

**EFEKTIVITAS PEMBENTUKAN GAHARU
DAN KOMPOSISI SENYAWA RESIN GAHARU PADA *Aquilaria* spp.
(Effectiveness of Agarwood Formation and the Resin Composition of *Aquilaria* spp.)***

Oleh/By:

Erdy Santoso, Luciasih Agustini, Irnayuli R. Sitepu¹⁾, dan/and Maman Turjaman²⁾

Pusat Litbang Hutan dan Konservasi Alam

Jl. Gunung Batu No. 5 Po Box 165; Telp. 0251-633234, 7520067; Fax 0251-638111 Bogor

¹⁾irnars@hotmail.com; ²⁾turjaman@yahoo.com.sg

*) Diterima : 28 September 2007; Disetujui : 19 Desember 2007

ABSTRACT

Gaharu is produced through a unique pathological mechanism as a response towards fungal infection on gaharu-producing trees, such as Aquilaria spp. A formation of gaharu is shown by a browning symptom on infected area due to accumulation of resin, secondary metabolites which determine the quality of gaharu. It is still difficult to find a standard to classify its resin quality. The aim of this study was to obtain information on the effectiveness of 14 agarwood-producing fungi on browning formation on Aquilaria spp. and the resin composition of both naturally- and artificially-induced agarwood. Fusarium solani Ga-7a was the most effective agarwood inducer by forming the longest browning distant vertically of 12.7 cm, however two fungi: F. solani Ga-4a and Cyindrocarpon sp. Ga-8b only induced the shortest distant of 2.23 and 2.13 cm, respectively. The widest horizontal distant was induced by F. solani Ga-4b and F. triticum Ga-3 of 3.27 and 3.03 cm, respectively. Cyindrocarpon sp. Ga-8b induced the narrowest symptom of 1.50 cm. Gas Chromatography Mass Spectrophotometry analysis suggested that natural kamedangan grade contained 120 compounds, and generally were sesquiterpenoid (C₁₅) groups or their derivatives. Six of the isolates were potent gaharu inducers by producing methyl-hexadecanoate and/or palmitic acid; hexadecanoic acid, slightly similar to that of obtained from kamedangan grade. Further study should include investigation on the effect of biotic and abiotic factors on the formation of artificial agarwood.

Key words : Agarwood, browning, sesquiterpenes, GCMS

ABSTRAK

Gaharu terjadi melalui proses patologis yang unik akibat respon terhadap infeksi jamur pada pohon pembentuk gaharu, seperti *Aquilaria* spp. Pembentukan gaharu ditandai oleh proses pencoklatan jaringan batang pada area terinfeksi akibat akumulasi resin, yaitu metabolit sekunder yang merupakan senyawa penentu kualitas gaharu. Standar untuk menentukan kualitas resin gaharu masih sulit ditemukan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi tentang efektivitas 14 jamur pembentuk gaharu dalam membentuk gejala kecoklatan pada gaharu dari jenis *Aquilaria* spp. dan komposisi resin pada gaharu alami dan buatan. *Fusarium solani* Ga-7a adalah jamur yang paling efektif dalam menginduksi gejala kecoklatan secara vertikal, yaitu 12,7 cm, tetapi dua jamur: *F. solani* Ga-4a dan *Cyindrocarpon* sp. Ga-8b menghasilkan jarak kecoklatan terpendek, yaitu 2,23 dan 2,13 cm. Jarak horizontal terlebar didapat pada batang yang diinduksi oleh *F. solani* Ga-4b and *F. triticum* Ga-3, yaitu 3,27 dan 3,03 cm. *Cyindrocarpon* sp. Ga-8b menghasilkan jarak yang paling sempit, yaitu 1,50 cm. Analisis dengan *gas chromatography mass spectrophotometry* mengindikasikan bahwa kelas *kamedangan* alami terdiri dari 120 senyawa resin dan umumnya tergolong sesquiterpenoid (C₁₅) atau senyawa turunannya. Enam dari isolat yang diujikan berpotensi menginduksi senyawa methyl-hexadecanoate dan/atau palmitic acid; hexadecanoic acid, yang memiliki kemiripan yang rendah dengan senyawa dari kelas *kamedangan*. Penelitian selanjutnya pengaruh faktor biotik dan abiotik dalam pembentukan gaharu artifisial seyogyanya segera dilakukan.

Kata kunci : Produksi gaharu, *browning*, sesquiterpenes, GCMS

I. PENDAHULUAN

Gaharu, yang disebut juga *agarwood*, *aloewood*, *eaglewood* atau *karas* sebagai salah satu hasil hutan yang bernilai

ekonomi tinggi, terjadi melalui fenomena patologis yang unik. Gaharu banyak digunakan sebagai bahan dasar minyak wangi, dupa bakaran, dan obat tradisional di Asia Timur (Yagura *et al.*, 2005).

Kebutuhan dan minat terhadap gaharu semakin meningkat beberapa tahun belakangan ini, dan Biro Pusat Statistik mencatat selama 1981-1996, Indonesia merupakan negara pengekspor gaharu terbesar di dunia (Biro Pusat Statistik, 1981-1996). Dalam kurun waktu tersebut, ekspor gaharu mencapai enam juta USD pertahunnya (Biro Pusat Statistik, 1981-1996).

Sampai saat ini, peningkatan permintaan akan produk gaharu belum dapat diikuti oleh adanya pasokan gaharu yang rutin karena masih bergantung dari hasil pengumpulan gaharu alami. Oleh sebab itu, banyak penelitian dilakukan untuk dapat memahami mekanisme pembentukan gaharu alami yang dapat dijadikan dasar dalam pengembangan gaharu secara *artificial* (buatan).

Gubal gaharu terbentuk pada pohon penghasil gaharu, antara lain: *Aquilaria* spp., *Aetoxylon sympetalum* (Steen. & Domke), *Gyrinops*, dan *Gonystillus* yang menjadi keras, berwarna coklat kehitaman, dan berbau harum ketika dibakar. Hal ini disebabkan adanya produksi dan akumulasi senyawa resin pada batang pohon tersebut. Resin gaharu tergolong *sesquiterpene* dan derivat *chromone* (Shimada *et al.*, 1982; Konishi *et al.*, 2002; Yagura *et al.*, 2003). Grup peneliti ini menemukan senyawa-senyawa derivat baru dari 2-(2-Phenylethyl) chromones dari gaharu *Aquilaria* spp., *Aquilaria sinensis* (Lour.) Gilg., dan *Aquilaria malaccensis* (Lamk.) (Shimada *et al.*, 1982; Konishi *et al.*, 2002; Yagura *et al.*, 2003).

Produksi resin gaharu merupakan respon fisiologis tumbuhan terhadap adanya serangan mikroorganisme. Interaksi tanaman, patogen pembentuk gaharu, dan kondisi lingkungan membentuk gubal gaharu seiring waktu. Awalnya, beberapa hipotesis diajukan untuk menjelaskan fenomena produksi resin pada pohon gaharu ini. Oldfield *et al.*, 1998 dalam Barden *et al.*, 2000 menyatakan bahwa sintesis resin pada pohon gaharu ini merupakan respon terhadap infeksi jamur. Sedangkan van Beek, 2000 dalam Barden *et*

al., 2000 berasumsi bahwa, produksi resin ini cenderung merupakan respons terhadap pelukaan sehingga infeksi dan pertumbuhan jamur dalam jaringan tumbuhan yang terluka lebih berperan pada peningkatan produksi resin tersebut.

Oleh karena itu, banyak penelitian awal mengenai gaharu lebih terfokus pada upaya mengidentifikasi jamur spesifik yang dapat merangsang terbentuknya resin. Sejumlah penelitian ini menyebutkan bahwa jamur penyebab terbentuknya gaharu berlainan pada setiap pohonnya. Sidiyasa dan Suharti (1987) menyatakan bahwa, berbagai jenis jamur, seperti *Diplodia* sp., *Pythium* sp., dan *Fusarium solani* (Mart) Appel and Walenw. emend Snyd and Hansen, berperan dalam pembentukan resin gaharu. Umboh *et al.* (2000) menggunakan jamur *F. oxysporum* (Schlect emend. Snyd and Hansen), *F. solani*, *Scyrtallidium* sp., *Libertella* sp., dan *Trichoderma* sp. untuk memacu pertumbuhan gubal gaharu pada *A. malaccensis* dan *A. crassna* (Pierre). Parman *et al.* (1996) menemukan jamur penyebab terbentuknya gubal gaharu pada *Gyrinops versteeghii* adalah *F. lateritium* (Ness) dan *Popullaria* sp. Adapun menurut Dajjo dan Oller (2001), gaharu disebabkan oleh *Phialophora parasitica* Ajello, L.K Georg, and Wang.

Laboratorium Mikrobiologi Hutan telah melakukan penelitian gaharu sejak tahun 1984 dan telah mengoleksi sejumlah isolat jamur hasil eksplorasi dari berbagai daerah yang diketahui memiliki potensi pembentuk gaharu, di Indonesia. Jamur-jamur ini telah diidentifikasi dan berdasarkan ciri morfologis untuk mengetahui keanekaragaman jenisnya, diperoleh 12 isolat dari genus *Fusarium* dan dua isolat dari genus *Cylindrocarpon* (Agustini *et al.*, 2006). Kedua genera ini memiliki kesamaan morfologi yang sangat mirip, tetapi Booth (1966) membedakan *Cylindrocarpon* berdasarkan pangkal konidia yang relatif tumpul dan tidak memiliki *hock/foot cell* yang jelas seperti pada *Fusarium*. *Fusarium* mudah dikenal dengan

ciri utama konidianya yang berbentuk bulan sabit (*fusoid*). Sedangkan karakteristik dari warna dan kecepatan tumbuh koloni, bentuk makro dan mikrokonidia beserta ukurannya, dan karakteristik dari kladospora merupakan karakter yang berguna untuk membedakan spesies *Fusarium* (Nelson *et al.*, 1983).

Walaupun kualitas gaharu dibedakan berdasarkan kandungan resinnya, sampai saat ini belum tersedia standar baku untuk mengklasifikasi kualitas gaharu berdasarkan kandungan resinnya. Selain itu, upaya pengkelasan kualitas gaharu masih mengandalkan teknik tradisional yang dibentuk oleh masyarakat sekitar hutan, yang secara turun-temurun telah terlatih mengklasifikasikan gaharu alam berdasarkan performa fisik gubal gaharu dan wangi yang dihasilkan setelah dibakar.

Masalah lain yang masih dihadapi dalam produksi gaharu secara artifisial, meliputi: (1) Belum adanya studi yang dapat menjelaskan mekanisme pembentukan resin; (2) Respon tumbuhan terhadap inokulasi jamur-jamur pembentuk gaharu yang berbeda strain bervariasi sehingga masih sulit untuk menjelaskan pengaruh signifikan jenis jamur tersebut terhadap biosintesis resin karena gaharu yang dihasilkan masih sangat bervariasi.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) memperoleh informasi tentang efektivitas 14 jamur dalam menginduksi gaharu berdasarkan pada gejala *browning*; dan (2) menganalisis penyusun senyawa resin ga-

haru menggunakan alat *Gas Chromatography Mass Spectrophotometry* (GCMS) yang kemudian akan digunakan sebagai standar penentuan klasifikasi kualitas kelas gaharu. Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi pengembangan produksi gaharu secara artifisial yang berkualitas dan mengurangi perburuan gaharu alami yang mengancam punahnya keberadaan sumber genetik pohon pembentuk gaharu.

II. METODOLOGI

A. Lokasi Penelitian dan Pengambilan Contoh Gaharu

Pengamatan gejala pencoklatan (*browning*) dan pengambilan contoh gaharu dilakukan di dua tempat, yaitu untuk gaharu alami kelas kamedangan diambil dari tegakan Hutan Rakyat, Desa Gudang, Bangka, Sumatera bagian selatan dan untuk gaharu artifisial diambil dari tegakan Hutan Penelitian Carita, Banten, Jawa. Perlakuan pembentukan gaharu artifisial menggunakan 14 jamur potensial pembentuk gaharu (Tabel 1). Identifikasi jamur pembentuk gaharu telah dilaporkan sebelumnya oleh Agustini *et al.* (2006). Untuk analisis penyusun senyawa resin, diambil sebanyak 25 gram gaharu per perlakuan dengan tiga ulangan. Analisis komposisi resin menggunakan GCMS. Sebelum dianalisis, contoh dikeringkan secara alami.

Tabel (Table) 1. Jamur potensial penginduksi gaharu yang diisolasi dari sembilan provinsi di Indonesia (*Potent agarwood-inducing fungi isolated from nine provinces in Indonesia*)

No.	Kode isolat (<i>Isolate code</i>)	Asal provinsi (<i>Provincial origin</i>)	Nama spesies (<i>Species name</i>)
1.	Ga-1	Kalimantan Tengah	<i>Fusarium solani</i>
2.	Ga-2	Maluku	<i>F. tricinctum</i>
3.	Ga-3	Jawa Barat	<i>F. tricinctum</i>
4.	Ga-4a	Kalimantan Selatan	<i>F. solani</i>
5.	Ga-4b	Kalimantan Selatan	<i>F. tricinctum</i>
6.	Ga-4c	Kalimantan Selatan	<i>F. sambucinum</i>
7.	Ga-4d	Kalimantan Selatan	<i>F. solani</i>
8.	Ga-5	Kalimantan Timur	<i>F. solani</i>
9.	Ga-6	Belitung	<i>F. solani</i>
10.	Ga-7a	Riau	<i>F. solani</i>
11.	Ga-7b	Riau	<i>F. solani</i>
12.	Ga-8a	Bengkulu	<i>F. solani</i>
13.	Ga-8b	Bengkulu	<i>Cylindrocarpon</i> sp. (1)
14.	Ga-9	Jambi	<i>Cylindrocarpon</i> sp. (2)

B. Pengukuran Gejala Infeksi *Browning*

Peranan suatu isolat potensial dalam menginduksi pembentukan gaharu dapat diketahui dengan mengamati perubahan-perubahan yang terjadi pada tanaman gaharu setelah diinokulasi oleh jamur tersebut atau biasa disebut *browning*. Pengukuran gejala infeksi dilakukan dengan mengukur jarak vertikal dan horizontal jaringan batang yang berwarna kecoklatan di sekitar lubang bor.

C. Analisis Gas Chromatography Mass Spectrophotometry

Analisis kimia komposisi resin dilakukan menggunakan GCMS. Dengan analisis ini, kandungan dan komposisi (kadar relatif) suatu campuran senyawa dapat diketahui dengan cepat, akan tetapi identifikasi nama senyawa tidak selalu dapat diperoleh, bergantung pada *database (library)* alat yang digunakan.

Karena senyawa standar gaharu masih belum tersedia di pasaran, maka seleksi efektivitas isolat yang diinokulasikan pada penelitian ini dilakukan dengan membandingkan kandungan senyawa kimia ekstrak batang terinduksi dengan ekstrak kamedangan gaharu, sebagai standar teknis. Adapun karakterisasi senyawa kimia yang terdeteksi ditentukan dari *Retention Time (RT)*, berat molekul (*MR*), dan perkiraan nama senyawa.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gejala Infeksi *Browning*

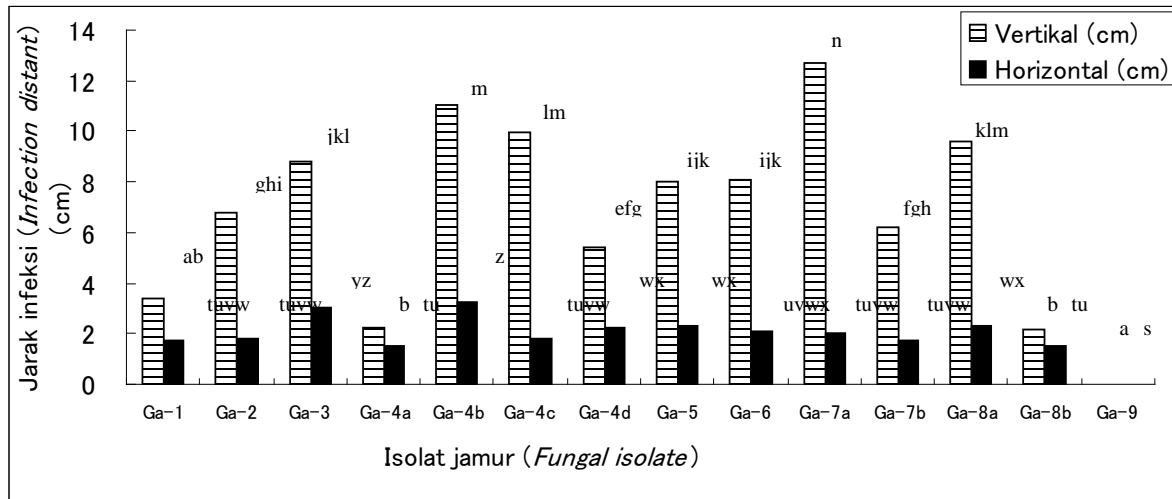
Gambar 1 menunjukkan gejala *browning* pada batang, delapan bulan setelah jamur diinduksikan. Jaringan batang yang berwarna kecoklatan di sekitar lubang bor ini menunjukkan telah terjadi akumulasi metabolit sekunder sebagai respon atas pelukaan dan infeksi jamur. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa jarak gejala *browning* yang terbentuk bervariasi ($P < 0,05$) tetapi cenderung menyebar secara vertikal mengikuti arah

jaringan pembuluh batang tanaman yang juga dibangun atas sel-sel yang tersusun secara vertikal.

Jarak *browning* terpanjang (vertikal) didapat dari batang yang diinduksi dengan isolat jamur *F. solani* Ga-7a, yaitu 12,7 cm, sedangkan jarak terpendek diperoleh dari batang yang diinduksi dengan isolat jamur *F. solani* Ga-4a dan *Cylindrocarpon* sp. Ga-8b, yaitu masing-masing 2,23 cm dan 2,13 cm (Gambar 2). Selain itu, jarak terlebar (horizontal) didapat dari batang yang diinduksi oleh isolat jamur *F. solani* Ga-4b dan *F. triticum* Ga-3, yaitu masing-masing sebesar 3,27 cm dan 3,03 cm, sedangkan isolat jamur *Cylindrocarpon* sp. Ga-8b menghasilkan gejala tersempit, yaitu 1,50 cm. Isolat *Cylindrocarpon* sp. Ga-8b memiliki kemampuan yang paling rendah dalam membentuk gejala kecoklatan, baik secara vertikal maupun horizontal. Kemampuan spesies yang sama untuk menghasilkan gaharu yang berbeda ditunjukkan oleh isolat *F. solani* Ga-7a (tinggi) dan Ga-4a (rendah). Hasil ini menunjukkan pentingnya seleksi jamur pembentuk gaharu, karena walaupun spesiesnya sama, tetapi strainnya kemungkinan berbeda sehingga kemampuan untuk menginduksi gaharu pun berbeda.



Gambar (Figure) 1. Gejala pembentukan gaharu pada batang pohon *Aquilaria malaccensis* delapan bulan setelah diinduksi dengan jamur *F. solani* Ga-7a (*Symptom of agarwood formation on Aquilaria malaccensis eight months after induction of F. solani* Ga-7a)



Gambar (Figure) 2. Pembentukan gejala *browning* pada batang *A. malaccensis* yang diinduksi jamur (*Formation of browning symptom on A. malaccensis induced by fungi*)

Dari 14 jamur yang diuji, satu isolat yaitu *Cylindrocarpon* sp. Ga-9 tidak dapat menginduksi munculnya gejala kecoklatan yang mengindikasikan bahwa jamur tidak kompatibel dengan tanaman inang.

B. Analisis Senyawa Kimia Resin

Dari tiga kelas kamedangan gaharu *A. malaccensis* diperoleh 120 senyawa, 19 di antaranya terdapat pada dua kelas atau lebih (Tabel 2). Senyawa-senyawa tersebut pada umumnya merupakan golongan sesquiterpenoid (C_{15}) atau turunannya. Hal ini sesuai dengan penelitian-penelitian komponen kimia penyusun gaharu terdahulu. Ishihara *et al.* (1991) telah berhasil mengisolasi tiga sesquiterpenoid dari gaharu *A. agallocha*, yaitu guaia-1(10),11-dien-15-al; selina-3,11-dien-9-one; dan selina-3,11-dien-9-ol. Shimada *et al.* (1986) mengidentifikasi empat senyawa turunan phenylethyl chromone, agarotetrol dan isoagarotetrol dari gaharu yang berasal dari Kalimantan. Sedangkan Naf *et al.* (1992) mengidentifikasi enam senyawa nor-sesquiterpenoid yang memiliki struktur dasar yang sama dengan 10-epi-eudesmane.

Metabolit sekunder golongan sesquiterpenoid ini disintesis oleh tanaman melalui jalur asam mevalonat. Tanaman

mengakumulasi senyawa ini sebagai respons terhadap infeksi *agent* tertentu, rangsang fisiologis, maupun cekaman atau *stress* lingkungan (Goodman *et al.*, 1986).

Seleksi potensi isolat dalam menginduksi senyawa gaharu menunjukkan bahwa enam isolat dari 14 isolat yang diuji dapat menginduksi salah satu senyawa gaharu (Tabel 3). Keenam isolat potensial menunjukkan kemiripan kimiawi yang masih rendah. Hanya satu atau dua komponen kimia yang sama dengan senyawa kimia standar teknis (Tabel 2), yaitu senyawa Ama-12 dan atau Ama-15 (Gambar 3).

Rendahnya tingkat kesamaan komponen kimia pada gaharu dengan inokulasi buatan ini, dapat disebabkan oleh beberapa faktor:

1. Senyawa kimia disintesis tanaman dalam jumlah rendah, sehingga tidak terdeteksi oleh alat GCMS.
2. Variasi daya resistensi tanaman terhadap infeksi, sehingga tidak semua tanaman yang diinokulasi menunjukkan gejala pembentukan gaharu.
3. Gaharu alam terbentuk sebagai respon terhadap interaksi multifaktor biotik dan abiotik, sedangkan pada proses seleksi ini hanya dilakukan perlakuan tunggal, yaitu induksi jamur pembentuk gaharu.

Tabel (Table) 2. Komponen kimia kamedangan gaharu menggunakan standar teknis (*Chemical component of agarwood of kamedangan class using technical standard*)

Kode senyawa (<i>Compound code</i>)	RT (<i>menit/minute</i>)	MR	Nama senyawa (<i>Compound name</i>)	
			Senyawa acuan (<i>Standard compound</i>) (<i>database GCMS</i>)	Tingkat kemiripan struktur kimia (<i>Level of chemical structure similarity</i>) (%)
Ama-1	15,904	222	10-epi-gamma-eudesmol (C ₁₅ H ₂₆ O)	92
Ama-2	16,054	204	Agarospirol (C ₁₅ H ₂₆ O)	86
Ama-3	16,207	204	Aristolon (C ₁₅ H ₂₄)	86
Ama-4	16,290	204	Guaiol (C ₁₅ H ₂₆ O)	88
Ama-5	16,342	204	Elemol ; Viridiflorol (C ₁₅ H ₂₆ O)	83
Ama-6	17,483	207	2-propenoic acid,3-(4-methoxyphenyl)-ethyl ester (C ₁₂ H ₂₆ O)	80
Ama-7	18,250	204	Viridiflorol (C ₁₅ H ₂₆ O)	78
Ama-8	18,594	218	Baimuxinal (C ₁₅ H ₂₄ O ₂)	78
Ama-9	18,731	218	Palustrol (C ₁₅ H ₂₆ O)	79
Ama-10	18,863	220	Platambin (C ₁₅ H ₂₆ O ₂)	74
Ama-11	19,153	220	Valerenol (C ₁₅ H ₂₄ O)	80
Ama-12	19,372	270	Methyl- hexadecanoate (C ₁₇ H ₃₄ O ₂)	87
Ama-13	19,697	218	Aristolone (C ₁₅ H ₂₂ O)	76
Ama-14	19,747	220	Caryophyllene oxide (C ₁₅ H ₂₄ O)	80
Ama-15	19,821	256	Palmitic acid; Hexadecanoic acid (C ₁₆ H ₃₂ O ₂)	85
Ama-16	20,318	218	Elemol (C ₁₅ H ₂₆ O)	75
Ama-17	26,348	280	8-methoxy-2 (2-phenylethyl) chromen-4-one (C ₁₈ H ₁₆ O ₃)	70
Ama-18	26,899	296	Phenylthiohydantoin (C ₁₆ H ₁₄ N ₂ O ₅)	70
Ama-19	27,529	282	L-Alanine, 3-chloro-N- [(phenylmethoxy carbonil] – phenylmethyl ester. (C ₁₈ H ₁₈ ClNO ₄)	80

Catatan (*Note*). RT: *Retention Time*; MR: Berat molekul; GCMS: Gas Chromatography Mass Spectrophotometry

Tabel (Table) 3. Seleksi kimiawi potensi isolat dalam menginduksi senyawa gaharu (*Selection of potential isolate in inducing gaharu compound based on chemical*)

No.	Kode isolat (<i>Isolate code</i>)	Spesies (<i>Species</i>)	Kesamaan kimiawi (<i>Chemical homogeneity</i>)	Senyawa acuan (<i>Standard compound</i>)	Area puncak (<i>Peak area</i>) (%)
1.	Ga-1	<i>F.solani</i>	1/19	Ama-15	22,24
2.	Ga-2	<i>F.tricinctum</i>	1/19	Ama-15	17,96
3.	Ga-3	<i>F.tricinctum</i>	0	-	-
4.	Ga-4a	<i>F.solani</i>	1/19	Ama-15	55,76
5.	Ga-4b	<i>F.tricinctum</i>	0	-	-
6.	Ga-4c	<i>F.sambucinum</i>	2/19	Ama-12 Ama-15	17,45 19,30
7.	Ga-4d	<i>F.solani</i>	0	-	-
8.	Ga-5	<i>F.solani</i>	0	-	-
9.	Ga-6	<i>F.solani</i>	0	-	-
10.	Ga-7a	<i>F.solani</i>	1/19	Ama-15	12,56
11.	Ga-7b	<i>F.solani</i>	0	-	-
12.	Ga-8a	<i>F.solani</i>	0	-	-
13.	Ga-8b	<i>Cylindrocarpon</i> sp.	1/19	Ama-15	17,71
14.	Ga-9	<i>Cylindrocarpon</i> sp.	0	-	-

Dengan membandingkan komponen kimia dari contoh batang gaharu ter-

inokulasi diperoleh enam isolat yang berpotensi menginduksi senyawa gaharu,

yaitu *F. solani* (Ga-1; Ga-4a; Ga-7a), *F. tricinctum* (Ga-2), *F. sambucinum* (Ga-4c), dan *Cylindrocarpon* sp. (Ga-8b).

Penentuan kemampuan isolat dalam menginduksi biosintesis gaharu dengan parameter kimiawi ini belum menunjukkan hasil yang optimal. Hal ini karena senyawa kimia yang menjadi acuan masih merupakan standar teknis, yang diperoleh dari ekstrak gaharu alam yang masih terdiri dari berbagai senyawa. Dengan

demikian sangat mungkin pada ekstrak yang dijadikan sebagai standar teknis ini pun, kandungan resin gaharunya masih rendah sehingga tidak terdeteksi oleh alat GCMS. Oleh karena itu, penelitian mengenai komponen kimia gaharu dari berbagai kelas dan jenis pohon penghasil gaharu merupakan informasi yang sangat mendukung pada upaya seleksi kemampuan isolat jamur dalam menginduksi biosintesis gaharu.

a)

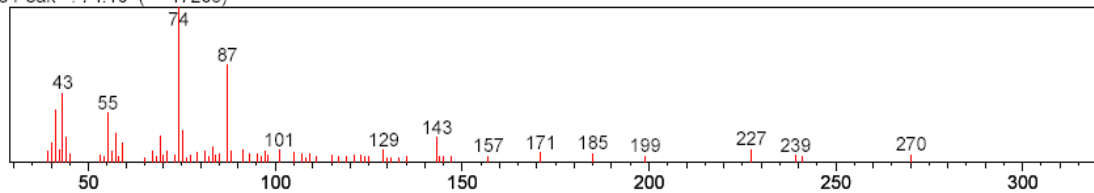
<Unknown Spectrum>

Data : SMPL_17.D01

Mass Peak # : 69 Ret. Time : 19.375

Scan # : 1966

Base Peak : 74.10 (17205)



No	SI	Mol.Wgt.	Mol.Form./Compound Name	CAS No.	Entry	LIB#
1	88	270	C ₁₇ H ₃₄ O ₂ METHYL HEXADECANOATE \$\$	112-39-0	124673	1
2	87	298	C ₁₉ H ₃₈ O ₂ Octadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl stearate \$\$ Methyl octadecanoate \$\$ Meth	112-61-8	144195	1
3	87	326	C ₂₁ H ₄₂ O ₂ Eicosanoic acid, methyl ester (CAS) ARACHIDIC ACID METHYL ESTER \$\$ Methyl arachate \$\$	1120-28-1	161707	1
4	87	270	C ₁₇ H ₃₄ O ₂ Hexadecanoic acid, methyl ester \$\$ Palmitic acid, methyl ester \$\$ n-Hexadecanoic acid	112-39-0	37803	2
5	87	270	C ₁₇ H ₃₄ O ₂ Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl palmitate \$\$ Methyl hexadecanoate \$\$ Met	112-39-0	124627	1

Library Name

(1) WILEY229.LIB (2) NIST62.LIB (3) PESTICD.LIB

b)

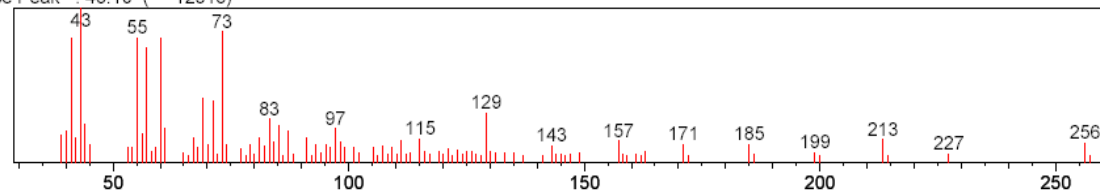
<Unknown Spectrum>

Data : SMPL_17.D01

Mass Peak # : 101 Ret. Time : 19.825

Scan # : 2020

Base Peak : 43.10 (12318)



No	SI	Mol.Wgt.	Mol.Form./Compound Name	CAS No.	Entry	LIB#
1	90	282	C ₁₈ H ₃₄ O ₂ 9-Octadecenoic acid (Z)- (CAS) Oleic acid \$\$ Red oil \$\$ Oelsauere \$\$ Oleine 7503 \$\$ P	112-80-1	133167	1
2	88	256	C ₁₆ H ₃₂ O ₂ Hexadecanoic acid (CAS) Palmitic acid \$\$ Palmitic acid \$\$ n-Hexadecanoic acid \$\$ n-He	57-10-3	114040	1
3	88	256	C ₁₆ H ₃₂ O ₂ Hexadecanoic acid (CAS) Palmitic acid \$\$ Palmitic acid \$\$ n-Hexadecanoic acid \$\$ n-He	57-10-3	114041	1
4	88	256	C ₁₆ H ₃₂ O ₂ Hexadecanoic acid (CAS) Palmitic acid \$\$ Palmitic acid \$\$ n-Hexadecanoic acid \$\$ n-He	57-10-3	35186	2
5	87	242	C ₁₅ H ₃₀ O ₂ Pentadecanoic acid (CAS) Pentadecylic acid \$\$ n-Pentadecanoic acid \$\$ 14FA \$\$	1002-84-2	103140	1

Library Name

(1) WILEY229.LIB (2) NIST62.LIB (3) PESTICD.LIB

Gambar (Figure) 3. (a) Senyawa Ama 12 (Ama 12 compound) ; (b) Senyawa Ama 15 (Ama 15 compound)

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Gejala *browning* yang terbentuk pada batang cenderung menyebar secara vertikal mengikuti arah jaringan pembuluh batang. *Fusarium solani* Ga-7a menginduksi jarak *browning* terpanjang, yaitu 12,7 cm.
2. Enam isolat, yaitu *F. solani* (Ga-1; Ga-4a; Ga-7a), *F. triticum* (Ga-2), *F. sambucinum* (Ga-4c), dan *Cylindrocarpon* sp. (Ga-8b) berpotensi menginduksi senyawa resin golongan sesquiterpenoid, yaitu Ama-12 dan Ama-15.

B. Saran

1. Eksplorasi jenis-jenis jamur pada gaharu alam dari berbagai daerah, uji coba dengan berbagai teknik inokulasi dan melibatkan multifaktor (faktor biotik dan abiotik) perlu terus dilakukan, dalam upaya mengoptimalkan teknik inokulasi gaharu buatan. Selain itu, upaya penerapan isolasi dan identifikasi komponen kimia sebagai salah satu parameter penentu kualitas gaharu harus secara simultan dikembangkan, agar penentuan kelas gaharu dapat dilakukan dengan obyektif.
2. Dari 14 isolat jamur pembentuk gaharu ada enam isolat yang menunjukkan potensi untuk menginduksi senyawa resin gaharu, tetapi standar gaharu alami masih terbatas, sehingga perlu uji lanjut untuk mendapatkan standar komponen kimia gaharu alami dari berbagai kelas dan jenis pohon penghasil.
3. Salah satu isolat *Cylindrocarpon* sp., yang diduga pembentuk gaharu, ternyata tidak dapat menginduksi sehingga perlu penelitian lebih lanjut untuk mengetahui fungsi jamur ini dalam pembentukan gaharu.
4. Infeksi jamur sebagai faktor penting yang turut menentukan biosintesis

senyawa gaharu perlu diteliti lebih ekstensif dan intensif lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustini, L., D. Wahyuno, dan E. Santoso. 2006. Keanekaragaman Jenis Jamur yang Potensial dalam Pembentukan Garahu dari Batang *Aquilaria* spp. Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam 3 (5) : 555-564. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan dan Konservasi Alam. Bogor.
- Barden, A., N. Awang Anak, T. Mulliken, and M. Song. 2000. Heart of the Matter: Agarwood Use and Trade and CITES Implementation for *Aquilaria malaccensis*. TRAFFIC Network.
- Biro Pusat Statistik. 1981-1996. Statistik Perdagangan Luar Negeri Vol. I & II. Biro Pusat Statistik Indonesia, Jakarta.
- Booth, C. 1966. The Genus *Cylindrocarpon*. Commonwealth Mycological Institute, England.
- Daijo, V. and D. Oller. 2001. Scent of Earth. URL: <http://store.yahoo.com/scent-of-earth/alag.html> [diakses: 5 Februari 2001]
- Goodman, R.N., Z. Kiraly, and K.R. Wood. 1986. The Biochemistry and Physiology of Plant Disease. Columbia University of Missouri Press.
- Ishihara, M., Tsuneya, M. Shiga, and K. Uneyama. 1991. Three Sesquiterpenes from Agarwood. *Phytochemistry* 30: 563-566.
- Konishi, T., T. Konishima, Y. Shimada, and S. Kiyosawa. 2002. Six New 2-(2-Phenylethyl) Chromones from Agarwood. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin* 50: 419-422.
- Naf, R., A. Velluz, N. Busset, and J.M. Gaudin. 1992. New Nor-sesquiterpenoid with 10-epi-eudesmane Skeleton from Agarwood (*Aquilaria agallocha* (Roxb). *Flavor & Fragrance Journal* 7:295-298.

- Nelson, P.E., T.A. Tousson, and W.F.O. Marasas. 1983. *Fusarium Species – An Illustrated Manual for Identification*. The Pennsylvania State University Press. University Park & London.
- Parman, T. Mulyaningsih, dan Y.A. Rahman. 1996. Studi Etiologi Gubal Gaharu pada Tanaman Ketimunan. Makalah Temu Pakar Gaharu di Kanwil Dephut Provinsi NTB, Mataram, Indonesia. 11-12 April 1996.
- Sidiyasa, K. dan M. Suharti. 1987. Jenis-jenis Tumbuhan Penghasil Gaharu. Makalah Utama Diskusi Pemanfaatan Kayu Kurang Dikenal. Cisarua, Bogor, Indonesia, 13-14 Januari 1987.
- Shimada, Y., T. Konishi, S. Kiyosawa, M. Nishi, K. Miyahara, and T. Kawasaki. 1986. Studies on the Agarwood (Jinko). IV ¹⁾ – Structures of 2-(2-phenylethyl) Chromone Derivates, Agarotetrol and Isoagarotetrol. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. 34:2766-2773.
- Umboh, M.I.J, G. Rahayu, dan H. Affandi. 2000. Upaya Peningkatan Produksi Gubal Gaharu: Mikropropagasi *Aquilaria* sp. dan Upaya Peningkatan Bioproses Gubal Gaharu. Laporan Riset Unggulan Terpadu V Bidang Teknologi Perlindungan Lingkungan. Kantor Menteri Negara Riset & Teknologi. Jakarta.
- Yagura, T., N. Shibayama, M. Ito, F. Kiuchi, and G. Honda. 2003. Three Novel Diepoxy Tetrahydrochromones from Agarwood Artificially Produced by Intentional Wounding. *Tetrahedron Letters* 46: 4395-4398.