

Komponen Kimia dan Sifat Antioksidan Kopal (*Chemical Components and Anti-oxidative Properties of Copal*)

Ganis Lukmandaru

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

Penulis korespondensi : ganisarema@lycos.com

Abstract

Analysis of the chemical components and anti-oxidative properties of copals were conducted. Copal samples were procured from 6 trees of *Agathis borneensis* stand established in Banyumas Timur Forest Management Unit. SNI 7634:2011 was referred in chemical analysis of the samples. The copals were dissolved in toluene and ethanol, consecutively. Neutral and acidic fractions were obtained by fractionation of toluene soluble extracts. Total phenolic content of ethanol soluble extracts were determined by Folin-Ciocalteu method. Copal components were detected by GC-MS analysis and anti-oxidative properties were examined by 1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl (DPPH) test. Dirt content, ash content, and acid number were found in the range of 6.25-22.63%, 0.05-0.16%, and 190-378, respectively. Solubility in toluene was of 19-46% and solubility in ethanol was of 53-81% based on extract weights. Neutral and acidic fractions based on toluene extract were in the range of 20-44% and 56-80%, respectively. The components of copal were assigned as resin acid (agathic acid), neutral diterpene derivatives (agathadiol, labdanone, labdadienediol), and alcohol monoterpene. Total phenolic content was in the range of 12-22 mg g⁻¹ extract equivalent to gallic acid. Anti-oxidative values of the presently investigated copal were comparatively low, regardless of the copals were indicated to contain phenolic compounds

Keywords: *Agathis borneensis*, antioxidative properties, copals, extractives, resin

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan sifat kimia dan aktivitas antioksidan (AAO) kopal. Sampel terdiri atas 6 pohon damar (*Agathis borneensis*) yang berasal dari KPH Banyumas Timur. Pengujian sifat kimia mengacu pada SNI 7634:2011. Kopal dilarutkan dengan toluena dan etanol secara berturut-turut. Fraksi asam dan netral diperoleh dari fraksinasi ekstrak toluena. Deteksi komponen penyusun kopal dilakukan melalui analisis GC-MS. Pengukuran kadar fenolat total pada ekstrak etanol dilakukan dengan metode Folin-Ciocalteu. Pengukuran AAO dilakukan melalui uji 1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl (DPPH). Hasil penelitian menunjukkan kadar kotoran 6,25-22,63%, kadar abu 0,05-0,16%, dan bilangan asam 190-378. Kelarutan dalam toluena dan etanol adalah 19-46 dan 53-81% dari berat ekstraknya. Fraksi netral berkisar 20-44%, sedangkan fraksi asam 56-80% dari ekstrak toluena. Beberapa komponen penyusun kopal yang terdeteksi adalah asam resin seperti asam agatolat, turunan diterpena netral (agatadiol, labdanon, dan labdadiendioat), serta monoterpena alkohol. Kadar fenolat total dalam sampel 12-22 mg g⁻¹ ekstrak setara asam galat. Meski terindikasi mengandung komponen fenolat, fraksi etanol memiliki AAO yang relatif kecil dalam menangkap gugus radikal.

Kata kunci: *Agathis borneensis*, aktivitas antioksidan, ekstraktif, getah, kopal

Pendahuluan

Salah satu komoditas andalan hasil hutan bukan kayu (HHBK) adalah kelompok resin. Sebagai contoh adalah getah pinus yang banyak disadap dari tegakan dari Perhutani di Jawa untuk menghasilkan olahan berupa gondorukem dan terpentin beserta derivatnya. Andalan lainnya adalah kopal yang disadap dari pohon damar (*Agathis* sp). Berdasarkan sifat fisik dan kimianya, getah pinus masuk dalam sub-kelompok *oleoresin*, sedangkan kopal masuk dalam resin vernis dan lakuer (Langenheim 2003).

Sejak lama kopal dari berbagai tempat tumbuh telah digunakan sebagai bahan pewangi untuk keperluan upacara keagamaan, pengawet makanan, dan pengobatan untuk beberapa penyakit (Gigliarelli *et al.* 2015). Kopal banyak digunakan untuk bahan vernis serta barang seni seperti penyepuh bingkai, bahan aditif untuk memberi kekakuan lapisan, dan bahan fiksatif dalam suatu lukisan (Doerner 1998). Meski kegunaannya bervariasi, data penelitian sifat kimia kopal di Indonesia, khususnya di Perhutani, masih sangat terbatas. Penelitian sebelumnya untuk sifat fisiko-kimia serta penggunaannya sebagai vernis telah dilakukan dengan menggunakan bahan kopal dari Perhutani KPH Probolinggo (Waluyo *et al.* 2004a, Waluyo *et al.* 2004b) serta KPH Pekalongan Timur dan Banyumas Barat oleh Ando dan Wiyono (1988). Untuk menambah informasi mengenai variasi kopal di Jawa, penelitian ini bertujuan mengeksplorasi sifat kimia kopal dari KPH Banyumas Timur. Penelitian pendahuluan pada kopal dari wilayah tersebut didapatkan komposisi ekstrak polar dan non polarnya (Lukmandaru 2015). Selain itu, kemungkinan kopal sebagai bahan

antioksidan alami juga dibahas sebagai alternatif pemanfaatan di bidang farmasi.

Bahan dan Metode

Penyiapan bahan

Kopal diperoleh dari 6 pohon damar (*Agathis borneensis*) yang tumbuh di KPH Banyumas Timur sekitar taman wisata Baturaden dengan jenis tanah latosol dan iklim basah. Kopal diambil dari bagian sadapan sekitar diameter setinggi dada (kisaran diameter pohon 30-45 cm). Dari pengamatan secara visual di lapangan, terlihat bahwa warna getah kopal cukup bervariasi, dari yang kuning keputihan sampai yang kuning kehitaman. Penomoran dari nomor 1-6 diurutkan dari getah yang berwarna cerah sampai yang paling menghitam (Gambar 1).



Gambar 1 Sampel kopal dari tegakan di KPH Banyumas Timur.

Analisis sifat kimia

Kopal dihaluskan sampai melewati saringan 200 mesh. Parameter kadar kotoran, abu, dan bilangan asam ditentukan mengacu pada SNI 7634:2011 untuk kopal (BSN 2011). Ekstraksi kopal sebanyak 2 g secara berturut-turut dilakukan dengan pelarut toluena dan etanol melalui pemanasan refluks selama 30 menit. Ekstrak terlarut kemudian pelarutnya diuapkan dengan *rotary evaporator* untuk mendapatkan ekstrak

padatnya. Ekstrak padat kemudian ditimbang untuk dihitung kadar ekstrak terlarutnya.

Fraksinasi lanjutan dilakukan pada ekstrak terlarut toluena. Ekstrak tersebut dilarutkan dengan toluena kemudian dipindahkan ke corong pemisah. Dengan proporsi yang sama, NaOH 1% (dua kali) ditambahkan dan dikocok sehingga didapatkan 2 lapisan. Lapisan yang terlarut toluena kemudian dicuci dengan aquades, ditambahkan pengikat air sodium sulfida secukupnya, dan didiamkan selama 24 jam. Pelarut diuapkan sehingga didapatkan ekstrak kering merupakan fraksi netral. Fraksi terlarut NaOH 1% diasamkan dengan asam klorida pekat sampai mencapai pH 2-3 dan ditambahkan toluena dengan proporsi yang sama (dua kali) sampai didapatkan 2 lapisan. Lapisan terlarut toluena ini merupakan fraksi asam. Metode untuk mendapatkan ekstrak keringnya adalah sama perlakuannya dengan saat memperoleh fraksi netral. Perhitungan kadar ekstrak dilakukan pada kedua fraksi tersebut melalui penimbangan ekstrak keringnya.

Penentuan kadar fenolat total (KFT) dilakukan pada ekstrak terlarut etanol mengacu metode kolorimetris Folin-Ciocalteu (Gao *et al.* 2006). Sebanyak 0,5 ml larutan ekstrak dalam etanol (8 mg ml⁻¹) dicampur dengan 2,5 ml reagen Folin-Ciocalteu yang telah diencerkan 10 kali dan dibiarkan selama 2 menit pada suhu ruang. Selanjutnya ditambahkan 2 ml dari Na₂CO₃ 7,5% dan dibiarkan selama 30 menit dalam suhu ruangan. Absorbansi dari larutan tersebut kemudian diukur pada 765 nm menggunakan spektrofotometer UV-VIS. KFT dinyatakan dalam mg g⁻¹ ekstrak setara asam galat (SAG) dari kurva kalibrasi ($y=0,010x+0,005$, $r^2=0,99$).

Pengujian dilakukan dengan 3 ulangan dan diambil reratanya.

Analisis kimia dengan kromatografi gas-spektrometri massa (GC-MS)

Ekstrak terlarut toluena (fraksi netral dan asam) dan terlarut etanol dalam konsentrasi 1 mg ml⁻¹ dari sampel no. 1 diinjeksikan ke dalam kolom GC-MS (Shimadzu QP 2010). Jenis kolom adalah RTx-5MS (Restek Corp.) dengan panjang 30 m, suhu injektor dan detektor 250^oC, dan suhu operasi 120-300^oC. Kenaikan suhu pada 120-300^oC diatur dengan laju kenaikan suhu 4^oC per menit ditahan kemudian ditahan selama 15 menit pada suhu 300^oC. Identifikasi senyawa dilakukan dengan menggunakan *software* Wiley 8 Library.

Pengukuran aktivitas antioksidan

Ekstrak terlarut etanol diuji berdasarkan efek penangkap radikal pada radikal bebas DPPH stabil. Sebanyak 0,1 ml larutan ekstrak dalam etanol pada konsentrasi 0,25; 0,50; 1,0; 2,0; 4,0; dan 8 mg g⁻¹ masing-masing ditambahkan pada larutan DPPH 0,04% dalam metanol sebanyak 5 ml dan dibiarkan bereaksi pada suhu ruangan (Gao *et al.* 2006). Setelah 30 menit, nilai absorbansi diukur pada 517 nm menggunakan spektrofotometer UV-VIS dan diubah menjadi aktivitas antioksidan (AAO) melalui persen penghambatan dengan rumus:

$$\text{Penghambatan (\%)} = 100 \times (A_0 - A_1) / A_0$$

A₀ merupakan absorbansi dari blanko sedangkan A₁ merupakan absorbansi sampel dengan ekstrak. Selanjutnya dihitung nilai IC₅₀ yang merupakan konsentrasi antioksidan yang menghambat 50% reaksi DPPH melalui plotting persen penghambatan terhadap beberapa konsentrasi ekstrak. Nilai yang

rendah menandakan aktivitas penangkapan radikal yang tinggi. kuersetin komersial (MERCK) digunakan sebagai kontrol positif. Pengujian dilakukan dengan 3 ulangan kemudian dirata-rata.

Hasil dan Pembahasan

Sifat kimia

Persyaratan dalam SNI, untuk mutu utama dalam warna adalah kuning bening sampai kuning pucat (BSN 2011). Dari Tabel 1, sampel sudah memenuhi kriteria tersebut tetapi ada beberapa sampel yang menghitam yang disebabkan adanya kotoran. Penentuan sifat kimia kopal dari 6 pohon disajikan di Tabel 2. Kadar abu dan kotoran kopal lebih kecil dari 0,3% dan 3%, secara berturutan, sedangkan bilangan asam dalam kisaran 125-150. Dari rerata yang diperoleh maka hanya kadar abu saja yang masuk dalam standar. Apabila dibandingkan dengan nilai kopal dari Probolinggo (Waluyo *et al.* 2004a), maka rerata kadar abu yang diperoleh dalam penelitian ini lebih rendah sedangkan kadar kotoran dan bilangan asamnya masih dalam kisarannya. Selanjutnya nilai kadar kotoran dan bilangan asamnya lebih tinggi bila dibandingkan kopal dari Banyumas Barat dan Pekalongan Timur (Ando dan Wiyono, 1988). Hal tersebut mengindikasikan adanya variasi sifat kimia karena faktor geografis atau tempat tumbuh.

Apabila dihubungkan dengan warna kopalnya, diasumsikan warna gelap dalam getah maka akan semakin banyak kotorannya. Tetapi kecenderungan tersebut tidak begitu terlihat meskipun persen kotoran tertinggi diamati pada sampel tergelap (no. 6). Demikian juga untuk parameter lainnya meski sampel tergelap menunjukkan kadar abu dan

kadar ekstraktif larut toluena tertinggi serta kadar ekstraktif larut etanol terendah. Kecenderungan tersebut sejalan dengan bilangan asam.

Tabel 2 menunjukkan fraksi polar (53-81%) lebih tinggi dibandingkan dengan fraksi non polar. Hal ini ditunjukkan oleh rendahnya kelarutan dalam toluena di penelitian ini meskipun belum diketahui apakah ada pengaruh umur pohon terhadap komposisi polar/non-polarnya. Komponen utama dari kopal adalah senyawa diterpena tipe labdana yaitu asam komunat (Gambar 2) yang berpolimerisasi menjadi asam polikomunat (Langenheim 2003). Sifat polar dan kelarutan yang rendah ini disebabkan oleh adanya polimerisasi asam komunat (Romero-Noguera *et al.* 2014). Sifat ini tentunya berlawanan dengan getah dari kelompok *oleoresin* seperti halnya getah pinus yang hampir seluruhnya bisa larut dalam pelarut non-polar. Penelitian pendahuluan dengan beberapa pelarut non-polar menunjukkan variasi berdasarkan pelarut maupun kondisi fisik getah (Lukmandaru 2015).

Fraksinasi ekstrak terlarut toluena dengan metode pemisahan cair-cair (*liquid-liquid extraction*) menghasilkan fraksi netral dan asam (Gambar 3). Dari hasil penentuan kadar ekstraknya, fraksi asam lebih dominan (56-80%) dibandingkan netralnya (20-44 %). Hal ini menandakan lebih banyaknya komponen getah yang berupa asam diterpena dibandingkan yang kelompok diterpena netral. Meski demikian, hasil penentuan bilangan asam (Tabel 2) tidaklah berkorelasi langsung dengan kadar fraksi asamnya. Nilai tertinggi bilangan asam pada sampel no. 1 dan 2 memang berhubungan dengan nilai fraksi asam tertinggi di sampel yang sama, tetapi kecenderungan yang sama tidak diamati untuk sampel no 3-6.

Tabel 2 Sifat kimia getah kopal dari tegakan KPH Banyumas Timur

No Sampel	Kadar				
	Kotoran, %	Abu, %	Ekstraktif larut toluena, %	Ekstraktif larut etanol, %	Bilangan asam
1	6,25	0,09	38,84	61,15	378,00
2	10,38	0,11	19,95	80,04	252,00
3	12,45	0,10	33,32	66,67	241,00
4	16,35	0,05	35,18	64,81	232,00
5	9,96	0,05	41,53	58,46	224,00
6	22,63	0,16	46,52	53,47	190,00
Rerata	13,00	0,09	35,89	64,10	252,83

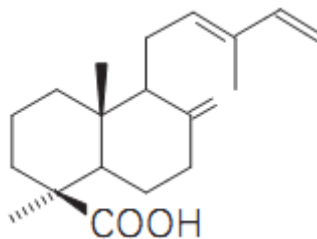
Bilangan asam diduga dipengaruhi oleh ekstraktif terlarut etanol seperti senyawa fenolat yang secara teoritis merupakan asam lemah.

Ekstrak terlarut etanol selanjutnya dianalisis kadar fenolat totalnya (KFT) yang hasilnya bisa dilihat di Gambar 4. Nilai KFT dalam kisaran 12-22 mg g⁻¹ ekstrak SAG ekstrak dimana nilai tertinggi diamati pada sampel nomor 3 (21,1 mg g⁻¹ ekstrak SAG). Apabila dihubungkan dengan nilai bilangan asam maupun kadar terlarut etanol, tidak diamati adanya kecenderungan yang jelas. Hal ini diduga karena adanya pengaruh muatan asam lainnya dari kelompok terpena seperti asam resin (*resin acids*).

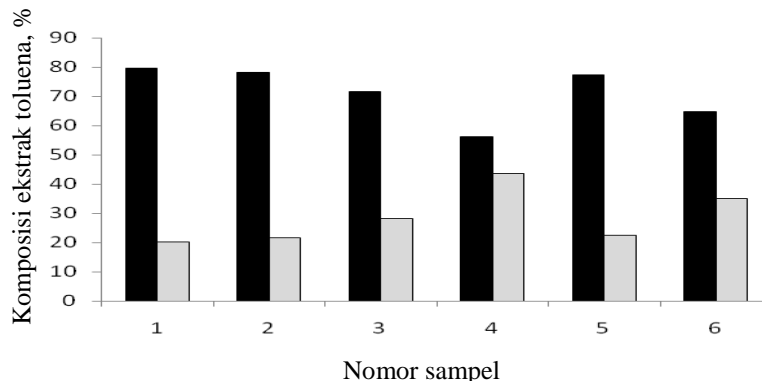
Data mengenai komposisi kimia kopal masih relatif terbatas apabila dibandingkan dengan komposisi kimia kopal dari famili Burseraceae (Gigliarelli *et al.* 2015, Case *et al.* 2003). Analisis GC-MS ini bertujuan untuk mendeteksi senyawa dengan berat molekul rendah di tiga fraksi kopal. Kromatogram GC-MS (Gambar 5) menunjukkan tidak ada senyawa yang sama berdasarkan pola retakan spektrofotometer massa-nya dari

ketiga fraksi tersebut atau fraksinasi yang dilakukan sudah cukup baik. Komponen kimia yang terdeteksi melalui *Wiley Library* disajikan dalam Tabel 3. Fraksi netral menunjukkan lebih banyak komponen yang teridentifikasi (6 komponen). Derivat seskuiterpena (C₁₅) dan derivat diterpena (C₂₀) terdeteksi di fraksi asam (asam agatolat, dimetil labdadienadioat) dan fraksi netral (agatadiol, labdanenon, labdadiendioat), sedangkan monoterpena alkohol (C₁₀) diamati di fraksi larut etanol. Dalam ekstrak terlarut etanol, puncak no 11 berdasarkan pola retakan spektrum massanya (m/z) diduga adalah komponen asam dikarbosilat benzena dibutil ester, sedangkan puncak nomor 12 dan 13 merupakan senyawa isomer siklik dengan berat molekul tinggi. Puncak no. 14-16 di fraksi etanol merupakan artefak berdasarkan pola retakan di spektrofotometer massa sehingga tidak diidentifikasi.

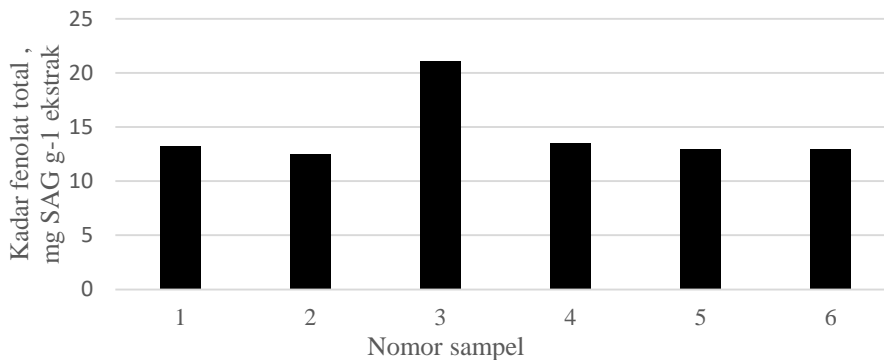
Asam resin diterpena seperti asam agatolat dan ester seperti norlabdadienoat atau metil norlabdadienoat sebelumnya diidentifikasi di kopal (Romero-Noguera *et al.* 2014).



Gambar 2 Struktur kimia dari asam komunit.



Gambar 3 Komposisi ekstrak terlarut toluena (persen berat ekstrak) ■: asam dan □: netral dari getah kopal dari tegakan KPH Banyumas Timur.



Gambar 4 Kadar fenolat total ekstrak terlarut etanol (mg g⁻¹ ekstrak setara asam galat) dari getah kopal dari tegakan KPH Banyumas Timur.

Asam resin di penelitian tersebut seperti asam isopimaric, asam agat, dan asam sandaracopimaric tidak terdeteksi dalam eksperimen ini karena metode penyiapan sampel di fraksi asamnya tidak melalui derivatisasi. Demikian juga komponen fenolat, yang telah dihitung kadarnya di fraksi etanol (Gambar 4), juga tidak terdeteksi. Hal tersebut diduga karena

fenolat yang ada bersifat lebih polar dan berberat molekul relatif tinggi sehingga tidak terdeteksi oleh kolom di GC-MS. Untuk itu, penerapan derivatisasi dan pemakaian HPLC untuk identifikasi fenolat di penelitian mendatang perlu dilakukan untuk mendapatkan informasi komponen yang lebih lengkap. Demikian juga penggunaan GC-MS pirolisis (GC-

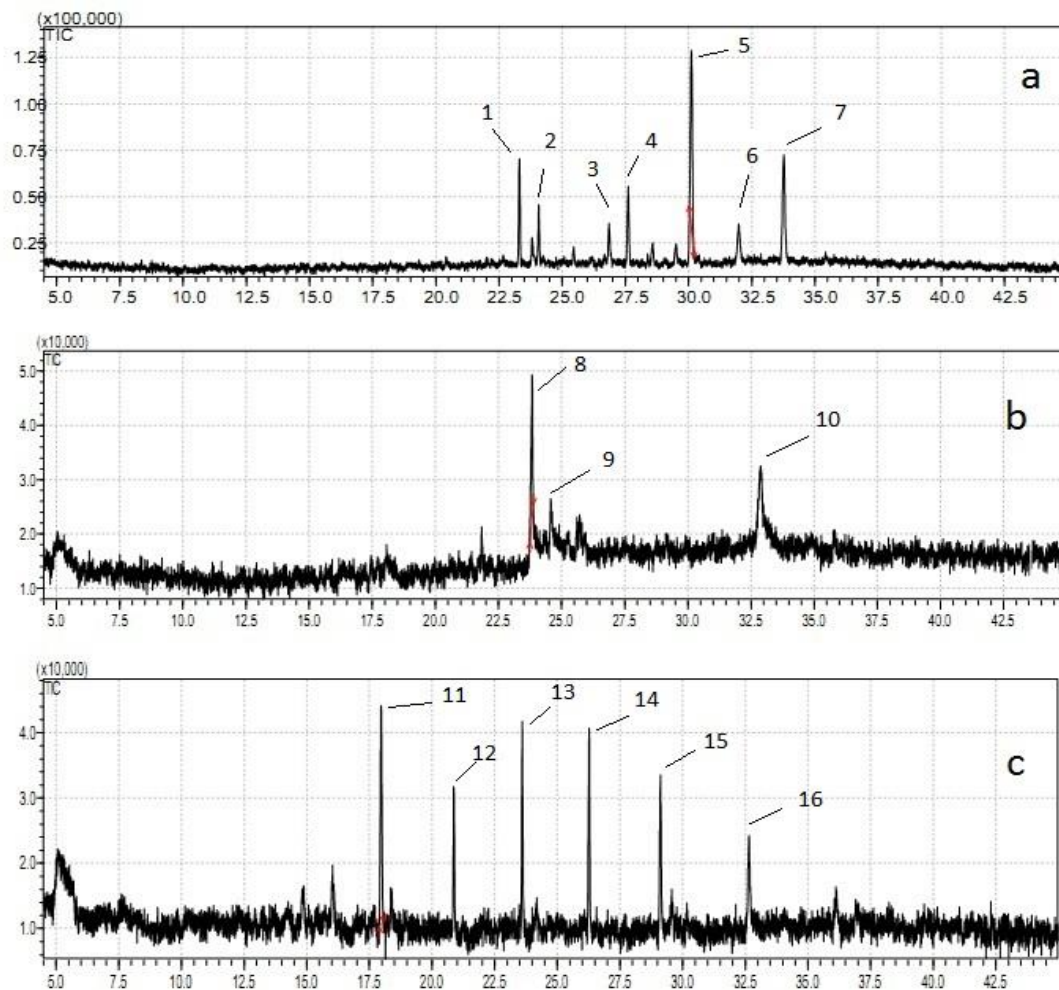
pyr) untuk memastikan keberadaan asam komunat yang terpolimerisasi.

Aktivitas antioksidan (AAO)

Senyawa antioksidan berpotensi untuk menunda atau mencegah oksidasi dari senyawa kimia lainnya sehingga bagi kesehatan berguna dalam mempertahankan tubuh dari kerusakan sel akibat adanya unsur radikal bebas. Aktivitas antioksidan berkorelasi dengan kadar fenolat totalnya (Gao *et al.* 2006) maupun dengan senyawa diterpena (Wang *et al.* 2002). Senyawa polifenolat yang ada dalam tanaman umumnya bertindak sebagai antioksidan karena

kemampuan mengurangi kerusakan sel dan membantu mencegah kanker, peradangan, dan penuaan karena aktivitas penangkapan radikal (Diouf *et al.* 2009).

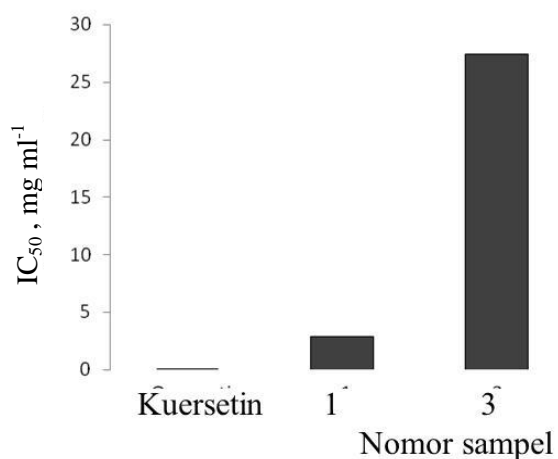
Penelitian antioksidan pada getah golongan resin telah dilakukan pada getah jernang. Ekstrak larut metanol dan etil asetat jernang menunjukkan AAO (Waluyo dan Pasaribu 2013). Untuk kopal sendiri, beberapa penelitian bioaktivitas dilakukan pada kopal dari famili Burseraceae tetapi belum dilakukan uji AAO (Gigliarelli *et al.* 2015).



Gambar 5 Kromatogram GC-MS dari ekstrak fraksinasi kopal sampel no. 1 yaitu (a) terlarut diklorometana - netral, (b) terlarut diklorometana - asam, dan (c) terlarut etanol.

Tabel 3 Komponen ekstraktif dari kopal (sampel no. 1) yang teridentifikasi oleh GC-MS.

No	Komponen	Waktu retensi, menit	Rumus empiris	Berat molekul	Indeks kesamaan, %
Fraksi netral					
1	Labdanenon	23,3	C ₂₀ H ₃₂ O ₂	304	77
2	Beta elemena	23,8	C ₁₅ H ₂₄	204	77
3	Epiglobulol	26,8	C ₁₅ H ₂₆ O	222	78
4	Globulol	27,5	C ₁₅ H ₂₆ O	222	78
5	Labdadiendioat	30,1	C ₂₂ H ₃₄ O ₄	362	85
6	Tidak teridentifikasi	31,9	-	-	-
7	Agatadiol	33,6	C ₂₀ H ₃₄ O ₂	306	76
Fraksi asam					
8	Asam Agatolat	23,8	C ₂₀ H ₃₂ O ₂	304	75
9	Tidak teridentifikasi	24,5	-	-	-
10	Dimetil labdadienadioat	32,8	C ₂₂ H ₃₄ O ₄	362	54
Fraksi etanol					
11	Asam benzenadikarboksilat dibutil ester	17,9	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	278	80
12	Isopropenil metil sikloheksenol	20,8	C ₁₀ H ₁₄ O	150	82
13	Isopropenil metil sikloheksenadiol	23,6	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	170	93



Gambar 6 Nilai IC₅₀ untuk konsentrasi penghambatan reaksi DPPH pada kopal.

Hasil pengukuran AAO melalui metode penangkapan ion radikal dengan DPPH disajikan di Gambar 6. Konsentrasi yang diuji bervariasi antara 0,25-8 mg ml⁻¹ ekstrak. AAO yang tinggi digambarkan dengan konsentrasi yang rendah tetapi persen penghambatan yang tinggi atau IC₅₀ yang memberi nilai konsentrasi yang bisa menghambat 50%. Dibandingkan dengan anti-oksidan alami kuersetin (IC₅₀ = 0,09 mg ml⁻¹), AAO dari ekstrak terlarut etanol ini masih sangat rendah. Sampel 1, 3, dan 6 masing-masing dengan nilai 2,8; 27,4; dan 5,2 mg ml⁻¹, sedangkan sampel sisanya (2, 4, dan 5) tidak menunjukkan adanya penghambatan meskipun dalam konsentrasi tertinggi (8 mg ml⁻¹). Nilai AAO tersebut mengindikasikan hubungan AAO dengan nilai KFT tidak terlihat jelas dalam eksperimen ini.

Secara teoritis, senyawa fenolat dalam getah resin umumnya dalam bentuk fenolat sederhana, flavonoid, lipofilik-flavonoid, dan fenolat terprenilasi (Langenheim 2003). Rendahnya nilai tersebut diduga karena relatif sedikitnya komponen fenolat dalam kopal untuk menghasilkan penghambatan yang nyata pada DPPH. Hasil analisis dengan GC-MS tidak mengindikasikan adanya komponen fenolat sederhana dalam ekstrak terlarut etanol (Tabel 3). Untuk itu, penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk mengetahui komponen fenolat maupun non-fenolat yang memengaruhi intensitas AAO pada kopal.

Kesimpulan

Sampel kopal 6 pohon dari tegakan *A. borneensis* di KPH Banyumas Timur telah dianalisis sifat kimia dan AAOnya. Kadar kotoran dan abu kopal tersebut adalah 6,25-22,63% dan 0,05-0,16%. Kadar ekstraktif larut toluena dan etanol

berturut-turut adalah 19-46% dan 53-81% dari berat ekstraknya dengan kisaran bilangan asam 190-378. Ada kecenderungan kopal yang berwarna gelap memberikan nilai bilangan asam yang lebih rendah. Fraksi netral menyusun 20-44%, sedangkan fraksi asam dalam kisaran 56-80% dari ekstrak non-polar (larut toluena). Kadar fenolat total adalah 12-22 mg g⁻¹ ekstrak SAG. Analisis GC-MS menunjukkan adanya derivat diterpena dan seskuiterpena di fraksi netral dan asam, sedangkan monoterpena dideteksi di fraksi larut etanol. Nilai AAO cukup kecil untuk semua sampel yang diamati sehingga disimpulkan kopal tidak efektif sebagai bahan penangkap radikal bebas.

Daftar Pustaka

- Ando Y, Wiyono B. 1988. Sifat-sifat kopal dari Pekalongan Timur dan Banyumas Barat. *J Penelit Hasil Hutan* 5(6):353-356.
- [BSN] Badan Standarisasi Nasional. 2011. *Kopal: SNI 7634:2011*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Case RJ, Tucker AO, MacIarello MJ, Wheeler KA. 2003. Chemistry and ethnobotany of commercial incense copals, copal blanco, copal oro, and copal negro, of North America. *Economic Botany* 57(2):189-202.
- Diouf PN, Stevanovic T, Cloutier A. 2009. Antioxidant properties and polyphenol contents of trembling aspen bark extracts. *Wood Sci Technol* 43:457-470.
- Doerner M. 1998. *The Materials of the Artist and Their Use in Painting*. San Diego: Harcourt.
- Gao H, Shupe TF, Hse CY, Eberhardt TL. 2006. Antioxidant activity of extracts from the bark of

- Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parl. *Holzforschung* 60:459–462.
- Gigliarelli G, Becerra JX, Curini M, Marcotullio MC. 2015. Chemical composition and biological activities of fragrant Mexican copal (*Bursera* spp.) *Molecules* 20:22383–22394.
- Langenheim JH. 2003. *Plant Resins: Chemistry, Evolution, Ecology, and Ethnobotany*. Portland: Timber Press.
- Lukmandaru G. 2015. Fraksinasi kopal dengan berbagai pelarut organik. *Prosiding Seminar Nasional “Peranan dan Strategi Kebijakan Pemanfaatan Hasil Hutan Bukan Kayu (HHBK) dalam Meningkatkan Daya Guna Kawasan (Hutan); 2014 Agustus 6-7; Yogyakarta*. Yogyakarta: UGM. hlm 382-386.
- Romero-Noguera J, Martín-Sánchez I, Doménech-Carbó MT, Osete-Cortina L, López-Miras MM, Bolívar-Galiano F. 2014. Analytical characterisation of the biodeterioration of diterpenoid labdanic varnishes used in pictorial techniques: Sandarac and copal. *Internat Biodeteriorat Biodegrad*. 90:99-105.
- Waluyo T, Dalian E, Edriana E. 2004a. Percobaan pembuatan pernis dari kopal asal Probolinggo. *J Penelit Hasil Hutan* 22(2):35–41.
- Waluyo T, Sumadiwangsa ES, Hastuti P, Kusmiyati E. 2004b. Sifat-sifat kopal dari Probolinggo, Jawa Timur. *J Penelit Hasil Hutan* 22(1):87–94.
- Waluyo TK, Pasaribu G. 2013. Aktifitas antioksidan dan antikoagulasi resin jernang. *J Penelit Hasil Hutan* 31(4): 306-315.
- Wang SY, Wu JH, Shyur LF, Kuo YH, Chang ST. 2002. Antioxidant activity of abietane-type diterpenes from heartwood of *Taiwania cryptomerioides* Hayata. *Holzforschung* 56:487–492.
- Riwayat naskah:
Naskah masuk (*received*): 22 Agustus 2016
Diterima (*accepted*): 30 September 2016