

Optimalisasi Kromatogram GCMS Minyak Atsiri Batang Sereh Wangi sebagai Antioksidan dan Antibakteri

Ni Made Sukma Sanjiwani^{1*}, Agung Ari Chandra Wibawa², I Wayan Surya Rahadi², Dewa Ayu Sri Handani³, I Gusti Ayu Agung Dwita Setya Cahyani¹, I Made Wisnu Yoga Pramana²

¹Program Studi D3 Farmasi, Fakultas Farmasi, Universitas Mahasaraswati Denpasar

²Program Studi Sarjana Farmasi, Fakultas Farmasi, Universitas Mahasaraswati Denpasar

³Program Studi Pendidikan Profesi Apoteker, Fakultas Farmasi, Universitas Mahasaraswati Denpasar

^{1*}email korespondensi: sukmasanjiwani@unmas.ac.id

Abstract

Essential oil derived from the stem of citronella grass, *Cymbopogon nardus* L, is recognized as a major source of essential oil with potential antioxidant properties. This study was conducted with four main objectives. First, to identify secondary metabolite compounds with potential antioxidant and antibacterial activities using the GC–MS method. Second, to determine the optimum injection run time, indicated by the best chromatographic profile, for the in vitro identification of citronella stem essential oil using GC–MS. Third, to evaluate the antioxidant activity of *citronella* stem essential oil in vitro using the DPPH and ABTS assays. Fourth, to investigate the antibacterial activity of the essential oil against *Staphylococcus aureus* infection using an in vitro method. The essential oil was extracted through steam distillation. Chromatogram optimization using the GC–MS method was performed with six run-time variations: 21, 39, 40, 42, 46, and 50 minutes. Antioxidant activity was evaluated using the DPPH and ABTS methods, while antibacterial activity was tested in vitro against *Staphylococcus aureus*. Based on the chromatographic results obtained from the six run-time variations, compounds identified as having potential antioxidant activity included *limonene*, *isopulegol*, *citral*, *citronellal*, *citronellyl isobutyrate*, *geranyl acetate*, *caryophyllene*, *germacrene D*, and *naphthalene*. These compounds are known to scavenge free radicals. Compounds with potential antibacterial activity included *citronellol*, *geraniol*, *citronellyl isobutyrate*, *geranyl acetate*, *caryophyllene*, *germacrene D*, and *naphthalene*, which may inhibit bacterial growth. Among the six run-time variations, the optimum injection time was obtained at 46 minutes because the chromatogram produced the clearest and most well-resolved peaks, with

minimal overlap and no peak distortion. The essential oil from citronella stems demonstrated very strong antioxidant activity in both the DPPH and ABTS assays, with IC₅₀ values of 9.96 ppm and 17.38 ppm, respectively. However, the essential oil exhibited weak antibacterial activity against *Staphylococcus aureus*.

Keywords: *Fragrant lemongrass stem, GC-MS, antioxidant, antibacterial.*

Abstrak

Minyak atsiri dari sereh wangi (*Cymbopogon nardus* L) yakni dari batang ialah minyak atsiri utama serta berantioksidan. Tujuan penelitian ini adalah pertama untuk mengetahui senyawa metabolit sekunder apa saja yang memiliki potensi sebagai antioksidan dan antibakteri bermetode GC-MS. Kedua untuk mengetahui lamanya waktu injeksi optimum (yang diperlihatkan dari kromatogram terbaik) pada identifikasi minyak atsiri batang sereh wangi secara *in vitro* bermetode GC-MS. Ketiga untuk menentukan aktivitas antioksidan minyak atsiri batang sereh wangi secara *in vitro* bermetode DPPH dan ABTS. Keempat untuk mengetahui aktivitas antibakteri minyak atsiri batang sereh wangi secara *in vitro* menggunakan bakteri *Staphylococcus aureus*. Minyak atsiri diproses dengan destilasi uap. Optimalisasi kromatogram minyak atsiri batang sereh wangi bermetode GC-MS dilakukan lewat 6 variasi waktu run, yaitu: 21, 39, 40, 42, 46 dan 50 menit. Uji aktivitas antioksidan diuji dengan metode DPPH dan ABTS. Uji aktivitas antibakteri dilakukan secara *in vitro* menggunakan bakteri *Staphylococcus aureus*. Senyawa yang terkandung di dalam hasil kromatogram dari 6 variasi waktu injeksi, senyawa yang berpotensi sebagai antioksidan adalah *Limonen*, *isopulegol*, *citral*, *Citronellal*, *Citronellyl isobutyrate*, *Geranyl acetate*, *Caryophyllene*, *Germacrene D* dan *Naphthalene*. Senyawa-senyawa tersebut dapat menangkal radikal bebas. Senyawa yang memiliki potensi antibakteri adalah *Citronellol*, *Geraniol*, *Citronellyl isobutyrate*, *Geranyl acetate*, *Caryophyllene*, *Germacrene D* dan *Naphthalene*. Senyawa-senyawa tersebut dapat menghambat pertumbuhan bakteri. Berdasarkan 6 variasi waktu run maka diperoleh waktu injeksi optimum pada waktu 46 menit dikarenakan pada waktu tersebut kromatogram minyak atsiri batang sereh wangi memperlihatkan peak yang terbaik karena peak nya tidak terlalu berhimpitan sehingga tidak hancur. Minyak batang sereng wangi memiliki kategori aktivitas antioksidan sangat kuat baik dengan metode DPPH maupun ABTS karena nilai IC₅₀ minyak batang sereng wangi sebesar 9,96 ppm dengan metode DPPH dan 17,38 ppm dengan metode ABTS. Minyak batang sereng wangi memiliki kategori aktivitas antibakteri lemah terhadap bakteri *Staphylococcus aureus*.

Kata Kunci: Batang sereh wangi, GCMS, antioksidan, antibakteri.

I. PENDAHULUAN

Sebagian besar minyak serai yang diproduksi secara global berasal dari Indonesia. Indonesia memiliki potensi besar untuk menjadi pemimpin dunia dalam produksi minyak atsiri karena iklim tropisnya dan kelimpahan spesies penghasil minyak atsiri. Empat puluh dari delapan puluh spesies tanaman aromatik yang diperdagangkan untuk minyak atsirinya berasal dari Indonesia. Minyak atsiri telah menunjukkan pertumbuhan permintaan tahunan yang konsisten. Karena potensinya untuk produksi yang menguntungkan baik untuk konsumsi lokal maupun ekspor bernilai tinggi, minyak atsiri baru-baru ini menarik banyak perhatian dari pemerintah Indonesia. Hal ini terutama benar mengingat statusnya sebagai komoditas utama di sektor pertanian. Harga jual 100 mililiter minyak serai sekarang cukup mahal, mencapai hingga Rp 250.000 [1].

Citronella (*Cymbopogon nardus* L.) adalah tanaman aromatik yang mengandung antioksidan dan minyak esensial utamanya diekstrak dari batangnya. Tanaman citronella memiliki kemampuan untuk menghasilkan minyak aromatik. Umumnya dikenal sebagai Java Citronella, tanaman ini merupakan anggota famili Graminae dari tumbuhan rumput. Batang dan daun tanaman merupakan

sumber minyak esensial citronella, yaitu metabolit sekunder [2].

Komposisi kimia minyak esensial serai dapat ditentukan melalui GC-MS. Komponen kimia utama minyak serai adalah sitronelal, sitronelol, dan geraniol. Nilai ekonomi minyak serai meningkat berkat produksi turunan kimia dari komponen-komponen esensial ini. Nilai ekonomi yang tinggi ini dijamin melalui pengujian dan hasil yang terstandarisasi [3]. Berdasarkan output penelitian [4] komponen utama minyak atsiri serai wangi dengan GCMS, berkadar sitronelal 36,11% pada retensi 18,803 menit, geraniol 20,07% pada retensi 22,072 menit, dan sitronelol 10,82% pada retensi 21,286 menit.

Analisis senyawa kimia minyak atsiri membutuhkan teknik yang dapat secara tepat mengisolasi dan mengidentifikasi komponen volatil. Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) adalah teknik yang populer. Spektrometri massa dapat menentukan struktur zat dengan menganalisis pola fragmentasi ion, dan kromatografi gas dapat memisahkan senyawa berdasarkan volatilitas dan polaritasnya; kedua teknik ini digabungkan dengan cara ini. Minyak atsiri mencakup berbagai macam metabolit sekunder dengan aktivitas biologis yang

berbeda, termasuk monoterpen, sesquiterpen, alkohol, aldehida, ester, dan hidrokarbon aromatik; oleh karena itu, analisis GC-MS dari minyak ini sangat penting [5].

Identifikasi senyawa dalam analisis minyak atsiri bergantung pada kualitas kromatogram yang dihasilkan. Resolusi tinggi dan puncak yang jelas serta terpisah dengan baik merupakan ciri khas kromatogram berkualitas tinggi. Derau, pelebaran puncak, dan puncak yang tumpang tindih adalah masalah umum dalam analisis GC-MS yang dapat mempersulit interpretasi data. Beberapa bahan kimia sulit dikenali dalam kondisi ini, yang menyebabkan temuan analitis yang salah. Parameter pengoperasian instrumen, seperti waktu *run* GC-MS, seringkali memengaruhi masalah ini [5].

Total waktu yang dibutuhkan kolom kromatografi untuk memisahkan senyawa hingga detektor mendeteksi semua komponen disebut waktu berjalan (*run time*). Jika durasi berjalan terlalu singkat, komponen yang tidak terelusi sepenuhnya, seperti bahan kimia dengan titik didih tinggi, mungkin tidak teridentifikasi. Selain itu, tumpang tindih puncak akibat pemisahan senyawa yang tidak efisien lebih mungkin terjadi dengan durasi berjalan yang tidak memadai. Di sisi lain, pelebaran puncak dapat menyebabkan senyawa tertentu kehilangan sensitivitas jika dijalankan terlalu lama, yang pada gilirannya

meningkatkan konsumsi energi dan menyebabkan analisis yang boros. Akibatnya, untuk mendapatkan kromatogram terbaik dengan resolusi terbaik diperlukan pengoptimalan durasi berjalan [5].

Karena beragamnya karakteristik kimia yang terdapat dalam sampel minyak atsiri, durasi analisis GC-MS perlu dimaksimalkan di bidang ini. Faktor-faktor seperti spesies tumbuhan, komponen tumbuhan yang digunakan, proses ekstraksi, dan kondisi pertumbuhan dapat memengaruhi komposisi kimia minyak atsiri. Oleh karena itu, kondisi analitik yang bekerja dengan baik untuk satu jenis minyak atsiri mungkin tidak optimal untuk jenis minyak atsiri lainnya. Durasi analisis yang tepat sangat penting untuk mengidentifikasi secara akurat senyawa bioaktif dalam minyak atsiri. Hal ini akan membantu kita memahami kemungkinan aksi biologisnya, seperti kemampuan antibakteri dan antioksidan [5].

Di antara senyawa kimia volatil yang ditemukan dalam minyak atsiri serai (*Cymbopogon nardus*) adalah citronellal, geraniol, dan sitronelol, yang semuanya mungkin memiliki efek antioksidan dan antibakteri. Karena senyawa-senyawa ini tidak semuanya mudah menguap, menemukan kondisi pemisahan GC-MS yang tepat sangat penting untuk identifikasi yang akurat. Karena alasan ini, studi yang bertujuan untuk

meningkatkan kromatogram, akurasi identifikasi kimia, dan pengembangan minyak atsiri sebagai konstituen alami dalam industri farmasi dan kesehatan harus memprioritaskan studi yang mengoptimalkan durasi analisis GC-MS pada minyak atsiri serai [5].

Karena mengandung elektron yang tidak berpasangan, radikal bebas adalah zat kimia yang sangat reaktif yang dapat merusak zat-zat penting termasuk DNA, lipid, dan protein. Kerusakan sel dan sejumlah gangguan degeneratif termasuk kanker, diabetes, penyakit kardiovaskular, stroke, dan katarak dapat disebabkan oleh kelebihan radikal bebas dalam tubuh. Oleh karena itu, antioksidan sangat penting untuk menetralkan radikal bebas. Untuk mencegah kerusakan sel dalam tubuh, antioksidan memblokir proses oksidasi. Beberapa contoh antioksidan alami termasuk beta-karoten, vitamin C, vitamin E, dan flavonoid [6].

Minyak esensial memiliki dampak antimikroba karena menghambat produksi membran sel. Minyak esensial memiliki gugus fungsi hidroksil dan karbonil, yang memberikan karakteristik antibakteri. Menggunakan data yang dikumpulkan oleh [7], menurut temuan tersebut, minyak esensial yang diekstrak dari serai memiliki sifat antimikroba, seperti sitronelal, geraniol, dan sitronelol. Sederhananya, antibakteri adalah senyawa yang diproduksi oleh beberapa

organisme yang dapat menghentikan perkembangbiakan mikroba lain.

Berdasarkan latar belakang di atas dikerjakan penelitian mengenai optimalisasi kromatogram minyak atsiri batang sereh wangi secara *in vitro* bermetode GC-MS berpotensi sebagai agen antioksidan alami dan antibakteri. Keterbaruan penelitian ini berada pada optimalisasi kromatogram bermetode GC-MS menggunakan 6 variasi lamanya waktu injeksi, uji aktivitas antioksidannya menggunakan dua metode yaitu DPPH dan ABTS serta uji aktivitas antibakterinya terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* menggunakan 5 variasi konsentrasi larutan uji.

II. METODOLOGI

2.1. Bahan Penelitian

Batang Sereh Wangi dari tabanan, Na₂SO₄ anhidrat pro analisis, 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil pro analisis, asam askorbat pro analisis, methanol pro analisis, aquadest one med, etanol pro analisis, DMSO 100% pro analisis, alumunium foil, 2,2- azinobis-3-Ethylbenzothiazoline-6-Sulfonic Acid pro analisis, Trolox pro analisis, bakteri *Staphylococcus aureus*, Amoxicilin, DMSO pro analisis, kultur bakteri dan NaCl fisiologis 0,9% pro analisis.

2.2. Alat Penelitian

GC-MS merk agilent 59778 GC/MSD, destilasi uap, Reservoir merk penguin, mikropipet 1000 μ L dan 100 μ L merk dragon med, vortex Hwashin 250VM, sentrifus EBA 200 MERK HETTICH, multichannel pipettor 200 μ L merk dragon med, microplate reader FlexA-200 Allsheng, media MHA, Cotton bud, kertas cakram merk HiMedia dan cawan petri merk pyrex.

2.3. Prosedur Penelitian

2.3.1. Penyiapan Sampel

Tanaman yang digunakan sebagai zat aktif dalam sampel pada penelitian ini yaitu tanaman sereh wangi yang diambil di daerah Megati, Kecamatan Selemadeg Timur, Kabupaten Tabanan. Tanaman sereh yang telah dipanen, disortasi serta dicuci air mengalir guna penghilangan kotoran yang menempel pada sampel. Sampel yang basah ditiriskan hingga kering, kemudian sampel di potong kecil-kecil. Pengerjaan ini dikerjakan di daerah Megati, Kecamatan Selemadeg Timur, Kabupaten Tabanan.

2.3.2. Pembuatan Minyak Atsiri

Pembuatan minyak atsiri batang sereh wangi menggunakan metode destilasi uap. Batang sereh wangi segar yang sebelumnya telah dibersihkan dipotong kecil-kecil, kemudian dimasukkan ke dalam ketel sampel

bagian atas, pemanas dihidupkan nyala penuh, lalu paska muncul uap air, pemanas dikecilkan hingga nyala sedang. Minyak atsiri di uap air ditransfer lewat pendingin. Hasil dari destilasi ditambahkan Na_2SO_4 anhidrat untuk memisahkan minyak dengan air yang masih tercampur. Minyak atsiri ini dibuat di daerah Megati, Kecamatan Selemadeg Timur, Kabupaten Tabanan.

2.3.3. Optimalisasi Kromatogram Minyak Atsiri Batang Sereh Wangi dengan Metode GC-MS

Optimalisasi kromatogram minyak atsiri batang sereh wangi menggunakan metode GC-MS dilakukan lewat 6 variasi lamanya waktu injeksi, yaitu: 21, 39, 40, 42, 46 dan 50 menit. Analisis minyak atsiri batang sereh wangi dilakukan menggunakan instrumen GC-MS dengan kolom kapiler HP-5MS (30 m $\times$ 0,25 mm $\times$ 0,25 μ m). Gas pembawa yang digunakan adalah helium dengan laju alir 1,0 mL/menit. Sampel diinjeksi sebanyak 1 μ L menggunakan mode split 1:10 pada suhu injektor 250°C. Program suhu oven dimulai dari 60°C dan dinaikkan secara bertahap hingga 250°C. Identifikasi senyawa dilakukan berdasarkan spektrum massa menggunakan database NIST [8].

2.3.4. Uji Aktivitas Antioksidan Minyak Atsiri Batang Sereh Wangi Bermetode DPPH

Pertama-tama, dilakukan *Plate map* (skema pengujian). Dimulai dari konsentrasi tertinggi dan berlanjut ke konsentrasi terendah, 80 μL larutan sampel dan standar dipipet ke dalam pelat 96 well. 3 well diisi dengan masing-masing konsentrasi (Triplo). Untuk blanko media, yang mencakup 80 μL pelarut dan 80 μL larutan DPPH 0,1 mM, 3 well dibiarkan kosong. Sesuai kebutuhan, larutan DPPH 0,1 mM dipindahkan ke wadah polipropilen. Menggunakan pipet multichannel, 80 μL larutan DPPH 0,1 mM ditambahkan ke well plate yang berisi standar asam askorbat dan sampel. Catatan: Lingkungan gelap digunakan untuk memasukkan larutan. Setelah menutupi microplate dengan aluminium foil, microplate diinkubasi selama 30 menit pada suhu 25°C dalam lingkungan gelap. Kombinasi larutan diukur pada pembaca *microplate* dengan panjang gelombang 492 nm selama 30 detik menggunakan media vibration shake medium setelah 30 menit [9].

2.3.5. Uji Aktivitas Antioksidan Minyak Atsiri Batang Sereh Wangi Bermetode ABTS

Untuk menentukan absorbansi larutan ABTS sebagai kontrol, digunakan pelat 96

sumur, dan 300 μL larutan kerja (larutan ABTS + etanol) dipipet ke setiap sumur. Absorbansi diukur pada 630 nm. Dimulai dari konsentrasi tertinggi dan berlanjut ke bawah, 10 μL dari setiap larutan kontrol kosong, sampel, dan trolox standar dipipet ke 96 *well plate*. 3 well (Triplo) digunakan untuk setiap konsentrasi. Untuk mengisi reservoir sesuai kebutuhan, larutan kerja ABTS dengan absorbansi 0,7 dipindahkan ke sana. *Well plate*, yang sudah berisi standar trolox, blanko, dan sampel biasa, kemudian diisi dengan 290 μL larutan menggunakan multichannel pipet. Diperhatikan bahwa larutan ditambahkan dalam lingkungan gelap. Sekadar pengingat: blanko adalah kombinasi pelarut dan larutan ABTS. Setelah *well plate* ditutup dengan aluminium foil, dibiarkan berinkubasi pada suhu kamar (dalam kondisi gelap) selama 6 menit. Setelah periode inkubasi 6 menit, kombinasi larutan tersebut dikenai uji *fibration* shake medium. selama 30 detik menggunakan *microplate reader* yang beroperasi pada 630 nm [10].

2.3.6. Analisis Kurva Regresi Hasil Uji Antioksidan Bermetode DPPH dan ABTS

Template dibuat untuk melakukan pemrosesan data pada file data mentah asli yang diintegrasikan ke dalam *microplate reader* (biasanya dibuat langsung di bawah

data mentah asli). Data serapan (standar, sampel, blanko) pada kolom data dipindahkan ke template serapan sesuai konsentrasi yang dibuat. Kurva regresi dibuat untuk standar dengan $R \geq 0,95$. % Penghambatan dihitung menggunakan rumus 1 [10].

Rata-rata % nilai penghambatan dan nilai standar deviasi dihitung. Kurva regresi sampel dibuat. Nilai IC50 ditentukan dengan rumus 2 dan 3 [10].

$$\% \text{Inhibisi} = \frac{(\text{Absorbansi Blanko} - \text{Absorbansi Sampel})}{\text{Absorbansi Blanko}} \times 100, (1)$$

IC50 untuk standar:

$$\text{IC50} = \frac{(50 - \text{Intersep Standar})}{\text{Slope Standar}}, (2)$$

IC50 untuk sampel:

$$\text{IC50} = \frac{(50 - \text{Intersep Sampel})}{\text{Slope Sampel}}, (3)$$

2.3.7. Uji Aktivitas Antibakteri Minyak Atsiri Batang Sereh Wangi

Dalam 3 percobaan terpisah, teknik difusi cakram digunakan untuk menilai aktivitas antibakteri minyak esensial batang serai. Kultur bakteri dilarutkan dalam larutan NaCl 0,9% dan kekeruhannya disesuaikan menggunakan McFarland 0,5 untuk menghasilkan suspensi *Staphylococcus aureus*. Setelah itu, 500 µL campuran dipindahkan ke cawan petri yang sudah berisi media MHA padat. Kapas digunakan untuk meratakan media. Langkah selanjutnya adalah mencelupkan cakram kertas ke dalam larutan uji pada konsentrasi 5, 10, 15, 25, dan 50%w/v. Kontrol positif Amoksisilin 50

mg/ml dan kontrol negatif DMSO digunakan dalam penelitian ini. Setelah 24 jam pada suhu 37°C, cawan petri dikeluarkan, untuk mengukur zona transparan yang terbentuk di sekitar cakram kertas setelah inkubasi menggunakan jangka sorong. Tiga percobaan independen dilakukan untuk menentukan zona inhibisi pertumbuhan bakteri [11].

III. Hasil dan Pembahasan

Karena distilasi uap lebih efisien, menggunakan lebih sedikit air, dan mencegah minyak bersentuhan langsung dengan air mendidih, metode ini dipilih untuk mengekstrak minyak esensial serai wangi dalam penelitian ini. Karena jumlah dan

kualitas minyak yang diekstrak dipengaruhi oleh durasi ekstraksi, prosedur dilakukan pada suhu 100°C selama 4 jam untuk mendapatkan hasil terbaik. Hasil yang rendah merupakan konsekuensi dari durasi yang terlalu singkat, sedangkan degradasi atau pembentukan bahan kimia yang tidak diinginkan menurunkan kualitas minyak jika waktunya terlalu lama. Oleh karena itu, mendapatkan hasil maksimal dari ekstraksi minyak esensial Anda adalah tentang menemukan titik keseimbangan yang tepat antara kualitas dan produksi [12].

Faktor-faktor seperti cuaca, kualitas tanah, umur tanaman, dan teknik distilasi memengaruhi hasil minyak atsiri dari daun

serai. Jumlah dan kualitas minyak yang diekstrak ditentukan oleh semua elemen ini secara bersamaan. Minyak atsiri yang dihasilkan sebanyak 4 liter pada konsentrasi 1% diperoleh dari distilasi 400 kg daun serai. Hasil yang dibutuhkan untuk minyak atsiri, menurut nomor SNI 3953 tahun 2019, adalah 0,97-1,2. Banyak variabel yang memengaruhi jumlah minyak atsiri yang dapat diekstrak dari daun serai. Ini termasuk cuaca, kesuburan tanah, umur tanaman, dan jenis distilasi yang digunakan. Jumlah dan kualitas minyak yang diekstrak dipengaruhi oleh semua faktor ini ketika digabungkan [13].

Tabel 1. Senyawa metabolit sekunder pada minyak atsiri sereh wangi yang berpotensi sebagai antioksidan dan antibakteri.

Senyawa	Potensi
Citronellol	antibakteri
Geraniol	antibakteri
Linalool	antibakteri
Limonen	antioksidan
Isopulegol	antioksidan
Citral	antioksidan
Citronellal	antioksidan
Citronellyl isobutyrate	Antibakteri dan antioksidan
Geranyl acetate	Antibakteri dan antioksidan
Caryophyllene	Antibakteri dan antioksidan
Germacrene D	Antibakteri dan antioksidan

Berdasarkan hasil pada Tabel 1, senyawa yang teridentifikasi dari kromatogram pada enam variasi waktu injeksi menunjukkan adanya beberapa komponen yang berpotensi sebagai antioksidan, yaitu *limonen*, *isopulegol*, *citral*, *citronellal*, *citronellyl isobutyrate*, *geranyl acetate*, *caryophyllene*, dan *germacrene D*. Senyawa-senyawa tersebut diketahui memiliki kemampuan dalam menangkal radikal bebas. Selain itu, senyawa yang berpotensi sebagai antibakteri meliputi *citronellol*, *geraniol*, *citronellyl isobutyrate*, *geranyl acetate*, *caryophyllene*, dan *germacrene D*. Komponen tersebut diduga dapat menghambat pertumbuhan bakteri melalui berbagai mekanisme, seperti merusak membran sel dan mengganggu aktivitas metabolisme bakteri [9].

Minyak atsiri serai dianalisis menggunakan GC-MS untuk mengidentifikasi dan mengukur komponennya. Teknik ini memungkinkan untuk membedakan antara komponen kualitatif dan kuantitatif minyak atsiri. GC-MS menggabungkan dua metode analisis: Kromatografi Gas (GC), yang memisahkan berbagai komponen dalam campuran sampel, dan Spektrometri Massa (MS), yang mendeteksi dan mengidentifikasi setiap senyawa yang dipisahkan. Keluaran dari kromatografi gas dikenal sebagai kromatogram, sedangkan hasil spektrometri

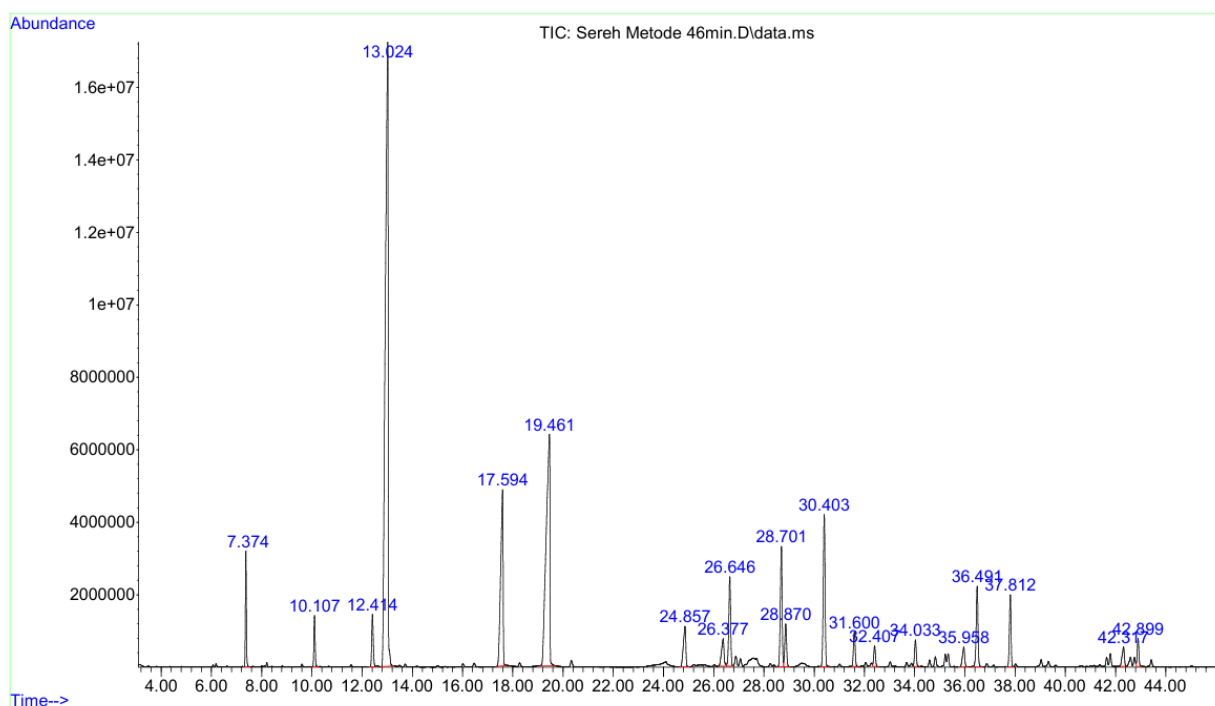
massa untuk setiap senyawa direpresentasikan sebagai spektrum [14].

Kromatogram yang dihasilkan oleh kromatografi gas menunjukkan kuantitas suatu komponen kimia relatif terhadap total ion yang dihasilkan, dengan jumlah dan intensitas puncak sebagai indikator. Luas puncak pada kromatogram bertambah seiring dengan peningkatan konsentrasi komponen tertentu dalam campuran karena lebih banyak ion yang dihasilkan. Di sisi lain, puncak yang lebih kecil akan terlihat untuk komponen yang hadir dalam persentase yang lebih rendah [14].

Dengan mempelajari pola massa dan fragmentasi molekul gas terionisasi, spektrometri massa mampu mengidentifikasinya. Teknik ini memisahkan komponen sampel berdasarkan rasio massa terhadap muatan (m/e) setelah mengubahnya menjadi ion dalam fase gas. Ion molekuler atau spesies ionik terfragmentasi terbentuk ketika berkas elektron mengenai sampel, yang merupakan langkah pertama dalam proses tersebut. Untuk mengidentifikasi dan mengkarakterisasi bahan kimia yang ada secara akurat, partikel bermuatan dipisahkan berdasarkan massanya. Setelah perekaman, spektrum massa dihasilkan, yang memberikan detail komprehensif tentang susunan kimia sampel [14].

Untuk memastikan deteksi yang tepat dari setiap komponen minyak atsiri, perlu untuk mengoptimalkan durasi injeksi dalam analisis GC-MS guna mencapai kondisi optimal untuk pemisahan senyawa. Minyak atsiri batang serai (*Cymbopogon nardus*) memiliki komposisi kimia yang kompleks, yang jika durasi analisis tidak dioptimalkan, dapat menyebabkan puncak kromatogram tumpang tindih. Kondisi optimal ditentukan sebagai waktu injeksi 46 menit berdasarkan kualitas resolusi kromatogram. Puncak yang muncul sekarang lebih jelas, simetris, dan tidak tumpang tindih karena pemisahan antar senyawa lebih menyeluruh. Ketika ini terjadi, artinya kolom GC telah mengelusi semua

senyawa hingga potensi maksimumnya, tanpa ko-elusi, yang meningkatkan akurasi identifikasi spektrum massa. Menurut prinsip ilmiah, jika periode injeksi terlalu singkat, senyawa mungkin tidak sepenuhnya terpisah, menyebabkan puncak tumpang tindih dan data spektral yang ambigu. Di sisi lain, melakukan analisis dalam jangka waktu yang terlalu lama dapat mengurangi efisiensi daripada meningkatkan kualitas pemisahan. Oleh karena itu, kromatogram yang dihasilkan adalah yang paling ideal karena 46 menit memberikan keseimbangan optimal antara resolusi puncak dan efisiensi waktu analisis [14].



Gambar 1. Kromatogram optimum pada waktu injeksi 46 menit.

Berdasarkan kromatogram Gambar 1 terkandung 20 senyawa pada minyak atsiri batang sereh wangi, puncak tertinggi pada waktu retensi 13,023 dengan % area sebesar 37,42. puncak tersebut adalah senyawa citronellal yang berpotensi sebagai antioksidan. 20 senyawa yang terkandung di dalam kromatogram pada waktu injeksi 46 menit dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2 terdapat 5 senyawa yang memiliki % area tertinggi yaitu *Citronellal*, *Geraniol*, *Citronellol*, *Caryophyllene* dan *Geranyl acetate* yang memiliki potensi sebagai antioksidan dan antibakteri.

Kurva regresi linier standar asam askorbat dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan hasil di atas maka asam askorbat yang digunakan sebagai standar memiliki nilai IC₅₀ 4,46 ppm yang artinya memiliki kategori aktivitas antioksidan sangat kuat. Klasifikasi IC₅₀: jika kurang dari 50 ppm maka kategori aktivitas antioksidan yaitu sangat kuat, 50-100 kategori aktivitas antioksidan yaitu kuat, 100-250 ppm kategori aktivitas antioksidan yaitu sedang, 250-500 kategori aktivitas antioksidan yaitu lemah dan lebih besar dari 500 kategori aktivitas antioksidan yaitu sangat lemah [15]. Minyak batang sereh wangi memiliki IC₅₀ 9,96 yang artinya memiliki kategori aktivitas antioksidan sangat

kuat. Minyak atsiri batang sereh wangi dapat sangat kuat meredam radikal bebas DPPH karena di dalam minyak atsiri batang sereh wangi terkandung senyawa *Limonen*, *isopulegol*, *citral*, *Citroneral*, *Citronellyl isobutyrate*, *Geranyl acetate*, *Caryophyllene*, *Germacrene D*. Senyawa *Citroneral* paling dominan sebagai antioksidan dari hasil kromatogram GCMS pada waktu injeksi optimum 46 menit. *Citronellal* merupakan komponen utama minyak *citronella*, dengan rumus molekul C₁₀H₁₈O. Senyawa ini juga terdapat dalam minyak atsiri lainnya, seperti minyak lemon, serai, dan melissa. Sebagai aldehida tak jenuh, *citronellal* mengandung satu karbon asimetris (kiral) pada posisi karbon ketiga, sehingga menghasilkan dua bentuk stereoisomerik: (*R*)-*citronellal* dan (*S*)-*citronellal*. Nilai ekonomis *citronellal* dapat ditingkatkan dengan mengubahnya menjadi senyawa lain yang bernilai, seperti isopulegol. Isopulegol (C₁₀H₂₀O) banyak digunakan dalam industri produksi mentol karena aroma dan rasa dinginnya yang khas. Salah satu metode untuk mengubah citronellal menjadi isopulegol melibatkan reaksi siklisasi, yang memfasilitasi transformasi struktural yang diperlukan untuk aplikasi industrinya [14].

Tabel 2. Senyawa yang terkandung di dalam minyak atsiri batang sereh wangi pada waktu injeksi 46 menit.

Waktu retensi	%Area	Nama Senyawa
7.374	2.43	<i>Limonene</i>
10.107	1.34	<i>Linalool</i>
12.414	1.67	<i>Isopulegol</i>
13.024	37.42	<i>Citronellal</i>
17.594	8.88	<i>Citronellol</i>
19.461	17.97	<i>Geraniol</i>
24.857	2.09	<i>Cyclohexanemethanol</i>
26.377	1.47	<i>(1Alpha,3beta,4beta)-p-menthane-3,8-diol</i>
26.646	3.39	<i>Citronellyl isobutyrate</i>
28.701	4.57	<i>Geranyl acetate</i>
28.870	1.65	<i>Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2,4-bis(1-methylethenyl)-, [1S-(1.alpha.,2.beta.,4.beta.)]</i>
30.403	5.82	<i>Caryophyllene</i>
31.600	1.27	<i>trans-.alpha.-Bergamotene</i>
32.407	0.75	<i>Humulene</i>
34.033	0.94	<i>Germacrene D</i>
35.958	0.93	<i>(3S,3aR,3bR,4S,7R,7aR)-4-Isopropyl-3,7-dimethyloctahydro-1H-cyclopenta[1,3]cyclopropa[1,2]benzene-3-ol</i>
36.491	3.05	<i>1-Isopropyl-4,7-dimethyl-1,2,3,5,6,8a-hexahydronaphthalene</i>
37.812	2.47	<i>Cyclohexanemethanol, 4-ethenyl-.alpha.,.alpha.,4-trimethyl-3-(1-methylethenyl)-, [1R-(1.alpha.,3.alpha.,4.beta.)]</i>
42.317	0.91	<i>tau.-Muurolol</i>
42.899	0.97	<i>alpha.-Cadinol</i>

Limonene adalah senyawa kimia lain yang dapat ditemukan dalam minyak esensial serai. Dua isomer optik, D-limonene dan L-limonene, terdapat dalam cairan tak berwarna

ini. Limonene, yang berasal dari pohon jeruk, memiliki sejarah panjang penggunaan dalam pengobatan tradisional karena karakteristik terapeutiknya. Kemampuannya yang diklaim

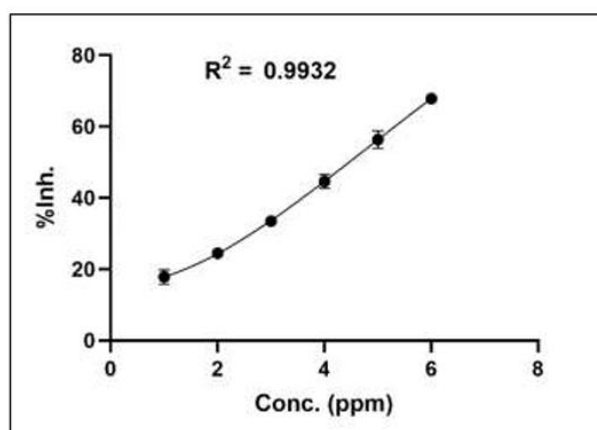
dapat melarutkan kolesterol dan menetralkan asam lambung merupakan sumber kegunaan terapeutiknya. Telah ditunjukkan bahwa limonene dapat melarutkan kolesterol batu empedu. Limonene juga membantu mengatasi mulas dan penyakit refluks gastroesofageal (GERD). Potensinya sebagai obat kemopreventif, yang dapat menghambat perkembangan sel kanker tertentu, juga telah dibuktikan oleh penelitian. Dengan efek antiinflamasi, antioksidan, antinositif, antikanker, antidiabetes, antihiperalgesik, antivirus, dan gastroprotektifnya, limonene adalah senyawa kimia yang baik untuk kesehatan dan pengobatan [16].

Untuk melindungi sel epitel lensa dari stres oksidatif dan kematian, limonene menghambat caspase-3 dan caspase-9, menjadikannya antioksidan yang ampuh. Selain itu, dengan menurunkan aktivitas ROS dan memblokir oksidasi LDL, ia melindungi dari kerusakan sitotoksik. Karena karakteristik antioksidannya, limonene membantu menurunkan peroksidasi lipid, meningkatkan kadar glutathione, dan membuat enzim antioksidan bekerja lebih baik. Untuk perlindungan lebih lanjut terhadap stres oksidatif, senyawa kimia ini membantu mengatur produksi protein

keluarga Bcl-2. Protein ini penting untuk mengatur potensial membran mitokondria dan menurunkan aktivasi caspase [16].

Metode DPPH bekerja pada sampel padat dan cair, tetapi tidak secara spesifik menargetkan molekul antioksidan tertentu. Lebih tepatnya, metode ini mengevaluasi kemampuan antioksidan keseluruhan sampel dengan mengukur interaksi donasi atom hidrogen antara DPPH dan molekul antioksidan. Antioksidan bereaksi dengan DPPH, seperti yang terlihat pada Gambar 3.

Metode DPPH bergantung pada siklus oksidasi-reduksi dan menggunakan DPPH, radikal bebas sintetis yang larut dalam pelarut polar seperti etanol dan metanol. Pendekatan ini secara nyata mengubah warna sampel dan mengevaluasi kemampuan antioksidan untuk menetralkan radikal bebas dengan menyumbangkan atom hidrogen. Dengan menyumbangkan atom hidrogen, bahan kimia antioksidan mengurangi karakteristik radikal DPPH dengan memungkinkannya mengalami reduksi dan memperoleh pasangan elektron [17].



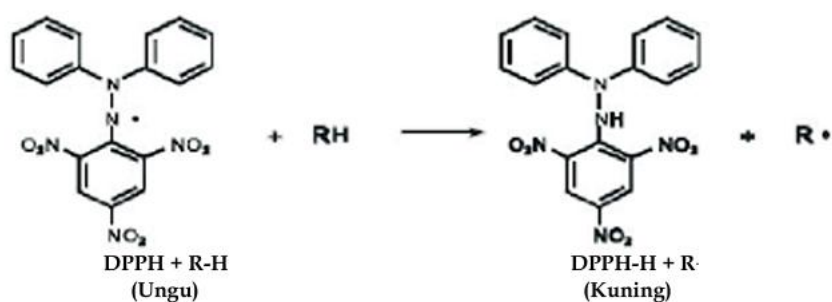
Gambar 2. Kurva regresi linier standar asam askorbat.

Tabel 3. Nilai IC₅₀ standar asam askorbat.

Konsentrasi (ppm)	%inhibition	IC ₅₀ (ppm)
6,00	67,84 ± 1,34	4,46
5,00	56,40 ± 2,49	
4,00	44,63 ± 1,90	
3,00	33,48 ± 1,34	
2,00	24,51 ± 1,22	
1,00	17,81 ± 2,00	

Tabel 4. Nilai IC₅₀ sampel minyak atsiri batang sereh wangi dengan metode DPPH.

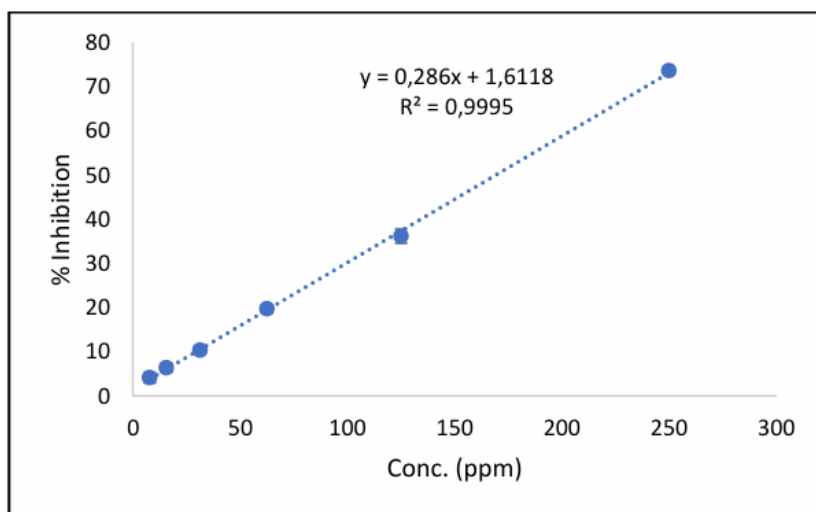
Konsentrasi (ppm)	%inhibition	IC ₅₀ (ppm)
25,00	64,59 ± 1,92	9,96
12,50	55,15 ± 2,31	
6,25	38,90 ± 0,50	
3,13	26,95 ± 1,75	
1,56	17,96 ± 0,52	



Gambar 3. Reaksi DPPH dengan Antioksidan.

Aktivitas antioksidan minyak esensial serai ditunjukkan oleh perubahan warna dari ungu menjadi kuning ketika radikal DPPH direduksi dan diubah menjadi bentuk stabil DPPH-H oleh senyawa antioksidan. Untuk menentukan jumlah aktivitas antioksidan dalam sampel teh hitam, spektrofotometer

UV-Visible dapat digunakan untuk mengukur intensitas perubahan warna DPPH. Peningkatan aktivitas antioksidan ditunjukkan oleh penurunan DPPH yang lebih besar, yang diukur dengan penurunan absorbansi [17].



Gambar 4. Kurva regresi linier standar trolox.

Kurva regresi linier standar trolox dapat dilihat pada Gambar 4. Minyak batang serih wangi dengan metode ABTS memiliki IC₅₀ 17,38 ppm yang artinya memiliki kategori aktivitas antioksidan sangat kuat.

Minyak atsiri batang serih wangi dapat sangat kuat meredam radikal bebas ABTS karena didalam minyak atsiri batang serih wangi terkandung senyawa *Limonen*, *isopulegol*, *citral*, *Citroneral*, *Citronellyl isobutyrate*,

Geranyl acetate, Caryophyllene, Germacrene

D. Senyawa Citroneral paling dominan sebagai antioksidan dari hasil kromatogram GCMS pada waktu injeksi optimum 46 menit.

Metode ABTS menilai kapasitas antioksidan dengan mengukur pemudaran warna. Radikal kation ABTS berwarna biru-hijau direduksi oleh antioksidan menjadi bentuk yang tidak berwarna dan bukan radikal, yang menunjukkan keberhasilan netralisasi [18]. Kapasitas antioksidan untuk mengurangi ABTS diukur menggunakan spektrofotometri pada 734 nm, dimana penurunan absorbansi menandakan aktivitas antioksidan yang lebih kuat [18].

Baik metode DPPH maupun ABTS memiliki kelebihan masing-masing. Metode ABTS memiliki kemampuan adaptasi yang membuatnya berguna dalam berbagai konteks, termasuk sistem organik dan berbasis air. Metode ini bekerja dengan baik pada rentang pH yang luas dan memiliki waktu reaksi yang lebih cepat, sehingga ideal untuk banyak evaluasi antioksidan. Metode ABTS cukup sensitif terhadap cahaya, oleh karena itu membutuhkan periode inkubasi yang lama, yaitu 12-16 jam dalam kondisi gelap, untuk menjaga akurasi [19].

Tabel 5. Nilai IC₅₀ standar trolox.

Konsentrasi (ppm)	%inhibition	IC ₅₀ (ppm)
250,00	73,62 ± 0,86	169,20
125,00	36,19 ± 1,67	
62,50	19,73 ± 0,93	
31,25	10,36 ± 0,82	
15,63	6,39 ± 1,00	
7,81	4,13 ± 1,15	

Tabel 6. Nilai IC₅₀ sampel minyak atsiri batang sereh wangi dengan metode ABTS.

Konsentrasi (ppm)	%inhibition	IC ₅₀ (ppm)
40,00	71,91 ± 0,54	17,38
5,00	23,56 ± 0,77	
2,50	13,42 ± 0,59	
1,25	8,35 ± 0,33	
0,63	3,67 ± 0,47	

Kedua metode pengukuran antioksidan yang digunakan memiliki kelebihan dan keterbatasannya sendiri. Sebagai keuntungannya, Metode ABTS mudah digunakan dan dapat mendeteksi berbagai macam senyawa antioksidan (seperti fenol, asam amino, vitamin C, dan vitamin E) dalam komponen makanan. Menurut [20], Teknik ABTS memiliki beberapa manfaat, seperti larut dalam pelarut organik dan air, memiliki rentang pH aplikasi yang luas, dan berinteraksi dengan cepat dengan antioksidan. Namun, ada beberapa batasan juga dengan pendekatan ini. Perkiraan data yang berlebihan dapat terjadi dalam investigasi kinetik termasuk uji ABTS karena reaksi tak terduga yang disebabkan oleh interaksi senyawa dengan oksidan, enzim, dan kation radikal. Metode ini juga tidak dapat diterapkan pada biologi karena kation ABTS tidak ditemukan dalam makanan alami atau sistem biologis. Menurut [20] Sensitivitas yang lebih tinggi dan pengoperasian pada rentang pH yang luas adalah dua dari banyak manfaat teknologi ABTS yang mahal. Metode ABTS dianggap lebih baik daripada metode DPPH karena sensitivitasnya dan rentang pH operasinya yang lebih luas. Teknik DPPH, di sisi lain, lebih terpengaruh oleh perubahan pH asam. Teknik DPPH mudah dan cepat dilakukan, tetapi membutuhkan pengukuran absorbansi yang tepat, yang mungkin

merepotkan. Setelah DPPH berinteraksi dengan sampel, kadar antioksidan dapat menurun karena kondisi eksternal seperti pH, paparan cahaya, oksigen, dan jenis pelarut. Keandalan temuan dapat terpengaruh oleh hal ini. Karena awalan kerjanya yang lambat, antioksidan dan komponen alami lainnya tidak dapat dideteksi oleh uji DPPH secara terpisah. Menurut [16], Salah satu dari sekian banyak manfaat teknik DPPH adalah metode ini murah, mudah, dan cepat untuk mengukur kadar antioksidan. Sayangnya, radikal DPPH hanya dapat digunakan dalam sistem dengan pelarut organik, yang membatasi penggunaannya dalam sistem berbasis air [20].

Baik prosedur DPPH maupun ABTS bergantung pada pengurangan radikal bebas dan bahan kimia aktif redoks sebelum mengukur kapasitas antioksidan dengan spektrofotometri menggunakan standar yang sesuai. Menurut [21] Metode DPPH didasarkan pada siklus oksidasi-reduksi, di mana radikal bebas sintesis DPPH direduksi dalam pelarut polar seperti metanol dan etanol. Sebagai contoh kemampuan penangkapan radikal bebasnya, antioksidan menetralkan radikal bebas dalam sampel dengan menghancurkan radikal DPPH melalui transfer atom hidrogen atau donasi elektron. Metode ABTS, di sisi lain, mereduksi radikal kation ABTS dengan

mendonasikan proton, yang menyebabkan perubahan warna yang terlihat dari biru kehijauan menjadi tidak berwarna dan dengan demikian menilai kapasitas antioksidan untuk menstabilkan radikal bebas. Metode ini mendeteksi warna pada panjang gelombang tertentu dengan menggunakan radikal kation ABTS sebagai indikator. Ada manfaat dan kekurangan dalam menggunakan kedua metode DPPH dan ABTS. Manfaat metode DPPH meliputi sensitivitas tinggi, kecepatan, kemudahan penggunaan, dan kesederhanaan, bahkan untuk sampel dengan konsentrasi rendah. Fakta bahwa DPPH tidak larut dalam semua pelarut selain pelarut organik membatasi penggunaannya; hal ini menjadikannya alat yang tidak memadai untuk evaluasi senyawa hidrofilik. Jika dibandingkan dengan pendekatan DPPH, metode ABTS menawarkan sejumlah keuntungan, seperti waktu reaksi yang lebih cepat dan kemampuan untuk menyerap cahaya tampak secara spesifik. Karena bahan kimia ini larut dalam pelarut organik dan air, metode ini juga dapat mendeteksi apakah bahan kimia tersebut hidrofilik atau lipofilik. Namun, satu masalah besar adalah metode ini tidak mencerminkan cara tubuh secara teratur melawan radikal bebas. Akibatnya, metode ini lebih cocok untuk membandingkan hasil daripada untuk memberikan gambaran akurat tentang aktivitas antioksidan biologis tubuh.

Karena metode DPPH lebih akurat menurut sistem pertahanan tubuh terhadap radikal bebas, metode ini menjadi pilihan banyak peneliti ketika mempelajari aktivitas antioksidan. Karena secara konsisten mengevaluasi aktivitas penangkapan radikal bebas, pendekatan ini banyak digunakan dalam penelitian antioksidan [21].

Pada uji aktivitas antibakteri, Amoksisilin 50 mg/mL digunakan sebagai kontrol positif, sedangkan DMSO berperan sebagai kontrol negatif. Kontrol positif, Amoksisilin 50 mg/mL, menunjukkan zona hambat rata-rata $4,29 \pm 0,125$ mm sedangkan DMSO memiliki daya hambat 0. Daya hambat minyak atsiri batang sereh wangi pada 5 konsentrasi dapat dilihat pada Tabel 7.

Berdasarkan hasil pada Tabel 7, minyak atsiri batang sereh wangi menunjukkan daya hambat tertinggi terhadap *Staphylococcus aureus* pada konsentrasi 10%. Hal ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi tersebut, minyak atsiri mampu menghambat pertumbuhan bakteri. Namun, meskipun terdapat penghambatan, ukuran zona inhibisi pada seluruh konsentrasi yang diuji masih di bawah 5 mm, sehingga aktivitas antibakteri minyak batang sereh wangi tergolong lemah. Penyebab aktivitas antibakteri lemah salah satunya Kondisi lingkungan saat pengujian, seperti pH yang tidak sesuai, suhu yang salah, atau adanya bahan organik yang mengganggu

kerja senyawa aktif. Menurut [22], minyak atsiri serai wangi memiliki kemampuan untuk menghambat pertumbuhan *Staphylococcus aureus*. Penelitian lain [22] menunjukkan bahwa senyawa dominan dalam minyak serai wangi, seperti sitronelal, trans-geraniol, dan sitronelol, memiliki aktivitas antimikroba yang signifikan terhadap bakteri. Hasil

kromatogram pada penelitian ini mengidentifikasi beberapa senyawa dengan potensi antibakteri, yaitu *citronellol*, *geraniol*, *citronellyl isobutyrate*, *geranyl acetate*, *caryophyllene*, *germacrene D*, yang diduga berperan dalam penghambatan pertumbuhan bakteri.

Tabel 7. Daya Hambat Minyak atsiri batang serai wangi pada 5 konsentrasi.

	5% (mm)	10% (mm)	15% (mm)	25% (mm)	50% (mm)
Zona Hambat	0,06	0,84	0,21	0,20	0,66
Minyak atsiri	0,12	0,74	0,25	0,20	0,52
batang Serai wangi	0,15	0,74	0,11	0,20	0,53
	0,11±0,046	0,773333±0,058	0,19±0,072	0,2±0	0,57±0,078

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil penelitian ini, beberapa senyawa yang teridentifikasi dalam kromatogram GC-MS minyak atsiri batang serai wangi memiliki potensi bioaktif. Senyawa seperti limonen, isopulegol, citral, citronellal, citronellyl isobutyrate, geranyl acetate, caryophyllene, germacrene D menunjukkan aktivitas antioksidan yang kuat, yang berkontribusi dalam penangkalan radikal bebas. Sementara

itu, senyawa citronellol, geraniol, citronellyl isobutyrate, geranyl acetate, caryophyllene, germacrene D memiliki potensi antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus*, meskipun aktivitasnya tergolong lemah.

2. Optimalisasi waktu injeksi GC-MS menunjukkan bahwa durasi 46 menit memberikan kromatogram dengan resolusi puncak terbaik, di mana puncak senyawa tidak saling berhimpitan sehingga memudahkan identifikasi dan kuantifikasi senyawa bioaktif. Aktivitas

antioksidan minyak batang sereh wangi, baik melalui metode DPPH maupun ABTS, tergolong sangat kuat, menegaskan potensi minyak sebagai sumber antioksidan alami. Sebaliknya, aktivitas antibakterinya terbatas terhadap *S. aureus*, menunjukkan bahwa efektivitas minyak sebagai agen antimikroba mungkin bergantung pada jenis mikroba dan konsentrasi yang digunakan.

3. Keterbatasan penelitian ini mencakup fokus pada satu jenis bakteri sebagai uji antibakteri, sehingga hasilnya mungkin tidak mewakili spektrum antibakteri yang lebih luas. Selain itu, penelitian ini tidak mengevaluasi efek sinergis atau antagonis antar senyawa minyak atsiri yang dapat memengaruhi aktivitas bioaktifnya. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengeksplorasi mekanisme kerja antibakteri, pengaruh konsentrasi dan formulasi, serta uji terhadap berbagai jenis mikroorganisme untuk memperoleh gambaran lengkap potensi bioaktif minyak sereh wangi.

4.2. Saran

1. Perlu dilakukan pembenahan metode pada uji aktivitas antibakteri.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengujian ulang standar trolox

pada uji aktivitas antioksidan dengan Metode ABTS atau bisa menggunakan standar selain trolox.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Harianingsih, H., Wulandari, R., Harliyanto, C. and Andiani, C.N., Identifikasi GC-MS ekstrak minyak atsiri dari sereh wangi (*Cymbopogon winterianus*) menggunakan pelarut metanol, *Techno (Jurnal Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purwokerto)*, 18(1), pp.23-27, 2017.
- [2] Bimantio, M.P. and Wardoyo, A.D.H., Sensitivity and Feasibility Analysis of Citronella Oil Business, *SOCA: J. Sosial, Ekonomi Pertanian*, 14, pp.313-324, 2020.
- [3] Ruwindya, Y., Optimasi metode analisis minyak atsiri sereh wangi secara kromatografi gas, *Indonesian Journal of Chemical Analysis (IJCA)*, 2(2), pp.54-59, 2019.
- [4] Anggraeni, Y., Rahayu, D. E., & Asiyah, S., Efektivitas Metode Inhalasi Aromaterapi (Campuran Minyak Esensial Lavender dan Neroli) untuk Menurunkan Hipertensi dalam Kehamilan, *Global Health Science*, 2(2), pp.132-137, 2017.
- [5] Ramadhan, D. S., Warsito, Silvianti, R., Cahayo, M., & Azzahra, V. O.,

- Chemical composition and quality parameters of citronella (*Cymbopogon nardus*) essential oil based on GC–MS and physicochemical analysis, *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology (IJCST)*, 9(1), 150–157, 2026, <https://doi.org/10.24114/ijcst.v9i1.72493>.
- [6] Wicaksono, B., Pratimasari, D. and Lindawati, N.Y., Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Etanol, Fraksi Polar, Semi Polar dan Non Polar Bunga Telang (*Clitoria ternatea* L.) dengan Metode ABTS, *Jurnal Kesehatan Kartika*, 16(3), pp.88-94, 2021
- [7] Bota, W., Martosupono, M. and Rondonuwu, F.S., Potensi senyawa minyak sereh wangi (*Citronella* oil) dari tumbuhan *Cymbopogon nardus* L. sebagai agen antibakteri, *Prosiding Semnastek*, 2015.
- [8] Setiawan, D., & Pranata, A., Chemical composition analysis of citronella oil using GC-MS, *Indonesian Journal of Chemistry*, 22(4), 876–884, 2022.
- [9] Anu, O. S., Ahmed, S., Islam, M. T., Shah, V. K., & Rahman, M. A., Comparative investigation of free radical scavenging and cyclic voltammetric analyses to evaluate antioxidant potential of plant extracts, *Scientific Reports*, 15, 31919, 2025, <https://doi.org/10.1038/s41598-025-12731-y>.
- [10] Majewska, E., & Drużyńska, B., Validation of microplate-based antioxidant assays including ABTS and DPPH for high-throughput analysis of natural extracts, *Applied Sciences*, 15(20), 11234, 2025, <https://doi.org/10.3390/app152011234>.
- [11] Leki, K. G. B., Febrianto, Y., & Serang, Y., Evaluation of antibacterial activity of plant extracts using disk diffusion method against *Staphylococcus aureus* with McFarland standardization, *Jurnal Info Kesehatan*, 23(2), 1–10, 2025, <https://doi.org/10.31965/infokes.Vol23.Iss2.1743>.
- [12] Aini, N., & Tilaqza, A., Optimization of extraction conditions and evaluation of essential oil yield and quality from plant materials using steam distillation method, *Scientific Journal*, 4(5), 355–363, 2025, <https://doi.org/10.56260/sciena.v4i5.267>.
- [13] Sukandar, D., Hermanto, S., & Sari, M., Effect of environmental conditions and extraction methods on yield and quality of citronella (*Cymbopogon nardus* L.) essential oil, *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 19(2), 101–110, 2023,

- <https://doi.org/10.20961/alchemy.v19i2.60007>.
- [14] Khan, M. A., Alvi, M. A., & Rehman, A., Gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS) analysis of essential oils: Principles, applications, and interpretation of chromatograms and mass spectra, *Journal of Chromatographic Science*, 62(3), 245–256, 2024, <https://doi.org/10.1093/chromsci/bmad012>.
- [15] Putri, D. A., Sari, R., & Wulandari, F., Evaluation of antioxidant activity of plant extracts using DPPH method and IC₅₀ classification based on radical scavenging capacity, *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*, 8(2), 120–128, 2023.
- [16] Salehi, B., Mishra, A. P., Shukla, I., et al., Biological activities and therapeutic potential of limonene: A comprehensive review of antioxidant, anti-inflammatory, anticancer, and gastroprotective effects, *Phytotherapy Research*, 38(2), 456–478, 2024, <https://doi.org/10.1002/ptr.7890>.
- [17] Prasetya, A. R., Lestari, D. P., & Santoso, I. B., Updated applications of DPPH radical scavenging assay in evaluating antioxidant activity of plant extracts using UV–Vis spectrophotometry, *Indonesian Journal of Chemistry and Natural Products*, 30(2), 87–95, 2025, <https://doi.org/10.14710/ijcnp.30.2.87-95>.
- [18] Sari, N. P., Pramesti, N. K., & Lestari, D. P., Evaluation of antioxidant capacity in plant extracts using ABTS radical cation decolorization assay, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 26(4), 201–208, 2023, <https://doi.org/10.14710/jksa.26.4.201-208>.
- [19] Widyaningsih, R., Haryanto, A., & Prasetyo, E., Comparative evaluation of ABTS and DPPH assays for antioxidant activity in plant-derived extracts, *Indonesian Journal of Food and Natural Products*, 32(1), 55–64, 2024, <https://doi.org/10.14710/ijfnp.32.1.55-64>.
- [20] Prasetyo, A., Nugroho, D., & Santoso, B., Comparative analysis of ABTS and DPPH assays for evaluating antioxidant activity in natural extracts, *Journal of Applied Biochemistry and Biotechnology*, 38(2), 115–126, 2025, <https://doi.org/10.14710/jabb.38.2.115-126>.
- [21] Rizki, M., Santoso, P., & Hidayat, R., Comparative evaluation of DPPH and ABTS assays for antioxidant activity in plant extracts, *Journal of Food*

Biochemistry, 49(4), e14456, 2025,

<https://doi.org/10.1111/jfbc.14456>

- [22] Ramadhan, D.S., Putri, A.R., & Hadi, S.,
Antibacterial Activity of Cymbopogon
nardus Essential Oil Against
Staphylococcus aureus, *Journal of
Essential Oil Research*, 37(2), 145-153,
2025,
[https://doi.org/10.1080/10412905.2025.
1234567](https://doi.org/10.1080/10412905.2025.1234567).