

Kadar Kinon dalam Kayu Teras Jati yang Diisolasi dengan Ekstraksi Rendaman Dingin

(*Quinone Contents in Teak Heartwood Isolated by Cold Extraction*)

Ganis Lukmandaru

Jurusan Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, Jl.
Bulaksumur, Yogyakarta

Penulis korespondensi: ganisarema@lycos.com

Abstract

Sampling by increment borer along with wood extraction by cold soaking would be useful for large sample size and if the destructive sampling is undesirable. This work aimed to evaluate the reliability of cold extraction by methanol and acetone to extract the quinone compounds of teak heartwood compared to the conventional soxhlet extraction by ethanol-benzene. Another purpose of this work was to find out the intra-tree variability of quinone compound around the outer heartwood parts (8 angles, 16 points). On the basis of the yield of ethanol-benzene extracts in 6 trees, cold extraction could remove the extracts of 37-66% by methanol and 23-61% by acetone. By correlaton analysis, considerable degree of correlations ($r>0.9$) were calculated between soxhlet and cold extraction in the contents of deoxylapachol, lapachol, tectoquinone. With regard to intra-tree variation quinones, wide level ranges were observed in all compounds by judging the coefficient of variation, except for tectol. Therefore, it is suggested that the sampling in the tangential direction in a single tree should be taken at 3 points separated by at least 90 degrees to avoid the bias in the individual components. The variation of quinone total amounts, however, showed comparatively low (18%) of coefficient of variation.

Keywords: cold extraction, extractives, increment borer, quinone, *Tectona grandis*

Abstrak

Pengambilan sampel dengan bor riap serta ekstraksi kayu melalui rendaman dingin akan bermanfaat apabila dalam situasi sampel dengan jumlah besar dan metode sampling yang merusak tidak diinginkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kehandalan ekstraksi rendaman dingin pelarut metanol dan aseton dalam mengekstrak senyawa-senyawa kinon (deoksilapakol dan isomernya, lapakol, tektokinon, tektol) dari kayu teras jati dibandingkan dengan metode konvensional ekstraksi soxhlet pelarut etanol-benzena. Tujuan lain penelitian ini adalah untuk mengetahui variasi senyawa kinon di dalam pohon bagian sekeliling kayu teras luar (8 sudut, 16 titik). Analisis komponen dilakukan melalui GC dan GC-MS. Berdasarkan nilai rendemen ekstraksi etanol-benzena dari 6 pohon, rendaman dingin mampu mengekstrak sebanyak 37-66% bagian melalui metanol dan 23-61% bagian melalui aseton. Melalui analisis korelasi, derajat korelasi yang tinggi ($r>0,9$) dihitung antara ekstraksi soxhlet dan rendaman dingin dalam kadar deoksilapakol, lapakol, dan tektokinon. Dari variasi dalam pohon untuk senyawa kinon, kisaran lebar diamati di semua komponen bila dilihat dari koefisien variasinya, kecuali untuk tektol, sehingga disarankan dalam arah tangensial dalam satu pohon harus diambil di 3 titik terpisah minimal 90 derajat untuk menghindari bias untuk komponen-komponen tunggal. Meski demikian, variasi kadar kinon total mempunyai koefisien variasi yang relatif rendah (18%).

Kata kunci : bor riap, ekstraktif, kinon, rendaman dingin, *Tectona grandis*

Pendahuluan

Senyawa kinon merupakan komponen ekstraktif yang terdapat pada beberapa kayu teras seperti jati (*Tectona grandis*), walnut (*Juglans nigra*), dan *Tabebuia avellanedae* (Thomson 1971, Umezawa 2001). Pada jati, komponen kinon seperti tektokinon, lapakol, dan deoksilapakol berperan besar terhadap ketahanan terhadap rayap dan jamur dengan derajat yang berbeda (Lukmandaru 2013, Sandermann & Simatupang 1966, Sumthong *et al.* 2006, Sumthong *et al.* 2008). Penelitian sebelumnya telah mengkuantifikasi keberadaan senyawa kinon (Nawawi *et al.* 2011) dan hubungannya dengan keawetan alaminya (Lukmandaru & Takahashi 2009, Niamke *et al.* 2011, Thulasidas & Bhat 2007), kecepatan tumbuh (Lukmandaru 2010) dan pengaruhnya terhadap warna doreng kayu teras (Lukmandaru 2009).

Senyawa ekstraktif jumlahnya bervariasi pada pohon dan antar pohon. Di Indonesia, variasi senyawa kinon berdasarkan tempat tumbuh, fenotip, umur, dan biji untuk kayu jati datanya masih terbatas. Penelitian mengenai kemotaksonomi kayu jati (87 individu) berdasarkan senyawa kinonnya pada beberapa lokasi telah dilakukan (Lukmandaru 2012). Kuantifikasi kinon dalam beberapa penelitian disebutkan di atas dilakukan dengan ekstraksi etanol-benzena pada alat soxhlet dengan asumsi senyawa-senyawa kinon sudah terekstrak secara keseluruhan.

Untuk melakukan penelitian terhadap senyawa ekstraktif pada variasi jati yang ada, tentunya diperlukan metode yang efisien dengan akurasi yang bisa diandalkan. Dalam melakukan penelitian kemotaksonomi pada kayu teras misalnya, tentunya diperlukan jumlah sampel yang besar sehingga pengambilan

sampel dengan metode bor riap menjadi pilihan utama. Penelitian sebelumnya pada beberapa spesies lainnya (Jactel *et al.* 1996, Latta *et al.* 2003, Mosedale *et al.* 1996, Mosedale & Savill 1996, Ogiyama *et al.* 1983, DeBell *et al.* 1997, Yanchuk *et al.* 1998) dilakukan untuk untuk penentuan variasi kadar dan komponen ekstraktifnya menggunakan bor riap untuk sampel/individu dalam jumlah besar. Metode ekstraksi dengan alat soxhlet yang dirasa kurang praktis untuk jumlah sampel yang besar. Untuk itu, metode ekstraksi dengan cara sederhana seperti perendaman dingin dengan pelarut yang murah dan mudah tersedia perlu dievaluasi keakuratannya.

Eksperimen ini diarahkan pada penentuan metode sampling yang akurat pada pengambilan sampel melalui bor riap. Dari latar belakang di atas maka tujuan penelitian ini adalah mengetahui akurasi metode perendaman dingin dengan pelarut metanol dan aseton dengan membandingkan dengan metode standar yaitu ekstraksi etanol-benzena dengan soxhlet. Metanol dan aseton adalah pelarut universal yang selain efektif, tersedia banyak dan murah juga lebih aman apabila dibandingkan benzena yang relatif mahal dan bersifat karsinogenik. Satu hal lainnya adalah pada jati perlu terlebih dahulu ditentukan variasi dalam satu pohon pada komponen ekstraktifnya terlebih dahulu sehingga titik pengambilan sampelnya melalui bor riap menjadi lebih akurat untuk merepresentasikan populasi. Oleh karena itu, tujuan lain dari penelitian ini adalah mengetahui variasi dalam 1 pohon pada 5 senyawa kinon (tektokinon, lapakol, tektol, deoksilapakol dan isomernya) yang merupakan senyawa utama atau bersifat bioaktif pada jati (Sandermann & Simatupang 1966, Thulasidas & Bhat 2007).

Bahan dan Metode

Penyiapan bahan

Eksperimen untuk membandingkan metode ekstraksi dilakukan menggunakan sampel dari penebangan 6 pohon jati (no. 1-6) KU VII dari KPH Purwakarta. Tiap pohon dalam kondisi relatif sehat dan lurus (diameter 50-70 cm) diambil lempengan kayu (*disk*) setebal 5 cm pada ketinggian kira-kira 1 m dari permukaan tanah. Serbuk pada bagian teras luar secara acak diambil dan dihaluskan pada ukuran 40-60 mesh untuk analisis komponen kimia. Untuk mengetahui variasi senyawa kinon dalam satu pohon, dipilih pohon no. 1 yang selanjutnya diambil sampel serbuk kayu pada 16 titik dalam 8 sudut *disk* searah lingkaran tahun atau tangensial (Gambar 1). Metode pengambilan sampel ini mengacu pada DeBell *et al.* (1997) dalam penentuan akurasi ekstraksi untuk kadar tropolon total pada kayu Western Redcedar. Bahan kimia yang dipakai adalah etanol, metanol, benzena, dan aseton dengan grade PA dari Merck. Komponen standar yang dipakai adalah tektokinon (Kanto Chemical), lapakol (Sigma-Aldrich), dan naftakinon (Sigma).

Ekstraksi

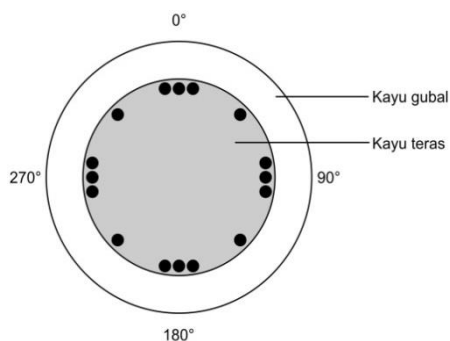
Metode perendaman dingin 2 g serbuk kayu setara kering tanur dengan pelarut metanol dan aseton secara terpisah dilakukan selama 72 jam. Ekstraksi soxhlet dengan pelarut etanol-benzena (1:2 v/v) mengacu pada ASTM D-1107 (1984) dilakukan sebagai pembanding. Kadar ekstraktif dihitung setelah menyaring filtrat, menguapkan pelarut dan menimbang ekstrak keringnya. Ekstraksi soxhlet dengan pelarut etanol-benzena juga dilakukan untuk mengetahui variasi kadar senyawa kinon dalam pohon (Thulasidas & Bhat 2007).

Identifikasi dan kuantifikasi senyawa kinon

Ekstrak dari perendaman dingin dan ekstraksi soxhlet dicuplik dan dilarutkan dalam pelarut yang bersesuaian sehingga diperoleh konsentrasi 100 mg ml⁻¹. Selanjutnya dari supernatan tiap sampel diinjeksikan secara manual ke kromatografi gas (GC Hitachi G-3500, kolom NB-1) dengan kondisi suhu kolom 120~300 °C, suhu deteksi dan injeksi 250 °C, waktu pada suhu maksimal 15 menit, kecepatan 4 °C per menit sedangkan helium dipakai sebagai gas pembawa. Identifikasi komponen memakai kromatografi gas-spektrofotometer massa (GC-MS Shimadzu QP 5000, kolom DB-1) dengan kondisi serupa analisis GC, sedangkan kondisi MS adalah voltase suhu ionisasi 70 eV, suhu transfer 250 °C, dan kisaran pindai 50-500 satuan massa atom. Penentuan kadar komponen berdasarkan persentase luasan puncaknya terhadap total area puncak. Kadar kinon total merupakan penjumlahan dari kadar deoksilapakol dan isomernya, tektokinon, lapakol dan tektol. Identifikasi komponen secara detail dideskripsikan pada penelitian sebelumnya (Lukmandaru & Takahashi 2009, Lukmandaru 2012). Kalibrasi pada alat dilakukan sehingga koefisien variasi tidak melebihi 20% pada sampel yang sama dalam kuantifikasi komponennya.

Analisis data

Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif dan secara statistik menggunakan korelasi Pearson untuk mengetahui keeratan hubungan antar parameter bebas. Perhitungan statistik dilakukan dengan menggunakan program SPSS versi 10.0.



Gambar 1 Skema pengambilan sampel serbuk kayu di bagian teras luar pada berbagai sudut piringan kayu jati.

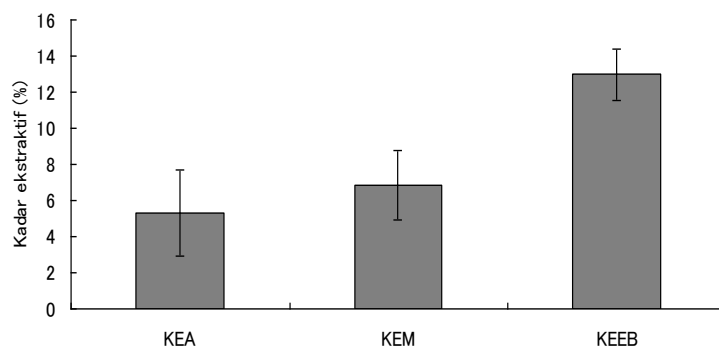
Hasil dan Pembahasan

Evaluasi metode ekstraksi rendaman dingin

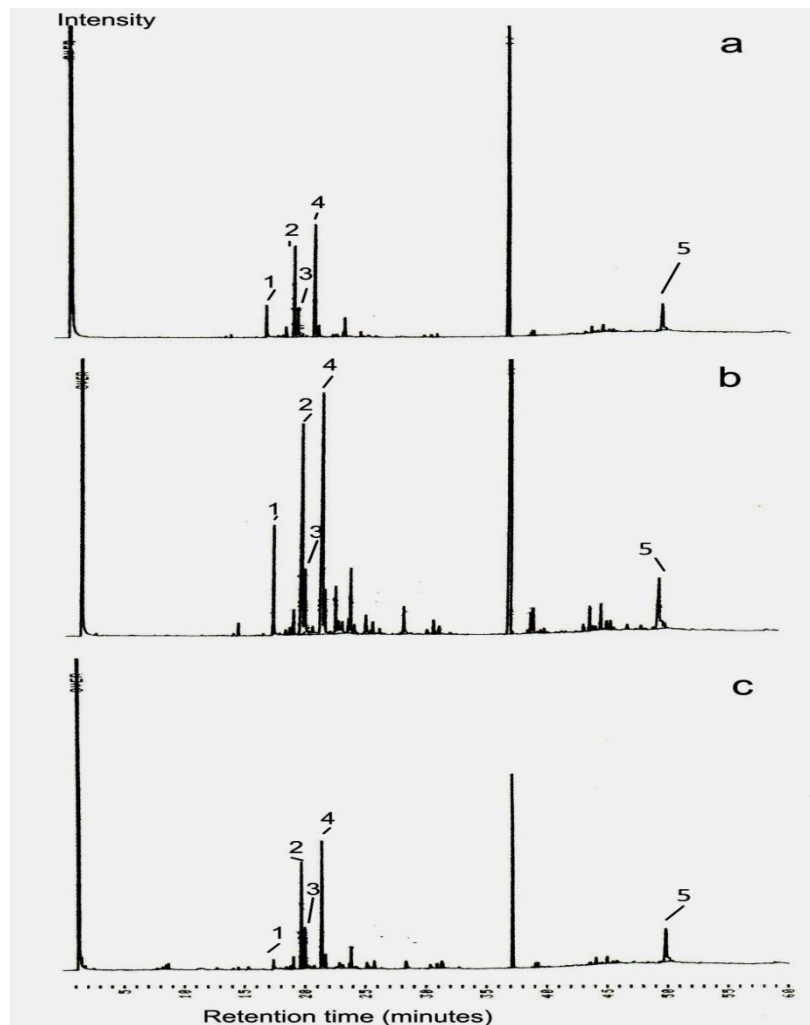
Gambar 2 memperlihatkan kadar ekstraktif terlarut aseton (KEA) dan metanol (KEM) dari 6 pohon menghasilkan kisaran 2,47-8,44% dan 5,11-9,87%, secara berurutan. Nilai tersebut lebih rendah dari kelarutan dalam etanol-benzena (KEB) menghasilkan kisaran 10,69-14,74% seperti yang diduga sebelumnya. Nilai KEB yang relatif tinggi ini wajar karena

sampel pohon cukup tua dan diambil pada bagian teras terluar. Secara matematis, KEM mengekstrak sekitar 37-66% dari ekstraktif keseluruhan (KEB) sedangkan KEA mengekstrak sedikit di bawah KEM (23-61%). Kecuali pada sampel no. 2, nilai KEM pada setiap sampel lebih tinggi dari KEA. Hal tersebut dapat dijelaskan dari polaritasnya dimana metanol lebih polar dari aseton sehingga lebih banyak mengekstrak komponen yang lebih polar dari ekstrak jati.

Untuk mengetahui efektivitas metode rendaman dingin dalam melarutkan kinon, hasil ekstraksi tersebut disajikan pada Gambar 3. Dari urutan puncaknya adalah deoksilapakol (BM = 226), disusul oleh lapakol (BM = 240), isodeksilapakol (BM = 226), tektokinon (BM = 222) serta tektol (BM = 450). Pada grafik juga terlihat puncak terbesar adalah skualena (waktu retensi sekitar 37 menit). Terlihat bahwa untuk konsentrasi dan komponen yang sama, pelarut aseton menghasilkan puncak (*peak*) yang lebih lebar sedangkan pelarut 31 etanol dan etanol-benzena tidak banyak berbeda.



Gambar 2 Rerata kadar ekstraktif pada 6 sampel kayu teras jati dengan 3 pelarut berbeda (*error bar* menunjukkan standar deviasi). Keterangan: KEA = kadar ekstraktif terlarut aseton, KEA: kadar ekstraktif terlarut aseton, KEM = kadar ekstraktif terlarut metanol, KEEB = kadar ekstraktif terlarut etanol-benzena.



Gambar 3 Gas kromatogram dari ekstrak kayu teras jati yang terlarut pada (a) metanol, (b) aseton, dan (c) etanol-benzena. Beberapa komponen utama kinon yang teridentifikasi (sesuai nomor puncak) : deoksilapakol (1), lapakol (2), isodeoksilapakol (3), tektokinon (4), dan tektol (5).

Hasil ini menunjukkan bahwa aseton efektif dalam melarutkan zat kinon melalui perendaman dingin. Sjostrom dan Allen (1999), menyatakan bahwa aseton merupakan pelarut yang baik untuk kebanyakan ekstraktif. Meskipun rendemen tertinggi didapatkan pada etanol-benzena, zat-zat ekstraktif selain kinon juga banyak terlarut sehingga puncak komponen kinon tidak terlalu

besar. Penjelasan yang sama juga dikemukakan apabila membandingkan antara hasil pelarut aseton dan 32 ethanol. Tabel 1 memperlihatkan hasil kuantifikasi 5 macam senyawa kinon dari kayu jati. Jika dihitung berdasarkan relatif terhadap persentase luasan puncak totalnya maka ekstrak metanol memberikan nilai tertinggi untuk tiap komponennya.

Tabel 1 Kadar komponen kinon pada ekstrak kayu teras jati ($n=6$) berdasarkan persentase luas puncak total dalam 3 pelarut berbeda

Pelarut	Kadar (%)				
	Deoksilapakol	Lapakol	Isodeoksilapakol	Tektokinon	Tektol
Metanol					
- Nilai minimum	1,19	1,39	5,75	7,97	7,44
- Nilai maksimum	39,48	16,00	12,95	20,19	15,04
- Rerata	15,23	8,17	8,22	13,67	11,71
- Standar deviasi	16,47	6,63	2,76	5,04	3,06
Aseton					
- Nilai minimum	3,43	0,99	2,85	4,54	4,63
- Nilai maksimum	32,14	11,14	11,54	17,44	10,76
- Rerata	11,73	5,33	6,06	10,33	6,21
- Standar deviasi	12,00	4,20	3,68	6,11	2,30
Etanol-benzena					
- Nilai minimum	2,76	1,18	2,17	4,07	2,25
- Nilai maksimum	31,00	9,43	5,32	14,27	11,40
- Rerata	12,53	4,04	3,74	7,19	6,61
- Standar deviasi	11,04	3,60	1,13	4,81	4,10

Hal ini diduga disebabkan oleh banyaknya senyawa berat molekul tinggi yang tidak terdeteksi oleh kromatografi gas pada ekstrak metanol tetapi tidak terlarut dalam aseton. Standar deviasi yang diperoleh cukup besar yang menunjukkan variasi besar meski sampel diambil dalam KU yang sama. Nilai standar deviasi yang besar tersebut diabaikan karena tujuan penelitian ini adalah ingin mengetahui kecenderungan pada pelarut yang berbeda pada kisaran konsentrasi rendah sampai tinggi. Terlihat bahwa dari nilai relatif reratanya maka urutan konsentrasi terbesar ke terkecil pada pelarut etanol-benzena adalah deoksilapakol > tektokinon > tektol > isodeoksilapakol > lapakol.

Penelitian sebelumnya (Lukmandaru 2012) menunjukkan adanya 3 kemotipe berdasarkan komponen yang dominan pada ekstraktif pada jati di Jawa yaitu tipe skualena, tipe tektokinon dan tipe naftakinon. Data di atas menunjukkan

sampel yang dipakai umumnya memiliki tipe naftakinon karena relatif tingginya nilai deoksilapakol. Kecenderungan tersebut sedikit berbeda apabila menggunakan pelarut aseton dan metanol dimana urutan konsentrasi terbesar ke terkecil pada pelarut etanol-benzena adalah deoksilapakol > tektokinon > tektol > lapakol > isodeoksilapakol.

Dari analisa korelasi (Tabel 2) terlihat bahwa derajat korelasi yang tinggi ($r > 0,9$) antara ekstrak etanol-benzena dengan ekstrak aseton atau ekstrak metanol diukur pada komponen deoksilapakol, lapakol dan tektokinon sedangkan pada 2 komponen lainnya derajat korelasinya cukup moderat ($r = 0,40-0,78$). Hal ini menunjukkan metode rendaman dingin cukup akurat, khususnya aseton, dalam memprediksi kadar senyawa komponen individual di atas dalam ekstrak etanol-benzena. Meski demikian, korelasi tidak nyata diamati di parameter kadar kinon total.

Tabel 2 Koefisien korelasi (r) antara komponen kinon pada ekstrak kayu teras jati pada tiga pelarut berbeda

Komponen	Pelarut	
	Metanol- etanol/benzena	Aseton-etanol/benzena
Deoksilapakol	0,95**	0,99**
Lapakol	0,97**	0,98**
Isodeoksilapakol	0,40*	0,78**
Tektokinon	0,99**	0,93**
Tektol	0,60*	0,72**
Kinon total	0,27	0,56

Keterangan : *= nyata pada taraf uji 5%, ** = nyata pada taraf uji 1%

Jika kelarutan etanol-benzena melalui soxhlet dianggap ideal, penggunaan metode rendaman dingin di atas masih perlu disempurnakan karena kecenderungan rerata berbeda maupun relatif rendahnya derajat korelasi antara ekstrak etanol-benzena dan ekstrak aseton/metanol pada komponen isodeoksilapakol dan tektol, serta kadar kinon total. Metode perendaman dingin untuk penelitian kemotaksonomi atau variasi antar pohon pada spesies lain dengan sampel bor riap telah dilakukan pada kayu *Cryptomeria japonica* (Ogiyama *et al.* 1983) menggunakan metanol untuk mengekstrak senyawa golongan norlignan.

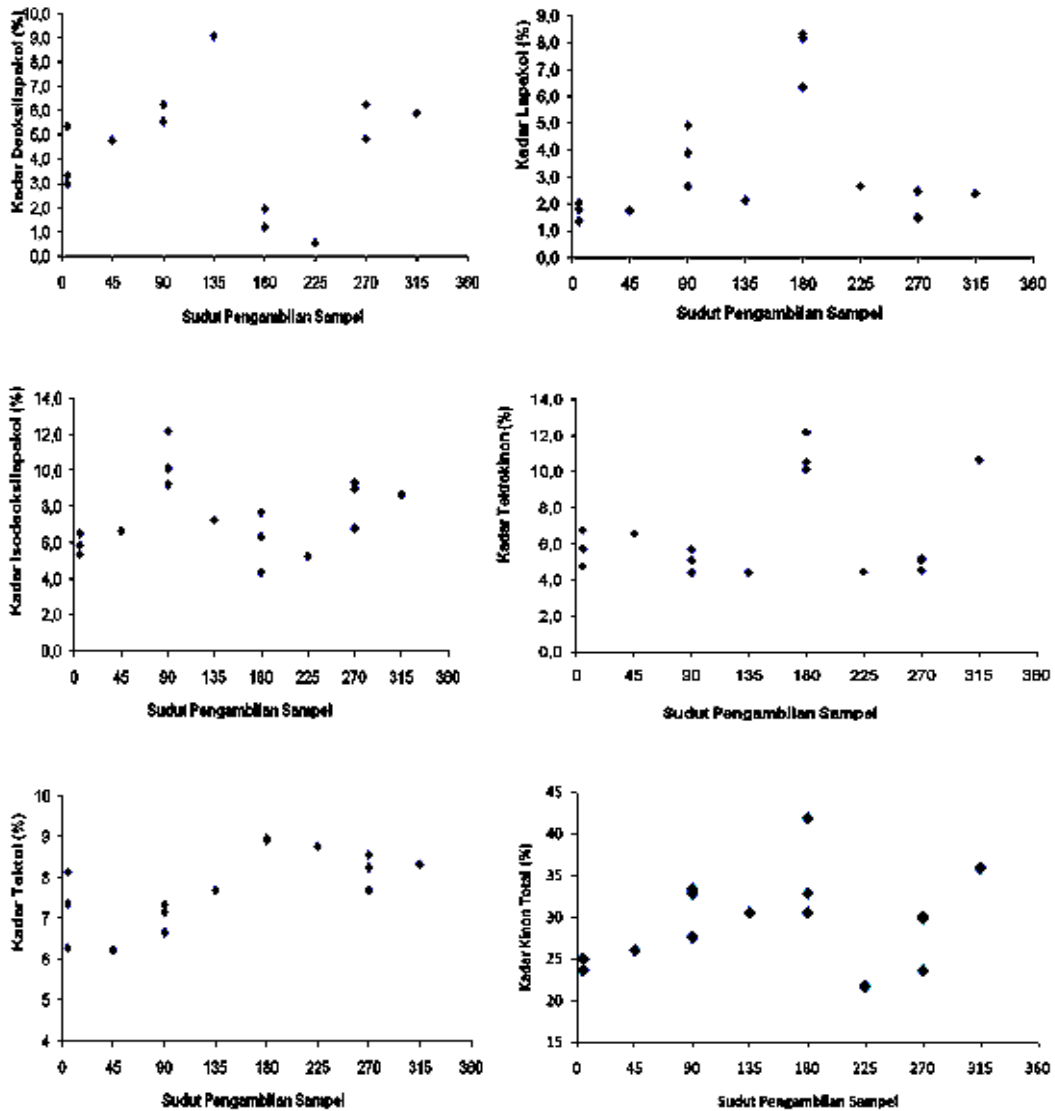
Selanjutnya, pelarut pentana untuk melarutkan kelompok monoterpena pada spesies *Pinus ponderosa* (Latta *et al.* 2000, 2003), maupun campuran etanol-air untuk melarutkan senyawa-senyawa tanin (Mosedale & Savill 1996) serta campuran metanol, air, asam fosfat untuk melarutkan senyawa-senyawa elagitanin (Mosedale *et al.* 1996) pada spesies *Quercus sp.* Pada jati, pencampuran aseton atau metanol dengan senyawa yang non-polar yang tidak bersifat karsinogenik perlu dipertimbangkan sehingga ekstraksi senyawa-senyawa kinon menjadi lebih menyeluruh. Sebelumnya, Nawawi *et al.* (2011) telah mengevaluasi beberapa komposisi

pelarut melalui ekstraksi soxhlet untuk melarutkan tektokinon dalam kayu jati dan didapatkan pelarut toluena-etanol (2:1, v/v) yang paling efektif jika senyawa tersebut dideteksi dengan Pyr-GC-MS.

Variasi kadar kinon dalam pohon

Penelitian ini tidak menggunakan bor riap secara langsung tetapi pengambilan sampel secara konvensional dengan menebang. Pengambilan di kayu teras terluar diasumsikan bor riap akan lebih mudah mengakses bagian tersebut dari keseluruhan kayu teras dan bagian tersebut mempunyai kadar ekstraktif tertinggi pada kayu jati (Sandermann & Simatupang 1966, Lukmandaru & Takahashi 2008). Hasil pengukuran beberapa senyawa kinon yang terlarut dalam ekstrak etanol-benzena bisa dilihat pada diagram pencar (Gambar 4) dan disarikan pada Tabel 3.

Secara keseluruhan didapatkan koefisien variasi antara 11-69% yang menunjukkan bahwa kadar kinon kayu jati bervariasi cukup lebar meski dalam 1 *disk*. Kecuali pada tektol, nilai kadar maksimal bisa melebihi dua kali dari nilai minimalnya. Pada sudut yang sama (3 ulangan) juga didapatkan variasi cukup lebar (lapakol, isodeoksilapakol) meski tidak sebesar variasi antar sudut.



Gambar 4 Pengukuran kadar (%) beberapa senyawa kinon kayu teras jati berdasarkan persentase luas puncak total dengan sampling di berbagai sudut pada sebuah *disk*.

Tabel 3 Data kadar komponen kinon pada ekstrak kayu teras jati

Kadar Komponen	Komponen					
	Deoksi-lapakol	Lapakol	Isodeoksi-lapakol	Tektokinon	Tektol	Kinon total
Nilai kadar minimal (%)	0,55	1,34	4,38	4,41	5,50	21,69
Nilai kadar maksimal (%)	9,08	8,31	12,17	12,21	8,97	41,90
Rerata nilai kadar (%)	4,46	3,36	7,52	6,64	7,75	29,41
Standar deviasi (%)	2,37	2,32	2,14	2,65	0,91	5,30
Koefisien variasi (%)	53,27	69,20	28,43	39,88	11,75	18,02
Sudut pada nilai minimal	225, 180	0, 270	180, 225	90, 135	45, 0	225, 270
Sudut pada nilai maksimal	135, 270	180, 90	90, 270	180, 315	180, 225	180, 315

Cukup beralasan bila pengambilan sampel harus dilakukan pada lebih dari satu tempat untuk menghindari bias. Kisaran nilai minimal, maksimal dan rerata serta posisi dimana nilai-nilai tersebut diambil yang disarikan di Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai maksimal dan minimal berjarak 90 derajat (deoksilapakol, isodeoksilapakol, dan tektokinon) dan 180 derajat (lapakol). Hasil tersebut menyarankan bahwa pengambilan sampel dalam satu pohon sebaiknya dilakukan pada tiga titik yang masing-masing berjarak 90 derajat untuk menghindari bias pada komponen-komponen tunggalnya apabila individu pohon berjumlah relatif sedikit. Hal tersebut tidak diperlukan apabila yang dicari kadar kinon totalnya karena koefisien variasi yang relatif rendah (18%) dalam satu *disk*. Pada kayu *Larix* sp (DeBell *et al.* 1997), disarankan untuk mengambil pada dua posisi dengan selisih 90 derajat dalam satu disk untuk menghindari perbedaan yang tinggi pada kadar tropolon total yang merupakan gabungan dari empat senyawa dari golongan tersebut. Di lain pihak, Latta *et al.* (2000) mendapatkan variasi dalam satu pohon (antara sudut 0 dan 180 derajat) yang relatif kecil pada enam senyawa monoterpena di batang *Pinus ponderosa*.

Kesimpulan

Metode rendaman dingin dengan pelarut aseton dan metanol cukup akurat untuk menggantikan metode ekstraksi soxhlet dengan pelarut etanol-benzena khususnya untuk komponen-komponen deoksilapakol, lapakol dan tektokinon. Penyempurnaan metode diperlukan untuk mendapatkan derajat korelasi yang lebih tinggi antara ekstrak yang terlarut dalam etanol-benzena dengan terlarut aseton maupun metanol pada komponen

isodeoksilapakol, tektol, dan kinon total. Untuk variasi dalam satu pohon, kisaran lebar (koefisien variasi 28-69%) didapatkan pada semua komponen kecuali tektol. Untuk itu, pengambilan sampel serbuk kayu dengan bor riap disarankan dilakukan pada 3 titik yang berjarak 90 derajat dalam arah tangensial *disk*. Meski demikian, koefisien variasi yang relatif rendah (18%) dalam 1 *disk* dihitung di parameter kadar kinon total.

Daftar Pustaka

- [ASTM] American Society for Testing and Materials. 1984. *Standard Test Method for Alcohol-benzene Solubility of Wood*. Designation of D 1107-84. Philadelphia: ASTM.
- DeBell J, Morrell JJ, Gartner BL. 1997. Tropolone contents of increment cores as an indicator of decay resistance in Western Redcedar. *Wood Fiber* 29:364-369.
- Jactel H, Kleinhentz M, Marpeau-Bezard JA, Marion-Poll F, Menassieu P, Burban C. 1996. Terpene variations in maritime pine constitutive oleoresin related to host tree selection by *Dioryctria sylvestrella* Ratz. (Lepidoptera: Pyralidae). *J Chem Ecol.* 22:1037-1050.
- Latta RG, Linhart YB, Lundquist L, Snyder MA. 2000. Patterns of monoterpene variation within individual trees in ponderosa pine. *J Chem Ecol.* 26:1341-1357.
- Latta RG, Linhart YB, Snyder MA, Lundquist L. 2003. Patterns of variation and correlation in the monoterpene composition of xylem oleoresin within populations of ponderosa pine. *Biochem Systematics Ecol.* 31:451-465.

- Lukmandaru G. 2009. Perubahan warna pada kayu teras jati (*Tectona grandis*) doreng melalui ekstraksi berturutan. *J Ilmu Teknol Hasil Hutan*. 2(1):15-20.
- Lukmandaru G. 2010. Sifat kimia kayu jati (*Tectona grandis*) pada laju pertumbuhan berbeda. *J Ilmu Teknol Kayu Tropis*. 8(2):188-196.
- Lukmandaru G. 2012. Chemotaxonomic study in the heartwood in the heartwood of Javanese teak – analysis of quinones and other related components. *Wood Res*. 3(1):30-35.
- Lukmandaru G. 2013. Antifungal activities of certain components of teak wood extractives. *J Ilmu Teknol Kayu Tropis*. 11(1):11-18.
- Lukmandaru G, Takahashi K. 2008. Variation in the natural termite resistance of teak (*Tectona grandis* Linn fil.) wood as a function of tree age. *Ann For Sci*. 65:708 (p1-8)
- Lukmandaru G, Takahashi K. 2009. Radial distribution of quinones in plantation teak (*Tectona grandis* L.f.). *Ann For Sci*. 66:605 (p1-9).
- Mosedale JR, Savill PS. 1996. Variation of heartwood phenolics and oak lactones between the species and phenological types of *Quercus petraea* and *Q. robur*. *Forestry*. 69:47-55.
- Mosedale JR, Charrier B, Crouch N, Janin G, Savill PS. 1996. Variation in the composition and content of ellagitannins in the heartwood of European oaks (*Quercus robur* and *Q. petraea*). A comparison of two French forests and variation with heartwood age. *Ann For Sci*. 53 : 1005-1018.
- Nawawi DS, Suyono, Widyorini AA. 2011. Ekstrak kayu jati sebagai katalis delignifikasi pulping soda. *J Ilmu Teknol Kayu Tropis* 9(2):101-110.
- 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.). *Ann For Sci*. 68:201-211.
- Ogiyama K, Yasue M, Takahashi K. 1983. Chemosystematic study on heartwood extractives of *Cryptomeria japonica* D. Don. *Proceedings of International Symposium on Wood and Pulp Chemistry*, Tsukuba, Japan 1:101–106.
- Sandermann W, Simatupang MH. 1966. On the chemistry and biochemistry of teakwood (*Tectona grandis* L. fil). *Holz Roh Werkst*. 24:190-204.
- Sumthong P, Romero-González RR, Verpoorte R. 2008. Identification of anti-wood rot compounds in teak (*Tectona grandis* L.f.) sawdust extract. *J Wood Chem Technol*. 28:247- 260.
- Sumthong P, Damveld RA, Choi YH, Arentshorst M, Ram AFJ, Van den Hondel CAMJJ, Verpoorte R. 2006. Activity of quinones from teak (*Tectona grandis*) on fungal cell wall stress. *Planta Medica*. 72:943-944.
- Thomson RH. 1971. *Naturally Occurring Quinones* (2nd ed). New York : Academic Press.
- Thulasidas PK, Bhat KM. 2007. Chemical extractive compounds determining the brown-rot decay resistance of teak wood. *Holz Roh-Werkst*. 65:121–124.

Umezawa T. 2001. Chemistry of extractives. Dalam Hon DNS, Shiraishi N (ed). *Wood and Cellulosic Chemistry*. New York: Marcel Dekker.

Yanchuk AD, Spilda I, Micko MM. 1988. Genetic variation of extractives in the wood of

trembling aspen. *Wood Sci Technol*. 22:67-71.

Riwayat naskah:

Naskah masuk (*received*): 20 September 2014

Diterima (*accepted*): 21 November 2014