

Studi Miniatur Uv/Vis/Nir Spektrometer untuk Proses Kuantifikasi Mutu Biji Kopi dengan Protokol *Cupping Test*

Feasibility Study of miniaturized UV/VIS/NIR Spectrometer to Quantify Coffee Beans with Cupping Test Protocol

Zaqlul Iqbal*, Dimas Firmanda Al Riza, Sandra Malin Sutan, Afid Rahman Nauri, Ilham Rhamadan, Ria Risti Fausi, Harki Himawan

Departemen Teknik Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang 65145, Indonesia

*E-mail: zaqluliqbal@ub.ac.id

Diterima: 19 September 2023; Disetujui: 5 Maret 2024

ABSTRAK

Penelitian ini menitikberatkan pada eksplorasi kemampuan spektroskopi UV/Vis/NIR untuk memprediksi parameter *cupping test* kualitas kopi sangrai. Sampel kopi Arabika disangrai pada suhu 198°C selama 6 menit (*Light to Medium*), 10 menit (*Medium*) dan 14 menit (*Medium to Dark*). Sebanyak 1 kg biji kopi disiapkan untuk tingkat waktu sangrai yang kemudian menghasilkan 20 kelompok sampel untuk menit ke-6 dan masing-masing 25 kelompok sampel pada menit ke-10 dan ke-14. Selanjutnya, dilakukan evaluasi *cupping test* pada kelompok sampel. Secara simultan pada kelompok sampel yang sama, dilakukan akuisisi data spektra menggunakan instrumen portable *Vernier Go Direct SpectroVis Plus* dan sensor MEMS (*micro-electromechanical system*) C12880MA. Dari hasil tersebut, menghasilkan 70 total data *cupping test* dan spektra yang kemudian digunakan sebagai input pembentukan model kalibrasi (prediksi). *Partial Least Square Regression* (PLSR) digunakan untuk membentuk model dengan *Venetian blinds cross-validation 10-folds* sebagai validasi internal. Hasil menunjukkan *Vernier Go Direct SpectroVis Plus* memiliki sensitifitas lebih baik dalam menangkap informasi yang ada pada biji kopi sangrai dan mampu memprediksi beberapa parameter *cupping test* yaitu *Body* ($R^2 C = 0.726$, $R^2 CV = 0.613$), *Balance* ($R^2 C = 0.738$, $R^2 CV = 0.603$) dan *Overall* ($R^2 C = 0.755$, $R^2 CV = 0.628$). Sedangkan untuk sensor MEMS C12880MA, nilai prediksi tertinggi didapat pada parameter *Acidity* dengan nilai $R^2 C$ dan $R^2 CV$ sebesar 0.546 dan 0.500. Berdasarkan nilai VIP Score, kontribusi terbesar dalam pembentukan model berada di rentang 760-780nm, 808-830 nm dan 843-873 nm untuk *Vernier Go Direct SpectroVis Plus* serta 565-637 nm dan 705-737 nm untuk MEMS C12880MA.

Kata kunci: Spektroskopi UV/Vis; Kopi sangrai; *Cupping test*; PLSR.

ABSTRACT

This research explored the feasibility of UV/Vis spectroscopy to predict *cupping test* parameters to quantify roasted coffee quality. Arabica coffee samples were roasted at 198°C for 6 minutes (*Light to Medium*), 10 minutes (*Medium*), and 14 minutes (*Medium to Dark*). A total of 1 kg of coffee beans was prepared for each roasting time producing 20 sample groups for 6th minute and 25 groups for each 10th and 14th minutes. A *cupping test* evaluation was carried out on each sample group. Simultaneously on the same group of samples, spectra data was acquired using *Vernier Go Direct SpectroVis Plus* portable instrument and the C12880MA MEMS (*micro-electromechanical system*) sensor. 70 total *cupping test* data and spectra were produced which were then utilized as input to develop a calibration model. *Partial Least Square Regression* (PLSR) was used to develop the model with *Venetian blinds cross-validation 10-folds* as internal validation. The results showed that *Vernier Go Direct SpectroVis Plus* had better sensitivity to capture information and provided optimistic prediction as follows, *Body* ($R^2 C = 0.726$, $R^2 CV = 0.613$), *Balance* ($R^2 C = 0.738$, $R^2 CV = 0.603$) and *Overall* ($R^2 C = 0.755$, $R^2 CV = 0.628$). As for C12880MA, only acidity gives the highest prediction with $R^2 C$ and $R^2 CV$ accounting for 0.546 and 0.500, respectively. According to VIP Score, the largest contribution in model formation is in the range of 760-780 nm, 808-830 nm and 843-873 nm for *Vernier Go Direct SpectroVis Plus* and 565-637 nm and 705-737nm for MEMS C12880MA.

Keywords: UV/Vis Spectroscopy; Roasted coffee; *Cupping test*; PLSR.

PENDAHULUAN

Cita rasa kopi terbentuk secara kompleks dari kombinasi proses natural selama pertumbuhan tanaman dan rekayasa manusia melalui proses sangrai, giling dan ekstraksi dengan air bersuhu tinggi (Batali et al., 2020; Lingle, 2011). Kompleksitas proses tersebut menghasilkan berbagai palet rasa dan aroma sesuai dengan varietas kopi, tempat pembudidayaan dan proses ekstraksi. Dalam teori, palet rasa dan aroma dievaluasi menggunakan metode *cupping test* yang dibagi ke dalam tiga bagian: *Olfaction*, *Gustation* dan *Mouthfeel*. Pengujian *Olfaction* berperan dalam

mengukur *Aroma* dan *After Taste*, sedangkan *Gustation* menguji empat rasa dasar seperti manis, asin, asam dan pahit. *Mouthfeel* memiliki andil dalam menguji sensasi viskositas dan kelicinan (*Oiliness*) atau secara menyeluruh disebut sebagai *Body* (Lingle, 2011). Secara teknis, *cupping test* dilakukan oleh panelis yang dilatih untuk memiliki kemampuan dalam mentransformasikan evaluasi sensori ke dalam kuantifikasi angka.

Mengingat proses *cupping test* sangat bergantung pada kemampuan manusia, sehingga proses evaluasi sangat bergantung pada kondisi organ perasa yang berada di area mulut dan saluran nasal saat evaluasi, yang menyebabkan

tingkat subjektivitas penilaian antar panelis menjadi tinggi. Kondisi psikologis, gender dan usia panelis juga berkontribusi dalam perbedaan penilaian proses *cupping test* (Cook et al., 2005). Secara ideal, untuk mengurangi bias pengujian mutu kopi, proses uji dapat dilakukan dengan melibatkan setidaknya 5 hingga 6 panelis terlatih (Louzada Pereira et al., 2018). Akan tetapi minimnya jumlah panelis terlatih menimbulkan masalah baru dalam standarisasi evaluasi. Dalam beberapa kasus, panelis non terlatih ikut dilibatkan dalam proses *cupping test* dan menyebabkan penurunan kualitas penilaian biji kopi. Secara menyeluruh, kompleksitas parameter pengujian kopi, lama prosedur pengujian serta ketidaksesuaian jumlah panelis, menyebabkan penurunan mutu kualitas biji kopi sangrai. Oleh sebab itu, pengembangan teknologi untuk menilai kualitas biji kopi secara objektif, cepat dan dapat dilakukan berulang (*repeatable*) menjadi perhatian khusus bagi produsen, pelaku usaha dan konsumen penikmat kopi.

Parameter uji *cupping test*, memiliki korelasi terhadap senyawa alkaloid (kafein) dan ester (asam klorogenat) (Lingle, 2011). Beberapa penelitian berusaha untuk memprediksi senyawa-senyawa yang mempengaruhi mutu kopi dengan instrumen *bench-top* berbasis spektroskopi/optik yang dikombinasikan dengan analisis multivariat (Munyendo et al., 2022). Beberapa studi menunjukkan bahwa Spektroskopi NIR (*Near Infrared*) mampu memprediksi nilai lipid, kafein dan asam klorogenat (Pujantoro & Ahmad, 2019; Shan et al., 2014). Eksperimen dengan FTIR (*Fourier-Transform infrared spectroscopy*) memperlihatkan hasil koefisien determinasi hingga 0.99 dalam menentukan isomer asam klorogenat (Liang et al., 2016). Spektroskopi Vis/NIR yang dikombinasikan dengan pemodelan *soft-computing* menghasilkan model prediksi kafein dan asam palmitat dengan koefisien determinasi hingga 0.97 (Aghdamifar et al., 2023). Berdasarkan fakta tersebut, metode berbasis spektroskopi berpeluang sebagai opsi pengujian *cupping test*. Dalam kasus yang lain, Spektroskopi UV/Vis dengan analisis univariat, mampu secara bersamaan memprediksi kafein dan asam klorogenat (Navarra et al., 2017). Terdapat pula studi penggunaan teknik spektroskopi untuk langsung memprediksi mutu sensori kopi dan minuman penyegar (Basile et al., 2023; Safrizal et al., 2018).

Dalam 10 tahun belakangan, fabrikasi dan penggunaan miniatur sensor dan instrumen berbasis spektroskopi telah masif terjadi dan mulai diuji coba dalam industri pertanian dan pangan (Laganovska et al., 2020) (Ulinuha et al., 2021) (Heydarov et al., 2023). Hal tersebut dianggap positif karena apabila kemampuan instrumen versi *benchtop* dapat ditransformasikan dalam instrumen yang lebih kompak, membuka peluang untuk menciptakan sistem deteksi dengan portabilitas tinggi dan relatif murah namun tetap memiliki kapabilitas selayaknya spektrometer konvensional. Hal ini juga membuka peluang untuk mendesain sistem deteksi *in-situ*, dan menghilangkan prosedur transportasi sampel menuju laboratorium.

Pada umumnya miniatur spektrometer memiliki resolusi yang lebih rendah dengan rentang Panjang gelombang yang lebih sempit ketimbang spektrometer versi *bench-top* (Zhu et al., 2022). Sehingga, para peneliti dan praktisi masih perlu melakukan evaluasi kemampuan miniatur spektrometer apakah fungsional untuk dijadikan sebagai instrumen uji. Meskipun telah banyak riset yang telah membuktikan kemampuan spektroskopi untuk mendeteksi kualitas mutu biji kopi, eksplorasi penggunaan sistem spektrometer *portable* masih terbilang rendah. Dengan melihat potensi yang dimiliki oleh sistem deteksi spektroskopi di rentang UV hingga FTIR/MIR (*Mid Infrared*) dan tersedianya versi miniatur spektrometer, riset ini bertujuan untuk mempelajari

kemampuan miniatur UV/Vis/NIR spektrometer dalam memprediksi prediksi mutu sensori kopi dengan *protocol cupping test*.

METODOLOGI

Sampel dan Proses Sangrai

Biji kopi Arabika didapatkan dari perkebunan petani lokal bukit Gunung Arjuna, Malang, Indonesia. Sampel biji kopi kemudian dibersihkan dan disangrai di Wonosantri, Kabupaten Malang. Tingkat sangrai yang digunakan adalah tipe Medium yang banyak dikonsumsi oleh konsumen. Standar penyangraian dilakukan pada suhu 198°C selama 6 menit (*Light to Medium*) sebanyak 20 sampel. Kemudian dilakukan penyangraian selama 10 menit (*Medium*) dan 14 menit (*Medium to dark*) sebanyak masing-masing 25 sampel. 1 kg biji kopi disiapkan di tiap waktu penyangraian. Dari tiap waktu sangrai, dibagi menjadi 20 kelompok sampel kecil sehingga menghasilkan 70 total sampel.

Prosedur *cupping test*

Kuantifikasi *cupping test* digunakan sebagai input referensi (*y reference*) untuk pembangunan model kalibrasi/prediksi. Persiapan sampel diawali dengan penyeduhan 10 g bubuk kopi sangrai dengan air bersuhu 95°C sebanyak 180ml. Kopi didiamkan selama 4 menit, krema (busa putih) kopi yang muncul kemudian dibuang untuk mendapatkan ekstrak kopi yang jernih. Selanjutnya, panelis akan menilai parameter *cupping test* (*aroma, flavour, aftertaste, acidity, body, balance, dan overall*) yang kemudian akan dikuantifikasi pada lembar penilaian *Specialty Coffee Association* (SCA) (Lingle, 2011; SCA, 2017)

Instrumen Spektrometer dan Akuisisi Data Spektra

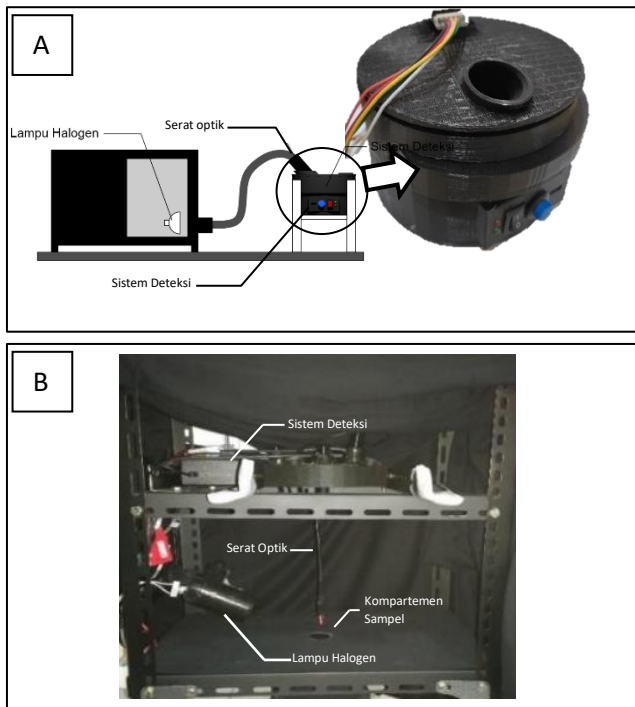
Terdapat dua sistem spektrometer yang digunakan (Gambar 1), yaitu spektrometer portabel komersial Vernier Go Direct SpectroVis Plus, USA dengan rentang pengukuran 380-950nm dan sistem spektrometer yang dibangun dengan sensor MEMS (*micro-electromechanical system*) C12880MA, Hamamatsu, Jepang dengan rentang 312-859 nm. Sistem spektrometer MEMS C12880MA dibangun dengan komponen utama mikrokontroler sebagai pengontrol sensor, modul *bluetooth* untuk mentransfer data dan baterai Li-Po sebagai sumber daya keseluruhan spektrometer. Keseluruhan komponen utama dirakit dalam wadah (*housing*) berbahan *Polylactic Acid* (PLA) yang dicetak dengan 3D printer ANET A8.

Kedua sistem tersebut menggunakan lampu halogen Philips Essential Halogen 12V *Dichroic Reflector* sebagai sumber cahaya untuk menyinari sampel saat melakukan akuisisi spektra. Biji kopi diletakkan ke dalam kompartemen sampel dan dilakukan tiga kali *scanning*. Setiap pergantian *scanning*, sampel diaduk secara acak dan diletakkan kembali ke dalam kompartemen untuk mewakili pengukuran kubah biji kopi. Data spektra diperoleh dan dikirim ke komputer dalam format file .CSV untuk identifikasi spektra original dan pembentukan model prediksi.

Analisis Kemometri

Beberapa teknik *preprocessing* diaplikasikan pada data spektra seperti *Smoothing-Savitzky Golay* untuk mengurangi

noise yang diakibatkan oleh resolusi instrumen yang rendah dan *Standard Normal Variate* (SNV) untuk mengurangi efek *scattering* yang terjadi akibat perubahan kontur permukaan biji kopi setiap akuisisi spektra.



Gambar 1. Konfigurasi sistem deteksi dengan (A) sensor MEMS C12880MA dan (B) Vernier Go Direct SpectroVis

Kemudian, *Mean Center* diaplikasikan pada data spektra dan data referensi untuk melihat variasi keseluruhan sampel. Setelah dilakukan *preprocessing*, data spektra ditempatkan sebagai prediktor dan data *cupping test* digunakan sebagai referensi. Pembentukan model mengikuti metode *Partial Least Square Regression* (PLSR). Matriks data spektra (X) akan direduksi menjadi *Scores* (T) dan nilai transpose dari *Loadings* (P') dan *Residual* (E) (Persamaan 1). Secara simultan, data matriks referensi (Y) akan direduksi menjadi *Scores* (U) dan nilai transpose dari *Loadings* (Q') dan *Residual* (F) (Persamaan 2) (Geladi & Kowalski, 1986).

$$X = TP' + E \quad (1)$$

$$Y = UQ' + F \quad (2)$$

Selanjutnya dilakukan regresi linear antara masing-masing matriks *Scores* (U dan T) sehingga terbentuk matriks r (Persamaan 3).

$$U = rT \quad (3)$$

Apabila dari Persamaan 1, nilai *Residual* dikesampingkan dan bentuk persamaan diubah kemudian diinputkan ke dalam nilai T pada Persamaan 3, maka akan terbentuk Persamaan 4.

$$U = rXP \quad (4)$$

Bila matriks U disubstitusikan ke dalam Persamaan 2 dan diubah bentuk persamaannya, maka akan terbentuk Persamaan 5.

$$Y = XrPQ' + G \quad (5)$$

Apabila terdapat input spektra baru (X) dikalikan dengan koefisien regresi (rPQ') dan ditambah residual hasil perhitungan model (G), maka model dapat memprediksi nilai baru (Y).

Seluruh total data digunakan sebagai set kalibrasi (C) dan dilakukan validasi internal dengan *venetian blinds cross-validation* (CV) 10-fold. Identifikasi pencilan (*outliers*) juga dilakukan sebelum pembentukan model dengan melihat jarak antar sebaran data. Performa prediksi nilai *cupping test* pada dua sistem spektrometer, dievaluasi dengan menganalisis revolusi data kumulatif x dan y yang dapat dicangkep oleh dekomposisi model PLSR. Secara iteratif, dilakukan analisis jumlah *Latent Variable* (LV) yang digunakan, koefisien determinasi set kalibrasi ($R^2 C$) dan *cross-validation* ($R^2 CV$) serta *Root Mean Square Error* (RMSE). *VIP Score* akan diidentifikasi untuk melihat pada variabel mana saja yang berkontribusi besar dalam pembangunan model PLSR.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Spektra

Instrumen SpectroVis menghasilkan resolusi spektra sebanyak 784 variabel (titik pengukuran panjang gelombang) sedangkan sensor C12880MA menghasilkan 288 variabel. Spektra yang dihasilkan instrumen berupa sinyal reflektan yang kemudian ditransformasi sebagai absorbansi dengan penambahan *smoothing* Savitzky-Golay. Gambar 2A menunjukkan spektra yang dihasilkan SpectroVis, terdapat respon puncak lemah di kisaran 600-620 nm kemudian absorbansi tinggi di area sekitar 723-756 nm dan 788-816nm kemudian terjadi peningkatan absorbansi di kisaran 890-950nm. Berbeda dengan data spektra yang dihasilkan oleh sensor C12880MA (Gambar 2B), terlihat adanya tren menurun dari 340 nm hingga sekitar 710nm dan terjadi peningkatan absorbansi hingga 895nm. Meskipun sensor C12880MA dapat menangkap intensitas cahaya dalam spektrum UV hingga *Visible* dan sedikit di area NIR, karakteristik sensor menunjukkan wilayah yang paling sensitif di rentang 400 nm hingga 500 nm (Hamamatsu, 2021). Hasil spektra yang dihasilkan dua sistem tersebut berbeda dengan eksperimen yang dilakukan menggunakan instrumen metrohm (Metrohm, 2023), dimana puncak spektra justru teridentifikasi di area sekitar 500 nm. Pengaturan peletakan sampel dan mode akuisisi spektra serta sumber iluminasi diduga menyebabkan perbedaan respon spektra yang dihasilkan.

Jika diperhatikan, tingkat sangrai biji kopi di menit ke-6 memiliki tingkat absorbansi yang lebih rendah dibanding menit ke-10 dan ke-14. Perbedaan ini sangat terlihat pada instrumen SpectroVis, namun samar dideteksi oleh sensor C12880MA. Pada fase sangrai menit ke-10 dan ke-14, perbedaan intensitas absorbansi tumpang tindih satu sama lain. Ketika biji kopi dipanaskan hingga suhu 140°C, terjadi reaksi Maillard dimana karbohidrat dan asam amino mulai bereaksi dan membentuk komponen aroma. Di akhir reaksi tersebut dihasilkan senyawa melanoidins (pigmen coklat) yang mengubah warna biji kopi menjadi kecoklatan. Saat biji kopi dipanaskan di suhu 190°C, terjadi proses pirolisis sukrosa yang menyebabkan karamelisasi yang bertanggungjawab menggelapkan warna biji kopi (Cao et al., 2023; Cardoso et al., 2023). Sehingga, semakin lama

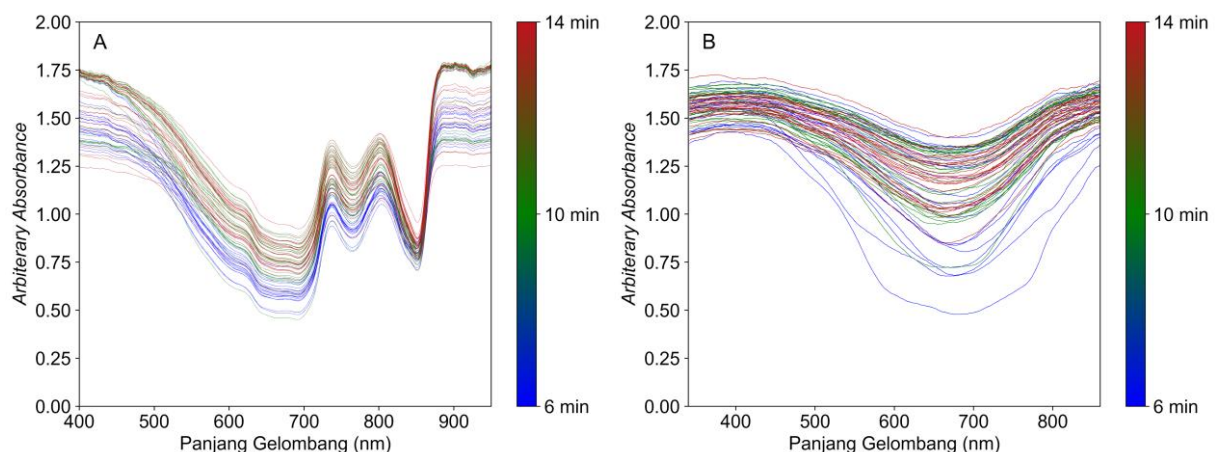
penyangraian semakin gelap warna biji kopi sangrai. Perbedaan warna yang nyata dan lebih cerah pada biji sangrai menit ke-16 menyebabkan absorbansi cahaya halogen lebih rendah ketimbang biji sangrai menit ke-10 dan ke-14 yang cenderung lebih gelap.

Model PLSR

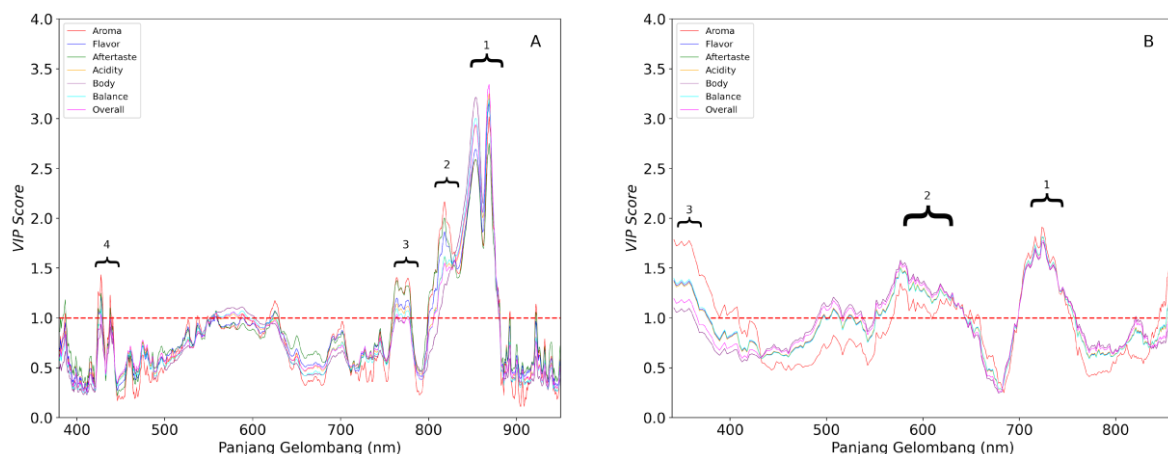
Sebelum melakukan pembentukan model kalibrasi, dilakukan transformasi reketan ke nilai absorbansi pada data spektra. Kemudian dilanjutkan dengan *smoothing* Savitzky-Golay, SNV dan *mean center*. Pada data *cupping test*, dilakukan *preprocessing* data *mean center*. Dalam pembuatan model, digunakan *Venetian blinds cross-validation* 10-folds sebagai upaya validasi internal. Penentuan performa optimum model juga ditentukan dengan melihat data pencilan (*outliers*) dengan mendeteksi sampel yang terletak ekstrim di luar kumpulan data pada *Q-residuals* vs *Hotelling T²* dan *Leverage* (Nunes et al., 2019). Dari hasil identifikasi tersebut terhadap instrumen *Vernier*, 1 data dari menit ke-6 dan ke-14 serta 4 data di menit ke-10 disisihkan dan menghasilkan 64 total data sebagai input model. Sedangkan untuk sensor C12880MA, 4 data dari menit ke-6 dan 2 data dari menit ke-10 disisihkan dan 64 total data input digunakan sebagai basis model. Total data yang disisihkan sebesar 8.57% dari keseluruhan data utama. Untuk instrumen SpectroVis, seluruh panjang gelombang pada rentang 380-950nm (784 variabel) digunakan sebagai input model. Pada sensor C12880MA, di beberapa panjang gelombang awal, sinyal yang dihasilkan dimulai dari angka 0, yang menandakan bahwa di area tersebut spektra tidak

terdeteksi dengan baik. Oleh sebab itu, sebagian data disisihkan dan rentang panjang gelombang 341-859nm (277 variabel) digunakan sebagai input model.

Variable Importance in Projection (VIP) Score merupakan salah satu indikator untuk menunjukkan panjang gelombang yang paling dominan dalam membentuk model kalibrasi. VIP Score dengan nilai lebih dari 1 menunjukkan komponen prediktor yang relevan untuk memprediksi nilai referensi (Akarachantachote et al., 2014; Nunes et al., 2019). Berdasarkan Gambar 3, VIP Score diekstrak dengan model PLSR LV 6 untuk SpectroVis dan LV 2 untuk sensor C12880MA. Pada instrumen SpectroVis, variabel dominan utama berada di rentang panjang gelombang merah hingga inframerah (843-873 nm, 808-830nm dan 760-780 nm) (Gambar 3A-1,2,3). Di rentang 843-873 nm, 808-830nm mengindikasikan adanya senyawa protein dan ikatan C-H *combination*, sedangkan pada rentang 760-780nm terindikasi adanya ikatan C-H (4th *overtone*) dan O-H (3rd *overtone*) (Williams P, 2019). Nilai VIP Score terlemah berada di rentang 424-440 nm (Gambar 3A-4). Sedangkan pada sensor C12880MA, VIP Score tertinggi berada pada rentang 705-737 nm, 565-637nm dan 341-360 nm (Gambar 3B-1,2,3). Berbeda dengan instrumen SpectroVis, sensor ini memiliki VIP Score yang tidak terlalu intensif. VIP Score antara kedua sistem deteksi tersebut memiliki *noise* yang menandakan bahwa model yang dihasilkan masih kurang stabil. Akan tetapi, ketimbang sensor C12880MA, instrumen SpectroVis menghasilkan beberapa variabel yang lebih intensif dan mengindikasikan performa model yang dibangun cenderung lebih baik dan stabil.



Gambar 2. Spektra setelah transformasi absorbansi dan smoothing Savitzky-Golay untuk (A) Vernier Go Direct SpectroVis Plus dan (B) MEMS C12880MA



Gambar 3. VIP Score untuk (A) Vernier Go Direct SpectroVis Plus dan (B) MEMS C12880MA

Berdasarkan 7 parameter sensori, nilai *Olfaction* (Aroma dan *After Taste*) dievaluasi berdasarkan senyawa seduhan kopi yang menguap dan nilai *Gustation* berhubungan dengan materi yang terlarut dengan air (*Flavor* dan *Acidity*) yang hanya akan terdeteksi setelah penyeduhan (Lingle, 2011). Parameter tersebut sulit untuk dideteksi oleh instrumen SpectroVis dan sensor C12880MA apabila hanya mengukur nilai spektra biji kopi secara langsung tanpa proses penyeduhan. Akan tetapi parameter yang tidak bergantung dengan proses penyeduhan seperti *Mouthfeel* (*Viscosity*, *Oils*, *Fats* dan *Waxes* secara menyeluruh disebut *Body*), *Balance* (kombinasi dari interaksi *Flavour*, *After Taste*, *Acidity* dan *Body*) (Lingle, 2011) mampu diprediksi hingga R^2 CV sebesar 0.613. Meskipun belum ada bukti yang mempertegas bahwa tingkat viscosity dan oiliness, yang menyumbang penilaian *Body* dan *Balance*, tidak secara spesifik dapat terdeteksi pada rentang panjang gelombang 380-950nm, diperkirakan perbedaan warna akibat proses sangrai berkorelasi secara tidak langsung terhadap parameter tersebut yang kemudian masih dapat diprediksi oleh model kalibrasi. Penilaian *Overall* yang mencerminkan evaluasi sampel secara terintegrasi yang dirasakan secara subjektif oleh panelis (Lingle, 2011), secara kebetulan dapat diprediksi dengan model kalibrasi dengan instrumen SpectroVis. Kemungkinan terbesar model kalibrasi mampu memprediksi parameter ini disebabkan preferensi nilai *Body* lebih dominan bagi panelis pada eksperimen ini. Akan tetapi dugaan tersebut perlu dibuktikan dengan validasi panelis lain.

Berdasarkan hasil model kalibrasi (Tabel 1) Instrumen SpectroVis menunjukkan hasil optimis dalam memprediksi nilai *Body*, *Balance* dan *Overall* dengan nilai R^2 CV hingga 0.613-0.628 menggunakan LV antara 6-7. Untuk sensor C12880MA nilai R^2 CV tertinggi dicapai pada parameter

Acidity sebesar 0.500 dengan LV 2. Eksperimen dengan menggunakan panjang gelombang NIR di area yang lebih luas, menunjukkan hasil R^2 CV lebih dari 0.8 untuk memprediksi evaluasi sensori (Basile et al., 2023). Respon gugus kimia yang dominan di rentang lebih dari 800 nm mampu menunjukkan respon vibrasi ikatan C-H dan ikatan lainnya yang berkorelasi dengan komponen organik seperti CGA dan kafein yang berhubungan erat dengan kualitas sensori kopi (Munyendo et al., 2022; Safrizal et al., 2018). Meskipun respon perbedaan warna akibat lama waktu sangrai mampu dideteksi dengan instrumen SpectroVis, akan tetapi, nilai prediksi sensori masih tidak sebaik spektroskopi NIR yang bekerja pada rentang panjang gelombang yang lebih tinggi.

KESIMPULAN

Instrumen SpectroVis yang bekerja di rantang 380-950nm berpotensi untuk memprediksi sebagian parameter cupping test. Performa model prediksi yang dihasilkan sensor C12880MA masih sangat rendah terhadap instrumen SpectroVis meskipun memiliki respon kerja yang relatif sama (341-859 nm). Presentasi sampel yang berbeda antara pengukuran spektra dengan *cupping test* mengindikasikan informasi komponen internal biji kopi tidak secara maksimal ditangkap oleh instrumen dan sensor. Optimasi serta peningkatan kompleksitas eksperimen seperti variasi tingkat sangrai, penambahan pelibatan panelis lain serta penggunaan validasi eksternal perlu dilakukan untuk memahami tingkat kestabilan (*robustness*) model kalibrasi secara aplikatif.

Tabel 1. Performa model kalibrasi *cupping test*

Parameter <i>Cupping test</i>	Vernier Go Direct SpectroVis Plus					MEMS C12880MA				
	LV	RMSEC	RMSECV	R^2 C	R^2 CV	LV	RMSEC	RMSECV	R^2 C	R^2 CV
Aroma	5	0.211	0.250	0.341	0.128	2	0.228	0.237	0.201	0.141
	6	0.202	0.239	0.396	0.186	3	0.222	0.245	0.238	0.105
	7	0.195	0.238	0.434	0.206	4	0.221	0.254	0.250	0.075
Flavour	5	0.485	0.583	0.584	0.412	2	0.502	0.521	0.508	0.469
	6	0.447	0.546	0.646	0.483	3	0.484	0.549	0.543	0.418
	7	0.433	0.554	0.669	0.475	4	0.467	0.594	0.574	0.346
After Taste	5	0.261	0.308	0.553	0.391	2	0.300	0.313	0.359	0.304
	6	0.216	0.274	0.696	0.519	3	0.294	0.326	0.382	0.255
	7	0.211	0.284	0.710	0.490	4	0.280	0.354	0.441	0.181
Acidity	5	0.276	0.331	0.580	0.411	2	0.275	0.289	0.546	0.500
	6	0.257	0.307	0.636	0.490	3	0.257	0.300	0.606	0.472
	7	0.252	0.314	0.650	0.473	4	0.250	0.322	0.627	0.409
Body	5	0.210	0.249	0.679	0.553	2	0.235	0.245	0.535	0.495
	6	0.202	0.239	0.703	0.590	3	0.227	0.248	0.568	0.485
	7	0.194	0.232	0.726	0.613	4	0.220	0.259	0.592	0.448
Balance	5	0.401	0.510	0.685	0.504	2	0.463	0.485	0.538	0.494
	6	0.365	0.453	0.738	0.603	3	0.442	0.505	0.579	0.458
	7	0.344	0.452	0.768	0.607	4	0.419	0.549	0.623	0.389
Overall	5	0.408	0.499	0.678	0.527	2	0.471	0.488	0.525	0.489
	6	0.368	0.448	0.737	0.616	3	0.448	0.508	0.569	0.454
	7	0.355	0.441	0.755	0.628	4	0.434	0.543	0.596	0.394

UCAPAN TERIMAKASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Universitas Brawijaya yang telah memberikan Hibah Peneliti Pemula (HPP) Tahun Anggaran 2022 Nomor: 974.13/UN10.C10/PN/2022.

DAFTAR PUSTAKA

- Aghdamifar, E., Rasooli Sharabiani, V., Taghinezhad, E., Rezvanivand Fanaei, A., & Szymanek, M. (2023). Non-destructive method for identification and classification of varieties and quality of coffee beans based on soft computing models using VIS/NIR spectroscopy. *European Food Research and Technology*, 249(6), 1599–1612. <https://doi.org/10.1007/s00217-023-04240-x>
- Akarachantachote, N., Chadcham, S., & Saithanu, K. (2014). Cutoff threshold of variable importance in projection for variable selection. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 94(3), 307–322. <https://doi.org/10.12732/ijpam.v94i3.2>
- Basile, T., Mallardi, D., & Cardone, M. F. (2023). Spectroscopy, a Tool for the Non-Destructive Sensory Analysis of Plant-Based Foods and Beverages: A Comprehensive Review. In *Chemosensors*. Vol. 11, Issue 12. <https://doi.org/10.3390/chemosensors11120579>
- Batali, M. E., Ristenpart, W. D., & Guinard, J. X. (2020). Brew temperature, at fixed brew strength and extraction, has little impact on the sensory profile of drip brew coffee. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73341-4>
- Cao, X., Wu, H., Viejo, C. G., Dunshea, F. R., & Suleria, H. A. R. (2023). Effects of postharvest processing on aroma formation in roasted coffee – a review. In *International Journal of Food Science and Technology* (Vol. 58, Issue 3, pp. 1007–1027). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16261>
- Cardoso, W. S., Dias, S. R., Coelho, V. S., Pereira, L. L., Fioresi, D. B., & Pinheiro, F. de A. (2023). Maillard reaction precursors and arabica coffee (Coffea arabica L.) beverage quality. *Food and Humanity*, 1, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.01.002>
- Cook, D. J., Hollowood, T. A., Linforth, R. S. T., & Taylor, A. J. (2005). Correlating instrumental measurements of texture and flavour release with human perception. *International Journal of Food Science and Technology*, 40(6), 631–641. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.00973.x>
- Geladi, P., & Kowalski, B. R. (1986). Partial Least-Squares Regression: A Tutorial. In *Analytica Chimica Acta* (Vol. 186). Elsevier Science Publishers B.V.
- Hamamatsu. (2021). *Mini-spectrometers*. www.hamamatsu.com
- Heydarov, S., Aydin, M., Faydaci, C., Tuna, S., & Ozturk, S. (2023). Low-cost VIS/NIR range hand-held and portable photospectrometer and evaluation of machine learning algorithms for classification performance. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 37. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2022.101302>
- Laganovska, K., Zolotarjovs, A., Vázquez, M., Mc Donnell, K., Liepins, J., Ben-Yoav, H., Karitans, V., & Smits, K. (n.d.). *Portable low-cost open-source wireless spectrophotometer for fast and reliable measurements*. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/RBFSE>
- Liang, N., Lu, X., Hu, Y., & Kitts, D. D. (2016). Application of Attenuated Total Reflectance-Fourier Transformed Infrared (ATR-FTIR) Spectroscopy to Determine the Chlorogenic Acid Isomer Profile and Antioxidant Capacity of Coffee Beans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(3), 681–689. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b05682>
- Lingle, T. R. (2011). *The coffee cupper's handbook: systematic guide to the sensory evaluation of coffee's flavor*. Specialty Coffee Association of America.
- Louzada Pereira, L., Carvalho Guarçoni, R., Soares De Souza, G., Brioschi Junior, D., Rizzo Moreira, T., & Schwengber Ten Caten, C. (2018). Propositions on the Optimal Number of Q-Graders and R-Graders. *Journal of Food Quality*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/3285452>
- Metrohm. (2023). *Roasted and ground coffee analysis by near-infrared spectroscopy Fast determination of caffeine, water activity, and moisture*. www.metrohm.com
- Munyendo, L., Njoroge, D., & Hitzmann, B. (2022). The Potential of Spectroscopic Techniques in Coffee Analysis—A Review. In *Processes*. Vol. 10, Issue 1). <https://doi.org/10.3390/pr10010071>
- Navarra, G., Moschetti, M., Guarrasi, V., Mangione, M. R., Militello, V., & Leone, M. (2017). Simultaneous determination of caffeine and chlorogenic acids in green coffee by UV/Vis spectroscopy. *Journal of Chemistry*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/6435086>
- Nunes, K. M., Andrade, M. V. O., Almeida, M. R., Fantini, C., & Sena, M. M. (2019). Raman spectroscopy and discriminant analysis applied to the detection of frauds in bovine meat by the addition of salts and carrageenan. *Microchemical Journal*, 147, 582–589. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.03.076>
- Pujantoro, L. E., & Ahmad, U. (2019). Predicting Lipid, Caffeine And Chlorogenic Acid Contents Of Arabica Coffee Using NIRS. *International Journal Of Scientific & Technology Research*, 8, 8. www.ijstr.org
- Safrizal, Sutrisno, S., Lilik, P. E. N., Ahmad, U., & Samsudin, S. (2018). Estimation of Sensory Analysis Cupping Test Arabica Coffee Using NIR Spectroscopy. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 147(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/147/1/012008>
- SCA (Specialty Coffee Association). (2017). *Arabica Cupping Form*. <https://sca.coffee/member-assets>
- Shan, J., Suzuki, T., Suhandy, D., Ogawa, Y., & Kondo, N. (2014). Chlorogenic acid (CGA) determination in roasted coffee beans by Near Infrared (NIR) spectroscopy. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 7(4), 139–142. <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2014.08.003>
- Ulinuha, A. R. I., Bahtiar, Z. A., Nauri, A. R., Rhamadan, I., Wulansari, R. C., & Iqbal, Z. (2021). The performance of the C12880MA MEMS sensor for classification of the roasting level of coffee bean. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 924(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/924/1/012021>
- Williams P, A. J. M. M. (2019). *Near Infrared Technology: Getting the best out of light* (First Edition). AFRICAN SUN MeDIA.
- Zhu, C., Fu, X., Zhang, J., Qin, K., & Wu, C. (2022). Review of portable near infrared spectrometers: Current status and new techniques. In *Journal of Near Infrared Spectroscopy* (Vol. 30, Issue 2, pp. 51–66). SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.1177/09670335211030617>