



Pengaruh *Pretreatment Microwave* Terhadap Rendemen dan Profil Kimiawi Minyak Gaharu *Aquilaria Sp.*

Defiza, Alfiah Az Zahra, Supandi, Hendri Aldrat*

Program Studi Farmasi, Fakultas Ilmu Kesehatan (FIKES), Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta (UINJKT)

* E-mail: hendri@uinjkt.ac.id

Abstrak

Minyak gaharu salah satu produk hasil penyulingan dari resin gaharu yang selain aromanya yang unik dan memiliki aktivitas biologis. Oleh karena tingginya minat serta kelangkaan sumber-sumbernya secara alamiah, peneliti berusaha menemukan cara agar proses penyulingannya lebih efisien tanpa mengorbankan kualitas. Pada penelitian ini serbuk resin gaharu diberikan pretreatment sebelum disuling dengan menggunakan microwave dengan daya 180 Watt selama 3 x 3 menit. Selanjutnya serbuk resin tersebut direndam masing-masing 1, 2, 3, dan 4 minggu sebelum dilakukan hidrodistilasi selama 15 jam. Minyak atsiri yang dihasilkan selanjutnya dianalisa menggunakan GCMS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan rendemen minyak atsiri setelah pretreatment. Ada senyawa yang konsisten muncul pada semua perlakuan termasuk kontrol seperti benzylacetone, β -selinene, alloaromadendrene, n-hexadecanoic acid, β -guaiene, dan agarospirol, sedangkan senyawa yang muncul setelah diberikan perlakuan *microwave* di antaranya adalah di antaranya adalah γ -gurjunene, valerenol, valencene, dibenzylacetone, α -selinene, α -guaiene, beta elemene, γ -muurolene, isocaryophyllene, ocimene, valerenal, cadinene dan dimetil octatriene. Adapun di antara senyawa di atas, yang baru muncul setelah mengalami perendaman adalah valerenal, dibenzylacetone, isocaryophyllene, ocimene, α -guaiene, β -elemene, dan γ -muurolene. Praperlakuan dengan menggunakan microwave dengan daya 180W dan perendaman sampai 2 minggu dapat meningkatkan jumlah rendemen dan keanekaragaman komponen minyak gaharu atsiri..

Kata kunci: gaharu, hidrodistilasi, microwave 180W, perendaman, penyulingan, pretreatment

Abstract

Agarwood (gaharu) essential oil is a product of distillation from agarwood resin, which has a unique aroma and biological activity. Due to the high demand and scarcity of its natural sources, researchers have been trying to find ways to make the distillation process more efficient without sacrificing quality. In this study, agarwood resin powder was pre-treated before distillation using a microwave with a power of 180 watts for 3 x 3 minutes. The resin powder was then soaked for 1, 2, 3, and 4 weeks before hydrodistillation for 15 hours. The essential oil produced was then analyzed using GCMS. The results of the study showed that there was an increase in the yield of essential oil after pretreatment. Some compounds consistently appeared in all treatments including control such as benzylacetone, β -selinene, alloaromadendrene, n-hexadecanoic acid, β -guaiene, and agarospirol, while the compounds that appeared after being given microwave treatment included γ -gurjunene, valerenol, valencene, dibenzylacetone, α -selinene, α -guaiene, beta elemene, γ -muurolene, isocaryophyllene, ocimene, valerenal, cadinene and dimethyl octatriene. Among the compounds above, the new ones that appeared after soaking were valerenal, dibenzylacetone, isocaryophyllene, ocimene, α -guaiene, β -elemene, and γ -muurolene. Pretreatment using a microwave with a power of 180W and soaking can increase the yield and improve the diversity of essential oil components.

Keywords: agarwood, gaharu, hydrodistillation, microwave 180W, pretreatment, soaking

PENDAHULUAN

Aroma yang kuat, unik, tahan lama dan berkarakter kayu menjadikan minyak gaharu bernilai ekonomi tinggi (Mohamed, 2016). Gaharu setidaknya telah lebih dari 2000 tahun menjadi tradisi wewangian di kalangan istana dan untuk aktivitas religius dari kawasan Asia sampai sekarang yang

meliputi Timur Tengah, Asia Selatan, China, Jepang sampai kepada Asia Tenggara (Antonopoulou *et al.*, 2010). Akibat eksplorasi yang masif, gaharu semakin langka ditemukan di hutan, sehingga mulai dari tahun 1994, gaharu telah masuk ke dalam list pada Appendix II pada *Convention on International Trade in Endangered Species* (CITES) (Dwianto *et al.*, 2019).



Tidak hanya aroma yang khas dan unik, seiring dengan berkembangnya teknologi, berbagai kajian aktivitas minyak atsiri dari gaharu telah ditelaah seperti sebagai anti depresi, regulator sistem gastrointestinal, antimikroba, antijamur, antiinflamasi, analgetik, antiasma, antidiabetes, dan antioksidan (Wang *et al.*, 2018).

Harga minyak gaharu yang demikian mahal menjadikan tantangan untuk para peneliti mencari cara yang efektif untuk menyulingnya agar rendemen yang dihasilkan tinggi tanpa harus mengorbankan kualitasnya serta lebih efisien dari segi biaya produksi (Arafat *et al.*, 2020). Salah satu penelitian yang dilakukan untuk meningkatkan metode konvensional hidrodistilasi adalah menambahkan *pretreatment microwave* sebelum proses distilasi minyak atsiri gaharu. Gelombang mikro akan memecah membran sel sehingga membantu meningkatkan rendemen minyak atsiri gaharu dan dapat mempengaruhi kualitas produk minyak atsiri gaharu (Radzi & Kasim, 2020). Penelitian sebelumnya telah dilakukan menggunakan microwave daya 800W sebelum dilakukan hidrodistilasi. Adapun daya yang lebih rendah belum pernah dilaporkan sebelumnya khususnya untuk gaharu dari Indonesia. Penelitian ini menggunakan *pretreatment microwave* dengan daya 180W dengan sampel gaharu Indonesia kualitas kemedangan.

METODE

Alat dan bahan

Alat-alat yang akan digunakan adalah GC-MS (Agilent), *microwave* (Sharp R-753GX(BS)), *heating mantle* (Thermo), *Clevenger apparatus* dan kondensor, *pH meter* (Toledo), *centrifuge* (Eppendorf 5417R) dan *tube* 1.5 mL, blender (Phillips HR2057), timbangan kilogram, timbangan gram, golok, termometer alkohol, vial 3 mL, spuit 1 mL (Thermo), selang air, klem selang air, nepel cabang 3, *aluminium foil*, nampah, botol maserasi, gelas ukur, dan spatel.

Bahan yang digunakan dalam

penelitian ini adalah gaharu kualitas kemedangan (*Aquilaria* sp) yang berasal dari Propinsi Jambi, Sumatera yang diperoleh dari CV Gaharu Aneka Jaya, Klaten, Jawa Tengah, salah satu eksportir gaharu terdaftar di Asosiasi Gaharu Indonesia (Asgarin), air AQUA, dan metanol GC-MS.

Prosedur Kerja

Pretreatment dan Hidrodistilasi

Kayu gaharu yang mengandung resin dan wangi dicacah kasar dan disebut menggunakan blender. Serbuk dibagi menjadi enam kelompok yang masing-masing seberat 500 gram diberikan perlakuan yang berbeda. Sampel pertama merupakan kontrol (KN) yang direndam dengan air 1:10 dan kemudian dilakukan disuling. Sampel kedua, setelah direndam dengan air, kemudian dimicrowave 3x3 menit (M-R0). Daya yang digunakan untuk percobaan ini adalah 180W, berbeda dengan penelitian sebelumnya 800W (Radzi & Kasim, 2020). Sampel ketiga sampai keenam direndam dengan air, kemudian dimicrowave 3x3 menit dan selanjutnya dibiarkan dalam keadaan tertutup selama 1, 2, 3, dan 4 minggu dengan kodenya M-R1, MR2, MR3 dan MR4 berturut-turut. Masing-masing perlakuan diukur pHnya sebelum disuling (Jok *et al.*, 2016). Masing-masing sampel disuling menggunakan *Clevenger apparatus* selama 15 jam dengan perbandingan serbuk kayu gaharu dan air 1:10. Rendemen minyak atsiri dihitung mengikuti penelitian sebelumnya dua kali (Lai *et al.*, 2004), dan karakter warna minyak atsiri diamati (Wibowo & Aulifa, 2019).

Analisa Senyawa Kandungan Minyak Atsiri Gaharu Menggunakan GCMS

Minyak atsiri gaharu diidentifikasi senyawa kimianya menggunakan instrumen GCMS. Sebanyak 1µL sampel diinjeksikan ke dalam instrumen GCMS dan dianalisa kandungan senyawanya.



HASIL DAN PEMBAHASAN

Rendemen dan Karakterisasi Minyak Atsiri Gaharu

Hasil menunjukkan bahwa warna minyak gaharu yang diperoleh tanpa pretreatment microwave dan perendaman memiliki tingkat kecerahan yang berbeda setelah diberikan perlakuan 1-4 minggu. Warna minyak gaharu makin gelap seiring dengan makin lamanya perendaman.

Rendemen hasil penyulingan minyak gaharu meningkat setelah pretreatment dengan microwave dan semakin lama proses perendaman. Proses distilasi di lapangan biasanya berlangsung satu hari sampai 5 hari untuk memperoleh rendemen yang tinggi (Nasardin *et al.*, 2018). Penelitian ini mencoba menggabungkan proses perendaman (Nurhaslina *et al.*, 2018) dan microwave pretreatment (Radzi & Kasim, 2020) agar proses penyulingan tidak perlu berhari-hari, namun rendemen yang dihasilkan dapat optimal. Berikut ini hasil dari sampel tanpa perlakuan, dimikrowave tanpa perendaman, dan dimikrowave perendaman selama 1, 2, 3, dan 4 minggu, rendemen minyak atsiri gaharu secara berturut-turut adalah 0,02%, 0,03%, 0,04%, 0,06%, 0,07%, dan 0,09%. Rendemen minyak atsiri gaharu tertinggi dicapai pada sampel kayu gaharu yang mengalami pretreatment microwave dan direndam selama 4 minggu. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama kayu gaharu direndam, rendemen minyak atsiri yang dihasilkan semakin tinggi. Hasil yang diperoleh konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa proses pretreatment sebelum penyulingan akan meningkatkan rendemen minyak gaharu (Radzi & Kasim, 2020). Rendemen yang dihasilkan tentu saja akan bervariasi tergantung dari kualitas sampel itu sendiri (Pasaribu *et al.*, 2015).

Proses perendaman kayu gaharu dan adanya microwave membuat sel kayu menjadi mudah pecah sehingga minyak atsiri yang terperangkap di dalam sel keluar dan mengakibatkan rendemennya tinggi. Daya

microwave 180Watt dipilih atas dasar penelitian sebelumnya yang menyarankan bahwa daya yang lebih tinggi dapat merusak kandungan beberapa senyawa dalam minyak.

Pemilihan pelarut air dalam ekstraksi minyak atsiri dari kayu gaharu memiliki keuntungan karena air memiliki konstanta dielektrik yang tinggi, yang memfasilitasi proses ekstraksi (Tsubaki *et al.*, 2017). Selain itu, kandungan air alami dalam sel kayu gaharu juga berperan dalam pemecahan dinding sel. Air yang terkandung dalam vakuola menyerap gelombang mikro, yang menyebabkan panas dan meregangkan dinding vakuola, mendorong dinding sel hingga pecah dan melepaskan senyawa aktif di dalamnya (Chan *et al.*, 2016).

Volume air yang digunakan dalam penelitian ini 1:10 untuk memastikan semua serbuk gaharu terendam air. Jumlah air yang optimal pada proses distilasi akan menentukan kualitas minyak atsiri yang dihasilkan (Kusuma *et al.*, 2019). Pada penelitian sebelumnya perbandingan sampel dengan air 1:4,5 (Radzi & Kasim, 2020).

Gaharu yang digunakan diserbuk terlebih dahulu agar dapat membuka kelenjar minyak lebih banyak, meningkatkan kontak sampel dengan air dan mempercepat laju penguapan saat minyak atsiri didistilasi (Kusuma *et al.*, 2019).

Hasil Pengukuran pH Perendaman Kayu Gaharu

Hasil pengukuran pH perendaman kayu gaharu menunjukkan bahwa perendaman kayu gaharu dalam air akan membuat pH menjadi basa mulai dari sampel kayu gaharu yang diberi *pretreatment microwave* tanpa perendaman (pH 7,7) sampai sampel kayu gaharu yang diberi *pretreatment microwave* dan dir endam selama 1 minggu (pH 8,1). Derajat keasaman (pH) pada sampel mulai meningkat menjadi lebih basa setelah minggu ke-2 (pH 8,3) dan akhirnya menurun kembali setelah minggu ke 3 dan ke empat berturut turut menjadi 7,8 dan



7,4).

Perubahan pH pada gaharu terkait dengan adanya kandungan-kandungan Na, Mn dan K yang kemudian bereaksi dengan -OH pada air yang menyebabkan pH menjadi naik (Jok *et al.*, 2015). Selanjutnya pH menurun akibat adanya kandungan sel kayu yang bersifat asam terlepas menuju air dan menyebabkan pH menurun. Umumnya pH air perendaman kayu cenderung menjadi asam seiring dengan semakin lamanya waktu perendaman itu terjadi pembentukan asam-asam organik akibat adanya proses metabolisme mikroba (Cahyandaru *et al.*, 2010). Penurunan pH juga berpengaruh terhadap kerusakan dinding sel yang kondisi asam akan menyebabkan hidrolisis polisakarida pada dinding sel sehingga menyebabkan dinding sel kayu gaharu pecah dan melepaskan senyawa yang terkandung di dalamnya (Veggi *et al.*, 2013).

Hasil Analisa Kandungan Senyawa Minyak Atsiri Gaharu

Kandungan senyawa minyak atsiri gaharu dianalisa dengan menggunakan GCMS. Senyawa-senyawa yang umum terdapat pada minyak atsiri adalah senyawa golongan terpen yang merupakan penggabungan dari unit-unit isopren (Sruthi & Jayabaskaran, 2022). Kualitas gaharu ditandai dengan keberadaan senyawa sesquiterpen dan 2-(2-phenylethyl) chromone (PEC). Pada penelitian ini tidak dijumpai kandungan *chromone* (PEC) yang menyarankan bahwa gaharu jenis ini tidak termasuk jenis kualitas premium. Akan tetapi, keberadaan agarospirol menunjukkan bahwa kualitasnya termasuk baik.

Senyawa yang konsisten terdeteksi pada semua perlakuan adalah tertinggi yang terdeteksi pada semua kelompok minyak atsiri gaharu pada penelitian ini adalah enam senyawa sesquiterpen (*alloaromadendrene*,

aromadendrene, agarospirol, *dihydrocolumellarin*, α -*bulnesene* dan β -*maaliene*), satu keton (*benzylacetone*) dan satu asam lemak *hexadecanoic acid*. Agarospirol dilaporkan dijumpai pada *A. sinensis*, *A. malaccensis*, *A. crassna* dan *A. subintegra* (Gao *et al.*, 2019). Senyawa-senyawa yang muncul dalam minyak gaharu yang dianalisa dengan menggunakan GCMS dapat dilihat pada Tabel 1.

Agarospirol dilaporkan muncul pada resin gaharu setelah tiga bulan induksi pada proses pembuatan gaharu induksi dengan mikroba (Chhipa & Kaushik, 2017). Agarospirol merupakan salah satu komponen penting yang dilaporkan dijumpai pada gaharu Indonesia (Ahmaed & Kulkarni, 2017). *Aromadendrene* tidak hanya dijumpai pada *A. malaccensis*, tapi juga dijumpai pada *A. crassna* (Gao *et al.*, 2019). Senyawa *dihydrocolumellarin*, *sesquiterpene lacton* tidak hanya dijumpai di gaharu, tapi dijumpai pada family Cupressaceae (cypress) (Doimo *et al.*, 1999). Senyawa-senyawa yang muncul dalam minyak atsiri gaharu sejauh ini bervariasi baik jenis maupun kuantitasnya. Hal tersebut terjadi karena berbagai faktor seperti variasi induksi, spesies, dan faktor lingkungan (Gao *et al.*, 2014; Nor Azah *et al.*, 2014; Sen *et al.*, 2017).

Senyawa yang muncul secara konsisten setelah perlakuan microwave adalah empat senyawa sesquiterpen (*valencene*, *valerenol*, α -*selinene*, dan γ -*gurjunene*) dan satu keton (*dibenzylacetone*). Senyawa-senyawa ini telah dilaporkan dijumpai pada gaharu pada penelitian sebelumnya. Tentunya ini akan menarik untuk dikaji lebih lanjut, apakah perlakuan microwave konsisten dengan kemunculan senyawa-senyawa ini. *Cadinene* dan *ocimene* juga muncul setelah perlakuan microwave, namun tidak muncul lagi pada minggu ke-4 yang menyarankan bahwa senyawa ini mengalami degradasi jika



direndam terlalu lama.

Senyawa-senyawa tertentu juga hilang setelah microwave seperti α -agarofuran, α -gurjunene, α -muurolene, α -santalol, aristolene dan *spathulenol*. Senyawa-senyawa ini boleh jadi mudah mengalami kerusakan akibat adanya perendaman dan microwave. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa (-)-*spathulenol* konsisten muncul setelah dan sebelum perlakuan microwave (Radzi & Kasim, 2020). Adanya proses perendaman pada percobaan ini mungkin menyebabkan senyawa ini mengalami degradasi.

**Tabel 1. Hasil analisa GCMS minyak gaharu *Aquilaria* sp. dengan berbagai perlakuan**

Senyawa	CAS	TP	MW0	MW1	MW2	MW3	MW4
Alloaromadendrene	25246-27-9	1.64	1.95	1.86	2.1	3.94	2.01
Aromadendrene	489-39-4	19.04	15.06	14.44	12.53	15.69	12.82
Benzylacetone	2550-26-7	2.73	3.75	0.51	2.13	0.91	1.08
Dihydrocolumellarin	66873-38-9	5.19	5.24	4.77	3.86	4.2	3.43
Hexadecanoic acid	57-10-3	4.61	3.52	4.8	4.06	2.4	3.06
α -Bulnesene	3691-11-0	1.25	1.29	0.92	0.73	0.58	0.82
β -Maaliene	489-29-2	6.37	3.89	4.5	4.5	4.7	4.17
Agarospinol	1460-73-7	1.62	2.89	2.07	1.95	2.22	1.87
Dibenzylacetone	5396-91-8		0.95	1	0.7	0.95	0.73
Valencene	4630-07-3		6.24	6.37	5.27	6.13	5.12
Valerenol	84249-42-3		0.3	1.55	1.2	0.96	1.3
α -Selinene	473-13-2		1.84	1.27	1.48	2.22	1.53
β -Guaiene	88-84-6	5.94	3.76	1.23	1.4	1.89	
γ -Gurjunene	489-40-7		6.24	4.07	5.27	2.03	1.54
Cadinene	5951-61-1		4.82	3.07	4.5	3.3	
Ocimene	29714-97-2		6	5.92	4.96	7.12	
6-Isopropenyl-4,8a-dimethyl-1,2,3,5,6,7,8,8a-octahydronaphthalene-2,3-diol (NIST#194076)	1000189-10-2		7.67		6.38		8.24
b-cis-ocimene	3338-55-4		6			7.12	6.04
d-selinene	28624-23-9	3.35		3.07			3.16
β -elemene	515-13-9			0.7	1.07		0.71
DTXSID90793297	65691-81-8			1.86	1.63		
Eremophilene	10219-75-7		6.24				3.3
Valerenal	4176-16-3			0.55	0.73		

Catatan: Senyawa yang hanya muncul 1 kali tidak dimasukkan ke dalam tabel. Keterangan: CAS=Chemical Abstract Society. KN = Kontrol negatif minyak atsiri gaharu tanpa *pretreatment* dengan microwave dan perendaman; M-R0 = Minyak atsiri gaharu hasil microwave tidak direndam; M-R1 = Minyak atsiri gaharu hasil microwave dengan perendaman 1 minggu; M-R2 = Minyak atsiri gaharu hasil microwave dengan perendaman 2 minggu; M-R3 = Minyak atsiri gaharu hasil microwave dengan perendaman 3 minggu; M-R4 = Minyak atsiri gaharu hasil microwave dengan perendaman 4 minggu.



Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa ada senyawa yang mengalami perubahan komposisi akibat adanya perlakuan. Hal tersebut ditunjukkan dengan adanya beberapa senyawa yang hanya muncul sekali saja selama perlakuan, yakni enam senyawa (TP), empat senyawa (MW0), tiga senyawa (MW1), empat senyawa (MW2), satu senyawa (MW3) dan dua senyawa (MW4) lihat table 1. Adapun senyawa yang teridentifikasi masing-masing perlakuan adalah 22; 26; 26; 27; 22; 21 untuk masing-masing perlakuan dari TP, MW0, MW1, MW2, dan MW3, dan MW4 berturut-turut. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa praperlakuan juga dapat meningkatkan keragaman komponen minyak gaharu (Radzi & Kasim, 2020)..

Senyawa *sesquiterpene* yang merupakan salah satu indikator kualitas dari minyak gaharu, dihasilkan oleh tumbuhan melibatkan aktivitas *Sesquiterpene synthase*1 yang pada penelitian sebelumnya pada Solanaceae menghasilkan *caryophyllene* dan *humulene* (Hoeven *et al.*, 2000). Beberapa contoh dari senyawa-senyawa yang dijumpai dalam kajian ini dijumpai pada tumbuhan lain seperti *α-caryophyllene* dari hops (*Humulus lupulus*) (Hartsel *et al.*, 2016); *α-Guaiene* dari minyak nilam (*Pogostemon cablin*) (Sidabutar *et al.*, 2020);

Aktivitas farmakologis dari komponen-komponen gaharu telah dilaporkan pada penelitian sebelumnya, di antaranya sebagai sedative seperti *benzylacetone* dan *gurjunene* (Wang *et al.*, 2010); antioksidan dari *valencene* (Paari *et al.*, 2019) analgesik dari agarospirol; sitotoksik dan antioksidan dari *caryophyllene* (Wang *et al.*, 2018).

Aromadendrene, *α-humulene*, *β-caryophyllene*, *alloaromadendrene* termasuk dalam senyawa sesquiterpen. Senyawa *sesquiterpen* mempunyai efek yang beragam sebagai antimikroba, antifungi dan antibiotik (Ali *et al.*, 2015; Cui *et al.*, 2011). *Alloaromadendrene* juga memiliki potensi

sebagai antiaging dan antioksidan karena memiliki aktivitas mengurangi resistensi stress oksidatif yang diinduksi oleh juglone (Giuliani *et al.*, 2020).

Tidak hanya memiliki aktivitas farmakologis, komponen-komponen minyak gaharu juga terdapat pada spesies lain digunakan untuk berbagai keperluan industri wewangian dan penyedap rasa (Takeda *et al.*, 1961); *valencene* untuk pengukur kematangan jeruk (Elston *et al.*, 2005).

KESIMPULAN

Rendemen minyak atsiri gaharu tertinggi diperoleh pada kelompok minyak yang dihasilkan dari proses *pretreatment microwave* dan direndam selama 4 minggu jika dibandingkan minyak atsiri gaharu yang tidak diberikan *pretreatment microwave* dan tidak direndam. Praperlakuan menggunakan microwave dan perendaman memberikan hasil rendemen yang lebih tinggi dibandingkan kontrol dan juga senyawanya lebih banyak. Jenis kemedangan yang digunakan dalam sampel penelitian berpengaruh terhadap rendemen yang dihasilkan.

SARAN

Pengujian dengan skala sampel lebih besar diperlukan agar rendemen yang dihasilkan lebih akurat pengukurannya. Sampel divariasikan dari berbagai daerah di Indonesia untuk pembandingan hasil dan komponennya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih atas sokongan biaya dari Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat UIN Syarif Hidayatullah Jakarta (Lemlit UINJKT) berdasarkan SK Rektor no. UN.01/KPA/760 tentang Pembiayaan Penelitian UIN Syarif Hidayatullah Jakarta tahun anggaran 2021 atas nama Defiza. Terima kasih kepada Walid Rumbad untuk



e-ISSN : 2541-3554

p-ISSN : 2086-9827

bantuannya selama proses analisa sampel menggunakan GCMS. Terima kasih kepada Bapak Sugiarto dari CV Gaharu Aneka Jaya atas diskusi tentang kualitas dan pengolahan gaharu serta sampel uji yang diberikan.

DAFTAR RUJUKAN

- Ahmaed, D. T., & Kulkarni, A. D. (2017). Sesquiterpenes and Chromones of Agarwood: A Review. *Malaysian Journal of Chemistry*, 19(1).
- Ali, B., Al-Wabel, N. A., Shams, S., Ahamad, A., Khan, S. A., & Anwar, F. (2015). Essential oils used in aromatherapy: A systemic review. In *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2015.05.007>
- Antonopoulou, M., Compton, J., Perry, L. S., & Al-Mubarak, R. (2010). The trade and use of agarwood (oudh) in the United Arab Emirates. In *TRAFFIC Southeast Asia*.
- Arafat, Y., Altemimi, A., Ibrahim, S. A., & Badwaik, L. S. (2020). Valorization of Sweet Lime Peel for the Extraction of Essential Oil by Solvent Free Microwave Extraction Enhanced with Ultrasound Pretreatment. *Molecules*, 25(18). <https://doi.org/10.3390/molecules25184072>
- Cahyandar, N., Parwoto, & Gunawan, A. (2010). *Konservasi cagar budaya berbahan kayu dengan bahan tradisional*. Balai Konservasi Peninggalan Borobudur.
- Chan, C.-H., Yeoh, H. K., Yusoff, R., & Ngoh, G. C. (2016). A first-principles model for plant cell rupture in microwave-assisted extraction of bioactive compounds. *Journal of Food Engineering*, 188, 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.05.017>
- Chhipa, H., & Kaushik, N. (2017). Fungal and Bacterial Diversity Isolated from *Aquilaria malaccensis* Tree and Soil, Induces Agarospore Formation within 3 Months after Artificial Infection. *Frontiers in Microbiology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01286>
- Cui, J. L., Guo, S. X., & Xiao, P. G. (2011). Antitumor and antimicrobial activities of endophytic fungi from medicinal parts of *Aquilaria sinensis*. *Journal of Zhejiang University: Science B*, 12(5), 385–392. <https://doi.org/10.1631/jzus.B1000330>
- Doimo, L., Fletcher, R. J., & D'arcy, B. R. (1999). Comparison in the γ -Lactone content of oils and extracts from white cypress pine (*Callitris glaucophylla* Thompson and Johnson). *Journal of Essential Oil Research*, 11(4). <https://doi.org/10.1080/10412905.1999.9701173>
- Dwianto, W., Kusumah, S. S., Darmawan, T., Amin, Y., Bahanawan, A., Pramasari, D. A., Lestari, E., Himmi, S. K., Hermiati, E., Fatriasari, W., Laksana, R. P. B., & Damayanti, R. (2019). Anatomical observation and characterization on basic properties of Agarwood (Gaharu) as an Appendix II CITES. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 374(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/374/1/012062>
- Elston, A., Lin, J., & Rouseff, R. (2005). Determination of the role of valencene in orange oil as a direct contributor to aroma quality. *Flavour and Fragrance Journal*, 20(4), 381–386. <https://doi.org/10.1002/ffj.1578>
- Gao, M., Han, X., Sun, Y., Chen, H., Yang, Y., Liu, Y., Meng, H., Gao, Z., Xu, Y., Zhang, Z., & Han, J. (2019). Overview of sesquiterpenes and chromones of agarwood originating from four main species of the genus *Aquilaria*. *RSC Advances*, 9(8), 4113–4130. <https://doi.org/10.1039/C8RA09409H>
- Gao, X., Xie, M., Liu, S., Guo, X., Chen, X., Zhong, Z., Wang, L., & Zhang, W. (2014). Chromatographic fingerprint analysis of metabolites in natural and artificial agarwood using gas



- chromatography-mass spectrometry combined with chemometric methods. In *Journal of chromatography. B, Analytical technologies in the biomedical and life sciences* (Vol. 967, pp. 264–273). <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2014.07.039>
- Giuliani, C., Pieraccini, G., Santilli, C., Tani, C., Bottoni, M., Schiff, S., Fico, G., Papini, A., & Falsini, S. (2020). Anatomical investigation and GC-MS analysis of “Coco de Mer”, *Lodoicea maldivica* (J. F. Gmel.) Pers. (Arecaceae). *Chemistry & Biodiversity*. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202000707>
- Hartsel, J. A., Eades, J., Hickory, B., & Makriyannis, A. (2016). Cannabis sativa and Hemp. In *Nutraceuticals: Efficacy, Safety and Toxicity*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802147-7.00053-X>
- Hoeven, R. S. van der, Monforte, A. J., Breeden, D., Tanksley, S. D., & Steffens, J. C. (2000). Genetic Control and Evolution of Sesquiterpene Biosynthesis in *Lycopersicon esculentum* and *L. hirsutum*. *The Plant Cell*, 12(11), 2283–2294. <https://doi.org/10.1105/tpc.12.11.2283>
- Jok, V. A., Radzi, N. C., & Hamid, K. H. K. (2015). Agarwood Oil Yield As A Result of Changes in Cell Morphology Due To Soaking Process. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 2443–2450. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.387>
- Jok, V. A., Zainudin, M. A. F., Radzi, N. C., & Hamid, K. H. K. (2016). Compounds Identification in Agar Wood Soaking Water by Using GC-MS. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 7(5), 340–343. <https://doi.org/10.18178/ijcea.2016.7.5.602>
- Kusuma, H. S., Putri, D. K. Y., Triesty, I., & Mahfud, M. (2019). Comparison of microwave hydrodistillation and solvent-free microwave extraction for extraction of agarwood oil. *Chiang Mai Journal of Science*, 46(4), 741–755.
- Lai, E. Y. C., Chyau, C. C., Mau, J. L., Chen, C. C., Lai, Y. J., Shih, C. F., & Lin, L. L. (2004). Antimicrobial activity and cytotoxicity of the essential oil of *Curcuma zedoaria*. *American Journal of Chinese Medicine*, 32(2), 281–290. <https://doi.org/10.1142/S0192415X0400193X>
- Mohamed, R. (2016). *Agarwood: Science Behind the Fragrance*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-10-0833-7>
- Nasardin, N. R. M., Hanafiah, M. A. M., Zainon, M., Ibrahim, M., Rahman, A. I. A., Baharudin, Z. A., Husin, M. H. M., Mahir, I., & Zulkefle, A. A. (2018). Comparison of Chemical Compounds of Essential Oils from Natural Agarwood and Inoculated Agarwood (Roselle-Based Inoculation). *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 11(2), 677. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v11.i2.pp677-681>
- Nor Azah, M. A., Ismail, N., Mailina, J., Taib, M. N., Rahiman, M. H. F., & Muhd Hafizi, Z. (2014). Chemometric study of selected agarwood oils by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Tropical Forest Science*, 26(3).
- Nurhaslina, C. R., Zahari Harip, M. K., Musa, M., Md Zaki, N. A., Alwi, H., Muhd Rodhi, M. N., & Ku Hamid, K. H. (2018). Analysis of sesquiterpenes in agarwood essential oil from hydrodistillation process. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 22(2). <https://doi.org/10.17576/mjas-2018-2202-23>
- Paari, E., Pari, L., Kannan, D., & Gunaseelan, T. (2019). *Modulatory Effects of Valencene , a natural sesquiterpene against streptozotocin-nicotinamide generated oxidative stress induced type 2 diabetic*. 6(2), 379–391.



- <https://doi.org/10.1729/Journal.22575>
- Pasaribu, G., K. Waluyo, T., & Pari, G. (2015). Analysis of Chemical Compounds Distinguisher for Agarwood Qualities. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 2(1), 1–7. <https://doi.org/10.20886/ijfr.2015.2.1.644.1-7>
- Radzi, N. C., & Kasim, F. A. (2020). Effect of microwave pretreatment on gaharu essential oil using hydrodistillation method. *Indonesian Journal of Chemistry*, 20(4), 960–966. <https://doi.org/10.22146/ijc.43191>
- Sen, S., Dehingia, M., Talukdar, N. C., & Khan, M. (2017). Chemometric analysis reveals links in the formation of fragrant bio-molecules during agarwood (*Aquilaria malaccensis*) and fungal interactions. *Scientific Reports*, 7. <https://doi.org/10.1038/srep44406>
- Sidabutar, I. J., Widyasanti, A., Nurjanah, S., Nurhadi, B., Rialita, T., & Lembong, E. (2020). Kajian rasio refluks pada isolasi beberapa senyawa minyak nilam (*Pogostemon cablin* Benth) dengan metode distilasi fraksinasi. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem*, 8(1), 71–78. <https://doi.org/10.29303/jrpb.v8i1.160>
- Sruthi, D., & Jayabaskaran. (2022). Plant Secondary Metabolites—The Key Drivers of Plant's Defence Mechanisms: A General Introduction. In Mohd. Shahnawaz (Ed.), *Biotechnological Approaches to Enhance Plant Secondary Metabolites* (1st ed.). CRC Press.
- Takeda, K., Minato, H., & Nosaka, S. (1961). Studies on sesquiterpenoids-III. Some derivatives of guaicol. *Tetrahedron*, 13(4), 308–318. [https://doi.org/10.1016/S0040-4020\(01\)92224-0](https://doi.org/10.1016/S0040-4020(01)92224-0)
- Tsubaki, S., Onda, A., Hiraoka, M., & Fujii, S. (2017). Microwave-Assisted Water Extraction of Carbohydrates From Unutilized Biomass. In *Water Extraction of Bioactive Compounds*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809380-1.00007-3>
- Veggi, P. C., Martinez, J., & Meireles, M. A. A. (2013). Fundamentals of microwave extraction. In *Food Engineering Series*. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4830-3_2
- Wang, J., Zhao, J., Liu, H., Zhou, L., Liu, Z., Wang, J., Han, J., Yu, Z., & Yang, F. (2010). Chemical Analysis and Biological Activity of the Essential Oils of Two Valerianaceous Species from China: *Nardostachys chinensis* and *Valeriana officinalis*. *Molecules*, 15(9), 6411–6422. <https://doi.org/10.3390/molecules15096411>
- Wang, S., Yu, Z., Wang, C., Wu, C., Guo, P., & Wei, J. (2018). Chemical constituents and pharmacological activity of agarwood and aquilaria plants. *Molecules*, 23(2). <https://doi.org/10.3390/molecules23020342>
- Wibowo, D. P., & Aulifa, D. L. (2019). KOMPOSISI KIMIA , AKTIVITAS ANTIOKSIDAN DAN ANTIBAKTERI MINYAK ATSIRI AKAR WANGI (*Vetiveria zizanoide* L). *Jurnal Ilmiah Farmako Bahari*, 10(2), 139–145.