

Identifikasi Senyawa Bioaktif Pangan dan Aktivitas Antioksidan dari Biji Kemiri (*Aleurites moluccana*) Pulau Lombok

M Murdiah^{1*}, Yossy Ayuliansari¹, Purnama Handini¹

¹Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Lombok, Lombok, NTB

*Email korespondensi : murdiah@lit.ac.id

ABSTRAK

Biji kemiri merupakan komoditas lokal yang tersebar di Lombok, Nusa Tenggara Barat, namun potensinya sebagai sumber isolat bioaktif spesifik masih belum banyak dieksplorasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh pelarut terhadap rendemen ekstraksi, profil fitokimia, dan aktivitas antioksidan biji kemiri dari Timbanuh, Sesaot, and Torean. Ekstraksi soklet bertingkat digunakan, dimulai dengan proses *defatting* diikuti oleh ekstraksi sekunder menggunakan metanol dan etil asetat. Konstituen kimia diidentifikasi melalui *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS), dan kapasitas antioksidan ditentukan menggunakan uji penangkapan radikal DPPH. Hasil penelitian menunjukkan bahwa asal geografis berpengaruh signifikan terhadap rendemen dan distribusi kimia. Timbanuh menghasilkan fraksi asam lemak tertinggi (78,15 %), sementara ekstrak Torean sangat didominasi oleh Asam Linoleat (77,61 %). Sebaliknya, sampel Sesaot menunjukkan karakteristik kimia unik yang didominasi oleh 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4H-pyran-4-one (DDMP) sebesar 48,13%. Profil ini berkaitan langsung dengan potensi antioksidan; ekstrak Sesaot mencapai nilai IC₅₀ paling optimal sebesar 22,73 mg/mL untuk metanol dan 23,14 mg/mL untuk ekstrak etil asetat. Data hasil GC-MS menunjukkan sampel ekstrak biji Kemiri Torean dan Timbanuh optimal untuk fortifikasi asam lemak Omega-6, sedangkan kemiri dari wilayah Sesaot menyediakan isolat fungsional yang kaya akan antioksidan turunan pyranone. Temuan ini memberikan dasar ilmiah untuk pemilihan sumber biji kemiri secara presisi untuk aplikasi pangan fungsional khusus dan standarisasi industri.

Kata kunci: Antioksidan, ekstraksi bertingkat, GC-MS, kemiri, Lombok

ABSTRACT

Candlenut seeds are a significant local commodity in Lombok, West Nusa Tenggara, yet their potential as a source of specific bioactive isolates remains under-explored. This study aimed to evaluate the effect of and solvent on the extraction yield, phytochemical profile, and antioxidant activity of candlenut seeds from Timbanuh, Sesaot, and Torean. A multi-stage soxlet extraction was employed, beginning with a defatting process followed by secondary extraction using methanol and ethyl acetate. Chemical constituents were identified via Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS), and antioxidant capacity was determined using the DPPH radical scavenging assay IC₅₀. The results indicated that geographic origin significantly influenced the yield and chemical distribution. Timbanuh yielded the highest fatty acid fraction (78,15%), while Torean extracts were highly dominated by Linoleic Acid (77,61%). In contrast, Sesaot samples exhibited a unique chemical signature dominated by 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4H-pyran-4-one (DDMP) at 48,13%. This profile directly correlated with antioxidant potency; Sesaot extracts achieved the most superior IC₅₀ values 22,73 mg/mL for methanol extract and 23.14 mg/mL for ethyl acetate extract. GC-MS data shows that Torean and Timbanuh are optimal for Omega-6 fatty acid fortification, the Sesaot region provides superior functional isolate rich in pyranone-derived antioxidants. These findings provide a scientific basis for the precision sourcing of candlenut seeds for specialized functional food applications and industrial standardization.

Keywords: Antioxidant, sequential extraction, GC-MS, candlenut, Lombok

PENDAHULUAN

Penelitian berbasis biji-bijian telah banyak dilakukan pada riset-riset terdahulu, baik terhadap kandungan makronutrien, mikronutrien maupun kandungan senyawa metabolit sekunder (Raza et al., 2026). Arah riset pangan untuk senyawa-senyawa metabolit

sekunder dikaitkan dengan potensinya dalam mencegah penyakit-penyakit degeneratif (Molina-cortés et al., 2025). Konsumen era modern tidak hanya fokus pada pangan yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan pokok saja, tetapi semakin fokus ke bahan pangan yang menawarkan potensi manfaat metabolit

spesifik (Qureshi, et al., 2024). Potensi tersebut menjadi pembuka peluang produk pangan berbasis biji-bijian menuju garda terdepan pasar pangan fungsional. Akibatnya, industri pangan berinovasi untuk memformulasi produk menggunakan matriks alami guna memenuhi permintaan bahan baku pangan *clean-label* yang mendukung kesehatan fisiologis jangka Panjang (Choi et al., 2024).

Di samping penggunaan secara tradisional sebagai bumbu atau camilan, kompleksitas struktur biji-bijian memungkinkannya berperan sebagai agen multifungsi dalam sistem pangan (Kumari et al., 2024). Potensi *superfood* dari biji-bijian disebabkan karena adanya kandungan mikronutrien dan metabolit sekunder yang tinggi. Komponen tersebut, terutama asam fenolat dan flavonoid yang ditemukan di dalam kulit biji dan endosperma, memberikan pertahanan yang kuat terhadap stres oksidatif dan inflamasi sistemik (Svanberg et al., 2019).

Penelitian mendalam terhadap kemiri (*Aleurites moluccana*) merupakan bagian dari tren ilmiah yang lebih luas yang bertujuan untuk memaksimalkan kegunaan produk pertanian melalui kacamata ekonomi sirkular dan pengolahan tanpa limbah (*zero-waste*) (Zahara et al., 2024). Meskipun pasar global telah lama berfokus pada hasil lipid yang tinggi dari biji-bijian industri untuk bahan bakar dan kosmetik. Dalam kasus kemiri, setelah trigliserida dominan dihilangkan, matriks yang tersisa menyediakan jalur yang tidak terhalang untuk ekstraksi metabolit spesifik seperti turunan senyawa fenolik dan senyawa heterosiklik, yang sebelumnya diencerkan di dalam fraksi lipid (Kumari et al., 2024).

Selain itu, posisi strategis kemiri di dalam ekosistem tropis Pulau Lombok yang tersebar di Timbanuh (Lombok Timur), Sesaot (Lombok Barat) dan Torean (Lombok Utara) memberikan keunggulan dalam pencarian senyawa bioaktif pangan bernilai tinggi. Berbeda dengan biji-bijian konvensional yang diproduksi secara massal di iklim sedang, kemiri tumbuh subur di berbagai iklim tropis, yang memicu sintesis metabolit sekunder khusus sebagai bagian dari mekanisme pertahanan tanaman. Profil fitokimia yang unik ini, menawarkan peluang istimewa bagi industri pangan. Dengan mengalihkan fokus dari minyak ke komponen bioaktif murni ini, kemiri dapat dimodifikasi menjadi bahan fungsional mendukung inovasi nutrisi global (Jan et al., 2021).

Dalam sistem pangan modern, asam lemak tak jenuh ganda (PUFA), protein berkualitas tinggi, dan beragam metabolit sekunder memainkan peran multifaset.

Bertindak sebagai fortifikan alami untuk meningkatkan profil nutrisi, bio-emulsifier untuk stabilitas struktural, dan antioksidan berlabel bersih untuk menggantikan pengawet sintetis (Lee et al., 2022). Dengan mengurangi ketergantungan pada zat aditif sintetis, dan sebaliknya memanfaatkan kepadatan fitokimia inheren dari biji-bijian, ilmuwan pangan dapat mengembangkan produk pangan alami (Di Renzo et al., 2015).

Pada akhirnya, mengungkap potensi fitokimia yang kaya dari biji kemiri memerlukan pemahaman yang tepat tentang bagaimana variasi regional dan pelarut dalam proses ekstraksi mempengaruhi efikasi bioaktifnya. Oleh karena itu, penelitian ini menjembatani celah antara pemanfaatan sumber daya tradisional dan inovasi pangan teknologi tinggi dengan berfokus pada fraksinasi bertingkat dan profil data GC-MS kemiri dari tiga wilayah Lombok yang berbeda. Dengan mengidentifikasi senyawa bioaktif pangan secara sistematis dan mengevaluasi potensi antioksidannya melalui analisis IC₅₀, penelitian ini memberikan bukti empiris yang diperlukan untuk mentransformasi kemiri dari komoditas sederhana menjadi bahan fungsional terstandarisasi.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan baku utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah biji kemiri (*Aleurites moluccana*) yang diperoleh dari tiga lokasi berbeda di Pulau Lombok: Torean (Lombok Utara), Sesaot (Lombok Barat), dan Timbanuh (Lombok Timur). Pelarut yang digunakan untuk ekstraksi meliputi n-heksana, metanol, dan etil asetat, yang seluruhnya merupakan *analytical grade*, dan uji aktivitas antioksidan digunakan DPPH.

Alat

Peralatan laboratorium utama meliputi peralatan gelas standar, set alat soklet, *rotary evaporator*, dan instrumen *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) model QP2010 SE (Shimadzu, Jepang).

Metode

Proses ekstraksi dimulai dengan persiapan biji kemiri, dibersihkan, dikeringkan, dan dihaluskan menjadi bubuk halus dengan ukuran 50 mesh. Selanjutnya, digunakan metode ekstraksi bertingkat, yang diawali dengan proses penghilangan lemak (*defatting*) menggunakan metode soklet dengan pelarut n-heksana untuk memisahkan fraksi non-polar utama yang didominasi oleh senyawa asam lemak. Residu bebas lemak yang dihasilkan

kemudian diekstrak lebih lanjut menggunakan dua perlakuan pelarut, yaitu metanol dan etil asetat melalui metode soklet. Ekstrak yang dihasilkan kemudian dipekatkan dengan alat *rotary evaporator* pada suhu 45°C untuk menghasilkan ekstrak kasar yang akan dianalisis lebih lanjut.

Karakterisasi kimia dilakukan menggunakan instrumen *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) dengan kolom kapiler dan gas pembawa helium, di mana senyawa bioaktif diidentifikasi dengan membandingkan pola fragmentasi massa terhadap basis data. Secara bersamaan, potensi antioksidan dievaluasi melalui uji penangkapan radikal DPPH menggunakan metode yang dimodifikasi dari (Musa et al., 2023), dengan mengukur absorbansi pada panjang gelombang 517 nm untuk menghitung nilai IC₅₀ melalui regresi linear. Semua hasil kuantitatif divalidasi secara statistik menggunakan Analisis Varians Satu Arah (ANOVA) pada taraf kepercayaan 95% untuk menentukan perbedaan signifikan antar lokasi pengambilan sampel dan jenis pelarut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Ekstraksi

Ekstraksi soklet merupakan metode yang digunakan secara luas untuk mengekstraksi senyawa bioaktif dari bahan alam karena beberapa faktor, peralatan yang sederhana, efisiensi biaya, dan ekstraksi sampel dengan volume yang besar (Castro, 2010). Salah satu keuntungan utama dari ekstraksi soklet adalah efisiensinya dalam mencapai rendemen senyawa target yang tinggi. Sebagai contoh, sejumlah penelitian telah menunjukkan bahwa ekstraksi soklet dapat menghasilkan konsentrasi senyawa fenolik dan flavonoid yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode lain seperti maserasi dan *ultrasonic-assisted extraction* (UAE). Selain itu, ekstraksi soklet sangat efektif dalam mengekstraksi senyawa dengan aktivitas antioksidan yang kuat, menjadikannya metode pilihan untuk memperoleh ekstrak dengan sifat bioaktif yang signifikan (Karami, et al., 2015).

Proses ekstraksi bertingkat menunjukkan bahwa komponen dominan dalam biji kemiri di ketiga lokasi pengambilan sampel (Timbanuh, Sesaot, dan Torean) terdiri dari fraksi asam lemak. Berdasarkan data pada Tabel 1, sampel Timbanuh menghasilkan kadar asam lemak tertinggi sebesar 78,15%, yang secara statistik signifikan dibandingkan dengan sampel Torean (70,25%) dan Sesaot (68,40%), seperti yang dimuat pada Tabel 1.. Dominasi fraksi non-polar di semua lokasi ini

mengkonfirmasi karakteristik biji kemiri sebagai komoditas tinggi lemak. Oleh karena itu, fase pemisahan awal melalui proses *defatting* merupakan prosedur wajib untuk memurnikan residu sebelum melanjutkan ke isolasi senyawa bioaktif lainnya (Mahfoud, et al., 2023).

Tabel 1. Perbandingan Hasil Ekstraksi Biji Kemiri Tahap 1

Lokasi	Ekstrak n-Heksana (%)
Timbanuh	78,15 ± 0,45 ^c
Sesaot	68,40 ± 0,62 ^a
Torean	70,25 ± 0,55 ^b

Keterangan : Nilai dalam kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan pada taraf signifikansi 5%.

Data pada Tabel 2 menunjukkan hasil ekstraksi menggunakan pelarut metanol, sampel Sesaot menunjukkan rendemen yang lebih tinggi sebesar 11,10%, yang berbeda secara signifikan dari sampel Timbanuh (10,02%) dan Torean (10,20%). Sebaliknya, ketika menggunakan etil asetat secara signifikan lebih optimal bila dibandingkan pada sampel Torean, dengan rendemen ekstrak kasar sebesar 13,90%. Sebaliknya, untuk sampel Timbanuh dan Sesaot, pelarut ini menghasilkan rendemen yang lebih rendah, masing-masing sebesar 11,95% dan 11,60%. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi massa senyawa semi-polar dalam matriks kemiri Torean lebih besar dibandingkan dua lokasi lainnya.

Tabel 2. Perbandingan Hasil Ekstraksi Biji Kemiri Tahap 2

Lokasi	Ekstrak	
	Metanol (%)	Etil asetat (%)
Timbanuh	10,02 ± 0,25 ^a	11,95 ± 0,30 ^a
Sesaot	11,10 ± 0,35 ^b	11,60 ± 0,28 ^a
Torean	10,20 ± 0,30 ^a	13,90 ± 0,42 ^b

Keterangan : Nilai dalam kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan pada taraf signifikansi 5%.

Secara keseluruhan, perbandingan antar pelarut mengungkapkan bahwa setelah tahap *defatting*, etil asetat cenderung mengekstraksi lebih banyak massa daripada metanol pada sampel Torean, sementara pada sampel Sesaot dan Timbanuh, kedua pelarut menunjukkan performa yang relatif seimbang. Pola distribusi rendemen ini memberikan

kerangka teknis untuk menentukan urutan pelarut yang paling efisien dalam mengekstraksi komponen non-lemak dari biji kemiri di masing-masing lokasi penelitian.

Profil Senyawa Bioaktif Ekstrak Metanol Biji Kemiri

Identifikasi senyawa organik menggunakan GC-MS pada Tabel 3 mengungkapkan bahwa ekstrak metanol dari sampel Timbanuh dan Torean didominasi oleh asam lemak tak jenuh. Pada sampel Timbanuh, asam linoleat merupakan komponen utama (45,35%), diikuti oleh gliserol (29,80%). Tren serupa diamati pada sampel Torean, di mana asam linoleat muncul sebagai komponen mayor yang sangat dominan, mencakup 77,61% dari total luas area pada waktu retensi (RT) 12,66 menit. Keberadaan asam lemak rantai panjang ini dalam ekstrak metanol menunjukkan bahwa meskipun telah melalui tahap *defatting* sebelumnya, residu biji kemiri di kedua lokasi tersebut masih menyimpan fraksi lipid yang terikat kuat atau larut sebagian dalam pelarut polar, yang berpotensi memberikan nilai fungsional pada produk turunan pangan (You, et al., 2007).

	6,88	9,22	1,2,3-Propanetriol, diacetate (Diacetin)
	77,61	12,66	(Z,Z)-9,12-Octadecadienoic acid (Linoleic acid)
	13,04	12,03	Hexadecanoic acid (Palmitic acid)
	4,59	12,71	Octadecanoic acid (Stearic acid)
Torean	4,34	12,47	(Z,Z)-12-Octadecadienoic acid (Linoleic acid)
	0,41	11,88	Pentadecanoic acid, 14-methyl-(methyl pentadecanoate)

Tabel 3. Data GC-MS Senyawa Organik pada Ekstrak Metanol

Ekstrak Metanol	GC-MS Data		
	Area (%)	RT (min)	Senyawa organik
Timbanuh	45,35	12,63	(Z,Z)-9,12-Octadecadienoic acid (Linoleic acid)
	29,80	8,07	1,2,3-Propanetriol (Glycerol)
	6,87	12,02	Hexadecanoic acid (Palmitic acid)
	4,68	15,84	(Z,Z)-9,12-Octadecadienoyl chloride
	4,22	12,69	Octadecanoic acid (Stearic acid)
Sesaot	48,13	8,61	2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4H-Pyran-4-one Diethyl-propylamino-boran
	15,12	10,26	Hexyl ester, acetic acid (1-Hexyl acetate)

Berbeda secara signifikan dari dua lokasi lainnya, profil senyawa organik dari ekstrak metanol sampel Sesaot menunjukkan dominasi metabolit sekunder non-asam lemak yang lebih kompleks. Komponen utama yang terdeteksi adalah *2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4H-pyran-4-one* (DDMP), dengan persentase luas area sebesar 48,13%. DDMP diakui dalam literatur ilmu pangan sebagai produk reaksi Maillard atau turunan degradasi gula yang memiliki aktivitas antioksidan kuat. Lebih lanjut, deteksi senyawa seperti 1-heksil asetat (14,56%) dan diasetin (6,88%) menunjukkan bahwa ekstrak metanol sampel Sesaot lebih kaya akan turunan ester dan piron dibandingkan dengan fraksi asam lemak bebas. Profil ini mengindikasikan bahwa biji kemiri dari Sesaot memiliki karakteristik kimia yang unik, di mana senyawa polar non-lipid mendominasi dibandingkan sampel dari Timbanuh dan Torean.

Secara teknis, hasil GC-MS ini mengilustrasikan bahwa pemilihan lokasi pengambilan sampel merupakan penentu terhadap jenis senyawa bioaktif yang diperoleh dalam ekstrak metanol. Sampel Torean dan Timbanuh lebih prospektif jika target ekstraksi adalah asam lemak esensial yang tersisa setelah proses *defatting*. Di sisi lain, sampel Sesaot menawarkan potensi yang lebih besar untuk isolasi senyawa mirip flavonoid (seperti turunan *pyran-4-one*) yang membawa nilai terapeutik lebih tinggi untuk aplikasi pangan fungsional. Data ini mengonfirmasi bahwa keragaman profil senyawa tidak hanya terletak

pada kuantitas rendemen tetapi juga pada variasi kualitatif senyawa penyusunnya, yang berfungsi sebagai landasan vital bagi standarisasi ekstrak biji kemiri sebagai bahan baku industri (Swamy, et al., 2017).

Profil Senyawa Bioaktif Pangan Ekstrak Etil Asetat Biji Kemiri

Analisis GC-MS pada fraksi etil asetat menunjukkan bahwa senyawa asam lemak tak jenuh tetap menjadi komponen dominan pada sampel yang berasal dari Timbanuh dan Torean. Konsisten dengan temuan pada ekstrak metanol, asam linoleat muncul sebagai senyawa mayoritas dengan kelimpahan relatif yang sangat tinggi, yaitu 72,99% pada sampel Torean dan 61,77% pada sampel Timbanuh. Keberadaan asam lemak esensial ini dalam fraksi etil asetat mengonfirmasi sifat semi-polar dari asam linoleat, yang berhasil diekstraksi secara efektif oleh pelarut organik perantara ini setelah proses *defatting*. Selain itu, deteksi turunan seperti *octadecadienoyl chloride* dan metil linoleat menunjukkan adanya variasi turunan asam lemak yang terfraksinasi di dalam pelarut ini, yang mungkin memberikan stabilitas kimia yang berbeda pada masing-masing ekstrak tersebut.

Berbeda dengan pola yang diamati di dua lokasi lainnya, profil kimia dari ekstrak etil asetat sampel Sesaot didominasi oleh senyawa piron dan ester. Senyawa *2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4H-pyran-4-one* (DDMP) terdeteksi sebagai komponen utama dengan luas area sebesar 48,13%. Kehadiran DDMP yang signifikan baik dalam ekstrak metanol maupun etil asetat dari sampel Sesaot memperkuat indikasi bahwa biji kemiri dari wilayah ini kaya akan metabolit sekunder polar-intermediet dengan potensi sifat antioksidan dan antimikroba (Chen et al., 2021). Kehadiran 1-heksil asetat (14,56%) dan diasetin (6,88%) dalam fraksi ini semakin memperkaya profil aroma seperti yang dilaporkan pada penelitian (Deshmukh & Rathod, 2017) dan karakteristik kimia spesifik yang tidak ditemukan pada sampel Timbanuh atau Torean.

Tabel 4. Data GC-MS Senyawa Organik pada Ekstrak Etil Asetat

Ekstrak Etil Asetat	GC-MS Data		
	Area (%)	RT (min)	Senyawa
Timbanuh	61,77	12,62	(Z,Z)-9,12-Octadecadienoic acid (Linoleic acid)
	9,59	12,01	Hexadecanoic acid (Palmitic acid)

Sesaot	7,98	12,69	Octadecanoic acid (Stearic acid)
	6,82	15,85	(Z,Z)-9,12-Octadecadienoyl chloride
Torean	5,37	14,14	(Z,Z)-9,12-Octadecadienoyl chloride
	48,13	8,60	2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4H-Pyran-4-one
	14,56	9,48	Hexyl ester, acetic acid (1-Hexyl acetate)
	6,88	9,22	Propanetriol, diacetate (Diacetin)
	0,09	9,55	Diethyl-propylamino-boran
	72,99	12,62	(Z,Z)-9,12-Octadecadienoic acid (Linoleic acid)
Torean	12,71	12,01	Hexadecanoic acid (Palmitic acid)
	9,87	12,69	Octadecanoic acid (Stearic acid)
	3,04	14,15	9,12-Octadecadienoyl chloride
	1,39	12,47	Octadec-9,12-Dienoic Acid Methyl Ester (Metil Linoleate)

Data pada Tabel 4 menunjukkan bahwa ekstrak etil asetat merupakan pelarut yang sangat selektif untuk memisahkan profil senyawa. Pada sampel Torean dan Timbanuh, etil asetat secara efektif memekatkan asam lemak tak jenuh setelah penghilangan lemak utama. Sebaliknya, pada sampel Sesaot, pelarut ini lebih efektif dalam mengisolasi turunan piron dan gliserol asetat. Perbedaan tajam dalam profil ini memberikan dasar ilmiah yang kuat bahwa biji kemiri dari lokasi yang berbeda di Pulau Lombok memiliki kemurnian fraksi senyawa bioaktif yang unik. Informasi tersebut sangat krusial untuk pengembangan produk pangan fungsional di tahap hilir, di mana pemilihan lokasi pengambilan sampel dan pelarut ekstraksi harus diselaraskan dengan target spesifik senyawa aktif yang ingin diproduksi (Bhadange, et al., 2024).

Senyawa Bioaktif Pangan yang Teridentifikasi dalam Ekstrak Kemiri

Data senyawa bioaktif pangan yang teridentifikasi dari ekstrak kemiri Lombok yang dimuat dalam Tabel 5 menunjukkan adanya potensi perubahan sudut pandang terhadap biji kemiri, dari sekadar komoditas biasa menjadi bahan baku pangan fungsional. Profil tersebut mengindikasikan keseimbangan antara stabilitas oksidatif dan peran fungsionalnya. Kehadiran Asam Linoleat bersama DDMP menciptakan sistem antioksidan alami di dalam ekstrak tersebut. Sebuah peluang formulasi pangan *clean-label*, karena memungkinkan fortifikasi produk pangan dengan asam lemak esensial Omega-6 tanpa risiko umum berupa peroksidasi lipid yang cepat dan munculnya aroma tengik yang menyertainya.

Dari sisi pengolahan dan formulasi, deteksi DDMP sebagai komponen utama merupakan temuan yang signifikan. Dalam teknologi pangan, DDMP diakui sebagai *pyranone* turunan Maillard yang berfungsi sebagai penangkap radikal bebas berpotensi tinggi. Dalam upaya pengembangan produk, fraksi etil asetat dari sampel Sesaot bukan sekadar ekstrak biasa; melainkan ekstrak fungsional yang dapat menggantikan antioksidan sintesis, seperti BHA atau BHT. Efektivitasnya pada fase semi-polar menunjukkan bahwa senyawa ini dapat dengan mudah dimasukkan ke dalam sistem emulsi, yang secara signifikan memperpanjang masa simpan produk akhir.

Tabel 5. Senyawa Bioaktif Pangan Terdeteksi pada Ekstrak Kemiri

Golongan Senyawa	Senyawa Bioaktif Terdeteksi	Fungsionalitas	Referensi
Omega-6 PUFA	Linoleic Acid	Cardiovascular health	Djuricic, et al., 2021, Laqui-Estaña, et al., 2024
Pyrones Derivatives	DDMP	Radical scavenging; antioxidant	Zhifei, et al., 2021
Organic Esters	1-Hexyl acetate	Flavoring; aromatic profile	Takeishi, et al., 2019
Polyols	Glycerol	Humectant; stabilizer	Takeuchi, et al., 2024

Keberadaan *1-Hexyl acetate* dan Gliserol memberikan sentuhan akhir teknologi yang diperlukan untuk aplikasi pangan skala industri. *1-Hexyl acetate* bertindak sebagai *modifier* aroma alami, memberikan aroma buah dan segar (*fruity, green notes*) yang dapat meningkatkan profil sensori camilan berbasis nabati, sementara Gliserol berfungsi sebagai humektan, mengoptimalkan aktivitas air (a_w) untuk menjaga kelembutan remah (*crumb*) pada produk panggang. Dengan memetakan profil ini di wilayah Timbanuh, Sesaot, dan Torean, diperoleh bahwa kemiri Torean berpotensi dalam fortifikasi berbasis lipid dan ekstrak kemiri Sesaot potensial dikembangkan sebagai pangan fungsional karena memiliki aktivitas antioksidan potensi tinggi serta isolat sensori-aromatik.

Aktivitas Antioksidan dan Kaitannya dengan Profil Senyawa Bioaktif Pangan

Seluruh data analisis antioksidan fraksi non-lemak tercantum dalam Tabel 6. Aktivitas antioksidan, menggunakan analisis IC_{50} , menunjukkan variasi yang signifikan berdasarkan lokasi pengambilan sampel geografis maupun pelarut ekstraksi yang digunakan. Secara keseluruhan, sampel dari Sesaot menunjukkan efikasi tertinggi sebagai penangkap radikal bebas, dengan nilai IC_{50} terendah sebesar 22,73 mg/mL untuk ekstrak metanol dan 23,14 mg/mL untuk ekstrak etil asetat. Nilai IC_{50} yang rendah ini menunjukkan bahwa konsentrasi ekstrak yang lebih kecil sudah cukup untuk menghambat 50% radikal bebas, menandakan bahwa sampel Sesaot memiliki potensi antioksidan yang lebih unggul dibandingkan dengan sampel dari Timbanuh dan Torean.

Profil kimia melalui GC-MS memberikan data yang penting mengenai perbedaan aktivitas antioksidan. Pada sampel Sesaot, senyawa dominan yang teridentifikasi adalah *2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4H-Pyran-4-one* (DDMP), dengan persentase luas area mencapai 48,13%. Kehadiran senyawa golongan *pyranone* ini merupakan faktor penentu bagi aktivitas antioksidan kuat yang diamati pada lokasi tersebut. DDMP dikenal luas sebagai senyawa yang mengandung gugus hidroksil aktif yang mampu mendonorkan hidrogen untuk menstabilkan radikal bebas, sehingga berkontribusi signifikan terhadap penurunan nilai IC_{50} dibandingkan lokasi lain di mana senyawa ini tidak terlalu banyak ditemukan.

Tabel 6. Aktivitas Antioksidan Ekstrak Metanol dan Etil Asetat Biji Kemiri

Lokasi	Ekstrak Metanol (IC ₅₀ mg/mL)	Ekstrak Etil Asetat (IC ₅₀ mg/mL)
Timbanuh	32,89 ± 0,55 ^b	46,82 ± 0,85 ^c
Sesaot	22,73 ± 0,31 ^a	23,14 ± 0,38 ^a
Torean	34,81 ± 0,42 ^b	26,55 ± 0,45 ^a

Keterangan: Nilai dalam kolom dengan huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan pada taraf signifikansi 5%.

Sebaliknya, sampel dari Torean dikarakterisasi oleh dominasi asam lemak tak jenuh ganda, khususnya Asam Linoleat (*Z,Z*-9,12-Octadecadienoic acid), dengan persentase luas area tinggi berkisar antara 72,99% hingga 77,61%. Meskipun asam linoleat sangat vital bagi kesehatan dan fungsi metabolik, konsentrasinya yang tinggi pada sampel Torean tidak menghasilkan aktivitas antioksidan yang lebih kuat dibandingkan Sesaot. Hal ini menunjukkan bahwa di dalam sistem ekstraksi ini, senyawa polar-moderat seperti DDMP memainkan peran yang lebih kritis dalam mekanisme penangkapan radikal dibandingkan fraksi asam lemak bebas.

Menariknya, ekstrak metanol sampel Timbanuh menunjukkan kandungan gliserol yang signifikan sebesar 29,80%, yang tidak ditemukan pada sampel dari lokasi lain. Variasi dalam komposisi kimia tersebut kemungkinan besar dipengaruhi oleh faktor lingkungan yang unik pada masing-masing habitat, dan kondisi tanah spesifik di Torean, Sesaot, dan Timbanuh, yang semuanya mempengaruhi jalur biosintesis metabolit sekunder (Jan et al., 2021).

Kaitan antara data GC-MS dan uji antioksidan mengonfirmasi bahwa kualitas bahan pangan fungsional sangat bergantung pada profil kimia spesifiknya. Efektivitas metanol lebih optimal dalam mengekstraksi senyawa aktif di sampel Sesaot menunjukkan bahwa komponen antioksidan utama dalam sampel ini bersifat polar. Temuan ini memberikan dasar ilmiah bahwa kemiri yang berasal dari wilayah Sesaot memiliki keunggulan kimia yang lebih prospektif untuk dikembangkan sebagai sumber antioksidan alami dalam aplikasi teknologi pangan masa depan. Kaitan antara konstituen kimia yang diidentifikasi melalui GC-MS dan kapasitas antioksidan dari ekstrak metanol mengungkapkan strategi metabolik yang berbeda di ketiga lokasi. Pada ekstrak methanol sampel Sesaot, diperoleh aktivitas antioksidan

tertinggi dengan IC₅₀ sebesar 22,73 mg/mL. Aktivitas unggul ini berkaitan dengan tingginya asam (*Z,Z*-9,12-octadecadienoic (asam linoleat) sebesar 77,61% pada lokasi perbandingan atau keberadaan DDMP pada sampel Sesaot.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menetapkan hubungan antara asal geografis, pelarut yang digunakan dalam ekstraksi, dan senyawa bioaktif pangan biji kemiri (*Aleurites moluccana*) dari Pulau Lombok. Implementasi ekstraksi bertingkat terbukti menjadi strategi yang efektif untuk memaksimalkan perolehan senyawa bioaktif. Dengan melakukan tahap penghilangan lemak (*defatting*) yang krusial menggunakan pelarut non-polar, matriks dibersihkan dari fraksi lipid utamanya, sehingga meningkatkan aksesibilitas pelarut polar dan semipolar terhadap metabolit sekunder yang tersembunyi.

Karakterisasi profil senyawa bioaktif pangan biji kemiri dari berbagai lokasi geografis di Lombok mengonfirmasi bahwa asal lingkungan merupakan penentu yang signifikan secara statistik terhadap komposisi kimia dan aktivitas antioksidan. Ekstraksi bertingkat sampel Timbanuh menghasilkan fraksi asam lemak tertinggi sebesar 78,15%, sampel Sesaot (68,40%) dan sampel Torean (70,25%). Analisis GC-MS berikutnya mengungkapkan perbedaan profil senyawa bioaktif, sampel Torean dan Timbanuh didominasi oleh Asam Linoleat (77,61%), sampel Sesaot berhasil diidentifikasi senyawa 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4H-pyran-4-one (DDMP) dengan luas area 48,13%. Hasil Uji antioksidan terbaik dengan nilai IC₅₀ sebesar 22,73 mg/mL (ekstrak metanol) dan 23,14 mg/mL (ekstrak etil asetat) untuk sampel Sesaot. Temuan ini menunjukkan bahwa sampel Torean dan Timbanuh optimal untuk fortifikasi asam lemak Omega-6 dan sampel Sesaot menyediakan sumber isolat antioksidan turunan *pyranonol*. Pemetaan profil senyawa bioaktif ini memberikan kerangka strategis bagi standarisasi industri biji kemiri Lombok, yang memungkinkan pengadaan bahan baku secara presisi berdasarkan kebutuhan pangan fungsional spesifik, seperti kepadatan nutrisi atau stabilitas oksidatif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi melalui skema Penelitian Dosen Pemula tahun 2025. Penulis juga berterima kasih kepada semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak

langsung, dalam penyelesaian penelitian dan penulisan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhadange, Y. A., Carpenter, J., & Saharan, V. K. (2024). A comprehensive review on advanced extraction techniques for retrieving bioactive components from natural sources. *ACS omega*, 9(29), 31274-31297.
- Castro, M. D. L. De. (2010). Soxhlet extraction : Past and present panacea. *Journal of Chromatography A*, 1217(16), 2383–2389. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.11.027>
- Chen, Z., Liu, Q., Zhao, Z., Bai, B., Sun, Z., Cai, L., Fu, Y., Ma, Y., Wang, Q., & Xi, G. (2021). *E f f e c t of hydroxyl on antioxidant properties of 2, 3-*. 34456–34461. <https://doi.org/10.1039/d1ra06317k>
- Choi, D., Bedale, W., Chetty, S., & Yu, J. (2024). *Comprehensive review of clean-label antimicrobials used in dairy products*. October 2023, 1–21. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13263>
- Deshmukh, A. R., & Rathod, V. K. (2017). *Intensification of enzyme catalysed synthesis of hexyl acetate using sonication*. 55–62. <https://doi.org/10.1515/gps-2015-0117>
- Di Renzo, L., Colica, C., Carraro, A., Cenci Goga, B., Marsella, L. T., Botta, R., Colombo, M. L., Gratteri, S., Chang, T. F. M., Droli, M., Sarlo, F., & De Lorenzo, A. (2015). Food safety and nutritional quality for the prevention of non communicable diseases: The Nutrient, hazard Analysis and Critical Control Point process (NACCP). *Journal of Translational Medicine*, 13(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s12967-015-0484-2>
- Djuricic, I., & Calder, P. C. (2021). Beneficial Outcomes of Omega-6 and Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids on Human Health: An Update for 2021. *Nutrients*, 13(7), 2421. <https://doi.org/10.3390/nu13072421>
- Jan, R., Asaf, S., Numan, M., & Kim, K. (2021). *Plant Secondary Metabolite Biosynthesis and Transcriptional Regulation in Response to Biotic and Abiotic Stress Conditions*. 1–31.
- Karami, Z., Emam-Djomeh, Z., Mirzaee, H. A., Khomeiri, M., Mahoonak, A. S., & Aydani, E. (2015). Optimization of microwave assisted extraction (MAE) and soklet extraction of phenolic compound from licorice root. *Journal of food science and technology*, 52(6), 3242-3253.
- Kumari, P., Chopra, R., Garg, M., & Chauhan, K. (2024). Industrial Crops & Products Stability of perilla seed oil based PUFA-rich structured lipids using enzymatic interesterification : A thermo-oxidative kinetic study. *Industrial Crops & Products*, 209(January), 118029. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118029>
- Laqui-Estafía, J., Obreque-Slier, E., García-Nauto, N., & Saldaña, E. (2024). Advances in Grape Seed Oil Extraction Techniques and Their Applications in Food Products: A Comprehensive Review and Bibliometric Analysis. *Foods*, 13(22), 3561. <https://doi.org/10.3390/foods13223561>
- Lee, Y. H., Lee, N., & Asia, E. (2022). *Comprehensive Metabolite Profiling of Four Different Beans Fermented by Aspergillus oryzae in*. 1–12.
- Mahfoud, F., Assaf, J. C., Elias, R., Debs, E., & Louka, N. (2023). Defatting and Defatted Peanuts: A Critical Review on Methods of Oil Extraction and Consideration of Solid Matrix as a By-Product or Intended Target. *Processes*, 11(8), 2512. <https://doi.org/10.3390/pr11082512>
- Molina-cortés, A., Tobar-tosse, F., & Quimbaya, M. (2025). *Study of two sugarcane by-products as source of secondary metabolites and heat-induced compounds with potential bioactive applications*. 1–16.
- Musa, W. J. A., Bialangi, N., Kilo, A. K., Situmeang, B., Susparini, N. T., & Rusydi, I. D. (2023). *Antioxidant , cholesterol lowering activity , and analysis of Caesalpinia bonducella seeds extract*. 70, 97–103. <https://doi.org/10.3897/pharmacia.70.e96817>
- Qureshi, I., Habib, M., Bashir, K., Jan, K., Jan, S. (2024). Introduction to Functional Foods and Nutraceuticals. In: Bashir, K., Jan, K., Ahmad, F.J. (eds) *Functional Foods and Nutraceuticals: Chemistry, Health Benefits and the Way Forward*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-59365-9_1
- Raza, N., Sadaf, A., Mushtaq, R., Abid, M., Luqman, M., & Fakhar, A. (2026). *Nutritional and Health Potential of Edible Seeds : Micronutrient Bioavailability and Mechanistic Insights*. <https://doi.org/10.1002/fsn3.71480>
- Swamy, M. K., Arumugam, G., Kaur, R.,

- Ghasemzadeh, A., Yusoff, M. M., & Sinniah, U. R. (2017). GC-MS based metabolite profiling, antioxidant, and antimicrobial properties of different solvent extracts of Malaysian *Plectranthus amboinicus* leaves. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2017(1), 1517683.
- Svanberg, L., Malmberg, K., Gustinelli, G., Öhgren, C., Persson, I., Brive, L., & Wassén, S. (2019). Effect of anthocyanins on lipid oxidation and microbial spoilage in value-added emulsions with bilberry seed oil, anthocyanins and cold set whey protein hydrogels. *Food Chemistry*, 272(June 2018), 273–278.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.064>
- Takeshi Toyoda, Young-Man Cho, Kohei Matsushita, Shigehiro Tachibana, Mika Senuma, Jun-ichi Akagi, and Kumiko Ogawa. 2019. A 13-week subchronic toxicity study of hexyl acetate in SD rats. *J Toxicol Pathol* 2019; 32: 205–212, DOI: <https://doi.org/10.1293/tox.2019-0002>
- Takeuchi, N., Shiraga, K., Morita, M., Ogawa, Y., Kondo, N. (2024). Evaluation of Hydration State around Glycerol as a Humectant Using Microwave Dielectric Spectroscopy. In: Cavallo, E., Auat Cheein, F., Marinello, F., Saçılık, K., Muthukumarappan, K., Abhilash, P.C. (eds) 15th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy in Agriculture. ANKAgEng 2023. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 458. Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-51579-8_16
- You, J., Zhao, X., Suo, Y., Li, Y., Wang, H., & Chen, G. (2007). Determination of long-chain fatty acids in bryophyte plants extracts by HPLC with fluorescence detection and identification with MS. *Journal of Chromatography B*, 848(2), 283-291.
- Zahara, E., Balqis, U., & Soraya, C. (2024). *The Potential of Ethanol Extract of Aleurites Moluccanus Leaves as TNF- α Inhibitor in Oral Incision Wound Care Model*. 5(4), 674–687.