

Autentikasi Cepat Kopi Spesialti Arabika Java Preanger Kultivar Typica, Sigarar Utang dan Yellow Bourbon Menggunakan Spektroskopi UV dan Metode PLS-DA

Meinilwita Yulia¹, Kurnia Rimadhanti Ningtyas², Slamet Widodo³, Diding Suhandy^{4*}

¹ Prodi Mekanisasi Pertanian, Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Lampung

² Pengembangan Produk Agroindustri, Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Lampung

³ Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University

⁴ Laboratorium Rekayasa Bioproses dan Pascapanen, Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Lampung

*email korespondensi: diding.suhandy@fp.unila.ac.id

Info Artikel

Diajukan: 9 September 2022

Diterima: 3 April 2023

Keyword:

Authentication; Java Preanger arabica specialty coffee; coffee cultivar; coffee adulteration; UV spectroscopy

Kata Kunci:

Autentikasi; kopi spesialti arabika Java Preanger; kultivar kopi; pemalsuan kopi; spektroskopi UV

Abstract

Java Preanger arabica specialty coffee of Typica, Sigarar Utang, and Yellow Bourbon is currently available in the premium coffee market at high prices and is currently one of the targets for coffee fraud. This study aims to evaluate the use of the UV spectroscopy method and the PLS-DA (partial least squares-discriminant analysis) method for rapid authentication of Java Preanger arabica specialty coffee with three different cultivars. Samples of arabica specialty ground roasted coffee and robusta were prepared for 550 samples with a weight of 1 g for each sample. All samples were extracted by standard procedures and diluted in a ratio of 1:70 (volume/volume). The diluted coffee sample was then taken as much as 3 mL, inserted into a quartz cuvette cell, and the spectra were taken using a UV-visible spectrometer in the wavelength range of 190-400 nm with 1 nm intervals. The results of the PCA transformation spectra at a wavelength of 250-400 nm showed that three cultivars of arabica specialty and robusta coffee could be distinguished and were in different clusters. However, Typica and Sigarar Utang arabica specialty coffees are in clusters that are close to each other and some of them overlap each other, indicating that the two arabica specialty coffees have similarities. The results of PLS-DA transformation spectra at a wavelength of 250-400 nm show that the developed classification model can be used for the classification of robusta and arabica coffee with three different cultivars with classification accuracy reaching 97.8 to 100%.

Abstrak

Kopi spesialti arabika Java Preanger kultivar Typica, Sigarar Utang, dan Yellow Bourbon saat ini tersedia di pasar kopi premium dengan harga mahal dan saat ini menjadi salah satu target pemalsuan kopi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi aplikasi metode spektroskopi UV dan metode PLS-DA (partial least squares-discriminant analysis) untuk autentikasi cepat kopi spesialti arabika Java Preanger dengan tiga kultivar berbeda. Sampel kopi bubuk spesialti arabika dan robusta disiapkan sebanyak 550 sampel dengan berat 1 g untuk setiap sampel. Seluruh sampel diekstraksi dengan prosedur standar dan diencerkan dengan perbandingan 1:70 (volume/volume). Sampel kopi yang telah diencerkan kemudian diambil sebanyak 3 mL, dimasukkan ke dalam sel kuwet kuarsa, dan diambil spektranya menggunakan alat spektrometer UV-visible di rentang panjang gelombang 190-400 nm dengan interval 1 nm. Hasil PCA spektra hasil pengolahan di panjang gelombang 250-400 nm menunjukkan tiga kultivar kopi spesialti arabika dan kopi robusta dapat dibedakan dengan jelas dan terletak di klaster yang berbeda. Namun kopi spesialti arabika Typica dan Sigarar Utang terletak di klaster yang saling berdekatan dan sebagian sampel saling bertumpuk menunjukkan kedua kultivar kopi arabika tersebut memiliki kemiripan. Hasil PLS-DA spektra hasil pengolahan di panjang gelombang 250-400 nm menunjukkan model klasifikasi yang dibangun dapat digunakan untuk klasifikasi kopi robusta dan kopi arabika dengan tiga kultivar berbeda dengan akurasi klasifikasi mencapai 97.8 sampai 100%.

Doi: <https://doi.org/10.19028/jtep.011.1.1-15>

1. Pendahuluan

Kopi masih menjadi salah satu produk pertanian paling penting di Indonesia. Di Indonesia produktivitas kopi masih cukup tinggi. Periode tahun 2013-2017, dengan rata-rata total luas lahan 1.15 juta hektar mampu memproduksi rata-rata 418.42 ribu ton kopi beras (kopi arabika dan robusta). Kontribusi kopi arabika masih kecil dibandingkan dengan kopi robusta karena di periode waktu tersebut produksi nasional kopi arabika rata-rata hanya sebesar 160.86 ribu ton (Martauli, 2018). Namun, produksi kopi arabika cenderung terus meningkat karena harga kopi arabika yang semakin kompetitif. Saat ini harga kopi arabika secara umum dua kali lebih mahal dibandingkan kopi robusta (Pacetti et al., 2012). Hal ini antara lain disebabkan oleh keunggulan citarasa kopi arabika dibandingkan kopi robusta (Monakhova et al., 2015).

Beberapa kopi arabika dikembangkan secara khusus di daerah tertentu untuk menghasilkan kopi dengan label indikasi geografis dan dijual di pasar kopi premium sebagai kopi *grade* spesialti. Kopi spesialti arabika dijual dengan harga lebih mahal dibandingkan dengan kopi robusta. Hanya saja, upaya peningkatan produksi kopi spesialti arabika saat ini masih menjadi kendala. Selain rentan penyakit, beberapa kultivar kopi arabika juga kurang adaptif dengan perubahan iklim. Saat ini, dampak perubahan iklim pada sistem pertanian kopi telah menjadi perhatian dunia (Hirons et al., 2018). Pengembangan kultivar kopi baru yang adaptif dengan kondisi iklim suatu wilayah merupakan salah satu aspek penting dalam rangka mempertahankan dan meningkatkan produksi kopi yang tinggi.

Saat ini beberapa kultivar kopi arabika unggul telah tersedia dan banyak ditanam petani kopi di Kabupaten Garut untuk menghasilkan kopi spesialti arabika bermutu tinggi dengan label indikasi geografis Java Preanger seperti kopi arabika kultivar Typica, Yellow Bourbon, dan Sigarar Utang. Ketiga kultivar tersebut merupakan kultivar yang saat ini populer dibudidayakan petani untuk menghasilkan kopi spesialti arabika Java Preanger dan menjadi target pengoplosan kopi bubuk (*coffee fraud*). Bentuk praktek pemalsuan di antaranya adalah dengan menggunakan kopi robusta yang harganya lebih murah sebagai campuran kopi arabika (*adulteration*) atau memberikan label kopi arabika untuk kopi robusta (*mislabeled*).

Biji kopi arabika dan robusta mudah dibedakan secara visual saat masih biji utuh sebelum disangrai atau biji kopi hijau. Saat ini, prosedur standar untuk membedakan biji kopi arabika hijau dan biji kopi robusta didasarkan pada pemeriksaan visual dari ukuran, warna, dan bentuk biji (Keidel et al., 2010). Secara umum biji kopi arabika memiliki ukuran yang lebih besar dan bentuk oval serta warna yang lebih terang (Sunarharum et al., 2019). Hanya saja, prosedur seperti ini memiliki banyak kelemahan seperti sangat bergantung pada keterampilan dan pengalaman penilai dan adanya variasi alami biji kopi dari kultivar yang berbeda-beda (Keidel et al., 2010). Penilaian semakin sulit saat biji kopi sudah disangrai dan menjadi kopi bubuk. Uji keaslian kopi bubuk (*ground roasted bean*) untuk membedakan kopi arabika dan robusta menjadi sulit karena fitur fisik pembeda kopi seperti warna, ukuran dan bentuk biji sudah hilang.

Saat ini diperlukan sebuah prosedur lain yang bisa menggantikan prosedur standar tersebut untuk menilai keaslian kopi spesialti arabika secara akurat, cepat dan berbiaya terjangkau.

Penilaian keaslian kopi bubuk arabika dan robusta telah banyak dilakukan menggunakan beberapa metode analisis seperti HPLC (*high-performance liquid chromatography*), metabolomik, dan analisis berbasis spektroskopi baik dengan pendekatan *targeted* atau *non-targeted* (Núñez et al., 2021). Pendekatan *targeted* biasanya dilakukan jika telah diketahui kandidat bahan atau senyawa tertentu yang bisa dijadikan sebagai penanda atau *biomarker* dalam proses uji keaslian suatu produk pertanian. Untuk kopi arabika dan robusta beberapa senyawa *biomarker* sebagai pembeda kedua kopi tersebut telah berhasil dilaporkan seperti senyawa *kahweol* dan *16-O-methylcafestol* (Finotello et al., 2017)). Senyawa *furfural*, *5-methylfurfural*, *maltol*, *2-formylpyrrole* dan *4-ethylguaiacol* telah digunakan sebagai kandidat *biomarker* untuk karakterisasi sampel kopi arabika (Ongo et al., 2020). Senyawa asam klorogenat (*chlorogenic acids* atau CGAs) juga dilaporkan sebagai salah satu senyawa penting kopi yang jumlahnya berbeda secara signifikan di kopi arabika dan robusta sehingga dapat dijadikan sebagai *biomarker* untuk membedakan kopi arabika dan kopi robusta (Badmos et al., 2019; D'Amelio et al., 2015).

Proses uji keaslian dengan pendekatan *targeted* bisa berlangsung lebih cepat karena hanya melibatkan pengukuran satu atau beberapa senyawa tertentu. Pendekatan *non-targeted* saat ini banyak diaplikasikan karena sebagian besar belum diketahui kandidat bahan atau senyawa sebagai *marker*. Perkembangan instrumentasi yang pesat juga telah membantu pendekatan *non-targeted* berlangsung lebih cepat. Metode HPLC dan metabolomik *non-targeted* misalnya telah berhasil digunakan untuk uji keaslian kopi arabika dan robusta dari beberapa origin (Núñez et al., 2021; Putri et al., 2019). Metode HPLC misalnya memiliki ketepatan klasifikasi yang sangat baik dengan eror di bawah 3.4% untuk validasi dan 7.5% untuk prediksi (Núñez et al., 2021). Hanya saja, kedua metode ini melibatkan peralatan yang sangat mahal, proses persiapan sampel yang rumit dan waktu analisis yang lama.

Metode autentikasi atau uji keaslian kopi bubuk arabika dan robusta berbasis spektroskopi dilakukan dengan pendekatan *non-targeted* dan dapat dilakukan dengan metode *near infrared* (NIR), *mid-infrared*, *UV-visible*, dan *terahertz* (THz) *spectroscopy* (Correia et al., 2018; Fioresi et al., 2021; Suhandy & Yulia, 2017a; Yang et al., 2021). Aplikasi metode spektroskopi untuk uji keaslian kopi biasanya dikombinasikan dengan penggunaan beberapa metode kemometrika termasuk metode terbimbing seperti SIMCA (*soft independent modelling of class analogies*) dan PLS-DA (*partial least square-discriminant analysis*) dan metode tidak terbimbing seperti PCA (*principal component analysis*) dan HCA (*hierarchical component analysis*). PLS-DA bekerja berdasarkan algoritma regresi PLS yang mencari variabel laten dengan kovarian maksimum dengan variabel Y sehingga perbedaan antar kelas dapat ditampilkan. Variabel Y di sini adalah kelas yang menjadi target klasifikasi seperti jenis kopi. Saat ini metode terbimbing PLS-DA merupakan salah satu metode yang paling banyak digunakan dalam uji keaslian kopi (Suhandy & Yulia, 2017b; Minh et al., 2022; Castillejos-Mijangos et al., 2022).

Dibandingkan metode konvensional seperti HPLC, secara umum metode uji keaslian kopi berbasis spektroskopi memiliki beberapa kelebihan seperti cepat dalam persiapan sampel dengan persiapan sampel minimal atau tanpa persiapan sampel, mudah dalam pengoperasian instrumentasi dan tingkat akurasi yang masih bisa diterima dan sebagian besar melibatkan instrumen tidak merusak (*nondestructive and noninvasive*) (Zaukuu et al., 2022). Secara khusus, dibandingkan dengan metode spektroskopi yang lain, metode spektroskopi UV (*UV spectroscopy*) memiliki kelebihan dengan proses persiapan sampel tanpa bahan kimia (*green technology*), instrumentasi lebih terjangkau dan tersedia dalam bentuk *benchtop* dan portabel sehingga lebih mudah proses hilirisasi. Metode spektroskopi UV telah teruji untuk uji keaslian beberapa kopi bubuk di Indonesia (Suhandy & Yulia, 2017b; Suhandy & Yulia, 2019). Proses diskriminasi dan klasifikasi kopi spesialti arabika dengan beberapa kultivar berbeda dengan kopi robusta menggunakan metode spektroskopi UV belum dilakukan. Sehingga tujuan penelitian ini adalah melakukan investigasi aplikasi metode spektroskopi UV dan metode PLS-DA (*partial least squares-discriminant analysis*) untuk autentikasi cepat kopi spesialti arabika Java Preanger kultivar Typica, Sigarar Utang dan Yellow Bourbon.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Sampel Kopi Spesialti Arabika dan Robusta

Kopi arabika Java Preanger kultivar Typica, Sigarar Utang, dan Yellow Bourbon dengan grade spesialti dipanen pada bulan Mei 2020 oleh petani di daerah Gunung Papandayan, Desa Cisurupan, Kabupaten Garut, Provinsi Jawa Barat, Indonesia (ketinggian 1410 m di atas permukaan laut). Kopi robusta dipanen pada bulan Agustus 2020 oleh petani di desa Tribudi Syukur, Kecamatan Kebun Tebu, Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung, Indonesia (ketinggian 845 m di atas permukaan laut). Seluruh sampel kopi diproses dengan menggunakan metode basah dengan air sebagai media fermentasi (Pereira et al., 2020). Buah kopi arabika dan robusta petik merah dicuci dan buah kopi mengambang dibuang. Setelah itu buah kopi terpilih dikupas dan dicuci menggunakan air untuk menghilangkan lendir. Biji kopi yang telah bersih kemudian direndam dalam air bersih selama 24 jam untuk proses fermentasi. Biji kopi arabika dan robusta hasil fermentasi kemudian dicuci dan dikeringkan hingga mencapai kadar air 12% dan kemudian masuk tahap pengupasan kulit *parchment* dan biji kopi siap disangrai. Proses sangrai dilakukan dengan menggunakan alat sangrai portabel (model JMS-270) berkapasitas 0.5 kg pada suhu sangrai 200°C selama 15 menit. Kopi hasil sangrai kemudian digiling (mesin *coffee grinder* Sayota dengan daya 180 W tipe SCG 178) dan diayak dengan ayakan *Tyler Meinzer II* selama 10 menit dengan mesh ukuran 40 (ukuran partikel 0.297 mm) untuk mendapatkan sampel kopi bubuk yang siap untuk proses ekstraksi. Gambar 1 menunjukkan visualisasi sampel kopi bubuk untuk masing-masing kultivar kopi arabika (Typica, Sigarar Utang, dan Yellow Bourbon) dan kopi robusta. Secara visual, warna kopi bubuk arabika dan robusta pada beberapa jenis kultivar sulit dibedakan berdasarkan parameter fisik warna.



Gambar 1. Visualisasi sampel kopi bubuk arabika (Typica, Sigarar Utang, dan Yellow Bourbon) dan robusta yang digunakan dalam penelitian.

2.2. Prosedur Ekstraksi Sampel Kopi

Sampel kopi bubuk arabika (Typica, Sigarar Utang, dan Yellow Bourbon) dan robusta disiapkan sebanyak total 550 sampel dengan berat 1 g untuk setiap sampel seperti terlihat di Tabel 1. Setiap sampel diekstraksi dengan prosedur standar seperti yang telah dijelaskan di penelitian sebelumnya (Suhandy, et al., 2017; Suhandy & Yulia, 2019). Prosedur ekstraksi kopi yang dilakukan sebagai berikut: sampel kopi dicampurkan dengan air distilasi mendidih sebanyak 50 mL bersuhu kurang lebih 90-98°C dan diaduk selama 10 menit menggunakan *magnetic stirrer Ciblanc* dengan kecepatan pengadukan 350 rpm. Sampel kopi kemudian disaring dan hasil saringan diencerkan menggunakan air distilasi dengan perbandingan 1:70 (volume/volume).

2.3. Prosedur Pengambilan Spektra Sampel Kopi

Sampel kopi yang telah diencerkan kemudian diambil sebanyak 3 mL untuk dimasukkan ke dalam sel kuvet kuarsa. Spektra sampel kopi diambil menggunakan alat spektrometer *UV-visible* (Genesys UV-visible spectrometer, Thermo Fisher, Scientific, USA) di rentang panjang gelombang 190-400 nm dengan interval 1 nm. Spektrometer yang digunakan merupakan salah satu spektrometer tipe *benchtop* berbiaya murah dengan sumber cahaya lampu kontinyu *Xenon* dan dilengkapi detektor berbahan *Silicon photodiode* dengan daerah deteksi meliputi panjang gelombang UV (*ultraviolet*) hingga NIR (*near infrared*) (190-1100 nm). Spektra diambil dengan mode transmitan dan data yang diperoleh dalam bentuk data absorban yang dihitung secara otomatis oleh spektrometer. Data spektra absorban ini disimpan di komputer dan ini disebut sebagai data spektra asli.

Tabel 1. Data sampel kopi arabika (Typica, Yellow Bourbon, dan Sigarar Utang) dan kopi robusta yang digunakan dalam penelitian.

Jenis kopi	Kode sampel	Jumlah sampel	Berat per sampel (g)
Arabika Typica	AT1-AT150	150	1.0
Arabika Sigarar Utang	AS1-AS150	150	1.0
Arabika Yellow Bourbon	AY1-AY150	150	1.0
Robusta	R1-R100	100	1.0

2.4. Prosedur Analisis Data

Relasi antara data spektra dan jenis kopi untuk seluruh sampel ($n=550$) merupakan relasi data multivariat dengan absorban pada panjang gelombang sebagai prediktor atau data X ($n=211$ variabel yaitu dari 190 sampai 400 nm dengan interval 1 nm) dan jenis kopi sebagai data respon atau Y ($n=4$ yaitu kelas kopi Typica, Sigarar Utang, Yellow Bourbon dan robusta). Analisis multivariat pertama dilakukan dengan menggunakan metode *principal component analysis* atau PCA. Ini merupakan salah satu metode klusterisasi sampel berdasarkan nilai *principal component* (PC) yaitu variabel baru yang tidak saling *colinear* (Jolliffe & Cadima, 2016). Perhitungan PCA dilakukan menggunakan data spektra asli dan spektra hasil pengolahan. Spektra hasil pengolahan diperoleh dengan cara mengubah spektra asli menggunakan algoritma pengolahan spektra. Di dalam penelitian ini dilakukan 4 jenis pengolahan data spektra: *moving average smoothing* dengan 11 segmen (MAS), *standard normal variate* (SNV), *multiplicative scatter correction* (MSC), *Savitzky-Golay first derivative* dengan ordo 2 dan 11 segmen (SG1d) dan kombinasi atau gabungan dari beberapa pengolahan data spektra (MAS+SNV+SG1d) (Suhandy & Yulia, 2021).

Analisis multivariat berikutnya adalah pengembangan model klasifikasi menggunakan metode *partial least squares-discriminant analysis* (PLS-DA). Perhitungan model PLS-DA dilakukan dengan input data spektra asli dan spektra hasil pengolahan. PLS-DA dihitung dengan menggunakan algoritma *nonlinear iterative partial least squares* atau NIPALS dengan data spektra sebagai data prediktor (X) dan data jenis kopi sebagai data respon (Y). Untuk data respon maka label untuk kelas adalah 1 dan label untuk bukan kelas adalah 0. Sebagai contoh, saat perhitungan PLS-DA kelas Typica maka seluruh sampel kopi Typica diberi label 1 dan seluruh sampel bukan Typica (yaitu Sigarar Utang, Yellow Bourbon, dan robusta) diberi label 0. Nilai ± 0.5 diambil sebagai nilai ambang batas atau *threshold* untuk penentuan nilai kelas sebagaimana telah banyak dipakai di studi sebelumnya (Cortés et al., 2017; Giovenzana et al., 2018). Sampel kemudian dikelompokkan secara acak menjadi tiga bagian yaitu sampel kalibrasi, validasi dan prediksi. Model PLS-DA untuk setiap kelas dihitung dengan menggunakan data sampel kalibrasi sebanyak total 276 sampel ($n=75$ untuk masing-masing kopi arabika dan $n=51$ untuk kopi robusta). Model PLS-DA kemudian divalidasi menggunakan sampel validasi sebanyak 184 sampel ($n=50$ untuk masing-masing kopi arabika dan $n=34$ untuk kopi robusta). Model yang dibangun kemudian dievaluasi berdasarkan parameter berikut: koefisien determinasi untuk kalibrasi dan validasi atau $R^2_{\text{kalibrasi}}$ dan R^2_{validasi} , jumlah *latent variable* atau LV, nilai *root-mean-square error of calibration* atau RMSEC dan *root-mean-square error of validation* atau RMSEV (Hirri et al., 2016).

Evaluasi performansi model PLS-DA dilakukan menggunakan sampel prediksi sebanyak 90 sampel ($n=25$ untuk masing-masing kopi arabika dan $n=15$ untuk kopi robusta). Kualitas hasil prediksi dievaluasi dengan menghitung tingkat akurasi klasifikasi sesuai dengan persamaan 1 di mana q merupakan jumlah sampel prediksi yang masuk sesuai dengan kelasnya dan p jumlah keseluruhan sampel prediksi.

$$\text{Akurasi Klasifikasi (\%)} = \frac{\sum q}{\sum p} \times 100\% \quad (1)$$

2.5. Software Analisis Data

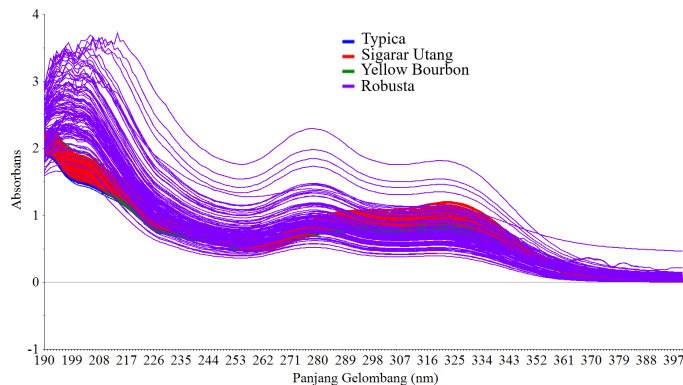
Seluruh perhitungan data multivariat PCA dan PLS-DA termasuk pengolahan data spektra dilakukan dengan bantuan perangkat lunak khusus pengolah data spektra *the Unscrambler X-single user versi 10.4* (CAMO Software AS, Oslo, Norwegia).

3. Hasil dan Pembahasan

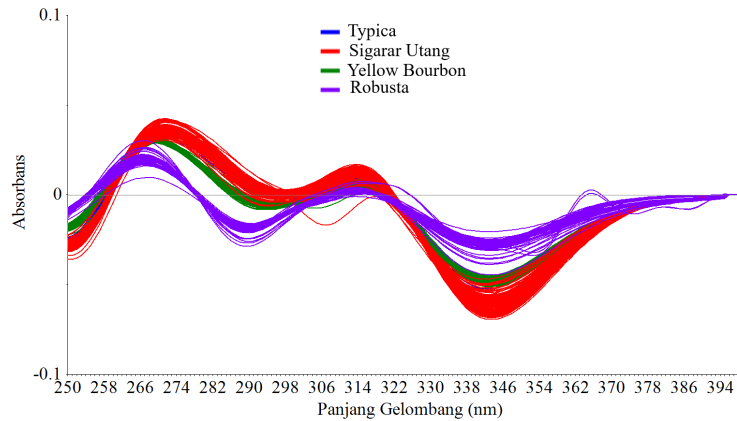
3.1. Analisis Spektra UV

Gambar 2 merupakan plot spektra asli (n=550) untuk sampel kopi arabika (Typica, Sigarar Utang, dan Yellow Bourbon) dan kopi robusta. Secara umum data spektra yang diperoleh (bentuk spektra dan rentang nilai absorbans) sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya (Suhandy & Yulia, 2017b; Dankowska et al., 2017). Data spektra di rentang 190-250 nm terlihat mengandung informasi *noise* (bentuk spektra tidak halus dan nilai absorbans di atas 2). Atas dasar ini maka data spektra di rentang 190-250 nm tidak diikutsertakan dalam perhitungan berikutnya. Pada rentang 250-400 nm, data spektra terlihat saling bertumpuk dan sulit melihat perbedaan antara kopi arabika (Typica, Sigarar Utang, dan Yellow Bourbon) dengan kopi robusta. Untuk memperbaiki kualitas data spektra asli maka dilakukan proses pengolahan data spektra dengan menggunakan tiga algoritma pengolahan spektra secara sekaligus dan berurutan yaitu MAS+SNV+SG1d.

Spektra hasil pengolahan ditunjukkan di Gambar 3. Perbedaan kopi arabika dan robusta jelas terlihat, namun tidak semua kopi arabika bisa terpisah. Spektra kopi arabika Sigarar Utang dan kopi arabika Typica bisa dibedakan dengan kopi arabika Yellow Bourbon. Namun, spektra kopi arabika Typica terlihat bertumpuk dengan kopi arabika Sigarar Utang. Dari data spektra ini, terlihat bahwa kopi arabika Typica dan Sigarar Utang memiliki karakteristik optik yang mirip. Kemiripan data optik yang diperoleh didukung dengan hasil penelitian sebelumnya. Analisis kekerabatan beberapa kultivar kopi yang dilakukan dengan metode *simple sequence repeat* (SSR) menunjukkan kedekatan kultivar Sigarar Utang dengan Typica di mana diduga kopi arabika Sigarar Utang yang dikembangkan di daerah Garut merupakan persilangan alami antara Typica BLP dengan Catimor (Izzah et al., 2015). Beberapa puncak dengan intensitas absorbans tinggi dapat teridentifikasi di panjang gelombang 270, 285, 315 dan 345 nm.



Gambar 2. Spektra asli sampel kopi arabika (Typica, Sigarar Utang, dan Yellow Bourbon) dan kopi robusta di panjang gelombang 190-400 nm.



Gambar 3. Spektra hasil pengolahan sampel kopi arabika (Typica, Sigarar Utang, dan Yellow Bourbon) dan kopi robusta di panjang gelombang 250-400 nm.

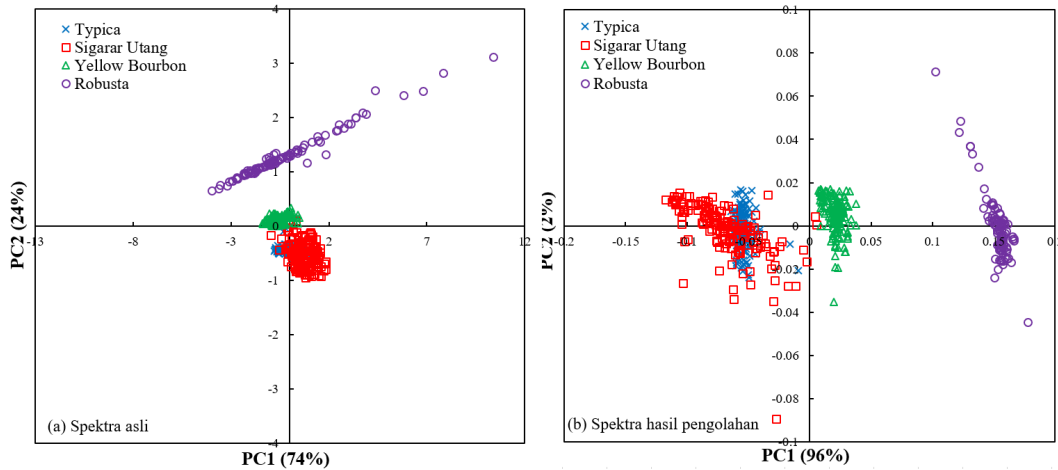
3.2. Hasil PCA

Plot skor untuk dua PC pertama (PC1 dan PC2) untuk spektra asli dan spektra hasil pengolahan (MAS+SNV+SG1d) ditunjukkan di Gambar 4. Klasterisasi sampel berdasarkan jenis dan kultivar kopi tampak terlihat baik untuk spektra asli maupun spektra hasil pengolahan. Separasi sampel kopi menggunakan spektra hasil pengolahan terlihat lebih baik dibandingkan spektra asli. Sepanjang sumbu mendatar atau PC1 yang menjelaskan varian data sebesar 96%, sampel kopi arabika dan robusta terletak di klaster yang berbeda. Seluruh sampel kopi robusta terletak di sebelah kanan dengan nilai skor PC1 positif ($PC1 > 0$). Untuk kopi arabika, tiga kultivar yang diuji yaitu Typica, Sigarar Utang, dan Yellow Bourbon terlihat dapat dibedakan dan terletak di klaster yang terpisah. Hanya saja, seperti yang dijelaskan sebelumnya, kekerabatan yang dekat antara kopi Typica dan Sigarar Utang juga terlihat di hasil PCA. Kedua kultivar terletak di klaster yang saling berdekatan dan sebagian sampel saling bertumpuk.

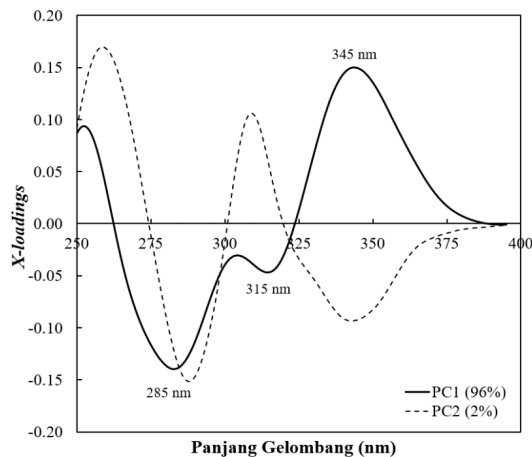
Analisis plot *x-loadings* dan panjang gelombang untuk spektra hasil pengolahan (MAS+SNV+SG1d) ditunjukkan di Gambar 5. Panjang gelombang 285 nm di PC1 memiliki kontribusi penting dengan nilai *x-loadings* negatif. Panjang gelombang ini berkorelasi dengan absorbans senyawa *kahweol* di panjang gelombang 285 nm seperti dilaporkan penelitian sebelumnya (Zhang et al., 2022). Ini menunjukkan bahwa tiga kultivar kopi arabika yang digunakan yaitu kopi arabika Typica, Sigarar Utang, dan Yellow Bourbon diduga memiliki kandungan senyawa *kahweol* yang lebih tinggi dibandingkan kopi robusta. Senyawa *kahweol* merupakan senyawa yang terbentuk saat proses sangrai kopi dan secara umum banyak dikandung oleh kopi arabika (Pacetti et al., 2012). Beberapa penelitian sebelumnya juga telah menunjukkan potensi penggunaan senyawa *kahweol* di kopi arabika untuk mencegah pemalsuan oleh kopi robusta (Burton et al., 2020; Monakhova et al., 2015).

Panjang gelombang 345 nm juga merupakan salah satu panjang gelombang penting yang memiliki *x-loading* positif dan berkorelasi dengan absorbans senyawa asam klorogenat (*chlorogenic acid*) dan asam kafeat (*caffeic acid*) (Corrêa et al., 2021). Ini menunjukkan dugaan bahwa kopi robusta dapat dibedakan dengan kopi arabika karena perbedaan kandungan senyawa asam klorogenat (*chlorogenic acid*) dan asam

kafeat (*caffeic acid*) di mana kopi robusta yang diuji diduga memiliki kandungan senyawa asam klorogenat (*chlorogenic acid*) dan asam kafeat (*caffeic acid*) lebih tinggi dibandingkan tiga kultivar kopi spesialti arabika Typica, Sigarar Utang, dan Yellow Bourbon.



Gambar 4. Plot skor PC1 dan PC2 menggunakan data di panjang gelombang 250-400 nm untuk spektra asli (a) dan spektra hasil pengolahan (b).



Gambar 5. Plot *x-loadings* dan panjang gelombang menggunakan data spektra hasil pengolahan di panjang gelombang 250-400 nm.

Hasil ini sejalan dengan beberapa hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa secara umum kopi arabika dan robusta memiliki perbedaan kandungan senyawa asam klorogenat yang sangat signifikan (D’Amelio et al., 2015; Hu et al., 2016). Biji kopi robusta hijau (belum disangrai) secara umum memiliki kandungan asam klorogenat dua kali lipat lebih banyak dibandingkan biji kopi arabika hijau (Badmos et al., 2019). Tiga senyawa utama penyusun asam klorogenat adalah *caffeoylquinic acids* (CQA), *dicaffeoylquinic acids* (diCQA), dan *feruloylquinic acids* (FQA) (Monteiro & Farah, 2012). Proses sangrai menurunkan kadar total asam klorogenat khususnya senyawa *caffeoylquinic acids* di mana seiring dengan

semakin naiknya suhu sangrai maka kadar senyawa *caffeoylquinic acids* turun 17-20% untuk kopi arabika dan turun 27-37% untuk kopi robusta ((Bicho et al., 2013). Namun secara keseluruhan dengan profil sangrai yang sama (suhu dan lama sangrai sama) kandungan total asam klorogenat kopi robusta masih lebih tinggi dibandingkan kopi arabika (Monteiro & Farah, 2012).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa proses autentikasi kopi spesialti arabika Java Preanger kultivar Typica, Sigarar Utang, dan Yellow Bourbon dengan kopi robusta menggunakan metode spektroskopi UV berhasil dilakukan dengan pendekatan *non-targeted* menggunakan panjang gelombang 250-400 nm dengan jumlah prediktor mencapai 151 variabel. Namun demikian, analisis PCA menunjukkan adanya dua senyawa penting yaitu senyawa *kahweol* di panjang gelombang 285 nm dan senyawa asam klorogenat di panjang gelombang 345 nm sebagai kandidat *biomarker* untuk proses autentikasi kopi spesialti arabika Java Preanger Typica, Sigarar Utang, dan Yellow Bourbon dengan kopi robusta. Hasil ini membuka peluang dilakukan proses autentikasi kopi arabika dan kopi robusta menggunakan metode spektroskopi UV dengan pendekatan *targeted* dengan melibatkan pengukuran spektra hanya di dua panjang gelombang yaitu 285 dan 345 nm sebagai *biomarker*.

Tabel 2. Model PLS-DA untuk klasifikasi kopi arabika (Typica, Sigarar Utang dan Yellow Bourbon) dan kopi robusta menggunakan spektra asli dan hasil pengolahan di panjang gelombang 250-400 nm.

Jenis spektra	LV	Kelas	R ² _{kalibrasi}	R ² _{validasi}	RMSEC	RMSEV
Asli	10	Typica	0.80	0.65	0.197068	0.263515
	8	Yellow Bourbon	0.92	0.92	0.122660	0.127600
	10	Sigarar Utang	0.91	0.90	0.132075	0.141827
	8	Robusta	0.98	0.96	0.055221	0.079508
MAS	7	Typica	0.46	0.47	0.327072	0.323899
	9	Yellow Bourbon	0.94	0.91	0.112422	0.133739
	5	Sigarar Utang	0.58	0.63	0.289013	0.271201
	8	Robusta	0.98	0.95	0.052910	0.088432
SNV	9	Typica	0.77	0.67	0.213543	0.254753
	8	Yellow Bourbon	0.94	0.93	0.104444	0.116291
	10	Sigarar Utang	0.92	0.91	0.126991	0.133083
	7	Robusta	0.99	0.99	0.046359	0.042189
SG	8	Typica	0.71	0.76	0.241335	0.217674
	8	Yellow Bourbon	0.94	0.92	0.112970	0.124877
	9	Sigarar Utang	0.87	0.89	0.157584	0.146974
	4	Robusta	0.96	0.95	0.075741	0.088757
MSC	9	Typica	0.80	0.79	0.198556	0.202913
	9	Yellow Bourbon	0.95	0.90	0.095279	0.140294
	9	Sigarar Utang	0.91	0.93	0.132657	0.120747
	4	Robusta	0.96	0.96	0.079338	0.078308
MAS+SNV+SG	8	Typica	0.71	0.75	0.237829	0.222487

Jenis spektra	LV	Kelas	R ² _{kalibrasi}	R ² _{validasi}	RMSEC	RMSEV
	7	Yellow Bourbon	0.93	0.92	0.114814	0.125817
	8	Sigarar Utang	0.87	0.91	0.158732	0.135792
	6	Robusta	0.99	0.98	0.027626	0.048911

LV=latent variables; RMSEC=root-mean-square error of calibration; RMSEV=root-mean-square error of validation

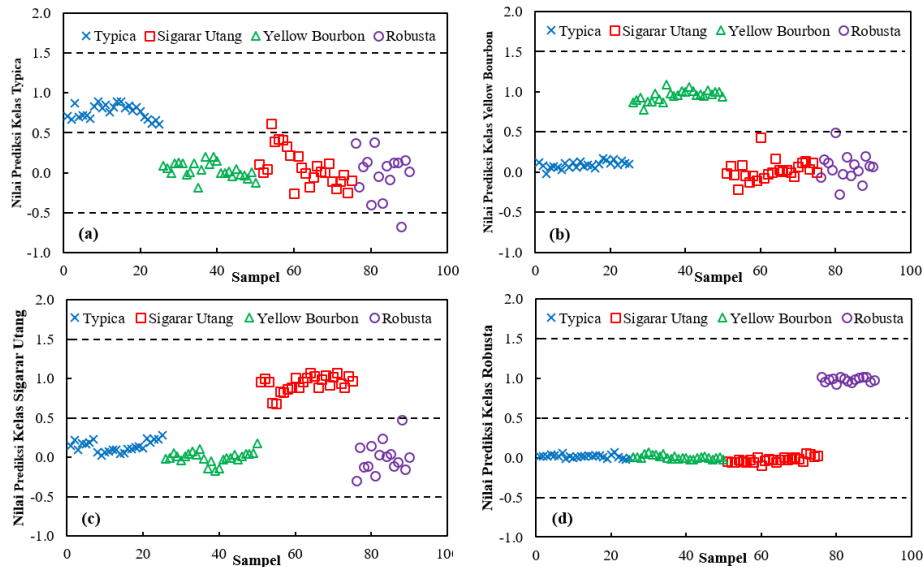
3.3. Hasil Pengembangan Model PLS-DA

Autentikasi kopi spesialti arabika Java Preanger Typica, Sigarar Utang, dan Yellow Bourbon dengan kopi robusta secara kuantitatif dilakukan dengan membangun model klasifikasi berbasis metode PLS-DA. Tabel 2 menunjukkan hasil pengembangan beberapa model PLS-DA baik menggunakan spektra asli maupun spektra hasil pengolahan. Secara umum dapat dikatakan bahwa spektra hasil pengolahan (baik yang tunggal maupun kombinasi) mampu memperbaiki performansi model PLS-DA yang dibangun dengan spektra asli. Hal ini dapat dilihat dari berkurangnya jumlah LV (*latent variables*), naiknya koefisien determinasi (baik kalibrasi maupun validasi) serta turunnya nilai RMSEC dan RMSEV. Model PLS-DA yang diharapkan adalah model dengan jumlah *latent variables* (LV) kecil, nilai koefisien determinasi tinggi dan nilai eror (RMSEC dan RMSEV) kecil. Berdasarkan Tabel 2 maka dapat disimpulkan bahwa spektra hasil pengolahan kombinasi MAS+SNV+SG1d menghasilkan model PLS-DA dengan kinerja terbaik dengan jumlah LV kecil (6 sampai 8) dan saat bersamaan menghasilkan nilai koefisien determinasi tertinggi (0.99) dan RMSEC dan RMSEV kecil untuk 4 kelas yang diuji (Typica, Sigarar Utang, Yellow Bourbon dan robusta). Atas dasar ini, model PLS-DA dengan data spektra hasil pengolahan (MAS+SNV+SG1d) dipilih untuk proses autentikasi kopi arabika (Typica, Sigarar Utang, dan Yellow Bourbon) dan robusta.

3.4. Hasil Evaluasi Model PLS-DA

Kinerja model PLS-DA untuk autentikasi kopi spesialti arabika Java Preanger Typica, Sigarar Utang, dan Yellow Bourbon dengan kopi robusta diuji menggunakan sampel prediksi (n=90) dan hasilnya ditunjukkan di Gambar 6. Untuk setiap kelas yang diuji, setiap sampel dihitung nilai Y (respon) dan ditentukan nilai kelasnya dengan menggunakan nilai ambang batas ±0.5. Sebagai contoh, untuk kelas Typica maka sampel dengan nilai Y antara 0.5 dan 1.5 masuk sebagai kelas Typica dan sampel dengan nilai Y antara -0.5 dan 0.5 masuk kelas bukan Typica (Sigarar Utang, Yellow Bourbon, dan robusta). Berdasarkan Gambar 6, terdapat 1 sampel kopi Sigarar Utang dan 1 sampel kopi robusta tidak masuk ke kelas yang sesuai (misklasifikasi) sedangkan sampel lainnya berhasil masuk sesuai dengan kelasnya menghasilkan akurasi klasifikasi sebesar 97.8%. Untuk tiga kelas lainnya yaitu kelas Sigarar Utang, Yellow Bourbon, dan robusta seluruh sampel prediksi berhasil masuk sesuai dengan kelasnya masing-masing menghasilkan akurasi klasifikasi sebesar 100%.

Hasil uji kinerja model PLS-DA di Gambar 6 juga memperlihatkan data hasil prediksi untuk kelas Typica, Sigarar Utang, dan Yellow Bourbon lebih fluktuatif dibandingkan dengan hasil prediksi untuk kelas robusta. Ini menunjukkan bahwa klasifikasi antara kopi arabika versus kopi robusta lebih mudah dibandingkan dengan klasifikasi antar kultivar kopi arabika.



Gambar 6. Hasil klasifikasi menggunakan model PLS-DA yang dibangun menggunakan data spektra hasil pengolahan di panjang gelombang 250-400 nm. (a) = kelas Typica; (b)= kelas Yellow Bourbon; (c)= kelas Sigarar Utang; (d)= kelas robusta.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil memperlihatkan potensi aplikasi metode spektroskopi UV dan metode kemometrika (PCA dan PLS-DA) untuk autentikasi tiga kultivar kopi arabika spesialti Java Preanger dengan kopi robusta. Autentikasi ini penting untuk melindungi kopi spesialti arabika Java Preanger dari pemalsuan. Hasil PCA dan PLS-DA menunjukkan kopi spesialti arabika kultivar Typica, Sigarar Utang, dan Yellow Bourbon dapat dibedakan dari kopi robusta dengan akurasi klasifikasi mencapai 97.8-100%. Metode ini meskipun dilakukan dengan pendekatan *non-targeted*, namun berhasil mengkonfirmasi dua senyawa penting kopi yaitu asam klorogenat dan *kahweol* yang menjelaskan mekanisme separasi sampel kopi arabika dan robusta yang terjadi dalam penelitian ini. Hasil penelitian ini juga sejalan dengan penelitian sebelumnya dengan pendekatan *targeted* menggunakan metode HPLC atau metabolomik. Hanya saja dengan ketersediaan instrumentasi spektroskopi UV dan proses persiapan sampel yang mudah dan murah memberikan kemudahan hilirisasi metode ini untuk autentikasi kopi spesialti arabika Java Preanger. Ke depan, dengan ketersediaan instrumentasi spektroskopi UV portabel maka proses hilirisasi autentikasi kopi spesialti arabika Java Preanger menggunakan spektroskopi UV semakin menjanjikan.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi, Indonesia atas dukungan dana penelitian melalui hibah PKPT tahun anggaran 2022 (Kontrak No. 407.1/PL15.8/PT/2022). Penulis juga menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada laboratorium RBPP (Rekayasa Bioproses dan Pasca Panen) Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung yang telah memberikan fasilitas instrumentasi spektroskopi UV.

5. Daftar pustaka

- Badmos, S., Lee, S.H., & Kuhnert, N. (2019). Comparison and quantification of chlorogenic acids for differentiation of green Robusta and Arabica coffee beans. *Food Research International*, 126, 108544. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108544>.
- Bicho, N.C., Lidon, F.C., Ramalho, J.C., & Leitão, A.E. (2013). Quality assessment of arabica and robusta green and roasted coffees - A review. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 25(12), 945–950. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v25i12.17290>.
- Burton, I.W., Farina, C.F.M., Ragupathy, S., Arunachalam, T., Newmaster, S., & Berru e, F. (2020). Quantitative NMR methodology for the authentication of roasted coffee and prediction of blends. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(49), 14643–14651. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c06239>.
- Castillejos-Mijangos, L.A., Acosta-Caudillo, A., Gallardo-Vel azquez, T., Osorio-Revilla, G., & Jim enez-Mart inez, C. (2022). Uses of FT-MIR spectroscopy and multivariate analysis in quality control of coffee, cocoa, and commercially important spices. *Foods*, 11(4), 579. <https://doi.org/10.3390/foods11040579>.
- Corr ea, C.L.O., das Mercedes Penha, E., dos Anjos, M.R., Pacheco, S., Freitas-Silva, O., Luna, A.S., & Gottschalk, L.M.F. (2021). Use of asparaginase for acrylamide mitigation in coffee and its influence on the content of caffeine, chlorogenic acid, and caffeic acid. *Food Chemistry*, 338, 128045. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128045>.
- Correia, R.M., Tosato, F., Domingos, E., Rodrigues, R.R.T., Aquino, L.F.M., Filgueiras, P.R., Lacerda, V., & Rom ao, W. (2018). Portable near infrared spectroscopy applied to quality control of Brazilian coffee. *Talanta*, 176, 59–68. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.08.009>.
- Cort es, V., Cubero, S., Aleixos, N., Blasco, J., & Talens, P. (2017). Sweet and nonsweet taste discrimination of nectarines using visible and near-infrared spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 133, 113–120. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.07.015>.
- D'Amelio, N., Papamokos, G., Dreyer, J., Carloni, P., & Navarini, L. (2015). NMR studies of hetero-association of caffeine with di-O-Caffeoylquinic acid isomers in aqueous solution. *Food Biophysics*, 10(3), 235–243. <https://doi.org/10.1007/s11483-014-9368-x>.
- Dankowska, A., Domagała, A., & Kowalewski, W. (2017). Quantification of *Coffea arabica* and *Coffea canephora* var. robusta concentration in blends by means of synchronous fluorescence and UV-Vis spectroscopies. *Talanta*, 172, 215–220. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.05.036>.
- Finotello, C., Forzato, C., Gasparini, A., Mammi, S., Navarini, L., & Schievano, E. (2017). NMR quantification of 16-O-methylcafestol and kahweol in *Coffea canephora* var. robusta beans from different geographical origins. *Food Control*, 75, 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.12.019>.
- Fioresi, D.B., Pereira, L.L., Catarina da Silva Oliveira, E., Moreira, T.R., & Ramos, A.C. (2021). Mid infrared spectroscopy for comparative analysis of fermented arabica and robusta coffee. *Food Control*, 121, 107625. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107625>.
- Giovenzana, V., Beghi, R., Tugnolo, A., Brancadoro, L., & Guidetti, R. (2018). Comparison of two

- immersion probes coupled with visible/near infrared spectroscopy to assess the must infection at the grape receiving area. *Computers and Electronics in Agriculture*, 146, 86–92. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.01.017>.
- Hirons, M., Mehrabi, Z., Gonfa, T.A., Morel, A., Gole, T.W., McDermott, C., Boyd, E., Robinson, E., Sheleme, D., Malhi, Y., Mason, J., & Norris, K. (2018). Pursuing climate resilient coffee in Ethiopia – A critical review. *Geoforum*, 91, 108–116. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.02.032>.
- Hirri, A., Bassbasi, M., Platikanov, S., Tauler, R., & Oussama, A. (2016). FTIR spectroscopy and PLS-DA classification and prediction of four commercial grade virgin olive oils from Morocco. *Food Analytical Methods*, 9(4), 974–981. <https://doi.org/10.1007/s12161-015-0255-y>.
- Hu, Y., Pan, Z.J., Liao, W., Li, J., Gruget, P., Kitts, D.D., & Lu, X. (2016). Determination of antioxidant capacity and phenolic content of chocolate by attenuated total reflectance-Fourier transformed-infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, 202, 254–261. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.130>.
- Izzah, N.K., Randriani, E., & Dani. (2015). Analisis kekerabatan genetik kultivar kopi arabika berbuah kuning dan berbuah merah berdasarkan marka SSR. *Jurnal Tanaman Industri Dan Penyegar*, 2(3), 113–122. <https://doi.org/10.21082/jtidp.v2n3.2015.p113-122>.
- Jolliffe, I.T., & Cadima, J. (2016). Principal component analysis: A review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2065), 1–16. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>.
- Keidel, A., Von Stetten, D., Rodrigues, C., Máguas, C., & Hildebrandt, P. (2010). Discrimination of green arabica and Robusta coffee beans by Raman spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(21), 11187–11192. <https://doi.org/10.1021/jf101999c>.
- Martauli, E.D. (2018). Analysis of coffee production in Indonesia. *JASc (Journal of Agribusiness Sciences)*, 1(2), 112–120. <https://doi.org/10.30596/jasc.v1i2.1962>.
- Minh, Q.N., Lai, Q.D., Minh, H.N., Kieu, M.T.T., Gia, N.L., Le, U., Hang, M.P., Nguyen, H.D., Chau, T.D.A., & Doan, N.T.T. (2022). Authenticity green coffee bean species and geographical origin using near-infrared spectroscopy combined with chemometrics. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(7), 4507–4517. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15786>.
- Monakhova, Y.B., Ruge, W., Kuballa, T., Ilse, M., Winkelmann, O., Diehl, B., Thomas, F., & Lachenmeier, D.W. (2015). Rapid approach to identify the presence of Arabica and Robusta species in coffee using ¹H NMR spectroscopy. *Food Chemistry*, 182, 178–184. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.132>.
- Monteiro, M.C., & Farah, A. (2012). Chlorogenic acids in Brazilian coffea arabica cultivars from various consecutive crops. *Food Chemistry*, 134(1), 611–614. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.118>.
- Núñez, N., Saurina, J., & Núñez, O. (2021). Non-targeted HPLC-FLD fingerprinting for the detection and quantitation of adulterated coffee samples by chemometrics. *Food Control*, 124, 107912. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.107912>.
- Ongo, E.A., Montevecchi, G., Antonelli, A., Sberveglieri, V., & Sevilla, F. (2020). Metabolomics fingerprint of Philippine coffee by SPME-GC-MS for geographical and varietal classification. *Food Research International*, 134, 109227. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109227>.

- Pacetti, D., Boselli, E., Balzano, M., Frega, N.G. (2012). Authentication of Italian Espresso coffee blends through the GC peak ratio between *kahweol* and *16-O-methylcafesitol*. *Food Chemistry*, 135(3), 1569–1574. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.007>.
- Pereira, L.L., Guarçoni, R.C., Pinheiro, P.F., Osório, V.M., Pinheiro, C.A., Moreira, T.R. & ten Caten, C.S. (2020). New propositions about coffee wet processing: Chemical and sensory perspectives. *Food Chemistry*, 310, 125943. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125943>.
- Putri, S.P., Irifune, T., Yusianto, & Fukusaki, E. (2019). GC/MS based metabolite profiling of Indonesian specialty coffee from different species and geographical origin. *Metabolomics*, 15(10), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s11306-019-1591-5>.
- Suhandy, D., Yulia, M., Waluyo, S., & Sugianti, C. (2017). Uji penggunaan metode discriminant partial least squares (DPLS) dan data spektra di daerah ultraviolet-cahaya tampak untuk penggolongan kopi luwak. *Jurnal Keteknik Pertanian*, 5(3), 195–200. <https://doi.org/10.19028/jtep.05.3.195-200>.
- Suhandy, D., & Yulia, M. (2021). Classification of lampung robusta Specialty coffee according to differences in cherry processing methods using UV spectroscopy and chemometrics. *Agriculture*, 11(2), 109. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020109>.
- Suhandy, D., & Yulia, M. (2017a). The quantification of adulteration in arabica coffee using uv-visible spectroscopy in combination with two different PLS regressions. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 6(2), 59–67. <https://doi.org/10.13170/aijst.6.2.8457>.
- Suhandy, D., & Yulia, M. (2017b). Peaberry coffee discrimination using UV-visible spectroscopy combined with SIMCA and PLS-DA. *International Journal of Food Properties*, 20, S331–S339. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1296861>.
- Suhandy, D., & Yulia, M. (2019). Klasifikasi kopi bubuk spesialti Kalosi dan Toraja menggunakan UV-Visible spectroscopy dan metode PLS-DA. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 24(1), 73–81. <https://doi.org/10.18343/jipi.24.1.73>.
- Sunarharum, W.B., Yuwono, S.S., & Aziza, O.F. (2019). Study on the effect of roasting temperature on antioxidant activity of early-roasted Java coffee powder (Arabica and Robusta). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 230(1), 012045. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/230/1/012045>.
- Yang, S., Li, C., Mei, Y., Liu, W., Liu, R., Chen, W., Han, D., & Xu, K. (2021). Determination of the geographical origin of coffee beans using terahertz spectroscopy combined with machine learning methods. *Frontiers in Nutrition*, 8, 1–10. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.680627>.
- Zaukuu, J.Z., Benes, E., Bazar, G., Kovacs, Z., & Fodor, M. (2022). Agricultural potentials of molecular spectroscopy and advances for food authentication: An overview. *Processes*, 10(2), 214. <https://doi.org/10.3390/pr10020214>.
- Zhang, Y., Diono, W., Rujiravanit, R., Kanda, H., & Goto, M. (2022). Extraction of diterpenes from spent coffee grounds and encapsulation into polyvinylpyrrolidone particles using supercritical carbon dioxide. *Separation Science and Technology*, 57(7), 1081–1096. <https://doi.org/10.1080/01496395.2021.1963982>.