

**ANALISIS ADULTERAN KOPI ROBUSTA DAN BUBUK KAKAO
PADA KOPI LUWAK MENGGUNAKAN METODE
SPEKTROSKOPI *ATTENUATED TOTAL REFLECTANCE* (ATR) -
FOURIER TRANSFORM INFRARED (FTIR) DENGAN
PENDEKATAN KEMOMETRIKA**

Skripsi

Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana

Kimia



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Oleh:

Della Dewinta Syawalia
22106030036

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2026**



PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-202/Un.02/DST/PP.00.9/01/2026

Tugas Akhir dengan judul : ANALISIS ADULTERAN KOPI ROBUSTA DAN BUBUK KAKAO PADA KOPI LUWAK MENGGUNAKAN METODE SPEKTROSKOPI ATTENUATED TOTAL REFLECTANCE (ATR) - FOURIER TRANSFORM INFRARED (FTIR) DENGAN PENDEKATAN KEMOMETRIKA

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : DELLA DEWINTA SYAWALIA
Nomor Induk Mahasiswa : 22106030036
Telah diujikan pada : Rabu, 21 Januari 2026
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang
Karmanto, S.Si., M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 6979924e75fd5



Penguji I
Dr. Imelda Fajriati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 69798a596ae4e



Penguji II
Priyagung Dhemi Widiakongko, M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 697985c217efb



Yogyakarta, 21 Januari 2026
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6979aaa99872a

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Della Dewinta Syawalia
NIM : 22106030036
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “Analisis Adulteran Kopi Robusta dan Bubuk Kakao pada Kopi Luwak menggunakan Metode Spektroskopi Attenuated Total Reflectance (ATR) - Fourier Transform Infrared (FTIR) dengan Pendekatan Kemometrika” merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjana di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 13 Januari 2026



Della Dewinta Syawalia
NIM. 22106030036

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Della Dewinta Syawalla
NIM : 22106030036
Judul Skripsi : Analisis Adulteran Kopi Robusta dan Bubuk Kakao pada Kopi Luwak menggunakan Metode Spektroskopi Attenuated Total Reflectance (ATR) - Fourier Transform Infrared (FTIR) dengan Pendekatan Kemometrika

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Kimia.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 12 Januari 2026

Pembimbing

Karmanto, S.Si., M.Sc.

NIP: 19820504 200912 1 005

HALAMAN MOTTO

“ Sukses tak akan datang bagi mereka yang hanya menunggu tak berbuat apa – apa, tapi bagi mereka yang selalu berusaha mewujudkan mimpinya “

Alifiyah Ibnu Malik

“ Dan di hari ku yang paling gelap, semoga aku akan mengingat, bahwa ini sementara dan akan pergi dengan cepat “

The Adams

“ Hidup bukan saling mendahului, bermimpilah sendiri – sendiri “

Baskara Putra - Hindia



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya kecil ini penulis persembahkan sebagai tanda bakti dan rasa terima kasih yang tiada hingga kepada Ayahanda Ridwan Adi dan Ibunda Windi Wulan yang telah memberikan kasih sayang, secara dukungan, restu, dan cinta kasih yang berlimpah, yang mungkin tidak dapat dibalas hanya dengan selembar kertas bertuliskan kata persembahan. Semoga ini menjadi langkah awal untuk membuat ayah dan bunda bahagia, karena kakak sadar bahwa selama ini belum bisa berbuat lebih. Terima kasih, karena selalu membuat kakak termotivasi, selalu mengingatkan rasa syukur, selalu mendoakan, menasehati, serta meridhoi kakak dalam melakukan hal baik lainnya.

Karya ini juga penulis dedikasikan untuk almamater Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul Analisis Adulteran Kopi Robusta dan Bubuk Kakao pada Kopi Luwak Menggunakan Metode Spektroskopi *Attenuated Total Reflectance* (ATR) - *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dengan Pendekatan Kemometrika. Penulisan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Terselesaikannya Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, doa, serta dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Maya Rahmayanti, S.Si. M.Si. selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Bapak Karmanto, S.Si., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan, dukungan, dan arahan dalam menyelesaikan tugas akhir.
3. Seluruh PLP Laboratorium Kimia Terpadu UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta, terutama Bapak Wijayanto yang telah membantu penulis selama melaksanakan penelitian.
4. Ibu Dr. Imelda Fajriati, M.Si sebagai Dosen Pembimbing Akademik dan segenap Dosen Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah memberikan ilmu kepada penulis selama perkuliahan.
5. Cinta pertama dan panutan, ayahanda Ridwan Adi Syahbrata. Beliau memang tidak sempat merasakan perkuliahan, namun beliau bekerja keras serta mendidik penulis dengan sangat keras tentang kehidupan, memberikan dukungan sehingga penulis mampu menyelesaikan studi sampai sarjana.
6. Pintu surga, ibunda Windi Wulan Wahyuningsri. Terima kasih atas do'a yang selalu dilangitkan di setiap sholatmu, penulis percaya penulis bisa sampai titik ini atas do'a dan dukungan darimu.
7. Adikku Afifah Nazwa yang menjadi sumber motivasi untuk memberikan panutan terbaik sebagai seorang kakak, serta keluarga Soewarto dan Safari yang senantiasa memberikan do'a dan dukungan moril yang tak ternilai kepada penulis.
8. Kepada seseorang yang tak kalah penting kehadirannya, Muhammad Irwansyah Ridwan yang selalu menjadi *support system* penulis pada hari yang tidak mudah selama pengerjaan

skripsi. Terima kasih telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran, materi, dan memberikan semangat untuk terus maju tanpa kenal lelah, kata menyerah dalam segala hal demi meraih apa yang menjadi impian penulis..

9. Kerabat tersayang TM – Fadhilah Lily Ifanka, Naida Az - Zahra, Raras Nurhaliza, Alya Najwa Annisa, Riska Huraerah Rasyid, Nur Syifa Fadhilah Mukti. Runni – Raudhatul Husna Amelia Zahra, Rahma Aulia Rhodatul Jannah, Rahmadini Quraratu Aini, Siti Nur Aisyah, Nurulfitri Khoirunnisa, Rizky Laela Sari, Egidia Maharani
terima kasih untuk kebaikan, kesabaran, dan ketulusan disetiap waktu yang membuat hidup ini terasa lebih mudah. Semoga kekal abadi hingga surga-Nya nanti.
10. *Superwomen* – Evie Eka Nuraini, Berlian Mustika Sary, Rizky Azkiya Zuber, Rahmatika Candra Satriani, Ibu Nur dan HIMATA-YO, terima kasih telah menjadi rumah kedua di perantauan, tempat segala lelah menemukan tenangnya.
11. Sahabat seperjuangan kuliah dari awal semester Rini Maulida, Nur Intan Sheila Rahma, Naiya Yuan Nuralita, Nurul Dwi Sapitri dan Barudak Bandung – Aryas, Arif, Dani, Dhika, Azka, Rama, yang telah kebersamaian penulis hingga tahap ini. Terima kasih atas pembuktian bahwa pertemanan kuliah tidak seburuk cerita orang.
12. Keluarga Kimia 2022, Xenon, terima kasih banyak.
13. Terakhir, terima kasih kepada wanita sederhana yang memiliki impian besar, namun terkadang sulit dimengerti isi kepalanya, yaitu penulis diriku sendiri, Della. Terima kasih telah berusaha keras untuk menyelesaikan dan menguatkan diri sendiri bahwa kamu dapat menyelesaikan studi ini sampai selesai. Berbahagialah selalu dengan dirimu sendiri, Della. Rayakan kehadiranmu sebagai berkah di mana pun kamu menjejalkan kaki. Jangan sia-siakan usaha dan doa yang selalu kamu langitkan. Allah sudah merencanakan dan memberikan porsi terbaik untuk perjalanan hidupmu. Semoga langkah kebaikan selalu menyertaimu, dan semoga Allah selalu meridhai setiap langkahmu serta menjagamu dalam lindungan-Nya. Aamiin.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih terdapat keterbatasan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan menjadi langkah kecil menuju kemajuan sains di masa depan.

Yogyakarta, 11 Januari 2026

Della Dewinta Syawalia

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	iv
HALAMAN MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
INTISARI	xiv
ABSTRACT	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Batasan Masalah.....	3
C. Rumusan Masalah	3
D. Tujuan Penelitian.....	3
E. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	5
A. Tinjauan Pustaka	5
B. Landasan teori	8
1. Adulterasi.....	8
2. Kopi : Kandungan dan Manfaat.....	8
3. Bubuk Kakao (<i>Cocoa Powder</i>).....	15
4. Spektroskopi Fourier Transform Infrared (FTIR).....	15
5. Multivariate Curve Resolution (MCR).....	18
6. Cosine Similarity.....	19
7. Koefesien Korelasi.....	21
8. Koefesien Determinasi.....	23
C. Hipotesis Penelitian	24
BAB III METODE PENELITIAN	27
A. Waktu dan Tempat Penelitian	27
B. Alat-alat Penelitian	27
C. Bahan Penelitian.....	27
D. Cara Kerja Penelitian.....	27
E. Teknik Analisis Data	30
BAB IV PEMBAHASAN	33

A. Karakterisasi Spektra Murni dan Spektra Campuran	33
B. Identifikasi Spektra Komponen Tunggal Penyusun Campuran menggunakan <i>Multivariate Curve Resolution</i>	38
1. Hasil Dekomposisi.....	38
2. Kemiripan Bentuk Spektra.....	39
C. Validasi Metode.....	44
1. Uji Linearitas.....	44
2. Uji Akurasi.....	46
BAB V PENUTUP	48
A. Kesimpulan.....	48
B. Saran	48
DAFTAR PUSTAKA.....	49
LAMPIRAN	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bagian Biji Kopi	9
Gambar 2. 2 Struktur Kafein	10
Gambar 2. 3 Struktur Asam Klorogenat.....	11
Gambar 2. 4 Prinsip FTIR	16
Gambar 2. 5 Prinsip ATR.....	17
Gambar 4. 1 Spektra Kafein	33
Gambar 4. 2 Spektra Murni Kopi Luwak.....	34
Gambar 4. 3 Spektra Murni Kopi Robusta.....	36
Gambar 4. 4 Spektra Murni Kokoa	37
Gambar 4. 5 Spektra Campuran	37
Gambar 4. 6 Spektra Campuran Sebelum Dekomposisi	38
Gambar 4. 7 Hasil Dekomposisi Spektra Campuran.....	39
Gambar 4. 8 Spektra Perbandingan Kopi Luwak Murni dengan Komponen Luwak	40
Gambar 4. 9 Spektra Perbandingan Kopi Robusta dengan Komponen Robusta	41
Gambar 4. 10 Spektra Perbandingan Kokoa Murni dengan Komponen Kokoa.....	42
Gambar 4. 11 Kurva Linearitas (a) linearitas luwak, (b) linearitas robusta,(c) linearitas kakao	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan Kafein Luwak dengan Kopi Robusta Tanpa Fermentasi Luwak	13
Tabel 2. 2 Komposisi Kimia Biji Kopi Robusta/100 gr	14
Tabel 2. 3 Pembagian Daerah Inframerah	16
Tabel 2. 4 Interpretasi Nilai r.....	23
Tabel 4. 1 <i>Cosine Similarity</i> Tiap Komponen	43
Tabel 4. 2 Masa rasio dan matriks konsentrasi campuran	44
Tabel 4. 3 Nilai Prediksi Sampel Uji	46
Tabel 4. 4 Nilai <i>Persentase Recovery</i>	47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 berat per berat komponen murni	54
Lampiran 2 Nilai Prediktif Sampel Uji	57
Lampiran 3 Nilai % recovery	58
Lampiran 4. Dokumentasi Penelitian	60
Lampiran 5 Spektra Campuran.....	61
Lampiran 6 Hasil Dekomposisi Spektra Campuran	61
Lampiran 7 Spektra Perbandingan Kopi Luwak Murni dengan Komponen Luwak	62
Lampiran 8 Spektra Perbandingan Kopi Robusta dengan Komponen Robusta.....	62
Lampiran 9 Spektra Perbandingan Kakao Murni dengan Komponen Kakao	63

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

INTISARI

Analisis Adulteran Kopi Robusta dan Bubuk Kakao pada Kopi Luwak Menggunakan Metode Spektroskopi *Attenuated Total Reflectance* (ATR) - *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dengan Pendekatan Kemometrika.

Oleh :

Della Dewinta Syawalia

22106030036

Pembimbing :

Karmanto, S.Si., M.Sc.

Analisis kopi luwak teradulterasi menjadi tantangan analitik karena kompleksitas dan kemiripan spektra dengan bahan pencampur seperti robusta dan kakao yang menyebabkan tumpang tindih spektra inframerah dan menyulitkan identifikasi komponen secara akurat. Penelitian ini bertujuan untuk karakterisasi spektra, identifikasi adulteran, serta validasi metode berbasis FTIR yang dikombinasikan dengan pendekatan *Multivariate Curve Resolution* (MCR). Karakterisasi spektra dilakukan dengan membandingkan spektra murni dan spektra campuran untuk melihat pola serapan inframerah. Identifikasi adulteran dilakukan dengan *Multivariate Curve Resolution*. Validasi metode dilakukan melalui serangkaian dua parameter yaitu uji linearitas dan uji akurasi. Berdasarkan hasil pengukuran spektra FTIR, kopi luwak menunjukkan puncak utama pada bilangan gelombang 3500 cm^{-1} - 3300 cm^{-1} (O-H), 2920 cm^{-1} - 2850 cm^{-1} (C-H alifatik), dan 1745 cm^{-1} (C=O ester), sedangkan kopi robusta dan bubuk kakao menunjukkan perbedaan pada intensitas dan posisi puncak serapan terutama pada daerah 1655 cm^{-1} - 1545 cm^{-1} dan 1459 cm^{-1} - 720 cm^{-1} (protein dan polifenol). Hasil MCR berhasil memisahkan profil spektral dari kopi luwak, kopi robusta, dan kakao. Validasi metode untuk analisis semi - kuantitatif menunjukkan adanya korelasi linear antara matriks loading konsentrasi dengan konsentrasi yang sebenarnya dengan menghasilkan R^2 berturut-turut yaitu, kopi luwak 0,9714, kopi robusta 0,9482, dan kakao 0,9302. Hasil uji akurasi juga menunjukkan bahwa metode ini memiliki *persentase recovery* pada sampel uji 1 komponen luwak 86,29%, robusta 102,10%, kakao 87,6%. Pada sampel uji 2 komponen luwak 83,45%, robusta 110,01%, dan kakao 83,73% yang menunjukkan bahwa metode MCR akurat untuk analisis multikomponen.

Kata Kunci : Adulterasi, FTIR, Kopi Luwak, Kopi Robusta, Bubuk Kakao, *Multivariate Curve Resolution*.

ABSTRACT

Analysis of Robusta Coffee and Cocoa Powder Adulterants in Luwak Coffee Using Attenuated Total Reflectance (ATR) – Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy with a Chemometric Approach

By :

Della Dewinta Syawalia

22106030036

Adviser :

Karmanto, S.Si., M.Sc.

The analysis of adulterated Luwak coffee presents an analytical challenge due to the complexity and spectral similarity with adulterant materials such as Robusta coffee and cocoa powder, which cause overlapping infrared spectra and hinder accurate component identification. This study aims to perform spectral characterization, adulterant identification, and method validation based on FTIR spectroscopy combined with the Multivariate Curve Resolution (MCR) approach. Spectral characterization was carried out by comparing pure and mixed spectra to observe infrared absorption patterns. Adulterant identification was conducted using MCR, while method validation was performed through two parameters, namely linearity and accuracy tests. Based on the FTIR spectral measurements, Luwak coffee showed major absorption peaks at wavenumbers $3500\text{--}3300\text{ cm}^{-1}$ (O–H), $2920\text{--}2850\text{ cm}^{-1}$ (aliphatic C–H), and 1745 cm^{-1} (C=O ester), while Robusta coffee and cocoa powder exhibited differences in intensity and peak positions, particularly in the regions $1655\text{--}1545\text{ cm}^{-1}$ and $1459\text{--}720\text{ cm}^{-1}$, which are associated with proteins and polyphenols. The MCR analysis successfully separated the spectral profiles of Luwak coffee, Robusta coffee, and cocoa powder. Validation of the semi-quantitative analysis method showed a linear correlation between the loading matrix and the actual concentration, yielding R^2 values of 0.9714 for Luwak coffee, 0.9482 for Robusta coffee, and 0.9302 for cocoa powder. The accuracy test results showed recovery percentages of 86.29% (Luwak), 102.10% (Robusta), and 87.60% (Cocoa) in single-component samples, and 83.45% (Luwak), 110.01% (Robusta), and 83.73% (Cocoa) in two-component samples. These results indicate that the MCR method is accurate and reliable for multicomponent analysis.

Keywords : Adulteration, FTIR, Luwak Coffee, Robusta Coffee, Cocoa Powder, Multivariate Curve Resolution.

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Adulterasi atau pemalsuan kopi luwak menjadi isu serius karena tingginya nilai ekonomi dan permintaan pasar terhadap produk ini. Sebagian produsen yang tidak bertanggung jawab mencampurkan bahan lain seperti kopi robusta dan bubuk kakao untuk menekan biaya produksi, sehingga menurunkan mutu, cita rasa, serta mengancam reputasi kopi luwak sebagai produk premium (Yulia M, Iriani, Suhandy, Waluyo, & Sugianti, 2017). Oleh karena itu, diperlukan analisis adulteran yang mampu memastikan keaslian dan menjaga kualitas kopi luwak agar tidak merugikan konsumen maupun produsen asli.

Analisis sistem campuran pada kopi luwak teradulterasi merupakan tantangan analitik karena kompleksitas komposisi kimia serta kemiripan pola serapan inframerah antar senyawa penyusun, seperti Robusta dan Kakao. Kompleksitas ini menimbulkan tumpang tindih spektra pada hasil pengukuran, sehingga perbedaan antar komponen sulit diidentifikasi secara visual dan menyebabkan interpretasi menjadi kurang akurat (Waluyo, et al, 2017).

Beberapa metode analisis seperti Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (HPLC), Kromatografi Gas (GC), dan Kromatografi Lapis Tipis (KLT) telah digunakan untuk mendeteksi adulterasi, namun metode – metode tersebut memiliki keterbatasan seperti waktu analisis yang lama, kebutuhan pelarut kimia, serta preparasi sampel yang kompleks (Triawan, Ghufira, Adfa, & Rafi, 2022).

Sebagai alternatif, spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dengan teknik *Attenuated Total Reflectance* (ATR) menawarkan analisis yang cepat, non – destruktif, dan tidak memerlukan preparasi yang rumit, FTIR mampu mendeteksi komposisi kimia suatu sampel berdasarkan pola serapan inframerah (Suhandy, Diding, Sri , & Cicih, 2017). Namun, keterbatasan FTIR terletak pada kompleksitas spektrum

yang menyebabkan sulitnya membedakan sinyal dari tiap komponen campuran secara langsung.

Untuk mengatasi hal tersebut, kemometrika yang menggabungkan analisis statistik dengan data multivariate, menawarkan pendekatan yang efektif untuk mengatasi tantangan ini. *Multivariate Curve Resolution* (MCR) metode yang menjanjikan untuk melakukan pemisahan komponen dalam campuran kompleks. Metode MCR bekerja dengan menguraikan data spektral menjadi dua matriks, dimana satu matriks profil spektral yang menunjukkan bentuk spektral dari setiap komponen dalam campuran dan kedua matriks konsentrasi yang menunjukkan seberapa banyak masing-masing komponen ada dalam setiap sampel, sehingga analisis pemisahan komponen dalam campuran kompleks dapat dilakukan secara efisien dan akurat. Dengan MCR, diharapkan dapat mengidentifikasi, mengklasifikasi, dan mengkuantifikasi bahan dalam kopi luwak, bahkan ketika terdapat campuran dengan bahan lain secara efisien dan akurat.

Dalam penelitian ini, analisis data spektrum dilakukan menggunakan perangkat lunak *The Unscrambler* yang merupakan salah satu perangkat lunak komersial termuka untuk analisis multivariat, khususnya di bidang kimia analitik dan adulterasi bahan pangan. *The Unscrambler* digunakan karena memiliki kemampuan komprehensif dalam menerapkan berbagai teknik pemrosesan data multivariat seperti *Multivariate Curve Resolution*.

Penelitian ini penting dilakukan untuk mengembangkan metode identifikasi adulterasi kopi luwak berbasis integrasi FTIR dan kemometrika, sebagai solusi efektif terhadap keterbatasan analisis konvensional sekaligus mendukung peningkatan mutu dan keaslian kopi luwak Indonesia (Fauzi, Choirun, & Puji, 2018). Penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif solusi analisis yang ramah lingkungan dan analisis cepat yang akurat.

B. Batasan Masalah

Agar penelitian ini memiliki fokus yang jelas dan tidak menyimpang dari pokok pembahasan, maka batasan terhadap ruang lingkup penelitian sebagai berikut :

1. Penelitian ini menggunakan FTIR sebagai instrumen utama dalam menganalisis spektra campuran kompleks
2. Penelitian ini menggunakan kemometrika MCR untuk memisahkan dan mengidentifikasi komponen tunggal dari komponen kompleks pada campuran kopi luwak yang didukung *Cosine Similarity* guna memperkuat proses klarifikasi dan interpretasi hasil
3. Bahan yang digunakan merupakan kopi luwak bubuk yang beredar dipasaran
4. Adulteran difokuskan pada kopi robusta, dan bubuk kakao (*cocoa powder*)
5. Pra-pemrosesan data spektra FTIR dilakukan sebelum analisis data
6. Validasi metode menggunakan uji linearitas dan uji akurasi.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan pertimbangan latar belakang serta batasan masalah berikut, penelitian ini memiliki rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik spektra murni dan spektra campuran produk kopi luwak dilihat dari puncak serapan FTIR ?
2. Bagaimana cara mengidentifikasi keberadaan adulteran tidak sejenis berupa bubuk kakao dan sejenis berupa kopi robusta pada kopi luwak menggunakan metode *Multivariate Curve Resolution* ?
3. Bagaimana pengujian validasi metode analisis semi - kuantitatif adulteran robusta dan bubuk kakao pada kopi luwak bubuk dilihat dari linearitas dan akurasi ?

D. Tujuan Penelitian

1. Mengkarakterisasi spektra murni kopi luwak, kopi robusta, dan spektra campuran ketiganya berdasarkan puncak serapan FTIR

2. Mengidentifikasi keberadaan adulteran bubuk kakao dan kopi robusta pada kopi luwak menggunakan metode *Multivariate Curve Resolution* (MCR).
3. Validasi metode semi - kuantitatif adulteran kopi robusta dan bubuk kakao dilihat dari linearitas, dan % *recovery*.

E. Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi mengenai karakteristik adulteran, baik sejenis maupun tidak sejenis dalam produk kopi luwak berdasarkan hasil analisis spektra FTIR.
2. Memberikan informasi mengenai pengembangan metode kemometrika berbasis MCR yang dikombinasikan dengan *cosine Similarity* untuk mengidentifikasi keberadaan adulteran pada kopi luwak.
3. Memberikan informasi mengenai prosedur validasi metode semi - kuantitatif melalui linearitas dan % *recovery* sebagai parameter keandalan model analisis adulterasi kopi luwak.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Spektra FTIR menunjukkan pola *fingerprint* dan puncak serapan khas yang membedakan kopi luwak, kopi robusta, dan bubuk kakao melalui intensitas pada spektra campuran yang mendasari pengenalan adanya adulteran.
2. *Multivariate Curve Resolution* berhasil memisahkan campuran menjadi tiga komponen utama dan mengidentifikasi kesesuaiannya dengan spektra murni berdasarkan nilai *cosine similarity* tinggi
3. Model validasi menunjukan hubungan linear kuat antara konsentrasi dengan berat per berat yang dibuktikan berdasarkan R^2 luwak 0,9714, robusta 0,9482, kakao 0,9302. Uji akurasi melalui persentase recovery menghasilkan nilai sampel uji 1 secara berturut – turut 86,29% komponen luwak, komponen robusta 102,10%, dan komponen kakao 87,65%. Sampel uji 2 menghasilkan 83,45% komponen luwak, 110,15% komponen robusta, dan 83,73% sampel kakao. Nilai akurasi tersebut masih dalam kriteria syarat keterbacaan, sehingga model dinilai layak untuk memprediksi tingkat adulterasi.

B. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut adalah

1. Menguji model prediksi dengan melibatkan lebih banyak jenis kopi dan adulteran lain
2. Mengevaluasi pengaruh proses roasting atau pascapanen terhadap spektra adulterasi

DAFTAR PUSTAKA

- Aboulwafa, M. M., Fadia, S., Youssef, Gad, A. H., Satyajit, D., Sarker, . . . Ashour, M. L. (2018). Authentication and Discrimination of Green Tea Samples Using UV-Visible, FTIR, and HPLC Techniques Coupled with Chemometrics Analysis.
- Abram, D. H. N., & P, H. (2020). Polymerization of Eugenol Using aConcentrated Nitric Acid (Hno3) Catalyst and Media of Acetic Acid (CH3COOH). *14*(2), 1-4.
- Amelia, R. P., Kimura, M. W., & Villon, M. C. (2021). Qualitative and Quantitative Analyses of Synthesized Short - Chain Fatty Acid Phenyl Esters Using Fourier - Transform Infrared Spectroscopy. *Journal of Organic Chemistry*, 9.
- Andriansyah, I., Wijaya, H. N., & Purwaniati. (2021). Analisis Adulterasi pada Kopi Luwak dengan Metode Fourier Transform Infrared (FTIR). 6.
- Arsista, D., & Eriwati, Y. K. (2021). Penggunaan ATR-FTIR (Attenuated Total Reflection-Fourier Transform Infrared Spectroscopy) pada Kedokteran Gigi. 57-66.
- Avval, T. N., Gallagher, D., Morgan, P., Bargiela, N., Fairley, V., Fernandez, M., & Linford. (2023). Practical guide on chemometrics/informatics in x-ray photoelectron spectroscopy (XPS). I. Introduction to methods useful for large or complex datasets.
- Beasley, M., Bartelink, L., Tailor, & Miller, R. M. (2014). Comparison of transmission FTIR, ATR, and DRIFT spectra : implications for assessment of bone bioapatite diagenesis. *16*-22.
- Bulandari, S. (2016). Pengaruh Produksi Kakao terhadap Pertumbuhan Ekonomi di Kabupaten Kolaka Utara.
- Couto, C. d., Silva, O. F., Oliveira, E. M., Sousa, C., & Casal, S. (2022). Near-Infrared Spectroscopy Applied to the Detection of Multiple Adulteranys in Roasted and Ground Arabica Coffe. *(11)* 61.
- Dam, V. R., Hu, F. B., & Willet, W. C. (2020). Coffe, caffeine, and health. 369-378.
- Davide, C., Matthijs, W., & Giuseppe, J. (2021). The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE, and RMSE in regression analysis evaluation.
- Fauzi, M., Choirun, M., & Puji, A. (2018). Karakteristik Kimia Kopi Luwak Robusta Artifisial Terfermentasi Oleh Ragi Luwak dan A-Amilase. *144*.

- Fitriyah , A. T., Kape, D., Baharuddin, B., & Utami, R. (2021). Analisis mutu organoleptik kopi bubuk arabika (*coffea arabica*) bittuang toraja. 72-82.
- Fuferti, M., Syakbaniah, & Ratnawulan. (2013). Perbandingan karakteristik fisis kopi luwak civet coffe dan kopi biasa jenis arabika. 68-75.
- Hadipernata, M., & Sigit, N. (2012). Identifikasi Fisik, Kimia, dan Mikrobiologi Biji Kopi Luwak sebagai Dasar Acuan Teknologi Proses Kopi Luwak Artificial. 117-121.
- Irawati, L., & Zubair, A. (2022). VALIDASI METODE ANALISIS PROTEIN DALAM SUSU CAIR KEMASAN SECARA SPEKTROFOTOMETRI. *Jurnal Politeknik Negeri Ujung Padang*.
- Janse, R. J., Hoekstra, T., Jager, K. J., Zoccali, G., Tripepi, G., Dekker, F. W., & Diepen, M. v. (2021). Conducting correlation analysis : important limitations and pitfalls. 14.
- Juan, A. d., Jaumot, J., & Tauler, R. (2014). Multivariate Curve Resolution (MCR) : Solving the mixture analysis problem. 6(14).
- Kamruzzaman, M. (2016). Food Adulteration and Authenticity in Food Safety.
- Kull, E. (2022). Accelerating MCR-ALS decomposition of hyperspectral images using k-means clustering. 22-31.
- Kusnadi, A., & Mutoharoh, S. (2016). *Validasi Metode Analisis Kimia Kuantitatif* . Yogyakarta: Deepublish.
- Lasut, R., Wenas, D. R., & Silangen, P. M. (2020). Kajian Gugus Fungsi dan Komposisi Mineral Batuan Teralterasi menggunakan Spektroskopi SEM-EDX dan FTIR pada Daerah Manifestasi Panas Bumi di Desa Toraget, Langoan, Kabupaten Minahasa. 19-23.
- Lin, C. C. (2010). Approach of improving coffe industry in Taiwan promote quality of coffe bean by fermentation. 5(154-159).
- Luca, M. D., Loele, G., Grande, F., Occhiuzzi, A. M., Chieffallo, M., Garofalo, A., & Ragno, G. (2023). Multivariate Curve Resolution Methodology Applied to the ATR-FTIR Data for Adulteration Assessment of Virgin Coconut Oil. 4661.
- Macrae. (2010). *Chemistry of Coffe*. Germany: Elsevier.
- Mangiwa, S., Futwembun, A., & Awak, P. M. (2015). Kadar asam klorogenat (CGA) dalam biji kopi arabika (*Coffea arabica*) asal Wamena, Papua. 313-317.

- Muslich M, Nurhayati, I., & Rahmawati, D. (2020). *Prinsip Validasi Analisis Kuantitatif pada Bahan Alam*. Yogyakarta: Deepublish.
- Muzaifa, M., Patria, A., Abubakar, A., Febriani, Rahmi, F., & Hasni, D. (2016). Kopi Luwak Produksi, Mutu, dan Permasalahannya.
- Nizori, A., Tanjung, O., Ulyarti, U., Arzita, A., Lavlinesia, L., & Ichwan, B. (2021). Pengaruh Lama Fermentasi Biji Kakao (*Theobroma cacao* L) terhadap Sifat Fisik, Kimia, dan Organoleptik Bubuk Kakao. 129-138.
- Pamela, G. K., Simon, A., Haughey, Christopher, T., & Elliott. (2020). Garlic Adulteration Detection using NIR dan FTIR Spectroscopy and Chemometrics.
- Poole, R., Kennedy, O. J., Roderick, P., Falloofield, J. A., Hayes, P. C., & Parkes, J. (2017). Coffe consumption and health : umbrella review of meta-analysis of multiple health outcomes.
- Prastowo, B. E., Karnawati, Rubijo, Siswanto, C., Indrawanto, & Munarso, S. J. (2010). Budidaya dan Pasca Panen Kopi.
- Putra, D. I. (2017). *Blending Polymer Selulosa Asetat/Polisulfon Terhadap ketahanan Fouling Protein*.
- Rahardjo, P. (2012). *Kopi Penebar Swadaya*.
- Renaud, O., Pia, M., & Feser, V. (2010). A robust coefficient of determination for regression. 140.
- Rubiyo, & Towaha, J. (2013). Pengaruh Fermentasi terhadap citarasa kopi luwak probiotik . 175-182.
- Santana, G. J., Cisneros, Z. L., & Jacobo, V. D. (2017). Chlorogenic Acid : Recent Advances on Its Dual Role as a Food Additive and a Nutraceutical against Metabolic Syndorme . 3.
- Santos, A. I., Conceicao, D. G., Viana, M. B., Silva, G. D., Santos, L. S., & Ferrao , S. P. (2021). NIR and MIR Spectroscopy for Quick Detection of The Adulteration of Cocoa Content in Chocolates. 349.
- Schober, P., Boer, C., Lothar, A., & Schwarte. (2018). Correlation Coefficients : Appropriate Use and Interpretation. 126.
- Sehangunaung, F., Handayani, R., & Darmawan, A. (2023). Model evaluation in quantitative spectroscopy : Statistical indicators for predictive reliability assessment. 90(4).

- Senthilnathan, S. (2019). Usefulness of Correlation Analysis.
- Sheng, Y., Xue, Y., Wang, J., Liu, S., & Jiang, Y. (2023). Correction to : Fast Screening and Identification of illegal adulteration in dietary supplements and herbal medicines using molecular networking with deep-learning-based similarity algorithms. 415.
- Siregar, Y. D., Heryanto, R., Riyadhi, A., Lestari, T. H., & Nurlela. (2015). Karakterisasi Karbon Aktif Asal Tumbuhan dan Tulang Hewan menggunakan FTIR dan Analisis Kemometrika. 103-116.
- Siswanto, & Ratnaningsih, Y. (2021). Tingkat Pendapatan Masyarakat Terhadap Komoditi Kopi Tambora di Desa Oi Bura Kecamatan Tambora Kabupaten Bima (Studi Kasus Kelompok Tani Jembatan Besi). 12-19.
- Song, Y. H., Yu, H. Q., Tan, Y. C., Lv, W., Fang, D. H., & Liu, D. (2020). Similarity matching of food safety incidents in China : Aspects of rapid emergency response and food safety. 115.
- Spink, J., & Moyer, D. C. (2011). Defining the public health threat of food fraud. 163.
- Stanimirova, L. B., Ustun, T., Cajka, K., Riddlelova, J., Hasjslova, L. M., Buydens, & Walczak, B. (2010). Tracing the Geographical Origin of Honeys using the GC-MS and Pattern Recognition Techniques. 171-176.
- Suhandy, Diding, Sri , W., & Cicih, S. (2017). Studi Penggunaan Uv-Vis Spectroscopy dan Kemometrika untuk Mengidentifikasi Pemalsuan Kopi Arabika dan Robusta Secara Cepat. 6 (45-52).
- Sulistiyani, M., & Huda, N. (2018). Perbandingan Metode Transmisi dan Reflektansi pada Pengukuran Polistirena Menggunakan Intrumentasi Spektroskopi Fourier Transform Infrared. *Indonesian Journal of Chemical Science*.
- Triawan, D. A., Ghufira, G., Adfa, M., & Rafi, M. (2022). Pencirian Kopi robusta Bengkulu dari Kemungkinan Bahan Pencampur Menggunakan Kombinasi Spektroskopi FTIR dan Kemometrik. 321-328.
- Vinothkanna, A., Dar, I. O., Liu, Z., & Jia, Q. A. (2024). Advanced detection tools in food fraud : A systematic review for holistic and rational detection method based on research and patents. 446.
- Waluyo, S., Fifit, H. N., Suhandy, D., Rahmawati, W., Sugianti, C., & Yulia, M. (2017). Analisis Spektrum Uv-Vis Untuk Menguji Kemurnian Kopi Luwak. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 73-80.

Watson, G. D. (2012). *Pharmaceutical Analysis : A textbook for pharmacy students and pharmaceutical chemists*. London: Churchill Livingstone.

Winarno, S. T. (2019). Ekonomi Kopi Rakyat Rousa di Jawa Timur.

Yulia M, Iriani, R., Suhandy, D., Waluyo, S., & Sugianti, C. (2017). Studi Penggunaan Uv-Vis Spectroscopy dan Kemometrika untuk Mengidentifikasi Pemalsuan Kopi Arabika dan Robusta secara cepat. 43-52.

Yulia, M., Suhandy, D., Waluyo, S., & Sugianti, C. (2016). Detection and Quantification of Adulteration in Luwak Coffe through Ultraviolet-Visible Spectroscopy Combined With Chemometrics-Method.

