

Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea (2018) 7(2), 165-171

eISSN 2407-7860
pISSN 2302-299X

Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea

Akreditasi LIPI: 764/AU1/P2MI-LIPI/10/2016
Akreditasi KEMENRISTEKDIKTI: 36b/E/KPT/2016

www.jurnal.balithutmakassar.org

INDUKSI PEMBENTUKAN GAHARU PADA *Aquilaria malaccensis* MENGGUNAKAN PUPUK UREA DAN *Fusarium solani*

(Induction of Agarwood in *Aquilaria malaccensis* Using Nitrogen Fertilizer and *Fusarium solani*)

Resti Wahyuni^{1*}, Triadiati Triadiati², dan Syamsul Falah³¹Program Pascasarjana Program Studi Biologi Tumbuhan, Fakultas Matematika dan IPA, Institut Pertanian Bogor
Jl. Raya Darmaga Kampus IPB Darmaga Bogor 16680, Telp/Faks : +62 2518622833, Indonesia²Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor
Jl. Raya Darmaga, Kampus IPB Darmaga Bogor 16680, Telp/Faks.: +62 2518622833, Indonesia³Departemen Biokimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor
Jl. Raya Darmaga, Kampus IPB Darmaga Bogor 16680, Telp/Faks.: +62 2518625481/+62 2518625708, Indonesia

Article Info

Article History:

Received 17 April 2017; received in revised form 13 August 2018; accepted 14 August 2018.
Available online since 31 August 2018

Kata Kunci:

Induksi gaharu
Aquilaria malaccensis
Fusarium solani
4-etil asam benzoat

Keywords:

Agarwood induction
Aquilaria malaccensis
Fusarium solani
4-ethyl benzoic acid

ABSTRAK

Aquilaria malaccensis merupakan salah satu spesies penghasil gaharu di Indonesia. Senyawa gaharu terbentuk sebagai respon pertahanan pohon gaharu terhadap berbagai gangguan seperti gangguan fisik, infeksi patogen, atau perlakuan kimiawi. Pembentukan gaharu dipengaruhi oleh waktu induksi, umur pohon, musim, keadaan geografis, lingkungan, dan spesies pohon. Induksi pembentukan gaharu dapat dilakukan pada pohon dewasa maupun anakan. Induksi gaharu pada anakan memerlukan usaha yang lebih keras dibandingkan pada pohon. Kombinasi perlakuan cendawan (*Fusarium solani*) dan pupuk nitrogen (pupuk urea) kemungkinan dapat menjadi salah satu cara untuk menginduksi terbentuknya gaharu pada anakan *A. malaccensis*. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan gaharu (warna dan aroma) *A. malaccensis* melalui induksi dengan *F. solani* dan pupuk urea serta menganalisis kandungan kimia gaharu yang terbentuk. Kandungan senyawa gaharu dianalisis menggunakan *Gas Chromatography Mass Spectrometry (GCMS)*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa warna kayu gaharu berbeda tiap perlakuan. Warna paling cokelat dan aroma paling wangi pada gaharu dihasilkan oleh perlakuan *A. malaccensis* dipupuk urea 4 gr/bibit dan inokulasi *F. solani*. Terdapat tiga jenis senyawa kimia yang teridentifikasi yaitu dimetil silanediol, 4-etil asam benzoat, dan 1,4,7,10,13,16-heksaoksasiklootadekan dengan persentase berturut-turut sebesar 25,7; 17,62, dan 3,56. A. Biosintesis dari aroma senyawa gaharu terjadi terlebih dahulu sebelum terjadinya perubahan warna kayu gaharu.

ABSTRACT

Aquilaria malaccensis is agarwood producing species in Indonesia. Agarwood compounds are formed as a chemical response of *Aquilaria malaccensis* tree to various physical damages, pathogen infection, or chemical treatment. Factors influencing agarwood formation are age of the tree, season, geographical location, environment, and treatment period. Agarwood induction may be done in tree or sapling. Agarwood induction in saplings need more effort than in trees. Combination of fungi (*Fusarium solani*) and nutrient (Nitrogen fertilizer) treatment may be one way to induce agarwood in *A. malaccensis* saplings. This study aims to produce *A. malaccensis* agarwood (aromatic compounds and colour) by induction of *F. solani* and nitrogen fertilizer, and analyse the agarwood chemical content. The agarwood chemical content was investigated by *Gas Chromatography Mass Spectrometry (GCMS)* analysis. Results indicated that agarwood had a different colour for every treatment. The darkest brown and most fragrant agarwood were produced by *A. malaccensis* treated by a combination of nitrogen fertilizer (4 gr/sapling) and *F. solani* inoculation. Three chemical compounds were identified i.e. silanediol dimethyl, 4-ethyl benzoic acid and 1,4,7,10,13,16- hexaoxacyclooctadecane with percentages of 25.7, 17.62, and 3.56 respectively. *A. malaccensis* treated by nitrogen fertilizer and *F. solani* for 3 months is able to induce aromatic compounds formation, but the colour still dark brown. Biosynthesis of aromatic compounds in agarwood occurs first before changes in the colour of the wood.

* Corresponding author. Tel.: +62 85643672436
E-mail address: resti_bio@yahoo.com (R. Wahyuni)

I. PENDAHULUAN

Gaharu merupakan salah satu hasil hutan bukan kayu yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Gaharu digunakan dalam pembuatan parfum, bahan obat-obatan serta bahan ornamen (Kakino *et al.*, 2010). Zhang *et al.* (2014) menyatakan bahwa gaharu diproduksi oleh spesies dari family Thymelaeaceae yang mengalami pelukaan dan atau terinfeksi oleh cendawan. Family Thymelaeaceae memiliki 58 genus dan dua diantaranya yaitu genus *Aquilaria* dan *Gyrinops* dipercaya sebagai penghasil gaharu yang utama (Compton dan Ishihara, 2004). Genus *Aquilaria* tersebar di Asia Selatan dan Asia Tenggara, salah satunya Indonesia (Persoon, 2007). Permintaan gaharu di pasar meningkat dari waktu ke waktu (Azah *et al.*, 2013). Pada tahun 1995 permintaan gaharu di Jepang mencapai 6,6 ton dan pada tahun berikutnya mencapai 10,8 ton (Compton dan Ishihara, 2004). Permintaan gaharu yang tinggi menyebabkan *Aquilaria malaccensis* di alam menjadi langka karena banyak ditebang, karena itu *A. malaccensis* telah dimasukkan dalam Appendix II CITES (CITES 2010).

Gaharu hasil budidaya dapat menjadi salah satu cara untuk memenuhi permintaan gaharu di pasar dan tidak mengancam keberadaan spesies penghasilnya di alam. Metode inokulasi yang tepat pada gaharu budidaya sangat diperlukan. Metode inokulasi tradisional dilakukan dengan melukai batang pohon penghasil gaharu menggunakan pisau atau memaku batang (Mohamed *et al.*, 2014). Metode tradisional ini membutuhkan waktu yang lama untuk dapat menghasilkan gaharu (Li *et al.*, 2015). Dewasa ini, metode inokulasi telah berkembang dengan menggunakan bahan kimia, mikroorganisme serta kit.

Penelitian induksi gaharu menggunakan *whole-tree agarwood-inducing technique (Agar-Wit)* menghasilkan gaharu dengan kualitas lebih baik dibandingkan metode melukai batang dengan pisau (Liu *et al.*, 2013). Agen hayati cendawan *Deuteromyces* and *Ascomycetes* memiliki kemampuan untuk menginduksi pembentukan gaharu pada pohon muda *A. malaccensis* selama tiga bulan perlakuan (Mohamed *et al.*, 2014). Selain agen hayati, terdapat agen kimia untuk menginduksi pembentukan gaharu. Okudera dan Ito (2009) menemukan bahwa aplikasi asam salisilat dan metil jasmonat pada kultur sel *Aquilaria* dapat menginduksi terbentuknya sesquiterpen volatil dan derivat kromon.

Pembentukan gaharu dipengaruhi oleh lama waktu induksi, umur pohon, musim, keadaan geografis, lingkungan, dan spesies tumbuhan (Ng *et al.*, 1997; Akter dan Neelim, 2008). Induksi pembentukan gaharu dapat dilakukan pada pohon

dewasa maupun anakan. Induksi gaharu pada anakan memerlukan usaha yang lebih keras dibandingkan pada pohon karena kondisi fisiologi yang berbeda antara keduanya.

Perlakuan cendawan merupakan salah satu cara untuk menginduksi pembentukan gaharu (Akter *et al.*, 2013). Cendawan yang dapat menginfeksi pohon penghasil gaharu diantaranya *Fusarium solani*, *F. oxysporum* dan *F. ambrosium* (Nurbaya *et al.*, 2014). Penelitian mengenai pengaruh cendawan *F. solani* terhadap pembentukan gaharu *A. malaccensis* masih terbatas.

Salah satu penentu kualitas gaharu adalah aroma wangi. Pembentukan aroma wangi gaharu kemungkinan dipengaruhi oleh unsur hara (nitrogen). Perlakuan pupuk nitrogen dapat meningkatkan kandungan minyak dan senyawa aromatik pada *Zingiber officinale* (Singh *et al.*, 2014). Namun, pengaruh pupuk nitrogen terhadap pembentukan aroma wangi gaharu belum diketahui. Penelitian tentang induksi gaharu pada anakan *A. malaccensis* menggunakan *F. solani* dikombinasikan dengan pupuk nitrogen belum ditemukan. Jika berhasil menginduksi gaharu pada anakan, maka produksi gaharu budidaya khususnya dalam bentuk *chip* (kayu berukuran kecil) akan meningkat. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang induksi gaharu pada anakan *A. malaccensis* menggunakan *F. solani* dan pupuk nitrogen dalam hal ini pupuk urea.

Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan gaharu *A. malaccensis* melalui induksi dengan pupuk urea dan *F. solani* serta menganalisis kandungan kimia gaharu yang terbentuk.

II. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari hingga November 2015 di rumah kaca Departemen Biologi, Institut Pertanian Bogor. Ekstraksi gaharu dilakukan di Laboratorium Fisiologi Tumbuhan, Departemen Biologi, Institut Pertanian Bogor. Analisis *Gas Chromatography Mass Spectrometry* (GCMS) dilakukan di Laboratorium Pengujian Kimia, LIPI, Serpong.

B. Bahan

Bahan penelitian yang digunakan adalah bibit *A. malaccensis* berumur 10 bulan yang berasal dari persemaian komersial di Bogor, pupuk urea dan *F. solani* (kode Lt) yang berasal dari Laboratorium mikrobiologi Balai Penelitian Teknologi Hasil Hutan Bukan Kayu Mataram. Bibit *A. malaccensis* yang digunakan memiliki tinggi tanaman 71-94 cm, diameter batang 0,8 – 1 cm (ketinggian 10 cm dari permukaan tanah), dan

jumlah daun berkisar 10-18 helai. Bibit *A. malaccensis* ditanam pada pot berdiameter 20 cm dan media tanam berupa tanah sebanyak 1,5 kg tiap pot. Pemberian pupuk urea sebanyak 4 gram per bibit dibagi dalam dua kali pemupukan, yang pertama sebanyak 2 gram bersamaan dengan waktu inokulasi *F. solani* sedangkan pemupukan kedua pada saat 45 hari setelah inokulasi. Bibit *A. malaccensis* diletakkan dalam rumah kaca yang dilengkapi paranet 50%. Penyiraman pada bibit dilakukan tiap dua hari. Suhu rumah kaca berkisar antara 25-30°C dan kelembaban udara berkisar 60-70%.

Fusarium solani yang digunakan untuk inokulasi diremajakan dalam media padat *Potato Dextrose Agar* (PDA) menggunakan cawan petri dan diinkubasi pada suhu ruang selama 7 hari. *F. solani* tumbuh membentuk koloni pada media PDA. Kriteria *F. solani* yang digunakan untuk inokulasi adalah warna hifa putih dan koloni tumbuh di seluruh media PDA dalam cawan petri.

C. Rancangan Percobaan Induksi Gaharu

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial. Faktor I adalah pemupukan urea terdiri dari dua taraf yaitu 0 g/bibit dan 4 g/bibit. Faktor II adalah inokulasi dengan *F. solani* terdiri dari dua taraf yaitu 0 cm² dan 1 cm². Kombinasi perlakuan seperti pada Tabel 1. Masing-masing kombinasi perlakuan diulang 3 kali dan masing-masing ulangan terdiri dari 1 individu dengan sayatan inokulasi tiap individu sebanyak 5 buah.

Tabel 1. Kombinasi perlakuan induksi gaharu menggunakan pupuk urea dan *F. solani*

Table 1. Treatments combination of agarwood induction using nitrogen fertilizer and *F. solani*

No.	Kombinasi Perlakuan (Treatments combination)
1.	<i>A. malaccensis</i> perlakuan pupuk urea 0 g/bibit dan <i>F. solani</i> 0 cm ² (POA)
2.	<i>A. malaccensis</i> perlakuan pupuk urea 4 g/bibit dan <i>F. solani</i> 0 cm ² (P1A)
3.	<i>A. malaccensis</i> perlakuan pupuk urea 0 g/bibit dan <i>F. solani</i> 1 cm ² (POAF)
4.	<i>A. malaccensis</i> perlakuan pupuk urea 4g/bibit dan <i>F. solani</i> 1 cm ² (P1AF)

Catatan: Masing-masing perlakuan diulang 3 kali

Remarks: Each treatment was repeated 3 times

D. Metode Inokulasi *F. solani*

Metode inokulasi yang digunakan adalah dengan menyayat atau melukai batang bibit *A. malaccensis* yang kemudian ditempel dengan isolat *F. solani* dalam media padat PDA. Penyayatan batang secara melingkar pada kulit batang menggunakan silet dengan lebar sayatan 1

cm serta jarak antar sayatan 10 cm (Mohamed et al., 2014) dengan modifikasi. Jarak sayatan terbawah dari permukaan tanah sebesar 5 cm. Bibit *A. malaccensis* ditempel *F. solani* yang tumbuh di media PDA dengan dosis seluas 0 dan 1 cm². Bekas sayatan yang telah ditempel inokulan kemudian ditutup dengan kasa dan disiram akuades steril setiap hari.

E. Analisis Kandungan Kimia Gaharu

Analisis kandungan kimia dilakukan setelah kayu gaharu dipanen (3 bulan setelah perlakuan). Kayu gaharu yang digunakan untuk analisis kandungan kimia adalah kayu gaharu paling wangi yaitu hasil perlakuan P1AF. Kayu gaharu sebanyak 20 gram dikeringkan pada oven dengan suhu 70°C selama 14 hari kemudian dihancurkan menggunakan blender. Ekstraksi kayu gaharu dilakukan dengan metode maserasi. Kayu gaharu diekstrak dengan dua macam pelarut yaitu air dan n-heksan. Prosedur pembuatan ekstrak air yaitu 2 gram serbuk kayu gaharu direndam dalam akuades 100 ml selama 2 hari kemudian disaring dan filtratnya dihomogenisasi serta diuapkan dalam penangas (Handa et al., 2008). Ekstrak n-heksan dibuat dengan cara 2 gram serbuk kayu gaharu direndam dalam n-heksan 100 ml selama 2 hari kemudian disaring dan filtratnya diuapkan pada suhu ruang. Ekstrak selanjutnya dianalisis kandungan kimianya menggunakan GCMS Shimadzu QP 5000.

F. Metode Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan meliputi data warna kayu, aroma gaharu, serta data senyawa kimia. Pengamatan warna kayu dilakukan setiap minggu selama 3 bulan setelah inokulasi, namun data yang ditampilkan adalah warna kayu gaharu pada pengamatan terakhir. Sedangkan uji aroma gaharu pada semua perlakuan dilakukan sebanyak satu kali yaitu setelah 3 bulan perlakuan. Uji aroma gaharu dengan cara dibakar. Tingkat aroma wangi kayu gaharu dinyatakan dalam skor. Skor 0 untuk tidak wangi, skor 1 untuk wangi, skor 2 untuk wangi sekali. Senyawa kimia diukur dengan GCMS.

G. Analisis Data

Data aroma wangi kayu gaharu dianalisis dengan Uji Hildebrand (Statistik non parametrik, untuk menguji interaksi) dan Uji Kruskal Wallis (Statistik non parametrik untuk mengetahui ranking). Jika hasil Uji Kruskal Wallis signifikan maka dilanjutkan dengan Uji Mann Whitney U untuk melihat antar perlakuan mana yang signifikan. Uji Kruskal Wallis dan Mann Whitney U menggunakan software SPSS 15. Data warna kayu gaharu dan senyawa kimia dianalisis secara deskriptif.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Warna dan Aroma Kayu Gaharu *A. malaccensis*

Warna kayu gaharu *A. malaccensis* pada semua perlakuan saat 3 bulan setelah inokulasi disajikan pada Gambar 1. Warna kayu gaharu berbeda tiap perlakuan dan warna paling cokelat dihasilkan oleh perlakuan *A. malaccensis* dipupuk urea 4 g/bibit dan diinokulasi *F. solani* 1 cm² (P1AF) (Gambar 1). Warna kayu gaharu pada perlakuan P1A, P0A, dan P0AF adalah putih tulang. Aroma kayu gaharu paling wangi juga dihasilkan oleh perlakuan P1AF (Tabel 2). Aroma wangi kayu gaharu dipengaruhi oleh interaksi antara pupuk urea dan *F. Solani* (Uji Hildebrand, $p < 0.05$).

Tabel 2. Aroma gaharu *A. malaccensis* hasil perlakuan pupuk urea dan *F. solani*.

Table 2. The fragrance of *A. malaccensis* agarwood treated with nitrogen fertilizer and *F. solani*

Perlakuan (Treatments)	Aroma (Fragrance)	Standar deviasi (Standard Deviation)
Pupuk urea 4 g/bibit dan <i>F. Solani</i> 0 cm ² (P1A)	0 c	0
Pupuk urea 0 g/bibit dan <i>F. Solani</i> 0 cm ² (P0A)	0 c	0
Pupuk urea 4 g/bibit dan <i>F. Solani</i> 1 cm ² (P1AF)	2 a	0
Pupuk urea 0 g/bibit dan <i>F. Solani</i> 1 cm ² (P0AF)	1 b	0

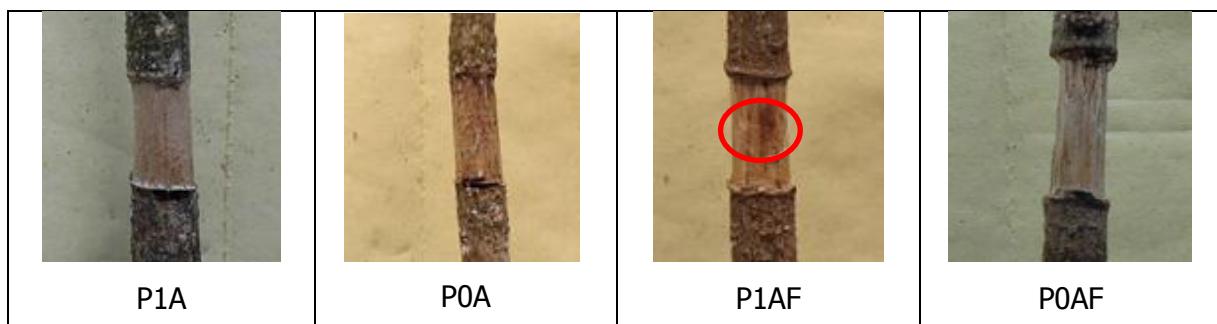
Catatan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak signifikan (Uji Mann Wjtney U $p > 0.05$)

Remarks: Numbers with the same letter in the same column had no significant difference (Mann Whitney U test $p > 0.05$)

Warna kayu gaharu pada perlakuan P1AF masih pada tingkatan warna cokelat. Warna kayu

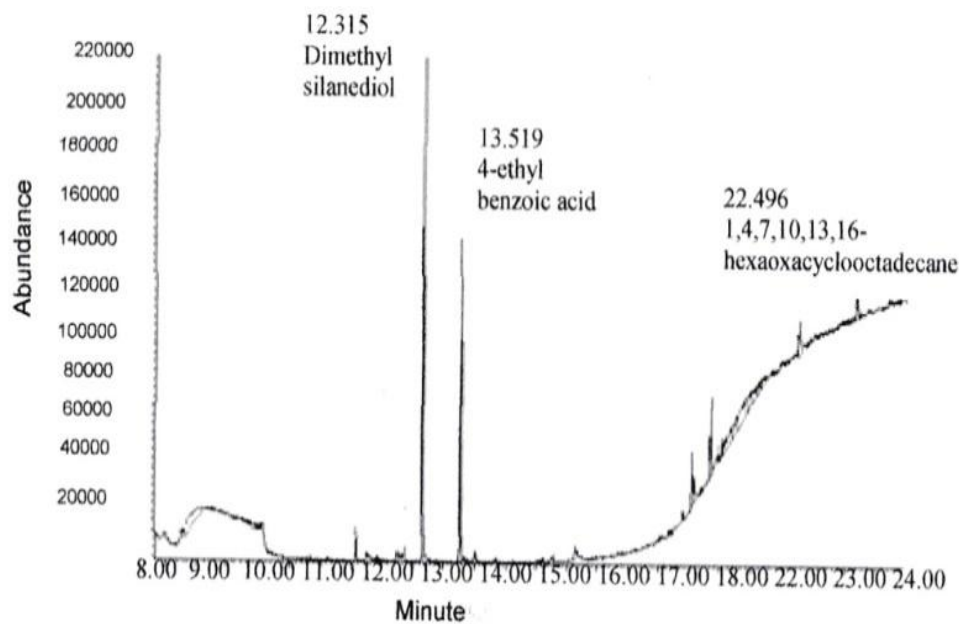
gaharu dipengaruhi oleh kandungan sesquiterpen. Warna kayu gaharu yang gelap umumnya mengandung sesquiterpen dalam jumlah besar, sehingga mempengaruhi densitas dan warna kayu (Amin *et al.*, 2012). Warna cokelat pada gaharu hasil penelitian ini diduga berhubungan dengan waktu panen yaitu tiga bulan setelah inokulasi saat pembentukan dan akumulasi sesquiterpen belum optimal. Zona gelap umumnya muncul dari daerah sekitar luka/bekas suntikan dan terus berkembang menjadi warna yang lebih gelap setelah 3 bulan perlakuan (Faisal *et al.*, 2016).

Aroma kayu gaharu paling wangi dihasilkan oleh perlakuan kombinasi antara pupuk urea dan *F. solani* (P1AF). Perlakuan kombinasi cenderung menghasilkan gaharu yang lebih wangi dibandingkan perlakuan tunggal (Rahayu *et al.*, 2009). Pada penelitian ini, perlakuan pupuk urea memberikan efek positif terhadap pembentukan wangi kayu gaharu saat ada infeksi *F. solani*. Hal ini diduga karena unsur nitrogen yang ada di dalam pupuk urea membentuk asam amino aromatik bersamaan dengan respon *A. malaccensis* terhadap infeksi cendawan *F. solani*. Ohyama (2010) menyatakan bahwa nitrogen merupakan unsur hara esensial pada tumbuhan sebagai komponen untuk pembentukan protein, asam amino, asam nukleat, membran lipid, Adenosin Tri Phosphat (ATP), Nikotinamida Adenosin Dinukleotida Hidrogen (NADH), Nikotinamida Adenin Dinukleotida Phosphat (NADPH), co-enzim, pigmen fotosintesis, dan metabolit sekunder. Aroma wangi kayu gaharu diduga terbentuk berhubungan dengan peran nitrogen dalam sintesis asam amino fenilalanin dan tirosin (asam amino aromatik) yang selanjutnya membentuk fenol melalui jalur asam sikhimat sebagai bentuk pertahanan tanaman terhadap infeksi patogen (Mazid *et al.*, 2011).



Gambar 1. Warna batang *A. malaccensis* dengan perlakuan pupuk urea dan *F. solani*. P1A = pupuk urea 4g/bibit dan *F. solani* 0 cm², P0A= pupuk urea 0g/bibit dan *F. solani* 0 cm², P1AF= pupuk urea 4g/bibit dan *F. solani* 1 cm², P0AF= pupuk urea 0g/bibit dan *F. solani* 1 cm². Lingkaran merah menunjukkan warna batang paling cokelat.

Figure 1. The colour of *A. malaccensis* agarwood with nitrogen fertilizer and *E. solani* treatment. P1A = nitrogen fertilizer 4g/sapling and *E. solani* 0 cm². P0A = nitrogen fertilizer 0g/sapling and *F. solani* 0 cm². P1AF = nitrogen fertilizer 4g/sapling and *E. solani* 1 cm². P0AF = nitrogen fertilizer 0g/sapling and *E. solani* 1 cm². Red circle showed the darkest brown of *A. malaccensis* agarwood.



Gambar 2. Kromatogram senyawa kimia gaharu hasil analisis GCMS
Figure 2. Chromatogram of agarwood chemical compound analyzed using GCMS

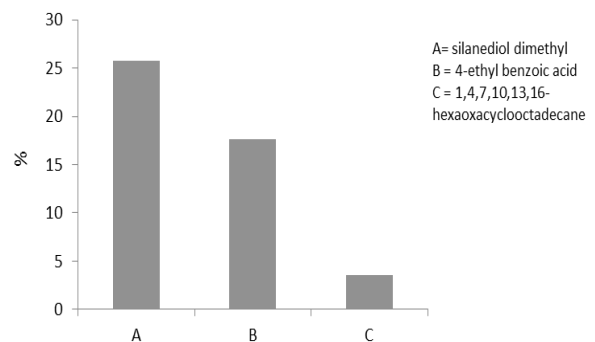
Fusarium solani menginfeksi *A. malaccensis* dengan cara merusak jaringan pektin pada dinding sel batang *A. malaccensis*. Infeksi *F. solani* ini menyebabkan *A. malaccensis* memproduksi senyawa fitoaleksin untuk mencegah pertumbuhan dan persebaran *F. Solani* (Ahuja et al., 2012). *A. malaccensis* dapat bertahan hidup dengan terus memproduksi senyawa fitoaleksin yang terakumulasi dan membentuk gaharu (Novriyanti dan Santosa, 2011).

Senyawa fitoaleksin pada *A. malaccensis* terinfeksi *F. solani* ada yang bersifat aromatik dan ada yang bersifat mendukung perubahan warna kayu menjadi cokelat gelap. Infeksi *F. solani* pada *A. malaccensis* selama tiga bulan telah menyebabkan stres dan menginduksi munculnya senyawa aromatik, tetapi warna batang masih pada tingkatan cokelat gelap. Berdasarkan hal ini diduga pembentukan aroma wangi kayu gaharu terjadi terlebih dahulu, sedangkan pembentukan warna membutuhkan waktu yang lebih lama. Hasil penelitian Rahayu et al. (1999) menunjukkan bahwa pembentukan aroma wangi kayu gaharu tidak selalu diikuti oleh perubahan warna kayu. Hal ini menunjukkan bahwa aroma wangi yang tinggi tidak selalu diikuti oleh intensitas warna yang tinggi pula, sehingga warna dan wangi merupakan kriteria yang tidak saling mempengaruhi dalam penentuan mutu gaharu.

B. Kandungan Kimia Gaharu

Aquilaria malaccensis yang menghasilkan gaharu paling wangi diperoleh dari perlakuan dipupuk urea 4g/bibit dan diinokulasi *F. solani*

(P1AF). Kayu yang beraroma kemudian diekstrak dan dianalisis kandungan kimianya menggunakan GCMS. Kromatogram hasil GCMS disajikan pada Gambar 2, sedangkan persentase senyawa kimia ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Persentase senyawa kimia gaharu hasil analisis GCMS

Figure 3. Percentage of agarwood chemical compound analyzed using GCMS

Gambar 2 menunjukkan bahwa ada banyak senyawa yang terdeteksi berdasarkan waktu retensinya. Ada tiga jenis senyawa dengan persentase tertinggi yaitu dimetil silanediol, 4-etil asam benzoat dan 1,4,7,10,13,16-heksaoksasiklootadecan berturut-turut 25,7; 17,62 dan 3,56 % (Gambar 3). Dimetil silanediol ($C_2H_8O_2Si$) merupakan produk turunan dari siloksan (Bryant dan McClung, 2011). Senyawa 4-etil asam benzoat ($C_9H_{10}O_2$) merupakan kelas benzena dan memiliki komponen aromatik

(fenol). Senyawa 1,4,7,10,13,16-heksaoksasiklooktadekan ($C_{12}H_{24}O_6$) terbentuk melalui oligomerasi etilen oksida yang merupakan eter siklik.

Berdasarkan waktu retensinya, senyawa yang muncul lebih dulu adalah dimetil silanediol kemudian diikuti oleh 4-etil asam benzoat dan 1,4,7,10,13,16-heksaoksasiklooktadekan. Dimetil silanediol berfungsi sebagai anti mikroba. Kemungkinan senyawa ini disintesis oleh *A. malaccensis* untuk melawan infeksi *F. solani*. Kemudian senyawa yang disintesis berikutnya adalah 4-etil asam benzoat yang diduga berperan dalam pembentukan aroma wangi kayu gaharu perlakuan pemupukan urea dan inokulasi *F. solani*. Senyawa kimia 4-etil asam benzoat yang terkandung dalam kayu gaharu hasil perlakuan P1AF ini kemungkinan menyebabkan aroma paling wangi diantara perlakuan lainnya (Tabel 2). Persentase kandungan 4-etil asam benzoat sebesar 17,62% diduga cukup untuk menghasilkan aroma wangi kayu gaharu pada perlakuan P1AF.

Senyawa kimia yang terkandung dalam gaharu hasil inokulasi dengan cendawan antara lain benzylaseton, benzaldehida, guaiana, palustrol, anisylaseton, dan turunan kromon (Jong, 2012). Hasil ini berbeda dengan senyawa kimia yang terkandung dalam gaharu hasil perlakuan pemupukan urea dan inokulasi *F. solani* yaitu dimetil silanediol, 4-etil asam benzoat dan 1,4,7,10,13,16-heksaoksasiklooktadekan. Perbedaan kandungan kimia pada gaharu kemungkinan menyebabkan perbedaan aroma.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Perlakuan yang diuji cobakan selama tiga bulan menghasilkan aroma dan warna gaharu yang berbeda-beda. Perlakuan pupuk urea 4g/bibit dan *F. Solani* 0 cm², pupuk urea 0g/bibit dan *F. Solani* 0 cm² tidak menghasilkan aroma gaharu dan warna kayu masih putih tulang. Perlakuan pupuk urea 0g/bibit dan *F. Solani* 1 cm² menghasilkan aroma gaharu namun warna kayu masih putih tulang. Perlakuan *A. malaccensis* dipupuk urea 4g/bibit dan diinokulasi *F. solani* dapat menghasilkan aroma gaharu paling wangi, tetapi warna gaharu yang dihasilkan masih cokelat gelap. Ada tiga jenis senyawa kimia yang terkandung dalam gaharu *A. malaccensis* yang dipupuk urea 4g/bibit dan diinokulasi *F. solani* yaitu dimetil silanediol, 4-etil asam benzoat, dan 1,4,7,10,13,16-heksaoksasiklooktadekan dengan persentase berturut-turut 25,7; 17,62 dan 3,56 %. Senyawa 4-etil asam benzoat merupakan kelas benzena dan memiliki komponen aromatik (fenol).

B. Saran

Penelitian induksi pembentukan gaharu pada anakan *A. malaccensis* menggunakan variasi jenis cendawan dan taraf pupuk urea lebih dari 4 gram kemungkinan dapat meningkatkan kualitas gaharu. Selain itu, waktu pemanenan gaharu sebaiknya lebih dari 3 bulan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan atas pembiayaan penelitian dalam hal ini Kementerian Keuangan Republik Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahuja, I., Kissen, R., & Bones, AM. (2012). Phytoalexins in defense against pathogens. *Trends in Plant Science*, 12(2),73-90.
- Akter, N., & Neelim, AZ. (2008). Agarwood plantation at BRAC tea estate: introduction, environmental factors and financial analysis. http://research.brac.net/reports/Agarwood_Plantation_BRAC.pdf Accessed 5 August 2016.
- Akter, S., Islam, MD., Zulkefeli, M., Khan, SI. (2013). Agarwood production a multidisiplinary field to be explored in Bangladesh. *International Journal of Pharmaceutical and Life Science*, 2(1),22-32.
- Amin, MRM., Bejo, SK., Ismail, WIW., Mashohor, S. (2012). Colour extraction of agarwood images for fuzzy C-means classification. *Walailak Journal of Science and Technology*, 9(4), 445-459.
- Azah, MN., Husni, SS., Mailina, J., Sahrim, L., Majid, JA., & Faridz, ZM. (2013). Classification of agarwood by resin content. *Journal of Tropical Forest Science*, 25(2), 213-219.
- Bryant RJ, McClung AM (2011) Volatile profiles of aromatic and non-aromatic rice cultivars using SPME/GC-MS. *Food Chem*, 124(2), 501-513.
- CITES. (2010, November). Appendix II of convention on international trade in endangered species of wild fauna and flora. Diakses dari <https://cites.org/eng/notif/2010/E007A.pdf>
- Compton, J., & Ishihara, A. (2004). *The use and trade of agarwood in Japan. A TRAFFIC report to the CITES Secretariat* (Vol. 6). Retrieved from <http://144.76.93.178/sites/default/files/common/com/pc/15/X-PC15-06-Inf.pdf>
- Faizal, A., Esyanti, RR., Aulianisa, EN., Iriawati., Santoso, E., Turjaman, M. (2016). Formation of agarwood from *Aquilaria malaccensis* in response to inoculation of local strains of *Fusarium solani*. *Trees*. doi:10.1007/s00468-016-1471-9
- Handa, SS., Khanuja, SPS., Longo, G., Rakesh, DD. (2008). Extraction technologies for medicinal and aromatic plants .ICS-UNIDO, Italy.
- Jong, PL. (2012). Effects of mechanical wounding and infection patterns of *Fusarium solani* on gaharu formation in *Aquilaria malaccensis* Lam.[disertasi]. Malaysia (MY): Universitas Putra Malaysia.

- Kakino, M., Tazawa, S., Maruyama, H., Tsuruma, K., Araki, Y., Shimazawa, M., & Hara, H. (2010). Laxative effects of agarwood on low-fiber diet-induced constipation in rats. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 10, 68-75.
- Li, W., Cai, CH., Guo, ZK., Wang, H., Zuo, WJ., Dong, WH., Mei, WL., & Dai, HF. (2015). Five new eudesmane-type sesquiterpenoids from Chinese agarwood induced by artificial holing. *Fitoterapia*, 100, 44-49.
- Liu, Y., Chen, H., Yang, Y., Zhang, Z., Wei, J., Meng, H., Chen, W., Feng, J., Gan, B., Chen, X., Gao, Z., Huang, J., Chen, B., Chen, H. (2013). Whole-tree agarwood-inducing technique: an efficient novel technique for producing high-quality agarwood in cultivated *Aquilaria sinensis* trees. *Molecules*, 18(3), 3086-3106.
- Mazid, M., Khan, TA., Mohammad, F. (2011). Role of secondary metabolites in defense mechanisms of plants. *Biology and Medicine*, 3(2), 232-249.
- Mohamed, R., Lee, JP., & Kudus, KA. (2014). Fungal inoculation induced agarwood in young *Aquilaria malaccensis* trees in the nursery. *Journal of Forestry Research*, 25(1), 201-204.
- Ng, LT., Chang, YS., Kadir, AA. (1997). A review on agar (gaharu) producing *Aquilaria* species. *Journal of Tropical Forest Products*, 2, 272-285.
- Novriyanti, E., Santosa, E. (2011). The role of phenolics in agarwood formation of *Aquilaria crassna* Pierre ex Lecomte and *Aquilaria microcarpa* Baill. *Indonesia Journal of Forestry Research*, 8(2), 101-113.
- Nurbaya., Kuswinanti, T., Rosmana, A., Baharuddin., Millang, S. (2014). Growth rate and identification of *Fusarium* sp associated with *Aquilaria* sp from Nunukan regency, North Kalimantan. *International Journal Current Research and Academic Review*, 2(11), 33-40.
- Ohyama, T. (2010). *Nitrogen Assimilation in Plants*. Japan: Niigata University.
- Okudera, Y., Ito, M. (2009). Production of agarwood fragrant constituents in *Aquilaria* calli and cell suspension cultures. *Plant Biotechnology*, 26(3), 307-315.
- Persoon G (2007) Agarwood: the life of a wounded tree. *IIAS Newslett*, 45, 24-25
- Rahayu,G., Isnaeni, Y., Umboh, MIJ. (1999). Potensi beberapa himofiset dalam induksi gejala pembentukan gubal gaharu. di dalam: *Seminar kongres nasional ke XV dan seminar ilmiah perhimpunan fitopatologi Indonesia*; Purwokerto, 1999 Sept 16-18; Purwokerto, Indonesia. Purwokerto (ID): Universitas jendral Sudirman. hlm:1-6.
- Rahayu,G., Santoso, E., Yunita, L. (2009). Interaksi *Acremonium* sp. dan metil jasmonat dalam pembentukan gubal gaharu pada *Aquilaria microcarpa*. di dalam: *Proceedings and seminar program international seminar and the 20th national congress of Indonesian phytopathological society*; Makasar, 2009 Agu 4-7; Makasar, Indonesia. Makasar (ID): Universitas Hasanudin. hlm 18.
- Singh, M., Khan, MM., Naeem, M. (2014). Effect of nitrogen on growth, nutrient assimilation, essential oil content, yield and quality attributes in *Zingiber officinale* Rosc. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 15(2), 171-178.
- Zhang, Z., Wei, J., Han, X., Liang, L., Yang, Y., Meng, H., Xu, Y., Gao, Z. (2014). The sesquiterpene biosynthesis and vessel-occlusion formation in stems of *Aquilaria sinensis* (Lour.) Gilg trees induced by wounding treatments without variation of microbial communities. *International Journal of Molecular Sciences*, 15(12), 23589-23603.