



ANALISIS *GAS CHROMATOGRAPHY-MASS SPECTROMETRY* (GC-MS) SENYAWA BIOAKTIF DAUN TANAMAN BUAH SALJU (*Inga* sp.) DI KAWASAN BEDUGUL, BALI.

Arendra Ariantoni^{1*}, I Ketut Suada¹, Trisna Agung Phabiola¹, Putu Eka Pasmidi Ariati², Luh Putu Yuni Widyastuti²

¹Program Studi Bioteknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Udayana

⁴Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Mahasaraswati Denpasar

*Corresponding author: arendra.ariantoni@gmail.com

ABSTRAK

Tanaman buah salju (*Inga* sp.) merupakan spesies introduksi yang melimpah di kawasan Bedugul, Bali, namun informasi mengenai kandungan fitokimianya masih sangat terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kandungan senyawa bioaktif daun tanaman buah salju dari kawasan Bedugul, Bali. Analisis fitokimia dilakukan melalui maserasi menggunakan tiga pelarut dengan kepolarannya berbeda dengan perbandingan 2:1:1 (n-heksan, etil asetat, dan etanol 96%), kemudian dianalisis menggunakan instrumen Kromatografi Gas-Spektrometri Massa Shimadzu QP2010 SE dengan kolom kapiler Rtx-5MS. Analisis Kromatografi Gas-Spektrometri Massa berhasil mengidentifikasi 20 puncak kromatogram pada ekstrak daun tanaman buah salju dari kawasan Bedugul. Senyawa dengan kelimpahan tertinggi adalah metil risinoleat (methyl ricinoleate) dengan area sebesar 44,83%, diikuti oleh trifenilfosfin oksida (11,07%), heneikosana total (11,47%), eikosana total (7,11%), dan metil oleat (6,54%). Berdasarkan komposisi kimianya, senyawa-senyawa tersebut terklasifikasi ke dalam kelompok metil ester asam lemak (56,59%), hidrokarbon alifatik (20,11%), dan terpenoid (2,01%). Berdasarkan tinjauan literatur, total 61,52% senyawa dalam ekstrak berpotensi bioaktif. Senyawa-senyawa tersebut berpotensi menunjukkan aktivitas antiinflamasi melalui kandungan metil risinoleat (44,83%), sitral/neral (2,01%), dan asam lemak tak jenuh; berpotensi antimikroba dan antijamur melalui sitral/neral; serta berpotensi sebagai anti-biofilm melalui pentadekanal dan sitral/neral.

Kata kunci antimikroba, *Inga* sp., kromatografi gas-spektrometri massa, metil risinoleat, oleokimia.

ABSTRACT

GAS CHROMATOGRAPHY-MASS SPECTROMETRY ANALYSIS OF BIOACTIVE COMPOUNDS IN LEAVES OF BUAH SALJU (*Inga* sp.) FROM BEDUGUL REGION, BALI. Buah salju (*Inga* sp.) is an introduced species that grows abundantly in the Bedugul region of Bali; however, information regarding its phytochemical composition remains very limited. This study aimed to analyze the bioactive compound content in leaves of buah salju from the Bedugul region, Bali. Phytochemical analysis was performed through maceration using three solvents of different polarity at a ratio of 2:1:1 (n-hexane, ethyl acetate, and 96% ethanol), analyzed using a Shimadzu Gas Chromatography-Mass Spectrometry QP2010 SE with an Rtx-5MS capillary column. Gas Chromatography-Mass Spectrometry analysis identified 20 chromatographic peaks in the leaf extract of buah salju from the Bedugul region. The compound with the highest abundance was methyl ricinoleate with an area of 44.83%, followed by triphenylphosphine oxide (11.07%), total heneicosane (11.47%), total eicosane (7.11%), and methyl oleate (6.54%). Based on their chemical composition, these compounds were classified into methyl fatty acid ester (56.59%), aliphatic hydrocarbon (20.11%), and terpenoid (2.01%) groups. Based on literature review, 61.52% of the identified compounds are potentially bioactive. These compounds potentially exhibit anti-inflammatory activity through methyl ricinoleate (44.83%), citral/neral (2.01%), and unsaturated fatty acids; potential antimicrobial and antifungal activity through citral/neral; and potential anti-biofilm activity through pentadecanal and citral/neral.

Keyword: antimicrobial, *Inga* sp., gas chromatography-mass spectrometry, methyl ricinoleate, oleochemicals.

PENDAHULUAN

Kawasan Bedugul merupakan dataran tinggi di bagian tengah Pulau Bali, terletak pada ketinggian 1.000–2.020 mdpl dengan curah hujan rata-rata 2.000–3.000 mm/tahun dan suhu berkisar 11,5–25°C. Kondisi vulkanik yang menghasilkan kaldera dan tanah yang subur menjadikan kawasan ini habitat yang sesuai untuk berbagai tumbuhan endemik maupun non-endemik (Sutomo *et al.*, 2019). Kekayaan floranya mencakup berbagai tanaman hortikultura serta tumbuhan endemik langka, termasuk majegau, kaliasem, dan tulak (Sutomo, 2014).

Salah satu tanaman yang tumbuh subur dan melimpah di kawasan Bedugul adalah tanaman buah salju atau dikenal secara lokal sebagai "*woh krem*" (buah es krim) (Kuswantoro dan Li'aini, 2021). Tanaman buah salju telah menjadi favorit untuk dikonsumsi dan diperdagangkan karena daging buahnya (*sarcotesta*) yang manis serta memberikan sensasi dingin saat dimakan. Tingginya kelimpahan dan nilai ekonominya menjadikan buah salju komoditas penting di kawasan Bedugul (Dzulfikri, 2023). Tanaman buah salju termasuk ke dalam genus *Inga* dari famili Fabaceae (subfamili Mimosoideae) (Trokenbrodt dan Parameswaran, 1986). Genus *Inga* terdiri dari sekitar 400 spesies asal Amerika Selatan dan kini telah diintroduksi ke berbagai daerah tropis termasuk Asia Tenggara (Lim, 2012).

Tanaman buah salju telah lama dimanfaatkan dalam pengobatan tradisional masyarakat asli Amerika Selatan. Rebusan daun dan kulit batangnya digunakan untuk mengatasi diare, radang sendi, batuk, dan infeksi kulit; tanaman ini juga secara tradisional dikaitkan dengan manfaat bagi kesehatan jantung, pengendalian kadar gula darah, dan penurunan kolesterol (Lim, 2012; Socfindo Conservation, 2023). Genus *Inga* secara umum diketahui mengandung senyawa polifenol, flavonoid, dan terpenoid berdasarkan berbagai kajian fitokimia pada spesies-spesies asal Amerika Selatan (Lim, 2012). Namun, studi fitokimia mendalam pada *Inga* sp. yang tumbuh di kawasan Asia Tenggara khususnya di Indonesia belum pernah dilaporkan. Kondisi lingkungan Bedugul yang khas, yaitu elevasi tinggi, suhu rendah, dan paparan radiasi UV yang lebih tinggi, berpotensi menghasilkan profil metabolit

sekunder yang berbeda dari populasi asal di Amerika Selatan.

Metabolit sekunder tumbuhan merupakan senyawa organik yang berperan dalam pertahanan diri dari tekanan lingkungan, di antaranya alkaloid, flavonoid, dan terpenoid, yang juga bermanfaat sebagai bahan obat dan nutrisi bagi manusia (Julianto, 2019; Agustina *et al.*, 2016). Kondisi lingkungan Bedugul yang khas dengan elevasi tinggi dan suhu yang bervariasi berpotensi menghasilkan komposisi metabolit sekunder yang unik pada daun tanaman buah salju. Daun dipilih sebagai organ kajian karena umumnya mengakumulasi metabolit sekunder dalam jumlah paling signifikan dibanding organ lainnya (Ningrum *et al.*, 2016).

Analisis Kromatografi Gas-Spektrometri Massa (GC-MS) merupakan teknik yang efektif untuk memisahkan dan mengidentifikasi senyawa volatil dan semi-volatil dalam ekstrak tanaman. *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) merupakan gabungan dari instrumen *Gas Chromatography* yang dipadukan dengan detektor berupa *Mass Spectrometry* yang dapat menghasilkan data lebih akurat untuk mengidentifikasi senyawa yang dilengkapi dengan struktur molekulnya (Gandjar & Rohman, 2007). Data kromatogram dari campuran senyawa yang dihasilkan oleh instrumen GC-MS dapat digunakan untuk memperkirakan senyawa yang dihasilkan dengan *library* atau *database* yang ada dalam instrumen tersebut (Setyawati, 2005). Teknik analisis ini sering digunakan dalam analisis pada bidang toksikologi, forensik, ilmu pangan, dan penelitian lingkungan (Clement dan Taguchi, 1991).

Penelitian fitokimia berbasis GC-MS pada *Inga* sp. dari Indonesia belum pernah dilaporkan sebelumnya. Kebaruan penelitian ini terletak pada karakterisasi pertama profil senyawa GC-MS daun *Inga* sp. dari kawasan dataran tinggi di Indonesia, yang diharapkan dapat menyediakan data ilmiah dasar bagi pemanfaatan tanaman ini secara berkelanjutan. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kandungan senyawa berpotensi bioaktif daun tanaman buah salju (*Inga* sp. Mill.) dari kawasan Bedugul, Bali menggunakan metode Kromatografi Gas-Spektrometri Massa.

METODE PENELITIAN

Pengambilan sampel daun tanaman buah salju dilakukan di Banjar Sari Tengah, Dusun Peken, Desa Pancasari, Kecamatan Sukasada, Kabupaten Buleleng, Bali pada koordinat 8°15'21.6"LS, 115°08'34.0"BT dengan ketinggian 1.350 mdpl pada bulan Juli-Oktober 2025. Analisis fitokimia dilaksanakan di Laboratorium Sumberdaya Genetika dan Biologi Molekuler, Universitas Udayana untuk tahap maserasi dan ekstraksi, sedangkan analisis GCMS dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro, Semarang. Daun yang diambil adalah daun dewasa (*fully expanded*) berwarna hijau tua dari kanopi bagian tengah, bebas dari kerusakan mekanis, serangan hama, dan tanda-tanda infeksi patogen. Pengambilan daun muda dan daun tua yang telah menguning sengaja

dihindari untuk meminimalkan variasi kandungan metabolit yang berkaitan dengan tahap perkembangan fisiologis daun. Sampel berasal dari pohon yang telah mencapai fase dewasa dan dalam kondisi kesehatan yang baik.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi sampel daun tanaman buah salju dari kawasan Bedugul, Bali; pelarut n-heksan (nonpolar), etil asetat (semipolar), dan etanol 96% (polar); metanol *grade* HPLC untuk preparasi sampel analisis Kromatografi Gas-Spektrometri Massa; kertas saring Whatman No. 1; serta gas helium (He) sebagai gas pembawa pada instrumen. Instrumen yang digunakan meliputi blender, oven, timbangan analitik, wadah maserasi, pompa vakum, *vacuum rotary evaporator*,

dan instrumen GCMS Shimadzu GCMS-QP2010 SE yang dilengkapi kolom kapiler Rtx-5MS (30 m × 0,25 mm × 0,25 µm). Seluruh peralatan kaca laboratorium yang digunakan terlebih dahulu disterilisasi dengan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit untuk menghindari kontaminasi.

Sampel daun tanaman buah salju dibersihkan dari bahan pengotor, lalu dicuci dengan air mengalir. Pengeringan dilakukan secara tidak langsung dengan cara diangin-anginkan hingga kering. Metode ini dipilih untuk menghindari kerusakan senyawa bioaktif pada bahan (Adilang *et al.*, 2019). Proses pengeringan dilakukan dengan menebarkan sampel daun pada alas di tempat teduh hingga kering, kemudian ditimbang. Selanjutnya, sampel yang telah kering dihaluskan menggunakan blender (Ariati *et al.*, 2025). Analisis kadar air merupakan parameter fisikokimia yang berhubungan langsung dengan stabilitas dan kualitas senyawa aktif bahan alam, terutama selama proses penyimpanan (Wandira *et al.*, 2023).

Ekstraksi daun tanaman buah salju mengacu pada metode Saha *et al.* (2020) yang telah dimodifikasi. Ekstraksi yang dilakukan adalah ekstraksi dengan menggunakan tiga macam pelarut yang kepolarannya berbeda dengan perbandingan 2:1:1, yaitu n-heksan (nonpolar), etil asetat (semipolar), dan etanol 96% (polar). Pemilihan kombinasi tiga pelarut ini bertujuan memaksimalkan cakupan ekstraksi senyawa dari berbagai tingkat kepolaran: n-heksan diunggulkan untuk senyawa lipofilik (lilin kutikula dan asam lemak), etil asetat untuk senyawa semipolar (terpenoid dan aldehida), sementara etanol 96% menargetkan senyawa polar (flavonoid dan metabolit lainnya). Proporsi n-heksan dibuat dua kali lebih besar (rasio 2) karena komponen lipofilik umumnya mendominasi komposisi ekstrak daun. Maserasi atau perendaman dilakukan sebanyak 3 (tiga) kali sampai filtrat mendekati bening. Proses maserasi dilakukan selama 3 × 24 jam sambil sesekali dilakukan pengadukan. Hasil maserasi kemudian disaring dengan kertas saring sehingga dihasilkan filtrat dan residu. Filtrat yang diperoleh kemudian dipekatkan menggunakan *vacuum rotary evaporator* pada suhu 35°C hingga diperoleh ekstrak kasar (*crude extract*) berupa pasta.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis mengidentifikasi 20 puncak kromatogram pada ekstrak daun tanaman buah salju, sebagaimana disajikan pada Tabel 1. Dalam penelitian ini, senyawa dikategorikan berpotensi bioaktif apabila termasuk dalam kelompok yang diketahui memiliki aktivitas farmakologis berdasarkan literatur ilmiah, yaitu asam lemak dan turunannya, terpenoid, serta aldehida rantai panjang. Identifikasi senyawa dilakukan dengan mencocokkan spektrum massa terhadap pustaka NIST20R.lib dan NIST20M1.lib menggunakan ambang batas kemiripan (*similarity index*) minimal 87% terhadap pustaka NIST20R.lib dan

Profil kromatogram dan identifikasi senyawa

Dua puluh senyawa terelusi pada rentang waktu retensi (*retention time*/RT) 8,682–25,435 menit dengan variasi area 0,79–44,83%. Identifikasi senyawa

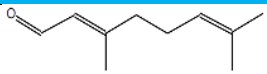
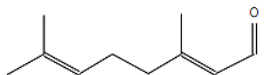
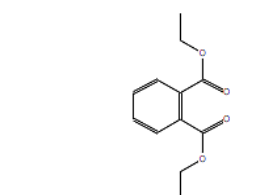
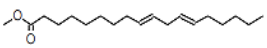
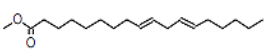
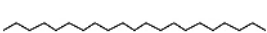
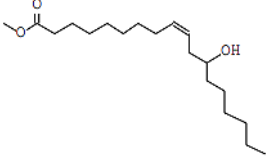
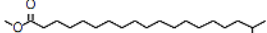
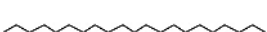
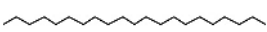
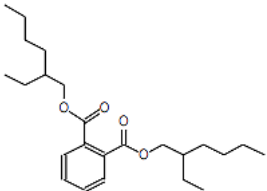
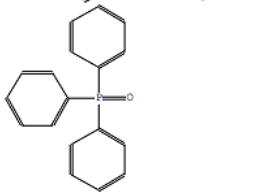
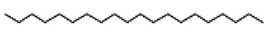
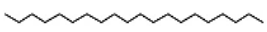
Analisis senyawa bioaktif daun tanaman buah salju dilakukan menggunakan Kromatografi Gas-Spektrometri Massa dengan alat Shimadzu GCMS-QP2010 SE, dilengkapi dengan kolom kapiler Rtx-5MS (30 m × 0,25 mm × 0,25 µm). Analisis Kromatografi Gas-Spektrometri Massa mengacu pada metode standar untuk identifikasi metabolit sekunder pada ekstrak tanaman (SOP UPT Lab. Terpadu Undip). Untuk analisis ini, digunakan volume injeksi 1,0 µL larutan yang dibuat dengan melarutkan 20 mg ekstrak cair (setelah pengenceran dari *vacuum rotary evaporator*) dalam 1,0 mL metanol. Kondisi analisis yang diterapkan adalah: suhu injektor 250°C dengan mode *split*, gas pembawa He dengan laju alir 1 mL/menit, dan suhu awal kolom 50°C (dipertahankan selama 2 menit), dengan kenaikan 10°C/menit hingga mencapai 280°C, dipertahankan selama 5 menit. Sistem deteksi MS dioperasikan dalam mode *scan* dengan ionisasi tumbukan elektron 70 eV, pada rentang rasio massa/muatan (*m/z*) 40–600. Suhu sumber ionisasi dan kuadropol masing-masing adalah 230°C dan 150°C.

Variabel yang digunakan dalam analisis Kromatografi Gas-Spektrometri Massa merupakan variabel tunggal, yaitu berupa senyawa bioaktif seperti metabolit sekunder yang terkandung pada daun tanaman buah salju di kawasan Bedugul, Bali. Penggunaan kromatografi gas dilakukan untuk mencari senyawa yang mudah menguap pada kondisi vakum tinggi dan tekanan rendah jika dipanaskan, sedangkan spektrometri massa digunakan untuk menentukan bobot molekul, rumus molekul, dan menghasilkan molekul bermuatan yang didasarkan pada *library* NIST, sehingga diperoleh data akurat mengenai jenis senyawa bioaktif tersebut. Senyawa-senyawa diidentifikasi dengan membandingkan spektrum massanya dengan spektrum dari pustaka NIST20R.lib dan NIST20M1.lib serta membandingkan indeks retensi (RI) yang diperoleh (Adams, 2017). Pada penelitian ini, variabel fitokimia yang digunakan untuk analisis fungsi senyawa adalah variabel tunggal, berupa fungsi dari setiap senyawa bioaktif yang ditemukan berdasarkan analisis Kromatografi Gas-Spektrometri Massa, yang dilakukan melalui kajian pustaka ataupun penelitian-penelitian terdahulu.

NIST20M1.lib. Apabila terdapat lebih dari satu kandidat senyawa dengan nilai kemiripan ≥87%, identitas senyawa ditentukan berdasarkan kombinasi nilai kemiripan tertinggi dan kesesuaian indeks retensi (RI) terhadap data literatur (Adams, 2017). Dari 20 puncak yang teridentifikasi, 12 puncak (61,52%) termasuk dalam kategori berpotensi bioaktif, yaitu asam lemak dan turunannya (56,59%), terpenoid monoterpenoid (2,01%), dan aldehida rantai panjang (2,92%), sedangkan 8 puncak lainnya merupakan komponen lilin kutikula tanaman, kontaminan analitik, atau senyawa fosfor organik.

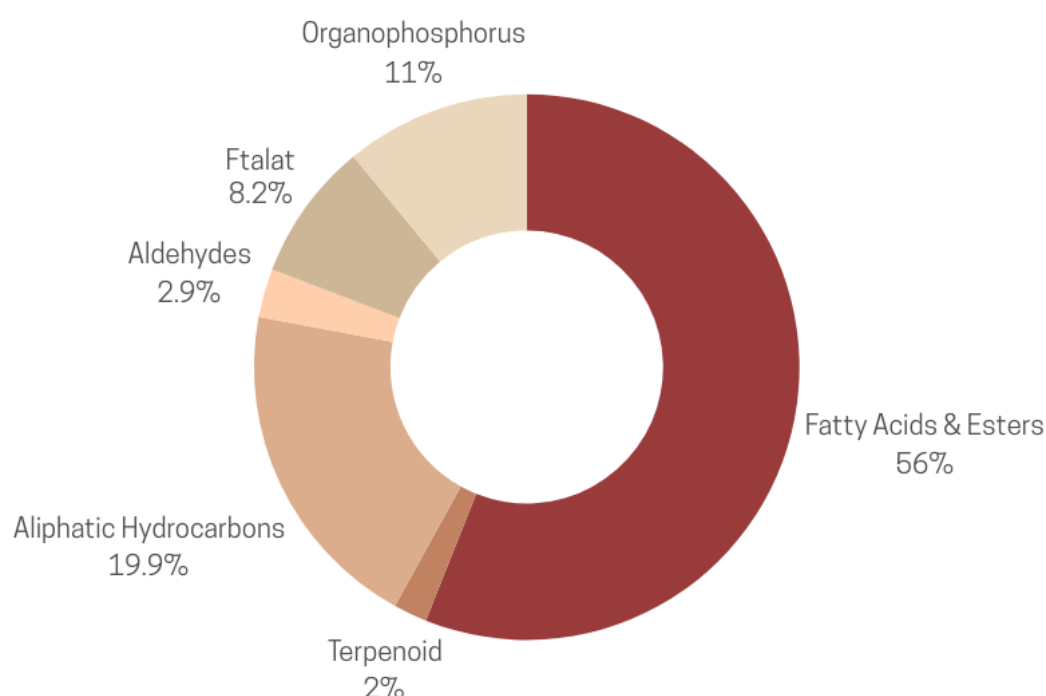
dilakukan dengan tingkat kemiripan (*similarity index*/SI) minimal 87%, Data lengkap identitas senyawa, rumus molekul, berat molekul, tinggi puncak, dan area persentase disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi senyawa bioaktif ekstrak tanaman buah salju berdasarkan analisis GC-MS

~	Senyawa Bioaktif	RT (menit)	Rumus Molekul	Berat Molekul	Tinggi Puncak	Area %	Struktur Kimia
1	Neral	8.682	C ₁₀ H ₁₆ O	152	57361	0.86	
2	Citral	9.106	C ₁₀ H ₁₆ O	152	75517	1.15	
3	Diethyl Phthalate	13.528	C ₁₂ H ₁₄ O ₄	222	376091	6.80	
4	Pentadecanal	14.862	C ₁₅ H ₃₀ O	226	60988	1.08	
5	13-Tetradecenal	16.877	C ₁₄ H ₂₆ O	210	108428	1.84	
6	9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester, (E,E)-	18.884	C ₁₉ H ₃₄ O ₂	294	59200	1.14	
7	9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	18.931	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	296	317859	6.54	
8	Methyl stearate	19.154	C ₁₉ H ₃₈ O ₂	298	64545	1.12	
9	Heneicosane	19.805	C ₂₁ H ₄₄	296	50603	0.79	
10	9-Octadecenoic acid, 12-hydroxy-, methyl ester, [R-(Z)]-	20.726	C ₁₉ H ₃₆ O ₃	312	2279566	44.83	
11	Methyl 18-methylnonadecanoate	20.984	C ₂₁ H ₄₂ O ₂	326	63725	1.12	
12	Heneicosane	21.568	C ₂₁ H ₄₄	296	202179	3.30	
13	Heneicosane	22.398	C ₂₁ H ₄₄	296	235072	4.22	
14	Methyl 20-methyl-heneicosanoate	22.671	C ₂₃ H ₄₆ O ₂	354	47508	0.83	
15	Bis(2-ethylhexyl) phthalate	22.926	C ₂₄ H ₃₈ O ₄	390	60163	1.49	
16	Triphenylphosphine oxide	23.032	C ₁₈ H ₁₅ OP	278	457680	11.07	
17	Eicosane	23.195	C ₂₀ H ₄₂	282	242463	4.81	
18	Heneicosane	23.962	C ₂₁ H ₄₄	296	186552	3.16	
19	Eicosane	24.703	C ₂₀ H ₄₂	282	125428	2.30	
20	Dotriacontane	25.434	C ₃₂ H ₆₆	450	80328	1.53	

Berdasarkan struktur kimia dan sifat kepolarannya, senyawa yang teridentifikasi dapat dikelompokkan menjadi enam golongan utama (Tabel 1). Senyawa monoterpenoid (neral dan sitral) terelusi pada RT 8–10 menit; aldehida rantai panjang dan metil ester asam lemak pada RT 13–20 menit; serta senyawa dengan RT panjang (20–26 menit) meliputi metil risinoleat sebagai senyawa dominan, hidrokarbon alifatik, dan senyawa fosfor organik. Selebihnya mengenai RT dan area masing-masing senyawa dapat dilihat pada Tabel 1. Pembagian kelompok senyawa berdasarkan struktur kimia adalah sebagai berikut. Golongan pertama adalah asam lemak dan derivatnya

dengan total area 56,59%. Golongan kedua adalah hidrokarbon alifatik jenuh dengan total area 20,11%, meliputi heneikosana (total 11,47% dari empat puncak), eikosana (total 7,11% dari dua puncak), dan dotriakontana (1,53%). Golongan ketiga adalah senyawa fosfor organik berupa trifenilfosfin oksida (11,07%). Golongan keempat adalah ester ftalat (total 8,29%). Golongan kelima adalah aldehida rantai panjang (total 2,92%), dan golongan keenam adalah terpenoid (total 2,01%). Perbandingan kelimpahan relatif antarkelompok senyawa tersebut disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Profil kelimpahan senyawa bioaktif ekstrak daun tanaman buah salju berdasarkan analisis GC-MS

Senyawa dengan kelimpahan tertinggi dalam ekstrak daun tanaman buah salju adalah metil risinoleat (*methyl ricinoleate*) atau secara sistematis dikenal sebagai metil ester asam 9-oktadekenoat, 12-hidroksi-,[R-(Z)]- dengan area mencapai 44,83% dan intensitas puncak 2.279.566 pada waktu retensi 20,726 menit (Tabel 1). Keberadaan senyawa ini sebagai komponen dominan (hampir setengah dari total ekstrak) menjadikannya fokus utama dalam pembahasan potensi biologis tanaman buah salju. Secara kimiawi, metil risinoleat merupakan metil ester dari asam risinoleat, yaitu asam lemak tak jenuh rantai panjang yang memiliki dua gugus fungsional unik sekaligus yaitu ikatan rangkap *cis* pada posisi C9-C10 dan gugus hidroksil pada posisi C12. Dari kedua gugus fungsional ini menjadikan metil risinoleat sebagai salah satu molekul asam lemak yang paling serbaguna dan reaktif, baik secara kimiawi maupun secara biologis (Pabiś dan Kula, 2016).

Salah satu aktivitas biologis yang paling banyak diteliti dari metil risinoleat dan senyawa induknya adalah sifat antiinflamasinya. Asam risinoleat, sebagai prekursor langsung metil risinoleat, diketahui memiliki mekanisme antiinflamasi yang analog dengan kapsaisin, yaitu melalui aktivasi reseptor TRPV1 (*transient receptor potential vanilloid-1*) serta inhibisi jalur asam arakidonat melalui penekanan enzim siklooksigenase (COX-1 dan COX-2) yang berperan dalam biosintesis prostaglandin sebagai mediator inflamasi (Pabiś dan Kula, 2016). Risinoleat dan derivat metil esternya juga menunjukkan kemampuan

modulasi jalur eikosanoid melalui kompetisi substrat dengan asam arakidonat pada enzim *phospholipase A2* dan lipoksigenase, yang relevan dalam konteks kondisi peradangan kronis seperti artritis dan penyakit radang usus (Technavio, 2025). Secara tradisional, masyarakat yang memanfaatkan tanaman dari genus *Inga* telah menggunakan ekstrak daun dan kulit batangnya untuk mengobati kondisi yang berkaitan dengan peradangan seperti nyeri sendi dan infeksi kulit (Lim, 2012), dan temuan kandungan metil risinoleat dalam penelitian ini memberikan landasan hipotesis yang perlu diuji lebih lanjut melalui studi bioaktivitas.

Metil risinoleat dan senyawa induknya juga berpotensi menunjukkan spektrum aktivitas antimikroba yang luas terhadap berbagai patogen medis penting. *Ricinoleate acid* berbasis polimer yang disintesis dari asam risinoleat menunjukkan aktivitas antimikroba terhadap *Escherichia coli* (MIC 1,25 mg/mL), *Pseudomonas aeruginosa* (MIC 10 mg/mL), *Candida albicans* (MIC 0,62 mg/mL), *Staphylococcus aureus* (MIC 20 mg/mL), dan *Methicillin-resistant Staphylococcus aureus* (MRSA, MIC 10 mg/mL) (Jalageri *et al.*, 2024). Mekanisme antimikroba senyawa ini melibatkan gangguan integritas membran sel bakteri melalui interaksi gugus hidroksil dan asam karboksilat dengan komponen membran fosfolipid, menyebabkan peningkatan permeabilitas membran dan kebocoran isi sel (Pabiś dan Kula, 2016). Dari bidang industri, metil risinoleat memiliki nilai komersial yang sangat tinggi karena digunakan secara luas sebagai plastisiser, pelumas, dan emolien dalam

industri farmasi dan kosmetik, serta sebagai bahan baku biodiesel generasi kedua karena kandungan energi yang tinggi dan stabilitas oksidatif yang baik (Technavio, 2025).

Golongan senyawa bioaktif

Selain senyawa dominan, analisis Kromatografi Gas-Spektrometri Massa mengidentifikasi beberapa kelompok senyawa bioaktif lain yang masing-masing berpotensi memiliki relevansi biologis berdasarkan tinjauan literatur. Golongan asam lemak dan derivatnya merupakan kelompok senyawa terbesar dalam ekstrak, dengan total area mencapai 56,59%. Terdapat lima senyawa lain dalam kelompok ini selain metil risinoleat, yaitu metil oleat (6,54%), metil linoleat (1,14%), metil stearat (1,12%), metil 18-metilnonadekanoat (1,12%), dan metil 20-metil-heneikosanoat (0,83%). Metil oleat merupakan metil ester dari asam oleat (omega-9), yang diketahui menghambat oksidasi LDL, menurunkan kadar kolesterol LDL sekaligus mempertahankan atau meningkatkan kadar HDL, serta memiliki efek antiinflamasi melalui inhibisi NF- κ B dan modulasi ekspresi sitokin proinflamasi (IL-6, TNF- α) (Tsimikas *et al.*, 1999). Metil linoleat adalah metil ester dari asam linoleat (omega-6), asam lemak esensial yang tidak dapat disintesis oleh tubuh manusia sehingga harus diperoleh dari makanan, yang berperan penting dalam pemeliharaan struktur kulit, modulasi sistem imun, dan efek antijerawat (Wang *et al.*, 2024). Secara keseluruhan, senyawa-senyawa asam lemak ini berpotensi memberikan manfaat ganda yaitu sebagai sumber lemak fungsional (*functional lipids*) dan sebagai bahan baku industri oleokimia.

Golongan terpenoid yang teridentifikasi terdiri dari dua isomer geometri aldehida monoterpenoid, yaitu neral dan sitral dengan total area 2,01% (Tabel 1), terelusi pada RT 8,682 menit dan 9,106 menit. Kedua senyawa ini merupakan isomer geometri dari 3,7-dimetil-2,6-oktadien-1-al yang dikenal sebagai sitral. Meskipun persentase totalnya relatif kecil, sitral/neral sangat penting karena merupakan komponen utama dari berbagai minyak esensial dan memiliki status GRAS (*Generally Recognized as Safe*) dari FDA Amerika Serikat sebagai agen perasa pangan, serta telah dilaporkan berpotensi sebagai antimikroba, antijamur, antibiofilm, antiparasit, antiproliferatif, antiinflamasi, dan antioksidan berdasarkan berbagai uji *in vitro* dan *in vivo* (Gutiérrez-Pacheco *et al.*, 2023). Aktivitas antimikroba sitral/neral bekerja melalui mekanisme multitarget meliputi gangguan membran sel melalui depolarisasi dan penghambatan sintesis ergosterol pada jamur, inhibisi enzim metabolisme esensial seperti ATPase dan enoil-ACP reduktase, interferensi sistem *quorum sensing* yang mengendalikan pembentukan biofilm, dan induksi stres oksidatif melalui akumulasi ROS intrasel (Gutiérrez-Pacheco *et al.*, 2023). Untuk aktivitas antijamur, sitral/neral memiliki MIC sebesar 64 μ g/mL dan MFC 256 μ g/mL terhadap *Candida albicans* (Silva *et al.*, 2008). Dari sisi antiinflamasi, mekanisme sitral melibatkan penghambatan jalur NF- κ B melalui aktivasi PPAR- γ dan inhibisi fosforilasi I κ B yang memblok

aktivasi NF- κ B dan ekspresi gen mediator inflamasi termasuk TNF- α , IL-1 β , dan IL-6 (Li *et al.*, 2025).

Golongan aldehida rantai panjang terdiri dari pentadekanal dan 13-tetradesenal, dengan total area 2,92% (Tabel 1). Pentadekanal mendapat perhatian ilmiah yang besar setelah ditemukan bahwa bakteri Antartika *Pseudoalteromonas haloplanktis* TAC125 memproduksi pentadekanal sebagai molekul anti-biofilm alami. Penelitian oleh Casillo *et al.* (2017) pertama kali melaporkan pentadekanal dapat menghambat pembentukan biofilm *Staphylococcus epidermidis* tanpa menunjukkan aktivitas antibakteri langsung pada konsentrasi yang sama, yang relevan mengingat *S. epidermidis* merupakan penyebab utama infeksi terkait perangkat medis *implantable*. Mekanisme anti-biofilm pentadekanal diduga berkaitan dengan strukturnya yang menyerupai DSF (*diffusible signal factor*), yaitu molekul *quorum sensing* yang mengatur pembentukan biofilm pada berbagai bakteri patogen (Casillo *et al.*, 2017). Penelitian D'Angelo *et al.* (2024) berhasil mengimobilisasi pentadekanoat pada permukaan polimer PDMS untuk menciptakan permukaan anti-biofilm yang sesuai untuk aplikasi perangkat medis *implantable*.

Seperti yang telah disinggung sebelumnya, tidak semua dari 20 puncak kromatogram yang teridentifikasi merupakan metabolit yang berpotensi bioaktif. Beberapa senyawa berdasarkan tinjauan literatur diduga bukan merupakan produk biosintesis tanaman itu sendiri, melainkan berasal dari proses analisis atau kontaminasi laboratorium. Trifenilfosfin oksida (TPPO; 11,07%) adalah produk samping dari reaksi sintesis kimia organik berbasis fosfin dan bukan merupakan metabolit sekunder tanaman (Tamboli *et al.*, 2021), sedangkan dietil ftalat (6,80%) dan bis(2-etilheksil) ftalat (1,49%) merupakan ester ftalat yang secara umum diterima dalam komunitas ilmiah sebagai kontaminan analitik yang sangat umum dalam analisis GC-MS, bersumber dari peralatan laboratorium berbahan plastik (Anggarkasih *et al.*, 2018). Ketiga senyawa ini tidak dikategorikan sebagai komponen fitokimia tanaman buah salju. Berbeda dengan ketiganya, hidrokarbon alifatik jenuh yang teridentifikasi yaitu eikosana (total 7,11% dari dua puncak), heneikosana (total 11,47% dari empat puncak), dan dotriakontana (1,53%) merupakan komponen lilin kutikula tanaman (*plant cuticle wax*) yang memiliki nilai ekofisiologis bagi tanaman, sebagaimana ditunjukkan pada distribusi area masing-masing senyawa dalam Tabel 1. Alkana rantai sangat panjang ini berfungsi membatasi kehilangan air transpirasi, melindungi dari radiasi UV-B, serta meningkatkan ketahanan terhadap stres kekeringan dan suhu dingin (Lewandowska *et al.*, 2020). Adanya eikosana dan heneikosana dalam jumlah yang cukup besar dalam ekstrak daun tanaman buah salju dari kawasan Bedugul (1.350 mdpl) sangat sesuai dengan respons adaptif tanaman terhadap kondisi lingkungan dataran tinggi, karena kondisi Bedugul yang dicirikan oleh paparan radiasi UV yang lebih tinggi dan suhu lebih rendah mendorong biosintesis komponen lilin kutikula yang lebih tebal dan lebih kaya alkana (Körner, 2007)

KESIMPULAN

terhadap ekstrak daun tanaman buah salju (*Inga* sp. Mill.) dari kawasan Bedugul, Bali berhasil mengidentifikasi 20 puncak kromatogram pada rentang waktu retensi 8,682–25,435 menit dengan kelimpahan tertinggi adalah metil risinoleat dengan area 44,83%, diikuti trifenilfosfin oksida (11,07%), heneikosana total (11,47%), eikosana total (7,11%), dan metil oleat (6,54%). Berdasarkan komposisi kimianya, senyawa-senyawa tersebut terklasifikasi ke dalam kelompok metil ester asam lemak (56,59%), hidrokarbon alifatik (20,11%), terpenoid (2,01%), aldehida rantai panjang (2,92%), ester ftalat (8,29%), dan senyawa fosfor organik (11,07%). Total senyawa yang berpotensi bioaktif mencapai 61,52% dari total

ekstrak, yang terdiri dari golongan asam lemak dan derivatnya (56,59%), terpenoid monoterpenoid (2,01%), dan aldehida rantai panjang (2,92%). Berdasarkan tinjauan literatur, senyawa-senyawa tersebut berpotensi menunjukkan berbagai aktivitas biologis, meliputi potensi antiinflamasi melalui kandungan metil risinoleat (44,83%) dan sitral/neral (2,01%); potensi antimikroba dan antijamur melalui sitral/neral; potensi anti-biofilm melalui pentadekanal dan sitral/neral; serta potensi sebagai bahan baku industri oleokimia. Klaim-klaim potensi biologis tersebut masih memerlukan konfirmasi melalui uji bioaktivitas secara in vitro dan in vivo.

DAFTAR PUSTAKA

- Adams RP. 2017. *Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry*. 4.1 ed. Carol Stream: Allured Publishing Corporation.
- Adilang CL, Pelealu N, Citraningtyas G. 2019. Uji Aktivitas Antibakteri Ekstrak Etanol Batang dan Pelepah Daun Tanaman Pisang Ambon (*Musa paradisiaca* var. *sapientum* (L.) Kunt) terhadap Bakteri *Staphylococcus aureus*. *PHARMACON* 8(3):571–579.
- Agustina S, Ruslan, Wiraningtyas A. 2016. Skrining Fitokimia Tanaman Obat Di Kabupaten Bima. *Cakra Kimia: Indonesian E-Journal of Applied Chemistry* 4(1):71–76.
- Anggarkasih MG, Yuliana ND, Regiyana Y, Massijaya MY, Budijanto S. 2018. Analysis of di-n-Butyl Phthalate (DBP) Residue in Commercial Food Packaging from Recycled Paper and Its Migration into Food Simulant. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 28(2):171–179.
- Ariati NK, Putri AA, Sahara E, Suarsa IW. 2025. Studi Aktivitas Antioksidan Ekstrak Daun Cem-cem (*Spondias pinnata* L.f. Kurz) dan Identifikasi Senyawanya dengan LC-MS/MS. *Jurnal Kimia (Journal of Chemistry)* 19(1):10–19.
- Casillo A, Papa R, Ricciardelli A, Sannino F, Ziaco M, Tilotta M, Selan L, Marino G, Corsaro MM, Tutino ML, Artini M, Parrilli E. 2017. Anti-Biofilm Activity of a Long-Chain Fatty Aldehyde from Antarctic *Pseudoalteromonas haloplanktis* TAC125 against *Staphylococcus epidermidis* Biofilm. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* 7. doi:10.3389/fcimb.2017.00046.
- Clement RE, Taguchi VY. 1991. *Techniques for the Gas Chromatography-Mass Spectrometry Identification of Organic Compounds in Effluents: Report*. Toronto: Queen's Printer for Ontario.
- D'Angelo C, Faggiano S, Imbimbo P, Viale E, Casillo A, Bettati S, Olimpo D, Tutino ML, Monti DM, Corsaro MM, Ronda L, Parrilli E. 2024. Pentadecanoic Acid-Releasing PDMS: Towards a New Material to Prevent *S. Epidermidis* Biofilm Formation. *International Journal of Molecular Sciences* 25(19):10727.
- Dzulfikri A. 2023. *Praktik Jual Beli Buah Salju Perspektif Tri Hita Karana dan Maqashid Syariah (Studi di Desa Candikuning, Kecamatan Baturiti, Kabupaten Tabanan)* [Skripsi]. Tersedia di: <http://etheses.uin-malang.ac.id/59256/2/18220020.pdf> [Diakses 15 Mei 2025].
- Gandjar IG, Rohman A. 2007. *Kimia Farmasi Analisis*. Yogyakarta: Penerbit Pustaka Pelajar.
- Gutiérrez-Pacheco MM, Torres-Moreno H, Flores-Lopez ML, Velázquez Guadarrama N, Ayala-Zavala JF, Ortega-Ramírez LA, López-Romero JC. 2023. Mechanisms and Applications of Citral's Antimicrobial Properties in Food Preservation and Pharmaceuticals Formulations. *Antibiotics* 12(11):1608. doi:10.3390/antibiotics12111608.
- Jalageri MD, Kanth S, Shetty SC, Patil P, Jyothi KR, Nagaraja A. 2024. Preparation of Biocompatible Antimicrobial Polymer Embedded with Ricinoleic Acid. *Journal of Polymers and the Environment* 33(2):1216–1231. doi:10.1007/s10924-024-03459-3.
- Julianto TS. 2019. *Fitokimia: Tinjauan Metabolit Sekunder dan Skrining Fitokimia*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia Press.
- Körner C. 2007. The Use of 'Altitude' in Ecological Research. *Trends in Ecology & Evolution* 22(11):569–574. doi:10.1016/j.tree.2007.09.006.
- Kuswanto F, Li'aini AS. 2021. Germination Biology of the Exotic Ice Cream Bean (*Inga edulis* Mart.) Seed from Bedugul, Bali. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 948(012008):1–6. doi:10.1088/1755-1315/948/1/012008.
- Lewandowska M, Keyl A, Feussner I. 2020. Wax Biosynthesis in Response to Danger: Its Regulation upon Abiotic and Biotic Stress. *New Phytologist* 227(3):698–713. doi:10.1111/nph.16571.
- Li Y, Mei J, Xie J. 2025. Citral: Bioactivity, Metabolism, Delivery Systems, and Food Preservation Applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 24(3). doi:10.1111/1541-4337.70168.
- Lim TK. 2012. *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants, Volume 2: Fruits*. New York: Springer Science & Business Media.
- Ningrum R, Purwanti E, Sukarsono. 2016. Identifikasi Senyawa Alkaloid dari Batang Karamunting (*Rhodymyrtus tomentosa*) sebagai Bahan Ajar Biologi untuk SMA Kelas X. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia* 2(3):231–236.
- Pabiś S, Kula J. 2016. Synthesis and Bioactivity of (R)-Ricinoleic Acid Derivatives: A Review. *Current Medicinal Chemistry* 23(35):4037–4056. doi:10.2174/0929867323666160627104453.
- Saha K, Proma RZ, Khan N. 2020. Phytochemical Screening of Plant Extracts and GC-MS Analysis of n-Hexane Extract of the Leaves of *Cassia alata* Linn. *The Journal of Phytopharmacology* 9(5):342–347.
- Setyawati P. 2005. *Isolasi dan Uji Bioaktivitas Senyawa Steroid dari Fraksi n-Heksan Ekstrak Metanol Daun Waru (Hibiscus tiliaceus)* [Skripsi]. Surabaya: Universitas Airlangga.
- Silva C de B da, Guterres SS, Weisheimer V, Schapoval EES. 2008. Antifungal Activity of the Lemongrass Oil and Citral Against *Candida* spp. *Brazilian Journal of Infectious Diseases* 12(1). doi:10.1590/s1413-86702008000100014.

- Socfindo Conservation. 2023. *Ice Cream Bean*. [online] Tersedia di: <https://www.socfindoconservation.co.id/plant/1112?lang=en> [Diakses 11 Nov. 2025].
- Sutomo. 2014. Eksplorasi Keberadaan Tumbuhan Langka Lokal Bali di Kawasan Hutan Danau Buyan–Tamblingan dan Beberapa Desa di Kabupaten Buleleng, Bali. *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains dan Teknologi* 2(4):253–259. doi:10.36722/sst.v2i4.161.
- Sutomo, Iryadi R, Sujarwo W. 2019. *Bedugul Dari Angkasa*. Jakarta: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Press.
- Tamboli Y, Kashid BB, Yadav R, Rafeeq M, Ravindra Yeole, Merwade AY. 2021. Triphenylphosphine Oxide Removal from Reactions: The Role of Solvent and Temperature. *ACS Omega* 6(21):13940–13945. doi:10.1021/acsomega.1c01996.
- Technavio. 2025. *Ricinoleic Acid Market Growth Analysis - Size and Forecast 2025-2029*. [online] Tersedia di: <https://www.technavio.com/report/ricinoleic-acid-market-industry-analysis> [Diakses 22 Feb. 2026].
- Trockenbrodt M, Parameswaran N. 1986. A Contribution to the Taxonomy of the Genus *Inga* Scop. (Mimosaceae) Based on the Anatomy of the Secondary Phloem. *IAWA Bulletin Journal* 7(1):62–71.
- Tsimikas S, Philis-Tsimikas A, Alexopoulos S, Sigari F, Lee CR, Reaven PD. 1999. LDL Isolated from Greek Subjects on a Typical Diet or from American Subjects on an Oleate-Supplemented Diet Induces Less Monocyte Chemotaxis and Adhesion When Exposed to Oxidative Stress. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology* 19(1):122–130. doi:10.1161/01.atv.19.1.122.
- Wang X, Jia Y, He H. 2024. The Role of Linoleic Acid in Skin and Hair Health: A Review. *International Journal of Molecular Sciences* 26(1):246–246. doi:10.3390/ijms26010246.
- Wandira A, Cindiansya, Rosmayati J, Anandari RF, Naurah SA, Fikayuniar L. 2023. Menganalisis Pengujian Kadar Air Dari Berbagai Simplicia Bahan Alam Menggunakan Metode Gravimetri. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan* 9(17):190–193. doi:10.5281/zenodo.8299996.

