

## ANALISIS KEMOMETRIK PROFIL SPEKTRUM *FOURIER TRANSFORM INFRARED* BUAH LADA HITAM (*PIPER NIGRUM L.*) DARI BEBERAPA DAERAH DI INDONESIA

Melvia Sundalian\*, Sri Gustini Husein, Agung Nugraha

Sekolah Tinggi Farmasi Indonesia

\*Email: melviasundalian@stfi.ac.id

Received: 28/11/2022, Revised: 19/02/2023, Accepted: 20/02/2023, Published: 23/02/2023

### ABSTRAK

Lada (*Piper nigrum L.*) merupakan salah satu komoditas ekspor yang penting bagi Indonesia. Di Indonesia tersebar luas daerah penghasil lada hitam. Lada hitam yang diproduksi di daerah beberapa tentunya memiliki karakteristik dan ciri khas masing-masing. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis profil spektrum IR buah lada hitam dari 10 provinsi penghasil lada terbesar di Indonesia yaitu Aceh, Bangka Belitung, Sumatera Selatan, Lampung, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Bali, Kalimantan Barat, dan Sulawesi Tenggara. Analisis dilakukan menggunakan metode *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan kemometrik menggunakan metode PCA (*Principal Component Analysis*) dan analisis kluster, serta melakukan klasifikasi. Hasil analisis spektrum IR menunjukkan adanya ikatan O-H (alkohol), C-H (alkana), CH<sub>3</sub> (alifatik), C=O (karbonil), dan C-O (alkohol) pada buah lada hitam dari daerah yang diteliti. Berdasarkan hasil pengelompokan PCA, terdapat tiga kelompok besar yang meliputi kelompok 1 (Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, dan Bali), kelompok 2 (Lampung, Sumatera Selatan, Bangka Belitung, dan Aceh), dan kelompok 3 (Kalimantan Barat dan Sulawesi Tenggara). Analisis kluster menunjukkan bahwa sampel Jawa Barat dan Jawa Tengah menunjukkan jarak relatif terkecil, artinya kedua sampel menunjukkan tingkat kemiripan paling tinggi dibandingkan dengan sampel dari daerah lain. Dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa metode analisis profil spektrum IR yang dikombinasikan dengan kemometrik berhasil digunakan untuk mengklasifikasikan dan membedakan buah lada hitam berdasarkan asalnya. Hal ini dapat membantu dalam menjaga kualitas dan keaslian buah lada hitam yang diekspor dari Indonesia.

**Kata kunci:** Lada Hitam (*Piper nigrum L.*), *Fourier-transform infrared spectroscopy*, Kemometrika, *Principal Component Analysis*, *Cluster Analysis*

### ABSTRACT

*Black pepper (Piper nigrum L.) is one of the important export commodities in Indonesia. The production of black pepper is widespread in several regions of Indonesia, each with its own characteristics and unique properties. The aim of this research was to analyze the IR spectrum profile of black pepper fruits from 10 largest producing provinces in Indonesia, namely Aceh, Bangka Belitung, South Sumatra, Lampung, West Java, Central Java, East Java, Bali, West Kalimantan, and Southeast Sulawesi. The analysis was performed using Fourier Transform*

*Infrared (FTIR) method and chemometrics using Principal Component Analysis (PCA) and cluster analysis, as well as classification. The results of the IR spectrum analysis showed the presence of O-H (alcohol), C-H (alkane), CH<sub>3</sub> (aliphatic), C=O (carbonyl), and C-O (alcohol) bonds in black pepper fruits from the studied regions. Based on the PCA grouping, there were three major groups, which include group 1 (West Java, Central Java, East Java, and Bali), group 2 (Lampung, South Sumatra, Bangka Belitung, and Aceh), and group 3 (West Kalimantan and Southeast Sulawesi). Cluster analysis showed that the samples from West Java and Central Java showed the smallest relative distance, indicating the highest similarity level compared to samples from other regions. In this research, it can be concluded that the method of analyzing IR spectrum profiles combined with chemometrics was successfully used to classify and differentiate black pepper fruits based on their origin. This can help to maintain the quality and authenticity of black pepper fruits exported from Indonesia.*

**Keywords:** *Black Pepper (Piper nigrum L.), Fourier-transform infrared spectroscopy, Chemometrics, Principal Component Analysis, Cluster Analysis*

## PENDAHULUAN

Lada (*Piper nigrum* L.) merupakan tanaman yang memiliki peranan penting dalam ekonomi Indonesia. Selain berkontribusi besar dalam sumbangan devisa negara, lada juga memiliki banyak kegunaan yang membuatnya diminati di pasar internasional (Risfaheri, 2012). Indonesia bahkan menjadi salah satu eksportir lada terbesar di dunia dengan kontribusinya mencapai 29% dari permintaan global (IPC, 2013).

Di Indonesia budidaya lada tersebar luas hampir di seluruh provinsi. Estimasi total produksi lada hitam Indonesia pada tahun 2021 sebanyak 89.153 ton (Ditjenbun, 2018; Kementan RI, 2019). Tiap daerah produksi lada hitam memiliki ciri khas yang berbeda-beda, yang mempengaruhi kandungan senyawa metabolit di dalamnya. Lada hitam mengandung mineral seperti

potasium, kalsium, seng, mangan, besi, magnesium dan vitamin. Senyawa piperin, alkaloid utama dalam lada, memiliki sifat anti-oksidan serta dapat menurunkan tekanan darah. (Risfaheri, 2012; Widyati, 2006; Damanhoury and Ahmad, 2014; Gorgani *et al.*, 2017; Tripathi *et al.*, 2022)

). Buah lada hitam banyak digunakan untuk pengobatan diare, antiinflamasi, hepatoprotektor, mulas, dan hipertensi (Ahmad *et al.*, 2012; Scott *et al.*, 2007; Nur Annisa, 2021). Untuk mengenali ciri khas dari masing-masing daerah penghasil lada di Indonesia bisa dilakukan dengan mengamati spektrum IR (Saha *et al.*, 2013).

Meskipun spektra IR dapat digunakan untuk membedakan tumbuhan satu dengan tumbuhan lainnya, komposisi senyawa kimianya tidak dapat diketahui secara pasti (Sun *et al.*, 2010; Lavine *et al.*, 2020). Pola kompleks dalam spektrum IR membuat

interpretasi langsung dan visual menjadi sulit. Untuk mempermudah hal tersebut, diperlukan bantuan teknik kemometri seperti analisis multivariat (Gad *et al.*, 2012). Kombinasi spektra sidik jari FTIR dan kemometrik menjadi pilihan yang menarik dalam identifikasi dan autentikasi tanaman obat untuk klasifikasi asal geografis, deteksi bahan palsu, dan identifikasi tanaman yang berkerabat dekat (Purwakusumah *et al.*, 2014).

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan analisis menggunakan instrument FTIR dan kemometrik dengan metode analisis multivariat komponen utama (PCA) serta *cluster analysis* metode hierarki pautan lengkap (*complete linkage*), terhadap buah lada hitam dari beberapa daerah di Indonesia yang telah diperjual belikan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang lebih detail mengenai kandungan senyawa metabolit dalam buah lada hitam dari berbagai daerah produksi di Indonesia.

## **METODE PENELITIAN**

### **Alat dan Bahan**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain yaitu alat-alat gelas laboratorium, spektrofotometer FTIR (Thermo Scientific Nicolet iS5™), Holder ZnSe iD3 ATR (*Attenuated Total*

*Reflectance*), laptop (dengan prosesor intel i3), moisture balance (Precisa), neraca analitik (Ohaus), oven (Mettler), dan pengayak mesh 100.

Pada penelitian ini analisis kemometrik menggunakan The Unscrambler X versi 10.4 (64-bit) dan pemrosesan spektrum FTIR menggunakan OMNIC Spectra®.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebanyak 10 sampel buah lada hitam dari beberapa daerah Indonesia (Provinsi Aceh, Lampung, Bangka Belitung, Sumatera Selatan, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Bali, Kalimantan Barat, dan Sulawesi Tenggara), *aquadest*, dan methanol p.a. .

### **Jalannya Penelitian**

#### **1. Preparasi Sampel Buah Lada Hitam**

Sampel buah lada hitam dari beberapa daerah Indonesia yaitu Provinsi Aceh, Lampung, Bangka Belitung, Sumatera Selatan, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Bali, Kalimantan Barat, dan Sulawesi Tenggara. Dilakukan penyerbukan dengan ayakan mesh 100. Sampel serbuk buah lada hitam dikeringkan dengan pengovenan terlebih dahulu selama 40 menit pada suhu 80°C.

## 2. Penetapan Kadar Air Serbuk Buah Lada Hitam

Sebanyak 500 mg masing-masing sampel serbuk lada hitam diukur kadar airnya menggunakan *moisture balance*. Hasil yang diperoleh dari pengukuran dicatat sebagai kadar air dari serbuk lada hitam.

### Analisis Data

#### 1. Penentuan Spektrum FTIR dan Analisis Gugus Fungsi Serbuk Buah Lada Hitam

Sampel serbuk lada hitam selanjutnya dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer FTIR. Masing-masing sampel ditetapkan spektrumnya dengan metode ATR-ZnSe. Pengukuran dilakukan pada rentang bilangan gelombang 4000-400  $\text{cm}^{-1}$  dan resolusi 8  $\text{cm}^{-1}$  dengan 32 scan. Sedikit serbuk sampel diletakkan pada permukaan holder FT-IR ZnSe ATR. Sampel ditekan dengan *die* (penekan). Selanjutnya, pilih opsi *collect sample* pada aplikasi OMNIC Spectra®. Dilakukan pengulangan pengukuran sebanyak 10 kali. Permukaan holder dibersihkan sampai bersih sebelum diganti dengan sampel dari serbuk sampel lada hitam yang berbeda. Spektrum yang diperoleh dari masing-masing sampel dianalisis dengan melihat puncak-puncak yang khas pada setiap

spektrum yang muncul. Analisis gugus fungsi dilihat dari puncak yang muncul pada bilangan gelombang tertentu. Hasil spektrum dibandingkan dengan referensi untuk mengetahui gugus fungsi yang muncul.

#### 2. Analisis Kemometrik Spektrum FTIR

Analisis kemometrik dilakukan menggunakan The Unscrambler X versi 10.4 (64-bit).

#### 3. PCA (*Principal Component Analysis*)

Data spektra yang diperoleh diambil dan disimpan dalam bentuk file csv. Konversi file csv ke dalam file Microsoft Excel untuk dapat melakukan metode kemometrik dengan cara analisis data multivariat menggunakan software Unscrambler X. Dilakukan pemrosesan spektrum dengan metode *smoothing*, *normalize*, *derivative*, *baseline*, dan SNV yang dikombinasikan untuk selanjutnya dilakukan PCA untuk setiap pemrosesan. salah satu grafik PCA dipilih dengan *plot score* tertinggi berdasarkan hasil pemrosesan. Dilakukan analisis terhadap nilai PCA yang didapatkan setiap sampel, selanjutnya dilakukan pengelompokkan berdasarkan nilai *plot score* yang didapatkan

#### 4. Cluster Analysis

Data spectra IR yang didapatkan transpose berdasarkan pemrosesan yang telah ditentukan dari hasil PCA. Selanjutnya spectra dilakukan *Cluster Analysis* dengan opsi *Complete Linkage*. Selanjutnya akan muncul hasil cluster berupa dendrogram. Dendrogram yang dihasilkan selanjutnya dianalisis kedekatannya.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 1. Preparasi Sampel dan Pembuatan Serbuk Buah Lada Hitam

Buah lada hitam dihaluskan menjadi serbuk mudah digunakan dan sebagai bahan dasar tahapan selanjutnya. Serbuk lada hitam diayak pada mesh 100 untuk mendapatkan serbuk yang halus dan seragam. Bentuk partikel yang lebih halus memungkinkan semua bagian sampel terdeteksi dengan baik di FTIR. Menurut Planinsek *et al.* (2006) dalam penelitiannya bahwa fraksi partikel yang lebih halus dapat secara signifikan mempengaruhi luas permukaan campuran serbuk karena kontribusinya yang besar terhadap luas permukaan spesifik, khususnya pada pengukuran *Attenuated Total Reflectance-Fourier Transform Infra Red spectroscopy* (ATR-FTIR)

#### 2. Penetapan Kadar Air Serbuk Buah Lada Hitam

**Tabel 1.** Hasil Penetapan Kadar Air Serbuk Buah Lada Hitam dari Beberapa Daerah di Indonesia.

Daerah	Hasil kadar air( %)
Aceh	1,14
Bali	3,09
Bangka Belitung	1,29
Jawa Barat	2,77
Jawa Tengah	2,95
Jawa Timur	2,30
Kalimantan Barat	3,19
Lampung	1,87
Sulawesi Tenggara	3,61
Sumatera Selatan	2,01

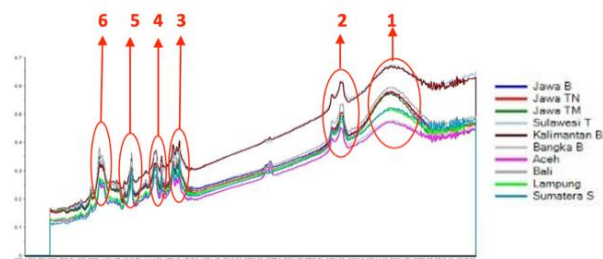
Kadar air lada hitam berdasarkan SNI 0005:1995 sebesar maksimum 12%. Hal ini juga merujuk pada Farmakope Herbal Indonesia bahwa nilai susut pengeringan buah lada hitam tidak melebihi 10%. Tujuan penentuan kadar air adalah untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan kadar air dalam sampel.

Hasil pengujian kadar air pada Tabel 1 menunjukkan bahwa sampel lada hitam Aceh memiliki kadar air terendah dengan nilai 1,14 %, dan sampel lada hitam Sulawesi Tenggara memiliki kadar air tertinggi dengan nilai nilai 3,61%. Kadar air yang diperoleh dari semua sampel berada pada kisaran 1 hingga  $\pm 3\%$ , yang termasuk dalam persyaratan berdasarkan literatur (SNI Lada Hitam).

### 3. Pengukuran Spektrum FTIR dan Analisis Gugus Fungsi Serbuk Buah Lada Hitam

*Fourier transform infrared* (FTIR ATR-ZnSe) digunakan untuk pengukuran spektral sampel bubuk lada hitam dari beberapa daerah di Indonesia. Spektrum dipindai dari  $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$  dan mengungkapkan enam puncak yang muncul pada intensitas yang berbeda. Sedangkan resolusi yang dipilih adalah  $8 \text{ cm}^{-1}$  untuk menghasilkan ketajaman dan kejernihan spektra yang dihasilkan pada scan rate sebanyak 32 scan.

Penelitian Sacharz *et al.* (2020) dalam penelitiannya menyatakan jika jumlah scan rate berkorelasi dengan penurunan rasio *signal-to-noise* dari spektrum IR dengan peningkatan jumlah pemindaian, akan tetapi proses membutuhkan waktu pemindaian yang lebih lama. Hal ini juga dipertegas oleh Barra *et al.* (2021) bahwa jumlah scan dapat berpengaruh pada kemampuan prediksi model regresi kuadrat parsial parsial dan hasilnya menunjukkan kecenderungan umum dalam meningkatkan koefisien korelasi ( $R^2$ ) dikarenakan jumlah pemindaian meningkat.



**Gambar 1.** Hasil Pengukuran Spektrum FTIR Serbuk Buah Lada Hitam dari Beberapa Daerah di Indonesia

Gambar 1 menunjukkan bahwa spektrum serbuk buah lada hitam dari beberapa daerah di Indonesia memiliki perbedaan pola yang melibatkan munculnya puncak bilangan gelombang yang berbeda, namun secara keseluruhan setiap puncak berasosiasi dengan frekuensi ulur dari ikatan O-H (alkohol) yang muncul pada daerah  $3333- 3704 \text{ cm}^{-1}$ . Terdapat vibrasi ulur ikatan C-H (alkana) yang muncul pada rentang spektral  $2853-2962 \text{ cm}^{-1}$ , dan terdapat vibrasi tekukan  $-\text{CH}_3$  (alifatik) yang muncul pada rentang spektral  $1375-1450 \text{ cm}^{-1}$ . Terdapat vibrasi ulur ikatan C=O (karbonil) muncul pada rentang spektral  $1600-1800 \text{ cm}^{-1}$ , dan terdapat vibrasi tekukan pada C-O (alkohol) muncul pada rentang spektral  $1500-1000 \text{ cm}^{-1}$  (wilayah sidik jari) dan terdapat mode penekukan ikatan C-C (alkana) yang terjadi pada rentang spektral  $1000-500 \text{ cm}^{-1}$ . Gugus fungsi hidroksil (-OH), eter (R-OR'), dan keton (R-CO-R') banyak ditemukan dalam

pada senyawa golongan alkaloid, terpenoid, alkana. dan karbon alifatik fenol/polifenol, flavonoid, saponin, (Lavine et al., 2020).

**Tabel 2.** Hasil Analisis Gugus Fungsi Spektrum FTIR Buah Lada Hitam dari Beberapa Daerah di Indonesia

No	Gugus Fungsi (Literatur)	Bilangan Gelombang (cm <sup>-1</sup> )									
		Aceh	Bali	Bangka Belitung	Jawa Barat	Jawa Tengah	Jawa Timur	Kalimantan Barat	Lampung	Sulawesi Tenggara	Sumatera Selatan
1	O-H (3333-3704)	3329	3342	3333	3317	3339	3326	3317	3331	3339	3331
2	C-H (2853-2962)	2922	2896	2939	2916	293,2	2927	2921	2933	2933	2921
3	C=O (1600-1800)	1623	1625	1634	1609	1607	1618	1633	1627	1635	1638
4	CH <sub>3</sub> (1375-1450)	1435	1443	1450	1443	1447	1450	1446	1450	1448	1450
5	C-O (1500-1000)	1247	1244	1252	1248	1256	1249	1249	1255	1251	1254
6	C-C (1000-500)	998	998	995	979	990	993	999	997	996	995

**Tabel 3.** Hasil Pemrosesan PCA Dengan Menggunakan Beberapa Opsi

Percobaan	Smoothing	Normalize	Derivative	Baseline	SNV	Hasil PCA
1.	+	-	-	-	-	96%
2.	-	+	-	-	-	98%
3.	-	-	+	-	-	98%
4.	-	-	-	+	-	99%
5.	-	-	-	-	+	89%
6.	+	+	+	+	+	82%

#### 4. Analisis Spektrum FTIR Dengan Metode Kemometrik Menggunakan The Unscrambler

Pengelompokan lada hitam menggunakan analisis komponen utama untuk menampilkan hasil dalam bentuk *plot score*. Semakin dekat suatu sampel dengan sampel lainnya, maka semakin tinggi kemiripan antar sampel tersebut (Miller, & Miller, 2005). Pada penelitian ini dilakukan beberapa percobaan dengan menggunakan berbagai pilihan pengolahan antara lain *smoothing*, normalisasi, derivatif, *baseline*,

SNV, dan kombinasi dari semua pilihan pengolahan. Tabel 3 menunjukkan hasil grafik *plot score* perlakuan dengan beberapa opsi.

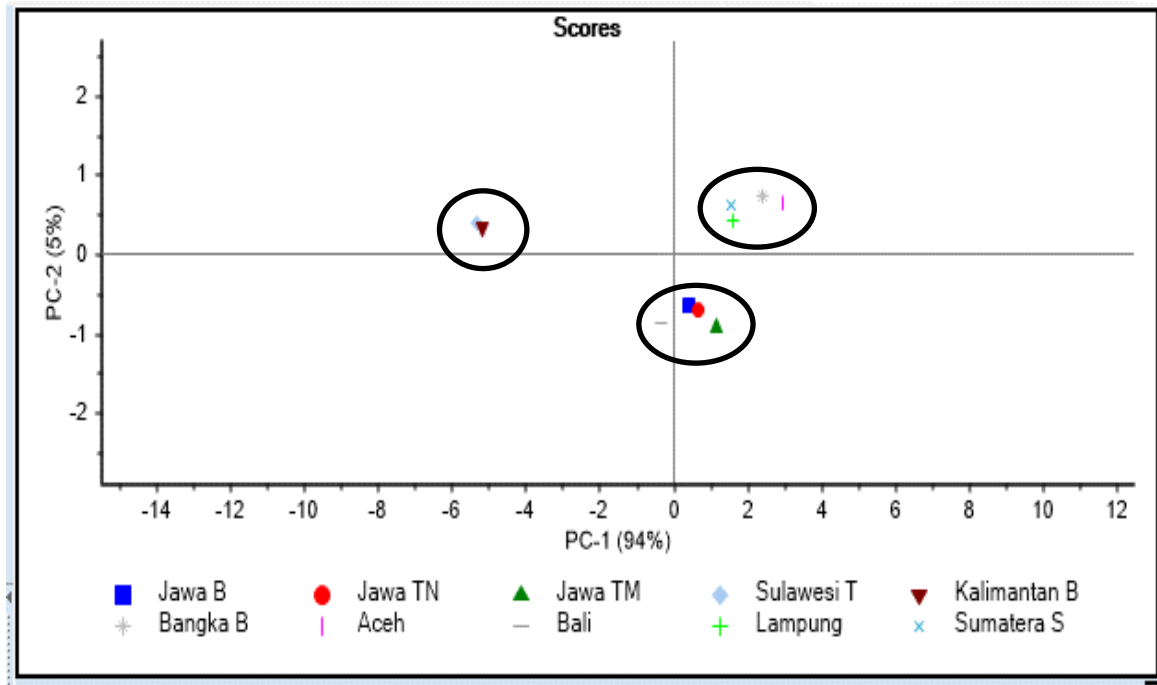
Pada Tabel 3 semua nilai PC dari hasil pemrosesan dan kombinasi lebih dari 70%. Jika penjumlahan komponen utama satu PC 1 dan dua PC 2 lebih besar dari 70% maka hasil diagram komponen utama menunjukkan dua dimensi yang baik. Hasil PCA dari opsi *baseline* menghasilkan nilai PCA tertinggi dan dianalisis dengan data PCA dan analisis kluster.

Variabel PC yang dapat menentukan seberapa jauh atau dekat plot satu sama lain, plot-plot tersebut membentuk kelompok dan menghasilkan *plot score* yang divisualisasikan dalam bentuk grafik seperti pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Nilai *Eigenvalues* dan Proporsi *Plot Score* dari Masing-Masing PC

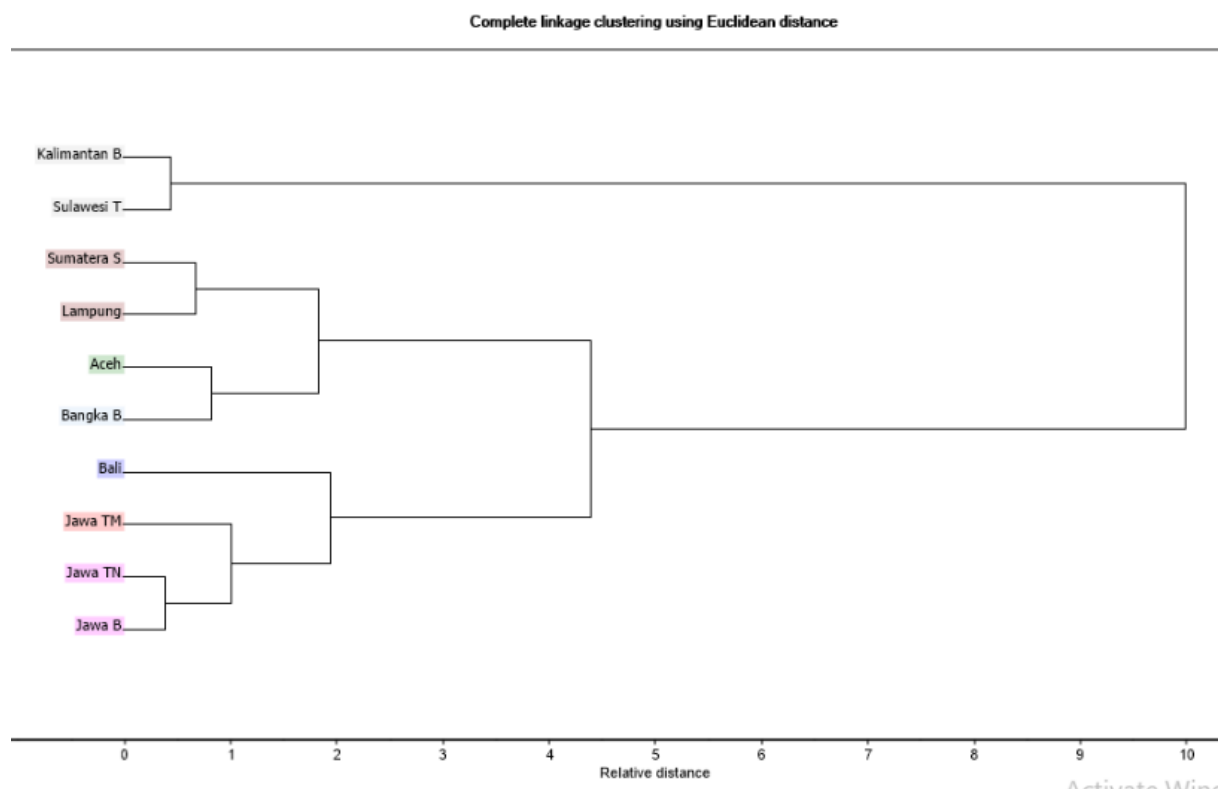
Variabel	<i>Eigenvalues</i>	Proporsi (%)
PC-1	8,4924	94
PC-2	0,4826	5
PC-3	0,0587	1
PC-4	0,0200	0
PC-5	0,0075	0
PC-6	0,0043	0
PC-7	0,0011	0

Dengan mengamati Tabel 4, kita dapat melihat bahwa PC-1 memberikan persentase nilai eigen terbesar dari dibandingkan PC yang lainnya, hal ini dapat menunjukkan seberapa besar pengaruh variabel terhadap pembentukan fitur matriks baru. Nilainya adalah 8,4924 atau 94% dari total variabel. Di sisi lain, PC-2 memberikan fraksi nilai eigen terbesar kedua, dengan nilai 0,4826 atau 5%. Jumlah nilai eigen PC-1 dan PC-2 berjumlah proporsi kumulatif 99%, dan pembuatan dua variabel baru (PC-1 dan PC-2) dapat mewakili 99% dari semua data yang dibuat.



**Gambar 2.** Hasil Grafik *Plot Score* PCA Dengan Pemrosesan Menggunakan Opsi *Baseline*.





**Gambar 3.** Hasil *Cluster Analysis* Buah Lada Hitam dari Beberapa Daerah di Indonesia

Dilihat dari hasil PCA yang diperoleh pada Gambar 2, letak plot terdekat ditunjukkan antara sampel Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur dan Bali, lalu antara sampel Lampung, Sumatera Selatan, Bangka Belitung dan Aceh, dan antara sampel dari Kalimantan Barat dan Sulawesi Tenggara.

Masing-masing kelompok daerah ini termasuk daerah yang berdekatan secara geografis. Pengelompokan yang didapatkan dari PCA memungkinkan mendapatkan kesimpulan kandungan sampel yang memiliki senyawa kimia utama yang mungkin mengandung bahan yang paling mirip.

### 5. Analisis Kluster Buah Lada Hitam

Analisis kluster bertujuan untuk mengelompokkan objek berdasarkan kesamaan fitur diantara sampel. Analisis kluster adalah analisis statistik yang bertujuan untuk mengelompokkan objek berdasarkan kesamaan fitur di antara mereka. Obyek-obyek tersebut dikelompokkan menjadi satu atau lebih kelompok (*cluster*) sehingga obyek-obyek di dalam suatu kelompok memperlihatkan kesamaan satu sama lain. Pada Gambar 3, grafik dendrogram objek-objek tersebut menunjukkan bahwa hasil analisis kluster pengikatan penuh sampel lada hitam dibagi menjadi 3 klaster.

Klaster pertama yang dikelompokkan adalah sampel Jawa Barat dan Jawa Tengah diikuti sampel Jawa Timur dan Bali. Sampel Jawa Barat dan Jawa Tengah memiliki memiliki jarak yang relatif kecil atau dapat diartikan kedua sampel ini memiliki kesamaan dari pola spektrum yang dihasilkan. Klaster kedua yaitu sampel Bangka Belitung dan Aceh yang juga bergabung dengan sampel Lampung dan Sumatera Selatan. Terakhir, yaitu klaster ketiga adalah sampel Sulawesi Tenggara dan Kalimantan Barat digabungkan menjadi satu kesatuan dan memiliki jarak yang relatif sama.

## **KESIMPULAN**

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, spektrum IR lada hitam Indonesia menunjukkan adanya ikatan O-H (alkohol), C-H (alkana), CH<sub>3</sub> (alifatik), C=O (karbonil) dan C-O (alkohol). Hasil pengelompokan PCA menunjukkan bahwa terdapat tiga kelompok besar yang meliputi Kelompok 1 (Jawa Barat, Jawa Tengah, Timur dan Bali). Kelompok 2 (Lampung, Sumatera Selatan, Bangka Belitung, Aceh) dan Kelompok 3 (Kalimantan Barat, Sulawesi Tenggara). Berdasarkan hasil analisis klaster, sampel Jawa Barat dan Jawa Tengah menunjukkan jarak relatif terkecil,

artinya kedua sampel menunjukkan tingkat kemiripan paling tinggi dibandingkan dengan sampel dari daerah lain, dan analisis klaster analisi juga dapat mengelompokkan sampel menjadi tiga kelompok besar yang serupa dengan analisis PCA. Dapat disimpulkan metode analisis profil spektrum IR yang dikombinasikan dengan kemometrik dapat digunakan untuk mengklasifikasikan dan membedakan buah lada hitam berdasarkan asalnya.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Ahmad, N., Fazal, H., Abbasi, B. H., Farooq, S., Ali, M., & Khan, M. A. (2012). Biological role of *Piper nigrum* L. (Black Pepper): A review. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 5, 1945-1953. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(12\)60524-3](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(12)60524-3)
- Annisa, S. N. (2021). Literature Review: Efek Kandungan Lada Hitam (*Piper Nigrum*) terhadap Penurunan Tekanan Darah pada Tikus Hipertensi. *Journal of Bionursing*, 3(1), 19-24. <https://doi.org/10.20884/1.bion.2021.3.1.90>
- Barra, I., Khiari, L., Haeefe, S. M., Sakrabani, R., & Kebede F. (2021). Optimizing setup of scan number in

- FTIR spectroscopy using the moment distance index and PLS regression: Application to soil spectroscopy. *Scientific Reports*, 11, 13358. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92858-w>
- Damanhour, Z. A., & Ahmad, A. (2014). A review on therapeutic potential of *Piper nigrum* L. (Black Pepper): The king of spices. *Medicinal & Aromatic Plants*, 3, 161. <https://doi.org/10.4172/2167-0412.1000161>
- Direktorat Jenderal Perkebunan. (2018). *Statistik perkebunan Indonesia komoditas lada 2017 – 2019*. Sekretariat Direktorat Jenderal Perkebunan: Jakarta.
- Gad, H. A., El-Ahmady, S. H., Abou-Shoer, M. I., & Al-Azizi, M. M. (2012). Application of chemometrics in authentication of herbal medicine. *Phytochemical Analysis*, 24(1), 1-24.
- Gorgani, L., Mohammadi, M., Najafpour, G. D., & Nikzad, M. (2017). Piperine—the bioactive compound of black pepper: from isolation to medicinal formulations. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 16, 124–140. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12246>
- International Pepper Community. (2013). *Report 41th pepper exporters meeting*. 15th November 2013. Sarawak, Malaysia.
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2019). *Produksi lada menurut provinsi di Indonesia, 2017-2021*. <https://www.pertanian.go.id/home/index.php?show=repo&fileNum=211> [diakses pada 6 Oktober 2022]
- Lavine, B., Almirall, J., Muehlethaler, C., Neumann, C., & Workman, J. (2020). Criteria for comparing infrared spectra – A review of the forensic and analytical chemistry literature. *Forensic Chemistry*, 18, 100224. <https://doi.org/10.1016/j.forc.2020.100224>.
- Miller, J. N., & Miller, J. C. (2005). *Statistics and chemometrics for analytical chemistry*. Pearson Education.
- Oliver, K. V., Maréchal, A., & Rich, P. R. (2016). Effects of the hydration state on the mid-infrared spectra of urea and creatinine in relation to urine analyses. *Applied Spectroscopy*, 70(6), 983-994. <https://doi.org/10.1177/0003702816641282>
- Planinsek, O., Planinsek, D., Zega, A., Breznik, M., & Srcic, S. (2006).

- Surface analysis of powder binary mixtures with ATR FTIR spectroscopy. *International Journal of Pharmaceutics*, 319(1-2), 13-19. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2006.03.048>
- Purwakusumah, E.D., Rafi, M., Syafitri, D.U., Nurcholis, W., Adzkiya, Z.A.M. 2014. Identifikasi dan Autentikasi Jahe Merah Menggunakan Kombinasi Spektroskopi FTIR dan Kemometrik. *Agritech*, 34: 1-6
- Risfaheri. (2012). Diversifikasi Produk Lada (*Piper nigrum* L.) untuk Peningkatan Nilai Tambah. *Buletin Teknologi Pasca Panen Pertanian*, 8(1), 12.
- Sacharz, J., Perez-Guaita, D., Kansiz, M., Nazeer, S. S., Weselucha-Birczynska, A., Petratos, S., Wood, B. R., & Heraud, P. (2020). Empirical study on the effects of acquisition parameters for FTIR hyperspectral imaging of brain tissue. *Anal. Methods*, 35. doi: 10.1039/C9AY01200A.
- Saha, K. C., Seal, H. P., & Noor, M. A. (2013). Isolation and characterization of piperine from the fruits of black pepper (*Piper nigrum*). *J. Bangladesh Agril. Univ.*, 11(1), 11–16.
- Scott, I. M., Jensen, H. R., Philogene, B. J. R., & Arnason, J. T. (2007). A Review of Piper Spp. (Piperaceae): Phytochemistry, Insecticidal Activity, And Mode of Action. *Phytochem Rev*, 7, 65-75.
- Sun, S., Chen, J., Zhou, Q., Lu, G., & Chan, K. (2010). Application of mid-infrared spectroscopy in the quality control of traditional Chinese medicines. *Planta Medica*, 76, 1987-1996.
- Tripathi, A. K., Ray, A. K., & Mishra, S. K. (2022). Molecular and pharmacological aspects of piperine as a potential molecule for disease prevention and management: evidence from clinical trials. *Beni-Suef Univ J Basic Appl Sci*, 11, 16. <https://doi.org/10.1186/s43088-022-00196-1>
- Widyati, E. (2006). Penentuan Adanya Senyawa Triterpenoid dan Uji Aktivitas Biologis Pada Beberapa Spesies Tanaman Obat Tradisional Masyarakat Pedesaan Bengkulu. *Jurnal Gradien*, Hal. 166-112.