

Geographical Characterization of West Java Clove by FTIR and Chemometrics PCA Analysis

Winasih Rachmawati*, Intan Khoirunnisa, and Aiyi Asnawi

Fakultas Farmasi, Universitas Bhakti Kencana Bandung, Bandung, Indonesia

Abstract

Clove is a plant native to West Java, Indonesia, and its composition has been scientifically proven to have antioxidant, antibacterial, antinociceptive, and cytotoxic effects. The quality of a plant is influenced by its growth location, harvest time, and genetic attributes. This study was designed to determine the characteristics of the cloves from West Java. This study aimed to develop a clove fingerprint profile using Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy and principal component analysis (PCA) chemometrics across five regions of West Java. Clove flowers were collected from Bandung, Bogor, Purwakarta, Cianjur, and Tasikmalaya, Indonesia. The cloves were then extracted by maceration with 96% ethanol for three 24-hour periods. The extract was analyzed by FTIR over 4000-650 cm^{-1} and then subjected to preprocessing steps, including smoothing, differentiation, and Standard Normal Variate. A cumulative PC value of 91% formed three clusters with similar qualities in the score plot: Group 1 (Purwakarta), Group 2 (Bandung, Cianjur, and Tasikmalaya), and Group 3 (Bogor). Chemometric analysis can be used to authenticate and classify cloves based on geographical distribution.

Keywords: authentication, chemometrics, clove, principal component analysis

Karakterisasi Geografis Cengkeh Jawa Barat menggunakan FTIR dan Analisis Kemometrik PCA

Abstrak

Cengkeh merupakan tanaman asli Jawa Barat, Indonesia dan komposisinya telah terbukti secara ilmiah yang memiliki efek antioksidan, antibakteri, antinyeri, dan sitotoksik. Kualitas tanaman dipengaruhi oleh lokasi pertumbuhan, waktu panen, dan karakteristik cengkeh di Jawa Barat. Studi ini dirancang untuk menentukan karakteristik cengkeh dari Jawa Barat. Studi ini bertujuan untuk mengembangkan profil sidik jari cengkeh menggunakan spektroskopi FTIR (*Fourier transform infrared*) dan kemometrika Analisis Komponen Utama di lima wilayah Jawa Barat. Bunga cengkeh dikumpulkan dari daerah Bandung, Bogor, Purwakarta, Cianjur, dan Tasikmalaya, Provinsi Jawa Barat. Cengkeh kemudian diekstraksi dengan maserasi menggunakan etanol 96% selama tiga periode 24 jam. Ekstrak dianalisis menggunakan FTIR pada rentang 4000-650 cm^{-1} , kemudian dilakukan langkah-langkah praproses, termasuk penghalusan, diferensiasi, dan Normalisasi Spektrum Berbasis Variasi. Nilai PC kumulatif sebesar 91% membentuk tiga kelompok dengan kualitas serupa dalam plot skor: Kelompok 1 (Purwakarta), Kelompok 2 (Bandung, Cianjur, dan Tasikmalaya), dan Kelompok 3 (Bogor). Analisis kemometrik dapat digunakan untuk mengautentikasi dan mengklasifikasikan cengkeh berdasarkan distribusi geografis.

Kata Kunci: cengkeh, kemometrik, otentikasi, analisis komponen utama

Article History:

Submitted 20 January 2025

Revised 01 February 2026

Accepted 9 February 2026

Published 28 February 2026

*Corresponding author:

winasih.rachmawati@bku.ac.id

Citation:

Rachmawati W, Khoirunnisa I, Asnawi A. Geographical Characterization of West Java Clove by FTIR and Chemometrics PCA Analysis. Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology. 2026; 13 (1), 1-8.

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara tropis yang kaya akan tanaman obat, salah satunya bunga cengkeh (*Syzygium aromaticum*) yang secara empiris digunakan untuk mengobati berbagai penyakit seperti asma, gangguan pencernaan, sakit gigi, sakit kepala, dan gangguan pernapasan.¹ Tanaman ini memiliki aroma khas pada hampir seluruh bagiannya, terutama pada kuncup bunga yang sangat aromatik.²

Cengkeh mengandung senyawa fenolik seperti flavonoid, asamhidroksibenzoat, asamhidroksisimat, dan profen hidroksifenil yang berperan dalam aktivitas farmakologisnya, antara lain sebagai antioksidan, antibakteri, antinoseptik, dan sitotoksik.³ Aktivitas farmakologi dari tanaman obat dikaitkan dengan komponen kimia yang dikandungnya.⁴ Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh kelembaban, suhu, intensitas cahaya sehingga berpengaruh terhadap perbedaan komposisi kimia tanaman tersebut.⁵ Oleh karena itu, diperlukan analisis komprehensif untuk menjamin mutu dan konsistensi bahan baku herbal.

Analisis sidik jari kimia digunakan untuk mengontrol kualitas tanaman obat, mengidentifikasi senyawa yang aman, dan mencegah pemalsuan. Sebagian besar komponen kimia dapat diidentifikasi dengan metode ini untuk menjamin mutu serta hubungan kandungan senyawa terhadap aktivitas farmakologisnya.⁶ Metode sidik jari memberikan gambaran karakteristik masing-masing sampel cengkeh dari daerah berbeda melalui analisis komponen kimia berupa spektrogram, kromatogram, atau grafik lainnya.⁷ FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) merupakan metode spektroskopi yang memanfaatkan radiasi inframerah pada daerah NIR (14.000–4.000 cm^{-1}) dan MIR (4.000–400 cm^{-1}) untuk identifikasi senyawa.

FTIR memungkinkan analisis cepat, non-destruktif, dan ekonomis guna memperoleh profil vibrasi molekul yang mencerminkan struktur kimia.⁸ Metode ini dapat dilakukan langsung tanpa pemisahan sampel, tetapi interpretasi spektrum FTIR yang kompleks sehingga diperlukan bantuan kemometrik, khususnya *Principal Component Analysis* (PCA), untuk analisis data dan mengelompokkan sampel berdasarkan kesamaan karakteristik kimianya.^{9,10}

Spektrum FTIR mampu membedakan berbagai jenis tumbuhan karena pergeseran pita dan perubahan intensitas mencerminkan variasi komposisi kimia. Namun, pola spektrum yang kompleks memerlukan teknik kemometrik tambahan seperti analisis multivariat untuk mempermudah interpretasi.^{11,12} Kombinasi metode FTIR–PCA telah banyak diterapkan dalam analisis komponen kimia tanaman dan bahan pangan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan dan membedakan profil sidik jari cengkeh yang diperoleh dari berbagai daerah di Jawa Barat menggunakan pola pendekatan FTIR yang dikombinasikan dengan kemometrik PCA. Perbedaan yang dicari ini ditujukan untuk meningkatkan kontrol kualitas bahan baku produk herbal cengkeh.

2. Bahan dan Metode

2.1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu neraca analitik (Mettler Toledo), *waterbath* (Mettler), cawan penguap, spektrofotometer ATR-FTIR (Agilent), perangkat lunak Microlab Expert (Agilent), perangkat lunak The Unscrambler X 10.4 dan alat-alat gelas laboratorium.

2.2. Bahan

Bahan yang digunakan meliputi sampel bunga cengkeh dari lima Perkebunan di Jawa Barat yaitu Bandung, Tasikmalaya, Purwakarta, Cianjur dan Bogor, serta pelarut etanol 96% (Bratachem).

2.3. Prosedur

2.3.1. Preparasi Sampel dan Ekstraksi

Cengkeh yang diambil dari lima perkebunan di wilayah Jawa Barat dilakukan sortasi untuk menghilangkan pengotor. Sampel diekstraksi dengan metode maserasi menggunakan pelarut etanol 96% dengan perbandingan 1:10. Ekstraksi dilakukan selama 3×24 jam dengan pengadukan setiap 6 jam sekali. Masing-masing sampel dari kelima daerah diekstraksi sebanyak lima replikasi, sehingga didapatkan total sampel 25 ekstrak. Hasil ekstrak cair kemudian diuapkan menggunakan *waterbath* untuk mendapatkan ekstrak kental. Rendemen ekstrak dihitung berdasarkan perhitungan perbandingan berat ekstrak yang dihasilkan dengan berat bahan baku.

2.3.2. Analisis dengan FTIR

Semua ekstrak kental yang dihasilkan dianalisis menggunakan spektrofotometer ATR-FTIR. Sampel ditempatkan pada pelat kristal ATR, kemudian tuas ATR diputar hingga mendekati sampel. Analisis FTIR dilakukan pada rentang bilangan gelombang 4000 - 650 cm^{-1} dengan resolusi 4 cm^{-1} kemudian divisualisasikan dengan perangkat lunak Microlab Expert. Masing-masing ekstrak kental setiap daerah diukur dengan tiga pengulangan sehingga didapatkan 75 buah spektrum FTIR. Seluruh spektrum IR yang dikumpulkan dikonversi ke dalam MS Excel.

2.3.3. Analisis Kemometrik

Data yang dihasilkan berupa data transmitan dari spektrum FTIR digunakan sebagai variabel fusi data. Data tersebut dianalisis menggunakan metode *Principal Component Analysis* (PCA) dengan bantuan perangkat lunak The Unscrambler X 10.4¹³ untuk membangun model sidik jari secara kemometrik. Hasil analisis PCA menggunakan perangkat lunak ini ditampilkan berupa *score plot* dan *loading plot*.

3. Hasil

Bunga cengkeh diambil dari kelima daerah yaitu: Bogor, Tasikmalaya, Bandung, Cianjur dan Purwakarta diharapkan dapat mewakili populasi cengkeh di wilayah Jawa Barat (Gambar 1). Cengkeh bagian bunganya diekstraksi dengan metode maserasi menggunakan pelarut etanol 96%. Setelah diekstraksi kemudian dilakukan pemekatan untuk menghasilkan ekstrak kental berwarna gelap dan memiliki bau khas yang tidak terlalu pekat. Perhitungan persentase rendemen ekstrak dilakukan untuk menunjukkan pelarut yang dapat mengoptimalkan ekstraksi senyawa yang terkandung dalam sampel.¹⁴ Persentase hasil rata-rata rendemen ekstrak dari setiap daerah dapat dilihat pada Tabel 1. Dari data tersebut, Cianjur memiliki rendemen tertinggi ($20,24 \pm 1,33$ %), yang menunjukkan bahwa lokasi ini mungkin memiliki kandungan senyawa aktif yang lebih tinggi atau metode ekstraksi yang lebih efisien dibandingkan dengan lokasi lainnya. Hal ini berarti bahwa tanaman tersebut memiliki potensi yang baik untuk digunakan dalam aplikasi herbal atau farmasi. Sebaliknya, Tasikmalaya memiliki rendemen terendah ($14,52 \pm 1,32$ %), yang dapat menunjukkan kandungan senyawa aktif yang lebih rendah atau efisiensi ekstraksi yang kurang optimal.¹⁵

Analisis FTIR merupakan analisis yang dapat mengetahui seluruh sifat kimiawi pada suatu senyawa atau sampel yang digambarkan dalam spektrum FTIR

(Gambar 2). Puncak-puncak ini menunjukkan adanya gugus fungsi hidroksil, alkana, alkena, amina alifatik, dan gugus aromatik seperti yang terdapat pada Tabel 2.

Analisis kemometrik berperan penting dalam interpretasi data FTIR yang kompleks, terutama dalam upaya membedakan sampel. *Principal Component Analysis* (PCA) memiliki kemampuan untuk mereduksi data yang besar dan kompleks menjadi komponen-komponen utama (*principal components* atau PC) yang lebih sederhana.¹⁸ Dengan cara ini, PCA dapat menyaring informasi penting yang menggambarkan struktur dan variasi dalam data tersebut. Tahapan dalam analisis kemometrik yang dilakukan pertama kali yaitu mengidentifikasi pencilan (*outlier*). *Outlier* merupakan data yang berada di luar ruang kelas yang digunakan dalam model PCA.^{19,20} Data ini sangat berbeda dengan data yang lainnya sehingga akan berpengaruh terhadap proses analisis. Perlakuan deteksi *outlier* dilakukan sekaligus untuk mendapatkan data yang paling baik untuk membuat model PCA. Setelah *outlier* dihilangkan dan diambil data yang terbaik selanjutnya dilakukan perlakuan pendahuluan (*pre-processing*).^{21,22} Metode *pre-processing* yang digunakan yaitu perhalusan (*smoothing*), turunan (*derivative*) dan Normalisasi Spektrum Berbasis Variasi (SNV). Proses *pre-processing* juga telah dilakukan oleh Amponsah (2022) dan Rafi (2021) untuk menghilangkan noise dan mengoreksi hamburan pada data spektrum awal.^{16,23,24}

Pada Gambar 3 diperoleh letak plot score hasil PCA dengan nilai PC yang digunakan adalah nilai PC-1 terhadap PC-2. Plotting kedua PC dalam hal ini PC-1 terhadap PC-2 dapat menunjukkan seberapa besar pengaruh variabel terhadap pembentukan matriks. Pembuatan model PC-1, PC-2 dan PC-3 dapat mewakili 91 % dari semua data yang dibuat. Hasil pengelompokan diperoleh tiga kluster yaitu kelompok 1 untuk daerah Purwakarta, kelompok 2 untuk



Gambar 1. Sampel dan ekstrak etanol bunga cengkeh dari lima daerah

Tabel 1. Rata-rata persen rendemen ekstrak untuk setiap daerah sampel (n=5)

Lokasi Sampel	Rata-rata rendemen ekstrak (%)
Bandung	18,50 ± 0,93 %
Bogor	15,20 ± 0,83 %
Purwakarta	18,40 ± 1,06 %
Cianjur	20,24 ± 1,33 %
Tasikmalaya	14,52 ± 1,32 %

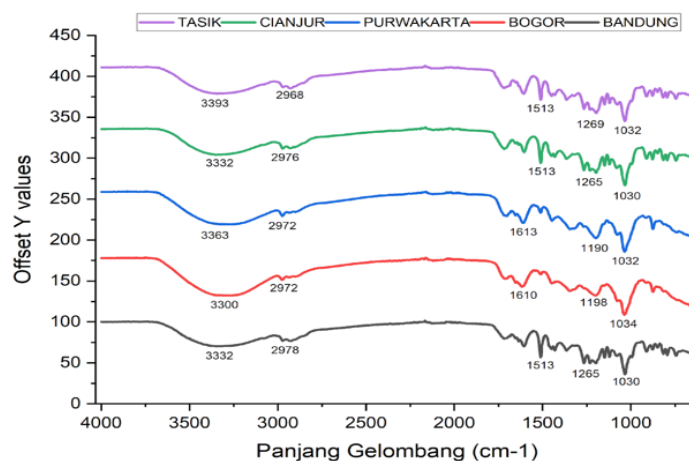
Tasikmalaya, Cianjur dan Bandung, dan kelompok 3 untuk daerah Bogor. Penentuan komponen utama dilakukan berdasarkan nilai eigen terbesar dan terkecil yang menunjukkan varietas terbesar dan juga terkecil dari data yang digunakan.²² Hasil dari kurva plot skor dan nilai eigen (Tabel 3) diperoleh PC-1 menjelaskan 85% variasi data dengan eigenvalue 137,2494, menunjukkan bahwa komponen ini mendominasi struktur variabilitas dalam dataset. PC-2 hanya menyumbang 4% variasi (eigenvalue 6,9884), dan PC-3 mendapatkan 2% dari keseluruhan data, sementara komponen berikutnya memiliki kontribusi semakin kecil (<2%). Dengan cara ini, kita dapat mengidentifikasi dan memfokuskan analisis pada komponen-komponen yang paling signifikan.^{25,26} Hasil PCA mengindikasikan adanya perbedaan signifikan dalam komposisi kimia ekstrak cengkeh dari berbagai daerah di Jawa Barat.

4. Pembahasan

Ekstraksi bunga cengkeh dilakukan dengan metode maserasi menggunakan pelarut etanol 96%. Metode maserasi dipilih karena kemudahannya dalam pelaksanaan, tidak perlu biaya yang banyak, metode maserasi juga merupakan metode ekstraksi dingin tidak menggunakan pemanasan sehingga dapat menghindari rusaknya senyawa-senyawa yang bersifat termolabil.²⁷ Pelarut etanol 96% digunakan karena dapat menarik semua komponen dalam cengkeh karena pelarut etanol merupakan jenis

pelarut universal yang dapat menarik senyawa polar hingga non polar sehingga senyawa dapat terekstrak dengan lebih maksimal.^{9,28} Proses pemekatan setelah ekstraksi dapat meningkatkan sensitivitas respon spektrum FTIR terhadap senyawa yang terkandung dalam bunga cengkeh. Hasil ekstrak cair kemudian diuapkan menggunakan cawan penguap untuk mendapatkan ekstrak yang lebih kental. Ekstrak yang pekat mengandung konsentrasi senyawa yang lebih tinggi. Dengan demikian, akan ada lebih banyak ikatan kimia yang berinteraksi dengan sinar inframerah, menghasilkan puncak-puncak spektrum yang lebih jelas dan intens sehingga dapat membedakan pola spektrumnya untuk setiap sampel. Sebaliknya, ekstrak yang encer mungkin menghasilkan puncak yang sangat lemah, yang sulit dibedakan dari noise (gangguan) pada instrumen.²⁹

Analisis menggunakan FTIR mempunyai keunggulan dalam memberikan seluruh sifat senyawa dalam sampel akan menghasilkan spektrum yang memiliki karakteristik berbeda untuk setiap senyawanya. Perbedaan tersebut dapat dilihat dari jumlah puncak, intensitas spektrum, atau dari bilangan gelombang dari setiap puncak serapannya.³⁰ Teknik yang digunakan pada penelitian ini yaitu teknik reflektansi atau ATR (*Attenuated Total Reflection*) yang mana sampel tidak dikenai secara langsung dengan sinar laser, melainkan dipantulkan atau reflektansi untuk mengetahui pola vibrasi molekulnya.^{11,31} Metode ini digunakan karena mudah dalam preparasi sampelnya,



Gambar 2. Spektrum FTIR ekstrak etanol cengkeh dari lima daerah di Jawa Barat

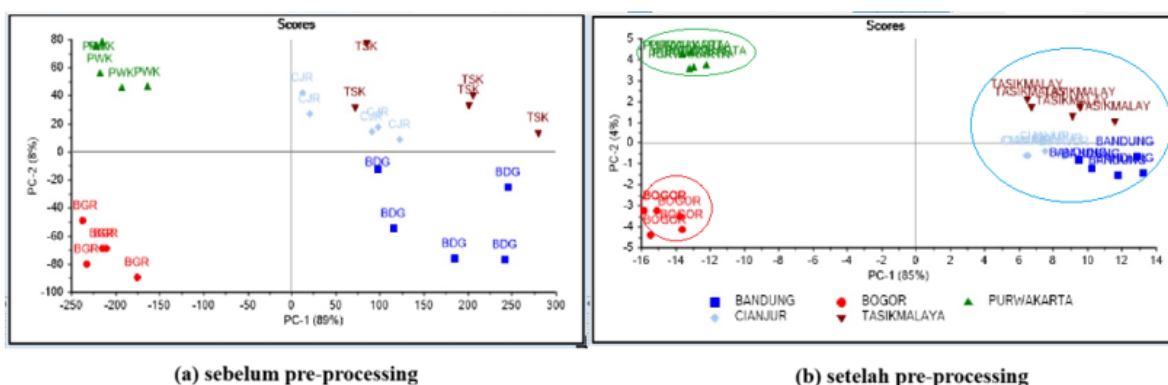
Tabel 2. Identifikasi Gugus Fungsi pada Spektrum FTIR Ekstrak Etanol Cengkeh

Bilangan gelombang (cm ⁻¹)	Gugus ^{16,17}	Gugus Fungsi
3200-3400	O-H	hidroksil dan fenol
2970	C-H	alkana
1600	C=C	alkena aromatik
1513	C-C	aromatik
1260	C-O	eter, ester
1100-1200	C-N	amina alifatik
1030	=C-H	alkena

memberikan variasi spektrum yang lebih besar dan tidak perlu memperhatikan ukuran partikel. Spektrum FTIR dihasilkan dari plot intensitas cahaya inframerah yang diserap oleh sampel dalam hal ini menggunakan bentuk transmitan dan dijabarkan dengan rentang energi yang dinyatakan dalam bilangan gelombang (cm⁻¹). Ketika radiasi inframerah melewati sampel, sampel akan menyerap cahaya dan menciptakan vibrasi. Penyerapan ini berkaitan dengan sifat ikatan dalam molekul yang memudahkan dalam mengidentifikasi gugus fungsi yang terkandung di dalam sampel.³² Pada Gambar 2. menunjukkan bahwa lima spektrum yang mewakili cengkeh dari lima daerah memiliki pola yang hampir sama dan menghasilkan puncak pada beberapa bilangan gelombang. Puncak lebar di daerah 3300-3500 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi peregangan O-H dari alkohol dan fenol. Cengkeh mengandung eugenol, yang memiliki gugus alkohol dan fenol, sehingga puncak di bilangan gelombang 3300 menunjukkan adanya gugus fungsi tersebut. Puncak di daerah 3000-2800 cm⁻¹ terkait dengan vibrasi peregangan ikatan C-H dalam struktur alkana dan aromatik. Cengkeh mengandung senyawa aromatik seperti eugenol, sehingga beberapa puncak di daerah ini kemungkinan besar ada. Puncak di daerah 1600-1500 cm⁻¹ adalah tipikal untuk peregangan C=C dalam cincin aromatik. Puncak pada bilangan gelombang 1250 cm⁻¹ menunjukkan peregangan C-O dalam eter atau ester, sedangkan puncak pada 1030 cm⁻¹ sesuai dengan peregangan =C-H dalam struktur.^{16,18,33}

Spektrum FTIR dari ekstrak etanol cengkeh dari Tasik, Cianjur, Purwakarta, Bogor, dan Bandung mengungkapkan keberadaan berbagai gugus fungsi yang khas dari kimia cengkeh, termasuk alkohol, fenol, keton, eter, dan gugus aromatik. Analisis mendalam dari spektrum ini dapat memberikan gambaran tentang profil kimia dari ekstrak, yang sangat penting untuk analisis kemometrik dan penilaian kualitas produk cengkeh dari berbagai daerah di Jawa Barat.

Meskipun sebagian besar sampel memiliki profil spektrum yang mirip, hasil kluster dan PCA menunjukkan bahwa ada variasi yang cukup besar untuk membedakan sampel berdasarkan lokasi geografisnya. Pada Gambar 3(a), terlihat bahwa cengkeh dari masing-masing daerah tidak dapat dikelompokkan dalam kluster yang sama. Setiap daerah memiliki ciri khasnya masing-masing, yang tercermin pada posisi titik-titik cengkeh yang terpisah antara satu daerah dengan daerah lainnya. Perbedaan ini menunjukkan bahwa, meskipun cengkeh berasal dari spesies yang sama, mereka tampak berbeda dalam analisis karena perbedaan dalam komposisi kimia atau lokasi geografis.³⁴ Sebelum data spektrum diproses untuk analisis, beberapa tahapan pra-pemrosesan dilakukan. Ini termasuk *baseline*, *smoothing*, *derivatif*, dan *Standard Normal Variate* (SNV). Tahapan *pre-processing* dilakukan untuk mengurangi masalah yang disebabkan oleh geseran garis dasar dan untuk meningkatkan resolusi spektrum yang berimpitan,



Gambar 3. Hasil score plot PCA cengkeh (Hijau: Purwakarta; Coklat: Tasikmalaya; Biru muda: Cianjur; Biru: Bandung; Merah: Bogor)

Tabel 3. *Eigenvalue* dan *plot score*

Variabel	<i>Eigenvalue</i>	% PC
PC -1	137,2494	85
PC -2	6,9884	4
PC -3	2,7637	2
PC -4	2,2267	1
PC -5	1,6515	1
PC -6	0,8843	1
PC -7	0,8122	1

yang berarti dapat meningkatkan informasi data. Proses ini akan menyebabkan spektrum menjadi lebih terkuantisasi sehingga faktor penciri menjadi lebih spesifik untuk pembuatan model PCA dapat lebih baik.^{9,31} *Smoothing* digunakan untuk mengurangi gangguan (*noise*) dalam data sehingga gambar menjadi lebih halus, *derivative* untuk menghitung turunan data sehingga dapat mengidentifikasi fitur data yang tidak terlihat jelas dalam data asli dan SNV untuk menormalisasi data ke skala yang sama dan menghilangkan efek skala. SNV dapat membuat data memiliki skala yang sama dan tidak terpengaruh oleh efek skala. Setelah dilakukan *pre-processing* (Gambar 3b), dapat dilihat perbedaannya.

Analisis PCA dapat membantu memperjelas struktur data dan memberikan informasi penting tentang perbedaan kimia yang mungkin tidak dapat diamati hanya dengan pengamatan spektrum visual, sehingga sampel dapat dikelompokkan berdasarkan kemiripan profil dan menemukan komponen terbesar yang dimilikinya.³⁵ PCA bekerja dengan mengasimilasi keragaman data, dan mengekstrak informasi dari tabel data dengan mencari tahu perbedaan atau persamaan satu sampel dengan yang lainnya. Hasil visualisasi data berupa kluster dari penentuan dua komponen utama PCA yang akan digunakan.

Hasil PCA memberikan hasil singkat terdapat tiga kluster cengkeh dari lima daerah berdasarkan dari hasil analisis FTIR berupa gugus fungsi yang merupakan representatif dari kandungan senyawa di dalam cengkeh. Berdasarkan Gambar 3 terlihat sampel cengkeh dari Bandung (BDG), Tasikmalaya (TSK), dan Cianjur (CJR) cenderung berkelompok di kluster yang sama, hal ini menunjukkan karakteristik yang mirip dalam hal komposisi kimia atau senyawa aktifnya. Sampel dari Bogor (BG) menunjukkan variasi yang lebih besar, dengan beberapa titik yang tersebar di sepanjang sumbu PC-1. Sampel dari Purwakarta (PW) terletak di area yang lebih tinggi pada sumbu PC-2, menunjukkan bahwa keduanya memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan dengan sampel dari daerah lain. Beberapa daerah, seperti Tasikmalaya, Bandung dan Cianjur, menunjukkan kesamaan yang

lebih besar, sedangkan daerah lain seperti Bogor dan Purwakarta menunjukkan perbedaan yang lebih besar dalam hal komposisi.

Nilai *eigenvalue* >1 mengindikasikan bahwa sebagian besar informasi terkandung dalam dimensi pertama, yang khas untuk data dengan korelasi tinggi antar variabel.^{18,36} Jumlah PC-1, PC-2, dan PC-3 telah dapat mengekstrak informasi sampai dengan 91%. Tingginya *eigenvalue* PC-1 (137,2494) berkorelasi dengan jarak antar kluster Bogor atau Purwakarta terhadap tiga daerah lainnya dalam plot PCA. Nilai ini mengindikasikan bahwa perbedaan profil kimia (misalnya kandungan eugenol atau senyawa volatil lainnya) antara kelompok wilayah sangat signifikan.³⁷ Sementara itu, *eigenvalue* kecil pada PC4-PC7 (<2) menunjukkan *noise* atau variasi acak yang tidak berkontribusi pada pemisahan kluster. Jarak antar kelompok pada plot skor mencerminkan seberapa besar perbedaan profil kimia di antara mereka. Semakin jauh jarak antara sampel, semakin sedikit kesamaan yang dimilikinya. Sebaliknya, semakin dekat jarak, semakin banyak kesamaan yang dimiliki sampel.²⁰

Hasil PCA menunjukkan bahwa terdapat variasi yang signifikan dalam komposisi senyawa aktif cengkeh dari berbagai daerah, hal ini dapat disebabkan beberapa faktor, diantaranya wilayah geografis budidaya tanaman, teknik tanam, penggunaan pupuk dan irigasi dan faktor dari tanggal panen. Kandungan unsur anorganik dalam tumbuhan telah terbukti memengaruhi akumulasi komponen aktif, sehingga memengaruhi kualitas tumbuhan.³⁸ Selain itu, kandungan kimia dari cengkeh juga bisa dipengaruhi oleh kondisi penyimpanan, seperti durasi atau lamanya penyimpanan, suhu dan kelembaban, yang mana kedua hal ini dapat menyebabkan adanya degradasi komponen tertentu.

5. Simpulan

Metode spektrofotometri FTIR yang digabungkan dengan analisis kemometrik PCA dapat digunakan untuk mendapatkan profil sidik jari bunga cengkeh dari

lima daerah yang berbeda, dengan mengidentifikasi komponen utama yang mencerminkan variansi tertinggi dalam data transmitansi. Hasil dari plot skor yang membandingkan PC-1, PC-2, dan PC-3 menunjukkan bahwa keduanya dapat menjelaskan sekitar 91% dari total variansi data yang dianalisis. Hal ini menandakan bahwa metode ini efektif dalam menggambarkan karakteristik utama dari cengkeh dari berbagai daerah dengan cara yang lebih sederhana dan terstruktur.

Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan bahwa data yang dipublikasikan pada naskah ini tidak ada konflik kepentingan terhadap pihak manapun.

Daftar Pustaka

1. Wael S, Leiwakabessy F, Mose W, Wilhelmus TW. Potensi Ekstrak Daun Cengkeh (*Syzygium aromaticum*) Terhadap Spermatozoa Tikus (*Sprague dawley*) yang Dipapar Minuman Arak Ambon (SOPI). *Biopendix*. 2023;9(2):211–21.
2. Mustapa MA. Penelusuran Senyawa Tumbuhan Cengkeh. Perpustakaan Nasional RI. 2020. 1–125 p.
3. Liñán-Atero R, Aghababaei F, García S R, Hasiri Z, Ziogkas D, Moreno A, Hadidi M. Clove Essential Oil: Chemical Profile, Biological Activities, Encapsulation Strategies, and Food Applications. *Antioxidants*. 2024;13(4):488.
4. Sudrajat FR, Mutakin M, Saputri FA, Shalihah A. Review: Analisis Sidik Jari dalam Kontrol Kualitas Tumbuhan. *Farmaka*. 2020;18(2):37–46.
5. Rachmawati W, Dinata D, Sari N. Identifikasi dan Analisis Sidik Jari Daun Katuk dari Lima Daerah Jawa Barat Menggunakan Spektroskopi FTIR dan Kemometrik. *Pharmacoscpt*. 2023;6(1):92–102.
6. Umar AH, Syahrini R, Ranteta'dung I, Rafi M. FTIR-based fingerprinting combined with chemometrics method for rapid discrimination of *Jatropha* spp. (*Euphorbiaceae*) from different regions in South Sulawesi. *J Appl Pharm Sci*. 2023;13(1):139–49.
7. Dávila-Santiago, E., Shi, C., Mahadwar, G., Medeghini, B., Insinga, L., Hutchinson, R., Good, S., & Jones, G. D. Machine Learning Applications for Chemical Fingerprinting and Environmental Source Tracking Using Non-target Chemical Data. *Environmental Science & Technology*. 2022;56(7): 4080–90.
8. Agatonovic-Kustrin S, Ristivojevic P, Gegechkori V, Litvinova TM, Morton D. Essential Oil Quality and Purity Evaluation via FT-IR Spectroscopy and Pattern Recognition Techniques. *Applied Sciences*. 2020;10(20):7294.
9. Siregar S, Nurhikmat A, Amdani RZ, Hatmi RU, Kobarsih M, Kusumaningrum A, et al. Estimation of Proximate Composition in Rice Using ATR-FTIR Spectroscopy and Chemometrics. *ACS Omega*. 16 July 2024;9(30).
10. Rafi M, Karomah AH, Heryanto R, Septaningsih DA, Kusuma WA, Amran MB, et al. Metabolite profiling of *Andrographis paniculata* leaves and stem extract using UHPLC-Orbitrap-MS/MS. *Nat Prod Res*. 2020;1–5.
11. Asnawi A, Fitriani A, Febrina E, Emawati E. ATR-FTIR Method for Detection of Cassava Impurities in Indonesian Commercial White Pepper (*Piper nigrum* L.) Based on Principal Component Analysis. *ad-Dawaa' Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2021;4(2).
12. Du L, Lu W, Gao B, Wang J, Yu L (Lucy). Authenticating Raw from Reconstituted Milk Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Chemometrics. *Journal of Food Quality*. 2019;2019:1–6.
13. The Unscrambler X. USA: CAMO Software Inc.; 2016.
14. Fotsing Yannick Stéphane F, Kezetas Jean Jules B, El-Saber Batiha G, Ali I, Ndjakou Bruno L. Extraction of Bioactive Compounds from Medicinal Plants and Herbs. In: *Natural Medicinal Plants*. IntechOpen; 2022.
15. Sabaragamuwa R, Perera CO. Total Triterpenes, Polyphenols, Flavonoids, and Antioxidant Activity of Bioactive Phytochemicals of *Centella asiatica* by Different Extraction Techniques. *Foods*. 30 Oct 2023;12(21):3972.
16. Amponsah IK, Boakye A, Orman E, Armah FA, Borquaye LS, Adjei S, et al. Assessment of some quality parameters and chemometric-assisted FTIR spectral analysis of commercial powdered ginger products on the Ghanaian market. *Heliyon*. 2022;8(3):e09150.
17. Enders AA, North NM, Fensore CM, Velez-Alvarez J, Allen HC. Functional Group Identification for FTIR Spectra Using Image-Based Machine Learning Models. *Anal Chem*. 30 June 2021;93(28):9711–9718.
18. Pratiwi HK, Guntarti A, Urani LH, Gandjar IG. Authentication of Lemongrass Oil by Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GC-MS) Combination Chemometrics. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology*. 2022;9(3):174.
19. Biancolillo A, Marini F. Chemometric methods for spectroscopy-based pharmaceutical analysis. *Front Chem*. 2018;6(NOV):1–14.
20. Gewers FL, Ferreira GR, Arruda HFD, Silva FN, Comin CH, Amancio DR, et al. Principal Component Analysis. *ACM Comput Surv*. 24 May 2021;54(4):1–34.
21. Dearing T. Fundamentals of Chemometrics and Modeling. CPAC 2010 Spring Sponsor Meeting. 2010.
22. Jolliffe IT, Cadima J. Principal component analysis: a review and recent developments. *Phil Trans R Soc A*. 13 Apr 2016;374(2065):20150202.
23. Rafi M, Nurcahyo B, Wahyuni WT, Arif Z, Septaningsih DA, Putri SP, et al. Feasibility of UV-Vis Spectral Fingerprinting Combined with Chemometrics for Rapid Detection of *Phyllanthus niruri* Adulteration with *Leucaena leucocephala*. *Sains Malays*. 2021;50(4):997–1006.
24. Liu C, Zuo Z, Xu F, Wang Y. Authentication of Herbal Medicines Based on Modern Analytical Technology Combined with Chemometrics Approach: A Review. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 29 Dec 2021; 393–1418.
25. Camargo A. PCAtest: testing the statistical significance of Principal Component Analysis in R. *PeerJ*. 17 Feb 2022;10(10):e12967.
26. Patel N, Dave K, Patel R, Vegad K, Kanaki N. HPLC Based Metabolomic Fingerprint Profiling as A Comprehensive Quality Assessment Tool, Why Not for

- Standardization of Ayurvedic Herbs and Formulations? *Pharmacognosy Res.* 2024;16(4):677–87.
27. Muttagin FZ, Aida N, Asnawi A. Deteksi Adulteran Pada Bahan Baku Sediaan Temulawak (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb) Instan Secara TLC Fingerprint Analysis. *PHARMACY: Jurnal Farmasi Indonesia.* 2018;15(01):308–15.
28. Berliana V, Fatimawali. Fingerprint Analysis of Betel (*Piper betle* L.) as Raw Materials of Traditional Medicine Using FTIR Spectroscopy Analisis. *Pharmacon.* 2023;12:193–8.
29. Nandiyanto ABD, Oktiani R, Ragadhita R. How to Read and Interpret FTIR Spectroscopy of Organic Material. *Indonesian Journal of Science and Technology.* 2019;4(1):97–118.
30. Biancolillo A, Marini F. Chemometric Methods for Spectroscopy-Based Pharmaceutical Analysis. *Front Chem.* 21 Nov 2018;6.
31. Rafi M, Anggundari WC, Irawadi TT. Potensi Spektroskopi FT-IR-ATR dan Kemometrik untuk Membedakan Rambut Babi, Kambing, dan Sapi. *Indo J Chem Sci.* 2016;5(3):229–34.
32. Gandjar IG, Rohman A. *Spektroskopi Molekuler Untuk Analisis Farmasi.* Yogyakarta: Gadjah Mada University Press; 2018. 2021 p.
33. Kautsar A, Wahyuni WT, Syafitri UD, Muflihah S, Mawadah N, Rohaeti E, et al. Data fusion of uv-vis and ftir spectra combined with principal component analysis for distinguishing of andrographis paniculata extracts based on cultivation ages and solvent extraction. *Indonesian Journal of Chemistry.* 2021;21(3):753–60.
34. Sundalian M, Husein SG, Rokayah T. Studi Kemometrik Spektrum Inframerah Buah Cabai Jawa (*Piper retrofractum* Vahl.) Dari Berbagai Daerah di Indonesia. *Pharmacoscript.* 2025;8(2):479–94.
35. Suhandy D, Yulia M. Tutorial Analisis Data Spektra Menggunakan The Unscrambler: Bagian 1. Klasifikasi. Kedua. Yogyakarta: Graha Ilmu; 2021. 1–148 p.
36. Jolliffe IT, Cadima J. Principal component analysis: a review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences.* 2016;374(2065):1–16.
37. Abraham EJ, Kellogg JJ. Chemometric-Guided Approaches for Profiling and Authenticating Botanical Materials. *Front Nutr.* 2021;8(11):1–24.
38. Hu L, Zhu F, Wang Y, Wu T, Wu X, Huang Z, et al. Comparison and chemometrics analysis of phenolic compounds and mineral elements in *Artemisia Argyi* Folium from different geographical origins. *Food Chem X.* 2024;24(October):101909.