

**STUDI KUALITATIF MADU *Tetrigona apicalis* YANG DICAMPUR SIRUP
BERAS MENGGUNAKAN *PORTABLE LED-BASED FLUORESCENCE
SPECTROSCOPY* DAN KEMOMETRIKA**

(SKRIPSI)

**Oleh
Putri Sabila**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

STUDI KUALITATIF MADU *Tetrigona apicalis* YANG DICAMPUR SIRUP BERAS MENGGUNAKAN *PORTABLE LED-BASED FLUORESCENCE SPECTROSCOPY* DAN KEMOMETRIKA

Oleh

PUTRI SABILA

Madu *Tetrigona apicalis* merupakan salah satu jenis madu dari lebah tanpa sengat yang memiliki nilai jual tinggi. Kandungan nutrisi dan manfaat kesehatannya serta produksi tahunan yang hanya kurang lebih 1 kilogram, menjadikan harga madu ini cukup mahal. Dalam upaya memperoleh keuntungan yang lebih tinggi, sejumlah oknum melakukan praktik pemalsuan dengan mencampurkan madu tersebut dengan larutan pemanis buatan seperti sirup beras, sukrosa, glukosa, fruktosa, dan air. Penelitian ini memanfaatkan *spectroscopy fluorescence* berbasis *LED portable* serta pendekatan PCA dan SIMCA untuk mendeteksi pencampuran madu *Tetrigona apicalis* dengan sirup beras. Total terdapat 160 sampel yang dianalisis, terdiri atas 50 sampel madu *Tetrigona apicalis* murni (MA), 50 sampel madu yang telah dicampur dengan sirup beras (MC) dengan variasi konsentrasi antara 10% hingga 60%, dan 60 sampel sirup beras (SB). Spektra diambil sebanyak dua kali pengulangan dalam rentang panjang gelombang 300–800 nm. Setelah spektra diperoleh, tahap selanjutnya adalah membangun model dan melakukan analisis menggunakan metode PCA dan SIMCA. Pada data spektra original, hasil analisis PCA menunjukkan nilai kumulatif PC-1 dan PC-2 sebesar 100%. Hasil PCA terbaik diperoleh melalui tahapan *pretreatment* berupa *smoothing moving average 3 segment* serta kombinasi *normalize + smoothing moving average 3 segment*, dengan total nilai PC-1 dan PC-2 masing-masing mencapai 100% dan 98%. Hasil analisis grafik pada sampel MA, MC, dan SB mengindikasikan adanya tiga puncak panjang gelombang yang muncul pada 355 nm, 483 nm, dan 721 nm. Ketiga puncak ini menunjukkan keberadaan senyawa fenolik, riboflavin, dan fenomena

frequency doubled peak (FDP). Hasil klasifikasi model SIMCA untuk kelompok SB-MA dan SB-MC baik pada data asli maupun setelah *pretreatment smoothing moving average 3 segment*, menunjukkan akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas masing-masing sebesar 100% dengan tingkat *error* 0%. Sementara itu, klasifikasi model SIMCA pada kelompok MA-MC menggunakan data original menghasilkan akurasi sebesar 57%, sensitivitas 50%, spesifisitas 58%, dan tingkat *error* sebesar 43%. Sedangkan hasil klasifikasi model SIMCA pada kelompok MA-MC dengan menggunakan data hasil *pretreatment normalize* yang dikombinasikan dengan *smoothing moving average 3 segment* menunjukkan akurasi sebesar 93%, sensitivitas 100%, spesifisitas 89%, dan tingkat *error* sebesar 7%. Berdasarkan analisis kurva ROC yang menunjukkan hubungan antara spesifisitas dan sensitivitas, model ini menunjukkan performa klasifikasi yang sangat baik karena mendekati titik koordinat Y (0,1). Oleh karena itu, pemisahan antara sampel madu *Tetrigona apicalis* murni (MA) dan madu campuran (MC) dapat dikatakan sangat baik.

Kata kunci: Madu *Tetrigona apicalis*, Sirup Beras, *Fluorescence Spectroscopy*, PCA, SIMCA.

ABSTRACT

A QUALITATIVE STUDY OF *Tetrigona apicalis* HONEY ADULTERATED WITH RICE SYRUP USING PORTABLE LED-BASED FLUORESCENCE SPECTROSCOPY AND CHEMOMETRICS

By

PUTRI SABILA

Tetrigona apicalis honey is a type of honey produced by stingless bees, known for its high market value. Its rich nutritional content and health benefits, coupled with a limited annual production of approximately 1 kilogram, contribute to its expensive price. To gain higher profits, certain individuals engage in adulteration practices by mixing this honey with artificial sweeteners such as rice syrup, sucrose, glucose, fructose, and water. This study utilizes portable LED-based fluorescence spectroscopy along with PCA and SIMCA methods to detect the adulteration of *Tetrigona apicalis* honey with rice syrup. A total of 160 samples were analyzed, consisting of 50 samples of pure *Tetrigona apicalis* honey (MA), 50 adulterated samples mixed with rice syrup (MC) at concentrations ranging from 10% to 60%, and 60 samples of rice syrup (SB). Spectral data were collected with two repetitions within a wavelength range of 300–800 nm. After acquiring the spectral data, modeling and analysis were carried out using PCA and SIMCA methods. On the original spectral data, PCA results showed a cumulative value of 100% for PC-1 and PC-2. The best PCA performance was achieved through pretreatment using a 3-segment smoothing moving average and a combination of normalization and 3-segment smoothing moving average, yielding cumulative PC-1 and PC-2 values of 100% and 98%, respectively. Graphical analysis of the MA, MC, and SB samples revealed three wavelength peaks at 355 nm, 483 nm, and 721 nm, indicating the presence of phenolic compounds, riboflavin, and a frequency doubled peak (FDP), respectively. SIMCA classification results for SB-MA and SB-MC groups using both original and pretreated data showed accuracy, sensitivity, and specificity values of 100%, with a 0% error rate. In contrast, SIMCA classification for the MA-MC group using original data yielded an accuracy of 57%, sensitivity of 50%,

specificity of 58%, and an error rate of 43%. However, SIMCA classification of MA-MC samples using pretreated data (normalization combined with 3-segment smoothing moving average) achieved an accuracy of 93%, sensitivity of 100%, specificity of 89%, and an error rate of 7%. Based on the ROC curve analysis which illustrates the relationship between specificity and sensitivity this model demonstrates excellent classification performance as it approaches the Y-coordinate point (0,1). Therefore, the separation between pure *Tetrigona apicalis* honey (MA) and adulterated honey (MC) can be considered highly effective.

Keywords: *Tetrigona apicalis* honey, rice syrup, fluorescence spectroscopy, PCA, SIMCA.

**STUDI KUALITATIF MADU *Tetrigona apicalis* YANG DICAMPUR SIRUP
BERAS MENGGUNAKAN *PORTABLE LED-BASED FLUORESCENCE
SPECTROSCOPY* DAN KEMOMETRIKA**

**Oleh
Putri Sabila**

Skripsi

**Sebagai salah satu syarat mencapai gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul Skripsi

: **STUDI KUALITATIF MADU *Tetrigona apicalis*
YANG DICAMPUR SIRUP BERAS
MENGGUNAKAN *PORTABLE LED-BASED
FLUORESCENCE SPECTROSCOPY* DAN
KEMOMETRIKA**

Nama Mahasiswa

: **Putri Sabila**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2114071048

Program Studi

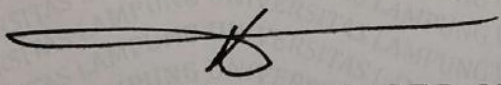
: Teknik Pertanian

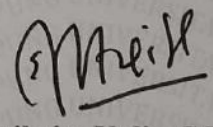
Fakultas

: Pertanian

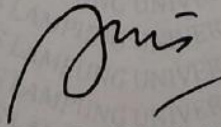
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Prof. Dr. Agr. Sc. Diding Suhandy, S.T.P., M.Agr
NIP. 197803032001121001


Meinilwita Yulia, S.T.P., M.Agr. Sc.
NIP. 197905142008122001

2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian


Prof. Dr. Ir. Warji, S.T.P., M.Si., IPM.
NIP. 197801022003121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Dr.Agr.Sc. Diding Suhandy, S.T.P., M.Agr.

Sekretaris : Meinilwita Yulia, S.T.P., M.Agr. Sc.

Penguji
Bukan Pembimbing : Winda Rahmawati, S.T.P., M.Si. M.Sc.

2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. H. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.
NID. 196411181989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 06 Agustus 2025

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah **Putri Sabila** dengan NPM **2114071048**, dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing, 1) **Prof. Dr. Agr. Sc. Diding Suhandy, S.T.P., M.Agr.** dan 2) **Meinilwita Yulia, S.T.P., M.Agr. Sc.** berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal, dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila di kemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ilmiah ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 26 Agustus 2025
Yang membuat pernyataan,



Putri Sabila
NPM. 2114071048

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Bandar Lampung, tepatnya di Kelurahan Panjang Selatan, Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung pada tanggal 26 Agustus 2003. Sebagai anak keempat dari lima bersaudara, penulis merupakan putri dari pasangan Bapak Hery Afsani dan Ibu Winda Riana. Pendidikan dasar penulis dimulai di SDN 1 Karang Maritim, di mana penulis lulus pada tahun 2015. Setelah itu, penulis melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 11 Bandar Lampung dan berhasil lulus pada tahun 2018. Pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) diselesaikan di SMA Negeri 6 Bandar Lampung, di mana penulis lulus pada tahun 2021. Pada tahun yang sama, penulis diterima sebagai mahasiswa di Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Pada tanggal 5 Januari dan 9 Februari 2024, penulis mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode 1 tahun 2024 selama 40 hari di Desa Bandar Dalam, Kecamatan Negeri Agung, Kabupaten Way Kanan, Provinsi Lampung. Kemudian, pada bulan Juli hingga Agustus 2024, penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di Omah Tawon Mataram. Fokus dari praktik ini adalah kegiatan yang berjudul “Mempelajari Teknik Pemanenan Madu Trigona di Omah Tawon Mataram, Kecamatan Gadingrejo, Kabupaten Pringsewu.”

Persembahkan

Dengan penuh rasa syukur penulis menyampaikan pujian kepada Allah SWT. yang telah menganugerahkan rahmat, petunjuk, kesehatan, dan kemudahan, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi ini penulis persembahkan untuk :

Kedua Orang Tua

Bapakku Hery Afsani dan Ibuku Winda Riana yang telah memberikan dukungan tanpa henti dalam bentuk doa, tenaga, pikiran dan segala upaya yang dimiliki demi kelancaran studiku. Terima kasih atas setiap pengorbanan dan kasih sayang yang menjadi kekuatan terbesar dalam setiap langkahku hingga skripsi ini terselesaikan.

Keluargaku

Kakakku Rio Hidayat, Marlina, Aries Khozy, Tiara Kurnia Sari, Adikku Muhammad Fakhri serta keluarga besar M. Yaqub terima kasih atas semua doa, dukungan, dan semangat yang terus mengalir tanpa henti.

Serta

Almamater Tercinta

Teknik Pertanian Unila 2021

SANWACANA

Penulis menyampaikan rasa syukur yang mendalam kepada Allah SWT atas segala nikmat, karunia, serta kemudahan yang diberikan selama proses penyusunan skripsi ini. Selain itu, penulis juga mengucapkan shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW, keluarganya, dan para sahabat beliau yang syafaatnya senantiasa diharapkan oleh seluruh umat Islam pada hari kiamat kelak. Skripsi yang berjudul **“Studi Kualitatif Madu *Tetrigona apicalis* yang Dicampur Sirup Beras Menggunakan *Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy* dan Kemometrika”** ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di Universitas Lampung.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan maupun keterbatasan. Oleh sebab itu, penulis ingin menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, doa, bantuan, serta bimbingan dan arahan sehingga karya ini dapat terselesaikan.

Ucapan terima kasih secara khusus penulis tujukan kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM., ASEAN Eng, selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Warji, S.T.P., M.Si., IPM., selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
4. Bapak Prof. Dr. Agr. Sc. Diding Suhandy, S.T.P., M.Agr., selaku Dosen Pembimbing Utama sekaligus Pembimbing Akademik selama penulis menempuh

pendidikan di Jurusan Teknik Pertanian yang telah meluangkan waktu serta memberikan banyak masukan, arahan, motivasi, dan nasihat yang sangat berarti dalam proses pelaksanaan penelitian hingga penyusunan skripsi ini.

5. Ibu Meinilwita Yulia, S.T.P., M.Agr. Sc., selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah memberikan bimbingan dan saran selama proses penyusunan skripsi ini.
6. Ibu Winda Rahmawati, S.T.P., M.Si. M.Sc., selaku Dosen Pembahas yang telah turut memberikan masukan, koreksi, dan arahan yang sangat membantu dalam penyempurnaan skripsi ini.
7. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung yang telah membagikan ilmu, wawasan, dan pengalaman berharga selama penulis menempuh pendidikan.
8. Kedua orang tua penulis Bapak Hery Afsani dan Ibu Winda Riana serta keluarga besar M. Yaqub yang telah menjadi sumber kekuatan, semangat, dan ketulusan doa sehingga penulis berada di titik ini.
9. Kepada seseorang yang tidak dapat tertulis dengan jelas namanya di halaman ini, namun telah terukir indah dan abadi di *Lauhul Mahfudz* untuk penulis. Terima kasih telah menjadi sumber motivasi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu bentuk penulis dalam memantaskan diri. Penulis meyakini bahwa setiap takdir yang telah ditentukan meskipun terjal dan penuh liku, pada akhirnya akan menemukan jalannya untuk bertemu, seperti dua sungai yang tak terhindarkan bertemu di lautan yang sama.
10. Sahabat terbaik “Bestiefun” yang telah memberikan dukungan, motivasi, dan nasihat di saat penulis berada pada titik lelah. Kehadiran kalian penguat dalam senyap, pelipur dalam resah, dan tawa dalam setiap langkah penulis. Semoga kita tetap selamanya.
11. Teman satu penelitian Atika, Risky, Galih dan Daniel yang telah memberikan bantuan selama proses penelitian dan penulisan skripsi ini.
12. Teman-teman seperjuangan Teknik Pertanian 2021 yang telah senantiasa memberikan semangat, dukungan, serta bantuan selama masa pendidikan.

13. Terakhir, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang mendalam kepada diri sendiri, Putri Sabila. Terima kasih telah bertanggung jawab untuk menyelesaikan apa yang telah dimulai. Terima kasih karena terus berusaha dan tidak menyerah, serta senantiasa menikmati setiap prosesnya. Terima kasih sudah bertahan.

Semoga Allah SWT membalas setiap kebaikan yang telah diberikan oleh Bapak, Ibu, serta rekan-rekan yang telah memberikan bantuan dan dukungan. Penulis berharap karya skripsi ini dapat membawa manfaat di kemudian hari. Aamiin.

Bandar Lampung, 26 Agustus 2025

Putri Sabila

NPM. 2114071048

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR TABEL.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	v
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Manfaat Penelitian	6
1.5. Batasan Masalah	6
1.6. Hipotesis	6
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Lebah <i>Tetrigona apicalis</i>	7
2.2. Madu	9
2.3. Jenis Madu	10
2.4. Kandungan dan Manfaat Madu.....	11
2.5. Sirup Beras.....	13
2.6. <i>Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy</i>	14
2.7. Metode Kemometrika	17
2.7.1. <i>Principal Component Analysis</i> (PCA)	17
2.7.2. <i>Soft Independent Modeling of Class Analogies</i> (SIMCA).....	18
2.7.3. Matriks Konfusi (<i>Confusion Matrix</i>).....	18
2.7.4. <i>Pretreatment</i>	19
III. METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1. Waktu dan Tempat.....	23
3.2. Alat dan Bahan.....	23
3.3. Prosedur Penelitian	23
3.3.1. Persiapan Alat	24
3.3.2. Persiapan Bahan.....	25
3.3.3. Pengukuran Spektra Menggunakan Spektroskopi Fluoresensi	28
3.3.4. Membuat dan Menguji Model	30

3.4. Analisis Data.....	30
3.4.1. <i>Principal Component Analysis</i> (PCA)	31
3.4.2. Membangun Model Menggunakan Analisis <i>Soft Independent Modeling of Class Analogy</i> (SIMCA)	39
3.4.3. Menguji Model Menggunakan Matriks Konfusi	43
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1 Analisis Spektra Madu <i>Tetrigona apicalis</i> dengan Nektar Damar.....	44
4.1.1 Analisis Spektra Madu <i>Tetrigona apicalis</i> Murni dan Campuran Menggunakan Data Spektra Original	45
4.1.2 Analisis Spektra Madu <i>Tetrigona apicalis</i> Murni dan Campuran Menggunakan Data Spektra <i>Pretreatment</i>	48
4.2 Hasil <i>Principal Component Analysis</i> (PCA).....	54
4.2.1 Hasil <i>Principal Component Analysis</i> (PCA) Menggunakan Data <i>Original</i>	55
4.2.2 Hasil <i>Principal Component Analysis</i> (PCA) Menggunakan Data <i>Pretreatment</i>	57
4.3 Model <i>Soft Independent Modelling of Class Analogy</i> (SIMCA)	62
4.3.1 Model <i>Soft Independent Modelling of Class Analogy</i> (SIMCA) Menggunakan Data <i>Original</i>	62
4.3.2 Model <i>Soft Independent Modelling of Class Analogy</i> (SIMCA) Menggunakan Data <i>Pretreatment Original + Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	64
4.3.3 Model <i>Soft Independent Modelling of Class Analogy</i> (SIMCA) Menggunakan Data <i>Pretreatment Normalize + Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	66
4.4 Klasifikasi Menggunakan Sampel Prediksi	68
4.4.1 Klasifikasi Menggunakan Data <i>Original</i>	69
4.4.2 Klasifikasi Menggunakan Data <i>Pretreatment</i>	71
4.5 <i>Coomans Plot</i>	74
4.5.1 <i>Coomans Plot</i> Menggunakan Data <i>Original</i>	74
4.5.2 <i>Coomans Plot</i> Menggunakan Data <i>Pretreatment</i>	77
4.6 Kurva <i>Receiver Operating Characteristic</i> (ROC)	80
4.6.1 Kurva <i>Receiver Operating Characteristic</i> (ROC) Menggunakan Data <i>Original</i>	81
4.6.2 Kurva <i>Receiver Operating Characteristic</i> (ROC) Menggunakan Data <i>Pretreatment</i>	85
V. KESIMPULAN	91
5.1 Kesimpulan	91
5.2 Saran	92
DAFTAR PUSTAKA	93
LAMPIRAN.....	98

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi Madu Berdasarkan SNI (2004)	12
2. Penomoran Sampel Madu <i>Tetrigona apicalis</i> dengan Sirup Beras	27
3. Matriks Konfusi	43
4. Hasil Perhitungan Matriks Konfusi Serta Nilai PC Pada Model SB dan MA Menggunakan Beberapa Kombinasi <i>Pretreatment</i>	48
5. Hasil Perhitungan Matriks Konfusi Serta Nilai PC Pada Model SB dan MC Menggunakan Beberapa Kombinasi <i>Pretreatment</i>	50
6. Hasil Perhitungan Matriks Konfusi Serta Nilai PC Pada Model MA dan MC Menggunakan Beberapa Kombinasi <i>Pretreatment</i>	51
7. Matriks Konfusi Model SIMCA SB dan MA Data <i>Original</i>	69
8. Matriks Konfusi Model SIMCA SB dan MC Data <i>Original</i>	70
9. Matriks Konfusi Model SIMCA MA dan MC Data <i>Original</i>	71
10. Matriks Konfusi Model SIMCA SB dan MA Data <i>Pretreatment Original</i> + <i>Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	72
11. Matriks Konfusi Model SIMCA SB dan MC Data <i>Pretreatment Original</i> + <i>Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	73
12. Matriks Konfusi Model SIMCA MA dan MC Data <i>Pretreatment Normalize</i> + <i>Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	74
13. Nilai Spesifisitas dan Sensitivitas dari Hasil Klasifikasi Model SIMCA SB dan MA Menggunakan Data <i>Original</i> Pada Beberapa Level <i>Significance</i>	81
14. Nilai Spesifisitas dan Sensitivitas dari Hasil Klasifikasi Model SIMCA SB dan MC Menggunakan Data <i>Original</i> Pada Beberapa Level <i>Significance</i>	83

15.	Nilai Spesifisitas dan Sensitivitas dari Hasil Klasifikasi Model SIMCA MA dan MC Menggunakan Data <i>Original</i> Pada Beberapa Level <i>Significance</i>	84
16.	Nilai Spesifisitas dan Sensitivitas dari Hasil Klasifikasi Model SIMCA MA dan MC Menggunakan Data <i>Pretreatment Original + Smoothing Moving Average 3 Segment</i> Pada Beberapa Level <i>Significance</i>	85
17.	Nilai Spesifisitas dan Sensitivitas dari Hasil Klasifikasi Model SIMCA SB dan MC Menggunakan Data <i>Pretreatment Original + Smoothing Moving Average 3 Segment</i> Pada Beberapa Level <i>Significance</i>	87
18.	Nilai Spesifisitas dan Sensitivitas dari Hasil Klasifikasi Model SIMCA MA dan MC Menggunakan Data <i>Pretreatment Normalize + Smoothing Moving Average 3 Segment</i> Pada Beberapa Level <i>Significance</i>	89
19.	Hasil Klasifikasi Model SIMCA pada Sampel SB dan MA Menggunakan Data Spektra <i>Original</i>	99
20.	Hasil Klasifikasi Model SIMCA pada Sampel SB dan MC Menggunakan Data Spektra <i>Original</i>	100
21.	Hasil Klasifikasi Model SIMCA pada Sampel MA dan MC Menggunakan Data Spektra <i>Original</i>	101
22.	Hasil Klasifikasi Model SIMCA pada Sampel SB dan MA Menggunakan Data Spektra <i>Pretreatment Original + SMA 3 Segment</i>	102
23.	Hasil Klasifikasi Model SIMCA pada Sampel SB dan MC Menggunakan Data Spektra <i>Pretreatment Original + SMA 3 Segment</i>	103
24.	Hasil Klasifikasi Model SIMCA pada Sampel MA dan MC Menggunakan Data Spektra <i>Pretreatment Normalize + SMA 3 Segment</i>	104

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Lebah <i>Tetrigona apicalis</i>	9
2. Sirup Beras (Dokumentasi pribadi).....	14
3. <i>Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy</i> (Sumber GoyaLab)	16
4. Diagram Jablonski (Sumber: Lakowicz, 2006).....	16
5. Diagram Alir Prosedur Penelitian	24
6. Pemanasan Sampel Menggunakan <i>Water Bath</i> (dokumentasi pribadi)	25
7. Proses Mencampurkan Sampel Madu Murni dengan Sirup Beras (dokumentasi pribadi).....	26
8. Pengadukan Sampel Menggunakan <i>Magnetic Stirrer</i>	26
9. Diagram Alir Persiapan Bahan.....	28
10. Diagram Alir Pengambilan Spektra	29
11. Prosedur untuk Mengumpulkan Data Spektrum	30
12. Penggabungan Data Spektra Menggunakan <i>Microsoft Excel</i>	31
13. Proses Import Data ke dalam Aplikasi <i>The Unscrambler 10.4</i>	32
14. Proses <i>Transpose</i> Data di Aplikasi <i>The Unscrambler 10.4</i>	32
15. Prosedur Pembuatan <i>Category Variable</i>	33
16. Proses Pengisian <i>Level Name</i>	33
17. Tahapan Pengelompokkan Jenis Madu Berdasarkan Kelompoknya	34
18. Proses Pengisian Kolom Kalibrasi, Validasi, dan Prediksi Setiap Sampel.....	35
19. Proses Pengelompokkan Kalibrasi, Validasi, dan Prediksi Setiap Sampel.....	36
20. Proses <i>Model Inputs</i>	37
21. Proses <i>Weight</i>	37

22.	Proses <i>Validation</i>	37
23.	Proses <i>Algorithm</i>	38
24.	Hasil Analisis Metode PCA (<i>Principal Component Analysis</i>)	38
25.	Diagram Alir Metode PCA	39
26.	Proses Membangun Model SIMCA	40
27.	Tahapan Klasifikasi Model Kelas SIMCA	41
28.	Hasil Pengelompokkan Model SIMCA	42
29.	Diagram Alir Metode SIMCA	42
30.	Madu <i>Tetrigona apicalis</i> Murni (MA); Madu Campuran <i>Tetrigona apicalis</i> dan Sirup Beras; Sirup Beras.....	45
31.	Grafik Nilai Rata-Rata Spektra Original.....	46
32.	Grafik Hasil Rata-Rata Spektra Original + <i>Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	53
33.	Grafik Hasil Rata-Rata Spektra <i>Normalize + Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	53
34.	<i>Plot Score</i> Hasil Analisis PCA Menggunakan Data Original.....	55
35.	Grafik <i>X-Loading</i> PC-1 dan PC-2 Hasil PCA Menggunakan Data Spektra Original.....	56
36.	<i>Plot Score</i> Hasil Analisis PCA Menggunakan Data <i>Pretreatment Original + Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	58
37.	<i>Plot Score</i> Hasil Analisis PCA Menggunakan Data <i>Pretreatment Normalize + Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	59
38.	Grafik <i>X-Loading</i> Menggunakan Data <i>Pretreatment Original + Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	60
39.	Grafik <i>X-Loading</i> Menggunakan Data <i>Pretreatment Normalize + Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	62
40.	Model SIMCA PC-1 dan PC-2 Pada Sampel MA Menggunakan Data Original	63
41.	Model SIMCA PC-1 dan PC-2 Pada Sampel MC Menggunakan Data Original	63

42.	Model SIMCA PC-1 dan PC-2 Pada Sampel SB Menggunakan Data Original	64
43.	Model SIMCA PC-1 dan PC-2 Pada Sampel MA Menggunakan Data <i>Pretreatment Original + Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	65
44.	Model SIMCA PC-1 dan PC-2 Pada Sampel MC Menggunakan Data <i>Pretreatment Original + Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	65
45.	Model SIMCA PC-1 dan PC-2 Pada Sampel SB Menggunakan Data <i>Pretreatment Original + Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	66
46.	Model SIMCA PC-1 dan PC-2 Pada Sampel MA Menggunakan Data <i>Pretreatment Normalize + Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	67
47.	Model SIMCA PC-1 dan PC-2 Pada Sampel MC Menggunakan Data <i>Pretreatment Normalize + Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	67
48.	Model SIMCA PC-1 dan PC-2 Pada Sampel SB Menggunakan Data <i>Pretreatment Normalize + Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	68
49.	<i>Coomans Plot</i> dari Hasil Model SIMCA SB dan MA Menggunakan Data Spektra Original	75
50.	<i>Coomans Plot</i> dari Hasil Model SIMCA SB dan MC Menggunakan Data Spektra Original	76
51.	<i>Coomans Plot</i> dari Hasil Model SIMCA MA dan MC Menggunakan Data Spektra Original	77
52.	<i>Coomans Plot</i> dari Hasil Model SIMCA SB dan MA Menggunakan Data <i>Pretreatment Original + Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	78
53.	<i>Coomans Plot</i> dari Hasil Model SIMCA SB dan MC Menggunakan Data <i>Pretreatment Original + Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	79
54.	<i>Coomans Plot</i> dari Hasil Model SIMCA MA dan MC Menggunakan Data <i>Pretreatment Normalize + Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	80
55.	Kurva ROC Klasifikasi Berdasarkan Kelas SB dan MA Menggunakan Data Spektra Original	82
56.	Kurva ROC Klasifikasi Berdasarkan Kelas SB dan MC Menggunakan Data Spektra Original	83

57.	Kurva ROC Klasifikasi Berdasarkan Kelas MA dan MC Menggunakan Data Spektra Original.....	85
58.	Kurva ROC Klasifikasi Berdasarkan Kelas SB dan MA Menggunakan Data <i>Pretreatment Original + Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	86
59.	Kurva ROC Klasifikasi Berdasarkan Kelas SB dan MC Menggunakan Data <i>Pretreatment Original + Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	88
60.	Kurva ROC Klasifikasi Berdasarkan Kelas MA dan MC Menggunakan Data <i>Pretreatment Normalize + Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	89
61.	<i>Alat Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy</i>	105
62.	Proses Pencampuran Sampel Madu <i>Tetrigona apicalis</i> dan Sirup Beras	105
63.	Proses Pengambilan Data.....	105
64.	Sampel Madu <i>Tetrigona apicalis</i>	106
65.	Sampel Sirup Beras	106

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara beriklim tropis yang memiliki kekayaan sumber daya alam melimpah serta tingkat keanekaragaman hayati yang sangat tinggi, mencakup beragam spesies flora dan fauna. Keanekaragaman fauna tersebut meliputi berbagai spesies serangga, salah satunya adalah lebah. Lebah dapat meningkatkan dan menguntungkan kehidupan manusia karena mereka mampu menghasilkan madu yang bermanfaat. Berdasarkan informasi yang dirilis oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan pada tahun 2020, sekitar 64 persen wilayah Indonesia atau sekitar 120,5 juta hektare terdiri atas kawasan hutan, sehingga menghasilkan Indonesia sebagai negara dengan wilayah kepulauan terbesar di dunia. (Kementerian Lingkungan Hidup & Kehutanan, 2021). Indonesia menjadi lebih unggul dibanding negara lain karena memiliki potensi sumber daya hutan yang cukup luas dengan bermacam-macam jenis tumbuhan tumbuhan berbunga yang dijadikan lebah sebagai bahan pakan (Nurrahmi *et al.*, 2019).

Madu merupakan cairan manis yang dihasilkan secara alami oleh lebah madu melalui proses pengolahan nektar yang mereka kumpulkan dari beragam jenis bunga. Madu memiliki komposisi yang sangat kompleks setidaknya memiliki 181 sampai 200 senyawa yang berbeda (Ferreira *et al.*, 2009). Madu merupakan larutan dengan osmolaritas tinggi yang didominasi oleh monosakarida yaitu sekitar 75% hingga 80%, terdiri dari fruktosa sebanyak 38,2% dan glukosa 31,3%. Selain itu, madu juga mengandung disakarida seperti maltosa (7,31%), laktosa (7,11%), dan sukrosa (1,31%), dengan kadar air berkisar antara 15% hingga 23% (Bogdanov *et al.*, 2004).

Komposisi madu yang sangat beragam membuat madu memiliki manfaat sangat besar di berbagai sektor termasuk farmasi, industri makanan, dan minuman, serta produk kecantikan dan perawatan tubuh (Fatma *et al.*, 2017). Komposisi, aroma, warna, dan rasa madu dipengaruhi oleh nektar bunga, daerah asalnya, iklim, dan spesies lebah madu (Da Silva *et al.*, 2016).

Madu secara umum dihasilkan oleh dua spesies lebah, yaitu lebah penyengat (*Sting bee*) dan lebah tanpa sengat (*Stingless bee*) tergantung pada spesiesnya. Spesies *Trigona* sp merupakan lebah tanpa sengat yang lazim dibudidayakan di Indonesia sebagai penghasil madu (Suhandy *et al.*, 2021). Madu *Tetrigona apicalis* merupakan jenis madu yang diproduksi oleh lebah tanpa sengat (*Trigona* sp.). Di Indonesia madu ini merupakan madu paling populer. Madu ini memiliki karakteristik khas berupa warna hitam serta cita rasa yang unik dan berbeda dari madu konvensional. Kadar vitamin C yang tinggi pada madu ini menghasilkan rasa asam yang cukup kuat, disertai sedikit rasa pahit. Di samping itu, madu *Tetrigona apicalis* juga mengandung senyawa flavonoid dan fenolik, yang berperan penting sebagai antioksidan dalam menetralkan radikal bebas di dalam tubuh. Kombinasi antara rasa yang unik dan kandungan gizi yang khas menjadikan madu ini memiliki nilai ekonomi yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis madu lainnya (Harjanto *et al.*, 2020). Harga madu *Trigona* yang lebih mahal dibandingkan madu jenis lain tidak hanya dipengaruhi oleh sifat khasnya, tetapi juga oleh jumlah produksinya yang terbatas. Dalam satu tahun setiap koloni lebah *Trigona* hanya mampu menghasilkan sekitar satu hingga dua kilogram madu (Djajasaputra, 2010).

Terbatasnya produksi madu *Trigona* serta tingginya harga jual menyebabkan banyaknya praktik pemalsuan madu yang dilakukan oleh individu tidak bertanggung jawab. Terdapat dua cara umum yang dilakukan oleh individu yang tidak bertanggung jawab dalam pemalsuan madu yaitu penggunaan label asli pada kemasan madu campuran dan pengoplosan madu yang dicampur dengan pemanis buatan (Suhandy *et al.*, 2021). Saat ini pemalsuan yang sering terjadi yaitu pengoplosan madu (*honey adulteration*) seperti menambahkan larutan pemanis buatan, sukrosa,

glukosa, fruktosa, serta air ke dalam madu murni. Kondisi tersebut membuat produsen dapat memproduksi madu dalam jumlah besar dan mendistribusikannya dengan nilai jual yang lebih rendah, sehingga banyak konsumen yang tertarik untuk membelinya (Kholis, 2023).

Rice malt syrup atau biasa disebut dengan sirup beras serta sirup jagung biasa digunakan sebagai campuran larutan untuk pemalsuan madu. Alasan pemilihan kedua jenis sirup ini adalah karena sifat kelarutannya yang mirip dengan madu, serta tingkat keasaman dan rasa manis yang menyerupai karakteristik madu itu sendiri. Selain itu, sirup beras dan sirup jagung dipilih karena harganya yang lebih terjangkau dan memiliki masa simpan yang relatif lama (Brackett, 2008). Pada penelitian ini menggunakan sirup beras sebagai campuran madu *Tetrigona apicalis*. Sirup beras merupakan produk yang dihasilkan dari hidrolisis polisakarida tumbuhan C3, biasanya digunakan untuk memalsukan madu. Sirup ini mengandung tiga gula: maltotriosa (52%), maltosa (45%), dan glukosa (3%). Sirup beras merupakan bahan tambahan yang berasal dari tanaman C3 dan mengikuti siklus fotosintesis Calvin, mirip dengan madu alami. Kehadiran sirup beras dalam madu sulit terdeteksi karena adanya hidrolisis polisakarida dan oligosakarida (Fakhlaei *et al.*, 2020).

Spektroskopi Uv-Vis merupakan satu diantara metode yang memiliki peluang besar untuk diterapkan di Indonesia, terutama dalam analisis produk pangan. Metode ini terkenal karena akurasinya, kemudahan pengoperasian, serta kebutuhan persiapan sampel yang minimal sehingga cocok untuk diterapkan dalam berbagai penelitian. Selain itu, spektrometer Uv-Vis tersedia dengan harga yang relatif terjangkau, menjadikannya pilihan yang ekonomis untuk pengembangan teknologi dalam penelitian. Di Indonesia pendekatan ini telah berhasil digunakan dalam rangka melakukan verifikasi autentisitas produk pertanian, termasuk madu, kopi, dan teh. Metode ini menunjukkan kemampuannya dalam memastikan kualitas dan keamanan produk (Ervandi, 2023). Sebagai contoh riset yang menggunakan metode ini oleh Himawan (2022) yaitu Studi Pencampuran Madu Tidak Bersengat (*Tetrigona apicalis*) Dengan Sirup Jagung HFCS 55 Menggunakan Uv-Vis Spektroskopi Dan

Metode SIMCA, Putri (2022) Penggunaan *Uv-Vis Spectroscopy* Dan Metode Kemometrika Untuk Mengidentifikasi Madu Lebah Tidak Bersengat (*Stingless Bees*) Dari Nektar Dan Jenis Lebah Yang Berbeda, dan Kholis (2023) Studi Pencampuran Madu Lebah Tidak Bersengat (*Tetrigona apicalis*) Dengan Pemanis HFCS 55 Dan Sirup Beras Menggunakan Uv-Vis Spektroskopi Tipe *Benchtop* Dan Metode Simca. Berdasarkan kajian pustaka, penelitian-penelitian sebelumnya telah menggunakan spektroskopi dengan model *benchtop*. Spektroskopi dengan model *benchtop* memiliki beberapa kelemahan antara lain bobot yang berat, ukuran yang besar, serta waktu analisis yang relatif lama yaitu sekitar 1 hingga 4 menit untuk setiap sampel, sehingga penggunaan alat ini kurang efisien.

Seiring dengan kemajuan zaman terutama di bidang teknologi telah dikembangkan alat baru yang lebih praktis digunakan yaitu *spectroscopy portable*. Alat ini memiliki ukuran yang kecil dan mudah dibawa, serta dirancang agar dapat digunakan secara langsung dengan genggaman tangan (*handheld*). Alat ini hanya membutuhkan waktu 10-15 detik untuk menganalisis 1 sampel. Dengan demikian, *spectroscopy portable* lebih efisien dalam pengumpulan data untuk analisis kandungan bahan seperti madu. Selain itu alat ini lebih murah dan mudah direalisasikan dibanding dengan spektroskopi model *benchtop* yang lebih mahal.

Fluorescence spectroscopy merupakan metode yang efektif untuk penelitian madu, karena metode ini 1000 kali lebih *sensitive* dibanding dengan metode Uv-vis *spectroscopy*. Metode ini memanfaatkan sumber cahaya LED untuk meng *excite* senyawa fluoresen dalam madu, sehingga menghasilkan spektrum fluoresensi yang dapat dianalisis untuk mengidentifikasi keaslian produk (Zacharioudaki *et al.*, 2022). Dengan kombinasi analisis multivariat, data spektral yang kompleks dapat diekstraksi untuk menentukan proporsi pencampuran dengan akurasi tinggi, sehingga membantu menjaga kualitas dan keaslian produk madu di pasaran.

Berdasarkan hasil penelusuran pustaka menunjukkan bahwa penggunaan *Portable LED-Based fluorescence spectroscopy* untuk madu *Tetrigona apicalis* murni dan

madu yang dicampur dengan sirup beras tidak pernah dilakukan sebelumnya. Oleh sebab itu, penting agar dilakukan untuk memastikan keaslian madu *Tetrigona apicalis* yang murni serta membedakannya dari madu *Tetrigona apicalis* yang telah dicampur dengan sirup beras menggunakan *Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy* dan metode Kemometrika.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini yaitu sampai saat ini masyarakat masih mengkonsumsi madu karena memiliki banyak khasiat. Namun, tingginya permintaan tidak sebanding dengan tingkat produksi madu. Kondisi ketidakseimbangan tersebut memicu praktik pemalsuan madu oleh sebagian penjual dengan mencampurkan madu asli bersama pemanis buatan, seperti sirup beras (*Rice Malt Syrup*) yang harganya relatif lebih murah dibanding dengan madu asli. Madu *Tetrigona apicalis* sering menjadi target pemalsuan karena khasiatnya yang melimpah dan nilai jualnya yang tinggi, tetapi produksinya terbatas. Oleh karena itu, jenis pemalsuan madu ini seringkali dilakukan oleh sebagian penjual dengan tujuan memperoleh keuntungan lebih besar.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi perbedaan antara madu *Tetrigona apicalis* asli dengan madu *Tetrigona apicalis* yang telah dicampur menggunakan sirup pada tingkat pencampuran antara 10% hingga 60% menggunakan *Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy* dan metode kemometrika.
2. Membangun dan menguji model menggunakan metode PCA dan SIMCA dalam menentukan keaslian madu *Tetrigona apicalis* sehingga mampu membedakan antara madu *Tetrigona apicalis* murni dan madu *Tetrigona apicalis* yang telah dicampur dengan sirup beras.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini untuk memberikan pemahaman kepada masyarakat terutama konsumen madu terkait praktik pemalsuan madu *Tetrigona apicalis* dengan sirup beras serta sebagai sumber referensi mengenai penelitian Studi Kualitatif Madu *Tetrigona apicalis* yang dicampur Sirup Beras menggunakan *Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy* dan Kemometrika.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Uji kemurnian madu dilakukan hanya pada madu dari jenis *Tetrigona apicalis* dengan campuran sirup beras.
2. Penelitian ini menggunakan alat *Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy*.
3. Penelitian tidak melibatkan analisis kimia pada sampel madu dan sirup beras yang digunakan.

1.6. Hipotesis

Hipotesis penelitian ini adalah bahwa teknologi *Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy* dikombinasikan dengan metode kemometrika, dapat digunakan untuk membedakan madu *Tetrigona apicalis* asli dari madu yang telah dicampur dengan sirup beras berdasarkan analisis spektra.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Lebah *Tetrigona apicalis*

Lebah *Tetrigona apicalis* merupakan salah satu spesies lebah tanpa sengat (*stingless bee*) yang secara alami tersebar luas di berbagai daerah di Indonesia. Berdasarkan sifat biologisnya, lebah dikelompokkan ke dalam dua kategori yakni lebah bersengat dan lebah tak bersengat. Genus *Apis* termasuk dalam kategori lebah bersengat dan dikenal memiliki kapasitas produksi madu yang cukup tinggi. Genus *Trigona* merupakan salah satu jenis lebah tidak bersengat (*stingless bee*) yang hingga kini masih terbatas dalam praktik budidayanya di kalangan masyarakat, karena tingkat produksi madunya relatif lebih rendah dibandingkan dengan genus *Apis* (Kerisna *et al.*, 2019). Di habitat alaminya lebah ini biasanya bersarang di dalam lubang pohon, celah bebatuan, batang bambu, atau tempat-tempat dengan celah sempit yang berfungsi sebagai pintu masuk bagi lebah. Lebah *Trigona* memiliki ciri khas karena tidak dilengkapi dengan alat sengat seperti tawon, memiliki ukuran tubuh yang kecil sekitar ± 4 mm, serta hidup secara berkoloni dengan populasi yang sangat besar mencapai lebih dari 3000 individu dalam satu koloni (Putra *et al.*, 2016).

Lebah *Trigona* merupakan salah satu spesies dalam kelompok lebah yang memiliki keragaman genus yang sangat tinggi. Secara global, terdapat sekitar 202 spesies yang terdiri dari 186 takson berbeda, yang terbagi ke dalam 55 genus dan 61 sub-genus. Sub-genus ini dapat ditemukan di berbagai benua di seluruh dunia.. Pada benua Amerika Selatan ditemukan beberapa genus seperti *Apalatrigena*, *Oxytrigena*, *Paratrigena*, *Celetrigena*, *Dolichotrigena*, *Nanotrigena*, *Cephalotrigena*, *Plebeia*, *Melipona*, *Scaura*, dan *Tetragona*. Pada benua Australia ditemukan genus

Austroplebeia dan *Tetragonula*. Pada benua Afrika terdapat *Axetotrigona*, *Plebeina*, dan *Apotrigona*. Sementara itu di benua Asia Tenggara terdapat beberapa genus yaitu *Homotrigona*, *Lisotrigona*, *Platytrigona*, *Geniotrigona*, *Heterotrigona*, *Tetragonula*, dan *Tetrigona*. Di Indonesia terdapat 36 spesies lebah *Trigona* yang termasuk dalam sub-genus *Geniotrigona*, *Lepidotrigona*, *Homotrigona*, *Heterotrigona*, *Lisotrigona*, *Lophotrigona*, *Papuatrigona*, *Sundatrigona*, *Tetragonilla*, *Tetragonula*, *Platytrigona*, dan *Tetrigona* (Rasmussen, 2008).

Sistem koloni lebah penghasil madu terbagi menjadi dua kelompok utama yaitu kelompok reproduktif dan kelompok non-reproduktif. Kelompok reproduktif mencakup ratu lebah dan lebah jantan, sedangkan lebah pekerja termasuk dalam kelompok non-reproduktif. Setiap koloni umumnya terdiri atas satu ekor ratu, ratusan lebah jantan, dan ribuan lebah pekerja di mana masing-masing memiliki peran dan tanggung jawab yang berbeda. Ratu lebah bertugas untuk menghasilkan telur lebah atau biasa disebut dengan *brood cell*. Lebah jantan memiliki tugas untuk mengawini ratu lebah, dan setelah berhasil melakukan tugas tersebut maka lebah jantan akan mengalami kematian. Lebah pekerja termasuk lebah betina dengan sistem reproduksi yang tidak berkembang secara fungsional, sehingga tidak memiliki kemampuan untuk menghasilkan telur. Tugas utama lebah pekerja adalah mencari makanan guna memenuhi kebutuhan koloni (Rich *et al.*, 2014).

Penelitian ini difokuskan khusus pada madu yang dihasilkan oleh lebah *Tetrigona apicalis*. Berdasarkan pernyataan (Rasmussen, 2008) lebah *Trigona* memiliki klasifikasi taksonomi sebagai berikut:

<i>Kingdom</i>	: Animalia
<i>Phyllum</i>	: Arthropoda
<i>Class</i>	: Insecta
<i>Order</i>	: Hymenoptera
<i>Family</i>	: Apidae
<i>Tribe</i>	: Meliponini
<i>Genus</i>	: <i>Trigona</i>

Spesies : *Tetrigona apicalis*



Gambar 1. Lebah *Tetrigona apicalis*

(Sumber : <https://m.singapore.biodiversity.online/species/A-Arth-Hexa-Hymenoptera-000025>)

2.2. Madu

Madu adalah zat cair alami yang dihasilkan oleh lebah madu, dengan rasa manis yang bersumber dari nektar bunga. Menurut standar internasional (Codex Alimentarius Comission, 1981), Madu didefinisikan sebagai cairan manis alami yang dihasilkan oleh lebah madu melalui proses pengolahan nektar tumbuhan, sekresi dari bagian tanaman yang masih hidup, ataupun ekskresi serangga yang menghisap cairan tanaman tersebut. Lebah mengumpulkan bahan-bahan ini, mengolahnya dengan mencampurkan enzim khusus dari tubuhnya, kemudian mengeringkannya, menyimpan, dan menempatkannya dalam sarang hingga madu mencapai tingkat kematangan yang diinginkan (Da Silva *et al.*, 2016). Madu hasil produksi lebah disimpan di sarang yang terbentuk dari kombinasi lilin dan resin, sehingga membentuk struktur lilin yang khas (Alhamdani *et al.*, 2022). Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 01-3545: 2013), madu dapat didefinisikan sebagai cairan alami yang umumnya memiliki rasa manis, yang berasal dari nektar bunga atau bagian lain dari tanaman, dan dihasilkan oleh lebah madu. Lebah menyimpan madu yang mereka buat di dalam sarang yang terbuat dari campuran lilin dan resin, membentuk struktur berbentuk lilin.

Madu *Trigona* merupakan madu yang dihasilkan oleh lebah tanpa sengat, dan memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan dengan jenis madu lainnya. Perbedaan tersebut terutama terlihat dalam rasa, viskositas, warna, serta kandungan air, gula, kalsium, protein, karbohidrat, dan lemak. Menurut Biluca *et al.*, (2014) mengatakan bahwa madu yang dihasilkan oleh lebah tanpa sengat memiliki rasa dan aroma yang unik. Selain itu, madu ini memiliki tekstur yang lebih cair dan proses kristalisasinya berlangsung lebih lambat dibandingkan dengan jenis madu lainnya. Secara umum, madu *Trigona* memiliki warna yang cenderung lebih gelap serta rasa yang sedikit asam. Rasa madu *Trigona* bersumber dari resin tanaman yang digunakan lebah untuk membangun sarang dan pot madu. Rasa pada madu *Trigona* dipengaruhi oleh jenis tumbuhan, seperti bunga maupun pohon yang menjadi sumber nektar yang dihisap oleh lebah *Trigona* (Syamsul *et al.*, 2022). Madu yang menjadi fokus penelitian ini adalah madu yang diproduksi oleh lebah *Tetrigona apicalis*.

2.3. Jenis Madu

Jenis madu umumnya dikenali berdasarkan pada asal nektar tanaman yang dikumpulkan oleh lebah pekerja. Lebah yang hidup di sekitar kebun pohon akasia menghisap nektar dari pohon akasia dan menghasilkan madu yang disebut madu akasia. Sebagai akibatnya terdapat beragam varian madu yang tersedia di pasaran, seperti madu karet, mangga, meranti, dan lain-lain. Selain itu jenis madu juga dapat dibedakan berdasarkan jenis dan jumlah tanaman yang dihisap oleh lebah madu. Madu uniflora atau yang juga dikenal sebagai monoflora adalah jenis madu yang dihasilkan dari nektar satu spesies tanaman tertentu atau dari tanaman yang menjadi sumber nektar utama. Contoh dari madu uniflora termasuk madu akasia, yang berasal dari pohon akasia, dan madu durian yang diambil dari pohon durian. Sedangkan jika nektar yang diambil oleh lebah dari berbagai jenis tanaman atau lebih dari satu tanaman, maka madu tersebut dikategorikan sebagai madu multiflora atau poliflora. Contoh madu multiflora yang dijual di pasaran adalah madu hutan yang berasal dari pohon-pohon di sekitar lebah. Selain itu, terdapat pula madu biflora yang dihasilkan

dari nektar dua spesies tanaman yang berbeda. Namun jenis ini hanya ditemukan di beberapa tempat. Lebah yang menghisap lebih dari satu jenis tanaman dikarenakan nektar yang diambil dari tanaman sebelumnya tidak mencukupi untuk kebutuhan pakan ratu dan koloni lebah (Suranto, 2004).

Klasifikasi madu dapat didasarkan pada asal nektarnya, yang mencakup madu floral, madu embun (*honey dew*), dan madu ekstrafloral. Madu floral diperoleh dari nektar yang dihasilkan oleh bagian bunga, contohnya madu mangga dan madu alpukat. Sebaliknya, madu ekstra flora berasal dari nektar yang diperoleh dari bagian tanaman yang bukan bunga termasuk kuncup daun, ujung batang, dan kelopak bunga contohnya yaitu madu akasia dan madu karet. Selain itu madu embun (*honey dew*) berasal dari zat yang menyerupai madu yang disekresikan oleh serangga tertentu, biasanya ditemukan pada kelopak bunga dan getah pohon, seperti yang berasal dari pohon pinus (Suranto, 2004).

2.4. Kandungan dan Manfaat Madu

Madu mengandung komponen nutrisi yang mendekati sempurna dan esensial bagi kesehatan manusia. Madu mengandung berbagai komponen penting seperti karbohidrat, protein, asam amino, asam organik, vitamin, mineral, serta enzim. Selain itu, madu juga dikenal memiliki kandungan antioksidan yang tinggi. Antioksidan ini terbagi menjadi dua kelompok yaitu antioksidan enzimatik seperti katalase, glukosa oksidase, dan peroksidase, serta antioksidan non-enzimatik yang meliputi asam askorbat, tokoferol, karotenoid, asam amino, protein, asam organik, senyawa hasil reaksi Maillard, senyawa fenolik, dan flavonoid (Ustadi *et al.*, 2017). Madu yang dihasilkan oleh lebah *Trigona* mengandung berbagai jenis vitamin yang berfungsi sebagai antibiotik alami, penangkal racun (antitoksin), dan antioksidan, serta berkontribusi dalam memperkuat sistem kekebalan tubuh. Selain itu kadar antioksidan dalam madu *Trigona* terbukti lebih tinggi dibandingkan dengan madu dari genus *Apis* yang menjadikannya memiliki nilai jual dan manfaat ekonomi yang lebih besar (Achyani & Wicandra, 2019). Madu ini memiliki kandungan yang

melimpah, termasuk protein, lemak, karbohidrat, gula, energi, vitamin C, beta karoten, kalsium, magnesium, dan *zinc*, serta kadar flavonoid dan polifenol yang tinggi dikarenakan kemampuan lebah *Trigona* untuk mengumpulkan nektar dari bagian bunga yang paling dalam. Akibatnya, madu *Trigona* memberikan kandungan gizi yang lebih tinggi (Syamsul *et al.*, 2022). Komposisi madu dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Madu Berdasarkan SNI (2004)

Komposisi	Jumlah
Kalori	328 kal
Kadar Air	17,2 g
Protein	0,5 g
Karbohidrat	82,4 g
Abu	0,2 g
Tembaga	4,4 – 9,2 mg
Fosfor	1,9 – 6,3 mg
Besi	0,06 – 1,5 mg
Mangan	0,02 – 0,4 mg
Magnesium	1,2 – 3,5 mg
Thiamin	0,1 mg
Riboflavin	0,02 mg
Niasin	0,2 g
Lemak	0,1 g
Ph	3,9
Asam	43,1 mg

Madu sudah dikenal sejak lama karena memiliki berbagai manfaat yang mendukung kesehatan manusia. Lebih dari 14 abad yang lalu, Allah SWT. berfirman dalam Surah An-Nahl ayat 68-69 yang artinya: "Dan Tuhanmu mengilhamkan kepada lebah agar membuat sarang di gunung-gunung, di pohon-pohon, dan di tempat-tempat yang dibangun manusia. Kemudian, makanlah dari bermacam-macam buah yang tersedia, serta tempuhlah jalan yang telah dipermudah oleh Tuhanmu." Dari perut lebah keluar cairan (madu) dengan beragam warna yang mengandung obat penyembuh bagi manusia. Sesungguhnya, dalam hal ini terdapat tanda kebesaran Allah bagi orang-orang yang berpikir (TQS An-Nahl 68-69). Ayat tersebut menegaskan bahwa Allah SWT, dengan kekuasaan-Nya, menciptakan lebah sebagai makhluk yang

menghasilkan madu dengan variasi warna dan manfaat kesehatan bagi umat manusia (Zaidi *et al.*, 2021).

2.5. Sirup Beras

Sirup beras atau biasa disebut dengan *Rice Malt Syrup* dibuat melalui proses pemecahan pati beras menggunakan enzim dari kecambah serelia, bakteri, dan jamur. Sirup ini berpotensi menjadi alternatif sumber pemanis atau gula dalam berbagai olahan makanan di Indonesia. Sirup beras adalah produk hasil hidrolisis polisakarida dari tanaman C3 yang sering digunakan untuk memalsukan madu. Sirup ini mengandung tiga jenis gula: maltotriosa (52%), maltosa (45%), dan glukosa (3%). Sirup beras merupakan bahan tambahan dari tanaman C3 yang mengikuti siklus fotosintesis Calvin yang serupa dengan madu alami.

Sirup gula beras memiliki rasa manis yang tidak berlebihan dan cita rasa yang khas. Menurut SNI 3544 (Badan Standardisasi Nasional, 2013) sirup dapat diartikan sebagai minuman yang terbuat dari kombinasi gula dan air, dengan kandungan gula setidaknya 65% atau lebih. Di samping itu, sirup juga bisa mengandung bahan tambahan lain yang diizinkan oleh peraturan yang berlaku. Salah satu pemanis buatan yang paling umum digunakan adalah sirup beras. Sirup ini diproduksi dari beras merah yang mengalami proses sakarifikasi menggunakan enzim untuk memecah pati, kemudian disaring dan dipanaskan melalui evaporasi hingga mencapai konsistensi yang diinginkan. Dalam proses ini, pati beras dihidrolisis oleh enzim dan senyawa yang menggantikan maltotriosa dalam pati (Khotimah, 2023). Sirup beras dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sirup Beras (Dokumentasi pribadi)

Sirup beras dapat dimanfaatkan sebagai campuran dalam madu karena memiliki sifat yang mirip dengan pemanis lainnya. Dari segi warna dan komposisi, pencampuran sirup beras dengan madu dapat memberikan keuntungan bagi pihak-pihak tertentu yang lebih mengutamakan profit tanpa mempertimbangkan keaslian madu. Hal ini disebabkan oleh kandungan sirup beras yang dapat meningkatkan potensi terjadinya pemalsuan madu.

2.6. Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy

Spektroskopi fluoresensi merupakan metode analisis yang cepat, sensitif, dan tidak merusak, yang telah banyak digunakan untuk mengklasifikasikan sampel makanan. Dalam tinjauan oleh Sádecká dan Tóthová (2007), dijelaskan bahwa teknik ini melibatkan pengukuran spektrum emisi yang dihasilkan ketika sampel dieksitasi dengan cahaya pada panjang gelombang tertentu. Spektrum fluoresensi yang dihasilkan mengandung informasi kimia, fisik, dan struktural dari komponen sampel, namun sering kali terdiri dari pita yang tumpang tindih, sehingga memerlukan pendekatan analisis multivariat untuk mengekstrak informasi analitis yang relevan. Salah satu kelebihan utama perangkat ini terletak pada kemampuannya dalam menyajikan data secara waktu nyata (*real-time*), sehingga mendukung proses pengambilan keputusan di lapangan secara lebih cepat dan akurat. Seiring dengan

perkembangan teknologi, alat spektroskopi *portable* semakin efektif dan dapat diandalkan, menjadikannya pilihan ideal untuk analisis di berbagai sektor industri.

Prinsip kerja alat spektroskopi fluoresensi portabel berbasis LED dimulai dari sumber eksitasi yaitu LED (*Light Emitting Diode*) yang digunakan untuk menyinari sampel pada panjang gelombang tertentu, umumnya dalam wilayah spektrum ultraviolet (Obeidat *et al.*, 2008). Ketika LED memancarkan cahaya ke arah sampel, molekul-molekul dalam sampel menyerap energi tersebut dan berpindah ke keadaan energi yang lebih tinggi. Selanjutnya dalam proses fluoresensi, molekul-molekul tersebut akan kembali ke keadaan dasar dan memancarkan cahaya fluoresen pada panjang gelombang yang lebih panjang pada rentang 400 hingga 700 nm. Cahaya yang dipancarkan ini bersifat spesifik terhadap kandungan kimia dalam sampel misalnya senyawa fenolik, flavonoid, atau riboflavin yang umum ditemukan dalam madu (Szukay *et al.*, 2024). Cahaya fluoresen yang dihasilkan selanjutnya dideteksi oleh detektor, seperti sensor CCD (*Charged Coupled Device*) atau CMOS (*Complementary Metal-Oxide Semiconductor*), sensor ini berfungsi merekam spektrum intensitas terhadap panjang gelombang. Data spektral ini selanjutnya dianalisis menggunakan perangkat lunak seperti *The Unscrambler* untuk tujuan identifikasi bahan, analisis kualitas, serta deteksi kemungkinan adanya pemalsuan pada sampel yang diuji.

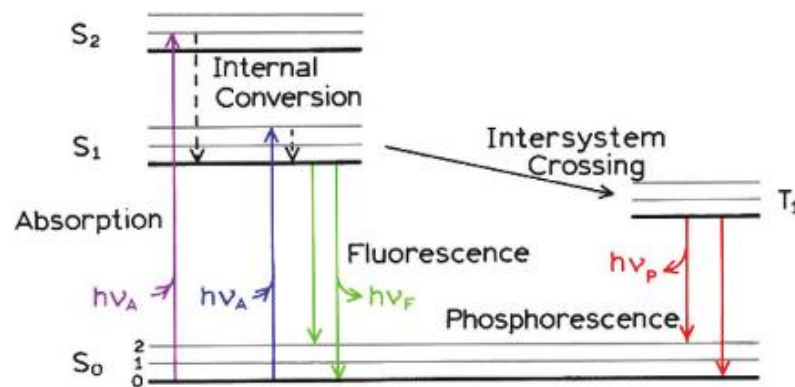
Spektroskopi fluoresensi portabel adalah jenis spektroskopi elektromagnetik yang menganalisis intensitas spektrum fluoresensi suatu sampel yang diterangi oleh *Light Emitting Diode* (LED) sebagai sumber eksitasi. Spektroskopi fluoresensi yang menggunakan kamera *Charged Coupled Devices* (CCD) atau *Complementary Metal-Oxide Semiconductor* (CMOS) biasanya dikenal sebagai pencitraan fluoresensi. Proses fluoresensi terjadi ketika cahaya berinteraksi dengan suatu materi, di mana atom atau partikel menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu dan kemudian memancarkan cahaya kembali dengan panjang gelombang yang lebih panjang. Proses ini berlangsung karena sifat partikel yang langsung mengeluarkan cahaya ketika terpapar cahaya eksternal, namun pancaran tersebut akan berhenti segera setelah

sumber cahaya eksternal dihilangkan. Spektroskopi fluoresensi dapat diterapkan untuk menganalisis berbagai jenis sampel, baik dalam bentuk larutan maupun padatan (Asriani & Minarni, 2015). *Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. *Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy* (Sumber GoyaLab)

Proses fluoresensi terjadi ketika suatu materi tereksitasi oleh cahaya dengan energi tinggi, yang kemudian menyebabkan materi tersebut memancarkan radiasi cahaya. Energi berpindah dari keadaan atom yang tereksitasi (S_1 atau S_2) menuju keadaan yang lebih stabil (S_0) dikenal sebagai fluoresensi. Diagram Jablonski menggambarkan bagaimana fluoresensi terjadi seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Jablonski (Sumber: Lakowicz, 2006)

Ketika sebuah atom atau molekul menyerap energi cahaya dalam waktu kurang dari satu piko detik, elektron akan berpindah dari keadaan dasar (S_0) ke tingkat energi yang lebih tinggi yaitu S_1 atau S_2 . Dalam waktu yang sangat singkat sekitar 1-10 nanodetik atom mengalami konversi internal atau relaksasi menuju keadaan S_1 , dan kemudian melepaskan energi dalam bentuk cahaya dengan energi setara dengan $h\nu_F$.

Seiring waktu, energi atom akan berkurang dan kembali ke tingkat energi dasar S_0 sebelum mencapai keadaan kesetimbangan termal. Selanjutnya, tingkat energi S_1 akan berpindah ke berbagai sublevel dari S_0 , yang mencerminkan tingkat energi getaran dasar atom pada level 0, 1, dan 2. Hal ini menyebabkan munculnya fluoresensi dengan spektrum yang lebar (Lakowicz, 2006).

2.7. Metode Kemometrika

Kemometrika merupakan cabang ilmu yang menerapkan metode matematika dan statistik untuk menghubungkan data hasil pengukuran dalam suatu proses atau sistem kimia. Ilmu ini sangat relevan dengan pengolahan data multivariat, yaitu data yang diperoleh dari pengukuran berbagai variabel dalam satu sampel. Salah satu aplikasi utama kemometrika, khususnya dalam konteks data multivariat adalah analisis sampel menggunakan instrumen yang menghasilkan banyak variabel serta melakukan pengelompokan berdasarkan data yang telah dikumpulkan (Rohman, 2014). Dalam kemometrika terdapat beragam metode termasuk analisis komponen utama (*Principal Component Analysis/PCA*), analisis diskriminan, dan analisis kluster. (Yaakob *et al.*, 2011).

2.7.1. *Principal Component Analysis (PCA)*

Principal Component Analysis (PCA) adalah suatu teknik statistik multivariat yang digunakan untuk mengekstrak informasi penting dari kumpulan data besar, dengan cara menyederhanakan struktur data, serta menghilangkan efek kolinearitas (*colinear*) antar variabel. PCA bekerja dengan mentransformasikan variabel-variabel asli yang saling berkorelasi menjadi sekumpulan variabel baru yang tidak saling berkorelasi yang disebut *principal components*. Komponen-komponen ini disusun sedemikian rupa sehingga PC1 menjelaskan variansi terbesar dalam data, diikuti oleh PC2 dan seterusnya. PCA bertujuan untuk mengelompokkan sampel dengan cara memodelkan data, mengenali adanya *outlier*, dan memilih variabel yang akan digunakan dalam proses klasifikasi atau pemodelan data. Komponen utama yang terpilih dalam

kumpulan data adalah yang memiliki variasi terbesar. Komponen utama kedua, yang letaknya tegak lurus terhadap komponen pertama, juga menunjukkan perbedaan yang jelas. Kedua komponen tersebut secara umum digunakan sebagai dasar proyeksi utama dalam menampilkan data multivariat secara visual (Miller & Miller, 2000).

2.7.2. *Soft Independent Modeling of Class Analogies (SIMCA)*

Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) merupakan metode analisis multivariat yang digunakan untuk mengelompokkan sampel ke dalam kelas tertentu. Metode ini bekerja dengan membangun model *Principal Component Analysis (PCA)* bagi setiap kelas, sehingga sampel dapat dikelompokkan sesuai dengan model PCA masing-masing. Selain itu SIMCA menghasilkan tabel klasifikasi yang menunjukkan apakah suatu sampel termasuk dalam satu kelas, beberapa kelas sekaligus, atau tidak terklasifikasi ke dalam kelas mana pun (Nurcahyo, 2015).

Model dibangun menggunakan metode SIMCA, yang merupakan perluasan dari PCA dengan sensitivitas pembacaan data yang lebih tinggi (*supervised*). Metode ini mempertahankan komponen-komponen utama yang merepresentasikan variasi paling signifikan dalam setiap kategori. Pada SIMCA, proses pengelompokan dilakukan dengan cara membandingkan variasi residual dari suatu sampel terhadap rata-rata varians residual yang dimiliki oleh sampel-sampel penyusun kategori tersebut. Hasil perbandingan ini memberikan ukuran yang secara langsung menunjukkan seberapa baik tingkat kesesuaian suatu sampel dengan kategori tertentu. Nilai ini dapat diartikan sebagai indikator goodness of fit, yaitu sejauh mana sampel sesuai dengan model kategori yang relevan (Lavine *et al.*, 2009).

2.7.3. *Matriks Konfusi (Confusion Matrix)*

Hasil klasifikasi yang diperoleh melalui metode SIMCA dicatat dalam bentuk matriks konfusi. Matriks ini berperan dalam menguji serta memprediksi apakah suatu objek telah terklasifikasi dengan benar atau tidak. Beberapa parameter evaluasi yang

dihasilkan dari matriks konfusi antara lain meliputi akurasi, sensitivitas, spesifisitas, dan tingkat kesalahan (*error*). Nilai akurasi digunakan untuk menunjukkan sejauh mana model yang dikembangkan mampu mengklasifikasikan sampel secara tepat, sehingga dapat menjadi indikator validitas model tersebut.

Selanjutnya sensitivitas berfungsi untuk mengukur seberapa efektif model dalam menolak sampel yang tidak sesuai dengan kelasnya. Jika nilai sensitivitas meningkat maka menandakan bahwa model yang dikembangkan semakin baik dalam mengenali karakteristik sampel yang diuji. Di sisi lain spesifisitas merujuk pada kemampuan model untuk mengklasifikasikan sampel dengan akurat ke dalam kelas yang tepat. Ketika sampel yang diklasifikasikan dapat masuk ke dalam kelasnya dengan benar maka nilai spesifisitas akan menjadi tinggi. Tingginya nilai sensitivitas dan spesifisitas menunjukkan bahwa akurasi model juga tinggi. Dengan ketiga nilai tersebut berada pada tingkat yang baik dapat disimpulkan bahwa model yang telah dibuat adalah model yang tepat (Lavine *et al.*, 2009)

Nilai *error* menunjukkan seberapa akurat model dalam mengklasifikasikan sampel. Dengan kata lain nilai ini mencerminkan ketidaktepatan dalam penempatan sampel ke dalam kelas yang sesuai. Jika nilai *error* tinggi maka berarti model yang dikembangkan kurang efektif. Sebaliknya jika nilai *error* rendah maka menunjukkan bahwa model tersebut telah berhasil dalam melakukan klasifikasi dengan tepat (Sugianti *et al.*, 2016).

2.7.4. Pretreatment

Upaya memperoleh model analisis yang lebih akurat memerlukan tahap *pretreatment* terhadap data spektra. Tahapan ini bertujuan mengurangi gangguan *noise* serta interferensi yang terdapat dalam data. Sebelum model dikembangkan data spektra pada tahap kalibrasi maupun prediksi harus melalui proses *pretreatment* terlebih dahulu. Pada penelitian ini digunakan empat metode *pretreatment* guna memperbaiki kualitas spektra, yaitu: ((O'haver, 2024) (Galindo-prieto, 2017)).

a. *Smoothing Moving Average*

Metode *smoothing moving average* adalah teknik yang sering diterapkan untuk mengurangi noise dalam data. Teknik ini biasanya digabungkan dengan metode lain untuk meningkatkan kualitas data. Persamaan yang digunakan dalam *smoothing moving average* dapat dituliskan sebagai berikut:

$$S_j = \frac{Y_{j-1} + Y_j + Y_{j+1}}{3} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

S_j : Nilai hasil *smoothing moving average* pada posisi panjang gelombang ke-j

Y_j : Nilai spektra original di posisi panjang gelombang ke-j

J : Titik pada rentang panjang gelombang

3 : Total segmen

Nilai pembilang maupun penyebut pada perhitungan dapat disesuaikan dengan jumlah segmen yang digunakan. Sebagai contoh, pada persamaan yang telah disebutkan sebelumnya menggunakan tiga segmen. Mengingat bahwa hasil *smoothing* dengan metode *moving average* selalu menghasilkan bilangan ganjil, maka nilai output akan terpusat pada titik tengah masing-masing segmen tersebut.

b. *Multiplicative Scatter Correction (MSC)*

Multiplicative Scatter Correction (MSC) merupakan metode yang digunakan untuk mengurangi efek amplifikasi multiplikatif dan hamburan pada spektrum. Variasi penyebaran cahaya dalam data spektroskopi dapat dikoreksi dengan menggunakan MSC. Tujuan utama dari metode ini adalah untuk menyesuaikan semua sampel sehingga tingkat penyebaran cahaya pada setiap sampel menjadi seragam. Berikut ini adalah persamaan yang digunakan dalam metode MSC :

$$X_{org} = a_i + b_i \bar{x}_j + e_i \dots\dots\dots(2)$$

$$X_{i,MSC} = \frac{X_{org} - a_i}{b_i} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

$X_{i,MSC}$	: Nilai spektrum yang telah dikoreksi (dalam bentuk matriks data)
X_{org}	: Nilai spektra asli sebelum dikoreksi
$\bar{x}_j$	: Nilai rata-rata spektrum
e_i	: Nilai galat atau <i>error</i>
a_i	: Nilai intersep dari regresi
b_i	: Nilai slope
i	: Indeks yang menunjukkan urutan sampel
j	: Indeks untuk posisi panjang gelombang

Untuk menentukan nilai MSC, langkah pertama adalah menghitung koefisien regresi yaitu a_i dan b_i , yang diperoleh dari persamaan regresi linear untuk setiap sampel.

Persamaan tersebut mengikuti bentuk umum $y = a + bx$ dan diterapkan pada grafik linear masing-masing sampel. Setelah koefisien regresi berhasil dihitung berdasarkan persamaan tersebut, proses koreksi MSC dapat dilanjutkan.

c. *Standard Normal Variate* (SNV)

Standard Normal Variate (SNV) merupakan metode transformasi yang digunakan untuk mengatasi efek hamburan (*scatter*) pada data spektrum, dengan cara melakukan penskalaan dan pemusatan terhadap setiap spektrum secara individual. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan gangguan interferensi bersifat multiplikatif yang disebabkan oleh hamburan, seperti variasi ukuran dan distribusi partikel. Adapun rumus yang digunakan dalam metode SNV adalah sebagai berikut :

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^k (i_k - x_i)^2}{K-1}} \dots \dots \dots (4)$$

$$x_{ik} = \frac{x_{ik} - x_i}{S_i} \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan :

- S_i : Nilai standar deviasi dari sampel ke-i
 K : Banyaknya data pada sampel ke-i
 i : Indeks yang menunjukkan urutan sampel
 k : Indeks yang menunjukkan posisi panjang gelombang
 x_{ik} : Nilai spektra asli dari sampel ke-i di panjang gelombang ke-k
 x_i : Rata-rata nilai spektra pada sampel ke-i

d. *Mean Normalization* (MN)

Mean Normalization dilakukan dengan mengubah setiap titik pada spektrum ke dalam satuan tertentu, sehingga semua data berada dalam skala yang konsisten. Teknik ini yang dikenal juga sebagai *mean centering*, berguna dalam proses penyesuaian nilai spektrum berdasarkan rata-ratanya. Adapun rumus yang digunakan dalam metode mean normalization adalah sebagai berikut:

$$x_{mean(i,k)} = \frac{X_{raw}}{X_{mean}} \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan :

- $x_{mean(i,k)}$: Nilai *mean normalize* pada sampel i di panjang gelombang
 i : Indeks yang menunjukkan urutan sampel
 k : Indeks yang menunjukkan posisi panjang gelombang
 X_{raw} : Nilai spektra original
 X_{mean} : Nilai spektra rata-rata pada sampel

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2024 di Laboratorium Rekayasa Bioproses dan Pascapanen Pertanian (Lab. RBPP), Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

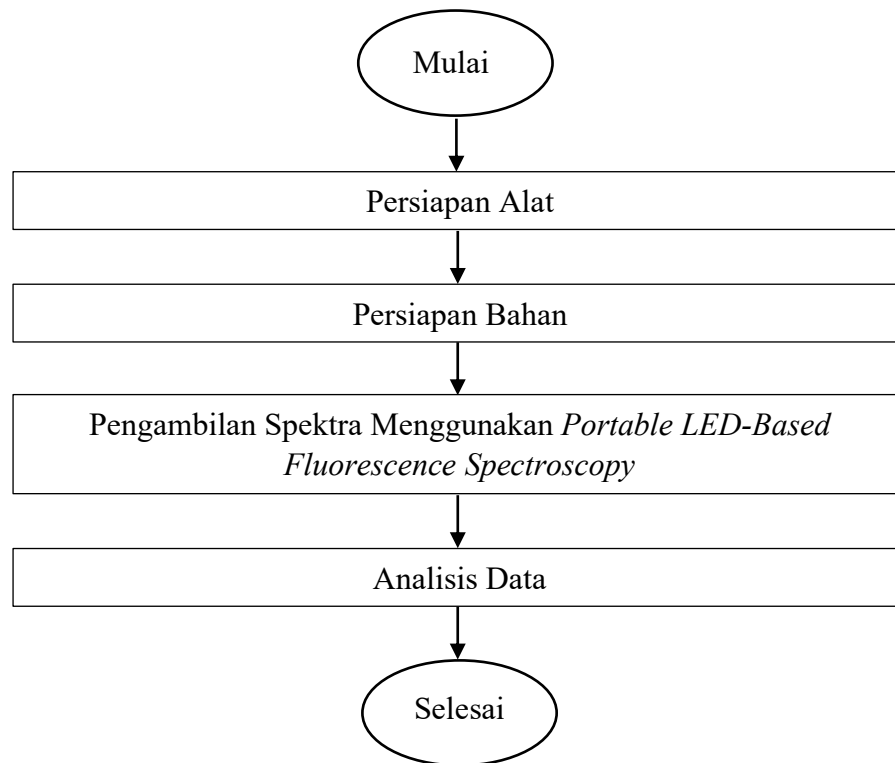
Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy* (GoyaLab, *Fluorescence Spectroscopy*), *water bath* jenis Digiterm 200 (J.P. Selecta, Spain), *magnetic stirrer* (CiblancTM, China), pipet ukur 2 ml, labu Erlenmeyer 50 ml, gelas beker, gelas ukur, corong plastik, tisu, dan spatula.

Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi madu dari lebah tanpa sengat *Tetrigona apicalis* yang diambil dari nektar Damar, yang diperoleh dari PT. Suhita Lebah Indonesia, sirup beras merk *Chung Jung One* yang dibeli melalui *e-commerce*, serta aquades.

3.3. Prosedur Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengembangkan sekaligus menguji model analisis dengan memanfaatkan metode *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Soft Independent Modeling of Class Analogy* (SIMCA), yang digunakan untuk membedakan madu murni hasil lebah tanpa sengat *Tetrigona apicalis* dengan madu

Tetrigona apicalis yang telah mengalami pencampuran. Tahapan penelitian ini meliputi beberapa proses dimulai dari persiapan peralatan serta bahan yang diperlukan. Berikutnya, dilakukan penyiapan sampel, yang mencakup penentuan volume madu yang akan dianalisis, proses pemanasan terhadap pemanis buatan, dan pendinginan hingga mencapai suhu ruang. Setelah itu setiap sampel diencerkan dan dihomogenkan menggunakan magnetic stirrer, sebelum akhirnya dilakukan pengukuran spektrum fluoresensi. Langkah terakhir adalah analisis data dengan metode SIMCA dan PCA. Diagram alir prosedur penelitian dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Alir Prosedur Penelitian

3.3.1. Persiapan Alat

Persiapan alat dilakukan dengan memastikan kelengkapan dan memeriksa kondisi alat yang akan digunakan secara teliti sebelum dan selama penelitian, untuk menjamin perangkat bekerja secara optimal. Ketersediaan alat yang dibutuhkan

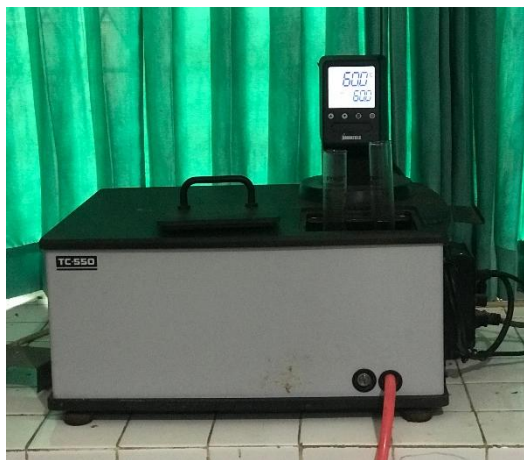
dalam penelitian ini sangat penting untuk diperhatikan, baik kelengkapan maupun kondisinya, agar penelitian dapat berjalan lancar.

3.3.2. Persiapan Bahan

Pada persiapan bahan penelitian terdapat empat tahapan yang harus dilakukan yaitu:

1. Pemanasan Sampel

Sebelum proses analisis dilakukan, sampel madu perlu melalui tahap pemanasan untuk menghilangkan bagian yang mengalami pembekuan. Sampel terlebih dahulu dimasukkan ke dalam gelas ukur, kemudian dipanaskan menggunakan alat water bath Digiterm 200 (J.P. Selecta, Spanyol) pada suhu 60°C selama 30 menit guna mengatasi proses kristalisasi (Frausto-Reyes *et al.*, 2017). Setelah tahap pemanasan selesai, sampel dibiarkan hingga suhunya mencapai kesetimbangan dengan suhu ruang.



Gambar 6. Pemanasan Sampel Menggunakan *Water Bath* (dokumentasi pribadi)

2. Pencampuran Madu Murni dengan Sirup Beras

Setelah suhu madu yang sudah dipanaskan menjadi suhu ruang, campurkan madu dengan sirup beras. Pencampuran madu dengan sirup beras memiliki rasio 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5 dan 4:6.



Gambar 7. Proses Mencampurkan Sampel Madu Murni dengan Sirup Beras
(dokumentasi pribadi)

3. Pengadukan Sampel

Sampel diaduk menggunakan *magnetic stirrer* (Ciblanc, TM, China) selama 10 menit pada kecepatan 1.750 rpm untuk memastikan bahwa bahan tercampur secara merata.



Gambar 8. Pengadukan Sampel Menggunakan *Magnetic Stirrer*

4. Persiapan Sampel

Pada persiapan sampel, sampel diberi kode penomoran yang disesuaikan dengan jenis campuran dan kadar campuran. Sampel madu *Tetrigona apicalis* yang murni diberi label MA, sedangkan sampel madu yang telah dicampur dengan sirup beras pada tingkat konsentrasi 10%-60% diberi label MC10, MC20, MC30,

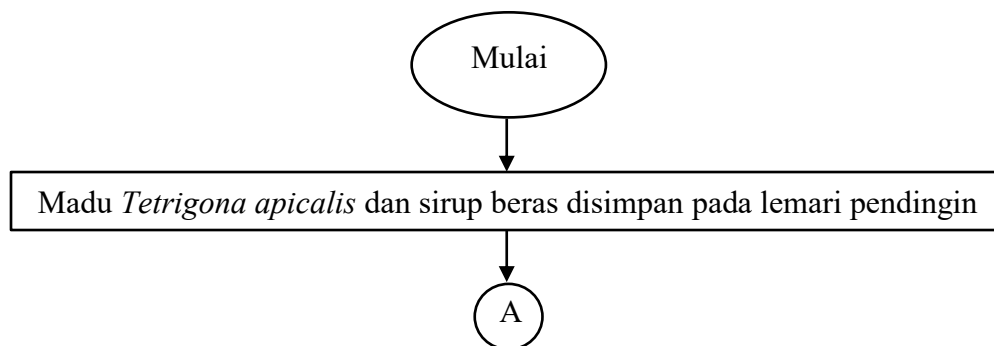
MC40, MC50, dan MC60. Untuk sampel sirup beras, diberikan label SB.

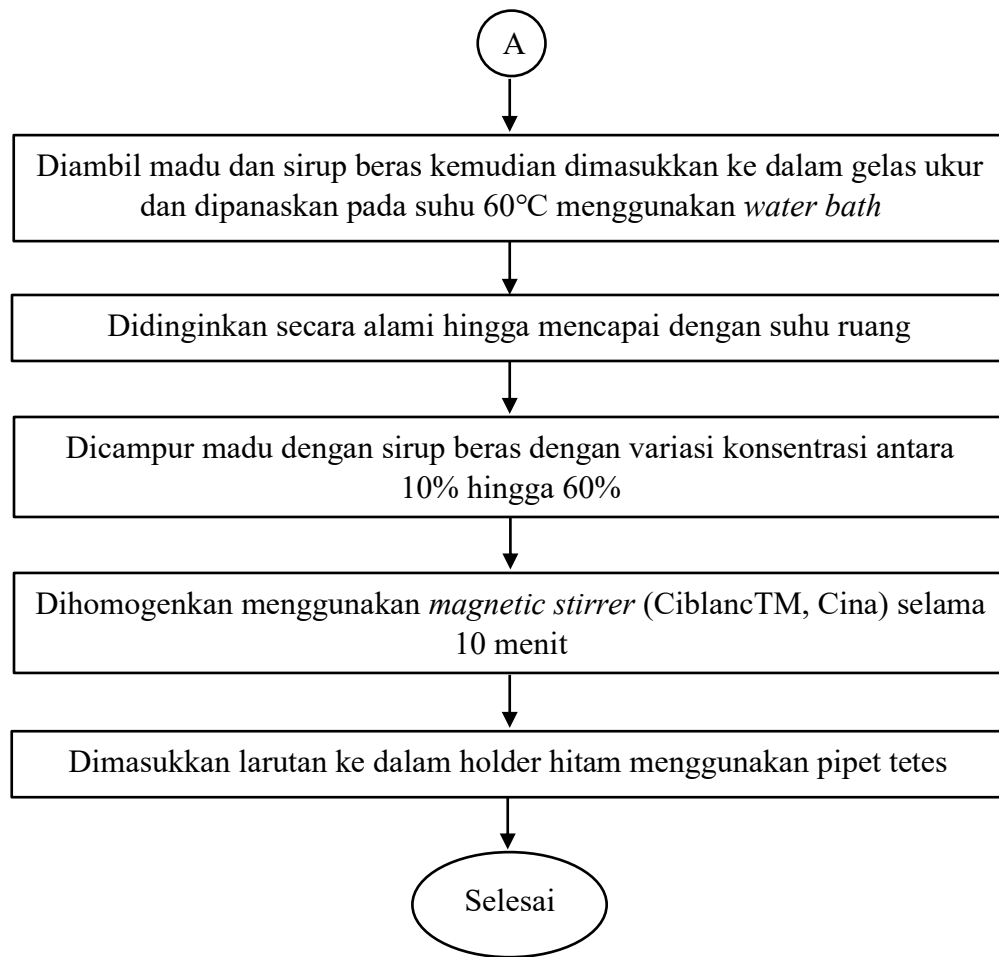
Penomoran sampel dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini:

Tabel 2. Penomoran Sampel Madu *Tetrigona apicalis* dengan Sirup Beras

No Sampel	Komposisi Bahan
1-50	50 ml Madu + 0 ml sirup beras (MA)
51-60	18 ml Madu + 2 ml sirup beras (MC10)
61-70	16 ml Madu + 4 ml sirup beras (MC20)
71-80	14 ml Madu + 6 ml sirup beras (MC30)
81-90	12 ml Madu + 8 ml sirup beras (MC40)
91-100	10 ml Madu + 10 sirup beras (MC50)
101-110	8 ml Madu + 12 sirup beras (MC60)
111-160	50 ml Sirup beras + 0 ml madu (SB)

Data spektra dari penelitian ini diambil sebanyak 160 sampel dengan 2 kali pengulangan tiap sampel. Sampel yang sudah homogen selanjutnya dipipet dengan volume kurang lebih 1 ml dan dimasukkan ke dalam *sample holder* berwarna hitam. Pastikan permukaan *sample holder* bersih agar memaksimalkan difusi cahaya. Diagram alir yang menunjukkan langkah-langkah dalam persiapan bahan dapat dilihat pada Gambar 9 di bawah ini :

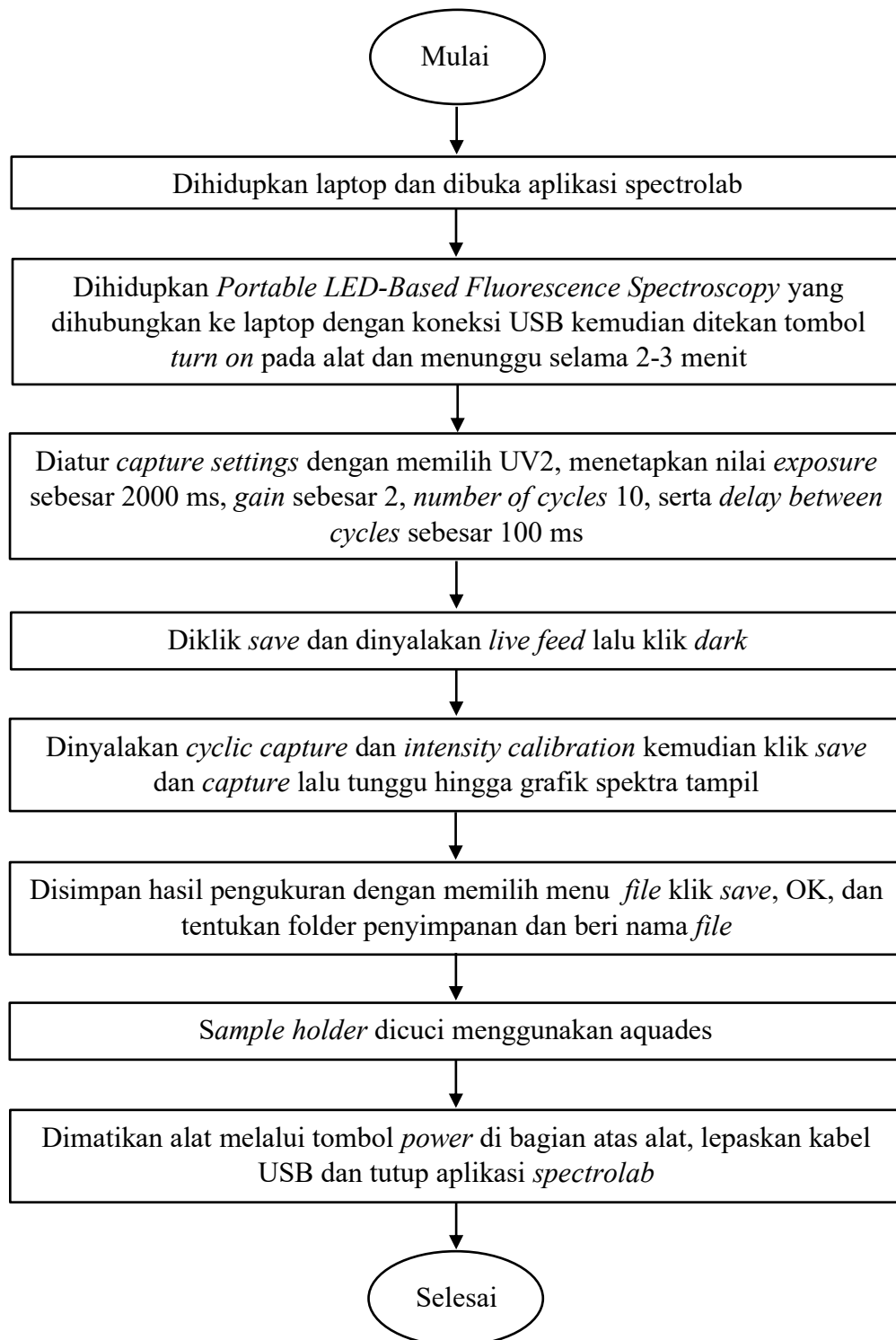




Gambar 9. Diagram Alir Persiapan Bahan

3.3.3. Pengukuran Spektra Menggunakan Spektroskopi Fluoresensi

Pengukuran data spektra menggunakan alat *Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy* dilakukan dengan cara memasukkan sampel ke dalam *sample holder* menggunakan pipet ukur sebanyak ± 1 ml. Selanjutnya alat diletakkan di atas stand holder dan diambil nilai intensitas fluoresensinya. Langkah pengambilan data spektra dijelaskan pada Gambar 10 berikut :



Gambar 10. Diagram Alir Pengambilan Spektra



Gambar 11. Prosedur untuk Mengumpulkan Data Spektrum

3.3.4. Membuat dan Menguji Model

Model dikembangkan dan diuji menggunakan data intensitas fluoresensi yang telah diperoleh sebelumnya. Data tersebut berfungsi sebagai dasar dalam pembuatan model atau persamaan serta untuk proses pengujian model. Pembuatan dan pengujian model dilakukan dengan menerapkan metode *Principal Component Analysis (PCA)* dan *Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA)* menggunakan perangkat lunak *The Unscrambler* versi 10.4.

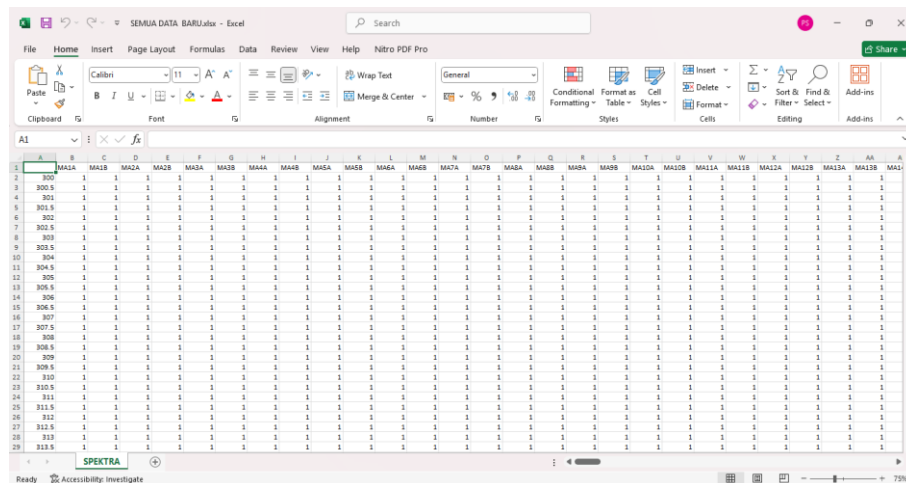
3.4. Analisis Data

Analisis data bertujuan untuk mengidentifikasi pola dalam sampel dengan memanfaatkan perangkat lunak *The Unscrambler* versi 10.4. Pembuatan model kalibrasi dilakukan melalui penerapan metode PCA dan SIMCA. Nilai intensitas hasil pengukuran sampel dikumpulkan terlebih dahulu menggunakan *Microsoft Excel* sebelum kemudian dianalisis kembali menggunakan *The Unscrambler* versi 10.4. Sampel-sampel tersebut dibagi menjadi tiga kategori yakni kalibrasi, validasi, dan prediksi. Sampel kalibrasi berperan dalam pembangunan model PCA, sedangkan sampel validasi digunakan untuk menguji kinerja model yang telah dibuat. Setelah

proses pengujian selesai, hasil klasifikasi dianalisis lebih lanjut dengan menerapkan matriks konfusi.

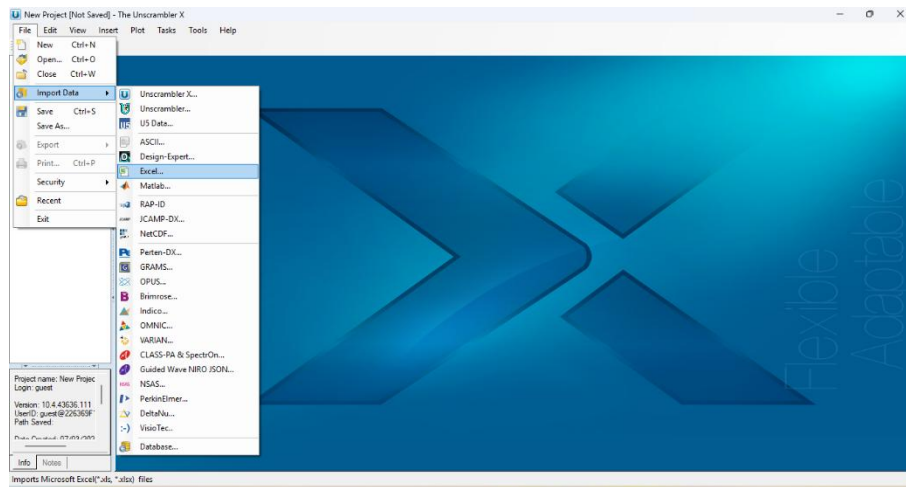
3.4.1. *Principal Component Analysis (PCA)*

Data intensitas fluoresensi yang diperoleh melalui *Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy* berasal dari madu *Tetrigona apicalis* bernektar Damar yang telah dicampur dengan sirup beras. Setelah didapat data intensitas fluoresensinya lalu data tersebut dikumpulkan di dalam satu file *Microsoft Excel*. Langkah selanjutnya adalah menganalisis data dari file *Microsoft Excel* dengan bantuan *software The Unscrambler 10.4*. Proses penggabungan data pada *Microsoft Excel* dapat dilihat pada Gambar 12 berikut ini :



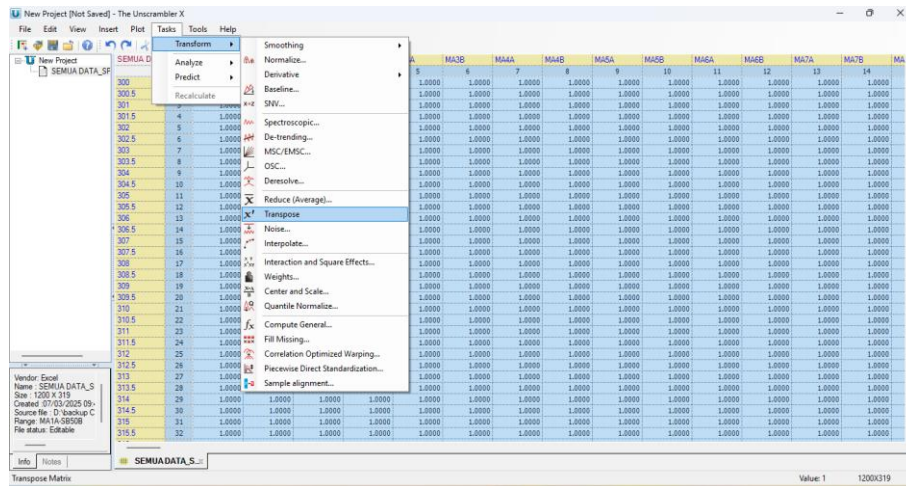
Gambar 12. Penggabungan Data Spektra Menggunakan *Microsoft Excel*

Setelah penggabungan data spektra selesai, analisis dilakukan dengan bantuan *software The Unscrambler* versi 10.4. Langkah awal dimulai dengan membuka aplikasi tersebut, kemudian memilih menu *File*, dilanjutkan dengan *Import Data*, dan memilih format data *excel* untuk mengimpor file yang telah disiapkan. Proses impor data ditampilkan pada gambar 13 berikut :



Gambar 13. Proses *Import Data* ke dalam Aplikasi *The Unscrambler* 10.4

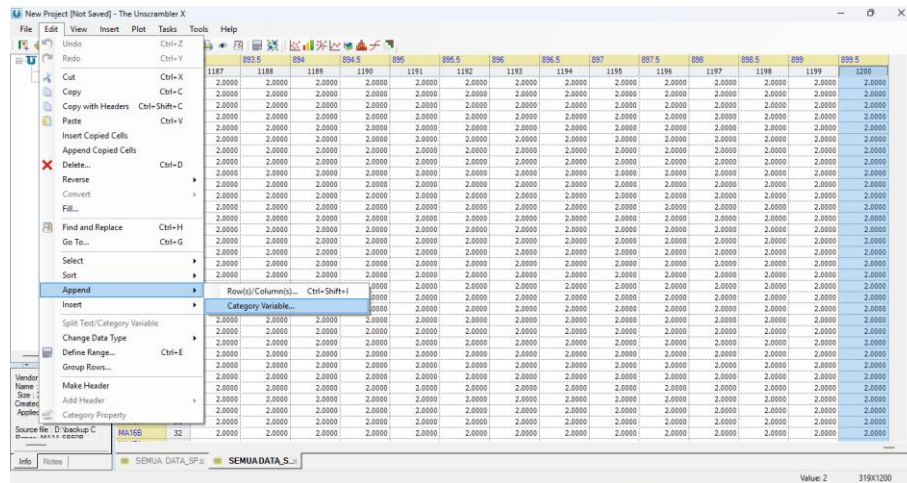
Setelah data berhasil ditampilkan di jendela aplikasi *The Unscrambler* versi 10.4, tahap selanjutnya adalah membuka menu *Task*, memilih *Transform*, lalu mengklik opsi *Transpose*. Proses *transpose* data dilakukan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 14 berikut :



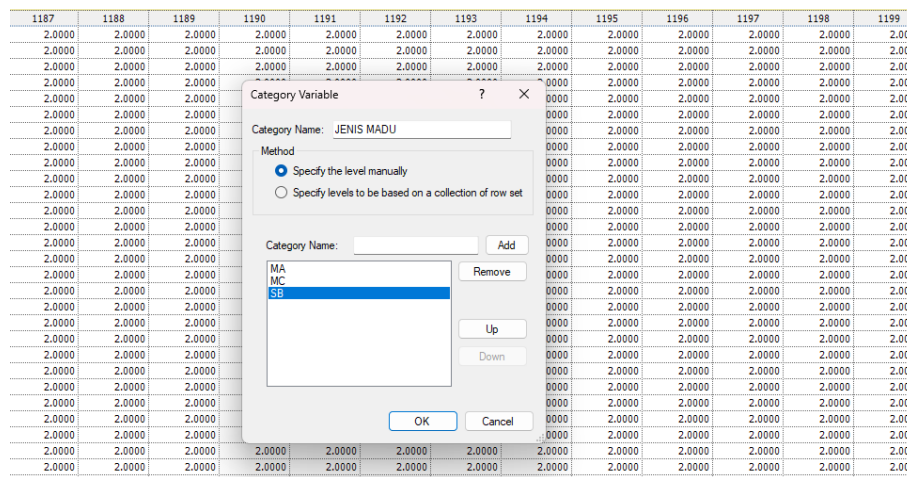
Gambar 14. Proses *Transpose* Data di Aplikasi *The Unscrambler* 10.4

Untuk memperoleh hasil analisis menggunakan metode PCA, perlu ditambahkan level name yang berfungsi mengklasifikasikan data sesuai jenis sampel. Proses ini dimulai dengan memilih menu *Edit*, kemudian memilih opsi *Append*, dan selanjutnya mengklik *Category Variable*. Pada bagian atas kolom *Category Name*, isikan nama

“JENIS MADU”. Setelah itu pada bagian bawah kolom yang sama, tambahkan *level name* dengan menekan tombol *Add*, lalu masukkan kode sampel yaitu MA untuk Madu Asli, MC untuk Madu Campuran, dan SB untuk Sirup Beras. Setelah semua kode selesai dimasukkan, tekan tombol OK untuk menyimpan pengaturan. Proses pengisian *level name* ditunjukkan pada Gambar 15 dan Gambar 16 berikut :



Gambar 15. Prosedur Pembuatan *Category Variable*



Gambar 16. Proses Pengisian *Level Name*

Sebelum melakukan analisis PCA, data sampel terlebih dahulu dibagi berdasarkan kategori dan variabel. Hal ini dilakukan dengan memilih kolom JENIS MADU dan

menetapkan *level name* yang sesuai dengan jenisnya. Tahapan dalam proses pengisian masing-masing jenis madu dapat diamati pada Gambar 17 berikut :

Sample ID	1188	1189	1190	1191	1192	1193	1194	1195	1196	1197	1198	1199	1200	JENIS MADU	KAL
MC27B	1	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	
MC27A	2	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	
MC26B	3	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	
MC31B	4	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	
MC31A	5	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	
MC25A	6	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	
MC23A	7	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	
MC22B	8	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	
MC22A	9	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	
MC26A	10	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	
SB36A	11	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	SB	
SB36B	12	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	SB	
MC32A	13	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	
MC41A	14	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	
SB33A	15	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	SB	
MC36A	16	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	
MC42B	17	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	
MC42A	18	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	
MC41B	19	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	
MC36A	20	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	
MC33A	21	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	
MC28B	22	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	
MC37B	23	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	
MC37A	24	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	
MC36B	25	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	
MC7B	26	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	
MC7A	27	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	
MC6B	28	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	
MC11B	29	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	
MC11A	30	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	
MC8A	31	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	
MC2A	32	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MC	

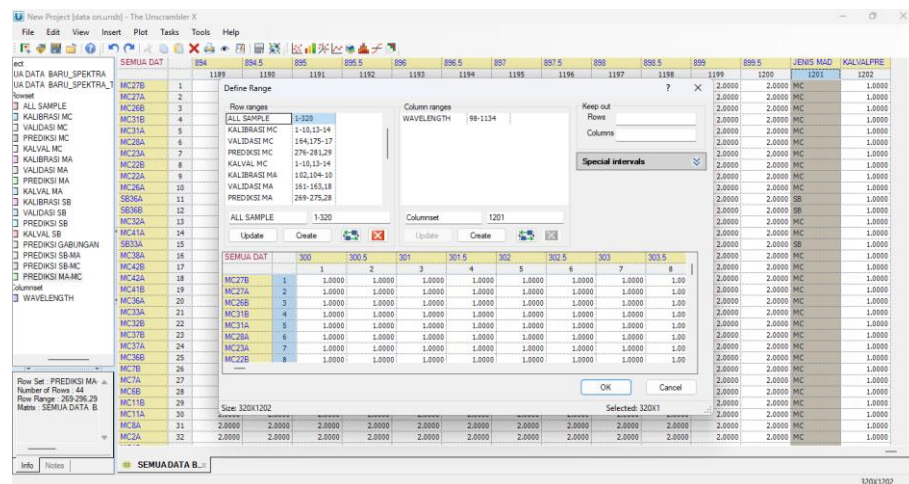
Gambar 17. Tahapan Pengelompokkan Jenis Madu Berdasarkan Kelompoknya

Langkah selanjutnya yaitu menambahkan kolom baru dengan nama KALVALPRED yang berfungsi untuk mengelompokkan sampel ke dalam tiga kategori, yakni Kalibrasi, Validasi, dan Prediksi. Proses ini dilakukan dengan memilih kolom JENIS MADU, kemudian memilih menu *Edit*, dilanjutkan dengan *Insert*, dan memilih opsi *Rows/Columns*. Setelah kolom KALVALPRED ditambahkan, setiap sampel diklasifikasikan secara berurutan ke dalam tiga kelompok berdasarkan fungsinya dalam analisis data. Lima sampel pertama diberi label angka 1 yang merepresentasikan kelompok Kalibrasi, diikuti oleh tiga sampel berikutnya yang diberi label angka 2 untuk kelompok Validasi, dan dua sampel terakhir diberi label angka 3 yang menunjukkan kelompok Prediksi. Tahapan pembuatan kolom serta pengisian nilai pada kolom KALVALPRED ditunjukkan pada Gambar 18 berikut :

BMUA DAT	854	854.5	855	855.5	856	856.5	857	857.5	858	858.5	859	859.5	JENIS MAD	KALVALPRE
A1A	1	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	1.0000
A1B	2	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	1.0000
A2A	3	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	1.0000
A2B	4	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	1.0000
A3A	5	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	1.0000
A3B	6	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	2.0000
A4A	7	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	2.0000
A4B	8	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	2.0000
A5A	9	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	3.0000
A5B	10	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	3.0000
A6A	11	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	
A6B	12	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	
A7A	13	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	
A7B	14	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	
A8A	15	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	
A8B	16	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	
A9A	17	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	
A9B	18	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	
A10A	19	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	
A10B	20	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	
A11A	21	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	
A11B	22	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	
A12A	23	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	
A12B	24	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	
A13A	25	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	
A13B	26	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	
A14A	27	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	
A14B	28	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	
A15A	29	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	
A15B	30	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	
A16A	31	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	
A16B	32	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	MA	

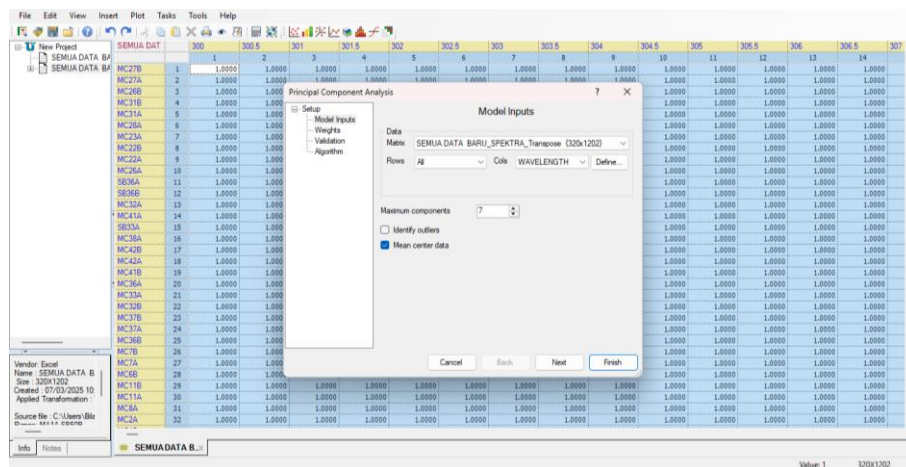
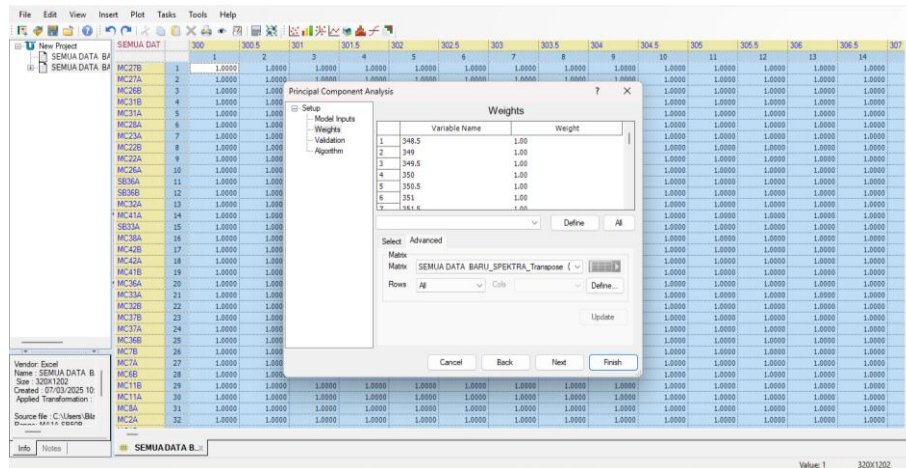
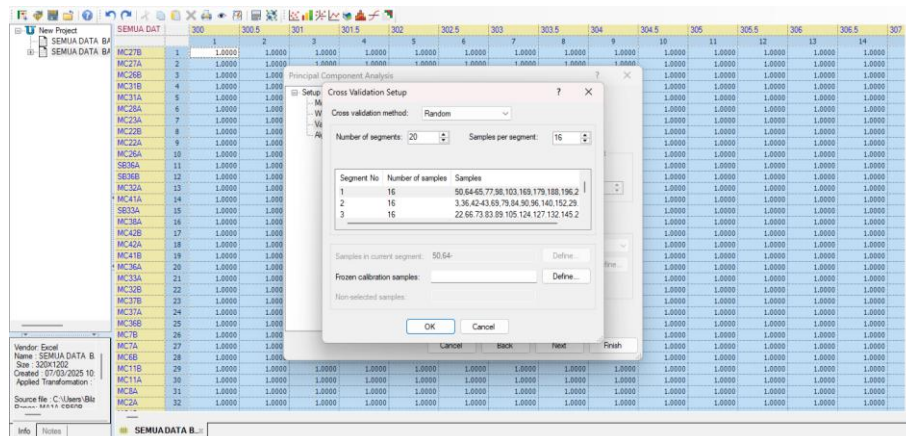
Gambar 18. Proses Pengisian Kolom Kalibrasi, Validasi, dan Prediksi Setiap Sampel

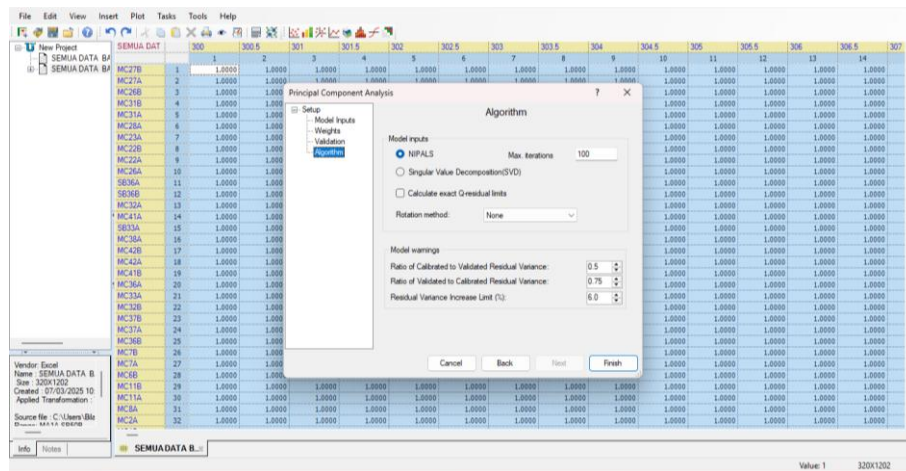
Langkah selanjutnya adalah memblok kolom KALVALPRED, kemudian memilih menu *Edit*, dilanjutkan dengan *Sort*, dan memilih opsi *Ascending* untuk mengurutkan data berdasarkan kategori Kalibrasi, Validasi, dan Prediksi. Setelah data terurut, dilakukan proses pengelompokan berdasarkan nilai pada kolom tersebut. Prosedur ini dilakukan dengan memilih menu *Edit*, kemudian *Define Range*, dan menetapkan *Rowset* untuk masing-masing kategori yaitu Kalibrasi, Validasi, dan Prediksi baik untuk seluruh sampel (*All Sample*) maupun untuk setiap jenis sampel secara individual. Selanjutnya dibuat *Columnset* berdasarkan rentang panjang gelombang yang digunakan yaitu 98 hingga 1134. Gambar 19 berikut menampilkan proses pengelompokan yang meliputi Kalibrasi, Validasi, serta Prediksi.



Gambar 19. Proses Pengelompokkan Kalibrasi, Validasi, dan Prediksi Setiap Sampel

Tahapan selanjutnya dalam penelitian ini adalah melakukan analisis data menggunakan teknik *Principal Component Analysis* (PCA). Proses analisis dimulai dengan membuka menu *Task*, kemudian memilih opsi *Analyze*, dan dilanjutkan dengan memilih *Principal Component Analysis*. Setelah itu, akan muncul jendela *Setup* yang berisi empat submenu. Pada submenu pertama yaitu *Model Input*, bagian *Rows* diatur ke *ALL SAMPLE*, sementara *Cols* disesuaikan dengan *Columnset* yang mencakup panjang gelombang antara 98 hingga 1134 nm. Setelah pengaturan ini, klik *Next* untuk melanjutkan. Pada submenu kedua (*Weight*), dimulai dengan menekan tombol *Advanced*, kemudian memilih *ALL SAMPLE* pada bagian *Rows*, dan kembali melanjutkan dengan mengklik *Next*. Pada submenu ketiga (*Validation*), digunakan metode validasi *Cross Validation*, dengan opsi metode *Cross Validation Method* yang disetel ke *Random*. Pada submenu keempat (*Algorithm*), algoritma yang dipilih adalah *NIPALS*. Setelah semua pengaturan selesai, klik *Finish* untuk mengakhiri proses konfigurasi PCA. Proses analisis PCA dapat dilihat pada Gambar 20, 21, 22, dan 23 berikut ini :

Gambar 20. Proses *Model Inputs*Gambar 21. Proses *Weight*Gambar 22. Proses *Validation*

Gambar 23. Proses *Algorithm*

Analisis menggunakan metode PCA menghasilkan beberapa jenis yaitu *plot Scores*, *Loadings*, *Influences*, dan *Explained Variance*. Hasil PCA tersebut dapat dilihat pada Gambar 24 berikut :

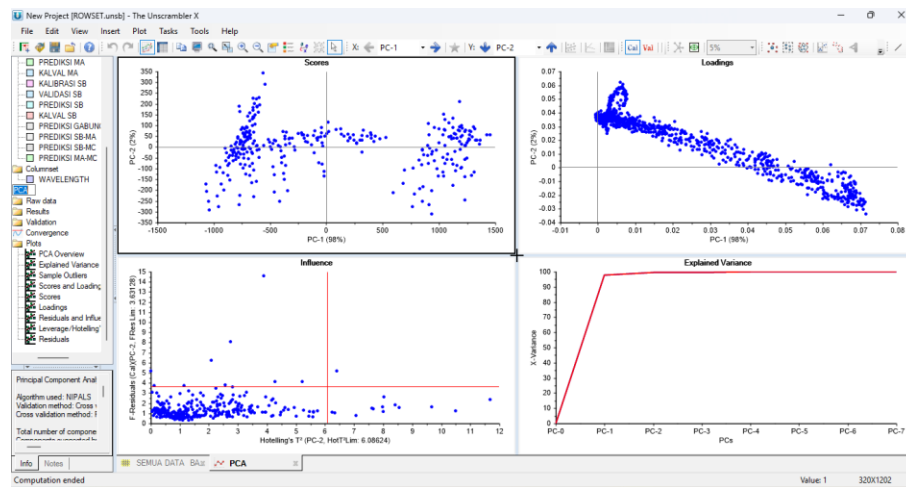
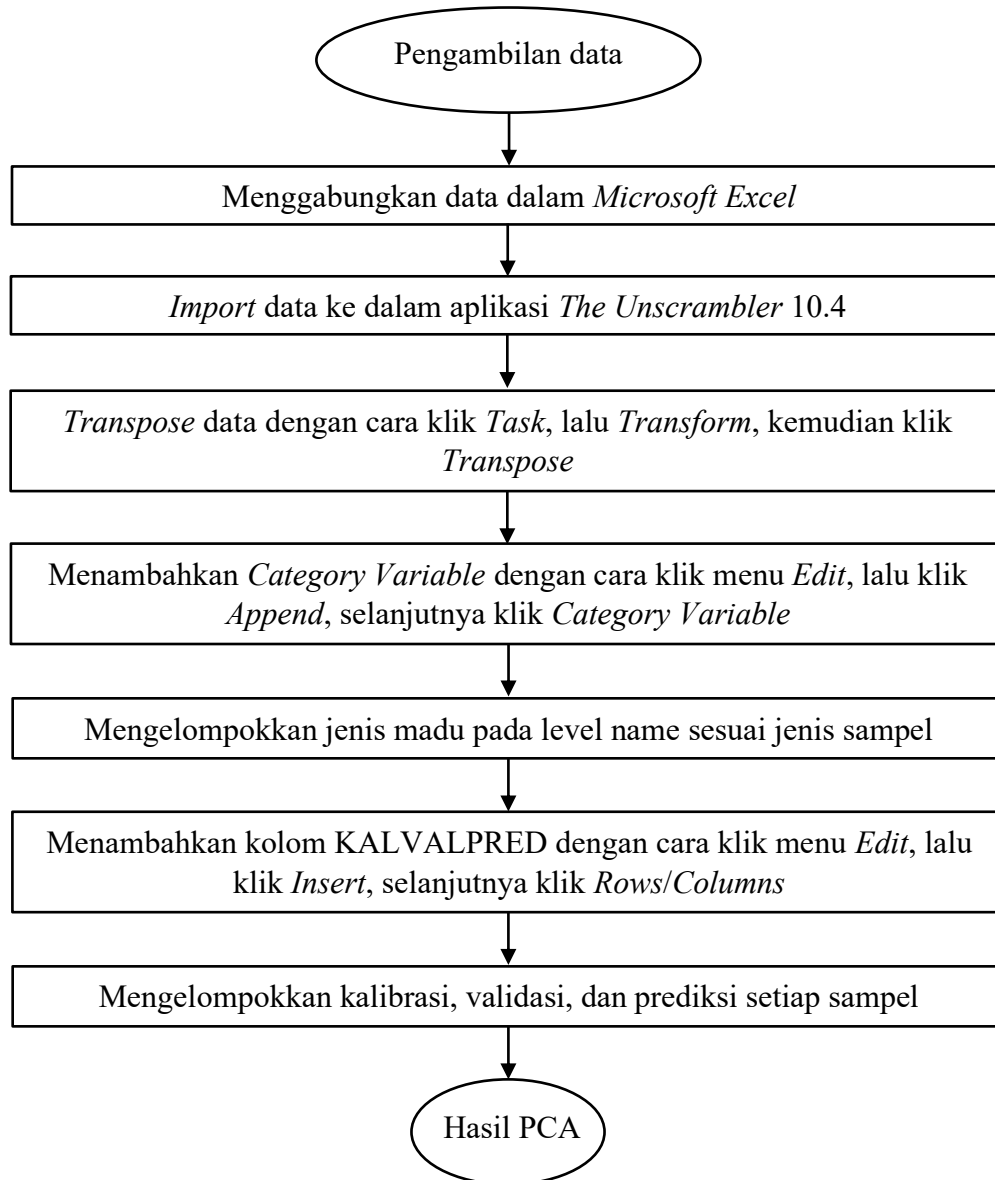
Gambar 24. Hasil Analisis Metode PCA (*Principal Component Analysis*)

Diagram alir prosedur tahapan metode PCA dapat dilihat pada Gambar 25 berikut:



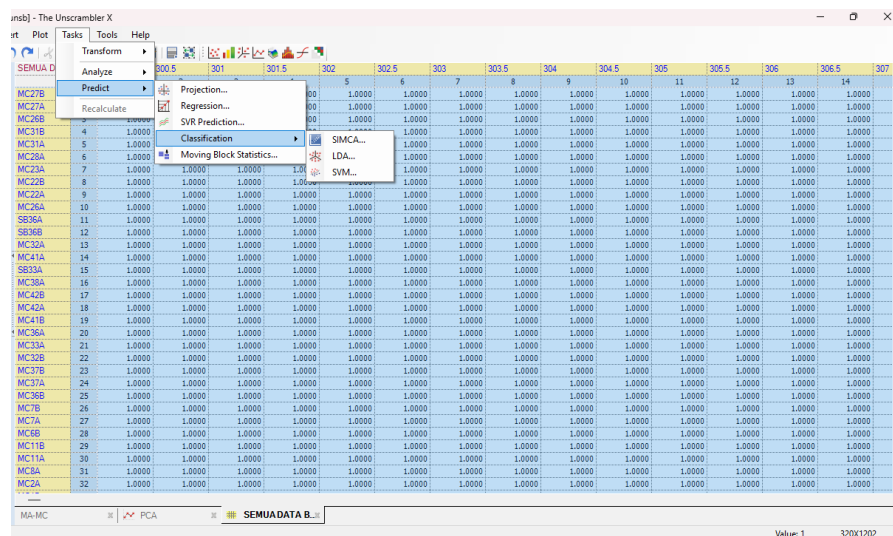
Gambar 25. Diagram Alir Metode PCA

3.4.2. Membangun Model Menggunakan Analisis *Soft Independent Modeling of Class Analogy* (SIMCA)

Setelah diperoleh hasil diskriminasi yang baik melalui analisis PCA, tahap selanjutnya adalah membangun model klasifikasi menggunakan metode SIMCA.

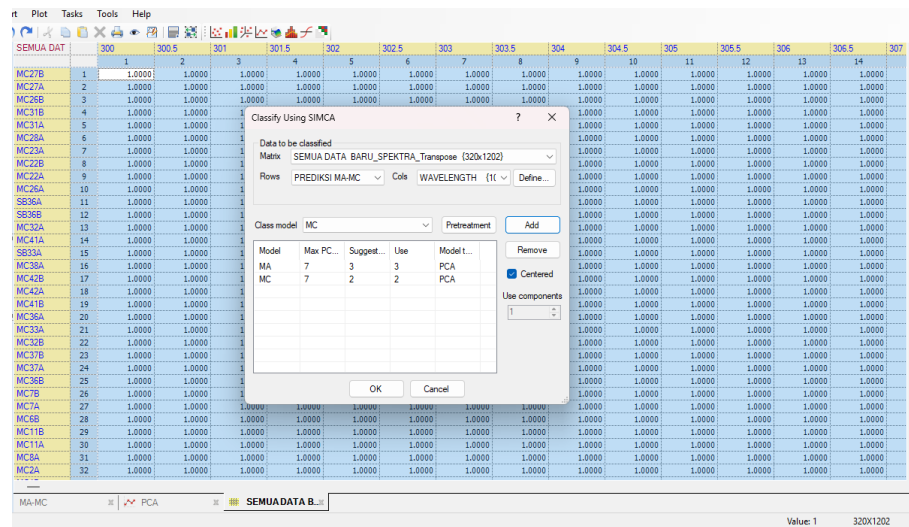
Pendekatan ini digunakan untuk mengevaluasi kemampuan dalam membedakan dan mengelompokkan sampel ke dalam kelas-kelas tertentu. Konsep utama dari metode ini adalah membentuk model PCA secara terpisah untuk setiap kelas, kemudian melakukan klasifikasi terhadap sampel berdasarkan model yang telah dibuat. Hasil dari metode SIMCA disajikan dalam bentuk tabel klasifikasi, yang menunjukkan apakah suatu sampel masuk ke dalam salah satu kelas, lebih dari satu kelas, atau tidak termasuk ke dalam kelas manapun. Dalam proses pembentukan model SIMCA, sampel madu dibagi ke dalam tiga kelompok, yaitu: kelompok kalibrasi untuk membangun model awal, kelompok validasi untuk menguji keandalan model, dan kelompok prediksi yang digunakan untuk menilai tingkat akurasi model berdasarkan data dari tahap kalibrasi dan validasi sebelumnya

Sebelum membangun model SIMCA, langkah awal yang harus dilakukan adalah membentuk model PCA KALVAL untuk masing-masing sampel. Setelah model PCA selesai dibangun, langkah selanjutnya adalah membuat model SIMCA dengan menggunakan data gabungan dari sampel yang telah ditransposisikan. Proses ini dilakukan dengan membuka menu *Task*, memilih opsi *Predict*, lalu klik *Classification*, dan selanjutnya memilih metode *SIMCA*. Tahapan lengkap dari prosedur ini dapat dilihat pada Gambar 26 berikut:



Gambar 26. Proses Membangun Model SIMCA

Langkah selanjutnya menampilkan jendela *Classify using SIMCA*. Pada bagian *rows*, dimasukkan data gabungan dari sampel prediksi (PREDIKSI MA+MC {44}), sedangkan kolom (*cols*) diisi dengan data spektral pada rentang panjang gelombang WAVELENGTH {1037}. Setelah itu, pada bagian *class model*, dipilih model PCA yang sesuai dengan data prediksi tersebut, yaitu PCA MA dan PCA MC, yang ditambahkan satu per satu melalui menu *Add*. Proses ini dapat dilihat pada Gambar 27 berikut :



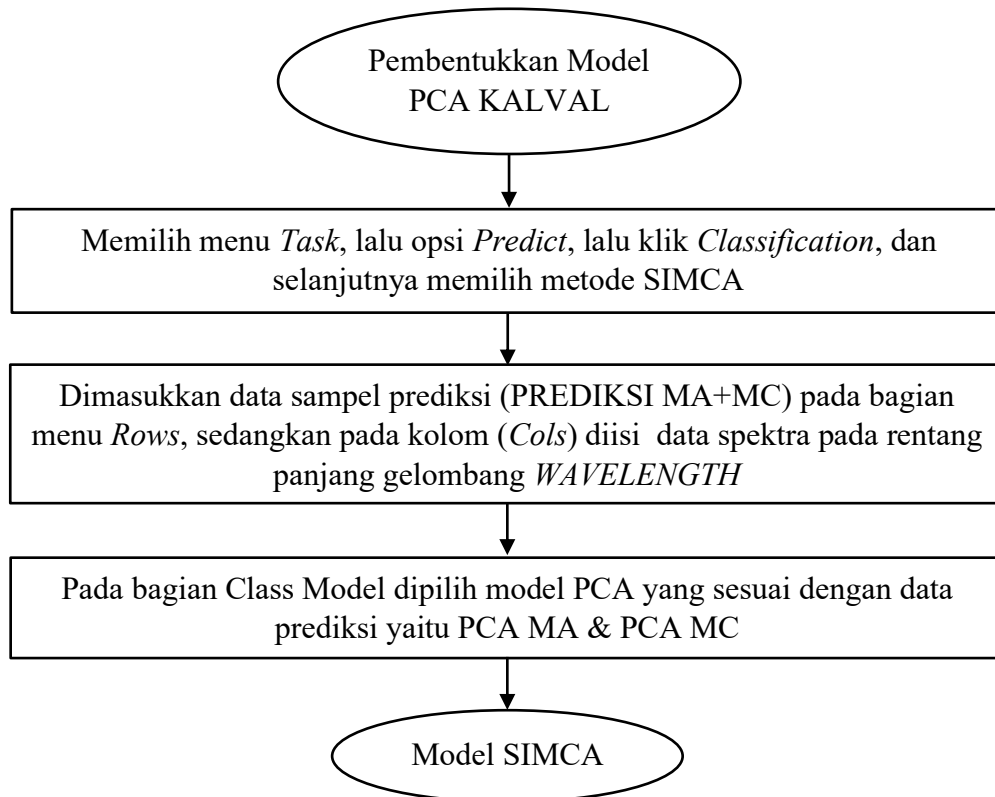
Gambar 27. Tahapan Klasifikasi Model Kelas SIMCA

Pada tahap analisis ini, dihasilkan sebuah tabel yang menampilkan hasil pengelompokan sampel. Tabel tersebut memuat data mengenai sampel yang berhasil dikelompokkan ke dalam kelas yang tepat, sampel yang terdeteksi sebagai anggota dua kelas sekaligus, serta sampel yang tidak termasuk dalam kelas manapun. Tanda bintang (*) pada tabel menandakan bahwa sampel tersebut telah terklasifikasi secara benar ke dalam kelas yang sesuai. Hasil visualisasi dari model SIMCA ini dapat dilihat pada Gambar 28.

Sample	Class	MA	MC
MA45A	*		
MA45B	*		
MA50A	*		
MA35B	*	*	
MA40A	*	*	
MA40B	*	*	
MA50B	*	*	
MC10B	*	*	
MC15A	*	*	
MC15B	*	*	
MC3A	*	*	
MC5B	*	*	
MC10A	*	*	
MA10B	*	*	
MA15A	*	*	
MA15B	*	*	
MA5A	*	*	
MA5B	*	*	
MA10A	*	*	
MA20A	*	*	
MA30A	*	*	
MA30B	*	*	
MA35A	*	*	
MA20B	*	*	
MA25A	*	*	
MA25B	*	*	
MC60A	*	*	
MC60B	*	*	
MC50B	*	*	
MC55A	*	*	
MC55B	*	*	
MC25B	*	*	
MC30A	*	*	
MC30B	*	*	

Gambar 28. Hasil Pengelompokkan Model SIMCA

Diagram alir prosedur tahapan metode PCA dapat dilihat pada Gambar 29 berikut:



Gambar 29. Diagram Alir Metode SIMCA

3.4.3. Menguji Model Menggunakan Matriks Konfusi

Matriks konfusi merupakan hasil klasifikasi sampel yang diperoleh dari pengolahan data menggunakan metode SIMCA dalam bentuk tabel hasil. Fungsi utama matriks konfusi adalah untuk menguji serta memprediksi ketepatan klasifikasi suatu objek, apakah tepat atau tidak. Matriks ini menghasilkan beberapa parameter keluaran, seperti akurasi, sensitivitas, spesifisitas, dan *error* (Lavine *et al.*, 2009). Dalam penelitian ini, matriks konfusi digunakan untuk menghitung nilai-nilai tersebut. Contoh matriks konfusi dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Matriks Konfusi

	Kelas A (aktual)	Kelas B (aktual)
Hasil model SIMCA A	TP (a)	FP (b)
Hasil model SIMCA B	FN (c)	TN (d)

Perhitungan :

$$1. \text{ Akurasi (AC)} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FN+FP} \times 100\% \dots\dots\dots(7)$$

$$2. \text{ Sensitivitas (S)} = \frac{TP}{TP+FN} \times 100\% \dots\dots\dots(8)$$

$$3. \text{ Spesifisitas (SP)} = \frac{TN}{TN+FP} \times 100\% \dots\dots\dots(9)$$

$$4. \text{ Error} = \frac{FP+FN}{TP+FP+FN+TN} \times 100\% \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan :

TP : Sampel Kelas A yang sudah sesuai kelasnya (*True Positive*)

FP : Sampel Kelas A yang tidak sesuai kelasnya (*False Positive*)

FN : Sampel Kelas B yang tidak sesuai kelasnya (*False Negative*)

TN : Sampel Kelas B yang sudah sesuai kelasnya (*True Negative*) (Lavine *et al.*, 2009)

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Hasil analisis menggunakan *Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy* menunjukkan bahwa pencampuran madu *Tetrigona apicalis* murni dengan sirup beras pada tingkat 10% -60% menghasilkan perubahan signifikan pada intensitas fluoresensi. Intensitas fluoresensi menunjukkan peningkatan pada sampel madu campuran (MC) ketika terjadi pencampuran madu asli (MA) dengan sirup beras (SB), yang mengindikasikan bahwa penambahan bahan pemanis menyebabkan penyimpangan dari karakteristik keaslian madu murni.
2. PCA yang dibangun dengan data spektra original dari sampel MA, MC, dan SB berhasil memisahkan pola sampel dengan sangat baik ditunjukkan oleh nilai PC-1 sebesar 98% dan PC-2 sebesar 2%, sehingga varian data dapat dijelaskan sepenuhnya 100%. Data *pretreatment* dengan metode *original* + SMA 3 *segment* menghasilkan pola yang serupa dengan data asli dan juga menjelaskan varian data secara lengkap. Namun, PCA pada data hasil *pretreatment normalize* + SMA 3 *segment* menunjukkan pola sampel yang belum sepenuhnya terpisah karena beberapa sampel masih tumpang tindih dengan PC kumulatif sebesar 98%. Model SIMCA yang dikembangkan menggunakan data original dan *pretreatment original* + *smoothing moving average 3 segment* untuk sampel SB-MA maupun SB-MC menunjukkan performa klasifikasi yang sangat baik dengan akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas mencapai 100% serta *error* 0%, yang termasuk kategori klasifikasi sempurna (*excellent classification*). Sebaliknya, pada sampel MA-MC dengan data original, performa klasifikasi buruk dengan akurasi 57% dan *error* hampir 43%. Namun

setelah *pretreatment normalize* + *SMA 3 segment* performa membaik dengan akurasi 93%, sensitivitas 100%, spesifisitas 89%, dan *error* 7%, yang masuk kategori klasifikasi baik (*good classification*). Penelitian ini menegaskan bahwa metode *portable spectroscopy* yang dipadukan dengan analisis SIMCA efektif dalam membedakan madu *Tetrigona apicalis* yang dicampur dengan sirup beras.

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan pendekatan kuantitatif dengan menerapkan metode *Partial Least Squares* (PLS) guna mengestimasi konsentrasi campuran sirup beras dalam madu. Pendekatan ini penting untuk memberikan informasi yang lebih mendalam, tidak hanya dalam mendeteksi keberadaan pemalsuan tetapi juga dalam menentukan persentase campuran yang terkandung dalam produk madu secara lebih akurat dan presisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Achyani, & Wicandra, D. (2019). *Kiat Praktis Budidaya Lebah Trigona (Heterotrigna itama)*. CV. Laduny Alifatama.
- Alhamdani, M. H. J., Syauqy, D., & Prasetyo, B. H. (2022). Sistem Klasifikasi Kualitas Jenis-Jenis Madu berdasarkan Warna, Kecerahan, dan pH menggunakan Metode JST Backpropagation. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 6(6), 2548–2964. <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- Asriani, F., & Minarni. (2015). Analisa Pengaruh Panjang Gelombang Sumber Cahaya Penginduksi Fluoresensi Terhadap Fluoresensi Klorofil Pada Daun Bayam Yang Dipengaruhi Variasi Sinar Matahari. *Komunikasi Fisika Indonesia*, 12(10), 629–636. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.31258/jkfi.12.10.629-636>
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *SNI 3544:2013 Sirup*. Badan Standardisasi Nasional.
- Biluca, F. C., Della Betta, F., de Oliveira, G. P., Pereira, L. M., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2014). 5-HMF and carbohydrates content in stingless bee honey by CE before and after thermal treatment. *Food Chemistry*, 159, 244–249. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.016>
- Brackett, R. (2008). High-Fructose Corn Syrup A Guide for Consumers, Policymakers and The Media. *GMA*.
- Codex Alimentarius Commission. (1981). Revised codex standard for honey codex Stan 12-1981, Rev. 1 (1987), Rev. 2 (2001). *Codex Standard*, 12, 1–7.
- Da Silva, P. M., Gauche, C., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2016). Honey: Chemical composition, stability and authenticity. *Food Chemistry*, 196, 309–323. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.051>
- Djajasaputra, M. R. S. (2010). *Potensi Budidaya Lebah Trigona dan Pemanfaatan Propolis Sebagai Antibiotik Alami Untuk Sapi PO (Skripsi)*. Institut Pertanian Bogor.

- Dramićanin, T., Acković, L. L., Zeković, I., & Dramićanin, M. D. (2018). Detection of Adulterated Honey by Fluorescence Excitation-Emission Matrices. *Journal of Spectroscopy*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2018/8395212>
- Ervandi, D. (2023). *Penggunaan Fluoresensi Spektroskopi Portabel Dan Metode Simca Untuk Uji Keaslian Madu Apis Mellifera Dari Nektar Bunga Kopi Yang Dicampur Dengan Dua Pemanis Buatan (Skripsi)*. Universitas Lampung.
- Fakhlaei, R., Selamat, J., Khatib, A., Razis, A. F. A., Sukor, R., Ahmad, S., & Babadi, A. A. (2020). The Toxic Impact of Honey Adulteration : A Review The Toxic Impact of Honey Adulteration : A Review. *Foods*, 9(1538).
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods9111538>
- Fatma, I. I., Haryanti, S., Widodo, S., & Suedy, A. (2017). Uji Kualitas Madu Pada Beberapa Wilayah Budidaya Lebah Madu di Kabupaten Pati. *Jurnal Biologi*, 6(2), 58–65.
- Ferreira, I, C, F, R., Aires, E., Barreira, J, C, M & Estevinho, L, M. (2009). Antioxidant activity of Portuguese honey samples: Different contributions of the entire honey and phenolic extract. *Food Chemistry*, 114(4), 1438–1443.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.028>
- Frausto-Reyes, C., Casillas-Peñuelas, R., Quintanar-Stephano, J. L., Macías-López, E., Bujdud-Pérez, J. M., & Medina-Ramírez, I. (2017). Spectroscopic study of honey from *Apis mellifera* from different regions in Mexico. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 178, 212–217. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.saa.2017.02.009>
- Galindo-prieto, B. (2017). *Novel variable influence on projection (VIP) methods in OPLS, O2PLS, and OnPLS models for single- and multi- block variable selection : VIPOPLS, VIPO2PLS, and MB-VIOP methods*. Umeå University.
- Harjanto, S., Mujiyanto, M., Arbainsyah, & Ramlan, A. (2020). *Budidaya Lebah Madu Kelulut Sebagai Alternatif Mata Pencaharian Masyarakat*.
- IJ, F., AB, M. H., I, S., & M, L. (2018). Physicochemical Characteristics of Malaysian Stingless Bee Honey from *Trigona* Species. *IIUM Medical Journal Malaysia*, 17(1 SE-). <https://doi.org/10.31436/imjm.v17i1.1030>
- Kementerian Lingkungan Hidup & Kehutanan. (2021). Status Hutan dan Kehutanan Indonesia 2020. In *Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Republik Indonesia*.
- Kerisna, V., Diba, F., & Wulandari, R. S. (2019). Identifikasi Jenis Lebah *Trigona spp.* Pada Zona Pemanfaatan Hutan Desa Menua Sadap Kecamatan Embaloh Hulu Kabupaten Kapuas Hulu. *Jurnal Tengkwang*, 9(2), 82–91.

- Kholis, M. (2023). *Studi Pencampuran Madu Lebah Tidak Bersengat (Tetrigona apicalis) Dengan Pemanis Buatan HFCS 55 dan Sirup Beras Menggunakan UV-Vis Spektroskopi Tipe Benchtop dan Metode SIMCA (Skripsi)*. Universitas Lampung.
- Khotimah, A. (2023). *Penggunaan Teknologi Spektroskopi Fluoresensi Portabel dan Metode SIMCA Untuk Autentikasi Madu Lebah Hutan (Apis dorsata) (Skripsi)*. Universitas Lampung.
- Lakowicz, J. R. (2006). *Principles of Fluorescence Spectroscopy* (3rd Ed). USA: University of Maryland School of Medicine Baltimore.
- Lavine, B. K., Walczak, B., Tauler, B., & Brown, S. (2009). Comprehensive Chemometric: Chemical and Biochemical Data Analysis. *Validation of Classifiers*, 587–599.
- Miller, J. N., & Miller, J. C. (2000). *Statistics and Chemometrics for Analytical Chemistry*. Prentice Hall.
<https://books.google.co.id/books?id=oTZHAQAIAAJ>
- Nikolova, K., Eftimov, T., & Aladjadjian, A. (2014). Fluorescence Spectroscopy as Method for Quality Control of Honey. *Advances in Research*, 2(2), 95–108. <https://doi.org/https://doi.org/10.9734/AIR/2014/7184>
- Nurchahyo, B. (2015). Identifikasi Dan Autentikasi Meniran (*Phyllanthus Niruri*) Menggunakan Spektrum Ultraviolet Tampak Dan Kemometrika (Skripsi). In *Institut Pertanian Bogor. Bogor*. <https://id.123dok.com/document/7q0kv93y-identifikasi-autentikasi-phyllanthus-menggunakan-kombinasi-spektrum-ultraviolet-kemometrika.html>
- Nurrahmi, M., Saepudin, R., & Zain, B. (2018). Strategi Pemasaran Madu Hutan di Kota Bengkulu. *Jurnal Sain Peternakan Indonesia*, 13(2), 13–20.
<https://doi.org/10.35989/mapetari.v4i1.2>
- O'haver, T. (2024). A Pragmatic Introduction to Signal Processing. *Department of Chemistry and Biochemistry, University of Maryland, August*, 1–546.
<https://terpconnect.umd.edu/~toh/spectrum/IntroToSignalProcessing.pdf>
- Obeidat, S., Bai, B., Rayson, G. D., Anderson, D. M., Puscheck, A. D., Landau, S. Y., & Glasser, T. (2008). A Multi-Source Portable Light Emitting Diode Spectrofluorometer. *Applied Spectroscopy*, 62(3), 327–332.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1366/000370208783759722>
- Paula, V. B., Sousa-Dias, M. L., Seixas, N. L., Combarros-Fuertes, P., Estevinho, L. M., & Dias, L. G. (2024). Phenolic Class Analysis in Honey: Comparison of Classical and Single UV Spectrum Methodologies. *Processes*, 12(10), 1–17. <https://doi.org/10.3390/pr12102297>

- Putra, N. S., Watiniasih, N. L., & Suartini, M. (2016). Jenis Lebah *Trigona* (Apidae: Meliponinae) Pada Ketinggian Tempat Berbeda Di Bali. *Jurnal Simbiosis*, 4(1), 6–9.
- Rasmussen, C. (2008). Catalog of the Indo-Malayan/Australasian stingless bees (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). In *Magnolia Press*.
- Rich, Noah, W., Allin, K., Carreck, N., & Andrea, Q. (2014). *The Bee Natural history* (T. Kitch (ed.)). Princeton University press.
- Rohman, A. (2014). *Statistika dan Kemometrika Dasar dalam Analisis Farmasi* (Cetakan 1). Pustaka Belajar.
- Sádecká, J., & Tóthová, J. (2007). Fluorescence spectroscopy and chemometrics in the food classification - A review. *Czech Journal of Food Sciences*, 25(4), 159–173. <https://doi.org/10.17221/687-cjfs>
- Standar Nasional Indonesia. (2004). *SNI 01-3545-2004 Madu*. Badan Standardisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2013). *SNI 01-3545- 2013 Madu*. Badan Standardisasi Nasional.
- Stanković, M., Prokopijević, M., Šikoparija, B., Nedić, N., Andrić, F., Polović, N., Natić, M., & Radotić, K. (2023). Using Front-Face Fluorescence Spectroscopy and Biochemical Analysis of Honey to Assess a Marker for the Level of Varroa destructor Infestation of Honey Bee (*Apis mellifera*) Colonies. *Foods*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/foods12030629>
- Sugianti, C., Apratiwi, N., Suhandy, D., Telaumbanua, M., Waluyo, S., Yulia, M., Jurusan Teknik Pertanian, M., Pertanian, F., Jurusan Teknik Pertanian, D., Lampung, U., Jurusan Teknologi, D., Negeri Lampung, P., & Penulis, K. (2016). Studi Penggunaan Uv-Vis Spectroscopy Untuk Identifikasi Campuran Kopi Luwak Dengan Kopi Arabika Studies on the Use of Uv-Vis Spectroscopy for Identification of Blending of Civet Coffee With Arabica Coffee. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung Vol*, 5(31), 167–176.
- Suhandy, D., Al Riza, D. F., Yulia, M., Kusumiyati, K., Telaumbanua, M., & Naito, H. (2024). Rapid Authentication of Intact Stingless Bee Honey (SBH) by Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy and Chemometrics. *Foods*, 13(22), 1–18. <https://doi.org/10.3390/foods13223648>
- Suhandy, D., & Yulia, M. (2019). *Tutorial Analisis Data Spektra Menggunakan The Unscrambler*. Graha Ilmu.
- Suhandy, D., Yulia, M., Kusumiyati, K., Suharyatun, S., & Waluyo, S. (2021). Investigasi Pengaruh Pengenceran Sampel Madu Pada Proses Klasifikasi Madu Menggunakan Uv Spectroscopy dan Kemometrika. In *Jurnal*

Teknologi & Industri Hasil Pertanian (Vol. 26, Issue 2, pp. 72–82).
<https://doi.org/10.23960/jtihip.v26i2.72-82>

- Suranto, A. (2004). *Khasiat & Manfaat Madu Herbal*. Agromedia Pustaka.
- Syamsul, T. D., Lala, & Syaharuddin. (2022). Kandungan fitokimia , polifenol dan flavonoid madu trigona (*Tetragonula biroii*) Bone, Sulawesi-Selatan. *Journal of Training and Community Service Adpertisi (JTCSA)*, 2(2), 62–70. <https://jurnal.adpertisi.or.id/index.php/JTCSA/article/view/424>
- Szczęsna, T., Waś, E., Semkiw, P., Skubida, P., Jaśkiewicz, K., & Witek, M. (2021). Changes in the Physicochemical Properties of Starch Syrups after Processing by Honeybees. In *Agriculture* (Vol. 11, Issue 4). <https://doi.org/10.3390/agriculture11040335>
- Szukay, B., Gałęcki, K., Kowalska-Baron, A., Budzyński, J., & Fisz, J. J. (2024). Application of Steady-State and Time-Resolved Fluorescence Spectroscopy in Identification of Bee Products. *Food Analytical Methods*, 1312–1326. <https://doi.org/10.1007/s12161-024-02667-w>
- Ustadi, Radiati, E. R., & Thohari, I. (2017). Komponen Bioaktif Pada Madu Karet (*Hevea brasiliensis*) Madu Kaliandra (*Calliandra callothyrsus*) Dan Madu Randu (*Ceiba pentandra*). *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Hasil Ternak*, 12(2), 97–102. <https://doi.org/DOI: /10.21776/ub.jitek.2017.012.02.6>
- Wang, H., Hu, R., Zhai, Z., & Zhang, M. (2021). Identification Of Tomatoes With Early Decay Using Visible And Near Infrared Hyperspectral Imaging And Image-spectrum Merging Technique. *Journal of Food Process Engineering*, 44(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpe.13654>
- Yaakob, M., Rohman, A., & Mansor, T. (2011). Differentiation of Lard From Other Edible Fats and Oils by Means of Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Chemometrics. *Journal of Oil & Fat Industries*, 88, 187–192. <https://doi.org/10.1007/s11746-010-1659-x>
- Zacharioudaki, D. E., Fitis, I., & Kotti, M. (2022). Review of Fluorescence Spectroscopy in Environmental Quality Applications. *Molecules*, 27(4801). <https://doi.org/10.3390/molecules27154801>
- Zaidi, M., Nurrohman, N., & Kudriah. (2021). MADU DALAM AL-QUR'AN (Studi Penafsiran Qs. An-Nahl : 68-69). *Al Muhafidz: Jurnal Ilmu Al-Qur'an Dan Tafsir*, 1(2), 121–135. <https://doi.org/10.57163/almuhafidz.v1i2.22>