



ANALISIS FINGERPRINT MINYAK ATSIRI SEREH SPESIES CYMBOPOGON MENGGUNAKAN KOMBINASI METODE SPEKTROFOTOMETRI UV-VIS DENGAN KEMOMETRIK

FINGERPRINT ANALYSIS OF LEMONGRASS ESSENTIAL OILS OF CYMBOPOGON SPECIES USING A COMBINATION OF UV-VIS SPECTROPHOTOMETRIC AND CHEMOMETRIC METHODS

Triyadi Hendra Wijaya^{1*}, Rehana¹, Gian Maharani Putri¹, Nialiana Endah
Endriastuti¹, Masita Wulandari Suryoputri¹

¹ Jurusan Farmasi, Fakultas Ilmu-Ilmu Kesehatan, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto

ABSTRAK

Pendahuluan: Minyak atsiri sereh spesies *Cymbopogon* memiliki beragam manfaat, terutama dibidang aromaterapi, kosmetik, farmasi, dan insektisida. Khasiat minyak atsiri sereh sangat dipengaruhi oleh variasi kandungan senyawa kimianya. Meskipun memiliki komponen kimia yang berbeda, minyak atsiri spesies *Cymbopogon* terlihat sama secara visual, yakni berwarna kuning jernih, sehingga sulit untuk membedakan antarspesiesnya. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan analisis yang lebih akurat berupa kombinasi metode *fingerprint* spektrofotometri UV-Vis dan teknik kemometrik untuk membantu proses identifikasi dan klasifikasi antarspesies *Cymbopogon*. **Tujuan:** Mengetahui kemampuan metode *fingerprint* spektrofotometri UV-Vis yang dikombinasi dengan kemometrik dalam mengklasifikasikan minyak atsiri sereh dari 5 spesies *Cymbopogon*. **Metode:** Minyak atsiri sereh diukur serapannya pada panjang gelombang 215-260 nm dengan interval 0,5 nm dalam pelarut n-heksana. Data spektrum UV-Vis yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan PCA dan HCA untuk mengelompokkan spesies berdasarkan kesamaan profil spektra. **Hasil:** Kombinasi metode dapat digunakan dalam identifikasi kelima spesies *Cymbopogon* dengan mencakup >80% variasi data yang dapat dideteksi. Kelima spesies *Cymbopogon* berhasil dikelompokkan menjadi 2 kluster berdasarkan kedekatan posisi hasil analisis PCA dan HCA. **Kesimpulan:** Metode *fingerprint* spektrofotometri UV-Vis yang dikombinasi dengan kemometrik sudah dapat digunakan untuk membedakan kelima spesies minyak atsiri sereh.

Kata Kunci: Minyak atsiri, *Cymbopogon*, Spektrofotometri UV-Vis, Kemometrik

ABSTRACT

Introduction: Lemongrass essential oils of *Cymbopogon* species have various benefits, especially in aromatherapy, cosmetics, pharmaceuticals, and insecticides. The efficacy of essential oils is greatly influenced by the variation of their chemical compounds. Despite having different chemical components, lemongrass essential oils of *Cymbopogon* species appear visually similar, namely clear yellow, making it difficult to distinguish between species. Therefore, a more accurate analytical approach is needed in the form of a combination of UV-Vis spectrophotometric fingerprinting methods and chemometric techniques to assist the identification and classification process between *Cymbopogon* species. **Objective:** To determine the ability of the UV-Vis spectrophotometric fingerprinting method combined with chemometrics in classifying lemongrass essential oils from 5 *Cymbopogon* species. **Method:** The absorbance of essential oils was measured at a wavelength of 215-260 nm with an interval of 0.5 nm in n-hexane solvent. The obtained UV-Vis spectra data were then analyzed using PCA and HCA to group species based on the similarity of their spectral profiles. **Results:** This combination of methods can be used to identify the five *Cymbopogon* species, covering >80% of the variation detected in the data. The five *Cymbopogon* species were successfully grouped into two clusters based on the closeness of the PCA

and HCA analysis results. **Conclusion:** The UV-Vis spectrophotometric fingerprinting method combined with chemometrics can be used to differentiate the five essential oil species.

Keywords: Essential oil, *Cymbopogon*, UV-Vis Spectrophotometry, Chemometrics

Alamat Korespondensi:

Triyadi Hendra Wijaya : Jurusan Farmasi, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto, Indonesia, 085647844859, triyadihendrawijaya@unsoed.ac.id

PENDAHULUAN

Minyak atsiri merupakan minyak yang diekstrak dari tanaman aromatik melalui proses distilasi uap atau *cold pressing*. Salah satu jenis tanaman aromatik yang digunakan dalam menghasilkan minyak atsiri sereh yaitu spesies *Cymbopogon* dengan permintaan pertahunnya sebanyak 5000 ton. *Cymbopogon* merupakan genus yang berasal dari daerah tropis dan subtropis, seperti Asia, Afrika dan Australia dengan total spesies sebanyak 144 spesies (1). Namun, terdapat lima spesies yang umum digunakan secara komersial meliputi *C. flexuosus*, *C. citratus*, *C. nardus*, *C. martinii*, dan *C. winterianus* (2).

Spesies *Cymbopogon* memiliki kadar minyak atsiri tinggi yang umumnya digunakan di bidang kosmetik, farmasi, insektisida, dan wewangian. Komponen kimia yang sering ditemukan dari kelima spesies *Cymbopogon* meliputi citronellol, citronellal, citral, dan geraniol dengan konsentrasi berbeda-beda yang akan menentukan efek farmalogisnya, seperti

antiinflamasi, antibakteri, antidiare, ansiolitik dan lain sebagainya (2). Oleh karena itu, dibutuhkan analisis terkait identitas dan komponen minyak atsiri untuk menjamin kualitas bahan baku murni minyak atsiri sereh (3).

Pendekatan *fingerprinting* dengan berbagai metode analisis seperti GC-MS, LC-MS, dan FT-NIR telah banyak dikembangkan dalam analisis senyawa. Namun, metode tersebut memiliki keterbatasan seperti waktu analisis yang lama, biaya tinggi, serta kurang praktis untuk analisis kontrol rutin. Keterbatasan tersebut dapat diatasi dengan memilih metode spektroskopi yang lebih cepat, akurat, dan mudah digunakan. Salah satu metode spektroskopi yang potensial adalah spektrofotometri UV-Vis yang mampu menghasilkan profil spektral lengkap dari gugus kromofor senyawa kompleks minyak atsiri spesies *cymbopogon* di seluruh rentang spektrum (4).

Menurut penelitian Tarhan et al (2021) dan Malavi et al (2023), metode spektrofotometri UV-Vis yang

dikombinasi kemometrik terbukti memberikan performa klasifikasi terbaik dalam mendeteksi pemalsuan minyak zaitun dengan akurasi mencapai 100% dibandingkan metode FTIR dan GC-MS. Keunggulan metode ini dikaitkan dengan kemampuannya dalam mendeteksi perbedaan profil senyawa kimia dengan variasi konsentrasi komponen dalam campuran minyak secara akurat (5,6).

Kombinasi metode spektrofotometri UV-Vis dengan kemometrik diperlukan untuk meningkatkan kemampuan pengklasifikasian sampel murni terutama yang memiliki kemiripan pola spektrum seperti minyak atsiri sereh spesies *Cymbopogon* yaitu di rentang panjang gelombang 200-270 nm. Kombinasi metode analisis ini telah berhasil digunakan dalam membedakan antarspesies sampel seperti yang dilakukan pada penelitian Rafi *et al* (2018), sebanyak 95,5% sampel dapat diklasifikasikan dengan benar dalam empat kelompok spesies (3). Meskipun demikian, belum pernah dilakukan penelitian terkait klasifikasi minyak atsiri sereh dengan metode analisis tersebut. Oleh karena itu, fokus penelitian ini yaitu mengembangkan metode *fingerprint* spektrofotometri UV-

Vis yang dikombinasikan dengan kemometrik sebagai alternatif dalam identifikasi minyak atsiri sereh dari beberapa spesies *Cymbopogon* (7).

METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kimia Analisis Instrumen Fakultas Ilmu-ilmu Kesehatan Universitas Jenderal Soedirman pada bulan Januari-Maret 2025.

Alat

Mikropipet (Dragon OneMed, China), spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV-1780, Jepang) dengan *software UV probe 2.70* serta *software R Studio 4.4.2*.

Bahan

N-heksana *pro analysis* (Merck, Jerman) serta minyak atsiri spesies *Cymbopogon* yang diperoleh dari PT. Syailendra Bumi Investama, meliputi *C. flexuosus*, *C. citratus*, *C. nardus*, *C. martinii*, dan *C. winterianus*.

Tahapan/Jalannya Penelitian

1. Pengamatan Organoleptik Minyak Atisiri Sereh

Pengamatan dilakukan oleh 3 orang panelis yang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi menurut SNI 01-2346-2006 meliputi tampilan, warna, dan bau (8). Hasil pengamatan

dibandingkan dengan SNI maupun ISO.

2. Preparasi Sampel Minyak Atsiri Sereh

Kelima minyak diencerkan hingga 100.000 kali pengenceran dengan n-heksana p.a sebagai pelarut.

3. Analisis *Fingerprint* Minyak Atsiri Sereh Menggunakan Spektrofotometri UV-Vis

Kelima minyak diukur serapannya pada panjang gelombang 200-400 nm dengan interval 0,5 nm dan n-heksana sebagai blanko. Untuk menjamin validasi metode pengukuran, dilakukan pengukuran pada sampel *quality control* (QC) yang berisi campuran (1:1) kelima spesies minyak.

Analisa Data

Hasil spektrum UV-Vis dikumpulkan dalam format .xlsx dan

diimpor ke dalam *software* R Studio hingga diperoleh *score plot* PCA melalui prinsip EVD. Selanjutnya dilakukan analisis HCA dengan metode ward untuk mengelompokkan sampel berdasarkan jarak kemiripannya yang kemudian divisualisasikan dalam bentuk dendogram.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengamatan Organoleptik Minyak Sereh

Data hasil pengamatan oleh tiga panelis terhadap lima spesies minyak sereh ditampilkan pada Tabel 2. Seluruh sampel telah memenuhi standar mutu minyak sesuai dengan ketentuan standar nasional Indonesia (SNI) dan *internasional organization for standardization* (ISO) yang tercantum pada Tabel 1.

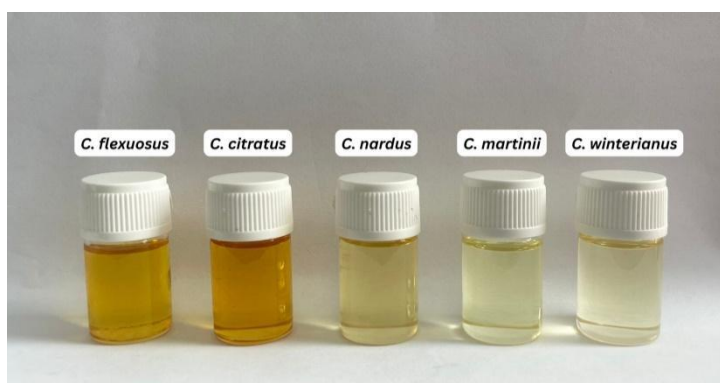
Tabel 1. Syarat mutu minyak atsiri sereh

Spesies	Parameter	Rentang	Referensi
<i>C. flexuosus</i>	Tampilan	Cairan jernih	(9)
	Warna	Kuning pucat hingga coklat kekuningan	
	Bau	Bau daun segar (green), khas aroma citral kuat	
<i>C. citratus</i>	Tampilan	Cairan jernih	(10)
	Warna	Kuning pucat hingga kuning jingga	
	Bau	Khas dengan sedikit aroma citral	
<i>C. nardus</i>	Tampilan	Cairan jernih	(11)
	Warna	Kuning pucat hingga kuning kecoklatan pucat	
	Bau	Seperti daun, tanah, segar khas serai	
<i>C. martinii</i>	Tampilan	Cairan jernih	(12)
	Warna	Kuning pucat hingga kuning	
	Bau	Seperti mawar dengan aroma rumput	
<i>C. winterianus</i>	Tampilan	Cairan jernih, terkadang sedikit opalescent, tidak kental	(13)
	Warna	Kuning pucat sampai coklat muda kekuningan	

Bau	Agak manis, floral, menyerupai mawar, lemon, segar khas serai
-----	---

Tabel 2. Hasil pengamatan organoleptis minyak atsiri sereh

No	Sampel	Karakteristik		
		Tampilan	Warna	Bau
1.	<i>C. flexuosus</i>	Jernih	Kuning - Coklat kekuningan	Aroma citrus
2.	<i>C. citratus</i>	Jernih	Kuning - Coklat kekuningan	Aroma citrus
3.	<i>C. nardus</i>	Jernih	Kuning pucat	Aroma segar
4.	<i>C. martinii</i>	Jernih	Kuning pucat	Aroma floral
5.	<i>C. winterianus</i>	Jernih	Kuning pucat	Aroma segar

**Gambar 1. Sampel Minyak Atsiri Spesies Cymbopogon**

Tabel 2. menunjukkan bahwa minyak sereh spesies *C. flexuosus* dan *C. citratus* memiliki tampilan yang jernih dengan warna kuning hingga coklat kekuningan dan berbau citrus. Aroma citrus berasal dari senyawa utama berupa citral (α -citral dan β -citral). α -citral (geranial) berkontribusi pada aroma segar seperti citrus dari minyak sereh, sedangkan β -citral (neral) memiliki aroma seperti citrus yang serupa tetapi sedikit kurang kuat. Kedua senyawa ini umumnya digunakan dalam industri wewangian dan perasa (14).

Berbeda dengan dua spesies diatas, minyak sereh spesies *C. nardus*, *C. martinii*, dan *C. winterianus* memiliki tampilan jernih dengan warna kuning pucat. Minyak sereh spesies *C. nardus* dan *C. winterianus* memiliki aroma yang mirip yaitu aroma segar dengan khas sereh yang bersumber dari senyawa citronellal dan citronellol. Sedangkan minyak sereh spesies *C. martinii* memiliki aroma floral yang bersumber dari senyawa geraniol (14).

Kelima spesies minyak sereh memberikan tampilan yang sama yaitu jernih dengan warna kuning.

Perbedaan warna kuning yang dihasilkan dari kelima minyak disebabkan oleh persentase (%) keberadaan senyawa kimia berupa citral dengan tampilan dasar berupa cairan berwarna kuning jernih. *C. flexuosus* dan *C. citratus* memiliki warna kuning pekat dibandingkan ketiga spesies lainnya. Hal ini dikarenakan tingginya persentase (%) senyawa citral >65% pada *C. flexuosus* dan *C. citratus* dibandingkan ketiga spesies lainnya. Selain itu, minyak atsiri sereh spesies *C. nardus*, *C. martinii*, dan *C. winterianus* memberikan warna kuning lebih pucat dibandingkan *C. flexuosus* dan *C. citratus* dikarenakan keberadaan senyawa geraniol, citronellal, dan citronellol hingga >70%. Ketiga senyawa tersebut memiliki tampilan dasar senyawa tidak berwarna hingga kuning pucat, sehingga memberikan tampilan warna kuning yang lebih pucat dibandingkan kedua spesies minyak sereh lainnya (14–16).

2. Analisis *Fingerprint* Minyak Atsiri Spesies *Cymbopogon* Menggunakan Spektrofotometri UV-Vis

Genus *Cymbopogon* termasuk dalam famili Poaceae dan dikenal

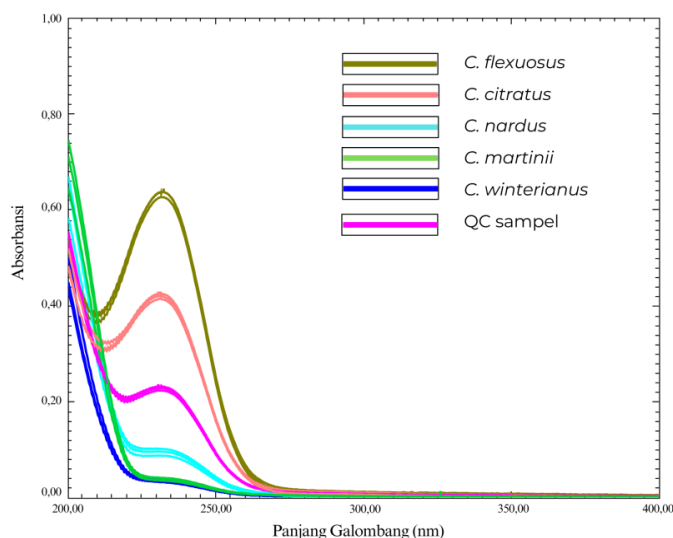
mengandung berbagai senyawa fitokimia yang menawarkan banyak manfaat terapeutik bagi manusia. Berbagai senyawa kimia telah diisolasi dari spesies *Cymbopogon*, seperti hidrokarbon, alkohol, keton, ester, aldehid, fenol, terpenoid volatil dan non-volatil, karotenoid, dan senyawa lainnya (2). Menurut Dangol *et al* (2023) sebagian besar spesies *Cymbopogon* terdiri dari komponen monoterpenoid, seperti citronellal, citronellal, citral, geraniol, geranyl acetate, α -Elemol, α -Eudesmol. Komposisi kimia yang diberikan pada minyak atsiri sereh dapat bervariasi secara signifikan tergantung pada berbagai faktor salah satunya adalah spesies tanaman (17). Namun, penelitian ini berfokus pada senyawa citral dan geraniol dengan keberadaan gugus aoksokrom maupun kromofor berupa alkohol (-OH), etilen (C=C), dan karbonil (C=O) yang mampu memberikan serapan di daerah UV yang lebih kuat terutama pada keberadaan ikatan rangkap terkonjugasi berbeda dengan senyawa lainnya (18).

Hasil pengukuran profil spektrum kelima spesies minyak sereh dapat dilihat pada Gambar 2

yang menunjukkan serapan khas pada daerah 200-260 nm. Spektrum UV *C. flexuosus* dan *C. citratus* tampak berbeda dengan sampel lain terutama pada rentang panjang gelombang 225-260 nm. Serapan ini mengindikasikan keberadaan senyawa citral sebagai metabolit sekunder utama pada minyak atsiri sereh spesies *C. flexuosus* dan *C. citratus*. Menurut COA, persentase (%) senyawa citral pada kedua spesies tersebut berturut-turut sebesar 81,48% dan 67,34%. Persentase senyawa citral yang tinggi berkontribusi dalam memunculkan puncak khas pada rentang tersebut dibandingkan tiga spesies minyak sereh lainnya. Hal ini selaras dengan penelitian Zhang *et al* (2021) bahwa senyawa citral mampu memberikan puncak serapan direntang 225-275 nm (19).

Selain itu, serapan dalam kisaran 200-220 nm dikaitkan dengan senyawa geraniol yang mampu memberikan dua puncak serapan di daerah UV yaitu 210 nm dan 230 nm serta keberadaan gugus auksokrom berupa gugus hidroksil (-OH) dalam

sistem tidak terkonjugasi yang menunjukkan serapan didaerah <220 nm (18,20). Di wilayah ini, tiga spesies minyak sereh memberikan pita serapan khas dengan intensitas berbeda sesuai dengan persentase (%) senyawa. Ketiga spesies minyak sereh tersebut meliputi spesies *C. nardus*, *C. martinii*, dan *C. winterianus* dengan nilai geraniol menurut COA berturut-turut sebesar 80,11%; 72,34%; dan 20,14%. Semakin tinggi persentase (%) senyawa menunjukkan intensitas serapan yang semakin tinggi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Penjelasan sebelumnya menjadi landasan untuk mempertimbangkan wilayah spektra dalam kisaran 200-260 nm untuk analisis identifikasi dan klasifikasi kelima spesies minyak sereh. Namun, spektrum yang dihasilkan oleh minyak sereh spesies *C. martinii* dan *C. winterianaus* saling tumpang tindih. Oleh karena itu, dibutuhkannya analisis multivariat berupa analisis kemometrik dalam membedakan spesies minyak sereh.



Gambar 2. Overlay Spektrum UV Kelima Spesies Minyak Atsiri Sereh Spesies *Cymbopogon*

3. Analisis Data Kemometrik

Tipe analisis kemometrik yang digunakan meliputi *principal component analysis* (PCA) dan *hierarchical clustering analysis* (HCA). Tipe analisis data yang digunakan memungkinkan dalam deskripsi multidata dengan menentukan hubungan antar variabel serta mengidentifikasi faktor umum dari variabel tersebut (21). Analisis kemometrik dimulai dengan menentukan rentang panjang gelombang yang merepresentasikan serapan khas pada kelima spesies minyak sereh untuk analisis lebih lanjut.

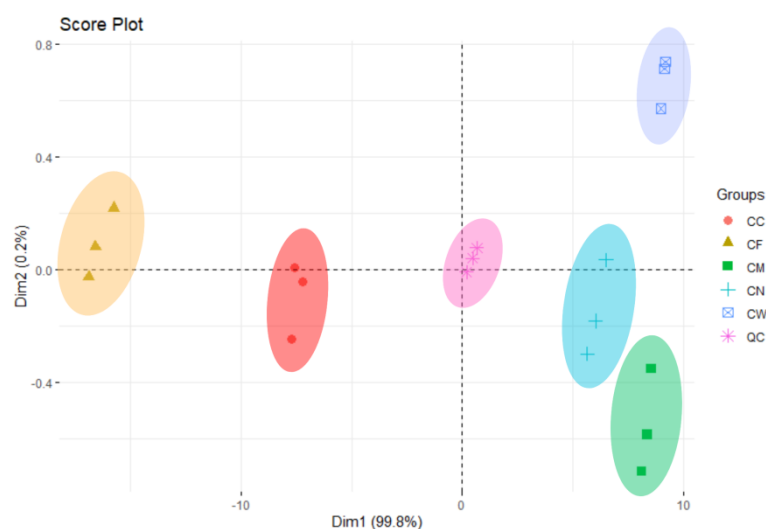
Minyak sereh spesies *C. flexuosus* dan *C. citratus* mampu memberikan serapan pada panjang

gelombang 215-270 nm, sedangkan minyak sereh *C. nardus*, *C. martinii*, dan *C. winterianus* memiliki serapan di rentang panjang gelombang 200-260 nm sehingga panjang gelombang 200-260 nm dapat dipertimbangkan dalam analisis. Namun, panjang gelombang ≤ 210 nm merupakan daerah serapan pelarut n-heksana sehingga tidak digunakan dalam analisis kemometrik PCA. Oleh karena itu, rentang panjang gelombang 215-260 nm dipilih dalam analisis PCA karena dapat mewakili serapan yang dihasilkan oleh kelima spesies minyak atsiri sereh.

Hasil analisis kemometrik PCA meliputi *score plot* yang digunakan untuk memvisualisasikan skor

komponen utama. Pemilihan komponen utama didasarkan pada kriteria Kaiser-Guttman dimana hanya faktor dengan *eigenvalue* lebih besar dari satu yang dipertahankan dalam menjelaskan variabilitas data serta mampu mencakup 70-80% variasi data (22,23). Penelitian ini menggunakan PC 1 yang memenuhi kriteria Kaiser-Guttman dengan total variasi data sebesar 99,8%. Berdasarkan plot PCA yang ditunjukkan pada Gambar 3, terlihat adanya pemisahan dari kelima spesies minyak atsiri sesuai dengan komposisi kandungan kimia dari masing-masing minyak. Minyak serih spesies *C. flexuosus* dan *C. citratus* terpisah dengan jelas dari minyak serih spesies *C. nardus*, *C. martinii*, dan *C. winterianus*.

Pemisahan *C. flexuosus* dan *C. citratus* yang jelas dapat disebabkan oleh perbedaan persentase (%) kandungan kimia berupa senyawa citral yang lebih tinggi dari ketiga spesies minyak lainnya. Selain itu, terjadi pemisahan yang jelas pada minyak spesies *C. nardus*, *C. martinii*, dan *C. winterianus* meskipun dengan kandungan kimia yang sama berupa geraniol namun dengan persentase (%) yang berbeda. Diantara pemisahan tersebut, posisi sampel QC berada ditengah-tengah karena mengandung campuran dari kelima spesies seperti citral dan geraniol. Penggunaan sampel QC bertujuan untuk mengevaluasi konsistensi alat selama proses pengukuran sehingga didapatkan hasil pengukuran yang akurat.



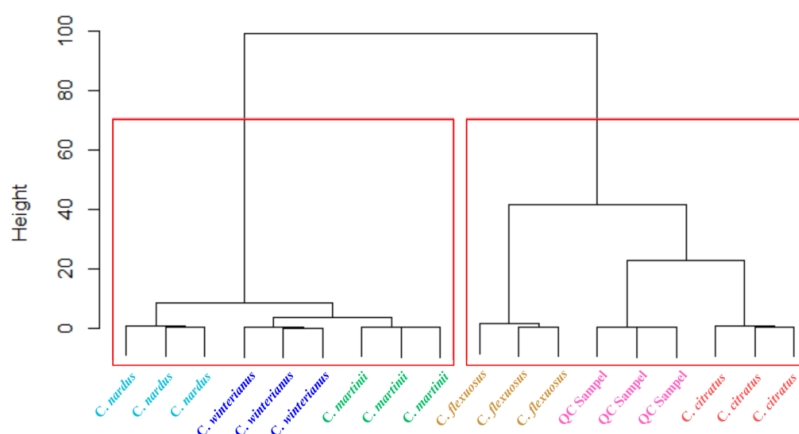
Gambar 3. Score Plot PCA Menggunakan Software R Studio

Keterangan :

CC : *Cymbopogon citratus*, CF : *Cymbopogon flexuosus*, CM : *Cymbopogon martinii*, CN : *Cymbopogon nardus*, CW : *Cymbopogon winterianus*, QC : *Quality control sampel*

Data spektrum selanjutnya dianalisis dengan model *Hierarchical Cluster Analysis* (HCA). Analisis HCA memungkinkan untuk diskriminasi sampel berdasarkan tingkat kemiripan berdasarkan nilai keterkaitan optimal dari masing-masing kandungan spesies minyak sereh (24). Hasil analisis divisualisasikan dalam bentuk dendrogram yang menunjukkan struktur hierarki kelompok karena menurunnya kesamaan antarklaster (21). Hasil HCA mampu menggambarkan dua klaster yang berbeda, yaitu klaster 1 terdiri dari minyak sereh spesies *C. nardus*, *C. winterianus*, dan *C. martinii*; klaster 2 terdiri dari minyak sereh spesies *C. flexuosus* dan *C. citratus* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Berdasarkan hasil pemisahan HCA dengan pola spektrum UV yang tertera pada Gambar 2 dan data COA. Maka, disimpulkan pemisahan antarspesies minyak sereh

berdasarkan perbedaan persentase (%) komponen senyawa kimia yang khas. Klaster pertama menunjukkan pengelompokkan tiga spesies sampel minyak sereh dengan karakteristik yang mirip berupa persentase (%) senyawa geraniol yang tinggi dengan keberadaan senyawa citral yang lebih rendah meliputi minyak sereh *C. nardus*, *C. winterianus*, dan *C. martinii*. Sementara itu, klaster kedua dicirikan oleh persentase (%) senyawa citral yang berkontribusi dalam memberikan puncak serapan UV dengan intensitas tertinggi meliputi *C. flexuosus* dan *C. citratus*. Tingkat kemiripan antarsampel ditunjukkan oleh perbedaan ketinggian antarklaster. Semakin besar kemiripan antarspesies sampelnya, semakin kecil jarak atau ketinggian klaster yang terbentuk, demikian sebaliknya.



Gambar 4. Hasil Analisis HCA Menggunakan Software R Studio

KESIMPULAN

Kombinasi metode *fingerprint* spektrofotometri UV-Vis dengan analisis kemometrik berupa *Principal component analysis* (PCA) dan *Hierrarchical cluster analysis* (HCA) dapat digunakan dalam mengidentifikasi hingga membedakan kelima spesies minyak atsiri *Cymbopogon* yang meliputi *C. flexuosus*, *C. citratus*, *C. nardus*, *C. martinii*, dan *C. winterianus*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih atas dana yang diberikan dari LPPM Universitas Jenderal Soedirman Melalui Skema Riset Peningkatan Kompetensi Dengan Nomer Kontrak 26.712 /UN23.35.5/PT.01/II/2024

DAFTAR PUSTAKA

1. Zhao J, Fan Y, Cheng Z, Kennelly EJ, Long C. Ethnobotanical uses, phytochemistry and bioactivities of *Cymbopogon* plants: A review. *Journal of Ethnopharmacology*. 2024 Aug;330:118181.
2. Tibenda JJ, Yi Q, Wang X, Zhao Q. Review of phytomedicine, phytochemistry, ethnopharmacology, toxicology, and pharmacological activities of *Cymbopogon* genus. *Front Pharmacol*. 2022 Aug 29;13:997918.
3. Rafi M, Jannah R, Heryanto R, Kautsar A, Septaningsih DA. UV-Vis spectroscopy and chemometrics as a tool for identification and discrimination of four *Curcuma* species. *International Food Research Journal*. 2018;25(2):643–8.
4. Didham M, Truong VK, Chapman J, Cozzolino D. Sensing the addition of vegetable oils to olive oil: the ability of UV–VIS and MIR spectroscopy coupled with chemometric analysis. *Food Anal Methods*. 2020 Mar;13(3):601–7.
5. Malavi D, Nikkhah A, Raes K, Van Haute S. Hyperspectral Imaging and Chemometrics for Authentication of Extra Virgin Olive Oil: A Comparative Approach with FTIR, UV-VIS, Raman, and GC-MS. *Foods*. 2023 Jan 17;12(3):429.
6. Tarhan İ, Bakır MR, Kalkan O, Kara H. Multivariate Modeling for Quantifying Adulteration of Sunflower Oil with Low Level of Safflower Oil Using ATR-FTIR, UV-Visible, and Fluorescence Spectroscopies: A Comparative Approach. *Food Anal Methods*. 2021 Feb;14(2):361–71.
7. Rohman A, Windarsih A. The Application of Molecular Spectroscopy in Combination with Chemometrics for Halal Authentication Analysis: A

- Review. IJMS. 2020 Jul 21;21(14):5155.
8. BSN. SNI 01-2346-2006 - Petunjuk pengujian organoleptik dan atau sensori. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional; 2006.
9. BSN. SNI 8835:2019 - Minyak atsiri serai dapur [*Cymbopogon flexuosus* (Nees ex Seudel) J.F Watson]. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional; 2019.
10. ISO. ISO 3217-1974(E) - Oil of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) [Internet]. Switzerland: International Standard; 1974. Available from: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a9d38e48-ca42-4122-bc0a-dae28a90c406/iso-3217-1974>
11. ISO. ISO 3849:2003(E) - Oil of citronella, Sri Lanka type [*Cymbopogon nardus* (L.) W. Watson var. *lenabatu* Stapf.] [Internet]. Switzerland: International Standard; 2003. Available from: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ad24cc28-21cc-4a87-aaee-0ea884356603/iso-3849-2003>
12. ISO. ISO 4727:2021(E) - Essential oil of palmarosa [*Cymbopogon martini* (Roxb.) W. Watson var. *motia*] [Internet]. Switzerland: International Standard; 2021. Available from: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/773e752c-63c2-4476-b286-081caa454980/iso-4727-2021>
13. BSN. SNI 3953: 2019 Minyak atsiri seraiwangi, tipe Jawa [Internet]. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional; 2019. Available from: https://jogja.bsilhk.menlhk.go.id/?page_id=1664#flipbook-df_1657/1/
14. Sah SJ. Citronella oil: a review of its potential as a preventive therapy for dengue fever. 2024;30(9).
15. Mączka W, Wińska K, Grabarczyk M. One hundred faces of geraniol. *Molecules*. 2020 Jul 21;25(14):3303.
16. Paoli M, Maroselli T, Casanova J, Bighelli A. A fast and reliable method to quantify neral and geranial (citral) in essential oils using ¹H NMR spectroscopy. *Flavour & Fragrance J*. 2023 Nov;38(6):476–82.
17. Dangol S, Poudel DK, Ojha PK, Maharjan S, Poudel A, Satyal R, et al. Essential Oil Composition Analysis of *Cymbopogon* Species from Eastern Nepal by GC-MS and Chiral GC-MS, and Antimicrobial Activity of Some Major Compounds. *Molecules*. 2023 Jan 5;28(2):543.
18. Pratiwi RA, Nandiyanto ABD. How to read and interpret UV-Vis spectrophotometric results in determining the structure of chemical compounds. *Indonesian J Educ Res Technol*. 2022 Jan 4;2(1):1–20.
19. Zhang J, Du C, Peng R, Hu A, Li Q, Liu C, et al. Antimildew treatment and control effect of citral on bamboo. *Lu*

- Y, editor. International Journal of Polymer Science. 2021 Aug 27;2021:1–10.
20. Pubchem. Geraniol [Internet]. 2025. Available from: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/637566>
21. Szczepanik M, Szyszlak-Bargłowicz J, Zając G, Koniuszy A, Hawrot-Paw M, Wolak A. The use of multivariate data analysis (hca and pca) to characterize ashes from biomass combustion. Energies. 2021 Oct 20;14(21):6887.
22. Reijer AHJD, Otter PW, Jacobs JPAM. An heuristic scree plot criterion for the number of factors. Stat Papers. 2024 Aug;65(6):3991–4000.
23. Salem N, Hussein S. Data dimensional reduction and principal components analysis. Procedia Computer Science. 2019;163:292–9.
24. Granato D, Santos JS, Escher GB, Ferreira BL, Maggio RM. Use of principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA) for multivariate association between bioactive compounds and functional properties in foods: A critical perspective. Trends in Food Science & Technology. 2018 Feb;72:83–90.