

STUDI NUMERIK FENETIK DIVERSITAS MINYAK GAHARU DARI GENUS AQUILARIA BERDASARKAN PROFIL GC-MS

I Gusti Agung Ayu Hari Triandini ^a, Hairani ^{a*}, I Gde Adi Suryawan Wangiyana ^b

^a Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Bhakti Kencana, Bandung, Jawa Barat, Indonesia

^b Program Studi Kehutanan, Universitas Pendidikan Mandalika, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

*Email Korespondensi: hairani@bku.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi diversitas melalui analisis numerik fenetik terhadap kromatogram GC-MS minyak gaharu dari genus Aquilaria. Data kromatogram hasil GC-MS 4 spesies Aquilaria yaitu: *A. malaccensis*, *A. crassna*, *A. sinensis* dan *A. subintegra* diperoleh dari database online dan ditabulasi dalam tabel $n \times t$. Sebanyak 5 indeks similaritas (Simple Matching Coefficient, Jaccard's Coefficient, Nei & Li Coefficient, Sorensen's Coefficient, dan Baroni-Urbani Buser Coefficient) dan 3 algoritma klusterisasi (Nearest Neighbor, UPGMA dan Farthest Neighbor) digunakan dalam analisis klaster. Analisis kofenetik kovarian dilakukan untuk menentukan indeks similaritas dan algoritma optimum berdasarkan nilai r sebagai dasar dalam konstruksi dendrogram. Analisis principal coordinate (PCoA) dilakukan dengan menggunakan algoritma Euclidean dan pendekatan Kaiser's rule sebagai tambahan analisis yang lebih komprehensif. Sebanyak 68 komponen senyawa berhasil ditabulasi dalam tabel $n \times t$ yang dikonversi menjadi angka biner untuk analisis klaster. Hasil analisis kofenetik kovarian menunjukkan nilai r terbesar dan sangat signifikan ($\alpha=0,05$) dihasilkan dari indeks similaritas simple matching dan algoritma klusterisasi UPGMA sehingga kedua parameter ini digunakan dalam konstruksi dendrogram. Topologi dendrogram menunjukkan similaritas yang rendah antar spesies Aquilaria dengan similaritas tertinggi dimiliki oleh klaster *A. subintegra* dan *A. malaccensis*. Grafik 3 dimensi dari PCoA juga menunjukkan hasil relevan dengan dendrogram dengan plotting keempat spesies Aquilaria tersebar pada 3 kuadran yang berjauhan sehingga menunjukkan jarak similaritas yang juga berjauhan. Dapat disimpulkan bahwa berdasarkan analisis numerik fenetik, minyak gaharu dari *A. crassna*, *A. malaccensis*, *A. subintegra* dan *A. sinensis* memiliki karakteristik fitokimia berupa kromatogram GC-MS yang unik dengan diversitas yang tinggi.

Kata Kunci: Aquilaria, GC-MS, Minyak Gaharu, Numerik Fenetik

How to Cite: Triandini, I G. A. A. H, Hairani & Wangiyana, I G. A. S (2025) 'Studi Numerik Fenetik Diversitas Minyak Gaharu dari Genus Aquilaria Berdasarkan Profil GC-MS', *Jurnal Silva Samalas: Journal of Forestry and Plant Science*, 8 (2), pp. 28-34.

Copyright© 2025, Triandini et al
This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) License.



PENDAHULUAN

Minyak gaharu merupakan hasil olahan resin gaharu yang memiliki banyak manfaat di bidang kesehatan (Wangiyana, 2019a). Bahan ini banyak digunakan dalam terapi komplementer di bidang kebidanan karena sifat aromaterapi yang dimilikinya (Jiang *et al.*, 2024; Wangiyana and Triandini, 2025). Minyak gaharu digunakan sebagai kombinasi terapi dalam prenatal yoga yang memberikan dampak pada kesehatan ibu hamil trimester III meliputi: kualitas tidur (Uzakki, 2024) dan tingkat kecemasan (Yogi, 2024). Komponen antidepresan dalam minyak esensial gaharu berperan sebagai bahan neuroprotektif sehingga dapat menenangkan ibu dan anak (Zhang *et al.*, 2025). Selain itu, minyak esensial gaharu juga merupakan bahan yang dapat ditambahkan untuk membersihkan polutan pada ruangan sehingga lebih nyaman untuk bayi (Abdul Rahman *et al.*, 2025).

Bahan baku minyak gaharu berupa resin merupakan hasil hutan bukan kayu bernilai ekonomis tinggi yang dihasilkan melalui mekanisme induksi pohon gaharu (Wangiyana, Wanitaningsih and Anggadhanika, 2020). *Aquilaria* dan *Gyrinops* merupakan dua genus utama dari pohon gaharu yang dikenal sebagai produsen utama minyak gaharu (Roemantyo and Partomihardjo, 2010; Wangiyana, 2020). Resin dari genus *Aquilaria* lebih populer digunakan sebagai bahan baku minyak esensial gaharu dibandingkan genus *Gyrinops* (Wang *et al.*, 2025). Hal ini menyebabkan pengembangan minyak gaharu di kawasan Asia didominasi oleh kelompok genus ini (Wang *et al.*, 2018). Trend ini juga berlaku di Indonesia yang dikenal sebagai salah satu negara penghasil komoditi gaharu terbesar di Dunia (López-Sampson and Page, 2018).

Studi diversitas menjadi topik riset utama yang banyak dilakukan pada spesies gaharu dari genus *Aquilaria*. Studi ini diperlukan terutama untuk standardisasi bahan baku minyak gaharu yang menjadi parameter penting dalam pengembangan produk di era industri modern. Beberapa studi diversitas kebanyakan menggunakan karakter molekuler yang diperoleh dari berbagai marker DNA barcoding diantaranya: *matK* (Xie *et al.*, 2025), *rpoC1* (Lee, Lamasudin and Mohamed, 2019), *rbcl* (Thitikornpong, Palanuvej and Ruangrunsi, 2018), *ITS* (Kang, 2021) dan *trnL-trnF* (Wangiyana, 2016). Selain itu, beberapa studi juga menggunakan analisis molekuler dengan beberapa marker seperti *ISSR* (Banu *et al.*, 2015), *RAPD* (Nur Fatimah, Nadiawati and Nor Hasima, 2020), dan *SCAR* (Lee, Weber and Rozi, 2011). Meskipun demikian, studi diversitas yang menggunakan karakter fitokimia masih relatif jarang dilakukan.

Karakter fitokimia melalui analisis GC-MS dapat merepresentasikan secara langsung karakteristik minyak gaharu karena sifatnya yang volatil (Ismail *et al.*, 2024). Selain itu, karakter fitokimia sangat ideal untuk dianalisis dengan pendekatan politetik melalui studi numerik fenetik (Wangiyana *et al.*, 2021). Analisis ini juga merupakan parameter penting dalam karakterisasi minyak gaharu sebagai produk kesehatan dengan berbagai bahan aktif berkhasiat medis (Wangiyana, Triandini and Anita Nugraheni, 2021; Gogoi *et al.*, 2023). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi diversitas melalui analisis numerik fenetik terhadap kromatogram GC-MS minyak gaharu dari genus *Aquilaria*.

METODE PELAKSANAAN

a. Pengumpulan Data Kromatogram GC-MS

Data kromatogram hasil GC-MS 4 spesies *Aquilaria* yaitu: *A. malaccensis*, *A. crassna*, *A. sinensis* dan *A. subintegra* diperoleh dari database online. Data komponen kromatogram ditabulasi dalam tabel $n \times t$ dengan n adalah Organism Taxonomical Unit (OTU) dan t adalah jumlah karakter, yaitu senyawa dalam kromatogram. Tabulasi karakter kromatogram pada tiap OTU di konversi menjadi angka biner yaitu: 1 untuk senyawa kromatogram yang ada pada OTU dan 0 untuk senyawa kromatogram yang tidak ada pada OTU (Wangiyana, 2019b).

b. Pemilihan Indeks Similaritas dan Algoritma Klusterisasi

Tabulasi berupa angka biner pada tabel $n \times t$ selanjutnya di input dalam program MVSP. Untuk analisis similaritas data biner digunakan 5 macam indeks similaritas berbeda yaitu: Simple Matching Coefficient, Jaccard's Coefficient, Nei & Li Coefficient, Sorensen's Coefficient, dan Baroni-Urbani Buser Coefficient. Sementara itu, untuk proses klusterisasi digunakan 3 algoritma berbeda yaitu: Nearest Neighbor, UPGMA dan Farthest Neighbor (Purwanti *et al.*, 2024).

c. Analisis Kofenetik Kovarian

Analisis kofenetik kovarian dilakukan untuk menentukan adanya distorsi pada matriks similaritas sebelum dan sesudah dilakukan klusterisasi. Distorsi dikalkulasi berdasarkan nilai r (korelasi) antara unsorted similarity value dan sorted similarity value. Signifikansi pada nilai r di tentukan dengan program Co-Stat for windows pada taraf $\alpha = 0,05$. Selain itu dilakukan pula kalkulasi nilai standard error dari korelasi (Carvalho, Munita and Lapolli, 2019).

d. Konstruksi Dendrogram

Konstruksi dendrogram dilakukan dengan menggunakan indeks similaritas dan algoritma klusterisasi dengan nilai r terbesar dan signifikan berdasarkan analisis kofenetik kovarian. Konstruksi

dendrogram dilakukan tanpa menggunakan transformasi data. Proses konstruksi dilakukan dengan menggunakan program MVSP (Sukri *et al.*, 2022).

e. Principal Coordinate Analysis

Principal Coordinate Analysis dilakukan dengan menggunakan algoritma distance Euclidean. Konstruksi grafik 3 dimensi dilakukan tanpa menggunakan transformasi data. Plotting dan ekstraksi data pada sumbu x, y, z dilakukan dengan pendekatan Kaiser's rule.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil tabulasi kromatogram GC-MS dari 4 spesies genus *Aquilaria* menghasilkan 68 komponen senyawa yang menjadi karakter fitokimia untuk analisis numerik fenetik (Tabel 1). Kesamaan dan perbedaan komponen senyawa selanjutnya dijadikan acuan utama untuk menganalisis similaritas karakteristik minyak gaharu dari *A. crassna*, *A. malaccensis*, *A. subintegra* dan *A. sinensis*.

Tabel 1. Tabulasi kromatogram GC-MS minyak gaharu dari empat spesies *Aquilaria*

No	komponen	<i>A. crassna</i>	<i>A. malaccensis</i>	<i>A. subintegra</i>	<i>A. sinensis</i>	No	komponen	<i>A. crassna</i>	<i>A. malaccensis</i>	<i>A. subintegra</i>	<i>A. sinensis</i>
1	α -Copaene	+	-	-	-	35	Squalene	+	+	-	+
2	α -Pinene	-	+	-	-	36	1,3,5-cycloheptatriene	+	-	-	-
3	Octenol	-	+	-	-	37	hexanal	-	+	+	-
4	Caryophyllene	+	-	-	-	38	furfural	+	+	+	-
5	α -Guaiene	+	-	-	-	39	heptanal	+	+	+	-
6	β -Agarofuran	+	-	-	-	40	hexyl formate	+	-	+	-
7	Germacrene D	+	-	-	-	41	3-methyl cyclohexanone	-	+	+	-
8	γ -Maaliene	+	-	-	-	42	heptanol	+	+	-	-
9	β -Guaiene	+	-	-	-	43	2-octanone	+	+	+	-
10	β -Selinene	+	-	-	-	44	2-amyl furan	+	+	+	-
11	α -Humulene	-	+	-	-	45	hexyl acetate	+	-	+	-
12	α -Muurolene	+	-	-	-	46	limonene	-	+	+	-
13	δ -Cadinene	+	+	-	-	47	1,8-cineole	-	+	+	-
14	δ -Cadinene	+	+	-	-	48	4-hydroxybenzaldehyde	-	+	-	-
15	Ketoagarofuran	+	+	-	+	49	methyl cyclohexane carboxylate	-	+	-	-
16	Nerolidol	+	+	-	+	50	p-cresol	+	-	+	-
17	Spathulenol	+	-	-	+	51	o-guaiacol	+	-	+	-
18	Caryophyllene oxide	+	+	-	-	52	isophorone	-	-	+	-
19	Epoxybulnesene	+	-	-	-	53	camphor	-	+	+	-
20	10-epi- γ -Eudesmol	-	-	-	+	54	methyl octanoate	+	-	-	-
21	α -Cadinol	+	+	-	+	55	isoborneol	-	-	+	-
22	Bulnesol	+	-	-	+	56	4-hydroxyacetophenone	+	-	-	-
23	α -Bisabolol	+	-	-	-	57	menthol	-	+	+	-
24	Selina-3,11-dien-14-ol	-	+	-	-	58	isobornyl formate	-	-	+	-
25	Guaia-1(10),11-dien-9-one	-	-	-	+	59	methyl geranate	+	+	-	-
26	Hexadecanal	-	+	-	-	60	β -elemene	+	-	+	-
27	2-Hexadecanol	+	-	-	-	61	α -guaiene	+	-	+	-
28	oxo-Agarospirol	+	+	-	+	62	β -agarofuran	+	+	+	-
29	Eudesmol	-	+	-	+	63	jinkoh-eremol	+	+	+	-
30	n-Hexadecanoic acid	+	+	-	+	64	kusunol	+	+	+	-
31	trans-3-Eicosene	-	-	-	+	65	selina-3,11-dien-14-al	+	-	+	-
32	Phytol	+	+	-	-	66	β -Cubebene	-	-	-	+
33	Linoleic acid	-	+	-	-	67	α -Cadinol	-	-	-	+
34	cis- 9-Octadecenal	-	+	-	-	68	allyl butanoate	+	-	-	-

Keterangan: + = ada, - = tidak ada

Analisis kofenetik kovarian menunjukkan nilai korelasi antara nilai similaritas sebelum klasterisasi dan setelah klasterisasi yang ideal dengan nilai r diatas 0.6 untuk semua parameter

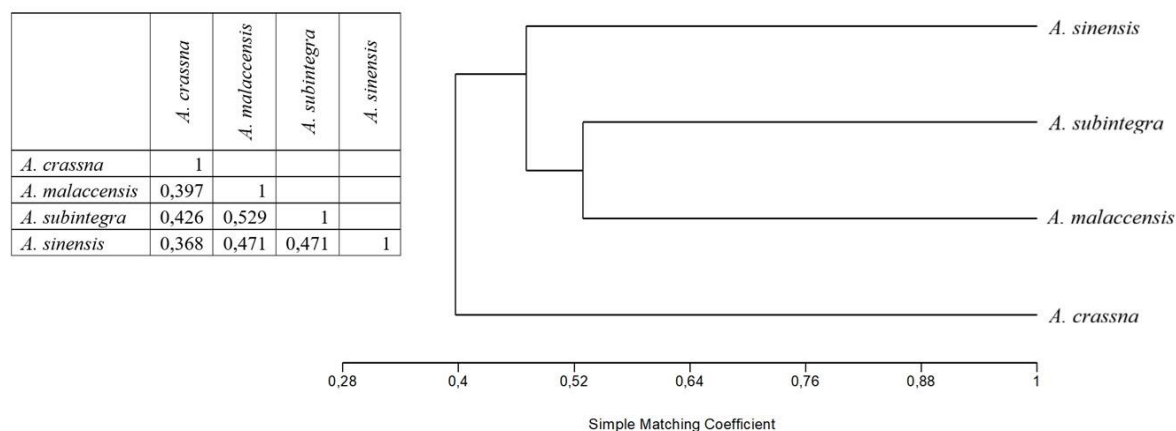
(Wangiyana, 2015; Akoglu, 2018). Indeks similaritas memiliki proporsi lebih besar dalam mempengaruhi nilai korelasi (r) dibandingkan algoritme klasterisasi (Tabel 2). Trend seperti ini sejalan dengan riset sebelumnya yang menggunakan pendekatan sama namun dengan variasi indeks similaritas berbeda (Purwanti *et al.*, 2024). Baroni-Urbani Buser coefficient selalu menghasilkan nilai r terkecil dan tidak signifikan pada setiap algoritme klasterisasi. Hal ini menunjukkan bahwa indeks similaritas ini kurang cocok digunakan dalam pendekatan analisis similaritas karakter fitokimia minyak gaharu. Berdasarkan parameter nilai r dan signifikansinya, algoritma klasterisasi UPGMA dan indeks similaritas simple matching merupakan kombinasi yang paling optimal sehingga dendrogram di konstruksi menggunakan parameter ini.

Tabel 2. Hasil analisis kofenetik kovarian berdasar nilai korelasi

Algoritma Klasterisasi	Indeks Similaritas	r value	SE dari r	P(r=0)	notasi
Nearest Neighbour	Simple Matching Coefficient	0,939	0,172	0,0055	**
	Jaccard's Coefficient	0,900	0,218	0,0144	*
	Nei & Li Coefficient	0,864	0,252	0,0264	*
	Sorensen's Coefficient	0,864	0,252	0,0264	*
	Baroni-Urbani Buser Coefficient	0,736	0,338	0,0951	ns
UPGMA	Simple Matching Coefficient	0,949	0,157	0,0038	**
	Jaccard's Coefficient	0,900	0,218	0,0144	*
	Nei & Li Coefficient	0,864	0,252	0,0264	*
	Sorensen's Coefficient	0,864	0,252	0,0264	*
	Baroni-Urbani Buser Coefficient	0,744	0,334	0,09	ns
Farthest Neighbour	Simple Matching Coefficient	0,946	0,163	0,0043	**
	Jaccard's Coefficient	0,900	0,218	0,0144	*
	Nei & Li Coefficient	0,864	0,252	0,0265	*
	Sorensen's Coefficient	0,864	0,252	0,0265	*
	Baroni-Urbani Buser Coefficient	0,742	0,335	0,0912	ns

Keterangan: ns= non signifikan, *= signifikan, **= sangat signifikan ($\alpha = 0,05$).

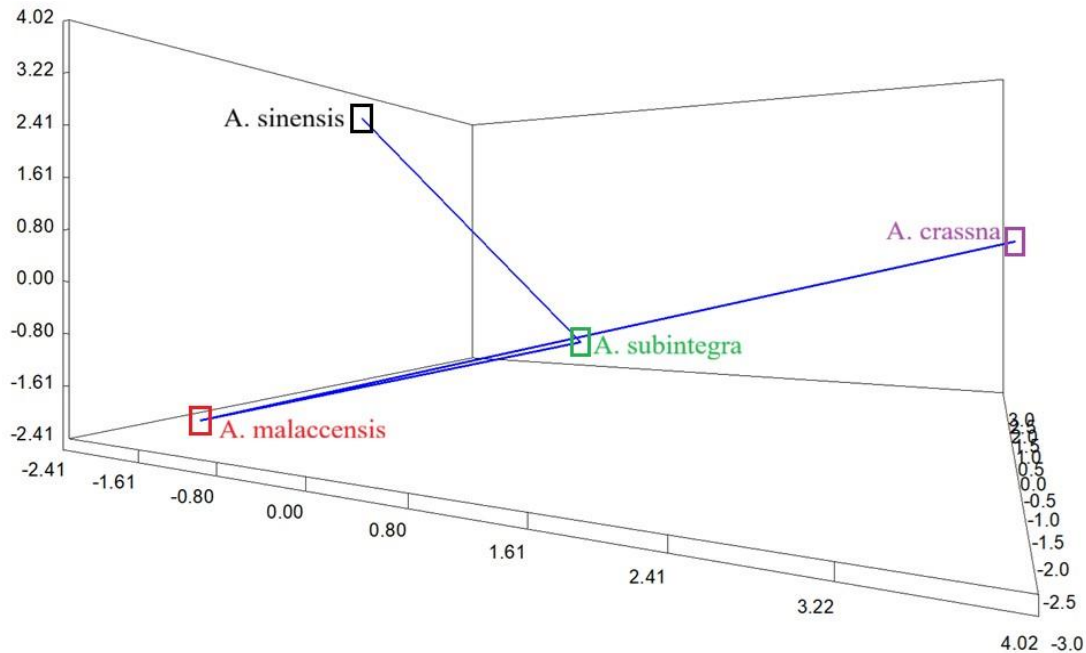
Dendrogram hasil analisis kluster menunjukkan hubungan similiaritas yang cukup rendah antara minyak gaharu dari 4 spesies berbeda genus *Aquilaria* (Gambar 1). Hal ini terlihat dari nilai similaritas yang berada pada kisaran nilai 0,3 – 0,5 (30% - 50%). Dendrogram menunjukkan bahwa minyak gaharu dengan similaritas karakteristik fitokimia tertinggi berasal dari *A. mallacensis* dan *A. subintegra* dengan prosentase kesamaan komponen kromatogram sebesar 52%. Sementara itu, minyak gaharu dari *A. crassna* memiliki komponen senyawa dalam kromatogram yang paling unik dan berbeda dibandingkan dengan minyak gaharu dari spesies genus *Aquilaria* lainnya.



Gambar 1. Matriks similaritas dan dendrogram algoritma UPGMA dan indeks similaritas simple msatching

Analisis similaritas minyak gaharu menggunakan dendrogram merupakan suatu terobosan yang menyediakan data similaritas secara kuantitatif. Beberapa riset selama ini hanya berfokus pada analisis secara kualitatif dengan elaborasi komponen senyawa yang terdapat dalam kromatogram GC-

MS minyak gaharu (Chen *et al.*, 2011; Gao *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2018; Ismail *et al.*, 2024). Pendekatan secara kuantitatif dapat menyediakan data yang lebih objektif dan akurat untuk mendeskripsikan karakteristik minyak gaharu dari 4 spesies berbeda dalam genus *Aquilaria*. Pendekatan ini juga dapat menyediakan tambahan opsi analisis statistik relevan berbasis data GC-MS (Haron *et al.*, 2018).



Gambar 2. Analisis PCoA karakteristik minyak gaharu dari 4 spesies *Aquilaria*

Studi numerik – fenetik dalam riset ini dilengkapi dengan analisis Principal Coordinate (PCoA) sehingga pendekatan kuantitatif menjadi semakin komprehensif. Grafik 3 dimensi berdasarkan PCoA menunjukkan data yang relevan dengan dendrogram yang menunjukkan bahwa minyak gaharu dari 4 spesies *Aquilaria* memiliki karakteristik yang unik (Gambar 2). Plotting pada diagram menunjukkan bahwa keempat spesies *Aquilaria* tersebar dalam 3 kuadran yang berjauhan sehingga menunjukkan diversitas yang tinggi (Dray, Legendre and Peres-Neto, 2006). Selain itu hasil ini juga identik dengan dendrogram karena minyak gaharu dari *A. crassna* berada pada plotting terjauh dalam kuadran berbeda dengan 3 spesies *Aquilaria* lainnya.

KESIMPULAN

Minyak gaharu dari *A. crassna*, *A. malaccensis*, *A. subintegra* dan *A. sinensis* memiliki karakteristik fitokimia berupa kromatogram GC-MS yang unik dengan diversitas yang tinggi berdasarkan analisis numerik fenetik melalui konstruksi dendrogram algoritma kalsterisasi UPGMA dan indek similaritas simple matching serta ditambah dengan analisis principal coordinate. Minyak gaharu dari *A. crassna* memiliki keunikan tertinggi dan memiliki karakteristik fitokimia jauh berbeda dibandingkan dengan 3 spesies genus *Aquilaria* lainnya sehingga punya potensi untuk dianalisis lebih lanjut.

SARAN

Diperlukan verifikasi data kromatogram dari organ lain seperti daun yang lazimnya juga dianalisis dengan instrument GC-MS. Verifikasi ini dapat digunakan untuk mengkonfirmasi hubungan similaritas antar 4 spesies gaharu dalam studi ini yang hanya dikonstruksi berdasarkan data kromatogram minyak gaharu.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Rahman, N.A. *et al.* (2025) 'Impact of natural lemongrass and agarwood essential oil diffusion on indoor airborne pollutants: A case study of office environments', *Building and Environment*, 270, p. 112514.
- Akoglu, H. (2018) 'User's guide to correlation coefficients', *Turkish Journal of Emergency Medicine*, 18(3), pp. 91–93.
- Banu, S. *et al.* (2015) 'Analysis of genetic variability in *Aquilaria malaccensis* from Bramhaputra valley, Assam, India using ISSR markers', *Flora-Morphology Distribution Functional Ecology of Plants*, 217, pp. 24–32.
- Carvalho, P.R., Munita, C.S. and Lapolli, A.L. (2019) 'Validity studies among hierarchical methods of cluster analysis using cophenetic correlation coefficient', *Brazilian Journal of Radiation Sciences*, 7(2A), pp. 1–14.
- Chen, Huaqiong *et al.* (2011) 'Comparison of Compositions and Antimicrobial Activities of Essential Oils from Chemically Stimulated Agarwood, Wild Agarwood and Healthy *Aquilaria sinensis* (Lour.) Gilg Trees', *Molecules*, pp. 4884–4896.
- Dray, S., Legendre, P. and Peres-Neto, P.R. (2006) 'Spatial modelling: a comprehensive framework for principal coordinate analysis of neighbour matrices (PCNM)', *Ecological Modelling*, 196(3), pp. 483–493.
- Gao, X. *et al.* (2014) 'Chromatographic fingerprint analysis of metabolites in natural and artificial agarwood using gas chromatography–mass spectrometry combined with chemometric methods', *Journal of Chromatography B*, 967, pp. 264–273.
- Gogoi, R. *et al.* (2023) 'Agarwood (*Aquilaria malaccensis* L.) a quality fragrant and medicinally significant plant based essential oil with pharmacological potentials and genotoxicity', *Industrial Crops and Products*, 197, p. 116535.
- Haron, M.H. *et al.* (2018) 'Statistical Analysis of Agarwood Oil Compounds based on GC-MS Data', in *2018 9th IEEE Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC)*, pp. 27–30.
- Ismail, N. *et al.* (2024) 'Compositional Profiling of Agarwood Oil (*Aquilaria beccariana*) from Malaysia using GC-MS and GC-FID for Enhanced Analytical Characterization', *Journal of Tomography System and Sensor Application*, 7(1), pp. 47–55.
- Jiang, Z. *et al.* (2024) 'Comparative Analysis of Volatile Components in Chi-Nan and Ordinary Agarwood Aromatherapies: Implications for Sleep Improvement', *Pharmaceuticals*, p. 1196.
- Kang, Y. (2021) 'Molecular identification of *Aquilaria* species with distribution records in China using DNA barcode technology', *Mitochondrial DNA Part B*, 6(4), pp. 1525–1535.
- Lee, S., Weber, J. and Rozi, M. (2011) 'Genetic variation and molecular authentication of selected *Aquilaria* species from natural populations in Malaysia using RAPD and SCAR markers', *Asian Journal of Plant Sciences*, 10(3), pp. 202–211.
- Lee, S.Y., Lamasudin, D.U. and Mohamed, R. (2019) 'Rapid detection of several endangered agarwood-producing *Aquilaria* species and their potential adulterants using plant DNA barcodes coupled with high-resolution melting (Bar-HRM) analysis', *Holzforschung*, 73(5), pp. 435–444.
- López-Sampson, A. and Page, T. (2018) 'History of Use and Trade of Agarwood', *Economic Botany*, 72(1), pp. 107–129.
- Nur Fatihah, H.N., Nadiawati, A. and Nor Hasima, M. (2020) 'Genetic diversity and differentiation of *Aquilaria malaccensis* Lam. Using RAPD markers', *Bioscience Research*, 17(1), pp. 117–125.
- Purwanti, E., Wangiyana, I.G.A.S., Prihanta, W. and Sukri, A. *et al.* (2024) 'Numeric-Phenetic Study of *Lablabpurpureus* from East Java Based on Morphology Character and DNA Fingerprinting', *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*, 17(1), pp. 9–18.
- Roemantyo and Partomihardjo, T. (2010) 'Natural Distribution Prediction Analyses of Agarwood Genera of *Aquilaria* and *Gyrinops* in Indonesia', *Berita Biologi*, 10(2), pp. 189–198.
- Sukri, A., Dewi, I.N., Primawati, S.N., Wangiyana, I.G.A.S., Muttaqin, Z. and Winaya, A. (2022) 'Revealing the genetic diversity of Sumbawa endemic horse using microsatellite-based DNA fingerprint', *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(8), pp. 4152–4158.
- Thitikornpong, W., Palanuvej, C. and Ruangrunsi, N. (2018) 'DNA barcoding for authentication of the endangered plants in genus *Aquilaria*', *Thai Journal of Pharmaceutical Sciences*, 42(4), pp. 214–220.
- Uzakki, E.S. (2024) *Pengaruh Kombinasi Prenatal Yoga, Musik Relaksasi, Dan Aromaterapi Gaharu Terhadap Kualitas Tidur Ibu Hamil Trimester III Di Puskesmas Karang Rejo*. Universitas Borneo Tarakan.
- Wang, M.R. *et al.* (2018) 'GC-MS study of the chemical components of different *Aquilaria sinensis* (lour.) gilgorgans and agarwood from different asian countries', *Molecules*, 23(9), p. 2168.
- Wang, X. *et al.* (2025) 'Essential oil from *Aquilaria* spp. (agarwood): a comprehensive review on the impact of extraction methods on yield, chemical composition, and biological activities', *Journal of Essential Oil Research*, 37(1), pp. 110–144.
- Wangiyana, I.G.A.S. (2015) 'Pemanfaatan Medium Alternatif untuk Pertumbuhan Isolat *Fusarium* Sp.

- Penginduksi Pembentukan Gaharu pada *Gyrinops versteegii* (Gilg) Domke', *Jurnal Sangkareang Mataram*, 1(3), pp. 54–59.
- Wangiyana, I.G.A.S. (2016) 'Phylogenetic Analysis of Aquilaria and Gyrinops Member Based on trnL-trnF Gene Sequence of Chloroplast', *Jurnal Sangkareang Mataram*, 2(4), pp. 41–46.
- Wangiyana, I.G.A.S. (2019a) 'Medicinal Usage of Agarwood Resin in Form of Essential Oil: A Review', *Jurnal Silva Samalas*, 2(2), pp. 86–90.
- Wangiyana, I.G.A.S. (2019b) 'Similarity analysis of Genera Aquilaria and Gyrinops based on vegetative structure feature using different clustering method', *Jurnal Sangkareang mataram*, 5(1), pp. 62–68.
- Wangiyana, I.G.A.S. (2020) 'Medicinal Effect Review of Agarwood Leaves From Aquilaria and Gyrinops Genera', *Jurnal Silva Samalas*, 3(1), pp. 36–43.
- Wangiyana, I.G.A.S. et al. (2021) 'Phytochemical screening and antioxidant activity of Gyrinops tea from agarwood plantation on Lombok island, Indonesia', in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, pp. 1–6.
- Wangiyana, I.G.A.S. and Triandini, I.G.A.A.H. (2025) 'Pelatihan Kewirausahaan Pembuatan Sabun Gaharu Gyrinops Bagi Mahasiswa Kebidanan Universitas Bhakti Kencana', *Kareba: Jurnal Inovasi dan Pemberdayaan Masyarakat*, 1(2), pp. 46–54.
- Wangiyana, I.G.A.S., Triandini, I.G.A.A.H. and Anita Nugraheni, Y.M.M. (2021) 'Hedonic test of agarwood tea from *Gyrinops versteegii* with different leaves processing method', *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 13(2), pp. 99–110.
- Wangiyana, I.G.A.S., Wanitaningsih, S.K. and Anggadhanika, L. (2020) 'Pelatihan teknologi bio-induksi untuk petani gaharu di Desa Pejaring, Kabupaten Lombok Timur', *Agrokreatif: Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat*, 6(1), pp. 36–44.
- Xie, Z. et al. (2025) 'Identification and classification of Aquilaria (Thymelaeaceae): inferences from a phylogenetic study based on matK sequences', *PeerJ*, 13, p. e19752.
- Yogi, A.K. (2024) *Pengaruh Kombinasi Prenatal Yoga, Musik Relaksasi, Dan Aromaterapi Gaharu Terhadap Kecemasan Ibu Hamil TM III Di Puskesmas Karang Rejo Kota Tarakan*. Universitas Borneo Tarakan.
- Zhang, S. et al. (2025) 'Antidepressant Activity of Agarwood Essential Oil: A Mechanistic Study on Inflammatory and Neuroprotective Signaling Pathways', *Pharmaceuticals*, p. 255.