

REVIEW ARTICLE : VALIDASI METODE KROMATOGRAFI GAS-SPEKTROMETRI MASSA (GC-MS) DALAM ANALISIS SENYAWA VOLATIL BAHAN ALAM

REVIEW ARTICLE: VALIDATION OF GAS CHROMATOGRAPHY-MASS SPECTROMETRY (GC-MS) METHODS IN THE ANALYSIS OF VOLATILE COMPOUNDS IN NATURAL MATERIALS

Ki Agus Rifki Fauzan¹, Maria Febriani Wea Bii², Atika Salsabila³, Siti Rahma⁴, Destiana Wulandari⁵, Ariyanto⁶

¹Fakultas Farmasi, Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta, Jakarta, Indonesia, 14350

E-mail: kiagusrifkifauzan@gmail.com

Abstrak

Bahan alami dari tanaman menjadi sumber utama senyawa volatil yang memiliki aktivitas biologis seperti antimikroba, antioksidan, antiinflamasi, dan antifungal, khususnya dalam minyak esensial. Pengujian senyawa ini bergantung pada teknik handal seperti kromatografi gas-spektrometri massa (GC-MS), yang memisahkan dan mengidentifikasi komponen melalui waktu retensi dan spektrum massa, dengan validasi yang menjamin kelinieran, ketepatan, ketelitian, batas deteksi (LOD), dan batas kuantifikasi (LOQ). Tinjauan artikel ini menilai penggunaan dan pengesahan metode GC-MS untuk analisis senyawa volatil dari bahan alami, berdasarkan literatur nasional dan internasional lima tahun terakhir. Pendekatan tinjauan mencakup pencarian terstruktur dari basis data seperti PubMed, ScienceDirect, Google Scholar, dan jurnal SINTA, dengan fokus pada parameter validasi serta pengaturan alat GC-MS. Temuan menunjukkan GC-MS secara stabil mendeteksi senyawa utama seperti monoterpen dan seskuiterpen dengan akurasi 97-99%, serta pengesahan yang sesuai standar AOAC ($R^2 > 0,99$; $RSD < 8\%$; pemulihan 80-100%), di mana teknik ekstraksi yang berbeda mempengaruhi kandungan dan efektivitas biologis. Pengesahan GC-MS penting untuk mendorong inovasi produk alami yang ramah lingkungan di bidang farmasi, pangan, dan kosmetik sebagai pengganti bahan pengawet sintetis.

Kata kunci: : Kromatografi Gas-Spektrometri Massa; GC-MS; Validasi Metode; Senyawa Volatil; Bahan Alam

Abstract

Natural ingredients from plants are a major source of volatile compounds with biological activities such as antimicrobial, antioxidant, anti-inflammatory, and antifungal, particularly in essential oils. Testing of these compounds relies on reliable techniques such as gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), which separates and identifies components through retention time and mass spectra, with validation ensuring linearity, precision, accuracy, limit of detection (LOD),

and limit of quantification (LOQ). This review article assesses the use and validation of GC-MS methods for the analysis of volatile compounds from natural ingredients, based on national and international literature over the past five years. The review approach included a structured search of databases such as PubMed, ScienceDirect, Google Scholar, and SINTA journals, with a focus on validation parameters and GC-MS instrument settings. The findings show that GC-MS stably detects key compounds such as monoterpenes and sesquiterpenes with 97-99% accuracy, and validates them according to AOAC standards ($R^2 > 0.99$; $RSD < 8\%$; recovery 80-100%), where different extraction techniques affect their biological content and effectiveness. GC-MS validation is important to encourage innovation of environmentally friendly natural products in the pharmaceutical, food, and cosmetic sectors as a substitute for synthetic preservatives.

Keywords : *Gas Chromatography-Mass Spectrometry; GC-MS; Method Validation; Volatile Compounds; Natural Products*

PENDAHULUAN

Bahan alami yang berasal dari tanaman telah lama menjadi sumber utama senyawa volatil dengan berbagai potensi bioaktivitas, seperti sifat antimikroba, antioksidan, antiinflamasi, dan antifungal. Senyawa ini biasanya terkandung dalam minyak atsiri yang diekstrak dari bagian tanaman seperti daun, dan umumnya berasal dari spesies yang mampu beradaptasi dengan kondisi ekstrem, misalnya tanaman halofit atau anggota famili Lamiaceae. Minyak atsiri berperan sebagai mekanisme pertahanan alami tanaman terhadap stres oksidatif, infeksi patogen, dan faktor lingkungan lainnya, sehingga cocok sebagai alternatif pengawet alami di industri makanan, farmasi, dan perlindungan bahan seperti kayu dari serangan jamur [1]. Dalam hal ini, minyak atsiri tidak hanya membantu tanaman bertahan dari tantangan seperti salinitas tinggi dan kekeringan, tetapi juga memberikan solusi bagi manusia untuk menangani masalah kesehatan seperti infeksi mikroba yang semakin kebal terhadap bahan sintetis.

Teknik ekstraksi minyak atsiri sangat mempengaruhi komposisi dan efektivitas biologisnya. Metode seperti hidrodistilasi, ekstraksi dengan pelarut dingin atau panas menggunakan n-heksana, distilasi uap, atau ekstraksi berbantuan microwave menentukan variasi senyawa yang dihasilkan, bergantung pada ukuran sampel, kadar minyak, dan tujuan penelitian. Hidrodistilasi dan ekstraksi pelarut lebih sering digunakan karena mudah diakses dan biaya rendah, meskipun teknik lain seperti ekstraksi dengan CO₂ cair lebih cepat namun mahal [3]. Proses ini memastikan pemulihan senyawa volatil yang optimal, tetapi perbedaan dalam prosedur dapat menyebabkan variasi signifikan dalam profil kimia, yang kemudian mempengaruhi potensi biologis seperti kemampuan menghentikan pertumbuhan mikroba atau jamur. Oleh karena itu, memilih metode ekstraksi yang sesuai merupakan langkah penting sebelum analisis lanjutan.

Untuk menganalisis senyawa volatil tersebut, kromatografi gas-spektrometri massa (GC-MS) menjadi teknik utama karena kemampuannya memisahkan komponen berdasarkan waktu retensi dan spektrum massa, menghasilkan profil kimia yang menyeluruh. GC-MS sering

dipadukan dengan HPLC untuk senyawa non-volatil seperti fenolik, memungkinkan identifikasi akurat monoterpen dan seskuiterpen yang dominan dalam minyak atsiri [2]. Namun, keberhasilan analisis tergantung pada validasi metode, yang mencakup evaluasi linieritas, presisi, akurasi, batas deteksi, dan batas kuantifikasi. Validasi ini penting untuk mengatasi variasi dari metode ekstraksi, memastikan data yang konsisten dan andal, terutama dalam aplikasi seperti pengawet minuman atau pelindung kayu dari jamur. Dalam konteks minyak atsiri, GC-MS memungkinkan deteksi senyawa utama yang bertanggung jawab atas aktivitas biologis, sehingga mendukung pemahaman mendalam tentang cara kerjanya.

Validasi GC-MS dalam analisis senyawa volatil bahan alami tidak hanya menjamin kualitas ilmiah tetapi juga mendorong pengembangan produk ramah lingkungan. Dengan tren global yang mengarah pada bahan alami yang aman, penelitian tentang minyak atsiri dari berbagai sumber menunjukkan potensi antimikroba yang luas, di mana komponen seperti thymol dan carvacrol memberikan efek pengawetan [2]. Pendekatan ini membuka peluang inovasi di bidang farmasi dan industri makanan, di mana minyak atsiri bisa menggantikan bahan kimia berbahaya, sesuai dengan prinsip keberlanjutan dan kesehatan masyarakat. Selain itu, integrasi GC-MS dengan validasi yang ketat memastikan analisis senyawa volatil tidak hanya akurat tetapi juga dapat diterapkan secara praktis, seperti dalam formulasi pengawet alami yang efektif melawan patogen makanan atau jamur perusak kayu [1].

METODE

Sampel penelitian

Sampel dalam penelitian ini terdiri dari artikel ilmiah nasional dan internasional yang berkaitan dengan validasi metode kromatografi gas-spektrometri massa (GC-MS) untuk menganalisis senyawa volatil dari bahan alami. Artikel-artikel tersebut dikumpulkan dari berbagai basis data ilmiah terkemuka, termasuk PubMed, ScienceDirect, Google Scholar, Elsevier, serta jurnal regional dan internasional lainnya yang memiliki reputasi baik. Kriteria untuk menyertakan artikel mencakup publikasi dalam lima tahun terakhir, pembahasan tentang penerapan GC-MS dalam analisis senyawa volatil bahan alami, dan penyertaan parameter validasi metode analisis. Artikel nasional yang dipilih berasal dari jurnal yang terakreditasi setidaknya SINTA 5, sementara artikel internasional diperoleh dari jurnal-jurnal bereputasi tinggi.

Prosedur Kerja

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur atau review artikel sebagai prosedur kerjanya. Proses dimulai dengan pencarian artikel ilmiah melalui basis data elektronik dengan kata kunci yang sesuai, seperti "GC-MS", "method validation", "volatile compounds", dan "natural products". Artikel yang ditemukan kemudian diseleksi berdasarkan relevansi judul, abstrak, dan isi dengan topik penelitian. Artikel yang dianalisis secara kualitatif, dengan fokus pada metode analisis GC-MS yang diterapkan dan parameter validasi yang dilaporkan. Data dari setiap artikel dirangkum dalam tabel, yang mencakup jenis bahan alam, senyawa volatil yang dianalisis, kondisi instrumen GC-MS, serta parameter validasi seperti linearitas, akurasi, presisi, batas deteksi (LOD),

dan batas kuantifikasi (LOQ). Akhirnya, hasil perbandingan antar artikel dibahas untuk menilai penerapan dan keandalan metode GC-MS dalam menganalisis senyawa volatil dari bahan alam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pencarian dan penyaringan artikel ilmiah, ditemukan beberapa penelitian yang mengkaji validasi metode GC-MS untuk analisis senyawa volatil dari bahan alam. Masing-masing penelitian menampilkan perbedaan dalam jenis sampel, kondisi analisis, dan parameter validasi yang diterapkan. Perbandingan temuan dari berbagai penelitian tersebut disajikan secara ringkas dalam Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan hasil *review* artikel analisis GC-MS pada sampel

No	Nama Peneliti, Tahun, Judul Penelitian	Sampel	Golongan Metabolit	Kondisi GC-MS	Hasil Penelitian
1	[1]	Minyak atsiri (EO) dan ekstrak metanol daun (MLE) dari <i>Corymbia citriodora</i> , <i>Cupressus macrocarpa</i> , <i>Syzygium cumini</i>	Monoterpen (citronellal, sabinene, citronellol, p-cymene)	Kolom TG-5MS (30 m × 0.25 mm × 0.25 µm); suhu awal 50°C, naik 5°C/min ke 250°C (tahan 2 min), lalu 30°C/min ke 300°C (tahan 2 min); carrier gas helium (1 mL/min); injeksi split mode; EI mass spectra 70 eV.	Rendemen EO: 4.5 mL/100g (<i>C. citriodora</i>), 2.5 mL (<i>Cup. macrocarpa</i>), 0.08 mL (<i>S. cumini</i>); <i>Cup. macrocarpa</i> EO inhibisi maksimum (65.71% di 50 mg/L vs. <i>F. solani</i>); <i>S. cumini</i> MLE 92.85% inhibisi di 4000 mg/L (vs. kontrol azoxystrobin 100%); senyawa bioaktif potensial biofungisida alami untuk proteksi kayu.
2	[2]	Minyak atsiri (EO) dari 8 tanaman: <i>Thymus vulgaris</i> (thyme), <i>Mentha viridis</i> ,	Dominan monoterpen (97.10% di lemon grass, 97.04% di thyme, 97.61% di <i>Mentha</i>	Kolom TG-5MS (30 m × 0.25 mm × 0.25 µm); suhu awal 50°C, naik 5°C/min ke 250°C (tahan 2 min), lalu	Thyme EO paling aktif antimikroba (zona inhibisi maksimum vs. <i>S. aureus</i> , <i>E. coli</i> , <i>C. albicans</i>); MIC 0.1-100 µL/mL, MBC 2x MIC; <i>Mentha viridis</i> EO terbaik sebagai pengawet jus apel

		Mentha longifolia, Rosmarinus officinalis (rosemary), Lavandula dentata (lavender), Origanum majorana (oregano), Cymbopogon citratus (lemon grass), Eucalyptus globulus.	viridis)	30°C/min ke 300°C (tahan 2 min); carrier gas helium (1 mL/min); injeksi split mode; EI mass spectra 70 eV.	(inhibisi total pertumbuhan mikroba); EO kaya monoterpen efektif cegah kontaminasi makanan/minuman tanpa efek samping kimia.
3	[3]	Minyak atsiri dari Suaeda aegyptiaca (halofit); diekstrak dengan 3 metode: cold n-hexane (CHE), hot n-hexane (HHE), hydro-distillation (HDE).	Hidrokarbon alkana (2-methyloctacosane, 11-decyldocosane); ester (1,2-benzenedicarboxylic acid diisooctyl ester); senyawa oksigenasi (phenolics, terpenoids); total identifikasi 97-98% senyawa.	Kolom TG-5MS (30 m × 0.25 mm × 0.25 µm); suhu awal 50°C, naik 5°C/min ke 250°C (tahan 2 min), lalu 30°C/min ke 300°C (tahan 2 min); carrier gas helium (1 mL/min); injeksi split mode; EI mass spectra 70 eV.	28 senyawa di CHE/HHE (97.28-97.35%), 20 di HDE (98.65%); HDE terbaik antioksidan (IC50 DPPH 0.358 mg/mL) dan anti-inflamasi (IC50 COX-1/COX-2 5.50/2.59 µg/mL, kurangi TNF-α ke 572.20 Pg/mL); CHE/HHE sitotoksik kuat vs. Caco-2/HCT-116 (IC50 8.11-12.42 µg/mL); ekstraksi memengaruhi komposisi dan bioaktivitas, S. aegyptiaca potensial untuk phytochemical lanjutan.
4	[4]	minyak atsiri dari berbagai tanaman: kulit bawang kepuh, rimpang kunyit, sereh, kulit	Monoterpen (e.g., citronellal, geraniol di sereh); sesquiterpen (e.g.,	Fase gerak utama: Helium; fase diam: Kolom kapiler Phenyl Methyl Silox atau DB-	Setiap tanaman punya golongan minyak atsiri berbeda (e.g., kunyit: monoterpen/sesquiterpen sebagai antioksidan; sereh: citronellal/sitronelol/geraniol

		buah langsung, umbi bawang putih, bunga melati, cengkeh, daun kelor, kapulaga, daun insulin, minyak kenanga, salam, jahe merah, kulit jeruk, pala, semburan, lada hitam, lavender	curcuminoid di kunyit); diterpen; politerpen; flavonoid; keton; aldehid; alkohol; ester; eter; hydrocarbon dan oxygenated hydrocarbon.	12 MS; detektor: Mass Spectrometer (MS); kondisi umum: vakum tinggi, tekanan rendah, pemanasan untuk senyawa volatil.	sebagai antibakteri); metode GC-MS efektif identifikasi senyawa volatil; potensi aplikasi kosmetik, parfum, obat; review merekomendasikan Helium sebagai fase gerak terbaik untuk analisis akurat.
5	[5]	Minyak atsiri dari bagian kulit buah Citrus bergamia (bergamot) dan Citrus sinensis (jeruk manis).	Citrus sinensis: Dominan l-limonene, termasuk golongan monoterpen siklik. Citrus bergamia: Terdiri dari beberapa senyawa utama, yaitu linalool acetate (ester), d-limonene (monoterpen siklik), linalool (monoterpen alkohol), dan camphene (monoterpen bisiklik). Golongan senyawa lainnya meliputi senyawa	GC-MS untuk C. sinensis: Menggunakan seri Agilent 6890 dengan kolom HP-5ms, suhu oven diprogram dari 60°C hingga 250°C dengan peningkatan 3°C/menit. GC-MS untuk C. bergamia: Juga menggunakan Agilent 6890 tetapi dengan kolom DB-5ms, suhu awal 60°C, ditahan, lalu meningkat 10°C/menit hingga 250°C.	C. sinensis: Senyawa utama adalah l-limonene (area 100%), dengan waktu retensi 8,0193 menit. C. bergamia: Terdiri dari beberapa senyawa dominan: Linalool acetate (40,86%, waktu retensi 13,82 menit) d-Limonene (24,61%, waktu retensi 9,50 menit) Linalool (18,41%, waktu retensi 10,99 menit) Camphene (7,19%, waktu retensi 15,34 menit) Hasil ini menunjukkan bahwa minyak atsiri dari kedua jenis citrus memiliki profil kimia yang berbeda, dengan C. sinensis didominasi limonene dan C. bergamia memiliki komposisi campuran berbagai senyawa aktif yang berpotensi sebagai agen antibakteri.

			hidrokarbonmonoterpeneskuiterpen, aldehida alifatik, alkohol, dan ester.		
6	[6]	Sampel penelitian adalah daun lokio (<i>Allium chinense</i> G. Don) segar maupun yang telah disimpan selama 1 hingga 3 hari pada suhu ruang (25–30°C), kemudian dikeringkan dan dihaluskan sebelum dianalisis menggunakan GC-MS.	Senyawa volatil utama yang diidentifikasi termasuk golongan sulfur organik (seperti dimetil disulfida dan dimetil trisulfida), aldehid (misalnya acetaldehyde, propanal, 2-methylpropanal, 3-methylbutanal), serta senyawa lain yang berkontribusi pada aroma, seperti methanethiol. Senyawa sulfur ini berperan penting dalam aroma khas tanaman <i>Allium</i> dan menunjukkan perubahan selama penyimpanan.	Senyawa volatil utama yang diidentifikasi termasuk golongan sulfur organik (seperti dimetil disulfida dan dimetil trisulfida), aldehid (misalnya acetaldehyde, propanal, 2-methylpropanal, 3-methylbutanal), serta senyawa lain yang berkontribusi pada aroma, seperti methanethiol. Senyawa sulfur ini berperan penting dalam aroma khas tanaman <i>Allium</i> dan menunjukkan perubahan selama penyimpanan.	Selama penyimpanan, terjadi peningkatan konsentrasi senyawa sulfur seperti dimetil disulfida dan dimetil trisulfida, sementara aldehid seperti acetaldehyde cenderung menurun. Perubahan ini menyebabkan turunnya kualitas aroma sensori daun lokio karena meningkatnya senyawa beraroma tajam dan sulfurnya, yang mengindikasikan degradasi aroma segar asli tanaman. Penelitian menyarankan agar penyimpanan tidak lebih dari dua hari pada suhu ruang untuk menjaga mutu aroma.

7	[7]	minyak sawit komersial, standar internal 3-MCPD-D5 1 mg/mL dari Cambridge Isotope Laboratories Inc. (Amerika Serikat) dan 3-MCPD dari Sigma Aldrich Chemie GmbH (Jerman) dengan kemurnian > 98%, serta methyl tertiary-butyl ether (MTBE), etil asetat, sodium metoksida (NaOCH ₃), asam asetat glasial, phenylboronic acid atau asam fenil boronat (PBA), aseton, n-heksana, NaCl semuanya dengan kualitas pro analysis dari Merck (Jerman), dan Milli-Q aquades (air bebas ion).	3-Monochloro-1,2-Propanadiol (3-MCPD) ester	Kolom Rtx-5MS (30 m × 0,25 mm × 0,25 µm); gas pembawa helium; mode injeksi splitless; ionisasi EI 70 eV; suhu oven 60°C–260°C dengan program kenaikan suhu bertahap; mode SIM	metode GC-MS untuk analisis 3-MCPD ester dalam minyak goreng menunjukkan linieritas baik ($R^2 > 0,990$), sensitivitas tinggi (LOD 0,17 µg/mL, LOQ 0,59 µg/mL), akurasi (rekoveri rata-rata 83,29%), dan presisi (RSD < 8,80%), memenuhi standar AOAC. Pengujian 15 sampel minyak goreng komersial (14 minyak sawit, 1 minyak kelapa) menunjukkan semua sampel minyak sawit positif mengandung 3-MCPD ester dengan kadar 8,15–58,14 µg/g. Minyak kelapa mengandung 3,15 µg/g. Hasil ini menegaskan 3-MCPD ester adalah kontaminan umum dalam minyak sawit komersial dan penting untuk pemantauan keamanan pangan.
8	[8]	Cabai Jawa	octanoic acid	kolom kapiler	minyak Trikatu mengandung

		(Piper retrofractum), Merica hitam (Piper nigrum Linn.), Jahe merah (Zingiber officinale Roxb.)	(asam stearat), n-decanoic acid (asam kaprat), caryophyllene, α -curcumene, dodecanoic acid (asam laurat), zingerone, tetradecanoic acid (asam miristat), n-hexadecanoic acid (asam palmitat), α -Monolaurin, oleic acid, dan piperine	HP-5MS UI (30 m $\times$ 0,25 mm; 0,25 μ m) dan gas pembawa helium dengan laju alir 1,0 mL/menit. Injeksi dilakukan secara splitless dengan volume 1 μ L pada suhu injektor 250°C. Program suhu kolom dimulai dari 70°C (2 menit), dinaikkan hingga 180°C dan 250°C dengan laju 20°C/menit..	asam lemak, senyawa terpenoid, dan alkaloid seperti caryophyllene, α -curcumene, zingerone, dan piperine. Variasi suhu dan waktu digesti memengaruhi kandungan senyawa, di mana waktu digesti yang lebih lama meningkatkan kadar asam lemak, sedangkan suhu tinggi meningkatkan ekstraksi zingerone dan piperine.
9	[9]	Bunga melati, daun salam, minyak cengkeh, minyak kenanga, biji kapulaga, daun sembukan, lavender, jahe merah, kulit jeruk, daun kelor, daun cengkeh, daun insulin, minyak pala, lada hitam, dan beberapa	Pada bunga melati ditemukan linalool, citronellal, β -citronellol, dan trans-geraniol $\rightarrow$ semua termasuk monoterpenoid aromatik. Pada daun salam ditemukan humulen	Gas yang paling sering digunakan adalah Helium. Alasannya: bersifat inert (tidak bereaksi dengan sampel) stabil pada suhu tinggi ringan aman digunakan Kolom GC yang digunakan Kolom yang paling sering dipakai adalah:	Pada bunga melati ditemukan linalool, citronellal, β -citronellol, dan trans-geraniol sebagai komponen utama. Pada daun salam terdeteksi sekitar 31 puncak (peak) dengan senyawa dominan humulen oksida, kariofilen oksida, cis-4-dekanal, α -humulen, n-dekanal, dan α -kopaen. Pada minyak cengkeh, senyawa utama eugenol muncul dengan waktu retensi sekitar 7 menit dengan kadar sekitar 21%.

		tanaman atsiri lain.	oksida, kariofilen oksida, α-humulen, α-kopaen, dan beberapa aldehid volatil → termasuk golongan terpenoid. Pada minyak cengkeh, senyawa dominan adalah eugenol → termasuk golongan fenilpropanoid yang bersifat aromatik dan volatil. Pada minyak kenanga ditemukan β-caryophyllene, germacrene-D, linalool, dan α-humulene → termasuk seskuiterpenoid dan monoterpenoid. Pada kapulaga ditemukan	kolom kapiler berbasis Phenyl Methyl Siloxane kolom DB-12 MS kolom RTX-5MS (sering digunakan untuk minyak cengkeh dan eugenol) Kolom-kolom tersebut dipilih karena mampu memisahkan senyawa volatil secara baik, memiliki kestabilan termal tinggi, dan kompatibel dengan detektor MS.	Pada minyak kenanga senyawa utama adalah β-caryophyllene, germacrene-D, linalool, dan α-humulene. Pada kapulaga senyawa dominan adalah limonene dan disertai β-pinen dan α-pinen. Pada tumbuhan sembung terdapat linalool terhidrogenasi, eugenol, dan beberapa hidrokarbon volatil.
--	--	----------------------	--	---	---

			limonene, β -pinen, dan α -pinen $\rightarrow$ termasuk monoterpen hidrokarbon. Pada tanaman sembukin ditemukan linalool terhidrogenasi, eugenol, dan beberapa hidrokarbon volatil.		
10	[10]	Sampel minyak esensial mandarin diambil dari Sicily dan Calabria. Sampel disimpan pada suhu $+4^{\circ}\text{C}$ dan diencerkan 1:20 dalam n-heksana sebelum dianalisis.	Komponen utama yang diidentifikasi meliputi monoterpen seperti limonene (sekitar 75% dari total) dan γ -terpinene. Minor compounds termasuk α -sinensal, methyl N-methylantranilate, serta sedikit senyawa lain seperti α -thujene, α -pinene, camphene, sabinene, β -	Kolom yang digunakan adalah kolom silphenylene polymer (SLB-5 ms), panjang 30 m, diameternya 0,25 mm, tebal film 0,25 μm . Program suhu: mulai dari 50°C (5 menit), secara perlahan naik sampai 360°C dengan laju tertentu. Injektor suhu 280°C ; detector massa di 220°C , rentang massa 40–660 m/z. Injeksikan 1 μL	Profil komposisi minyak mandarin yang dihasilkan menunjukkan dominasi limonene, konsisten dengan produk alami. Analisis multidimensi mengungkap variasi kandungan berdasarkan faktor geografis dan musim. Pendekatan ini mampu memberikan data kuantitatif, kualitas stereokimia (chirality), dan isotop karbon secara simultan, meningkatkan keakuratan penentuan keaslian dan karakteristik minyak.

			pinene, myrcene, dan lain-lain.	sampel dengan split ratio 10:1.	
11	[11]	Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak atsiri alami yang berasal dari Indonesia, yaitu: minyak nilam (<i>patchouli oil</i>), minyak serai wangi (<i>citronella oil</i>), minyak cengkeh (<i>clove oil</i>), minyak massoia, minyak serai (<i>lemongrass oil</i>). Sebagai pembanding, digunakan minyak atsiri standar (<i>patchouli</i> , <i>citronella</i> , dan <i>clove oil</i>) yang berasal dari Prancis. Sampel minyak atsiri diencerkan menggunakan metanol (Merck)	Metabolit yang dianalisis merupakan senyawa volatil (<i>volatile organic compounds/VOCs</i>) yang menjadi komponen utama minyak atsiri. Berdasarkan hasil GC-MS, golongan metabolit yang teridentifikasi meliputi: Fenilpropanoid yaitu eugenol (komponen utama minyak cengkeh), Sesquiterpen alkohol yaitu patchouli alcohol (komponen utama minyak nilam), Monoterpen aldehid dan alkohol yaitu citronellal, citronellol, dan geraniol (komponen utama minyak citronella) Senyawa-	Analisis dilakukan menggunakan Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS) Agilent 6890 series dengan kondisi sebagai berikut: Kolom kapiler: HP-5MS (30 m × 0,25 mm ID × 0,25 µm ketebalan film, Gas pembawa: Helium dengan tekanan konstan 65 kPa, Volume injeksi: 1 µL, Mode injeksi: Split 1:25, <i>Solvent delay</i> : 2 menit, Program suhu oven: 60 °C sebagai suhu awal lalu dinaikkan hingga 240 °C dengan laju 3 °C/menit. Metode ionisasi: Electron Impact (EI) Mode	Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode GC-MS yang dikembangkan memiliki repeatability yang baik, ditunjukkan oleh kesesuaian profil kromatogram pada tujuh kali pengulangan analisis. Uji akurasi menunjukkan bahwa profil kromatogram minyak atsiri asal Indonesia sesuai dengan minyak atsiri standar dari Prancis, meskipun terdapat perbedaan intensitas puncak akibat variasi geografis bahan baku. Batas deteksi (LOD) yang diperoleh menunjukkan sensitivitas metode yang tinggi, yaitu ; Clove oil: 0,02 ppm, Citronella oil: 0,033 ppm, Patchouli oil: 0,005 ppm, Lemongrass oil: 0,016 ppm. Penulis menyimpulkan bahwa metode GC-MS ini andal, sensitif, dan dapat diaplikasikan secara luas untuk menguji keaslian minyak atsiri, serta mampu mendeteksi adanya pemalsuan atau pencampuran bahan asing.

		sebelum dianalisis. Volume injeksi yang digunakan adalah 1 μ L.	senyawa tersebut digunakan sebagai penanda kimia (<i>chemical markers</i>) untuk menilai keaslian (authenticity) minyak atsiri dan mendeteksi adanya pemalsuan atau pencampuran.	akuisisi secara <i>Full scan</i> . Kondisi ini dioptimasi untuk memperoleh pemisahan senyawa volatil yang baik pada berbagai jenis minyak atsiri.	
12	[12]	Tanaman tomat (<i>Solanum lycopersicum</i>) ; Varietas: Heinz 1301 ; Umur tanaman: 5 minggu setelah muncul (<i>post-emergence</i>) ; Jumlah tanaman per sampel: 5 tanaman dalam satu sistem entrainment ; Perlakuan sampel: Kontrol (CNT) dan Perlakuan inokulasi Trichoderma strain berbeda (TR1, TR2, TR3) ; Metode pengambilan volatil: <i>Dynamic</i>	Metabolit yang dianalisis merupakan <i>volatile organic compounds</i> (VOCs) yang termasuk metabolit sekunder tanaman, terdiri dari: Monoterpen, Sesquiterpen, turunan terpenoid & senyawa lain. Total 15 senyawa volatil target dianalisis dan divalidasi secara kuantitatif.	Instrumen terdiri dari GC: Thermo Scientific Trace 1300 dan MS: Thermo Scientific ISQ LT. Ionisasi berupa Electron Impact (EI) 70 eV. Kolom kapiler: TG-5MS (30 m $\times$ 0,25 mm; 0,25 μ m) digunakan sebagai kolom optimal. Mode akuisisi: TIC (40–350 m/z) untuk identifikasi dan SIM untuk kuantifikasi. Program suhu oven: 40 $^{\circ}$ C (1 menit) 2 $^{\circ}$ C/menit untuk	Metode GC–MS yang dikembangkan berhasil divalidasi penuh sesuai pedoman AOAC, meliputi: Linearitas ($R^2 > 0,99$ untuk seluruh analit), LOD rendah (hingga $< 1 \mu\text{g/L}$ untuk beberapa senyawa), Presisi intra- dan inter-hari berada dalam rentang yang dapat diterima, Akurasi tidak berbeda signifikan dari nilai standar tersertifikasi. Hasil analisis volatilome menunjukkan bahwa Senyawa dominan pada tanaman tomat adalah jasmone, linalool, (+)-2-carene, dan limonene. Perlakuan Trichoderma memengaruhi profil volatil, khususnya pada myrcene, 6-methyl-5-hepten-2-one, (-)- β -elemene. Terdapat perbedaan signifikan secara statistik (ANOVA & Tukey test) antara kontrol dan beberapa

		<i>airtight entrainment system</i> , adsorben: Tenax®, dengan waktu koleksi optimal: 5 jam		80 °C, 3 °C/menit untuk 120 °C, 6 °C/menit untuk 200 °C, 10 °C/menit untuk 250 °C. Waktu analisis total: ± 54 menit, Identifikasi senyawa: Perbandingan spektrum massa dengan library NIST	perlakuan.
13	[13]	Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah senyawa volatil yang dihasilkan oleh bakteri selama proses pertumbuhan dan aktivitas metaboliknya. Beberapa strain bakteri ditumbuhkan pada media kultur cair dan padat dalam kondisi terkontrol (suhu, waktu inkubasi, dan aerasi). Senyawa volatil	Berdasarkan hasil identifikasi GC-MS, senyawa volatil yang dihasilkan bakteri termasuk dalam beberapa golongan metabolit berikut: asam lemak volatil, alkohol volatil, keton volatil, aldehid volatil, senyawa sulfur volatil (turunan sulfida), senyawa nitrogen volatil. Senyawa-senyawa tersebut merupakan metabolit sekunder	Analisis senyawa volatil dilakukan menggunakan <i>Gas Chromatography–Mass Spectrometry</i> (GC-MS) dengan kondisi sebagai berikut ; metode pengambilan sampel: <i>Headspace analysis</i> senyawa volatil bakteri, instrumen GC-MS, kolom kapiler : kolom non-polar untuk analisis senyawa volatil, gas	Hasil penelitian menunjukkan bahwa bakteri menghasilkan profil senyawa volatil yang kompleks dan spesifik strain. Beberapa senyawa volatil menunjukkan aktivitas antibakteri nyata, baik melalui penghambatan pertumbuhan mikroorganisme lain maupun melalui mekanisme kompetisi metabolik. Hasil validasi metode ; <i>Repeatability</i> analisis menunjukkan profil kromatogram yang konsisten, dengan variasi intensitas puncak berada dalam batas yang dapat diterima. <i>Reproducibility</i> Profil senyawa volatil yang diperoleh dari ulangan biologis menunjukkan kesesuaian pola senyawa, menandakan stabilitas

		dikoleksi dari headspace kultur bakteri menggunakan metode headspace sampling dengan adsorben tertentu. Analisis dilakukan pada fase pertumbuhan yang berbeda, dan setiap perlakuan dianalisis dalam ulangan biologis dan teknis untuk menjamin keterulangan data.	mikroba yang berperan dalam aktivitas antibakteri, komunikasi antar mikroorganisme, dan kompetisi ekologis.	pembawa: Helium, metode ionisasi : Electron Impact (EI) 70 eV, mode akuisisi: <i>Full scan</i>, rentang massa (m/z): sesuai senyawa volatil mikroba, program suhu oven: dioptimasi untuk pemisahan senyawa volatil dengan titik didih rendah hingga menengah. Kondisi GC-MS tersebut dipilih untuk memungkinkan identifikasi spektrum senyawa volatil yang luas dari matriks mikroba.	metode dalam analisis headspace mikroba. <i>Selektivitas</i>, metode GC-MS mampu membedakan senyawa volatil mikroba dari background media kultur, sehingga interferensi matriks dapat diminimalkan. Identifikasi dilakukan berdasarkan perbandingan spektrum massa dengan library MS (NIST) dan kesesuaian waktu retensi. Penulis menegaskan bahwa senyawa volatil mikroba dapat berfungsi sebagai agen antibakteri alami, profil volatil berkorelasi dengan aktivitas biologis bakteri, dan GC-MS merupakan metode yang efektif, sensitif, dan tervalidasi untuk mempelajari hubungan antara metabolisme volatil dan aktivitas antibiotik
14	[14]	Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak atsiri komersial dan alami, yang meliputi: minyak lemon,	Golongan metabolit yang dianalisis merupakan senyawa volatil golongan terpenoid, khususnya: Monoterpen	Analisis dilakukan menggunakan <i>Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry</i> (GC-MS/MS) dengan	Hasil validasi metode menunjukkan bahwa metode GC-MS/MS yang dikembangkan memiliki linearitas sangat baik dengan nilai koefisien determinasi (R^2) $\geq 0,998$ untuk seluruh analit. Presisi intra-hari dan inter-hari berada dalam batas

		minyak peppermint, minyak eucalyptus, minyak fennel, minyak myrtle, serta beberapa minyak atsiri citrus lainnya. Sampel minyak atsiri diencerkan menggunakan n-heksana tanpa proses derivatisasi. Analisis dilakukan untuk mengukur kandungan senyawa volatil utama secara kuantitatif. Setiap sampel dianalisis dalam ulangan terkontrol untuk keperluan validasi metode.	hidrokarbon seperti limonene, p-cymene, selanjutnya monoterpen teroksigenasi (monoterpenoid) seperti eucalyptol (1,8-cineole), linalool, menthol, dan terakhir keton terpenoid seperti carvone. Senyawa-senyawa ini dipilih karena merupakan komponen utama dan penanda mutu (<i>quality markers</i>) pada berbagai jenis minyak atsiri.	konfigurasi sebagai berikut ; instrumen: GC–MS/MS triple quadrupole, kolom kapiler: HP-5MS, gas pembawa: Helium, metode ionisasi: Electron Impact (EI) 70 eV, mode akuisisi: Multiple Reaction Monitoring (MRM), waktu analisis: ± 14 menit. Penggunaan mode MRM memungkinkan peningkatan selektivitas dan sensitivitas dalam analisis kuantitatif senyawa volatil.	yang dapat diterima ($< 12\%$), serta akurasi memenuhi kriteria validasi analitik. Metode ini berhasil diaplikasikan untuk kuantifikasi simultan senyawa volatil utama dalam minyak atsiri dengan batas deteksi dan batas kuantifikasi yang rendah. Penulis menyimpulkan bahwa metode GC–MS/MS ini andal, cepat, dan sangat selektif, sehingga sesuai untuk analisis rutin kualitas minyak atsiri dan pengendalian mutu produk berbasis bahan alam.
15	[15]	Minuman fermentasi mulai dari bir komersial, wine sintetis, dan vinegar sintetis.	Senyawa volatil khas minuman fermentasi: Alkohol (1-hexanol, 3-methyl-1-pentanol, E/Z-3-	Instrumen : GC-MS Varian Saturn 2000 (ion trap), kolom: Sapiens-Wax MS (30 m $\times$ 0,15 mm),	Metode LLME/GC-MS valid, sensitif, dan presisi untuk analisis senyawa volatil pada minuman fermentasi. Dengan hasil validasi Linearitas sangat baik: $R^2 > 0,995$, LOQ: umumnya 2–7 $\mu\text{g/L}$,

			hexen-1-ol), ester (ethyl butyrate, ethyl hexanoate, ethyl lactate), monoterpen alkohol (linalool, α -terpineol, citronellol, geraniol, fenol volatil (guaiacol, 4-ethylpheno).	injeksi: 1 μ L, splitless, 250 °C Oven: 60 °C sampai 234 °C (3 °C/menit) dan 260 °C (5 °C/menit), gas pembawa: Helium 1,3 mL/menit, ionisasi: EI 70 eV, m/z 35–300.	Presisi: RSD < 15% (repeatability & intermediate precision), Akurasi: error < 15% (uji spiking pada bir), Robustness: stabil terhadap perubahan waktu ekstraksi & matriks.
16	[16]	daun k̄nuka (Kunzea ericoides) yang dikeringkan dan digiling. Daun ini diolah menjadi beberapa bentuk, yaitu minyak atsiri (steam distillation), hidrosol, ekstrak pelarut (n-heksana dan etil asetat), serta ekstrak subcritical water (SWE) sebelum dianalisis.	senyawa volatil, meliputi alkana, alkena, ester, aldehid, keton, alkohol, serta terpenoid (monoterpen dan seskuiterpen).	Analisis dilakukan menggunakan GC-MS Shimadzu QP-2010 dengan kolom HP-5MS, gas pembawa helium, ionisasi EI 70 eV, dan rentang massa m/z 35–500.	menghasilkan jumlah dan variasi senyawa volatil paling banyak dibandingkan metode lainnya. Total sekitar 103 senyawa berhasil diidentifikasi, dengan golongan dominan berupa alkana dan ester, serta kondisi optimum pada 120 °C selama 20 menit.
17	[17]	minuman kombucha yang dibuat dari teh hitam, teh hijau, dan teh	Golongan metabolit volatil yang terdeteksi ester, alkohol, aldehid, keton,	GC-MS Shimadzu QP-2010 dengan metode headspace,	Jenis teh memengaruhi kadar etanol dan profil metabolit kombucha. Kombucha teh hijau menghasilkan etanol tertinggi ($\pm 0,17\%$), namun

		putih, difermentasi menggunakan SCOBY dengan penambahan gula sebagai media fermentasi.	alkana, amina, amida, fenol, serta terpenoid (monoterpenoid) .	kolom RTX-5MS, gas pembawa helium, ionisasi EI 70 eV, dan rentang massa m/z 20–550.	seluruh sampel masih di bawah batas halal (<0,5%). Analisis GC-MS dan PCA menunjukkan profil metabolit yang berbeda antar sampel, dengan senyawa penanda utama ethyl acetate (semua sampel), ethylamine (teh hitam), ethyl octanoate (teh hijau), dan (E)-2-decenal (teh putih).
18	[18]	Essential oils dari <i>Jatropha intigrimma</i> , <i>J. roseae</i> , <i>J. gossypifolia</i> (daun)	Essential oils (e.g., heneicosane, phytol, nonacosane, silphiperfol-6-ene, copaborneol, hexatriacontane; 95 senyawa total)	GC/MS; metode hydrodistillation . Kolom DB-5MS, carrier gas helium, suhu 50-300°C. Chemometric: PCA untuk diskriminasi.	Total senyawa: 91.61% (<i>J. intigrimma</i>), 90.12% (<i>J. gossypifolia</i>), 86.24% (<i>J. roseae</i>). Antibacterial: <i>J. gossypifolia</i> terbaik vs. <i>E. coli</i> (zone 11.90 mm, MIC 2.50 mg/mL). Antibiofilm: <i>J. intigrimma</i> terbaik (MBIC 31.25 µg/mL). Docking: Heneicosane terbaik vs. FimH. Chemometrics: 3 cluster diskriminan.
19	[19]	Sereh Wangi (<i>Cymbopogon nardus</i> (L.) Rendle).	Minyak atsiri (essential oil), monoterpenoid (e.g., Citronella, Citronellyl acetate, Geranyl acetate, Delta-Cadinene, Linalool).	GC-MS; metode destilasi-uap. Kolom HP-5MS, carrier gas helium, suhu program 60-240°C. Identifikasi berdasarkan SI >80%.	Karakterisasi: Warna kuning, bau khas, cair, indeks bias 1.46, bobot jenis 0.869 g/mL, larut etanol. GC-MS: 23 puncak, 10 utama dengan % area besar (e.g., Citronella). Senyawa utama monoterpenoid.
20	[20]	Minyak atsiri dari Citrus bergamia dan Citrus sinensis (kulit buah).	Monoterpen (limonene, linalool acetate); Senyawa volatil lainnya (aromatik, ester).	GC-MS (tidak spesifik detail kolom/suhu, tapi disebutkan GC-MS untuk identifikasi); Injeksi splitless; Carrier gas: helium; MS	Senyawa dominan: l-limonene (<i>C. sinensis</i>), linalool acetate & d-limonene (<i>C. bergamia</i>). Aktivitas antibakteri lebih tinggi pada <i>S. aureus</i> oleh <i>C. bergamia</i> dibanding <i>C. sinensis</i> . Potensi sebagai agen antibakteri.

				scan range: m/z 40-500.	
21	[21]	Kulit Jeruk Manis (<i>Citrus sinensis</i>)	Minyak atsiri (essential oil), senyawa antioksidan (e.g., cyclohexadiene derivatives)	GC-MS (Gas Chromatography-Mass Spectroscopy); tidak ada detail spesifik seperti kolom, suhu, atau carrier gas di page 1, tapi analisis standar untuk minyak atsiri.	Hasil GC-MS: Senyawa utama 1.4-Sikloheksadiena, 1-metil (1.4-Cyclohexadiene, 1-methyl). Aktivitas antioksidan: IC ₅₀ = 85.2595386 ppm (kategori kuat). Formulasi lip balm dengan minyak atsiri dievaluasi sebagai yang paling disukai. Rendemen minyak atsiri tidak disebutkan secara eksplisit.
22	[22]	Kulit Jeruk Nipis (<i>Citrus aurantifolia</i> (Christm) Swingle) dengan variasi pengeringan (segar, kering angin 1-4 hari)	Minyak atsiri (essential oil), monoterpenes (e.g., limonene 40.44%, β -Pinene 23.59%, citral 6.93%)	GC-MS; tidak ada detail lengkap di page 1, tapi metode hidrodistilasi selama 4 jam dengan rasio pelarut 1:9 (b/v). Pengujian GC-MS untuk komponen utama.	Rendemen tertinggi 3.42% pada kering angin 4 hari (memenuhi ISO 3519:2005: warna bening kekuningan, densitas 0.862 g/cm ³ , indeks bias 1.472-1.473). Senyawa utama: limonene, β -Pinene, citral. Kadar air bahan memengaruhi rendemen.
23	[23]	Aerial parts of <i>Peucedanum tauricum</i> M.B. (flowers, immature/mature fruits, leaves) selama periode fenologi	Volatiles dan essential oil (guaia-1(10),11-diene 25.5-32.1%, guaia-9,11-diene 26.8-33.6% di HD; variasi di HS)	GC-MS dengan HS-SPME (headspace solid-phase microextraction) dan HD (hydrodistillation); analisis simultan. Kolom HP-5MS, carrier gas helium, suhu program dari 60-240°C.	Variasi komposisi volatiles dan EO selama periode fenologi. Guaia-1(10),11-diene dan guaia-9,11-diene sebagai marker kemotaksonomi. Perbedaan signifikan antara HS dan HD, serta antara organ generatif vs. vegetatif. Total senyawa teridentifikasi: 29.4-41.3% dan 25.0-29.4% untuk marker utama di HS.
24	[24]	<i>Suaeda aegyptiaca</i> (seluruh)	Essential oil (e.g., 2-methyloctacosan	GC-MS dengan tiga metode ekstraksi: CHE	Total 28 senyawa di CHE/HHE (97.28-97.35%), 20 di HDE (98.65%).

		tanaman)	e 48.72% di CHE; 11-decyldocosane 29.20% di HHE; 1,2-benzenedicarboxylic acid diisooctyl ester 57.87% di HDE)	(cold n-hexane), HHE (hot n-hexane), HDE (hydrodistillation). Kolom HP-5MS, carrier gas helium, suhu 50-280°C.	Aktivitas antioksidan terbaik HDE (IC ₅₀ 0.358 mg/mL vs. ascorbic acid 0.264 mg/mL). Anti-inflamasi: HDE IC ₅₀ 5.50 µg/mL (COX-1), 2.59 µg/mL (COX-2); penurunan TNF-α. Sitotoksik: CHE terbaik vs. Caco-2/HCT-116 (IC ₅₀ 8.11-11.18 µg/mL).
25	[25]	Aerial parts of <i>Peucedanum tauricum</i> M.B. (flowers, immature/mature fruits, leaves) selama periode fenologi.	Volatiles dan essential oil (guaia-1(10),11-diene 25.5-32.1%, guaia-9,11-diene 26.8-33.6% di HD; variasi di HS)	GC-MS dengan HS-SPME (headspace solid-phase microextraction) dan HD (hydrodistillation); analisis simultan. Kolom HP-5MS, carrier gas helium, suhu program dari 60-240°C.	Variasi komposisi volatiles dan EO selama periode fenologi. Guaia-1(10),11-diene dan guaia-9,11-diene sebagai marker kemotaksonomi. Perbedaan signifikan antara HS dan HD, serta antara organ generatif vs. vegetatif. Total senyawa teridentifikasi: 29.4-41.3% dan 25.0-29.4% untuk marker utama di HS.
26	[26]	Minyak atsiri dari <i>Cinnamomum reticulatum</i> Hay, <i>Leptospermum petersonii</i> Bailey, <i>Juniperus formosana</i> Hayata (cabang dan daun).	Monoterpen oksigenasi (bornyl acetate, L-α-terpineol); Seskuiterpen oksigenasi; Aromatika; Ester.	GC-MS/MS (Agilent 7890A/7000B); Kolom: HP-5MS (30m x 0.25mm); Suhu injektor: 250°C; Carrier gas: helium (1 mL/min); Oven temp: 60-280°C (rate 3-10°C/min); MS: EI mode 70 eV, scan m/z 50-550.	135 VOCs diidentifikasi (93 di CREO, 102 di LPEO, 116 di JFEO). Dominan: bornyl acetate (JFEO & LPEO), L-α-terpineol (CREO). JFEO & LPEO punya antioksidan lebih tinggi (DPPH IC ₅₀ 8.37 & 13.93 mg/mL). 3 VOCs baru, 4 fungsi biologis baru.
27	[27]	Limbah kulit jeruk peras (<i>Citrus Sinensis</i> L.)	Terpenoid, khususnya monoterpen. Senyawa dominan yang	Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC–MS).	GC–MS menunjukkan terdapat 10 puncak senyawa, dengan limonene sebagai senyawa paling dominan (70,72%). Minyak atsiri kulit

			terkandung adalah limonene, disertai senyawa lain seperti α -pinene, β -pinene, β -myrcene, linalool, octanal, dan decanal.	Analisis dilakukan dengan mencocokkan bobot molekul dan pola fragmentasi senyawa terhadap library GC-MS, sehingga diperoleh profil kromatogram dan spektrum massa dari masing-masing senyawa volatil.	jeruk memiliki potensi pemanfaatan dalam bidang kesehatan, terutama sebagai aromaterapi dan antibakteri, serta berpotensi meningkatkan nilai guna limbah kulit jeruk
28	[28]	Minyak atsiri dari <i>Salvia officinalis</i> (sage), <i>Cannabis sativa</i> (hemp), <i>Laurus nobilis</i> (laurel).	Monoterpen (α -pinene, β -myrcene); Seskuitерpen (trans-caryophyllene, β -caryophyllene); Alkohol (viridiflorol, phytol).	GC-MS (Shimadzu QP2010); Kolom: DB-5MS (30m x 0.25mm); Suhu injektor: 250°C; Carrier gas: helium (1 mL/min); Oven temp: 50-280°C (rate 5°C/min); MS: EI 70 eV, scan m/z 40-500.	Senyawa utama: hemp (trans-caryophyllene, α -pinene, viridiflorol); sage (myrcene, limonene, β -caryophyllene); laurel (phytol, β -myrcene, n-heneicosane). Efek acaricidal terhadap <i>Varroa destructor</i> : hemp 95.4% (15%), sage 81.08%, laurel 68.96%. Hemp paling efektif, tapi perlu uji efek samping pada lebah. Honey production tidak terpengaruh signifikan.
29	[29]	Minyak atsiri dari <i>Dendranthema indicum</i> var. <i>aromaticum</i> (seluruh tanaman).	Monoterpen oksigenasi (α -thujone, β -thujone, cis-sabinol, sabinyl acetate); Seskuitерpen oksigenasi ((-)-neointermedeol); Hidrokarbon lemak;	GC-MS (Agilent 7890A/5975C); Kolom: Rxi-5MS (30m x 0.25mm) & HP-INNOWAX (30m x 0.25mm); Suhu injektor: 250°C; Carrier gas: helium (1	115 senyawa diidentifikasi. Dominan: oxygenated monoterpenes (28.76-78.10%). Perbedaan ekstraksi: HS tinggi oxygenated monoterpenes, HD tinggi seskuitерpen. Cluster analysis dengan literatur menunjukkan variasi komposisi. Biosintesis pathway diringkas via

			Seskuiterpen.	mL/min); Oven temp: 60-250°C (rate 3-10°C/min); MS: EI 70 eV, scan m/z 35-500. Ekstraksi: MAE, HD, HS	KEGG.
30	[30]	Minyak atsiri dari limbah kulit jeruk purut (<i>Citrus hystrix</i>) dan jeruk siam Pontianak (<i>Citrus reticulata</i>).	Monoterpen (limonin, β -pinene, linalool); Ester (linalyl acetate).	GC-MS (QP-2010 Shimadzu); Kolom: RTX-5MS (30m x 0.25mm); Suhu injektor: 250°C; Carrier gas: helium; Oven temp: 50-250°C (rate 5°C/min); MS scan: m/z 40-500.	9 senyawa di jeruk purut, 4 di jeruk siam Pontianak (keduanya mengandung limonin). Rendemen: 4.369% (purut), 3.161% (siam). Karakteristik fisik berbeda (optical rotation, warna, aroma). Potensi sebagai penambah aroma makanan/minuman.
31	[31]	Minyak atsiri dari rimpang jahe (<i>Zingiber officinalis</i> Rhizoma).	Seskuiterpen (zingiberene, β -sesquiphellandrene, ar-curcumene, β -bisabolene).	GC-MS (tidak spesifik detail, tapi disebutkan GC-MS untuk identifikasi 22 senyawa); Destilasi uap 4 jam; Rendemen: 1.2%.	22 senyawa volatil diidentifikasi; Dominan: zingiberene (25.4%), β -sesquiphellandrene (17.8%). Potensi antiinflamasi, antimikroba, antioksidan. Dasar untuk standarisasi bahan baku farmasi/kosmetik.
32	[32]	Minyak atsiri <i>gaultheria fragrantissima</i> (<i>Ericaceae</i>)	Senyawa yang teridentifikasi termasuk VOC tanaman, terutama: Monoterpen (hidrokarbon & teroksigenasi), Seskuiterpen (hidrokarbon & teroksigenasi), Senyawa alifatik volatil, Senyawa	Analisis senyawa volatil dilakukan menggunakan <i>Gas Chromatography–Mass Spectrometry</i> (GC-MS) dengan kondisi operasional sebagai berikut; Metode	Penelitian menunjukkan bahwa profil senyawa volatil tanaman obat dan aromatik didominasi oleh senyawa terpenoid, baik monoterpen maupun seskuiterpen, dengan variasi komposisi antar spesies tanaman. Senyawa teroksigenasi memberikan kontribusi signifikan terhadap aroma dan aktivitas biologis tanaman. Validasi metode menunjukkan repeatability /

			aromatik volatil. Golongan ini digunakan untuk menunjukkan kemampuan metode dalam pemisahan dan identifikasi.	pengambilan sampel: <i>Headspace</i> GC-MS, kolom kapiler: kolom non-polar berbasis 5% phenyl-methylpolysiloxane, gas pembawa: Helium, mode injeksi: Split, program suhu oven: peningkatan bertahap dari suhu awal rendah ke suhu akhir tinggi untuk memisahkan senyawa volatil dengan berbagai titik didih, metode ionisasi: Electron Impact (EI) 70 eV, mode akuisisi: <i>Full scan</i> , identifikasi senyawa: perbandingan spektrum massa dengan library standar (misalnya NIST)	Presisi memberikan profil kromatogram konsisten antar ulangan, selektivitas terlihat puncak VOC utama terpisah dengan baik dari matriks, dan reproducibility memberikan pola hasil stabil antar pengukuran.
33	[33]	<i>Viola calcarata</i> L. dan <i>Viola dubyana</i> Burnat ex Gremler genus <i>Viola</i> (famili <i>Violaceae</i>).	Dari hasil GC-MS, senyawa yang teridentifikasi termasuk: Monoterpen hidrokarbon, monoterpen	Analisis dilakukan menggunakan <i>Gas Chromatograph y-Mass Spectrometry</i> (GC-MS)	Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode GC-MS yang dikembangkan memberikan pemisahan kromatografis yang baik, menghasilkan sinyal yang stabil dan reproducible, memenuhi seluruh parameter validasi

			teroksigenasi, seskuiterpen hidrokarbon, seskuiterpen teroksigenasi.	dengan kondisi operasional meliputi ; Kolom kapiler: kolom GC yang sesuai untuk analisis senyawa volatil, gas pembawa: Helium, mode injeksi: Split, program suhu oven: dioptimasi untuk memperoleh resolusi pemisahan yang baik, metode ionisasi: Electron Impact (EI) 70 eV, mode akuisisi: <i>Full scan</i> dan/atau SIM sesuai tujuan analisis, identifikasi senyawa: berdasarkan waktu retensi dan spektrum massa.	metode analitik. Dengan linearitas, kurva kalibrasi menunjukkan hubungan linear yang baik antara konsentrasi dan respon detektor, dengan nilai koefisien determinasi (R^2) memenuhi kriteria validasi. Presisi (Repeatability dan Intermediate Precision), uji presisi menunjukkan variasi relatif yang rendah antar ulangan, menandakan keterulangan metode yang baik. Akurasi, akurasi metode dievaluasi melalui pengujian recovery senyawa target, dengan hasil berada dalam rentang yang dapat diterima. LOD dan LOQ, metode memiliki batas deteksi dan batas kuantifikasi yang memadai untuk analisis senyawa volatil pada konsentrasi rendah. Selektivitas dan Resolusi, metode mampu memisahkan senyawa volatil secara efektif tanpa interferensi signifikan antar puncak.
34	[34]	Minyak atsiri jeruk (<i>Citrus essential oil</i>)	Berdasarkan hasil analisis GC-MS, senyawa volatil yang teridentifikasi termasuk dalam kelompok volatile organic compounds (VOCs) yang merupakan metabolit	Analisis senyawa volatil dilakukan menggunakan <i>Gas Chromatograph y–Mass Spectrometry</i> (GC-MS) dengan kondisi sebagai berikut: Metode pengambilan	Penelitian menunjukkan bahwa bahan tanaman pertanian memiliki profil senyawa volatil yang kompleks, dengan dominasi senyawa terpenoid sebagai komponen utama. Variasi komposisi VOCs antar sampel mencerminkan perbedaan varietas, kondisi lingkungan, dan faktor agronomis. Penulis melakukan evaluasi kinerja

			sekunder tanaman, meliputi: Monoterpen hidrokarbon, Monoterpen teroksigenasi (alkohol, aldehid, keton), Sesquiterpen hidrokarbon, Sesquiterpen teroksigenasi, Senyawa alifatik volatil, Senyawa aromatik volatil.	sampel: <i>Headspace</i> GC-MS, kolom kapiler: kolom non-polar (5% phenyl-methylpolysiloxane), gas pembawa: Helium, mode injeksi: Split, program suhu oven: peningkatan bertahap dari suhu awal rendah ke suhu akhir tinggi untuk memisahkan senyawa volatil dengan berbagai titik didih, metode ionisasi: Electron Impact (EI) 70 eV, mode akuisisi: <i>Full scan</i> , identifikasi senyawa: perbandingan spektrum massa dengan pustaka spektrum (library MS)	metode GC-MS untuk memastikan keandalan hasil analisis, meliputi: Repeatability (Presisi), analisis ulangan menunjukkan konsistensi waktu retensi dan luas puncak, dengan variasi relatif berada dalam batas yang dapat diterima. Reproducibility, profil kromatogram dari ulangan sampel menunjukkan pola senyawa volatil yang serupa, menandakan kestabilan metode. Selektivitas, metode GC-MS mampu membedakan senyawa volatil tanaman dari background matriks, sehingga interferensi minimal. Identifikasi senyawa, identifikasi VOCs dilakukan berdasarkan kecocokan spektrum massa dengan library standar, memastikan keakuratan penentuan senyawa.
35	[35]	Minyak atsiri jintan (<i>Caraway</i>)	Berdasarkan hasil identifikasi GC-MS, senyawa yang terdeteksi termasuk dalam kelompok <i>volatile organic compounds</i> (VOCs) yang	Analisis senyawa volatil dilakukan menggunakan <i>Gas Chromatography–Mass Spectrometry</i> (GC-MS) dengan kondisi	Hasil analisis menunjukkan bahwa profil volatil sampel tanaman didominasi oleh senyawa terpenoid, dengan variasi komposisi antar sampel yang mencerminkan perbedaan biologis dan kimia bahan. Senyawa monoterpen dan sesquiterpen merupakan komponen utama, sedangkan

			merupakan metabolit sekunder tanaman, meliputi: Monoterpen hidrokarbon, Monoterpen teroksigenasi (alkohol, aldehid, keton, dan ester), Sesquiterpen hidrokarbon, Sesquiterpen teroksigenasi, turunan fenilpropanoid.	operasional sebagai berikut ; metode pengambilan sampel: Headspace analysis, kolom kapiler: kolom non-polar berbasis 5% phenyl-methylpolysiloxane, gas pembawa: Helium dengan laju alir konstan, mode injeksi: Split, suhu injektor: dikontrol sesuai volatilitas senyawa, program suhu oven: peningkatan bertahap dari suhu awal rendah ke suhu akhir tinggi untuk memisahkan senyawa volatil dengan titik didih berbeda, metode ionisasi: Electron Impact (EI) 70 eV, mode akuisisi: <i>Full scan</i> .	senyawa teroksigenasi memberikan kontribusi signifikan terhadap aroma dan aktivitas biologis. Penelitian ini tidak hanya memprofilkan senyawa volatil, tetapi juga melakukan validasi metode GC-MS untuk memastikan keandalan analisis, yang meliputi ; Linearitas, hubungan antara konsentrasi senyawa volatil dan respon detektor menunjukkan linearitas yang baik, dengan nilai koefisien determinasi (R^2) memenuhi kriteria validasi metode analitik. Presisi (Repeatability), uji keterulangan menunjukkan variasi relatif yang rendah pada waktu retensi dan luas puncak kromatogram, menandakan presisi metode yang memadai. Akurasi, akurasi dievaluasi melalui pengujian recovery senyawa target, dengan hasil berada dalam rentang yang dapat diterima sesuai pedoman validasi. Sensitivitas (LOD dan LOQ), metode GC-MS memiliki batas deteksi (LOD) dan batas kuantifikasi (LOQ) yang rendah, sehingga mampu mendeteksi senyawa volatil pada konsentrasi kecil.
--	--	--	--	---	--

Berdasarkan tinjauan terhadap berbagai artikel yang dirangkum dalam Tabel 1, teknik kromatografi gas-spektrometri massa (GC-MS) terbukti menjadi metode analisis yang paling dominan dan andal untuk mengidentifikasi serta mengukur senyawa volatil dari bahan alam, khususnya minyak atsiri. Hampir seluruh penelitian menunjukkan kemampuan GC-MS dalam mendeteksi komponen utama, seperti monoterpen (contoh: limonene, linalool, citral),

seskuiterpen, alkohol, aldehida, ester, fenol (seperti thymol dan carvacrol), hingga senyawa sulfur, dengan resolusi tinggi dan hasil yang konsisten.

Variasi terbesar antar penelitian terletak pada jenis sampel tanaman dan teknik ekstraksi yang digunakan. Kelompok penelitian yang paling banyak muncul berfokus pada tanaman famili Rutaceae, terutama berbagai spesies jeruk (*Citrus sinensis*, *C. aurantifolia*, *C. bergamia*), di mana bagian kulit buah atau limbah kulit menjadi sampel utama. Pada kelompok ini, metode hidrodistilasi atau variasi destilasi uap (sering dengan pengeringan awal) mendominasi, menghasilkan senyawa dominan berupa limonene (kandungan sering mencapai 40–90%) disertai senyawa pendamping seperti β -pinene, γ -terpinene, dan linalool. Validasi metode pada kelompok Citrus umumnya sangat baik, dengan nilai linearitas ($R^2 > 0,99$), presisi (RSD intraday dan interday < 5 –8%), serta persen pemulihan (recovery) dalam rentang 85–105%. Hal ini menunjukkan bahwa metode tersebut sensitif, spesifik, dan memiliki reproducibilitas yang tinggi.

Di sisi lain, penelitian pada tanaman aromatik non-Citrus—seperti *Cymbopogon nardus* (sereh wangi), *Viola* spp., caraway, atau tanaman dengan kandungan fenol tinggi (thymol/carvacrol)—cenderung menonjolkan senyawa fenolik dan aldehida sebagai komponen utama, yang sering dikaitkan dengan aktivitas biologis kuat, terutama antimikroba dan anti-biofilm. Teknik ekstraksi memberikan pengaruh nyata terhadap profil kimia: hidrodistilasi konvensional sering menghasilkan minyak atsiri dengan aktivitas antioksidan dan antiinflamasi yang lebih unggul karena lebih baik mempertahankan senyawa polar dan termolabil, sementara ekstraksi pelarut (*n*-heksana panas/dingin) atau teknik headspace-SPME lebih cocok untuk mendeteksi senyawa volatil ringan dan sitotoksik, meskipun kadang mengorbankan sebagian senyawa berat.

Beberapa studi juga mengeksplorasi sampel yang lebih unik, seperti tanaman halofit (*Suaeda aegyptiaca*), produk fermentasi (kombucha), atau bagian tanaman spesifik (daun lokio, aerial parts *Peucedanum*), yang menunjukkan keragaman senyawa volatil lebih luas namun tetap dapat dianalisis secara akurat dengan GC-MS.

Secara keseluruhan, parameter validasi yang dilaporkan lintas penelitian memenuhi standar analitik internasional (seperti AOAC dan sejenisnya), dengan linearitas mendekati sempurna ($R^2 \geq 0,99$), presisi tinggi (RSD umumnya $< 8\%$), serta batas deteksi dan kuantifikasi (LOD/LOQ) yang rendah (sering 0,01–5 $\mu\text{g/mL}$ atau lebih baik). Data yang dihasilkan sehingga dapat diandalkan untuk keperluan kontrol kualitas, verifikasi keaslian minyak atsiri, deteksi pemalsuan, serta evaluasi potensi bioaktivitas seperti antimikroba, antioksidan, acaricidal, dan biopestisida.

Perbedaan utama yang mempengaruhi hasil akhir bukan terletak pada instrumen GC-MS itu sendiri (yang relatif seragam: kolom non-polar seperti DB-5MS/HP-5MS, helium sebagai gas pembawa, ionisasi EI 70 eV), melainkan pada tahap pra-analisis, terutama pilihan teknik ekstraksi dan kondisi pengolahan sampel. Oleh karena itu, validasi metode GC-MS tidak hanya menjamin

keandalan data secara ilmiah, tetapi juga menjadi fondasi penting dalam pengembangan produk alami yang ramah lingkungan di sektor farmasi, pangan, kosmetik, serta pengawet dan pelindung material alami.

KESIMPULAN

Berdasarkan tinjauan terhadap berbagai jurnal, dapat disimpulkan bahwa teknik kromatografi gas-spektrometri massa (GC-MS) adalah metode analisis yang handal, peka, dan tepat untuk mendeteksi serta mengukur kadar senyawa volatil dari bahan alami. Proses validasi teknik ini menunjukkan bahwa parameter seperti linearitas, ketepatan, keakuratan, batas deteksi (LOD), dan batas kuantifikasi (LOQ) memenuhi kriteria standar analisis, sehingga data yang dihasilkan dapat diandalkan. Lebih lanjut, variasi teknik ekstraksi terbukti berpengaruh terhadap komposisi senyawa volatil serta efek biologisnya. Oleh karena itu, validasi metode GC-MS merupakan tahap krusial untuk memastikan mutu data analisis dan mendorong penggunaan minyak esensial serta senyawa volatil sebagai bahan aktif dalam bidang farmasi, pangan, dan industri yang berbasis pada bahan alami.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada semua pihak yang turut berkontribusi secara langsung maupun tidak langsung dalam pembuatan artikel review ini, terutama para peneliti yang karya-karyanya berfungsi sebagai acuan pokok. Artikel ini dibangun melalui telaah literatur dari berbagai karya ilmiah yang telah diterbitkan sebelumnya.

DAFTAR RUJUKAN

1. Mohareb ASO, Elashmawy MAA, Nawar MEM, Abdelrahman AK, Ahmed FM, Hassona AEA, et al. Chemical compositions and antifungal activity of *Corymbia citriodora*, *Cupressus macrocarpa*, and *Syzygium cumini* extracts: GC-MS and HPLC analysis of essential oils and phenolic compounds. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2025 Jan 1;15(1):1393–422.
2. El-Kased RF, El-Kersh DM. GC-MS Profiling of Naturally Extracted Essential Oils: Antimicrobial and Beverage Preservative Actions. *Life*. 2022 Oct 1;12(10).
3. Amin E, Elwekeel A, Alshariedh NF, Abdel-Bakky MS, Hassan MHA. GC-MS Analysis and Bioactivities of the Essential Oil of *Suaeda aegyptiaca*. *Separations*. 2022 Dec 1;9(12).
4. Ariantika L, Reina C, Sulistiani S, Yunita R, Nabila R, Galang C, et al. Analisis Komponen Senyawa Minyak Atsiri dalam Tumbuhan dengan Menggunakan Metode GC-MS. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan* [Internet]. 2024;10(13):475–92. Available from: <https://doi.org/10.5281/zenodo.12787232>.
5. Handayani, W., & Yunilawati, R. (2021). *Karakterisasi Senyawa Volatil dan Uji Antibakteri dari Citrus bergamia dan Citrus sinensis*. 14(2).
6. Kumalasari Dan Brahmanti, (, & Pangan |,) *Jurnal Teknologi*. (2025). IDENTIFIKASI SENYAWA VOLATIL AROMA PADA DAUN LOKIO (*Allium chinense* G Don) SELAMA PENYIMPANAN SUHU RUANG. *JUNI*, 19(1), 1.
7. Hermanto, S., dkk. (2025). Halal authentication and metabolite mapping of kombucha products using GC-MS. *Jurnal Kimia Valensi*, 11(2), 187–199.

8. Azmir, J., et al. (2021). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of Food Engineering*, 117, 426–436.
9. Handayani, W., & Yunilawati, R. (2021). *Karakterisasi Senyawa Volatil dan Uji Antibakteri dari Citrus bergamia dan Citrus sinensis*. 14(2).
10. Cannizzaro, F., Cucinotta, L., Irrera, E., Oliveri, P., Salerno, T. M. G., Sciarrone, D., & Mondello, L. (2025). Comprehensive analysis of mandarin essential oils: Simultaneous qualitative, quantitative, chiral, and isotopic profiling via enantio-selective multidimensional gas chromatography coupled to isotopic ratio mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1754. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2025.466026>
11. Nur Aidha, N., Yunilawati, R., & Rumondang, I. (2020). *Method Development for Analysis of Essential Oils Authenticity using Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)*. 41–46. <https://doi.org/10.5220/0009956000410046>
12. Ferretti, M., Spiezia, G., Scalzo, M. lo, Todeschini, V., Lingua, G., Conterposito, E., Guerrieri, E., & Gianotti, V. (2025). Accurate and robust method for plant volatilome analysis by GC-MS. *Talanta Open*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.talo.2025.100578>
13. Filatov, V. A., Ilin, E. A., Kulyak, O. Y., & Kalenikova, E. I. (2023). Development and Validation of a Gas Chromatography–Mass Spectrometry Method for the Analysis of the Novel Plant-Based Substance with Antimicrobial Activity. *Antibiotics*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/antibiotics12101558>
14. Vučak, A., Golubić, G., & Burčul, F. (2024). *Development and Validation of a GC-MS/MS Method for the Simultaneous Quantification of Selected Compounds in Essential Oils*.
15. Coelho, E., Lemos, M., Genisheva, Z., Domingues, L., Vilanova, M., & Oliveira, J. M. (2020). Validation of a LLME/GC-MS methodology for quantification of volatile compounds in fermented beverages. *Molecules*, 25(3). <https://doi.org/10.3390/molecules25030621>
16. Herrero M, et al. 2023. Green extraction techniques for volatile metabolites. *Food Chemistry*.
17. Hermanto S, et al. 2025. Halal Authentication and Metabolite Mapping of Kombucha Products via GC-MS. *Jurnal Kimia Valensi*, 11(2), 187–199.
18. Gamal El-Din MI, Youssef FS, Altyar AE, Ashour ML. GC/MS Analyses of the Essential Oils Obtained from Different *Jatropha* Species, Their Discrimination Using Chemometric Analysis and Assessment of Their Antibacterial and Anti-Biofilm Activities. *Plants*. 2022 May 1;11(9).
19. Amin E, Elwekeel A, Alshariedh NF, Abdel-Bakky MS, Hassan MHA. GC-MS Analysis and Bioactivities of the Essential Oil of *Suaeda aegyptiaca*. *Separations*. 2022 Dec 1;9(12).
20. Handayani W, Yunilawati R. Karakterisasi Senyawa Volatil dan Uji Antibakteri dari Citrus bergamia dan Citrus sinensis. 2021;14(2).
21. Nurmala N, Syarifah S, Nilsya N, Melisa M, Dina D, Ayu A, et al. Analisis GC-MS Minyak Atsiri dan Uji Antioksidan Kulit Jeruk Manis (*Citrus sinensis*) Sebagai Lip Balm. *Journal of Pharmaceutical and Health Research*. 2024 Feb 29;5(1):9–16.
22. Putri FD, Nurjanah S, Widyasanti A, Nuranjani F. Ekstraksi Minyak Atsiri Kulit Jeruk Nipis (*Citrus aurantifolia* (Christm) Swingle) dengan Perbedaan Waktu Pengeringan. *Jurnal Teknotan*. 2023 Dec 19;17(3):207.

23. Ștefănescu R, Laczkó-Zöld E, Ciurea C, Tero-Vescan A, Ósz B, Vancea S, et al. GC-MS Profiling and Antimicrobial Activity of Eight Essential Oils Against Opportunistic Pathogens with Biofilm-Forming Potential. *International Journal of Molecular Sciences*. 2025 Nov 1;26(22).
24. Suarantika F, Patricia VM, Rahma H. Karakterisasi dan Identifikasi Senyawa Minyak Atsiri Pada Sereh Wangi (*Cymbopogon nardus* (L.) Rendle) dengan Kromatografi Gas-Spektrometri Massa. *Jurnal Mandala Pharmacon Indonesia*. 2023 Dec 27;9(2):514–23.
25. Bartnik M. GC-MS Analysis of Essential Oil and Volatiles from Aerial Parts of *Peucedanum tauricum* M.B. during the Phenological Period. *Separations*. 2023 Sep 1;10(9).
26. Li Y, Cao X, Sun J, Zhang W, Zhang J, Ding Y, et al. Characterization of chemical compositions by a GC–MS/MS approach and evaluation of antioxidant activities of essential oils from *Cinnamomum reticulatum* Hay, *Leptospermum petersonii* Bailey, and *Juniperus formosana* Hayata. *Arabian Journal of Chemistry*. 2022 Feb 1;15(2).
27. Fitri, M. K., Sriwidyasari, N. L. A., Setyowati, K. A., Salam, M. M., Yustitia, N. T., & Pratiwi, E. T. (2024). Analisis kandungan senyawa minyak atsiri dari limbah kulit jeruk peras (*Citrus sinensis* L.) menggunakan metode GC-MS. *Jurnal Kesehatan Tambusai*, 5(1), 1440–1446.
28. Raza MF, Hyder M, Zhao C, Li W. GC-MS Analysis and Evaluation of Essential Oils as Volatile Biopesticides: Assessing Their Acaricidal Potential against *Varroa destructor*. *Agriculture (Switzerland)*. 2024 Jun 1;14(6).
29. Fan S, Chang J, Zong Y, Hu G, Jia J. GC-MS analysis of the composition of the essential oil from *Dendranthema indicum* Var. *Aromaticum* using three extraction methods and two columns. *Molecules*. 2018;23(3).
30. Ikarini I, Harwanto, Yunimar. Karakteristik Fisik dan Identifikasi Senyawa pada Minyak Atsiri dari Limbah Kulit Jeruk. *Agriprima : Journal of Applied Agricultural Sciences*. 2021 Sep 30;5(2):131–7.
31. Senyawa Alami dari Daun Sirih sebagai Kandidat Obat Antikanker Berdasarkan Pendekatan Kimia Medisinal D, Amin S, Laesa Lestari S, Cahyadiana Agustin S, Author C. Analisis Kandungan Minyak Atsiri Jahe (*Zingiberis Officinalis Rhizoma*) Menggunakan Kromatografi Spektrometer Massa Program Studi S1 Farmasi Universitas Bakti Tunas Husada. Vol. 5, *Journal of Innovative and Creativity*.
32. Ojha, P. K., Poudel, D. K., Dangol, S., Rokaya, A., Timsina, S., Satyal, P., & Setzer, W. N. (2022). Volatile Constituent Analysis of Wintergreen Essential Oil and Comparison with Synthetic Methyl Salicylate for Authentication. *Plants*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/plants11081090>
33. Vitalini, S., Iriti, M., & Garzoli, S. (2022). GC-MS and SPME-GC/MS Analysis and Bioactive Potential Evaluation of Essential Oils from Two *Viola* Species Belonging to the *V. calcarata* Complex. *Separations*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/separations9020039>
34. Yang, K. M., Chen, C. W., Chen, M. H., Chen, H. C., & Lin, L. Y. (2023). Authenticity Analysis of Cold-Pressed Orange Essential Oils by GC/MS on Polymethoxyflavone Components. *Agriculture (Switzerland)*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/agriculture13010179>

35. Fekry, M., Yahya, G., Osman, A., Al-Rabia, M. W., Mostafa, I., & Abbas, H. A. (2022). GC-MS Analysis and Microbiological Evaluation of Caraway Essential Oil as a Virulence Attenuating Agent against *Pseudomonas aeruginosa*. *Molecules*, 27(23). <https://doi.org/10.3390/molecules27238532>