

**PENGARUH METODE DISTILASI TERHADAP KARAKTERISTIK FISIKOKIMIA
DAN AKTIVITAS REPELAN MINYAK ATSIRI DAUN BANDOTAN
(*Ageratum conyzoides* L.)**

Nurazizah¹, Sholeh Ma'mun^{1*}, Diana¹

¹Program Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri,
Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang km. 14,5, Sleman,
Yogyakarta 55584

*Email: sholeh.mamun@uii.ac.id

ABSTRAK

Daun bandotan (*Ageratum conyzoides* L.) merupakan salah satu sumber minyak atsiri yang potensial, namun kualitas minyak yang dihasilkan dipengaruhi oleh metode distilasi. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh metode distilasi terhadap karakteristik fisikokimia, komposisi kimia, dan aktivitas repelan minyak atsiri daun bandotan. Minyak atsiri diekstraksi menggunakan distilasi air, distilasi uap dan air, serta distilasi uap langsung. Karakterisasi meliputi rendemen, densitas, putaran optik, indeks bias, analisis *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC-MS), dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), sedangkan aktivitas repelan terhadap *Aedes aegypti* diuji selama enam jam menggunakan minyak atsiri komersial sebagai pembanding. Data dianalisis menggunakan *One-Way* dan *Two-Way Analysis of Variance* (ANOVA) pada taraf kepercayaan 95%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa distilasi uap dan air menghasilkan rendemen tertinggi sebesar $0,161 \pm 0,003\%$, dengan densitas 0,989 g/mL, putaran optik $-4,661^\circ$, dan indeks bias 1,5265. Analisis GC-MS mengidentifikasi precocene I, precocene II, dan seskuioterpena sebagai komponen dominan, sedangkan FTIR menunjukkan kesamaan gugus fungsi utama pada seluruh metode distilasi. Minyak atsiri daun bandotan menghasilkan rata-rata indeks proteksi 91,53%, yang secara signifikan lebih tinggi dibandingkan minyak atsiri komersial ($p < 0,05$). Distilasi uap dan air merupakan metode paling efektif untuk menghasilkan minyak atsiri daun bandotan berkualitas tinggi dan berpotensi dikembangkan sebagai bahan aktif repelan nyamuk alami.

Kata kunci: *Ageratum conyzoides* L., fisikokimia, minyak atsiri, metode distilasi, repelan nyamuk.

ABSTRACT

Ageratum conyzoides L. leaves represent a promising source of essential oil; however, the quality of the extracted oil is strongly influenced by the distillation method. This study aimed to evaluate the effect of different distillation methods on the physicochemical characteristics, chemical composition, and repellent activity of *A. conyzoides* essential oil. The essential oil was extracted using hydrodistillation, steam-hydrodistillation, and steam distillation. Physicochemical characterization included determination of yield, density, optical rotation, refractive index, chemical profiling by *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC-MS), and functional group analysis using *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Repellent activity against *Aedes aegypti* was evaluated over a six-hour period using a commercial essential oil as the reference. Data were analyzed using one-way and two-way analysis of variance (ANOVA) at a 95% confidence level. Steam-hydrodistillation produced the highest essential oil yield ($0.161 \pm 0.003\%$), with a density of 0.989 g/mL, an optical rotation of -4.661° , and a refractive index of 1.5265. GC-MS identified precocene I, precocene II, and sesquiterpenes as the predominant constituents, while FTIR confirmed similar major functional groups among all distillation methods. The essential oil exhibited a mean protection index of 91.53%, which was significantly higher than that of the commercial essential oil ($p < 0.05$). Steam-hydrodistillation was the most effective method for producing high-quality *A. conyzoides* essential oil with promising potential as a natural mosquito repellent.

Keywords: *Ageratum conyzoides* L.; distillation method; essential oil; mosquito repellent; physicochemical properties,.

PENDAHULUAN

Keanekaragaman flora tropis yang melimpah di Indonesia menyediakan sumber daya yang potensial untuk pengembangan minyak atsiri dari berbagai jenis tanaman aromatik. Minyak atsiri tersusun atas campuran kompleks komponen volatil yang berasal dari berbagai bagian tanaman dan telah diketahui memiliki beragam bioaktivitas, antara lain sebagai antimikroba, antioksidan, antiinflamasi, insektisida, serta repelan terhadap serangga (Sari *et al.*, 2023). Meningkatnya perhatian terhadap aspek keberlanjutan dan keamanan produk telah mendorong pemanfaatan minyak atsiri sebagai sumber bahan aktif alami yang lebih ramah lingkungan dan relatif aman bagi kesehatan manusia. Selain itu, minyak atsiri berbasis tumbuhan memiliki prospek yang baik sebagai alternatif pengganti senyawa sintetis yang berpotensi menimbulkan resistensi maupun dampak negatif terhadap lingkungan (Hazarika & Krishnatreyya, 2025).

Bandotan (*Ageratum conyzoides* L.) merupakan salah satu tanaman dari famili Asteraceae yang tersebar luas di daerah tropis maupun subtropis dan berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber minyak atsiri. Aktivitas biologis tanaman ini berkaitan dengan kandungan metabolit sekundernya yang cukup beragam, antara lain flavonoid, alkaloid, terpenoid, dan senyawa golongan kromena. Minyak atsiri daun bandotan diketahui didominasi oleh senyawa precocene I dan precocene II, yang telah dilaporkan memiliki aktivitas antimikroba, antijamur, insektisida, serta kemampuan sebagai penolak serangga (Chahal *et al.*, 2021). Selain kedua senyawa tersebut, keberadaan berbagai senyawa seskuiterpena lainnya turut memberikan kontribusi terhadap aktivitas biologis minyak atsiri daun bandotan (Kwembe *et al.*, 2021). Karakteristik tersebut menjadikan minyak atsiri daun bandotan berpeluang untuk dikembangkan sebagai bahan aktif repelan berbasis alami yang lebih mudah terdegradasi dan relatif lebih aman dibandingkan produk repelan sintetis yang umum digunakan (Abbas *et al.*, 2024).

Selain dipengaruhi oleh jenis bahan baku, mutu dan jumlah minyak atsiri yang diperoleh juga sangat bergantung pada teknik ekstraksi

yang diterapkan. Beberapa metode yang umum digunakan dalam proses penyulingan minyak atsiri meliputi distilasi air (*hydrodistillation*), distilasi uap dan air (*steam-hydrodistillation*), serta distilasi uap langsung (*steam distillation*). Masing-masing metode memiliki mekanisme perpindahan panas dan tingkat kontak yang berbeda antara bahan dengan media pemanas, sehingga dapat menghasilkan variasi pada rendemen, sifat fisikokimia, maupun komposisi senyawa volatil yang terkandung dalam minyak atsiri (Pheko-Ofithile & Makhzoum, 2024). Menurut Jažo *et al.* (2022), perbedaan teknik distilasi dapat memengaruhi proporsi senyawa penyusun minyak atsiri, meskipun struktur gugus fungsi utamanya cenderung tetap sama. Oleh karena itu, pemilihan metode distilasi yang sesuai menjadi aspek penting dalam upaya memperoleh minyak atsiri dengan karakteristik dan kualitas yang optimal.

Berbagai studi telah melaporkan pemanfaatan minyak atsiri daun bandotan (*Ageratum conyzoides* L.) dengan hasil yang berbeda-beda, bergantung pada metode ekstraksi yang digunakan. Pintong *et al.* (2020) menunjukkan bahwa minyak atsiri hasil distilasi air memiliki aktivitas insektisida terhadap *Aedes aegypti*. Rendemen sebesar 0,31% dilaporkan oleh Adnyana *et al.* (2023) melalui metode yang sama, sedangkan Owolabi *et al.* (2024) memperoleh rendemen sebesar 0,16% menggunakan distilasi uap. Sementara itu, Mohamed *et al.* (2025) menemukan bahwa *microwave-assisted hydrodistillation* menghasilkan rendemen yang sedikit lebih tinggi dibandingkan *hydrodistillation* konvensional, yaitu masing-masing sebesar 0,45% dan 0,40%. Meskipun telah memberikan gambaran mengenai potensi minyak atsiri daun bandotan, penelitian-penelitian tersebut belum secara komprehensif mengevaluasi pengaruh berbagai metode distilasi terhadap rendemen, karakteristik minyak, dan aktivitas repelannya dalam kondisi operasi yang sebanding.

Meskipun minyak atsiri daun bandotan (*Ageratum conyzoides* L.) telah banyak diteliti, sebagian besar penelitian masih berfokus pada karakterisasi atau aktivitas biologinya secara terpisah. Kajian yang membandingkan secara langsung pengaruh distilasi air, distilasi uap dan air, serta distilasi uap langsung terhadap karakteristik fisikokimia, komposisi kimia, dan aktivitas repelan pada kondisi operasi yang

seragam masih sangat terbatas. Perbedaan metode ekstraksi diduga memengaruhi rendemen, kualitas minyak atsiri, serta kandungan senyawa bioaktif yang berperan terhadap efektivitas repelan. Berdasarkan kesenjangan penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh tiga metode distilasi, yaitu distilasi air (*hydrodistillation*), distilasi uap dan air (*steam-hydrodistillation*), dan distilasi uap langsung (*steam distillation*), terhadap rendemen, karakteristik fisikokimia, komposisi kimia, serta aktivitas repelan minyak atsiri daun bandotan (*Ageratum conyzoides* L.) terhadap *Aedes aegypti*. Temuan penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam menentukan metode distilasi yang paling efektif untuk menghasilkan minyak atsiri daun bandotan berkualitas tinggi serta mendukung pengembangannya sebagai bahan aktif repelan nyamuk alami yang lebih aman dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Penelitian ini dilaksanakan di Center of Essential Oil Studies (CEOS), Laboratorium Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia. Bahan utama yang digunakan berupa daun bandotan (*Ageratum conyzoides* L.) yang diperoleh dari Desa Srumbung, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah. Bahan pendukung yang digunakan selama penelitian meliputi akuades, natrium sulfat anhidrat (Na_2SO_4), minyak atsiri komersial sebagai pembanding, serta nyamuk *Aedes aegypti* yang digunakan dalam pengujian aktivitas repelan. Proses ekstraksi minyak atsiri dilakukan menggunakan unit distilasi air, distilasi uap dan air, dan distilasi uap langsung. Karakterisasi sifat fisik dan komposisi kimia minyak dilakukan dengan bantuan piknometer, refraktometer, polarimeter, Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS), dan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), sedangkan efektivitas repelan dievaluasi menggunakan perangkat uji aktivitas repelan.

Rancangan alat dan prinsip kerja ketiga sistem distilasi tersebut mengacu pada penelitian Sumalyani *et al.* (2024) dengan penyesuaian terhadap bahan baku, kapasitas

alat, dan kondisi operasi yang digunakan dalam penelitian ini.

Desain Penelitian dan Analisa Data

Penelitian ini dilaksanakan dalam dua tahap, yaitu optimasi metode distilasi minyak atsiri daun bandotan (*Ageratum conyzoides* L.) dan evaluasi aktivitas repelan. Tahap optimasi menggunakan rancangan eksperimen satu faktor dengan metode distilasi sebagai variabel perlakuan, yang terdiri atas distilasi air (*hydrodistillation*), distilasi uap dan air (*steam-hydrodistillation*), serta distilasi uap langsung (*steam distillation*). Seluruh percobaan dilakukan secara duplo pada kondisi operasi yang sama, meliputi massa bahan baku 2.000 g, volume air 15 L, suhu penyulingan 100 °C, dan waktu distilasi selama 6 jam. Minyak atsiri yang dihasilkan dikumpulkan setiap dua jam pada distilasi jam ke-2, ke-4, dan ke-6.

Parameter yang diamati meliputi rendemen minyak atsiri, densitas, putaran optik, indeks bias, serta karakteristik kimia yang dianalisis menggunakan Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS) dan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). Selanjutnya, aktivitas repelan dievaluasi terhadap nyamuk *Aedes aegypti* dengan membandingkan minyak atsiri daun bandotan dan minyak atsiri komersial berdasarkan nilai indeks proteksi (%).

Analisis statistik pada tahap optimasi dilakukan menggunakan *One-Way Analysis of Variance* (ANOVA) pada taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$) untuk mengevaluasi pengaruh metode distilasi terhadap rendemen minyak atsiri. Sementara itu, data aktivitas repelan dianalisis menggunakan *Two-Way Analysis of Variance* (ANOVA) pada taraf kepercayaan 95% ($\alpha=0,05$) dengan dua faktor, yaitu jenis minyak atsiri (minyak atsiri daun bandotan dan minyak atsiri komersial) serta waktu pengamatan 0–6 jam. Analisis ini digunakan untuk mengevaluasi pengaruh masing-masing faktor dan interaksi keduanya terhadap indeks proteksi. Seluruh analisis statistik dilakukan menggunakan *Microsoft Excel* melalui fasilitas *Data Analysis ToolPak*. Keputusan statistik ditetapkan berdasarkan nilai signifikansi (*p-value*), dengan kriteria $p < 0,05$ menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan.

Pelaksanaan Penelitian

a. Distilasi

1. Distilasi air (*Hydrodistillation*)

Sebanyak 2.000 g daun bandotan yang telah dikeringanginkan selama enam hari ditempatkan di dalam ketel distilasi dan ditambahkan 15 L akuades. Pemanasan dilakukan secara langsung hingga air mencapai titik didih pada suhu 100 °C, sehingga komponen volatil dalam bahan ikut terbawa bersama uap air. Campuran uap minyak dan uap air yang terbentuk selanjutnya dikondensasikan dan dialirkan ke separator untuk memisahkan fase minyak dari hidrosol. Proses penyulingan berlangsung selama 6 jam sejak tetesan minyak pertama muncul, dengan pengumpulan minyak atsiri dilakukan setiap 2 jam. Minyak yang diperoleh kemudian dipisahkan dari sisa air menggunakan natrium sulfat anhidrat (Na_2SO_4) sebelum dilakukan tahap analisis lebih lanjut.

2. Distilasi uap dan air (*Steam-hydrodistillation*)

Proses distilasi uap dan air dilakukan dengan menggunakan 15 L akuades yang ditempatkan pada ketel distilasi, sedangkan 2.000 g daun bandotan yang telah dikeringanginkan selama enam hari diletakkan pada tatakan penyaring di atas permukaan air. Pemanasan dilakukan hingga air mendidih sehingga uap yang terbentuk melewati bahan dan membawa komponen volatil menuju kondensor. Kondensat yang dihasilkan kemudian dipisahkan di dalam separator untuk memperoleh fase minyak dan hidrosol. Penyulingan berlangsung selama 6 jam sejak tetesan minyak pertama terbentuk, dengan pengumpulan minyak dilakukan setiap interval 2 jam. Minyak atsiri yang diperoleh selanjutnya dikeringkan menggunakan natrium sulfat anhidrat (Na_2SO_4) untuk menghilangkan sisa kandungan air sebelum dilakukan analisis lebih lanjut.

3. Distilasi uap langsung (*Steam distillation*)

Metode distilasi uap langsung dilakukan menggunakan 2.000 g daun bandotan yang telah dikeringanginkan selama enam hari dan ditempatkan di dalam kolom distilasi, sedangkan 15 L akuades digunakan sebagai sumber pembangkit uap pada boiler. Pemanasan dilakukan hingga suhu mencapai 100 °C sehingga uap yang dihasilkan dapat mengalir melalui bahan dan membawa komponen volatil menuju kondensor.

Kondensat yang terbentuk selanjutnya dipisahkan di dalam separator untuk memperoleh fase minyak dan hidrosol. Proses penyulingan berlangsung selama 6 jam sejak tetesan minyak pertama muncul, dengan pengumpulan minyak dilakukan setiap interval 2 jam. Minyak atsiri yang diperoleh kemudian dikeringkan menggunakan natrium sulfat anhidrat (Na_2SO_4) untuk menghilangkan sisa kandungan air sebelum dilakukan tahap karakterisasi lebih lanjut.

b. Analisis Produk

Untuk mengetahui mutu dan aktivitas repelan minyak atsiri yang dihasilkan dari ketiga metode distilasi ini, maka dilakukan beberapa uji parameter antara lain:

1. Densitas

Karakteristik densitas suatu minyak atsiri berkaitan erat dengan komposisi kimianya dan dapat dipengaruhi oleh berat molekul relatif, polaritas, suhu, serta tekanan. Oleh karena itu, pengukuran densitas banyak digunakan sebagai salah satu parameter untuk menilai mutu dan kemurnian minyak atsiri (Sastrohamidjojo, 2021). Pengukuran densitas dilakukan dengan cara menimbang berat minyak atsiri di dalam piknometer bervolume 1 mL pada suhu 20 °C dan tekanan atmosferik. Standar pengukuran densitas mengacu pada ISO 279:1998. Selanjutnya, densitas minyak atsiri dapat dihitung dengan persamaan (1).

$$\text{Densitas (g/mL)} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \quad (1)$$

keterangan:

m_0 : massa piknometer kosong (g);
 m_1 : massa piknometer yang diisi air (g);
 m_2 : massa piknometer yang berisi minyak atsiri (g).

2. Rendemen Minyak Atsiri Daun Bandotan

Pengukuran rendemen dilakukan untuk mengetahui seberapa banyak minyak atsiri daun bandotan yang dihasilkan dalam satuan persen terhadap jumlah daun bandotan yang disuling untuk ketiga metode distilasi. Perhitungan rendemen diperoleh dengan menggunakan persamaan (2).

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{\text{Berat Minyak Atsiri (gr)}}{\text{Berat Bahan Baku Awal (gr)}} \times 100 \quad (2)$$

3. Putaran Optik

Sifat optis minyak atsiri ditentukan melalui pengukuran putaran optik menggunakan *Automatic Polarimeter* (KRÜSS P3000, Germany) dengan volume sampel sebesar 1 mL. Nilai rotasi yang diperoleh dipengaruhi oleh struktur molekul dan kondisi pengukuran, termasuk suhu, konsentrasi, dan panjang gelombang. Parameter ini banyak digunakan untuk mengevaluasi karakteristik dan kemurnian minyak atsiri, dengan nilai putaran optik yang lebih tinggi umumnya menunjukkan tingkat kemurnian yang lebih rendah (Nurjanah *et al.*, 2019). Pengukuran mengacu pada standar ISO 592:1998.

4. Indeks Bias

Karakteristik optik minyak atsiri dievaluasi melalui pengukuran indeks bias menggunakan *Digital Refractometer* (KRÜSS DR6000, Germany). Parameter ini berkaitan dengan kemampuan medium dalam membiaskan cahaya dan diketahui memiliki hubungan yang erat dengan densitas serta komposisi kimia minyak atsiri. Nilai indeks bias dipengaruhi oleh struktur molekul, terutama panjang rantai karbon dan jumlah ikatan rangkap yang terkandung dalam senyawa penyusunnya. Peningkatan kandungan senyawa tak jenuh umumnya diikuti oleh kenaikan densitas dan nilai indeks bias minyak. Pengukuran dilakukan dengan menempatkan beberapa tetes sampel secara merata pada permukaan prisma untuk memperoleh pembacaan yang akurat. Seluruh prosedur pengukuran mengacu pada standar ISO 280:1998.

5. *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS)

Profil fitokimia minyak atsiri daun bandotan (*Ageratum conyzoides* L.) dianalisis menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) untuk mengidentifikasi komponen volatil yang berkontribusi terhadap aktivitas biologisnya. Senyawa precocene I dan precocene II menjadi fokus utama karena keduanya merupakan konstituen khas golongan kromena yang diketahui memiliki aktivitas insektisida dan repelan terhadap serangga. Komponen volatil lainnya, seperti β -caryophyllene, β -cubebene, dan berbagai seskuiterpena, juga diidentifikasi karena berperan dalam membentuk karakteristik biologis minyak atsiri (Kwembe *et al.*, 2021).

Analisis dilakukan menggunakan GC-MS Shimadzu QP 2010 SE (Japan) yang dilengkapi kolom Rtx-5MS dan helium sebagai gas pembawa. Sebanyak 0,2 mL sampel diinjeksikan ke dalam instrumen, sedangkan komponen utama ditentukan berdasarkan persentase area relatif di atas 1%. Evaluasi kromatogram dilakukan sesuai dengan ISO 11024-1:1998 dan ISO 11024-2:1998.

6. *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Profil gugus fungsi minyak atsiri daun bandotan (*Ageratum conyzoides* L.) dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk memperoleh gambaran mengenai struktur kimia konstituen penyusunnya. Pengukuran dilakukan menggunakan FTIR *Perkin Elmer Spectrum Two System L160000A* yang dilengkapi dengan modul *Attenuated Total Reflectance* (ATR). Sebanyak 1–2 tetes sampel dianalisis secara langsung pada kristal ATR, kemudian spektrum direkam pada daerah bilangan gelombang 4000–400 cm^{-1} dengan resolusi 4 cm^{-1} dan 32 kali pemindaian pada suhu ruang. Penugasan gugus fungsi dilakukan berdasarkan karakteristik pita serapan yang muncul pada spektrum inframerah, sedangkan interpretasi bilangan gelombang dilakukan dengan membandingkannya terhadap pustaka spektrum dan referensi yang relevan (Jažo *et al.*, 2022).

7. Aktivitas Repelan Minyak Atsiri Daun Bandotan Terhadap Nyamuk

Potensi minyak atsiri daun bandotan (*Ageratum conyzoides* L.) sebagai repelan alami dievaluasi berdasarkan kemampuan dan kestabilan daya proteksinya terhadap *Aedes aegypti*. Pengujian dilakukan sesuai metode Komisi Pestisida dengan menggunakan minyak atsiri komersial sebagai kontrol pembanding. Nyamuk *Aedes aegypti* betina berumur 4–5 hari yang belum pernah menghisap darah digunakan sebagai serangga uji. Respons repelan diamati selama enam jam dengan interval pengamatan setiap satu jam untuk mengevaluasi perubahan efektivitas selama masa aplikasi. Aktivitas repelan dinyatakan sebagai indeks proteksi (%), yang ditentukan dari perbandingan jumlah hinggapan nyamuk pada lengan kontrol dan lengan perlakuan (Hazarika & Krishnatreyya, 2025).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Optimasi Metode Distilasi Berdasarkan Rendemen Minyak Atsiri

Rendemen minyak atsiri merupakan indikator yang umum digunakan untuk menilai efisiensi proses penyulingan. Variasi metode distilasi berpengaruh terhadap jumlah minyak yang diperoleh karena perbedaan karakteristik transfer panas dan mekanisme pelepasan komponen volatil dari matriks bahan (El Asbahani *et al.*, 2015). Nilai rendemen minyak atsiri daun bandotan (*Ageratum conyzoides* L.) yang dihasilkan melalui distilasi air, distilasi uap dan air, serta distilasi uap langsung disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rendemen minyak atsiri daun bandotan pada berbagai metode distilasi

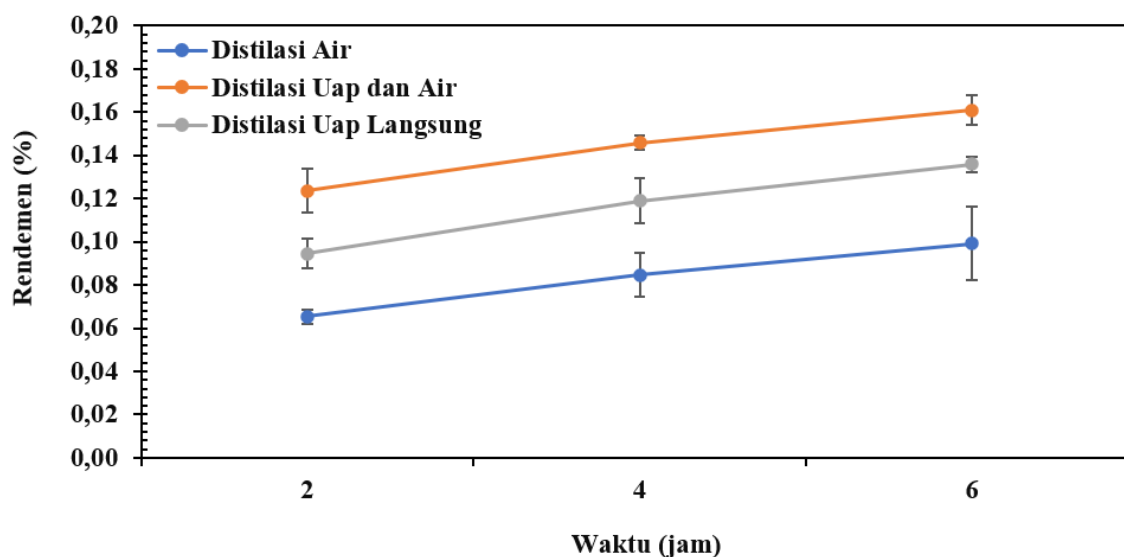
Metode Distilasi	Waktu (jam)	Rendemen rata-rata (%)
Distilasi air	2	0,065±0,003
	4	0,085±0,010
	6	0,099±0,017
Distilasi uap dan air	2	0,124±0,007
	4	0,146±0,010
	6	0,161±0,003
Distilasi uap langsung	2	0,095±0,010
	4	0,119±0,003
	6	0,136±0,007

Untuk memperjelas pengaruh metode distilasi dan waktu penyulingan terhadap rendemen minyak atsiri, data pada Tabel 1 divisualisasikan pada Gambar 1.

Berdasarkan Tabel 1, metode distilasi memengaruhi rendemen minyak atsiri daun bandotan (*Ageratum conyzoides* L.) pada setiap interval penyulingan. Semakin lama waktu distilasi maka rendemen minyak yang

dihasilkan semakin tinggi. Hal ini sebabkan karena semakin lama waktu distilasi maka semakin lama pula waktu kontak antara bahan baku dengan pelarut, sehingga jumlah minyak atsiri yang terekstrak akan meningkat. Metode distilasi uap dan air merupakan metode optimum untuk menghasilkan minyak atsiri daun bandotan dengan rendemen rata-rata tertinggi dibandingkan metode lainnya, yaitu 0,161±0,003%. Sebaliknya, rendemen terendah diperoleh pada metode distilasi air, yaitu 0,099±0,017%. Nilai standar deviasi yang relatif kecil pada setiap perlakuan menunjukkan bahwa hasil pengulangan memiliki variasi yang rendah sehingga proses distilasi berlangsung cukup konsisten. Signifikansi pengaruh metode distilasi terhadap rendemen minyak atsiri dievaluasi melalui pendekatan *One-Way Analysis of Variance* (ANOVA) pada taraf kepercayaan 95%. Ringkasan hasil pengujian statistik disajikan pada Tabel 2.

Analisis statistik pada Tabel 2 menghasilkan nilai *p-value* sebesar 0,024 ($p < 0,05$), yang mengindikasikan adanya pengaruh signifikan metode distilasi terhadap rendemen minyak atsiri daun bandotan. Selain itu, nilai *F* hitung (16,388) yang lebih besar daripada *F* kritis (9,552) menunjukkan bahwa hipotesis nol ditolak. Distilasi uap dan air menghasilkan rendemen yang paling tinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Kondisi ini dikarenakan terbatasnya kontak langsung antara bahan dan air mendidih, sehingga degradasi termal senyawa volatil dapat diminimalkan. Selain itu, perpindahan massa yang lebih efektif selama proses penyulingan memungkinkan pelepasan minyak dari jaringan tanaman berlangsung secara lebih optimal (Pheko-Ofithile & Makhzoum, 2024).



Gambar 1. Rendemen minyak atsiri dari daun bandotan untuk ketiga metode distilasi

Tabel 2. Hasil analisis ragam (ANOVA) rendemen minyak atsiri daun bandotan

Sumber Keragaman	JK	db	KT	F hitung	p-value	F kritis
Antar Perlakuan	$3,84 \times 10^{-7}$	2	$1,92 \times 10^{-7}$	16,388	0,024	9,552
Dalam Perlakuan	$3,51 \times 10^{-8}$	3	$1,17 \times 10^{-8}$	-	-	-
Total	$4,19 \times 10^{-7}$	5				

2. Karakteristik Fisik Minyak Atsiri Daun Bandotan

Profil sifat fisik minyak atsiri sangat dipengaruhi oleh komposisi dan kelimpahan relatif konstituen volatil penyusunnya. Oleh karena itu, densitas, putaran optik, dan indeks bias sering digunakan sebagai parameter untuk mengevaluasi kualitas serta tingkat kemurnian minyak atsiri (Sastrohamidjojo, 2021). Perbedaan metode distilasi dapat memodifikasi komposisi kimia minyak yang dihasilkan, sehingga berimplikasi pada variasi karakteristik fisiknya (Pheko-Ofitlhile & Makhzoum, 2024). Nilai densitas, putaran optik, dan indeks bias minyak atsiri daun bandotan (*Ageratum conyzoides* L.) yang diperoleh dari berbagai metode distilasi disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik fisik minyak atsiri daun bandotan

Metode Distilasi	Densitas	Putaran Optik	Indeks Bias
Distilasi air	0,967	-5,470	1,5185
Distilasi uap dan air	0,989	-4,661	1,5265
Distilasi uap langsung	0,970	-6,442	1,5241

Densitas minyak atsiri daun bandotan yang dihasilkan dari ketiga metode distilasi berada pada kisaran 0,967–0,989 g/mL (Tabel 3). Nilai densitas tertinggi diperoleh pada distilasi uap dan air, sedangkan distilasi air menghasilkan densitas yang relatif lebih rendah. Perbedaan

tersebut mengindikasikan adanya variasi komposisi dan proporsi komponen volatil yang terekstraksi selama proses penyulingan. Keberadaan konstituen dengan massa molekul relatif lebih tinggi diperkirakan turut memengaruhi peningkatan densitas minyak yang dihasilkan. Hal ini sejalan dengan laporan Nugraheni *et al.* (2016) yang menyatakan bahwa densitas minyak atsiri sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia dan kelimpahan relatif senyawa penyusunnya.

Nilai putaran optik minyak atsiri daun bandotan berada pada kisaran $-4,661^{\circ}$ hingga $-6,442^{\circ}$ (Tabel 3), yang menunjukkan bahwa seluruh sampel memiliki sifat levorotatori. Aktivitas optik tersebut mengindikasikan adanya konstituen kiral yang berperan dalam memutar bidang polarisasi cahaya ke arah kiri. Menurut Sastrohamidjojo (2021), besarnya putaran optik dipengaruhi oleh komposisi dan proporsi senyawa optis aktif dalam minyak atsiri, sehingga parameter ini dapat dimanfaatkan untuk mengevaluasi karakteristik serta tingkat kemurnian minyak yang dihasilkan.

Nilai indeks bias minyak atsiri daun bandotan berada pada kisaran 1,5185–1,5265, dengan nilai tertinggi diamati pada minyak yang diperoleh melalui distilasi uap dan air. Peningkatan indeks bias umumnya berkaitan dengan keberadaan konstituen dengan tingkat ketidakjenuhan dan massa molekul relatif yang lebih tinggi. Putri & Dewi (2016) melaporkan bahwa parameter tersebut sangat dipengaruhi oleh struktur molekul serta komposisi kimia minyak atsiri. Nilai indeks bias yang lebih tinggi pada distilasi uap dan air mengindikasikan bahwa metode tersebut mampu mempertahankan fraksi volatil secara lebih efektif dibandingkan metode lainnya, sehingga komposisi minyak yang dihasilkan tetap terjaga.

Secara keseluruhan, karakteristik fisik yang meliputi densitas, putaran optik, dan indeks bias menunjukkan bahwa minyak atsiri hasil distilasi uap dan air memiliki mutu yang lebih baik dibandingkan minyak yang diperoleh melalui distilasi air maupun distilasi uap langsung. Temuan tersebut konsisten dengan hasil optimasi rendemen yang telah dibahas sebelumnya, sehingga distilasi uap dan air dapat dipertimbangkan sebagai metode yang

paling sesuai untuk memperoleh minyak atsiri daun bandotan dengan kualitas yang optimal.

3. *Komposisi Kimia Minyak Atsiri Daun Bandotan Berdasarkan Analisis Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)*

Karakterisasi profil fitokimia minyak atsiri daun bandotan (*Ageratum conyzoides* L.) dilakukan menggunakan GC-MS untuk mengevaluasi komposisi konstituen volatil yang berkaitan dengan aktivitas repelan. Identifikasi komponen bioaktif memberikan gambaran mengenai senyawa-senyawa yang berpotensi berkontribusi terhadap aktivitas biologis minyak atsiri. Distribusi komponen yang terdeteksi pada minyak hasil masing-masing metode distilasi disajikan pada Tabel 4.

Profil kimia minyak atsiri daun bandotan (*Ageratum conyzoides* L.) memperlihatkan dominasi precocene I, precocene II, dan berbagai konstituen golongan seskuiterpena. Kedua senyawa kromena tersebut merupakan penanda kimia khas *Ageratum conyzoides* L. yang telah dilaporkan memiliki aktivitas insektisida dan berpotensi berperan sebagai repelan alami (Chahal *et al.*, 2021).

Variasi metode distilasi berpengaruh terhadap kelimpahan relatif masing-masing konstituen, dengan distilasi uap dan air menghasilkan distribusi komponen yang lebih proporsional disertai kandungan precocene I dan precocene II yang relatif tinggi. Fenomena tersebut mengindikasikan bahwa proses distilasi uap dan air mampu meminimalkan kehilangan maupun degradasi termal komponen volatil, sehingga profil kimia minyak yang dihasilkan dapat dipertahankan dengan lebih baik dibandingkan metode lainnya (Phoko-Ofitlhile & Makhzoum, 2024).

Keberadaan precocene I, precocene II, dan berbagai konstituen seskuiterpena diperkirakan berkontribusi terhadap aktivitas repelan minyak atsiri daun bandotan. Senyawa precocene diketahui memiliki aktivitas anti-juvenile hormone yang dapat memengaruhi proses pertumbuhan dan perkembangan serangga (Ningsih & Putri, 2017). Selain itu, interaksi sinergis antarkomponen volatil dalam minyak

atsiri berpotensi mengganggu sistem olfaktori nyamuk, sehingga kemampuan serangga dalam mengenali dan menemukan inang menjadi berkurang (Kusman *et al.*, 2023). Karakteristik

profil kimia tersebut semakin memperkuat prospek minyak atsiri daun bandotan sebagai bahan aktif repelan nyamuk yang berasal dari sumber alami.

Tabel 4. Komponen utama minyak atsiri daun bandotan berdasarkan hasil analisis GC-MS

Komponen Senyawa	Distilasi Air		Distilasi Uap dan Air		Distilasi Uap Langsung	
	RT (Menit)	% Area	RT (Menit)	% Area	RT (Menit)	% Area
β -Farnesene	12,087	68,23	-	-	-	-
2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl	12,275	0,34	13,310	0,62	-	-
Precocene I	12,629	21,83	12,636	26,13	12,631	22,70
β -Geraniol	13,313	0,42	-	-	-	-
prococene II	15,201	9,18	15,228	30,62	15,223	33,04
β -Caryophyllene	-	-	12,088	42,28	12,084	44,26
α -Caryophyllene	-	-	13,080	0,35	-	-

4. Identifikasi Gugus Fungsi Minyak Atsiri Daun Bandotan Berdasarkan Analisis Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Karakteristik gugus fungsi minyak atsiri daun bandotan (*Ageratum conyzoides* L.) dikaji menggunakan spektroskopi FTIR untuk memperoleh gambaran struktur kimia konstituen penyusunnya sekaligus memverifikasi komponen yang telah teridentifikasi melalui analisis GC-MS. Profil spektrum inframerah daun bandotan dan minyak atsiri yang diperoleh melalui distilasi air, distilasi uap dan air, serta distilasi uap langsung ditunjukkan pada Gambar 2.

Analisis FTIR menunjukkan bahwa spektrum minyak atsiri daun bandotan yang diperoleh melalui distilasi air, distilasi uap dan air, serta distilasi uap langsung memiliki pola serapan yang relatif serupa, sehingga menunjukkan bahwa variasi metode distilasi tidak mengubah struktur kimia utama minyak atsiri. Perbedaan metode distilasi lebih memengaruhi proporsi komponen volatil dibandingkan jenis gugus fungsi yang terbentuk (Jažo *et al.*, 2022).

Pita serapan pada 3275 cm^{-1} mengindikasikan keberadaan gugus (O–H), sedangkan pita pada 2920 dan 2858 cm^{-1} berkaitan dengan regangan (C–H alifatik) yang merupakan karakteristik senyawa terpenoid. Serapan pada 1735 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus (C=O), sementara pita pada 1616 dan 1504 cm^{-1} mengindikasikan vibrasi (C=C) aromatik. Selain itu, pita pada 1278–1014 cm^{-1} menunjukkan regangan (C–O–C) yang merupakan ciri khas senyawa golongan kromena. Daerah sidik jari (1000–400 cm^{-1}) memperlihatkan pola serapan yang konsisten pada seluruh sampel, mengindikasikan bahwa struktur molekul utama minyak atsiri tetap terpelihara selama proses distilasi (Khater *et al.*, 2022).

Hasil FTIR sejalan dengan analisis GC-MS, yang menunjukkan dominasi precocene I, precocene II, dan seskuiterpena sebagai komponen utama minyak atsiri. Kesesuaian kedua teknik karakterisasi tersebut mengonfirmasi bahwa variasi metode distilasi tidak menyebabkan perubahan terhadap gugus fungsi utama, melainkan hanya memengaruhi kelimpahan relatif komponen penyusun minyak

atsiri. Dengan demikian, distilasi uap dan air mampu menghasilkan minyak atsiri dengan integritas struktur kimia yang tetap terjaga disertai rendemen yang lebih tinggi dibandingkan metode lainnya (Pheko-Ofitlhile & Makhzoum, 2024).

5. Aktivitas Repelan Minyak Atsiri Daun Bandotan

Aktivitas repelan minyak atsiri ditentukan oleh kemampuan komponen volatil dalam memodulasi persepsi olfaktori serangga, sehingga proses orientasi terhadap inang dapat terganggu (Kusman *et al.*, 2023). Efikasi minyak atsiri daun bandotan dievaluasi melalui perbandingan jumlah hinggapan *Aedes aegypti* dengan minyak atsiri komersial sebagai pembanding selama enam jam pengamatan. Daya proteksi yang dihasilkan dinyatakan dalam bentuk indeks proteksi (%) dan disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rata-rata indeks proteksi minyak atsiri daun bandotan dan minyak atsiri komersial terhadap nyamuk

Waktu (Jam)	Minyak Atsiri Daun Bandotan	Minyak Atsiri Komersial
	(%)	(%)
0	100±0,00	100±0,00
1	100±0,00	95,00±8,66
2	97,62±4,12	43,33±8,82
3	72,22±34,69	67,78±11,28
4	86,77±14,40	74,70±5,67
5	92,21±7,23	43,89±42,40
6	91,88±8,34	77,78±23,41
Rata-rata	91,53±2,38	71,78±7,98

Berdasarkan Tabel 5, minyak atsiri daun bandotan menghasilkan rata-rata indeks proteksi sebesar 91,53±2,38%, lebih tinggi dibandingkan minyak atsiri komersial yang hanya mencapai 71,78±7,98%. Hal ini mengindikasikan bahwa minyak atsiri daun bandotan memiliki efektivitas repelan yang lebih tinggi dengan tingkat konsistensi yang lebih baik selama enam jam pengamatan.

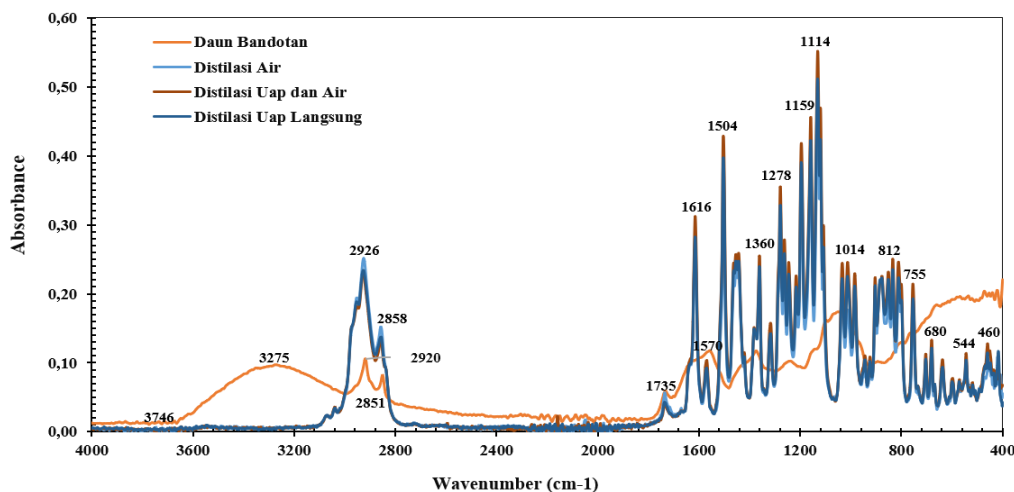
Efektivitas repelan minyak atsiri daun bandotan berkaitan dengan dominasi precocene I, precocene II, dan senyawa golongan seskuiterpena yang berperan sebagai komponen bioaktif utama. Senyawa-senyawa tersebut dilaporkan memiliki aktivitas insektisida dan repelan melalui gangguan terhadap sistem olfaktori serangga, sehingga menghambat kemampuan nyamuk dalam mengenali dan menemukan inang (Kusman *et al.*, 2023).

Pada awal pengamatan (jam ke-0 hingga jam ke-1), kedua minyak atsiri masih menunjukkan indeks proteksi yang tinggi karena konsentrasi komponen volatil pada permukaan kulit masih berada pada kondisi optimum. Seiring bertambahnya waktu, proses evaporasi menyebabkan konsentrasi senyawa aktif menurun sehingga efektivitas repelan berkurang. Penurunan indeks proteksi yang cukup nyata pada jam ke-3 mengindikasikan berkurangnya fraksi senyawa yang mudah menguap, sehingga kemampuan minyak atsiri dalam mengganggu orientasi *Aedes aegypti* terhadap inang ikut menurun (Hazarika & Krishnatreyya, 2025).

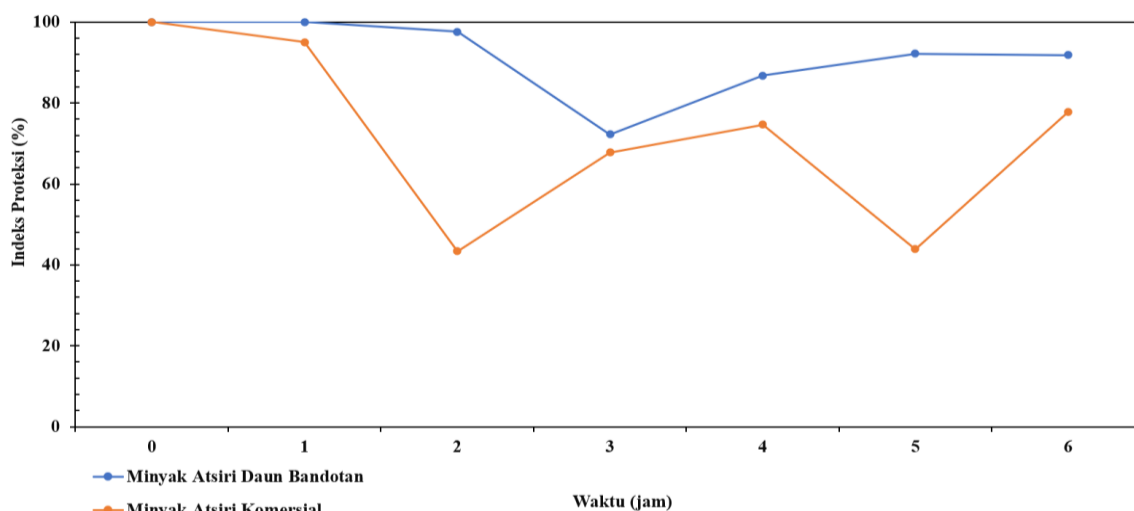
Meskipun demikian, indeks proteksi kembali meningkat pada jam ke-4 hingga jam ke-6, terutama pada minyak atsiri daun bandotan. Fenomena ini mengindikasikan bahwa aktivitas repelan minyak atsiri tidak selalu mengikuti pola penurunan yang linear. Kondisi tersebut kemungkinan berkaitan dengan sifat minyak atsiri sebagai campuran multikomponen yang memiliki laju evaporasi berbeda, sehingga komposisi fase uap dan interaksi antarkomponen bioaktif berubah selama periode pengujian. Selain itu, fluktuasi aktivitas repelan juga dapat dipengaruhi oleh variasi biologis perilaku *Aedes aegypti*, termasuk kondisi fisiologis, aktivitas pencarian inang, serta faktor lingkungan selama pengujian (Abbas *et al.*, 2024).

Nilai standar deviasi minyak atsiri daun bandotan (±2,38%) yang lebih rendah dibandingkan minyak atsiri komersial (±7,98%) menunjukkan bahwa hasil pengulangan memiliki variasi yang lebih kecil, sehingga efektivitas repelannya lebih konsisten. Sebaliknya, standar deviasi yang lebih tinggi pada minyak atsiri komersial mengindikasikan respons pengulangan yang lebih bervariasi, yang kemungkinan dipengaruhi oleh perbedaan komposisi kimia, laju evaporasi komponen

volatil, dan respons biologis nyamuk terhadap masing-masing formulasi (Kusman *et al.*, 2023).



Gambar 2. Profil spektrum FTIR daun bandotan dan minyak atsiri daun bandotan (*Ageratum conyzoides* L.) yang dihasilkan melalui berbagai metode distilasi.



Gambar 3. Indeks proteksi minyak atsiri daun bandotan dan minyak atsiri komersial

Perubahan aktivitas repelan dianalisis menggunakan *Two-Way Analysis of Variance* (*Two-Way ANOVA*) pada taraf kepercayaan 95% untuk mengevaluasi pengaruh jenis minyak atsiri, waktu pengamatan, serta interaksi antara kedua faktor terhadap nilai indeks proteksi. Ringkasan hasil pengujian disajikan pada Tabel 6.

Analisis menunjukkan bahwa jenis minyak ($F=13,621$; $p=0,00096$), waktu pengamatan ($F=3,475$; $p=0,01078$), dan interaksi keduanya ($F=2,447$; $p=0,04989$)

berpengaruh signifikan terhadap indeks proteksi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perubahan aktivitas repelan dipengaruhi tidak hanya oleh jenis minyak maupun waktu secara terpisah, tetapi juga oleh interaksi kedua faktor. Secara keseluruhan, minyak atsiri daun bandotan mampu mempertahankan indeks proteksi yang lebih tinggi dibandingkan minyak atsiri komersial selama enam jam pengamatan. Persistensi aktivitas ini sejalan dengan dominasi precocene I, precocene II, dan seskuiterpena yang berkontribusi terhadap

aktivitas repelan, sehingga minyak atsiri daun bandotan berpotensi dikembangkan sebagai

bahan aktif repelan nyamuk alami yang ramah lingkungan (Chahal *et al.*, 2021).

Tabel 6. Hasil analisis ragam (ANOVA) minyak atsiri daun bandotan dan minyak atsiri komersial

Sumber Keragaman	JK	db	KT	F hitung	p-value	F kritis
Sample	4.093,83	1	4.093,83	13,621	0,00096	4,20
Columns	6.266,59	6	1.044,43	3,475	0,01078	2,45
Interaction	4.412,27	6	735,38	2,447	0,04989	2,45
Within	8.415,45	28	300,55	-	-	-
Total	23.188,14	41				

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa metode distilasi memengaruhi rendemen, karakteristik fisikokimia, komposisi kimia, dan aktivitas repelan minyak atsiri daun bandotan (*Ageratum conyzoides* L.). Di antara ketiga metode yang dibandingkan, distilasi uap dan air menghasilkan rendemen tertinggi, karakteristik fisikokimia yang lebih baik, serta minyak atsiri yang didominasi oleh precocene I, precocene II, dan seskuiterpena. Selain itu, minyak atsiri daun bandotan menunjukkan aktivitas repelan terhadap *Aedes aegypti* yang lebih tinggi dibandingkan minyak atsiri komersial. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa distilasi uap dan air merupakan metode yang paling efektif untuk menghasilkan minyak atsiri daun bandotan yang berpotensi dikembangkan sebagai bahan aktif repelan nyamuk alami.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia atas dukungan pendanaan yang diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini berdasarkan Kontrak Nomor: 30/Kajur.TK/70/Jur.TK/V/2026.

DAFTAR PUSTAKA

Abbas, M. G., Azeem, M., Bashir, M. U., Ali, F., Mozūratīs, R., & Binyameen, M. (2024). Chemical composition, repellent, and oviposition deterrent potential of wild plant essential oils against three mosquito species. *Molecules*, 29(11), 2657.

Adnyana, I. K., Anggadiredja, K., & Sukmawan, Y. P. (2023). Essential oil of *Ageratum conyzoides* (L.) L.: Acute and subchronic toxicity studies. *Journal of Pharmacy and Pharmacognosy Research*, 11(4), 625–634. https://doi.org/10.56499/jppres23.1590_1.4.625

Chahal, R., Nanda, A., Akkol, E. K., Sobarzo-sánchez, E., Arya, A., Kaushik, D., Dutt, R., Bhardwaj, R., Rahman, M. H., & Mittal, V. (2021). *Ageratum conyzoides* L. And its secondary metabolites in the management of different fungal pathogens. In *Molecules* (Vol. 26, Number 10). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules26102933>

El Asbahani, A., Miladi, K., Badri, W., Sala, M., Ait Addi, E. H., Casabianca, H., El Mousadik, A., Hartmann, D., Jilale, A., & Renaud, F. N. R. (2015). Essential oils: From extraction to encapsulation. *International Journal of Pharmaceutics*, 483(1–2), 220–243.

Hazarika, H., & Krishnatreyya, H. (2025). Technological Advancements in Mosquito Repellents: Challenges and Opportunities in Plant-Based Repellents. *Acta Parasitologica*, 70(3), 117.

Jažo, Z., Glumac, M., Drventić, I., Žilić, L., Dujmović, T., Bajić, D., Vučemilo, M., Ivić, E., Bektić, S., Anačkov, G. T., & Radan, M. (2022). The Essential Oil Composition of *Helichrysum italicum* (Roth) G. Don: Influence of Steam, Hydro and Microwave-Assisted Distillation. *Separations*, 9(10), 280.

- <https://doi.org/10.3390/separations9100280>
- Khater, M., Watson, K. A., Boateng, S. Y., Greco, F., & Osborn, H. M. I. (2022). Halogenated Flavonoid Derivatives Display Antiangiogenic Activity. *Molecules*, 27(15), 4757. <https://doi.org/10.3390/molecules27154757>
- Kusman, I. T., Pradini, G. W., Ma'ruf, I. F., Fauziah, N., Berbud, A., Achadiyani, A., & Wiraswati, H. L. (2023). The potentials of *Ageratum conyzoides* and other plants from Asteraceae as an antiplasmodial and insecticidal for malaria vector: An article review. *Infection and Drug Resistance*, 7109–7138.
- Kwembe, J. T. K., Onautshu, O., Mpiana, P. T., Vermeir, P., & Haesaert, G. (2021). Chemical Composition of Essential Oil of *Ageratum conyzoides* with Antifungal Activity on the *Lasiodiplodia theobromae* Strain in the Region of Kisangani and DR Congo. *Archives of Current Research International*, 12–23. <https://doi.org/10.9734/acri/2021/v21i130222>
- Mohamed, M. A., Abazied, M. M., Mohamed, A. E. H., & Eldamarany, H. A. (2025). Hydrodistillation and Microwave-assisted hydrodistillation extraction of essential oil from *Ageratum conyzoides* L. aerial parts: comparative study. *Aswan Science and Technology Bulletin*, 3(1), 109–131.
- Ningsih, M. S., & Putri, C. N. (2017). Sinergisme Serbuk Daun *Ageratum conyzoides*, Rimpang *Curcuma longa*, dan *Zingiber officinale* terhadap *Sitophilus oryzae* L. *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*, 10(2), 101–109.
- Nugraheni, K. S., Khasanah, L. U., Utami, R., & Ananditho, B. K. (2016). Pengaruh perlakuan pendahuluan dan variasi metode destilasi terhadap karakteristik mutu minyak atsiri daun kayu manis (*C. Burmanii*). *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 9(2), 51–64.
- Nurjanah, S., Rosi, D. M., Fathoni, R. P., Zain, S., Widiasant, A., & Putri, I. L. K. (2019). Aktivitas Antibakteri Minyak Nilam (*Pogostemon cablin* Benth) pada Beberapa Tingkat Kadar Patchouli Alcohol. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 29(3).
- Owolabi, T. A., Sakpana, D., Obodo-Elue, J., Odiase, D., Anusonwu, H., Ogoh, M. M., & Danga, J. (2024). Adulticidal activity of essential oils of *Ageratum conyzoides* L., *Hyptis suaveolens* L., *Ocimum basilicum* L. and their synergistic effects against *Anopheles* mosquitoes. *Acta Biologica Slovenica*, 67(3), 36–49. <https://doi.org/10.14720/abs.67.3.19399>
- Pheko-Ofithile, T., & Makhzoum, A. (2024). Impact of hydrodistillation and steam distillation on the yield and chemical composition of essential oils and their comparison with modern isolation techniques. *Journal of Essential Oil Research*, 36(2), 105–115. <https://doi.org/10.1080/10412905.2024.2320350>
- Pintong, A. R., Ampawong, S., Komalamisra, N., Sriwichai, P., Popruk, S., & Ruangsittichai, J. (2020). Insecticidal and histopathological effects of *Ageratum conyzoides* weed extracts against dengue vector, *Aedes aegypti*. *Insects*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/insects11040224>
- Putri, D. K. Y., & Dewi, I. E. P. (2016). Ekstraksi Minyak Atsiri dari Daun Kemangi (*Ocimum basilicum* L.) dan Bunga Kenanga (*Cananga odorata*) dengan Metode Solvent-Free Microwave Extraction (SFME). Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Sari, N. M., Setyabudi, L. S. W., & Puspitawati, I. N. (2023). Pemanfaatan Bunga Mawar (*Rosa* Sp.) Sebagai Minyak Atsiri Untuk Peningkatan Ekonomi Masyarakat Desa Kalipucang, Kec Tukur, Kab. Pasuruan. *Environmental Engineering Journal of Community Dedication*, 2(2), 10–14.

Sastrohamidjojo, H. (2021). *Kimia minyak atsiri*. Ugm Press.

Sumalyani, A., Ma'mun, S., & Riyanto, R. (2024). Zodia (*Evodia suaveolens*) Leaves as Natural Mosquito Repellent Material: Effectiveness Test of Distillation Methods. *BERKALA SAINSTEK*, 12(4), 149–156.