

DEVELOPMENT OF INDUCTION TECHNOLOGY ON AGARWOOD CULTIVATION - A REVIEW

Oleh :

I Gde Adi Suryawan Wangiyana

Program Studi Kehutanan Universitas Pendidikan Mandalika

Abstract : Agarwood is one of high valuable non-timber forest commodity produce by family thymeleaceae, especially genus *Aquilaria* and *Gyrinops*. Agarwood commodity on the market only could be sold from cultivated species. Thus, agarwood cultivation method should be fully understood by agarwood farmers and agarwood researchers. Induction technology is one of the most important things on agarwood cultivation method. Induction procedure could induce resin production on agarwood cultivated species. This resin has an aromatic fragrance which well known as “gubal” on the market. It is impossible for cultivated agarwood species to produce gubal without induction process. Induction technology has been developed from old traditional method into new modern method. Each method has several advantages and disadvantages. Old traditional method induced agarwood physically using traditional equipment such as: machete, chopper and nail. It is simple method but only produce resin in very small area. Modern method induces agarwood using chemical liquid or microorganism culture that could spread all over agarwood stem. This method could induce resin in a very wide area compare to traditional method. Resin productivity using modern method is higher than those traditional methods. Thus this modern method induction technology could be best solution for agarwood farmers to increase their agarwood resin.

Keywords: Agarwood, Development, Induction

PENDAHULUAN

Gaharu adalah hasil hutan bukan kayu bernilai ekonomis tinggi yang dihasilkan oleh kelompok family Thymeleaceae. *Aquilaria* dan *Gyrinops* merupakan dua genus dalam family ini yang terkenal sebagai penghasil komoditi gaharu berkualitas tinggi (Lopez-Sampson & Page, 2018). Dua genus ini tersebar hampir diseluruh wilayah Indonesia sehingga menjadikan negara ini salah satu penghasil gaharu terbesar di dunia (Turjaman dan Hidayat, 2017). Terdapat tendensi bahwa kelompok *Aquilaria* tersebar di wilayah barat Indonesia sementara itu kelompok *Gyrinops* tersebar di wilayah timur Indonesia (Roemantyo dan Partomihardjo, 2010).

Eksplotasi besar – besaran terhadap komoditas penghasil gaharu menyebabkan terjadinya penurunan signifikan terhadap populasi spesies penghasil gaharu di alam (Andres & Henrik, 2008). Sementara itu laju pertumbuhan dan kemampuan dispersal dari spesies alam penghasil gaharu relatif lambat dan tidak sebanding dengan pemanenan yang dilakukan (Soehartono & Newton, 2001). Akibatnya sebagian besar spesies penghasil gaharu dari genus *Aquilaria* dan *Gyrinops* masuk dalam daftar CITES appendix II (Schmidt, 2011) dan juga IUCN red list dengan status vulnerable (Soehartono & Newton, 2000). Implikasinya terdapat pembatasan komoditi gaharu spesies alam yang diperjualbelikan di pasar internasional. Padahal disatu sisi kebutuhan

komoditi gaharu secara global masih sangat tinggi (Smith, 2018)

Salah satu solusi agar pemenuhan komoditi gaharu tetap dapat dilakukan tanpa mengganggu kelestarian spesies alam adalah dengan melakukan budidaya (Wangiyana dan Malik, 2018). Budidaya gaharu merupakan suatu hal kompleks yang melibatkan multidisiplin ilmu (Akter et al., 2013). Akan tetapi prioritas harus difokuskan pada produktivitas resin gaharu yang merupakan bagian terpenting dalam komoditi gaharu karena mempengaruhi mutunya di pasar (Muntaqo, 2012). Resin gaharu ini memiliki aroma harum karena didominasi oleh berbagai senyawa aromatic diantaranya senyawa fenolik (Novriyanti & Santoso, 2011) serta kelompok senyawa sesuiterpen dan kromon (Nasution et al., 2019). Resin tersebut merupakan salah satu bentuk respon spesies penghasil gaharu terhadap gangguan yang diterima baik secara fisik, kimiawi ataupun biologis yang dikenal dengan istilah induksi (Sundaram & Khapugin, 2017). Gaharu budidaya yang tidak mengalami proses induksi tidak akan menghasilkan resin yang menjadi komoditas bernilai ekonomis tinggi (Santoso et al., 2011). Oleh karena itulah proses induksi merupakan hal yang sangat penting dilakukan dalam budidaya gaharu (Tan et al., 2019)

Dalam perkembangannya, terdapat berbagai metode induksi pembentukan resin gaharu mulai dari teknik tradisional dan modern. Teknik

tradisional menggunakan perlakuan secara fisik pada batang pohon gaharu untuk menginduksi pembentukan resin (Pojanagaroon & Kaewrak, 2005). Teknik modern dilakukan dengan menginjeksikan senyawa kimia seperti metil jasmonat (Hamim et al., 2009), ataupun menginjeksikan mikroorganisme kapang (Turjaman et al., 2016; Wangiyana dkk., 2020a) kedalam batang pohon gaharu. Dalam artikel review ini akan dibahas keunggulan dan kelemahan masing – masing teknik induksi serta teknik induksi yang direkomendasikan untuk digunakan oleh petani gaharu dalam meningkatkan produktivitas resin.

UPAYA BUDIDAYA GAHARU

Budidaya gaharu merupakan salah satu bentuk konservasi agar spesies alam penghasil gaharu tetap lestari ditengah permintaan pasar terhadap komoditi gaharu yang masih sangat tinggi (Kanazawa, 2017). Upaya budidaya telah dilakukan diberbagai negara penghasil gaharu di Benua Asia karena spesies alam penghasil gaharu terus mengalami penurunan.

Malaysia fokus terhadap budidaya spesies gaharu terutama anggota genus *Aquilaria*. Program budidaya genus ini telah diatur dalam kebijakan dan regulasi yang didukung oleh pemerintah. Total terdapat lahan seluas 1300 hektar yang mampu menampung 1,2 juta pohon untuk keperluan budidaya (Hashim et al., 2016)

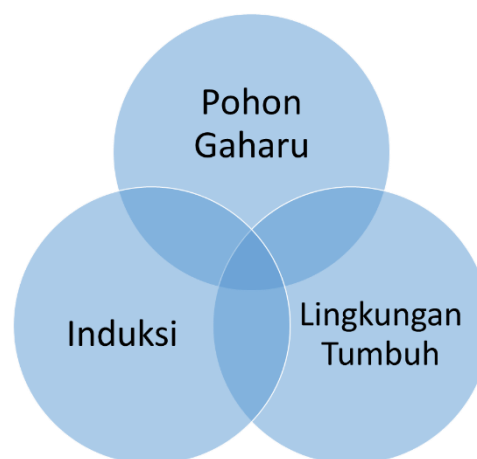
Di Indonesia fokus pengembangan budidaya gaharu dilakukan oleh *Forestry Research and Development Agency* (FORDA). Estimasi kasar terdapat lebih dari 3,4 juta pohon telah dibudidayakan dan tersebar di seluruh wilayah Indonesia. Akan tetapi sebaran tegakan gaharu budidaya hanya berada di sepertiga dari total 34 provinsi yang ada di Indonesia. Tentu saja terdapat pengaruh faktor alam yang menyebabkan sebaran belum merata seperti itu (Turjaman & Hidayat, 2017)

Di China fokus budidaya gaharu anggota genus *Aquilaria* difokuskan pada 6 Provinsi meliputi Guangxi, Hainan, Fujian, Yunnan, Guangdong. Berdasarkan data dari tahun 2006 – 2010 telah terdapat 5.285 hektar lahan baru untuk keperluan budidaya gaharu. Luas lahan tersebut mampu menampung lebih dari 20 juta pohon gaharu sehingga prospek pengembangan secara besar – besaran dapat dilakukan (Yin et al., 2016)

Di Bangladesh terdapat perkebunan untuk keperluan budidaya gaharu *Aquilaria* yang mampu menampung hingga 800.000 pohon. Pengembangan gaharu secara besar – besaran ini dilakukan secara natural dan juga artifisial. Perkebunan gaharu ini diharapkan dapat memberikan stimulus yang mampu mengangkat

perekonomian di negara Bangladesh (Chowdhury et al., 2016)

Salah satu Lokasi budidaya gaharu kelompok *Aquilaria* di Vietnam adalah di pulau Phu Quoc. Di Pulau ini, petani lokal menanam ribuan pohon gaharu. Mereka umumnya menanam pohon gaharu untuk diambil benihnya. Benih tersebut mereka bibitkan kemudian dijual. Budidaya gaharu secara besar – besaran di pulau ini merupakan sebuah upaya konservasi nyata yang dilakukan oleh masyarakat (Nakashima et al., 2005)



Gambar 1. Faktor – faktor yang mempengaruhi produksi resin pada gaharu budidaya

Produksi resin sebagai target utama dalam budidaya gaharu dipengaruhi oleh tiga faktor (gambar 1). Faktor pertama adalah jenis pohon gaharu yang dibudidayakan. Secara umum penghasil gaharu masuk dalam family *Thymelaeaceae*, namun hanya dua genus dalam family ini yang mampu menghasilkan resin gaharu berkualitas tinggi, yaitu *Aquilaria* dan *Gyrinos*. Secara genetis, terdapat hubungan filogenetik yang menyebabkan kedua genus tersebut mampu menghasilkan resin berkualitas tinggi (Lee et al., 2018). Secara anatomis pada organ batang kedua genus ini ditemukan struktur *Included Phloem* yang merupakan struktur penting tempat terbentuknya resin (Mohamed et al., 2013). Secara teknis, kedua genus ini memiliki tingkat respon yang tinggi terhadap inokulan fungi sehingga mampu memproduksi resin gaharu (Chhipa et al., 2017)

Faktor kedua adalah faktor lingkungan, yaitu bagaimana lingkungan tempat tumbuh pohon gaharu budidaya mampu mendukung pertumbuhan yang optimal (Sumarna, 2012). Faktor yang mempengaruhi diantaranya adalah faktor intensitas cahaya (Mulyono, 2014), faktor temperatur pertumbuhan ideal (Akter & Nelim, 2008), faktor kelembapan dan ketersediaan air (Talucder et al., 2016) serta faktor pemupukan dan asosiasi dengan mikroorganisme pada rizosfer media tumbuh (Wicaksono dkk., 2019).

Faktor ketiga adalah induksi terhadap pohon gaharu. Faktor induksi merupakan faktor paling penting yang secara langsung mempengaruhi produksi resin pada pohon gaharu. Gaharu budidaya tidak akan mungkin memproduksi resin tanpa mendapat perlakuan induksi (Tan et al., 2019).

INDUKSI SECARA TRADISIONAL

Metode induksi secara tradisional mengutamakan perlakuan secara fisik untuk menginduksi pembentukan resin pada gaharu. Prinsip dasarnya adalah melukai batang pohon gaharu dengan menggunakan berbagai peralatan, diantaranya: sekrap, paku, pahat, kapak dan palu. Perlakuan bisa berupa sayatan ataupun tusukan dengan berbagai variasi (Persoon, 2007).

Perlakuan pada batang pohon gaharu menyebabkan respon perubahan warna (discoloration). Area batang yang mendapat perlakuan berubah warna menjadi cokelat kekuningan dalam waktu 3 bulan pasca perlakuan. Selanjutnya pada 8 – 10 bulan pasca perlakuan area tersebut berubah menjadi cokelat kehitaman. Pada akhirnya setelah bulan ke 20 pasca perlakuan, area tersebut berubah warna menjadi hitam (Pojangaroon & Kaewrak, 2005)

Metode induksi secara fisik merupakan salah satu metode induksi artifisial yang cukup sederhana. Dari segi biaya, metode ini juga cukup murah sehingga tidak heran jika banyak petani gaharu yang menggunakan metode ini (Rasool & Mohamed, 2016) Meskipun demikian metode ini memiliki keterbatasan terutama dalam hal produktivitas resin yang dihasilkan (Wu et al., 2017)



Gambar 2. Metode induksi tradisional menggunakan paku dan golok (Wangiyana dkk., 2020)

Selain dengan perlakuan, metode pemangkasan atau yang dikenal juga dengan istilah pruning merupakan salah satu metode induksi fisik. Petani gaharu tradisional di Tiongkok menggunakan metode ini dalam budidaya gaharu (Liu et al., 2013). Selain itu metode ini juga digunakan oleh petani gaharu di Indonesia, khususnya di Pulau Lombok (Wangiyana dan Putri, 2019).

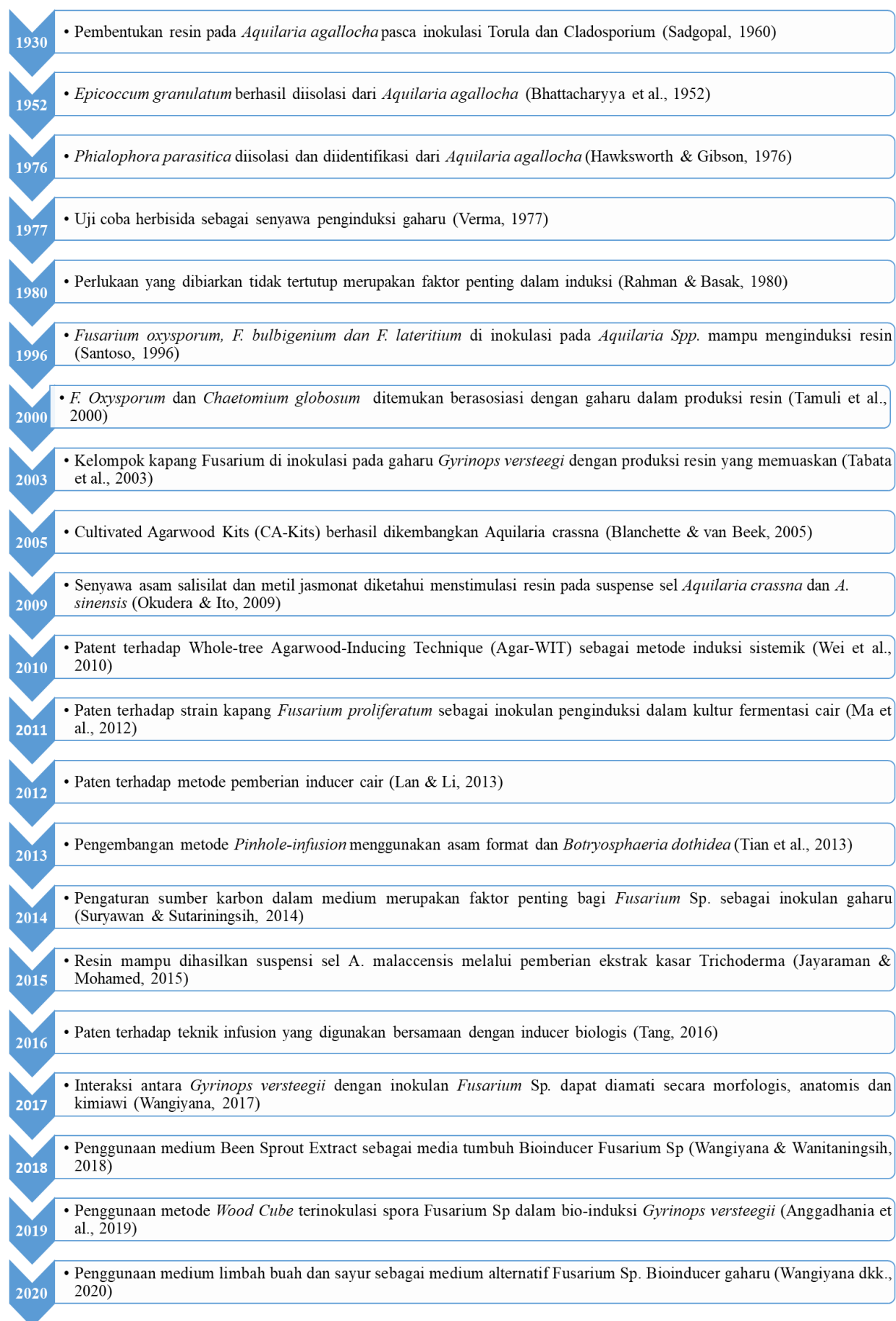
PERKEMBANGAN METODE INDUKSI MODERN

Jika metode induksi tradisional lebih memfokuskan pada perlakuan fisik, metode induksi modern lebih memfokuskan pada induksi secara luas menggunakan bahan kimia ataupun mikroorganisme. Dengan demikian skala produksi resin yang dihasilkan jauh lebih besar dibandingkan dengan metode induksi tradisional (Tan et al., 2019).

Metode induksi modern dapat dilakukan dengan menggunakan *chemical inducer* ataupun *biological inducer*. Senyawa kimia yang digunakan sebagai *chemical inducer* antara lain: metil jasmonat (Yunita, 2009), asam salisilat (Rusliani, 2008), etilen (Prastyo, 2019), Urea (Wahyuni dkk., 2018). Sementara itu *biological inducer* menggunakan mikroorganisme berupa kapang yang diinjeksikan pada pohon gaharu. Berbagai kelompok kapang telah digunakan sebagai *bioinducer* diantaranya: *Acremonium* Sp (Triadiati, 2016), *Rhizopus* Sp. (Haryanto, 2016), *Trichoderma* Sp. (Jayaraman & Mohamed, 2015), *Lasiodiplodia theobromae* (Chen et al., 2017) dan *Fusarium* (Budi et al., 2010; Santoso et al., 2011; Lisdayani et al., 2015; Faizal et al., 2017; Wangiyana & Wanitaningsih, 2018; Aggadhandia et al., 2019; Wangiyana et al., 2020)

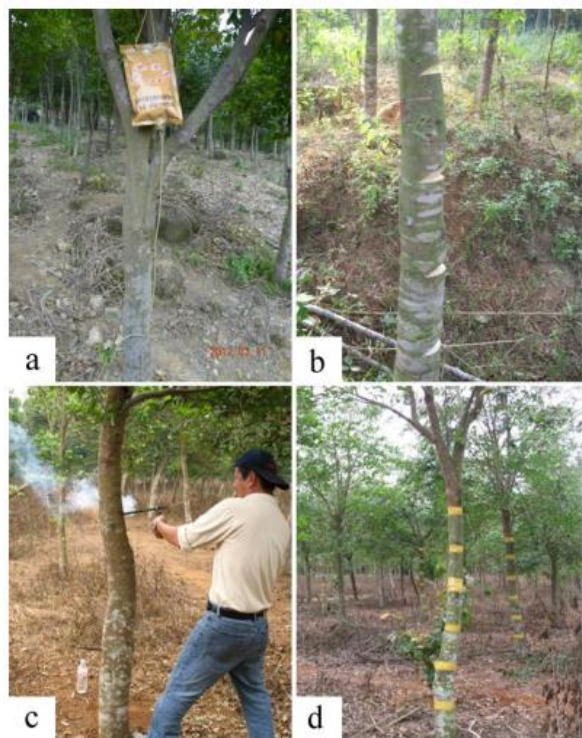
Teknologi induksi modern baik menggunakan *chemical inducer* ataupun *biological inducer* telah mengalami perkembangan pesat sejak tahun 1930 – 2020 (gambar 3). Hal ini tidak terlepas dari banyaknya penelitian yang fokus untuk mengembangkan teknologi induksi modern sehingga menghasilkan berbagai macam produk baik itu publikasi ataupun hak kekayaan intelektual (Azren et al., 2018)

Meskipun metode induksi secara tradisional mudah untuk dilakukan, namun karena produktivitas resin yang kurang optimal telah menggeser penggunaan metode ini di kalangan praktisi gaharu. Terlebih lagi dengan semakin berkembangnya studi *bioinducer* ataupun *chemical inducer* yang efektif untuk menginduksi pembentukan resin, telah menyebabkan metode induksi modern menjadi metode yang ideal untuk digunakan (Tan et al., 2019)



Gambar 3. Timeline perkembangan teknologi induksi modern pada gaharu

Pengembangan metode induksi modern umumnya juga diikuti oleh perkembangan teknik aplikasi *bioinducer* ataupun *chemical inducer*. Pengembangan teknik aplikasi ini penting untuk menjamin metode induksi dilakukan dengan efisien dan *inducer* yang digunakan mampu mengoptimalkan produksi resin. Beberapa metode aplikasi induksi dapat dilihat pada gambar 4 (Liu et al., 2013)



Gambar 4. Beberapa teknik aplikasi induksi. Menggunakan infusikan Whole tree agrwood inducing technique (a), Partly trunk pruning (b), Burning chisel drilling method (c), inokulasi fungi dengan pengeboran (d) (Liu et al., 2013)

PERBANDINGAN METODE INDUKSI TRADISIONAL VS MODERN

Pada sub-bab sebelumnya telah dipaparkan secara detail mengenai induksi tradisional dan modern. Metode induksi tradisional dan modern memiliki perbedaan mendasar dalam hal prinsip kerja. Metode induksi tradisional lebih memfokuskan pada perlukaan secara fisik untuk memicu produksi resin pada pohon gaharu, sementara metode induksi modern menggunakan inducer baik berupa senyawa kimia ataupun berbagai mikroorganisme yang dijadikan sebagai *biological inducer* (Tan et al., 2019). Masing – masing metode tersebut mempunyai kelebihan dan kekurangan dalam menginduksi pohon gaharu. Pemaparan lebih detail terkait kelebihan dan kekurangan masing – masing metode dideskripsikan dalam tabel 1

Tabel 1. Perbandingan Induksi tradisional dan Modern

Metode Tradisional	
Kelebihan	Kekurangan
• Mudah dilakukan • Biaya operasional murah	• Melelahkan karena membutuhkan banyak tenaga • Waktu untuk produksi resin yang relatif lama • Kualitas resin yang dihasilkan tidak teruji • Produktivitas resin rendah dan hanya pada areal perlukaan
(Mohamed et al., 2010; Rasool & Mohamed, 2016; Wu et al., 2017)	
Metode Modern	
Menggunakan <i>Inducer Biologis</i>	
• Inducer biologis berupa mikro-organisme yang diisolasi dari alam sehingga aman dan ramah lingkungan • Mikroorganisme inducer dapat diperbanyak dengan mudah, hemat biaya dan menjamin selalu tersedia setiap saat • Produksi resin menyebar diseluruh pohon gaharu karena mikroorganisme inducer dapat berkembang biak	• Mikroorganisme inducer membutuhkan waktu inkubasi • Membutuhkan waktu banyak untuk membuat lubang inokulasi pada pohon gaharu • Kualitas resin yang dihasilkan ditentukan strain mikroorganisme yang digunakan sehingga sulit melakukan penyeragaman
(Mohamed et al., 2014; Rasool and Mohamed, 2016; Sangaeswari Nagajothi et al., 2016)	
Menggunakan <i>chemical inducer</i>	
Kelebihan	Kekurangan
• Produksi resin dapat dilakukan dengan cepat • Resin yang dihasilkan memiliki kualitas konsisten dan seragam • Mudah dilakukan untuk produksi skala besar	• Keamanan terhadap lingkungan yang belum teruji karena menggunakan bahan sintetik yang tidak alami • Keamanan terhadap kesehatan manusia yang belum teruji • Dosis dari bahan kimia yang diberikan sangat krusial
(Zhang et al., 2012; Liu et al., 2013; Van Thanh et al., 2015)	

Berdasarkan tabel 1, keuntungan dari metode induksi tradisional hanya mudah untuk dilakukan dan biaya operasional yang murah. Sementara itu jika berfokus pada produktivitas resin yang dihasilkan metode induksi modern lebih unggul.

Metode induksi modern dengan menggunakan *Chemical inducer* dan *biological inducer* mempunyai keuntungan dan kerugian masing – masing secara teknis. Karena menggunakan isolate mikroorganisme yang diisolasi langsung dari pohon gaharu di alam, metode *biological inducer* dapat dikatakan sebagai metode alami yang tingkat keamanan produk hasil induksinya relatif aman. Metode ini dapat dikatakan juga sebagai metode artifisial yang paling menyerupai pembentukan resin gaharu secara natural di alam. Akan tetapi karena strain mikroorganisme sebagai bioinducer yang digunakan bervariasi, maka standarisasi produk hasil induksinya relatif sulit untuk dilakukan. Untuk itu, jika produksi dilakukan dalam skala besar, akan terbentur pada ketidaksinambungan produk. Disatu sisi *chemical inducer* karena menggunakan bahan yang diantar komposisi dan dosisnya, maka produk induksi yang dihasilkan dapat lebih mudah untuk distandarisasi sehingga cocok digunakan untuk produksi skala besar. Akan tetapi karena belum terdapat pengujian menyeluruh terkait keamanan bahan kimia yang digunakan baik untuk lingkungan dan manusia, terdapat paradigma bahwa metode *chemical inducer* ini lebih kurang aman dibandingkan dengan *biological inducer*. (Tan et al., 2019)

Terdapat peluang untuk mengkombinasikan kedua teknik induksi modern tersebut. Hal ini dikarenakan kelebihan dan kekurangan kedua teknik tersebut bersifat saling menutupi. Meskipun demikian kombinasi kedua teknik tersebut merupakan suatu hal yang baru dalam dunia induksi gaharu sehingga masih diperlukan riset dan pengembangan yang memadai untuk mendukung teori tersebut.

PENTUP

Metode induksi modern lebih efisien dalam menginduksi resin karena memiliki produktivitas lebih baik dibandingkan dengan metode induksi tradisional. Dua teknik dalam induksi modern yaitu menggunakan *biological inducer* dan *chemical inducer* memiliki kelebihan dan kekurangan masing – masing dengan kecenderungan *biological inducer* lebih aman namun sulit untuk produksi skala besar, sementara itu *chemical inducer* cocok untuk digunakan dalam skala besar namun terbentur masalah keamanan hasil induksi baik untuk lingkungan maupun kesehatan manusia.

DAFTAR PUSTAKA

- Andress, J. & Henrik, M. 2008. Does Commercialization of a-Non-timber Forest Product Reduce Ecological Impact? A case Study of the Critically Endangered *Aquilaria crassna* in Lao PDR. *Oryx*. 42 (2), 214 – 221
- Anggadhanika, L., Anita Nugraheni, Y. M. M., Wangiyana I G. A. S., Nawawi, M., Soetarto, E. S., 2019. Biomass Enhancement of Agarwood formation on *Gyrinops versteegii* (Gilg.) Domke in Lombok. *International Journal of Sustainable Biomass and Bioenergy*. 2 (1), 1 – 5.
- Akter, N. & Neelim, A. Z., 2008. Agarwood Plantation at BRAC Tea Estate: Introduction, Environmental Factors and Financial Analysis. *BRAC Research Report*.
- Akter, S., Islam, M. T., Zusoh Z. M., Khan, S. I., 2013. Agarwood production - a multi disciplinary field to be explored in Bangladesh. *Int. J. Pharm. Life Sci*. 1(4-3):1-11.
- Azren, P. D., Lee, S. Y., Emang, D., Mohamed, R., 2018. History and perspective of induction technology for agarwood production from cultivated *Aquilaria* in Asia: a review. *J. For. Res*. 30 (1), 1 – 11.
- Bhattacharyya, B., Datta, A., Baruah, H. K., 1952. On the formation and development of agar in *Aquilaria agallocha*. *Sci. Cult*. 18, 240 – 241.
- Blanchette, R. A. & van Beek, H. H., 2005. Cultivated agarwood. U. S. Patent and Trademark Office, Washington DC, pp 1 – 15. US patent 6848211.
- Budi, S., Santoso, E., Wahyudi, A., 2010. Identification of potential types of fungi on establishment agarwood stem of *Aquilaria* spp. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 1, 1 – 5.
- Chen, X., Sui, C., Liu, Y., Yang, Y., Liu, P., Zhang, Z., Wei, J., 2017. Agarwood formation induced by fermentation liquid of *Lasiodiplodia theobromae*, the dominating fungus in wounded wood of *Aquilaria sinensis*. *Curr. Microbiol.*, 74, 460 – 468.
- Chhipa, H., Kaushik, N., Chowdhary, K., 2017. Artificial production of agarwood oil in *Aquilaria* sp. by fungi: a review.

- Phytochemistry Reviews*. 1-26. 10.1007/s11101-017-9492-6.
- Chowdhury, M., Hussain, M. D., Chung, S. O., Kabir, E., Rahman, A., 2016. Agarwood manufacturing: a multidisciplinary opportunity for economy of Bangladesh-a Review. *AgricEngInt: CIGR*. 18 (3), 171 – 178.
- Faizal, A., Esyanti, R. R., Aulianisa, E. N., Santoso, E., Turjaman, M., 2017. Formation of agarwood from *Aquilaria malaccensis* in response to inoculation of local strains of *Fusarium solani*. *Trees*. 31, 189 – 197.
- Hawksworth, D. L. & Gibson, I. A. S., 1976. *Phialophora parasitica*. C.M.I. description of pathogenic fungi and bacteria. *Commonwealth Mycological Institute*, Kew, 504
- Kanazawa, K., 2017. Sustainable Harvesting and Conservation of Agarwood: A Case Study from the Upper Baram River in Sarawak, Malaysia. *Tropics*, 25 (4), 139 – 146.
- Lan, J. & Li, H., 2013. Method for producing agilawood on *Aquilaria* plant by eccentric perfusion method. CN102668908A. State Intellectual Property Office of the P.R.C., Beijing, pp. 1 – 10.
- Lee, S. Y., Turjaman, M., Mohamed, R. 2018. Phylogenetic relatedness of several Agarwood - Producing Taxa (Thymelaeaceae) from Indonesia. *Trop. Life. Sci. Res*. 29 (2): 13 – 28.
- Lisdayani, L., Anna, N., Siregar, E. B. M., 2015. Isolation and identifying of fungi from the stem of agarwood (*Aquilaria malaccensis* Lamk) was had been inoculation. *Peronema For. Sci*. 4, 1 – 5
- Liu, Y., Chen, H., Yang, Y., Zhang, Z., Wei, J., Meng, H., Chen, W., Feng, J., Gan, B., Chen, Z., 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 (2013), 3086 – 3106.
- López-Sampson, A. & Page, T., 2018. History of Use and Trade of Agarwood. *Economic Botani*. 72 (2018), 107–129. <https://doi.org/10.1007/s12231-0189408-4>
- Hamim, Rahayu, G., Rosita, R. 2009. Efektivitas Pemberian Metol Jasmonat Secara Berulang dalam Meningkatkan Deposit Senyawa Terpenoid Pohon Gaharu (*Aquilaria crassna*). Dalam: Seminar Nasional 1 Gaharu Menuju Produksi Gaharu Secara Lestari di Indonesia. IPB International Convention Center, Bogor 12 November 2009.
- Haryanto, I. R., 2016. Pengaruh isolate *Fusarium* Sp. dan *Rhizopus* Sp. pada berbagai teknik inokulasi terhadap pembentukan kemedangan pada tanaman gaharu (*Gyrinops versteegii*). Skripsi. Universitas Jember. Jember.
- Hashim, J. R. N., Mustapa, M. Z., Othman, K., 2016. Agarwood: policy and regulations in Malaysia. Paper presented at the 2nd International Scientific Symposium on Agarwood, 10 – 12 October 2016, Putra Jaya, Malaysia. Universiti Putra Malaysia, Serdang, P.12.
- Jayaraman, S. & Mohamed, R., 2015. Crude extract of *Trichoderma* elicits agarwood substance in cell suspension culture of the tropical tree, *Aquilaria malaccensis* Lam. *Turk. J. Agric. For*. 39, 163 – 173.
- Ma, H., Liang, K., Zhou, Z., Huang, G., Lin, M., 2012. Method for rapid formation of agilawood of *Agallochum* through induction by using fungus fermentation liquid. CN102550311A. State Intellectual Property Office of the P.R.C., Beijing, pp. 1 – 6.
- Muntaqo, F. A., 2012. Korelasi Kadar Seskuiterpene dengan Mutu Gaharu Standar Nasional Indonesia. Skripsi. Departemen Kimia Fakultas MIPA IPB
- Mohamed, R., Jong, P. L., Zali, M. S., 2010. Fungal diversity in wounded stems of *Aquilaria malaccensis*. *Fungal Divers*. 43, 67 – 74.
- Mohamed, R., Wong, M. T., Halis, R., 2013. Microscopic observation of “gaharu” wood from *Aquilaria malaccensis*. *Pertanika J. Trop. Agric. Sci*. 36 (1), 43 – 50.

- Mohamed, R., Jong, P. L., Kamziah, A. K., 2014. Fungal inoculation induces agarwood in young *Aquilaria malaccensis* trees in the nursery. *J. For. Res.* 25, 201 – 204.
- Mulyono, D., 2014. Pengaruh intensitas naungan dalam aklimatisasi pertumbuhan plantelet gaharu (*Aquilaria beccariana*). *JSTI*. 16 (1), 28 – 33.
- Nakashima, E. M. N., Nguyen M. T. T., Tran, Q. L., Kadota, S., 2005. Field survey of agarwood cultivation at Phu Quoc Island in Vietnam. *J. Trad. Med.* 22, 296 – 300.
- Nasution, A. A., Siregar, U. J., Miftahudin, Turjaman, M., 2019. Identification of Chemical Compounds in Agarwood-Producing Species *Aquilaria malaccensis* and *Gyrinops versteegii*. *Journal of Forestry Research*. <https://doi.org/10.1007/s11676-018-00875-9>
- Novriyanti, E. & Santoso, E., 2011. The Role of Phenolics in Agarwood Formation of *Aquilaria crassna* Pierre Ex Lecomte and *Aquilari microcarpa* Bail Trees. *Journal of Forsetry Research*. 8 (2), 101 – 113.
- Okudera, Y. & Ito, M., 2009. Production of agarwood fragrant constituents in *Aquilaria calli* and cell suspension cultures. *Plant Biotechnol.* 26, 307 – 315.
- Persoon, G. A., 2007. Agarwood: The life of a Wounded Tree. IIAS. Newsletter 45 Autum. 2007. https://openaccess.leidenuniv.nl/bitstream/handle/1887/12820/IIASN_L45_2425.pdf?sequence=1. (Diakses: 30 Maret 2020)
- Pojanagaroon, S. C. & Kaewrak, C., 2005. Mechanical Methods to Stimulate Aloeswood Formation in *Aquilaria crassna* Pierre ex H. Lec. (Kritsana) Tree. *Acta Hort.* 676: 161 – 166.
- Prastyo, B. W., 2019. Pengaruh perlakuan induksi ethylene dan methyl jasmonate terhadap perubahan Biologi sel kayu *Aquilaria* Sp. Skripsi. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Rahman, M. A. & Basak, A. C., 1980. Agar production in agar trees by artificial inoculation and wounding. *Bano Biggyan Patrika*. 9, 87 – 93.
- Rasool, S. & Mohamed, R., 2016. Understanding agarwood formation and its challenges. In: Mohamed, R. (Ed), *Agarwood: Science Behind the Fragrance*. Berlin, Springer, 39 – 56.
- Roemantyo, and Partomihardjo, T., 2010. Analisis Prediksi Sebaran Alami Gaharu Marga *Aquilaria* Dan *Gyrinops* Di Indonesia. *Berita Biologi*. 10 (2), 189 – 198 .
- Rusliani, D. 2008. Pengaruh asam salisilat terhadap sifat kayu gaharu (*Aquilaria crassna*). Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sadgopal, V. B., 1960. Exploratory studies in the development of essential oils and their constituents in aromatic plants. Part I. Oil of agarwood. *Soap Perfum Cosmet* (Lond), 33, 41 – 46.
- Sangarewari Nagajothi, M., Thangamuthu Parthiban, K., Umesh Kanna, S., Karthiba, L., Saravenakumar, D., 2016. Fungal microbes associated with agarwood formation. *Am. J. Plant. Sci.* 7, 1445 – 1452.
- Santoso, E., 1996. Pembentukan gaharu dengan cara inokulasi. In: Turjaman, M. (Ed). Makalah diskusi hasil penelitian dalam menunjang pemanfaatan hutan yang lestari. Pusat Litbang Hutan dan Konservasi Alam, 11 – 12 Maret 1996, 1 – 3.
- Santoso E., Irianto, R. S. B., Turjaman, M., Sitepu, I. R., Santosa, S., Najumlah, Yani, A., Aryanto, 2011. Gaharu-Producing Tree Induction Technology. In: Turjaman, M. (Ed). *Proceeding of Gaharu Workshop Development of Gaharu Production Technology*, Bogor, July 2011
- Schmidt, M.S., 2011. Introduction to CITES and Agarwood Overview. In: *Asian Regional Workshop on Agarwood*. Indonesia, 22 – 24 November 2011.
- Smith, S., 2018. Global Market Study on Agarwood Essential Oil: Growing Demand from the Cosmetic and Personal Care Industry Driving Revenue Growth. <https://www.prnewswire.com/news-releases/global-market-study-on-agarwood-essential-oil-growingdemandfrom-the-cosmetic-and-personal-careindustry>

- try-driving-revenue-growth300761489.html. (diakses: 4 Maret 2020)
- Soehartono, T. & Newton, A. C., 2000. Conservation and sustainable use of tropical trees in the Genus *Aquilaria* I. status and distribution in Indonesia. *Biological Conservation* 96 (2000), 83 – 94.
- Sumarna, Y., 2012. Budidaya jenis pohon penghasil gaharu. Pusat Litbang Produktivitas Hutan. https://www.fordamof.org/files/Budidaya_gaharu.pdf. (diakses: 12 Januari 2020)
- Sundaram, S. R. & Khapugin, A. A., 2017. Agarwood: Science Behind the Fragrance. Mohamed, R. (ed). New York, Springer Publishing.
- Suryawan, I G. A. & Sutariningsih, E. 2014. Seleksi Isolat *Fusarium* Berdasarkan Kemampuan Tumbuh pada Berbagai Sumber Karbon Sebagai Penginduksi Pembentukan Gaharu *Gyrinops versteegii* (Gilg) Domke. Tesis. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Tan, C. S., Isa, N. M., Ismail, I., Zainal, Z., 2019. Agarwood Induction: Current Developments and Future Perspectives. *Front. Plant. Sci.* 10: 122. Doi: <http://10.3389/fpls.2019.00122>
- Talucder, M. S. A., Baten, M. A., Elnesr, M. N., 2016. Anomalies of reference crop evapotranspiration and related climatic parameters in Sylhet and Maulbibazar of Bangladesh. *Int. J. Sustain. Crop Prod.* 11(1), 9-17.
- Tabata, Y., Widjaja, E., Mulyaningsih, T., Parman, I., Wiriadinata, H., Mandang, Y. I., Itoh, T., 2003. Structural survey and artificial induction of aloeswood. *Wood Res. Bull Wood Res. Inst. Kyoto. Univ.* 90, 11 – 12.
- Tamuli, P., Boruah, P., Nath, S. C., Samanta, R., 2000. Fungi from diseased agarwood tree (*Aquilaria agallocha* Roxb.): two records. *Adv. For. Res. India.* 22, 182 – 187.
- Tang, J., Liu, Y., 2016. A natural incense inducer and methods of producing agarwood. CN103858689A. State Intellectual Property Office of the P.R.C., Beijing. Pp 1 – 5.
- Tian, J., Gao, X., Zhang, W., Wang, L., Qu, L., 2013. Molecular identification of endophytic fungi from *Aquilaria sinensis* and artificial agarwood induced by pinholes-infusion technique. *Afr. J. Biotechnol.* 12, 3115 – 3131.
- Triadiati, T., Carolina, D. A., Miftahudin, 2016. Induksi pembentukan gaharu menggunakan berbagai media tanam dan cendawan *Acremonium* Sp. dan *Fusarium* Sp. pada *Aquilaria crassna*. *Jurnal Sumberdaya HAYATI.* 2 (1), 1 – 6.
- Turjaman, M., Hidayat, A., Santoso, E., 2016. Development of Agarwood Induction Technology Using Endophytic Fungi. *Agarwood, Tropical Forestry.* Mohamed, R. (Ed). Singapore, Springer.
- Turjaman, M. & Hidayat, A., 2017. Agarwood-planted Tree Inventory in Indonesia. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* <https://doi.org/10.1088/17551315/54/1/012062>
- Van Thanh, L., Van Do, T., Son, N. H., Sato, T., Kozan, O., 2015. Impacts of biological, chemical and mechanical treatment on sesquiterpene content in stems of planted *Aquilaria crassna* trees. *Agroforest. Syst.* 89, 973 – 981.
- Verma, V. P. S., 1977. Trials of herbicides for inducing formation of agarwood in *Aquilaria agallocha* Roxb. *Indian Perfum.* 21, 151 – 153.
- Wahyuni, R., Triadiati, T., Falah, S., 2018. Induksi pembentukan gaharu pada *Aquilaria malaccensis* menggunakan pupuk urea dan *Fusarium solani*. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea.* 7 (2), 165 – 171.
- Wangiyana, I. G. A. S., Sanjaya, A., & Anggadhanika, L., 2020b. Pengolahan Sampah Buah dan Sayur dari Pasar Induk Mandalika Kota Mataram Nusa Tenggara barat Sebagai Media Tumbuh *Fusarium* sp. Inokulan Gaharu. *IJEEM-Indonesian Journal of Environmental Education and Management,* 5 (2), pp.173 – 183. <https://doi.org/10.21009/IJEEM.052.06>

- Wangiyana, I.G.A.S., Wanitaningsih, S.K. and Anggadhanika, L., 2020a. Pelatihan Teknologi Bio-induksi untuk Petani Gaharu di Desa Pejaring, Kabupaten Lombok Timur. *Agrokreatif: Jurnal Ilmiah Pengabdian kepada Masyarakat*, 6(1), 36-44.
- Wangiyana, I. G. A. S., 2019. Medicinal Usage of Agarwood Resin in Form of Essential Oil A Review. *Jurnal Silva Samalas*, 2 (2), 86 – 90.
- Wangiyana, I. G. A. S, Sawaludin, Nizar, W. Y. & Wangiyana, W., 2019. Tannin Concentration of Gyrinops Tea with Different Leaf Processing Methods and Addition of Herbal Medicine Ingredients. *AIP Conference Proceeding* 2199, 1, 070012, <https://doi.org/10.1063/1.5141326>
- Wangiyana, I G. A. S., 2019. Comparison of Dendrogram and Cladogram Topology of Gyrinops versteegii and Others Gyrinops Member for Polyphasic Taxonomy. *Jurnal Silva Samalas*, 2 (1), 13 – 18.
- Wangiyana, I G. A. S. & Putri, D. S., 2019. Aplikasi Zat Pengatur Tumbuh dan Kegiatan Pruning dalam Optimalisasi Budidaya Gaharu di Desa Duman Kecamatan Lingsar Lombok Barat. *Lambung Inovasi: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. 4 (1), 54 – 62.
- Wangiyana, I G. A. S. & Wanitaningsih, S. K., 2018. Pembuatan Inokulan Gaharu Berbasis Bahan Baku Tauge untuk masyarakat Desa Pejaring Timur. *Abdi Insani*. 5 (1), 85 – 91.
- Wangiyana, I G. A. S. & Malik, S., 2018. Application of Arbuscular Mycorrhiza from Senaru Forest Rhizosphere for *Gyrinops versteegii* Germination and Growth. *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*. 10 (2), 432 – 438.
- Wangiyana, I G. A. S., 2017. Interaction of *Fusarium* Sp. With *Gyrinops versteegii* Seedling by Morphological, Anatomical and Chemical Observation. *Jurnal Sangkareang Mataram*. 3 (3), 19 – 24.
- Wei, J., Yang, Y., Zhang, Z., Meng, M., Feng, J., Gan, B., 2010. Liquid infusion method for producing linaloe on *Aquilaria sinensis* tree. CN101755629. State Intellectual Property Office of the P. R. C., Beijing, pp, 1 – 5.
- Wicaksono, H., Wangiyana, I. G. A. S., Nizar, W. Y., 2019. Studi Kolonisasi Fungi Mikoriza Arbuskular pada Gaharu (*Gyrinops versteegii*) dengan Sumber Inokulan Rizosfer Perkebunan Gaharu. *Jurnal Agrotek Ummat*, 6 (2), 45 – 50, <https://doi.org/10.31764/agrotek.v6i2.1209>
- Wu, Z. Q., Liu, S., Li, J. F., Li, M. C., Du, H. F., Qi, L. K., 2017. Analysis of gene expression and quality of agarwood using Agar-bit in *Aquilaria sinensis*. *J Trop. For. Sci.* 29, 380 – 388.
- Yin, Y., Jiao, L., Dong, M., Jiang X., Zhang, S., 2016. Wood resources identification and utilization of agarwood in China. In: Mohamed, R. (Ed) *Agarwood*. Springer, Singapore, 21 – 38.
- Yunita, L, 2009. Efektivitas Acremonium Sp. dan Metil jasmonat dalam peningkatan mutu gaharu asal *Aquilaria microcarpa*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Zhang, X/ L., Liu, Y. Y., Wei, J. H., Yang, Y., Zhang, Z., Huang, J. Q., 2012. Production of high-quality agarwood in *Aquilaria sinensis* trees via whole-tree agarwood-inducing technology. *Chin. Chem. Lett.* 23, 727 – 730.

