-54.
- Windeisen E, Klassen A, Wegener G. 2003. On the chemical characterisation of plantation teakwood from Panama. Holz als roh-und werkstoff **61**(6): 416-418.