

## **BAB IV**

### **HASIL PENELITIAN**

Berdasarkan 9 jurnal penelitian yang diperoleh, ditemukan bahwa terdapat berbagai adulteran pada pemalsuan lada serta metode spektroskopi dan analisis multivariat yang dapat digunakan dalam mendeteksi pemalsuan lada. Sebanyak 6 jurnal membahas tentang pemalsuan pada lada hitam dan sebanyak 3 jurnal membahas tentang pemalsuan pada lada putih. Adulteran yang digunakan memiliki karakteristik yang berbeda-beda dengan tujuan penggunaan yang bermacam-macam. Metode spektroskopi yang dapat digunakan dikombinasi dengan analisis multivariat dengan berbagai prinsip interpretasi data.

#### **4.1. Adulteran Pada Lada Yang Dapat Dideteksi dengan Metode Spektroskopi**

Adulteran pada pemalsuan lada yang dapat dideteksi menggunakan metode spektroskopi dapat dilihat pada Tabel 6. Berdasarkan Tabel 6., adulteran yang ditambahkan dalam pemalsuan lada bermacam-macam dengan karakteristik yang berbeda-beda. Adulteran lada dapat dikategorikan dalam beberapa kategori antara lain sereal dan olahannya; umbi-umbian dan olahannya; lada, bagian lada, dan limbahnya; rempah-rempah; dan adulteran lainnya. Adulteran yang tergolong sereal dan olahannya yang dapat dideteksi dengan metode spektroskopi antara lain tepung jagung, *buckwheat*, *millet*, sorgum, tepung beras, tepung gandum utuh, tepung tapioka, serta campuran tepung jagung dan tepung gandum utuh. Adulteran yang tergolong umbi-umbian dan olahannya yaitu pati singkong. Adulteran yang merupakan lada, bagian lada, dan limbah lada yaitu *husk*, *pinheads*, *spent material*, *spent light berry*, *white pepper spent*, dan lada yang berbeda asal geografis. Adulteran yang tergolong rempah-rempah meliputi bubuk cabai dan lada Sichuan. Adulteran lainnya yaitu biji pepaya dan bedak.

Jenis lada yang dipalsukan adalah lada hitam dan lada putih. Pemalsuan yang terjadi lebih banyak pada lada hitam dibandingkan dengan lada putih. Sebagian besar

adulteran yang ditambahkan pada pemalsuan lada berbentuk bubuk namun terdapat juga yang berbentuk biji. Alasan penggunaan adulteran bervariasi meliputi harganya yang lebih murah dibandingkan lada, mudah diperoleh atau diakses dalam jumlah banyak, karakteristik visual yang mirip, ukurannya kecil, merupakan residu atau limbah, serta tidak mempengaruhi warna, bau, dan aroma ketika ditambahkan pada lada.



Tabel 6. Adulteran pada Pemalsuan Lada yang dapat Dideteksi Menggunakan Metode Spektroskopi

No	Adulteran	Jenis Lada	Bentuk Adulteran	Alasan Penggunaan Adulteran	Referensi
<b>Serealia dan Olahannya</b>					
1	Tepung jagung	Lada Hitam	Bubuk	Banyak tersedia, mudah diakses, murah, tidak mempengaruhi warna, bau, dan aroma, serta sulit dideteksi	(Lima <i>et al.</i> , 2020)
2	<i>Buckwheat</i> ( <i>Fagopyrum esculentum</i> )	Lada Hitam	Bubuk	N/A	(McGoverin <i>et al.</i> , 2012)
3	<i>Millet</i> ( <i>Eleusine coracana</i> )	Lada Hitam	Bubuk	N/A	(McGoverin <i>et al.</i> , 2012)
4	Sorgum	Lada Hitam	Bubuk	Harga lebih murah	(Hu <i>et al.</i> , 2018)
5	Tepung Beras	Lada Hitam	Bubuk	N/A	(Lafeuille <i>et al.</i> , 2020)
6	Tepung Beras	Lada Putih	Bubuk	Nilai sangat rendah, karakteristik visual sama	(Lapcharoensuk <i>et al.</i> , 2019)
7	Tepung Jagung	Lada Putih	Bubuk	Ukuran partikel kecil, warna sama	(Li <i>et al.</i> , 2018)
8	Tepung Gandum Utuh	Lada Putih	Bubuk	Ukuran partikel kecil, warna sama	(Li <i>et al.</i> , 2018)
9	Campuran tepung jagung dan tepung gandum	Lada Putih	Bubuk	Ukuran partikel kecil, warna sama	(Li <i>et al.</i> , 2018)
10	Tepung Tapioka	Lada Putih	Bubuk	Harga murah, parameter sensori netral (warna, bau, dan aroma)	(Sarifudin <i>et al.</i> , 2021)

No	Adulteran	Jenis Lada	Bentuk Adulteran	Alasan Penggunaan Adulteran	Referensi
<b>Umbi-umbian dan Olahannya</b>					
11	Pati singkong	Lada Hitam	Bubuk	Banyak tersedia, mudah diakses, murah, tidak mempengaruhi warna, bau, dan aroma, serta sulit dideteksi	(Lima <i>et al.</i> , 2020)
<b>Lada, Bagian Lada, dan Limbahnya</b>					
12	<i>Husk</i>	Lada Hitam	Bubuk	Bagian yang tidak terpakai dari lada hitam	(Wilde <i>et al.</i> , 2019)
13	<i>Spent material</i>	Lada Hitam	Bubuk	Bagian yang tidak terpakai dari lada hitam	(Wilde <i>et al.</i> , 2019)
14	<i>Pinheads lada hitam</i>	Lada Hitam	Bubuk	Bagian yang tidak terpakai dari lada hitam	(Wilde <i>et al.</i> , 2019)
15	Lada hitam berbeda asal geografis	Lada Hitam	Bubuk	Harga lebih murah	(Hu <i>et al.</i> , 2018)
16	<i>Pinheads lada hitam</i>	Lada Hitam	Bubuk	Limbah, dapat digunakan sebagai <i>bulking agent</i>	(Lafeuille <i>et al.</i> , 2020)
17	<i>Spent light berry</i>	Lada Hitam	Bubuk	Limbah, dapat digunakan sebagai <i>bulking agent</i>	(Lafeuille <i>et al.</i> , 2020)
18	<i>White pepper spent</i>	Lada Hitam	Bubuk	Limbah, dapat digunakan sebagai <i>bulking agent</i>	(Lafeuille <i>et al.</i> , 2020)
<b>Rempah-rempah</b>					
19	Bubuk Cabai	Lada Hitam	Bubuk	N/A	(Wilde <i>et al.</i> , 2019)
20	Bubuk Cabai	Lada Hitam	Bubuk	N/A	(Lafeuille <i>et al.</i> , 2020)

No	Adulteran	Jenis Lada	Bentuk Adulteran	Alasan Penggunaan Adulteran	Referensi
21	Lada Sichuan ( <i>Zanthoxylum bungeanum</i> / <i>Zanthoxylum schinifolium</i> )	Lada Hitam	Bubuk	Harga lebih murah	(Hu <i>et al.</i> , 2018)
<b>Adulteran lainnya</b>					
22	Biji pepaya	Lada Hitam	Bubuk	Struktur mirip, murah, ketersediaannya mudah	(Wilde <i>et al.</i> , 2019)
23	Biji pepaya	Lada Hitam	Bubuk	N/A	(Lafeuille <i>et al.</i> , 2020)
24	Biji pepaya	Lada Hitam	Bubuk	Kesamaan fisik, murah (residu), mudah tersedia	(Orrillo <i>et al.</i> , 2019)
25	Biji pepaya	Lada Hitam	Biji	Kesamaan fisik, murah (residu), mudah tersedia	(Orrillo <i>et al.</i> , 2019)
26	Bedak	Lada Hitam	Bubuk	N/A	(Lafeuille <i>et al.</i> , 2020)

Keterangan:

N/A: not available

*Buckwheat*: biji tanaman *Fagopyrum esculentum* yang dikupas

*Miller*: biji –bijian tanaman sereal India *Eleusine coracana*

*Husk*: bagian kulit lada

*Spent material/ spent light berry/ white pepper spent*: buah lada yang sudah dihilangkan minyaknya atau oleoresin setelah proses ekstraksi

*Pinheads*: lada yang kurang berkembang dan berukuran kecil

#### 4.2. Deteksi Adulteran pada Lada dengan Metode Spektroskopi

Sampel yang akan dianalisis dilakukan pencucian terlebih dahulu menggunakan air suling dan air distilasi untuk menghilangkan zat pengotor yang menempel, misalnya lendir pada biji pepaya lalu dikeringkan. Setelah dikeringkan, sampel digiling dengan mesin penggiling sehingga diperoleh bubuk halus dan homogen. Ukuran sampel yang digunakan berkisar antara  $<50 \mu\text{m}$  hingga 1 mm. Sampel lada bubuk diberi perlakuan konsentrasi adulteran yang berbeda-beda dimulai dari 1% hingga 95%. Semua sampel yang dideteksi dengan spektroskopi lada tidak membutuhkan penambahan larutan atau padatan. Akan tetapi, spektroskopi DRIFT membutuhkan penambahan KBr (Kalium Bromida) pada sampel yang akan dianalisis.

Deteksi adulteran pada pemalsuan lada dengan metode spektroskopi dapat dilihat pada Tabel 7. Berdasarkan Tabel 7., dapat diketahui bahwa masing-masing metode spektroskopi mendeteksi pada panjang atau bilangan gelombang yang berbeda-beda. Spektroskopi *Near Infrared* (NIR) merupakan metode deteksi yang paling banyak digunakan. Spektroskopi NIR menggunakan panjang gelombang antara 1000-2500 nm dan dapat digunakan untuk mendeteksi adulteran seperti pati singkong, tepung jagung, *buckwheat*, *millet*, *husk*, *spent material*, *pinheads*, biji pepaya, tepung gandum utuh, serta campuran tepung jagung dan tepung gandum utuh. Spektroskopi *Fourier Transform Near Infrared* (FT-NIR) menggunakan panjang gelombang 800-2500 nm dan dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan tepung beras. Spektroskopi *Near Infrared Hyperspectral Imaging* (NIR-HSI) menggunakan panjang gelombang 900-1710 nm dan dapat digunakan untuk mendeteksi biji pepaya dalam bentuk biji utuh dan bubuk halus.

Spektroskopi *Mid Infrared* (MIR) menggunakan bilangan gelombang antara 3999-550  $\text{cm}^{-1}$  serta dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan *buckwheat* dan *millet*. Spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FTIR) menggunakan bilangan gelombang antara 4000-400  $\text{cm}^{-1}$  dan dapat digunakan untuk mendeteksi adanya *husk*, *spent material*, *pinheads*, biji pepaya, bubuk cabai, dan tepung tapioka. Spektroskopi *Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared* (ATR-

FTIR) menggunakan bilangan gelombang antara 4000-720  $\text{cm}^{-1}$  dan dapat digunakan untuk mendeteksi adulteran tepung beras, biji pepaya, bedak, *pinheads*, *spent light berry*, *white pepper spent*, dan bubuk cabai. Metode spektroskopi terakhir yang dapat digunakan yaitu spektroskopi *Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform* (DRIFT) menggunakan bilangan gelombang antara 4000-400  $\text{cm}^{-1}$  dan dapat digunakan untuk mendeteksi sorgum, lada Sichuan, dan lada dari berbagai asal geografis.

Analisis spektroskopi merupakan analisis kualitatif yang akan menghasilkan spektra pada panjang atau bilangan gelombang tertentu. Berdasarkan Tabel 7., dapat diketahui bahwa spektra yang terbentuk pada masing-masing jenis spektroskopi dan masing-masing adulteran berbeda-beda. Selain itu, terdapat gugus fungsi lada dan gugus fungsi adulteran yang teridentifikasi pada spektra.





Tabel 7. Deteksi Adulteran pada Lada dengan Metode Spektroskopi

No	Alat	Adulteran	Perlakuan Konsentrasi Adulteran (%)	Bilangan Gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )	Panjang Gelombang (nm)	Keterangan Spektra	Gugus Fungsi Lada	Gugus Fungsi Adulteran	Referensi
1	NIR	Pati Singkong	5, 10, 20, 30, 40, 50	-	1100-2500	Absorbansi lada hitam lebih tinggi dibandingkan absorbansi pati singkong	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C-H hidrokarbon alifatik (1194 nm)</li> <li>• C-H hidrokarbon alifatik dan aromatik (1340 nm)</li> <li>• CH<sub>3</sub> metil (1705 nm)</li> <li>• CH<sub>2</sub> metilen (1754 nm)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C-H hidrokarbon alifatik (1203 nm)</li> <li>• C-H hidrokarbon alifatik dan aromatik (1340 nm)</li> <li>• CH<sub>3</sub> metil (1706 nm)</li> <li>• CH<sub>2</sub> metilen (1776 nm)</li> <li>• C-H (2284, 2318 nm)</li> <li>• O-H alkohol, air (1465, 1580, 2102 nm)</li> <li>• N-H amida terkait protein (1933 nm)</li> </ul>	(Lima <i>et al.</i> , 2020)
	NIR	Tepung Jagung				Puncak spektra lada hitam dan tepung jagung saling tumpang tindih ( <i>overlapping</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C-H hidrokarbon alifatik, lemak (2348 nm)</li> <li>• C-H (2287, 2312 nm)</li> <li>• O-H alkohol, air (1466, 2108 nm)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C-H hidrokarbon alifatik (1202 nm)</li> <li>• C-H hidrokarbon alifatik dan aromatik (1340 nm)</li> <li>• CH<sub>3</sub> metil (1706 nm)</li> <li>• CH<sub>2</sub> metilen (1776 nm)</li> <li>• C-H (2286, 2316 nm)</li> <li>• O-H alkohol, air (1466, 1580, 2101 nm)</li> </ul>	



No	Alat	Adulteran	Perlakuan Konsentrasi Adulteran (%)	Bilangan Gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )	Panjang Gelombang (nm)	Keterangan Spektra	Gugus Fungsi Lada	Gugus Fungsi Adulteran	Referensi
2	NIR	<i>Buckwheat</i> <i>Millet</i>	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95	-	1000-2500	Intensitas puncak spektra berubah seiring dengan peningkatan konsentrasi adulteran	• N-H amida terkait protein (1933 nm) N/A	• N-H amida terkait protein (1932 nm) • CH <sub>2</sub> metilen (1200 nm) • N-H amida terkait protein (2010-2230 nm)	(McGoverin <i>et al.</i> , 2012)
3	NIR	<i>Husk</i> <i>Spent material</i> <i>Pinheads</i> Biji Pepaya Bubuk Cabai	10, 20, 30, 40	12000-4000	-	Perbedaan spektra lada hitam dengan adulteran terlihat pada bilangan gelombang 9000-4000 $\text{cm}^{-1}$	N/A	N/A	(Wilde <i>et al.</i> , 2019)
4	FT-NIR	Tepung Beras	5-95	-	800-2500	Tidak ada perbedaan yang signifikan pada spektra dengan	N/A	• CH <sub>2</sub> metilen terkait polisakarida dan pati (1215, 1765, 2325 nm)	(Lapcharoensuk <i>et al.</i> , 2019)

No	Alat	Adulteran	Perlakuan Konsentrasi Adulteran (%)	Bilangan Gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )	Panjang Gelombang (nm)	Keterangan Spektra	Gugus Fungsi Lada	Gugus Fungsi Adulteran	Referensi
5	NIR	Tepung Jagung Tepung Gandum Utuh	1-50	-	1400-2400	Spektra lada dan adulteran menunjukkan absorbansi yang sangat	N/A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O-H alkohol primer terkait pati (1450, 2100 nm)</li> <li>• O-H dan C-O alkohol terkait pati dan polisakarida (1450, 2100 nm)</li> <li>• O-H air (1450, 1940 nm)</li> <li>• CH<sub>2</sub> metilen terkait selulosa (1780 nm)</li> <li>• S-H sulfur asam amino <i>S-allyl-cysteine</i> (1750, 1740 nm)</li> <li>• C-H aromatik (1685 nm)</li> <li>• O-H alkohol terkait pati (1457 nm)</li> <li>• O-H karbohidrat kompleks, pati,</li> </ul>	(Li <i>et al.</i> , 2018)

No	Alat	Adulteran	Perlakuan Konsentrasi Adulteran (%)	Bilangan Gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )	Panjang Gelombang (nm)	Keterangan Spektra	Gugus Fungsi Lada	Gugus Fungsi Adulteran	Referensi
6	NIR-HSI	Campuran Tepung Jagung dan Tepung Gandum Utuh Biji Pepaya	1, 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5, 15, 20, 25, 30	-	900-1710	dekat dengan tren dan puncak yang sama  Absorbansi lada hitam murni lebih tinggi dibandingkan biji pepaya dengan tren spektra yang hampir sama	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C-H hidrokarbon alifatik dan aromatik terkait fenol, flavonoid, kuinin, dan pati (1200-1400 nm)</li> <li>• O-H alkohol terkait pati dan minyak (1200-1400 nm)</li> <li>• piperin, <i>piperonal</i>, <i>caryophyllene</i> (1323 dan 1390 nm)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• selulosa (1927, 2077 nm)</li> <li>• <math>\text{CH}_3</math> metil terkait selulosa (1705 nm)</li> <li>• <math>\text{CH}_2</math> metilen terkait selulosa (2296, 2466 nm)</li> <li>• C-H hidrokarbon alifatik dan aromatik terkait serat, protein, fenol, dan kuinin (1200-1400 nm)</li> <li>• O-H alkohol terkait minyak dan serat (1200-1400 nm)</li> <li>• <i>glucotropaeolin</i>, karpain (1475, 1503 nm)</li> <li>• O-H alkohol terkait serat (1432 nm)</li> </ul>	(Orrillo <i>et al.</i> , 2019)

No	Alat	Adulteran	Perlakuan Konsentrasi Adulteran (%)	Bilangan Gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )	Panjang Gelombang (nm)	Keterangan Spektra	Gugus Fungsi Lada	Gugus Fungsi Adulteran	Referensi
7	MIR	<i>Buckwheat Millet</i>	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95	3999-550	-	Perbedaan spektra seiring peningkatan konsentrasi adulteran pada bilangan gelombang 550-1770 $\text{cm}^{-1}$ (wilayah gugus fungsi dan sidik jari) dan 2800-3050 $\text{cm}^{-1}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O-H alkohol terkait polisakarida (1432 nm)</li> <li>Piperin</li> <li>• (1633, 1610, 1582, 1252, dan 997 <math>\text{cm}^{-1}</math>)</li> </ul>	Terkait pati dan protein <ul style="list-style-type: none"> <li>• C=O amida I (1640 <math>\text{cm}^{-1}</math>)</li> <li>• C-N dan N-H amida II (1515 <math>\text{cm}^{-1}</math>)</li> <li>• N-H dan C-N amida III (1230 <math>\text{cm}^{-1}</math>)</li> <li>• CH<sub>2</sub> metilen (1415 <math>\text{cm}^{-1}</math>)</li> <li>• C-O-C eter siklik (920 <math>\text{cm}^{-1}</math>)</li> <li>• C-H alkana (2800-3050 <math>\text{cm}^{-1}</math>)</li> </ul>	(McGoverin <i>et al.</i> , 2012)
8	FTIR	<i>Husk Spent material Pinheads</i>	10, 20, 30, 40	4000-400	-	Spektra terbagi menjadi wilayah gugus fungsi (3800-2800 $\text{cm}^{-1}$ ) dan sidik jari (1800-400	Oleoresin <ul style="list-style-type: none"> <li>• =C-O-C eter (1194 dan 1252 <math>\text{cm}^{-1}</math>)</li> <li>• CH<sub>2</sub> metilen (996 <math>\text{cm}^{-1}</math>)</li> <li>Piperin</li> </ul>	N/A	(Wilde <i>et al.</i> , 2019)

No	Alat	Adulteran	Perlakuan Konsentrasi Adulteran (%)	Bilangan Gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )	Panjang Gelombang (nm)	Keterangan Spektra	Gugus Fungsi Lada	Gugus Fungsi Adulteran	Referensi
		Biji Pepaya Bubuk Cabai				<p><math>\text{cm}^{-1}</math>) yang menunjukkan perbedaan spektra paling signifikan</p> <p>Spektra menunjukkan perbedaan paling signifikan pada bilangan gelombang 1800-400 <math>\text{cm}^{-1}</math> (<i>fingerprint</i>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (1633, 1580, 1252, dan 996 <math>\text{cm}^{-1}</math>)</li> </ul>		
9	FTIR	Tepung Tapioka	1-15	4000-720	-	<p>Spektra FTIR lada putih bubuk memiliki jumlah puncak yang lebih banyak dibandingkan tepung tapioka (804, 831, 846, 848, 928, 944, 1134,</p>	<p>Piperin</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-N amina alifatik (1134 <math>\text{cm}^{-1}</math>)</li> <li>• C-O eter (1193 <math>\text{cm}^{-1}</math>)</li> <li>• C-N amina aromatik (1251 <math>\text{cm}^{-1}</math>)</li> <li>• C-C cincin aromatik (1492 <math>\text{cm}^{-1}</math>)</li> </ul>	N/A	(Sarifudin <i>et al.</i> , 2021)

No	Alat	Adulteran	Perlakuan Konsentrasi Adulteran (%)	Bilangan Gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )	Panjang Gelombang (nm)	Keterangan Spektra	Gugus Fungsi Lada	Gugus Fungsi Adulteran	Referensi
10	ATR-FTIR	Tepung Beras <i>Pinheads</i> <i>Spent Light Berry</i> <i>White Pepper Spent</i> Bubuk Cabai Biji Pepaya Bedak	10, 15, 20, 25, 35	4000-720	-	1193, 1251, 1350, 1366, 1434, 1446, 1463, 1492, 1512, 1584, 1613, 1633 $\text{cm}^{-1}$ N/A	• C=C alkena ( $1633 \text{ cm}^{-1}$ ) • <i>Fingerprint</i> piperin ( $1660-720 \text{ cm}^{-1}$ )	• <i>Fingerprint</i> $\text{CH}_2$ metilen terkait selulosa dan pati ( $1170-875 \text{ cm}^{-1}$ )	(Lafeuille <i>et al.</i> , 2020)
						Spektra menunjukkan perbedaan signifikan dengan spektra piperin, pati, atau selulosa		N/A	

No	Alat	Adulteran	Perlakuan Konsentrasi Adulteran (%)	Bilangan Gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )	Panjang Gelombang (nm)	Keterangan Spektra	Gugus Fungsi Lada	Gugus Fungsi Adulteran	Referensi
11	DRIFT	Sorgum	5, 10, 30, 50	4000-400	-	Perubahan tren spektra dan peningkatan intensitas absorbansi seiring peningkatan konsentrasi adulteran	N/A	• -OH alkohol ( $3500-3100 \text{ cm}^{-1}$ )	(Hu <i>et al.</i> , 2018)
		Lada Sichuan				Peningkatan absorbansi yang signifikan seiring peningkatan konsentrasi adulteran	N/A	• Gugus rangkap tiga atau rangkap dua kumulatif ( $2400-2300 \text{ cm}^{-1}$ )	
		Lada hitam yang berbeda asal geografis				Perbedaan nilai absorbansi spektra pada bilangan gelombang $1600-600 \text{ cm}^{-1}$	• -OH alkohol ( $3300 \text{ cm}^{-1}$ ) • C-H alkana asimetris dan simetris ( $3000-2800 \text{ cm}^{-1}$ ) Piperin	N/A	



No	Alat	Adulteran	Perlakuan Konsentrasi Adulteran (%)	Bilangan Gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )	Panjang Gelombang (nm)	Keterangan Spektra	Gugus Fungsi Lada	Gugus Fungsi Adulteran	Referensi
							<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>-\text{CH}_3</math>, <math>-\text{OH}</math>, C-C, C-O, C-N, C-O-C (<math>1600-1100 \text{ cm}^{-1}</math>)</li> <li>• Terpena (<math>1400 \text{ cm}^{-1}</math>)</li> <li>• C-H <i>trans</i> aromatik (<math>1100 \text{ cm}^{-1}</math>)</li> <li>• C-H <i>cis</i> minyak aromatik (<math>500 \text{ cm}^{-1}</math>)</li> <li>• <math>-\text{CH}_2</math>-exo-metilen terpena (<math>900 \text{ cm}^{-1}</math>)</li> </ul>		

## Keterangan:

N/A: *not available*NIR: *Near Infrared Spectroscopy*NIR-HSI: *Near Infrared Hyperspectral Imaging Spectroscopy*FT-NIR: *Fourier Transform Near Infrared Spectroscopy*MIR: *Mid Infrared Spectroscopy*FTIR: *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*ATR-FTIR: *Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy*DRIFT: *Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform Spectroscopy*

### 4.3. Analisis Multivariat dalam Menginterpretasi Hasil Pengujian Spektroskopi pada Pemalsuan Lada

Analisis multivariat yang digunakan dalam mendeteksi pemalsuan lada bermacam-macam. Jenis analisis multivariat terbagi menjadi *targeted* dan *non-targeted*. Pada Tabel 8., analisis multivariat *targeted* yang dapat digunakan meliputi *Partial Least Square* (PLS), *Multiple Linear Regression* (MLR), dan *Genetic Algorithm Optimized Support Vector Machine* (GA-SVM). Analisis tersebut digunakan pada spektroskopi NIR, FT-NIR, NIR-HSI, MIR, FTIR, dan DRIFT. Dari semua penelitian, konsentrasi terendah adulteran yang terdeteksi hanya dapat ditunjukkan pada kombinasi GA-SVM dengan spektroskopi DRIFT pada adulteran sorgum dan lada Sichuan. Hasil interpretasi data analisis *targeted* berupa nilai  $R^2$  (*Coefficient of Determination*), SEC (*Standard Error of Calibration*), SEV (*Standard Error of Validation*), dan RPD (*Ratio of Performance to Deviation*).

Pada Tabel 9., analisis multivariat *non-targeted* yang dapat digunakan antara lain *Partial Least Square Discriminant Analysis* (PLS-DA), *Orthogonal Least Square Discriminant Analysis* (OPLS-DA), *Soft Independent Modeling of Class Analogy* (SIMCA), dan *Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve* (AUROC). Analisis ini digunakan pada spektroskopi NIR, FTIR, dan ATR-FTIR. Dari semua penelitian, kombinasi spektroskopi NIR, FTIR dan ATR-FTIR dengan analisis AUROC dapat menunjukkan konsentrasi terendah adulteran yang dapat terdeteksi. Hasil interpretasi data analisis *non-targeted* yaitu persentase spesifisitas dan sensitivitas.

Tabel 8. Analisis Multivariat *Targeted* dalam Mendeteksi Adulteran pada Pemalsuan Lada

No	Analisis Multivariat	Alat	Adulteran	Konsentrasi Adulteran Terendah yang Terdeteksi	Hasil Interpretasi				Referensi	
					Kalibrasi		Validasi			RPD
					R <sup>2</sup>	SEC	R <sup>2</sup>	SEV		
1	PLS	NIR	Pati Singkong	N/A	0,9739	3,9327	0,9541	5,2258	3,2921	(Lima <i>et al.</i> , 2020)
		NIR	Tepung Jagung	N/A	0,9834	3,1367	0,9581	4,998	3,4531	(Lima <i>et al.</i> , 2020)
		NIR	Tepung Jagung, Tepung Gandum Utuh, dan Campuran Tepung Jagung dan Tepung Gandum Utuh	N/A	0,996	0,788	0,996	0,920	15,2	(Li <i>et al.</i> , 2018)
		NIR	<i>Buckwheat dan Millet</i>	N/A	0,99	N/A	N/A	2,69-2,89	10,37-11,10	(McGoverin <i>et al.</i> , 2012)
		FT-NIR	Tepung Beras	N/A	0,99	N/A	0,99	N/A	18,1	(Lapcharoen <i>et al.</i> , 2019)
		NIR-HSI	Biji Pepaya bubuk	N/A	0,945	2,24	0,919	2,78	3,85	(Orrillo <i>et al.</i> , 2019)
		MIR	<i>Buckwheat dan Millet</i>	N/A	>0,90	N/A	N/A	7,25-12,49	2,33-4,04	(McGoverin <i>et al.</i> , 2012)
2	MLR	NIR	Pati Singkong	N/A	0,9731	4,2031	0,9546	5,2266	3,2916	(Lima <i>et al.</i> , 2020)
		NIR	Tepung Jagung	N/A	0,973	4,0536	0,9174	7,0295	2,4551	(Lima <i>et al.</i> , 2020)

No	Analisis Multivariat	Alat	Adulteran	Konsentrasi Adulteran Terendah yang Terdeteksi	Hasil Interpretasi				Referensi	
					Kalibrasi		Validasi			RPD
					R <sup>2</sup>	SEC	R <sup>2</sup>	SEV		
3	GA-SVM	DRIFT	Sorgum	10%	>0,98	N/A	N/A	N/A	N/A	(Hu <i>et al.</i> , 2018)
		DRIFT	Lada Sichuan	30%	>0,98	N/A	N/A	N/A	N/A	(Hu <i>et al.</i> , 2018)
		DRIFT	Lada berbeda asal Geografis	N/A	1	N/A	N/A	N/A	N/A	(Hu <i>et al.</i> , 2018)

## Keterangan:

N/A: *not available*PLS: *Partial Least Square*MLR: *Multiple Linear Regression*GA-SVM: *Genetic Algorithm Optimized Support Vector Machine*NIR: *Near Infrared Spectroscopy*FT-NIR: *Fourier Transform Near Infrared Spectroscopy*NIR-HSI: *Near Infrared Hyperspectral Imaging Spectroscopy*MIR: *Mid Infrared Spectroscopy*FTIR: *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*DRIFT: *Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform Spectroscopy*R<sup>2</sup>: *Coefficient of Determination*SEC: *Standard Error of Calibration*SEV: *Standard Error of Calibration*RPD: *Ratio Prediction to Deviation*

Tabel 9. Analisis Multivariat *Non-Targeted* dalam Mendeteksi Adulteran pada Pemalsuan Lada

No Analisis Multivariat	Alat	Adulteran	Konsentrasi Adulteran Terendah yang Terdeteksi	Hasil Interpretasi		Referensi
				Spesifisitas (%)	Sensitivitas (%)	
1 PLS-DA	NIR	Pati Singkong	N/A	92	24	(Lima <i>et al.</i> , 2020)
	NIR	Tepung Jagung	N/A	98	24	(Lima <i>et al.</i> , 2020)
2 OPLS-DA	NIR	Pati Singkong	N/A	90	36	(Lima <i>et al.</i> , 2020)
	NIR	Tepung Jagung	N/A	99	36	(Lima <i>et al.</i> , 2020)
3 SIMCA	NIR	Pati Singkong	N/A	83	88	(Lima <i>et al.</i> , 2020)
	NIR	Tepung Jagung	N/A	57	88	(Lima <i>et al.</i> , 2020)
	NIR	Biji Pepaya	N/A	90-98	90-97	(Orrillo <i>et al.</i> , 2019)
4 AUROC	NIR	<i>Spent/husk</i>	10%	100	90	(Wilde <i>et al.</i> , 2019)
	NIR	Biji Pepaya	10%	100	90	(Wilde <i>et al.</i> , 2019)
	FTIR	<i>Spent/husk</i>	10%	100	93	(Wilde <i>et al.</i> , 2019)
	FTIR	Biji Pepaya	10%	92	93	(Wilde <i>et al.</i> , 2019)
	ATR-FTIR	<i>Pinheads</i>	15%	92	100	(Lafeuille <i>et al.</i> , 2020)
	ATR-FTIR	<i>Spent light berry</i>	20%	96	100	(Lafeuille <i>et al.</i> , 2020)
	ATR-FTIR	<i>Spent white berry</i>	10%	96	74	(Lafeuille <i>et al.</i> , 2020)
	ATR-FTIR	Bedak	5%	91	100	(Lafeuille <i>et al.</i> , 2020)
	ATR-FTIR	Biji Pepaya	15%	96	100	(Lafeuille <i>et al.</i> , 2020)
	ATR-FTIR	Cabai Bubuk	15%	90	100	(Lafeuille <i>et al.</i> , 2020)
ATR-FTIR	Tepung Beras	15%	96	74	(Lafeuille <i>et al.</i> , 2020)	

Keterangan:

N/A: *not available*

PLS-DA: *Partial Least Square Discriminant Analysis*

OPLS-DA: *Orthogonal Partial Least Square Discriminant Analysis*

SIMCA: *Soft Independent Modeling of Class Analogy*

AUROC: *Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve*

NIR: *Near Infrared Spectroscopy*

FTIR: *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*

ATR-FTIR: *Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy*

Spesifisitas: persentase sampel palsu dalam sampel tercemar yang dapat dideteksi dengan benar

Sensitivitas: persentase sampel asli dalam set uji yang dapat dideteksi dengan benar

