

**PENGGUNAAN SPEKTROSKOPI FLUORESENSI PORTABEL DAN
METODE SIMCA UNTUK UJI KEASLIAN MADU *Apis mellifera* DARI
NEKTAR BUNGA KOPI YANG DICAMPUR DENGAN
DUA PEMANIS BUATAN**

(Skripsi)

Oleh

DICKY ERVANDI



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

**PENGGUNAAN SPEKTROSKOPI FLUORESENSI PORTABEL DAN
METODE SIMCA UNTUK UJI KEASLIAN MADU *Apis mellifera* DARI
NEKTAR BUNGA KOPI YANG DICAMPUR DENGAN
DUA PEMANIS BUATAN**

Oleh

DICKY ERVANDI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

PENGUNAAN SPEKTROSKOPI FLUORESENSI PORTABEL DAN METODE SIMCA UNTUK UJI KEASLIAN MADU *Apis mellifera* DARI NEKTAR BUNGA KOPI YANG DICAMPUR DENGAN DUA PEMANIS BUATAN

OLEH

DICKY ERVANDI

Madu dengan nektar bunga kopi adalah madu asli yang terbentuk dari nektar bunga yang didominasi bunga kopi dan dihisap oleh lebah *Apis mellifera* yang dibudidayakan dengan sengaja di perkebunan kopi. Di Indonesia, sering dijumpai beberapa kasus pemalsuan kandungan madu yang menyebabkan rasa manis alami dari madu yang dikonsumsi menjadi hilang. Karena prosesnya yang begitu lama, maka banyak biaya yang harus dikeluarkan untuk mendapatkan madu dengan kandungan manis alami. Penelitian ini menggunakan 2 bahan pemanis buatan sebagai pencampurnya yaitu sirup jagung dan sirup beras. Alat dan metode yang digunakan yaitu spektroskopi fluoresensi portabel dan metode SIMCA.

Sampel madu *Apis mellifera* asli yang digunakan sebanyak 20 sampel dan madu campuran (MC) sebanyak 120 sampel dengan masing-masing 2 kali pengulangan. Data spektra emisi diukur pada rentang panjang gelombang 300-800 nm yang dieksitasi pada panjang gelombang 365 nm. Data spektra original ditransformasi menggunakan beberapa *pretreatment* untuk mendapatkan akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas yang baik. *Pretreatment* menggunakan data *original + smoothing moving average* mampu mengklasifikasi sampel dengan benar dan memberikan nilai sempurna pada akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas sebesar 100%. Sedangkan nilai dari PC kumulatif yang merupakan salah satu tahap dari metode SIMCA mendapatkan nilai sebesar 92% yang artinya sudah dapat menjelaskan varian data dengan baik. Hasil dari Plot *x-loading* berada pada puncak gelombang 378 dan 460 nm sehingga dapat diindikasikan adanya senyawa flavonoid dan fenolik pada panjang gelombang tersebut. Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu melakukan penelitian dengan menggunakan bahan pemanis lain yang banyak beredar di masyarakat sekaligus berpotensi untuk menjadi bahan pencampur madu oleh oknum yang tidak bertanggung jawab. Kemudian dapat juga menggunakan metode klasifikasi yang lain seperti LDA maupun PLS-DA.

Kata Kunci: madu *Apis mellifera*, sirup jagung, sirup beras, spektroskopi portabel, SIMCA.

ABSTRACT

THE APPLICATION OF PORTABLE FLUORESCENCE SPECTROSCOPY AND SIMCA METHOD TO TEST THE AUTHENTICITY OF HONEY *Apis mellifera* FROM COFFEE FLOWER NECTAR ADULTERATED WITH TWO ARTIFICIAL SWEETENERS

By

DICKY ERVANDI

*Honey with coffee flowers nectar is native honey formed from flower nectar which is dominated by coffee flowers and collected by *Apis mellifera* bees which are deliberately cultivated in the coffee plantations. In Indonesia, there are often cases of counterfeiting honey content which causes the natural sweetness of the honey consumed to be lost. Because the process is so long, it costs a lot to get honey with a naturally sweet content. This study used 2 synthetic sweeteners as a adulterant, namely corn syrup and rice syrup. The device and methods used are portable fluorescence spectroscopy and the SIMCA method.*

*Pure *Apis mellifera* honey samples were used as many as 20 samples and mixed honey (MC) as many as 120 samples with 2 repetitions each. Emission spectra data were measured at a wavelength range of 300-800 nm, which is excited at a wavelength of 365 nm. The original spectral data was transformed using several pre-treatments to obtain better accuracy, sensitivity, and specificity. Pretreatment using original data + smoothing moving average can classify samples correctly and gives perfect scores on accuracy, sensitivity, and specificity of 100%. While the value of the cumulative PC which is one of the stages of the SIMCA method gets a value of 92%, which means it can explain the variance of the data well. The results of the x-loading plot are at the peak of the wave 378 and 460 nm so that it can be indicated the presence of flavonoids and phenolic compounds at that wavelength. Suggestions for further research are conducting research using other sweeteners that are widely circulating in the community as well as having the potential to be used as an ingredient for mixing honey by irresponsible persons. Then you can also use other classification methods such as LDA and PLS-DA.*

Keywords: *Apis mellifera* honey, corn syrup, rice syrup, Portable Spectroscopy, SIMCA.

Judul Skripsi : **PENGGUNAAN SPEKTROSKOPI FLUORESENSI PORTABEL DAN METODE SIMCA UNTUK UJI KEASLIAN MADU *Apis mellifera* DARI NEKTAR BUNGA KOPI YANG DICAMPUR DENGAN DUA PEMANIS BUATAN**

Nama Mahasiswa : **Dicky Ervandi**


Nomor Pokok Mahasiswa : **1914071054**

Jurusan : **Teknik Pertanian**

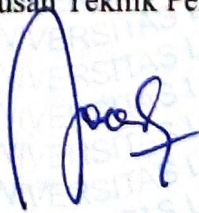
Fakultas : **Pertanian**




Dr. Ir. Sapto Kuncoro, M.S.
NIP. 195910311987031003


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

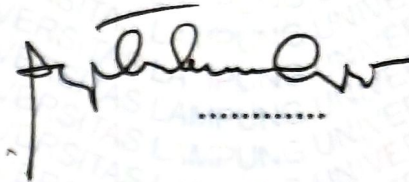
Ketua Jurusan Teknik Pertanian


Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si
NIP. 196210101989021002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

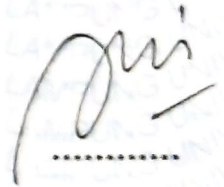
Ketua : Dr. Ir. Sapto Kuncoro, M.S.



Sekretaris : Prof. Dr. Agr. Sc. Diding Suhandy, S.TP., M.Agr.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Ir. Warji, S.TP., M.Si., IPM.**

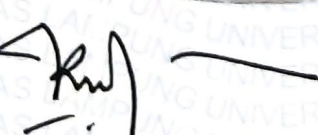


2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.

NIP. 196110201986031002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 29 Mei 2023

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah **Dicky Ervandi** NPM 1914071054.

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing, 1) **Dr. Ir. Sapto Kuncoro, M.S.** dan 2) **Prof. Dr. Agr. Sc. Diding Suhandy, S.TP., M.Agr.** 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 ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 05 Juni 2023

Yang membuat pernyataan




Dicky Ervandi
NPM 1914071054

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, Provinsi Lampung pada tanggal 03 Maret 2001. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara, dari pasangan Bapak M. Sidik dan Ibu Susilawati. Penulis menempuh pendidikan Taman Kanak-kanak (TK) di TK Yuridesma Sari pada tahun 2007. Pendidikan Sekolah Dasar (SD) dilanjutkan di SD Negeri 1 Surabaya dan lulus pada tahun 2013. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) di MTS N 2 Bandar Lampung dan lulus pada tahun 2016 dan pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) diselesaikan di SMK N SMTI Bandar Lampung jurusan Kimia Analis pada tahun 2019.

Tahun 2019, penulis terdaftar sebagai salah satu mahasiswa Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Bulan Januari hingga Februari 2022, penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode 1 Tahun 2022 di Desa Tanjung Raya, Kecamatan Kedamaian, Kota Bandar Lampung selama 40 hari. Bulan Juli hingga Agustus 2022 selama 40 hari, penulis telah melaksanakan Praktik Umum (PU) di Balai Penyuluhan Pertanian (BPP) Kecamatan Sukabumi, Kota Bandar Lampung, dengan judul “Penggunaan Alat Mesin Pertanian Pemipil Jagung (*Corn Sheller*) Dalam Penanganan Hasil Panen Jagung Di Kelurahan Way Gubak, Kecamatan Sukabumi, Bandar Lampung” Selama menjadi mahasiswa, penulis tercatat aktif dalam organisasi/Lembaga Kemahasiswaan internal kampus tingkat Jurusan Teknik Pertanian sebagai anggota Keprofesian Perhimpunan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada periode 2021.

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahrabbi'l'alamin

Saya Persembahkan **Karya** Ini Kepada :

Allah SWT yang telah melimpahkan segala Karunia, Rahmat, Serta Hidayah-Nya.
Sehingga dapat menyelesaikan karya ini.

Orang Tua, ibu **Dra. Susilawati** dan ayah **Drs. Hi. M. Sidik SY** (Rahimahullah)
yang selalu mengupayakan segala yang dibutuhkan oleh saya, baik berupa tenaga,
pikiran, doa, kasih sayang, kepercayaan serta materi.

Kakak **Yessi Wulandari**, yang telah memberikan dukungan semangat serta doa-
doa yang dipanjatkan.

Teman-teman seperjuangan dan almamater tercinta
“Teknik Pertanian Universitas Lampung 2019”

SANWACANA

Segala puji bagi Allah ﷻ, tidak ada ilmu selain apa yang Ia ajarkan kepada kami. Muara bagi seluruh kekaguman, tidak ada kemudahan selain yang Ia jadikan mudah. Saya ucapkan rasa syukur atas ArRahman dan ArRahim-Nya, memberi kesempatan menuntut ilmu sehingga menyadari betapa sedikitnya ilmu yang dimiliki dihadapan ilmu-Nya yang tak terbatas. Sholawat teriring salam semoga selalu tercurah kepada Baginda Rasulullah Muhammad ﷺ, dan keluarga serta para sahabatnya. Skripsi yang berjudul **“PENGUNAAN FLUORESENSI SPEKTROSKOPI PORTABEL DAN METODE SIMCA UNTUK UJI KEASLIAN MADU *Apis mellifera* DARI NEKTAR BUNGA KOPI YANG DICAMPUR DENGAN DUA PEMANIS BUATAN”** adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di Universitas Lampung.

Penulis menyadari dan memahami dalam penyusunan skripsi ini terdapat banyak kesalahan dan kekurangan. Teriring terimakasih kepada semua pihak yang meluangkan waktunya untuk memberikan dukungan, bimbingan, bantuan, dan arahan dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan tugas akhir ini, yang di antaranya adalah:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung atas dukungannya dalam administrasi skripsi ini.
2. Bapak Dr Ir. Sandi Asmara, M.Si., selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Ir. Supto Kuncoro, M.S., selaku pembimbing akademik sekaligus dosen pembimbing pertama yang telah memberikan banyak nasihat,

bimbingan, motivasi dan ilmu kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi maupun perkuliahan.

4. Bapak Prof. Dr. Agr. Sc. Diding Suhandy, S.TP., M.Agr., selaku dosen pembimbing kedua yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, nasihat, saran, dan motivasi pada berbagai tahap penyelesaian skripsi.
5. Bapak Dr. Ir. Warji, S.T.P., M.Si., IPM., selaku dosen pembahas yang telah memberikan nasihat, saran, dan kritik yang membangun selama proses penyusunan skripsi.
6. Seluruh Dosen Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung yang dengan ikhlas menyampaikan ilmunya sejak awal perkuliahan, memberi nasihat, dan motivasi, serta teladan yang baik bagi seluruh mahasiswanya.
7. Ibuku Dra. Susilawati, Ayahku Drs. H. M. Sidik SY. (rahimahullah), kakakku Yessi Wulandari, serta seluruh keluarga atas dukungan, nasihat-nasihat terbaik, cinta yang begitu luas, dan doanya yang tidak pernah terputus.
8. Sahabatku, Irkham Eviyansyah, M. Asvi Ramadhani, Sindi Palupi dan Tiara andini yang telah memberikan banyak motivasi kepada penulis untuk semangat dalam mengerjakan skripsi.
9. NIM 1913351068 yang telah kebersamai penulis dan menjadi *support system* yang baik selama penyusunan skripsi berlangsung.
10. Teman seperjuangan skripsi Ainun Khotimah dan Yesi Rahayu yang telah kebersamai penulis selama penelitian.
11. Keluarga Teknik Pertanian 2019 atas rasa kekeluargaan, semangat dan dukungannya selama perkuliahan.

Terimakasih kepada semua pihak yang tidak dapat penulis eja satu per satu dalam kertas yang terbatas ini. Semoga Allah SWT limpahkan balasan terbaik, dan ridha-Nya, serta semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung, 05 Juni 2023

Penulis,

Dicky Ervandi

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Hipotesis	5
1.6 Batasan Masalah	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Madu	6
2.2 Madu Nektar Bunga Kopi.....	7
2.3 Jenis – Jenis Madu	9
2.4 Pemalsuan dan Keaslian Madu	10
2.4 <i>High Fructose Corn Syrup</i> (HFCS).....	13
2.5 <i>Rice Malt Syrup</i> (RMS)	13
2.6 <i>Portable Spectroscopy</i>	14
2.7 Metode Kemometrika	18
2.7.1 <i>Principal Component Analysis</i> (PCA).....	18
2.7.2 <i>Soft Independent Modeling of Class Analogies</i> (SIMCA).....	21
2.7.3 <i>Confusion Matrix</i>	22
2.7.4 <i>Pretreatment</i>	24
III. METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Waktu dan Tempat.....	27

3.2	Alat dan Bahan	27
3.3	Prosedur Penelitian	27
3.3.1	Persiapan Alat.....	29
3.3.2	Persiapan Bahan.....	29
3.3.3	Pengambilan Spektra Madu.....	33
3.4	Analisis Data.....	36
3.4.1	Membangun Model Klasifikasi Menggunakan <i>Principal Component Analysis (PCA)</i>	37
3.4.2	Membangun Model Klasifikasi Menggunakan Analisis <i>Soft Independent Modelling of Class Analogy (SIMCA)</i>	44
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	50
4.1	Analisis Spektra Madu <i>Apis mellifera</i> Nektar Bunga Kopi.....	50
4.1.1	Analisis Spektra Madu <i>Apis mellifera</i> Nektar Bunga Kopi Asli dan Campuran Menggunakan Data Spektra <i>Original</i>	50
4.1.2	Analisis Spektra Madu <i>Apis mellifera</i> Nektar Bunga Kopi Asli dan Campuran Menggunakan Data Spektra <i>Original + Smoothing Moving Average 9 Segment</i>	52
4.2	Hasil <i>Principal Component Analysis (PCA)</i>	55
4.2.1	Hasil Analisis PCA Terhadap Data Spektra <i>Original</i>	55
4.2.2	Hasil Analisis PCA Terhadap Data Spektra <i>Original + Smoothing Moving Average 9 Segment</i>	58
4.3	Model <i>Soft Independent Modelling of Analogy (SIMCA)</i>	60
4.3.1.	Model <i>Soft Independent Modelling of Class Analogy (SIMCA)</i> Menggunakan Data Spektra <i>Original</i>	61
4.3.2.	Model <i>Soft Independent Modelling of Class Analogy (SIMCA)</i> Menggunakan Data Spektra dengan <i>Pretreatment Original + Smoothing Moving Average 9 Segment</i>	63
4.4.	Klasifikasi Menggunakan Sampel Baru (sampel prediksi)	64
4.4.1.	Klasifikasi Menggunakan Data <i>Original</i>	64
4.4.2.	Klasifikasi Menggunakan Data <i>Pretreatment Original + Smoothing Moving Average 9 Segment</i>	65
4.5	<i>Coomans Plot</i>	66
4.5.1.	<i>Coomans Plot</i> Data Spektra <i>Original</i>	67
4.5.2.	<i>Coomans Plot</i> Data Spektra <i>Pretreatment Original + Smoothing Moving Average 9 Segment</i>	67
4.6.	Kurva <i>Receiver Operating Characteristic (ROC)</i>	68
4.6.1.	Kurva ROC Menggunakan Data Spektra <i>Original</i>	69

4.6.2. Kurva ROC Menggunakan Data <i>Spektra Original</i> + <i>Smoothing Moving Average 9 Segment</i>	70
V. KESIMPULAN DAN SARAN	72
5.1 Kesimpulan	72
5.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Madu kopi (sumber : Dokumen pribadi).....	8
2. Denah lokasi pemanenan sampel di lereng Gunung Muria, Jawa Tengah	8
3. Perbandingan warna madu <i>Apis mellifera</i> (a) (Sumber : Dokumen pribadi) dan <i>Heterogtrigona itama</i> (b) (Sumber : Annisy, 2022).....	9
4. Spektroskopi portabel dari GoyaLab	15
5. Jablonski diagram (Sumber: Lakowicz, 2006).....	16
6. Diagram lifetime fluoresensi dan fosforesensi (Sumber : Lakowicz, 2006)....	17
7. Spektrum fluoresensi dengan fosforesensi (Sumber :Lakowicz, 2006).....	17
8. Diagram alir prosedur penelitian.....	28
9. Sampel madu kopi.....	29
10. HFCS-55	29
11. RMS	29
12. Pemanasan sampel	30
13. Sampel yang telah dicampur bahan pemanis	30
14. <i>Line plot</i> PCA yang didapatkan dari data pengenceran sampel (Sumber : penelitian pendahuluan).....	31
15. <i>Plot Score</i> pada PCA dari data pengenceran sampel (Sumber : penelitian pendahuluan).....	31
16. Pengadukan menggunakan <i>magnetic stirrer</i>	31
17. Diagram alir pengambilan spektra	33
18. Pemilihan modul pada aplikasi	34
19. Mengatur pengukuran pada aplikasi	34
20. Kalibrasi alat spektroskopi.....	35
21. Pengambilan spektra madu	35
22. Data spektra hasil percobaan sampel madu	36

23. Penyimpanan data spektra yang telah didapat	36
24. Mengimport data dari <i>Microsoft Excel</i>	38
25. Mentranspose data di aplikasi <i>The Unscrambler 10.4</i>	38
26. Membuat kolom <i>Category Variable</i>	39
27. Menambahkan <i>Level Name</i>	39
28. Pengisian jenis madu sesuai kelasnya	40
29. Menambahkan kolom untuk penomoran KALVALPRED	40
30. Menentukan KALVALPRED	41
31. Memilih proses membuat model dengan PCA.....	42
32. <i>Model inputs</i>	42
33. <i>Weights</i>	43
34. <i>Validation</i>	43
35. <i>Algorithm</i>	44
36. Memilih proses SIMCA	45
37. <i>Classify Using SIMCA</i>	45
38. Tabel klasifikasi SIMCA	46
39. Contoh <i>pretreatment</i>	47
40. Proses <i>pretreatment</i> MSC	48
41. Proses <i>pretreatment</i> SNV.....	48
42. Proses <i>Smoothing Moving Average</i>	49
43. Grafik nilai rata-rata spektra emisi original MA, MC (<i>LOW, MID, HIGH</i>), bahan pemanis RMS dan HFCS.	51
44. Grafik nilai rata-rata spektra emisi <i>original + Smoothing Moving Average 9 Segment</i> MA, MC (<i>LOW, MID, HIGH</i>), bahan pemanis RMS dan HFCS.....	53
45. Hasil PCA data spektra emisi <i>original</i> yang diukur pada panjang gelombang 365 nm berdasarkan sampel MA dan MC dengan kelas MA, <i>LOW, MID</i> dan <i>HIGH</i>	55
46. Grafik <i>x-loadings</i> PC-1 dan PC-2 hasil PCA menggunakan data spektra emisi <i>original</i> yang diukur pada panjang gelombang 365 nm berdasarkan sampel MA dan MC.....	57

47. Hasil PCA data spektra <i>original</i> + <i>Smoothing Moving Average 9 Segment</i> berdasarkan sampel MA dan MC	58
48. Grafik <i>x-loadings</i> PC-1 dan PC-2 hasil PCA menggunakan data spektra <i>original</i> + <i>Smoothing Moving Average 9 Segment</i> berdasarkan sampel MA dan MC	59
49. Model SIMCA MA menggunakan data spektra <i>original</i> berdasarkan sampel MA	61
50. Model SIMCA MC menggunakan data spektra <i>original</i> berdasarkan sampel MC	62
51. Model SIMCA MA menggunakan data spektra dengan <i>pretreatment original</i> + <i>smoothing moving average 9 Segment</i> berdasarkan sampel MA ...	63
52. Model SIMCA MC menggunakan data spektra dengan <i>pretreatment original</i> + <i>smoothing moving average 9 segment</i> berdasarkan sampel MC	63
53. <i>Plot Coomans</i> hasil model SIMCA MA dan MC data spektra <i>original</i> berdasarkan sampel MA dan MC	67
54. <i>Plot Coomans</i> hasil model SIMCA MA dan MC data spektra <i>original</i> + <i>Smoothing Moving Average 9 Segment</i>	68
55. Kurva ROC klasifikasi berdasarkan kelas MA dan MC menggunakan data spektra <i>original</i>	69
56. Kurva ROC klasifikasi berdasarkan kelas MA dan MC menggunakan data spektra <i>original</i> + <i>smoothing moving average 9 segment</i>	71
57. Sampel RMS, madu murni, dan HFCS-55 yang dipanaskan	97
58. Kotak hitam (a) dan kain penutup (b)	97
59. Gelas beaker (a) dan gelas ukur (b)	97
60. Spatula (a) dan pipet tetes (b)	98

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Standar mutu madu (Sumber: Badan Standarisasi Nasional, 2018)	7
2. Matriks konfusi	23
3. Pemberian nomor sampel	32
4. Hasil perhitungan matriks konfusi dan nilai PC dari beberapa <i>pretreatment</i> ...	54
5. Matriks konfusi model SIMCA kelas MA dan kelas MC menggunakan data <i>original</i>	65
6. Matriks konfusi model SIMCA kelas MA dan kelas MC menggunakan data <i>original + Smoothing Moving Average 9 Segment</i>	66
7. Nilai sensitivitas dan 1-spesifisitas dari klasifikasi MA dan MC <i>Original</i> pada beberapa level signifikansi	69
8. Nilai sensitivitas dan 1-spesifisitas dari klasifikasi MA dan MC <i>original + Smoothing Moving Average 9 Segment</i> pada beberapa level signifikansi	70
<i>Lampiran</i>	
9. Hasil PCA menggunakan data <i>Original</i>	78
10. Hasil PCA menggunakan data <i>Original + Smoothing Moving Average 9 Segment</i>	85
11. Klasifikasi model SIMCA pada sampel MA dan MC data <i>original</i>	93
12. Klasifikasi model SIMCA pada sampel MA dan MC menggunakan data <i>original + Smoothing Moving Average 9 Segment</i>	95

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Madu merupakan salah satu produk yang bernilai tinggi dan mengandung karbohidrat (70-80% b/b), air (10-20% b/b), asam organik, enzim, vitamin dan protein (Baroni *et al.*, 2015). Komponen utama yang ada dalam karbohidrat madu adalah glukosa dan fruktosa. Tingginya glukosa dan fruktosa yang terkandung dalam madu membentuk ikatan hidrogen dalam air dan berperan dalam menjaga hidrasi kulit. Rata-rata masyarakat di Indonesia menjadikan madu sebagai alternatif yang bermanfaat untuk berbagai jenis penyakit, seperti meningkatkan daya tahan tubuh, meningkatkan ketahanan energi tubuh, serta kecantikan.

Honey with coffee blossom nectar atau “Madu dengan nektar bunga kopi” adalah madu asli yang terbentuk dari nektar bunga yang didominasi oleh bunga kopi yang dihisap lebah madu ternak yang dibudidayakan dengan sengaja di perkebunan kopi. *Apis mellifera* atau spesies lebah ini sering dibudidayakan pada saat musim mekarnya bunga pada tanaman kopi yang ada di perkebunan kopi. Di Indonesia, sering dijumpai beberapa kasus pemalsuan kandungan madu yang menyebabkan rasa manis alami dari madu yang dikonsumsi menjadi hilang. Karena prosesnya yang begitu lama, maka banyak biaya yang harus dikeluarkan untuk mendapatkan madu dengan kandungan manis alami. Dapat dilihat pada komposisi madu asli, ada banyak produsen yang sengaja mencampurkan sirup glukosa dan fruktosa dengan madu dikarenakan bahan utama pada madu yaitu karbohidrat, yang sebenarnya tidak cocok atau tidak layak untuk dipanen. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan keuntungan yang maksimal dengan modal yang dikeluarkan kecil.

Dipenuhi dengan hutan hujan tropis dan segala bentuk pertanian atau agrarinya, menjadikan daratan Indonesia sebagai primadona dalam berbagai jenis flora dan

fauna yang hidup dan juga saling menopangi organisme hidup yang lain. Ada juga interaksi di dalam flora dan fauna yang saling membutuhkan dan dibutuhkan, seperti contohnya pada lebah yang membutuhkan kehidupan bagi berbagai jenis tumbuhan dalam proses penyerbukan, atau bisa disebut juga dengan proses entomofili. Nektar dan polen yang terdapat pada bunga dan pucuk muda menarik lebah untuk dimanfaatkannya sebagai sumber karbohidrat dan protein untuk produksi madu. Oleh karena itu kandungan dan rasa madu yang diperoleh pada lebah sangat tergantung dari jenis makanan/nektar yang dihasilkan oleh lebah tersebut. Oleh karena itu, madu yang diperoleh dari lebah yang dibudidayakan secara agroekologi di sekitaran perkebunan kopi memiliki cita rasa lezat dan aroma yang khas sangat khas.

Penggunaan spektroskopi ultraviolet (UV) merupakan salah satu contoh teknik spektroskopi yang berpotensi untuk dikembangkan di Indonesia. Metode spektroskopi relatif akurat pada saat penelitian, dapat dengan mudah dioperasikan, memerlukan persiapan sampel uji yang minimal, dan yang terpenting spektrometer tersedia dengan harga yang sangat terjangkau untuk penelitian, sehingga memungkinkan proses hilirisasi teknologi dapat dilaksanakan. Pendekatan spektroskopi berbasis spektroskopi UV telah dicoba di Indonesia untuk memverifikasi keaslian produk pertanian seperti kopi dan teh. Sebagai contoh pada penelitian yang dilakukan oleh Annisy (2022) menggunakan spektroskopi untuk mengidentifikasi pemalsuan madu monoflora lebah tanpa sengat yang dicampur dengan bahan pemanis HFCS-55 dan Aris (2022) menggunakan spektroskopi untuk studi pencampuran madu tidak bersengat yang dicampur dengan sirup jagung. Kemudian Hadi *et al.* (2017) menggunakan spektroskopi untuk penentuan kadar polifenol dalam ekstrak teh kemasan. Cara-cara tersebut sudah teruji dan sudah banyak di Indonesia. Dari tinjauan literatur, pada penelitian yang telah dilakukan menggunakan spektroskopi dengan model *benchtop*. Kekurangan dari spektroskopi *benchtop* ini adalah tidak efisien, harus kita mengambil sampel terlebih dahulu untuk diuji sampel tersebut. Alat ini juga memiliki bobot yang berat dan ukuran yang besar sehingga menjadikan alat spektroskopi model *benchtop* tidak efisien. Karena semakin berkembangnya zaman terutama dalam bidang teknologi, adapun alat yang telah diciptakan untuk

membuat peneliti semakin mudah dalam melaksanakan penelitiannya alat ini yaitu spektroskopi portabel dengan bentuk yang kecil, mudah dibawa dan dapat digenggam atau bisa disebut dengan *handheld* sehingga lebih efisien dalam melakukan pengambilan data untuk menguji kadar suatu bahan contohnya madu. Alat spektroskopi portabel ini dalam penelitian, khususnya di Universitas Lampung merupakan penelitian yang belum pernah dilakukan karena sebelumnya menggunakan spektroskopi *benchtop*.

Madu nektar bunga kopi merupakan madu yang memiliki potensi untuk dipalsukan, baik dari sisi khasiatnya maupun kandungan yang dimiliki oleh madu dengan nektar bunga kopi ini. Madu nektar bunga kopi juga bisa disebut dengan madu kopi karena diambil dari nektar bunga kopi oleh lebah penghasil madu. Dilihat dari wilayah Lampung yang memiliki banyak perkebunan kopi, apabila sudah memiliki banyak peternak madu yang membudidayakan madu nektar bunga kopi ini. Maka oknum-oknum tidak bertanggung jawab bisa saja melakukan pemalsuan madu dengan mudah karena menginginkan keuntungan yang besar. HFCS atau *High Fructose Corn Syrup* dan RMS atau *Rice Malt Syrup* adalah bahan pemanis buatan yang digunakan untuk mencampur madu pada penelitian ini dan telah populer di masyarakat luas. Karena harganya murah, bahan pemanis buatan ini sangat mudah ditemukan di berbagai daerah. Pada penelitian sebelumnya rata-rata peneliti menggunakan 1 bahan pengoplos/pencampur, dalam penelitian ini menggunakan 2 bahan pengoplos/pencampur atau dapat disebut dengan *multiple adulterant*. Jika campuran dengan 2 bahan pengoplos ini berhasil maka dapat juga digunakan dengan 3 atau lebih bahan pengoplos pada penelitian selanjutnya. Selain itu alat spektroskopi portabel *handheld* ini memiliki kemampuan yang lebih sensitif dibandingkan dengan spektroskopi *benchtop*.

Metode yang digunakan untuk penelitian ini bisa berguna untuk pertanian Indonesia. Spektroskopi portabel digunakan untuk mendapatkan data ketika membandingkan madu nektar bunga kopi murni tanpa campuran dan madu nektar bunga kopi yang telah dicampur menggunakan bahan-bahan pemanis yang dapat menyerupai madu asli. Terutama pada madu dengan nektar kopi, karena untuk mencegahnya dampak pemalsuan madu-madu nektar bunga kopi yang ada di Indonesia, maka dilaksanakanlah penelitian tentang uji keaslian madu nektar

bunga kopi agar mengetahui hasil pembacaan panjang gelombang kandungan yang ada pada sampel madu nektar bunga kopi. Pada sampel madu yang akan digunakan yaitu madu yang berasal dari daerah lereng Gunung Muria. Sampel madu kopi diperoleh dari toko Sarang Maduku. Dari sampel ini akan diuji keaslian madu kopinya menggunakan spektroskopi portabel sehingga akan didapatkan data yang menunjukkan keaslian dari madu kopi yang diteliti. Jika madu-madu yang dijual ini merupakan madu campuran/palsu, maka madu ini tidak memiliki kandungan alami dan manfaat alaminya. Oleh karena itu dilaksanakan pengujian keaslian madu kopi dengan mencampurkan bahan-bahan pemanis agar dapat dilihat perbedaannya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara mengembangkan uji keaslian dengan menggunakan data emisi fluoresensi.
2. Bagaimana cara menguji pemalsuan madu berupa pencampuran madu nektar bunga kopi dengan *multiple adulterant*.
3. Bagaimana perlunya sistem autentikasi untuk membedakan madu kopi murni dan yang telah dicampur HFCS-55 serta RMS menggunakan spektroskopi portabel dan metode SIMCA.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi pemalsuan madu kopi yang dicampur HFCS-55 dan RMS berdasarkan level pencampuran antara 10-60% menggunakan spektroskopi portabel dan metode SIMCA.
2. Membangun dan menguji model klasifikasi menggunakan metode PCA dan SIMCA, sebagai sistem autentikasi kemurnian madu *Apis mellifera* yang dicampur dengan bahan pemanis buatan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengidentifikasi kemurnian madu *Apis mellifera* yang dicampur dengan bahan pemanis buatan HFCS-55 dan RMS.
2. Pengambilan data dengan menggunakan spektroskopi portabel yang lebih cepat dan efisien.
3. Sebagai referensi penelitian selanjutnya mengenai uji kemurnian madu menggunakan spektroskopi portabel dan metode SIMCA.

1.5 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah madu kopi diuji keaslian tanpa bahan pencampur lalu dibandingkan dengan madu yang dicampur dengan bahan pemanis buatan HFCS-55 dan RMS menggunakan spektroskopi portabel didasarkan pada respon penyerapan terhadap fluoresensi.

1.6 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Identifikasi/uji keaslian dilakukan hanya terhadap madu kopi dengan pencampur HFCS-55 dan RMS.
2. Tidak melakukan uji kandungan terhadap sampel madu.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Madu

Madu merupakan salah satu produk yang terbuat dari bahan alami. Madu memiliki rasa manis karena dihasilkan dari lebah yang mengambil nektar atau sari bunga atau cairan yang berasal dari bagian-bagian tanaman hidup yang dikumpulkan, diubah dan diikat dengan senyawa tertentu oleh lebah kemudian disimpan pada sarang yang berbentuk heksagonal (Al Fady, 2015). Madu juga memiliki warna emas sampai coklat gelap tergantung nektar yang diambilnya. Sebagai salah satu bahan pangan yang memiliki rasa manis dan kental dari segi kekentalannya (viskositas), madu memiliki kandungan gula yang tinggi serta lemak rendah (Wulansari, 2018).

Madu telah banyak dimanfaatkan oleh masyarakat terutama indonesia sebagai bahan baku makanan maupun pengobatan. Karena banyaknya khasiat dari madu yang contohnya pada bidang kesehatan yaitu untuk memperlancar pengeluaran urin, meningkatkan fungsi otak, meningkatkan daya tahan tubuh, untuk menyembuhkan sakit pinggang, maag, batuk, pilek, dan mempercepat penyembuhan luka bakar atau luka akibat operasi (Suranto, 2004).

Hal yang dapat menentukan kualitas dari madu ada beberapa aspek, misalnya warna madu, pH, viskositas, pH, konduktivitas listrik, dan kadar air (Apriani *et al.*, 2013).

Kualitas madu di Indonesia ditentukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 8664-2018 seperti yang tercantum pada Tabel 1. dimana standar tersebut merupakan kriteria dari mutu madu yang telah ditetapkan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN) dan merupakan hasil revisi dari SNI tentang syarat mutu madu tahun 2013.

Tabel 1. Standar mutu madu (Sumber: Badan Standarisasi Nasional, 2018)

No	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan		
			Madu hutan	Madu Budidaya	Madu lebah tanpa sengat
A	Uji organoleptik				
1	Bau		Khas madu	Khas madu	Khas madu
2	Rasa		Khas madu	Khas madu	Khas madu
B	Uji laboratoris				
1	Aktivitas enzim diastase	DN	min 1*)	min 3*)	min 1*)
2	Hidroksimetilfurfural (HMF)	mg/kg	maks 40	maks 40	maks 40
3	Kadar air	%b/b	maks 22	maks 22	maks 27,5
4	Gula pereduksi (dihitung sebagai glukosa)	%b/b	min 65	min 65	min 55
5	Sukrosa	%b/b	maks 5	maks 5	maks 5
6	Keasaman	ml NaOH/kg	maks 50	maks 50	maks 200
7	Padat tak terlarut air	%b/b	maks 0,5	maks 0,5	maks 0,7
8	Abu	% b/b	maks 0,5	maks 0,5	maks 0,5
9	Cemaran logam				
	9.1 Timbal (Pb)	mg/kg	maks 1	maks 1	maks 1
	9.2 Cadmium (Cd)	mg/kg	maks 0,2	maks 0,2	maks 0,2
	9.3 Merkuri (Hg)	mg/kg	maks 0,03	maks 0,03	maks 0,03
10	Cemaran arsen (As)	mg/kg	maks 1	maks 1	maks 1
11	Kloramfenikol	mg/kg	tidak terdeteksi		
Catatan *) Persyaratan ini berdasarkan pengujian setelah madu dipanen					

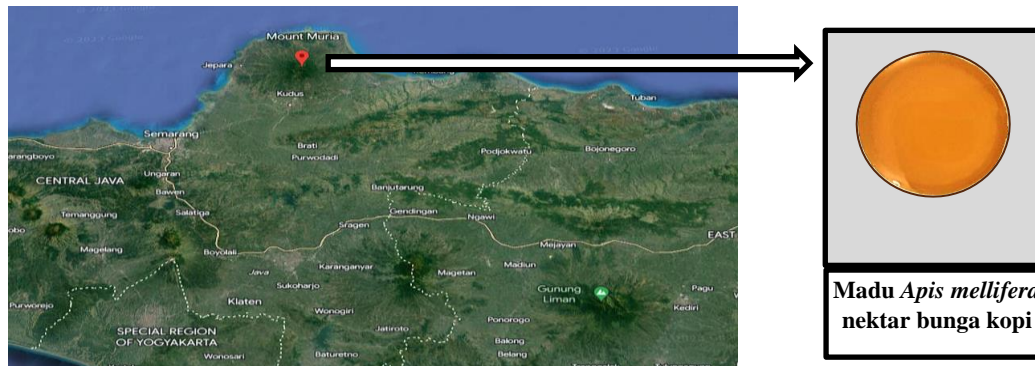
2.2 Madu Nektar Bunga Kopi

Madu nektar bunga kopi merupakan madu yang berasal dari nektar bunga kopi. Ketika bunga kopi muncul pada tanaman kopi disaat waktu tertentu, lebah-lebah ternak *Apis mellifera* akan menyerap nektar dari bunga-bunga kopi. Madu Kopi hanya didapatkan pada lingkungan yang didominasi oleh tanaman kopi. Madu kopi juga memiliki manfaat yang berbanding terbalik dari sifat kopi, jika kopi memiliki manfaat untuk mengurangi rasa kantuk, madu kopi dapat menimbulkan rasa kantuk dan sangat cocok untuk orang yang memiliki masalah kesulitan untuk tidur. Menurut Chayati dan Miladiyah (2015) kadar flavonoid madu monoflora nektar bunga kopi memiliki kadar sebesar 23,94 mg/100 g madu. Serta aktivitas antioksidan dengan metode DPPH yang dimiliki oleh madu nektar bunga kopi sebesar 14,68%. Jika dibandingkan dengan lebah *Trigona sp* pada nektar bunga kaliandra, madu ini memiliki kadar flavonoid sebesar 0,2491 mg/g madu. Madu

Trigona sp juga memiliki aktivitas antioksidan sebesar 51,46 mg/mL (Aminatus, 2018). Namun karena harganya yang tergolong mahal dan hanya beberapa kalangan saja yang mengkonsumsinya, banyak dari masyarakat memilih madu-madu dari lebah *apis mellifera* dengan berbagai nektar sebagai konsumsi harian sekaligus alternatif kesehatan tubuh. Kadar yang telah disebutkan juga merupakan kadar yang sangat berguna bagi tubuh jika mengonsumsi madu.



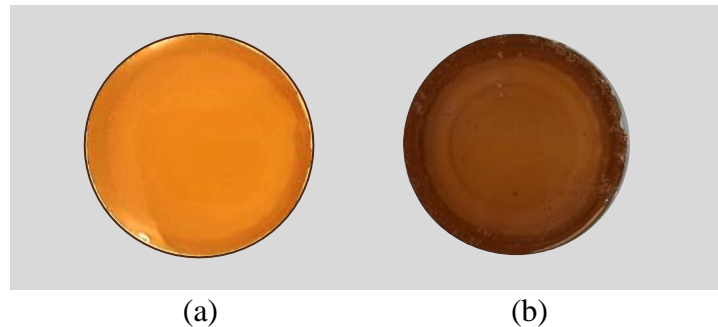
Gambar 1. Madu kopi (sumber : Dokumen pribadi)



Gambar 2. Denah lokasi pemanenan sampel di lereng Gunung Muria, Jawa Tengah

Madu *Apis mellifera* nektar bunga kopi didapatkan dari lereng Gunung Muria yang dibudidayakan langsung oleh petani sekitar. Lereng Gunung Muria merupakan pegunungan yang terdapat banyak perkebunan kopi. Sehingga para petani memanfaatkan perkebunan kopi ini untuk menghasilkan madu yang berasal dari nektar bunga kopi. Hasilnya, lebah penghasil madu ini menambah keuntungan dari para petani terutama di sekitar lereng Gunung Muria yang terdapat banyak pohon kopi. Karakteristik madu *Apis mellifera* yaitu memiliki

warna madu yang terang dibanding dengan madu *Heterotrigona itama* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan warna madu *Apis mellifera* (a) (Sumber : Dokumen pribadi) dan *Heterotrigona itama* (b) (Sumber : Annisy, 2022)

Lebah madu *Apis mellifera* juga memiliki produktivitas yang sangat tinggi sekaligus lebih cepat beradaptasi dengan lingkungan dibandingkan dengan lebah madu lainnya (Oldroyd & Wongsiri, 2009). Oleh sebab itu banyak petani madu yang menggunakan lebah *Apis mellifera* untuk dibudidayakan.

2.3 Jenis – Jenis Madu

Madu dapat dipecah menjadi dua kategori berbeda, madu monofloral dan madu multifloral, tergantung pada jenis bunga yang diambil nektarnya. Madu yang berasal dari satu jenis tanaman berbunga saja disebut madu monofloral. Madu seperti madu kopi, madu randu, dan madu kangkung disebut dengan nama bunga atau pohon yang diambil sarinya. Warna dan komposisi madu yang dihasilkan lebah akan berubah tergantung dari jenis nektar yang dimakan lebah. Sehingga penting untuk mengetahui dari mana nektar itu berasal. Madu hutan, misalnya, dihasilkan ketika lebah mencari makan di hutan dan mengumpulkan nektar dari berbagai jenis tanaman yang tumbuh di sana. Madu multiflora, di sisi lain adalah madu yang mengumpulkan nektar dari berbagai macam tanaman.

Menurut (Jaya, 2016), jenis-jenis madu berdasarkan asal nektarnya yaitu:

1. Madu floral

Bagian tumbuhan yang menghasilkan nektar tidak hanya bunga, bagian cabang batang, ketiak daun dan, kulit batang juga menghasilkan nektar. Madu yang berasal dari nektar bunga disebut madu flora. Adapun madu yang dihasilkan dari

berbagai jenis bunga maka dinamakan madu multiflora dan jika hanya berasal dari satu jenis tanaman maka madu tersebut disebut madu monoflora. Nektar disekresi dari berbagai macam jenis bunga dengan komposisi sekitar 95% adalah substansi gula, asam amino (0,05%), mineral (0,02%-0,045%) serta asam organik, vitamin, dan senyawa volatil dengan jumlah yang sedikit (Jaya, 2016).

2. Madu ekstra floral

Madu ekstra flora adalah madu yang dihasilkan dari bagian selain dari bunga, seperti cabang, daun, dan batang (Jaya, 2016).

3. Embun madu (*honeydew*)

Madu embun adalah produk sekresi dalam tubuh serangga (terutama dari keluarga *Psyllidae*, *Lechnidae* atau *Lechanidae*), dimana ekstrudat diendapkan pada bagian tanaman. Sekresi yang dihasilkan selama pencernaan serangga dilepaskan dalam bentuk embun, yang kemudian dikumpulkan lebah dan dibiarkan matang di dalam sarang. Saus madu mengandung 5-60% gula dan sedikit asam amino, mineral, protein, dan vitamin (Jaya, 2016).

4. Madu Organik

Madu organik adalah madu yang sengaja dihasilkan oleh perternakan lebah dari tumbuhan-tumbuhan organik. Kandungan yang ada pada madu organik tidak memiliki perbedaan terhadap madu normal, namun pada madu organik tidak terdapat residu dari pestisida yang digunakan dalam tahap proses produksi (Jaya, 2016).

2.4 Pemalsuan dan Keaslian Madu

Madu merupakan salah satu produk yang memiliki manfaat yang banyak sekaligus dapat digunakan sebagai bahan alternatif kesehatan seperti untuk meningkatkan daya tahan tubuh. Seiring berjalannya waktu harga madu semakin mahal dan semakin berkembang pula cara - cara pemalsuan madu oleh pihak tertentu untuk mendapatkan keuntungan berlipat, namun dengan modal yang sedikit. Berbagai cara pemalsuan madu dilakukan contohnya dengan mencampurkan madu dengan larutan sukrosa, sirup glukosa/fruktosa, memberikan

asupan tawon/lebah dengan larutan sukrosa bahkan ada juga memalsukan madu secara penuh yang artinya madu palsu tersebut dibuat dengan 100% dari larutan gula yang ditambahkan asam sitrat dan beberapa bahan tambahan lain, ini dapat membuat masyarakat yang mengkonsumsi madu tidak akan mendapatkan manfaat dari madu asli.

Madu murni asli merupakan madu yang bebas dari percampuran bahan-bahan lain. Tetapi madu juga banyak dipalsukan oleh orang-orang yang menginginkan keuntungan dan tidak memperhatikan manfaatnya bagi masyarakat, hanya untuk menekan harga jual dari madu asli. Jumlah madu palsu diperkirakan dapat mencapai 33% dari seluruh produksi madu menurut *Honey Authenticity Project*, sebuah asosiasi aktivis dan anggota di bidang industri. Madu palsu mempunyai kandungan dan manfaat yang berbeda dengan madu komposisi madu yang asli sehingga konsumen akan dirugikan. Berdasarkan penampilan fisiknya, madu asli dan madu palsu sangat sulit dibedakan (Suranto, 2004).

Madu memiliki sisi objek yang dapat dipalsukan, sehingga pada uji keaslian madu terbagi dalam dua bagian, yaitu uji yang pertama merupakan uji keaslian terkait dengan produksi madu dan uji yang kedua merupakan uji keaslian terkait asal-muasal madu. Uji keaslian pada madu berkaitan dengan produksi madu yaitu meliputi penambahan kandungan gula, pengolahan madu, dan penambahan air pada madu palsu tersebut. Uji keaslian asal madu terkait organik dan bukan organik, asal botani (floral), dan asal geografis madu. Selain itu secara garis besar, uji keaslian madu juga dapat dilihat dari dua bagian aspek metode, yaitu pada metode modern dan pada metode klasik. Adapun metode klasik untuk uji keaslian madu meliputi metode analisis *physicochemical* dan *melissopalynological*.

Meskipun sangat akurat, metode klasik terdapat banyak kekurangan, seperti waktu analisis yang relatif tidak sebentar, sangat melelahkan dan melibatkan seorang analis yang sangat ahli untuk mengidentifikasi serbuk sari setiap madu serta adanya potensi ketidakkonsistenan (Oddo & Bogdanov, 2004).

Masyarakat seringkali menggunakan beberapa cara sederhana untuk menguji kualitas atau keaslian madu, antara lain: (1) Madu dimasukkan ke dalam sendok kemudian dipanaskan di atas lilin yang menyala, madu berubah warna, berbusa,

dan ketika dingin kembali tekstur madu menjadi lunak, dan ketika ditarik keluar dengan lidi akan tidak ke benang madu, sedangkan madu yang tercemar menghasilkan benang yang keras; (2) Tetesan madu di koran. Jika madu tidak menyebar jauh dan menembus koran, itu dianggap asli; selain itu dianggap salah ketika menyebar dan menembus surat kabar; (3) Tuang madu ke dalam air panas. Jika madu tidak larut atau air tetap jernih sebelum diaduk, maka madu tersebut asli, dan jika air cepat keruh sebelum diaduk, berarti madu tersebut tercampur atau palsu. (Yuliarti, 2015).

Dalam era modern seperti sekarang ini, secara garis besar metode uji keaslian madu dibagi menjadi 5. Contohnya yaitu kromatografi, *mass spectrometry* (MS), spektroskopi inframerah, NMR (*nuclear magnetic resonance*) dan teknologi molekuler (Chin & Sowndhararajan, 2020). Metode kromatografi dapat terbagi menjadi 2 bagian, yang dibagi menjadi GC (*gas chromatography*) dan HPLC (*high-performance liquid chromatography*). Kemudian, dalam penelitian juga ada yang menggabungkan metode-metode uji keaslian madu, seperti yang dicontohkan yaitu metode GC-MS yang digunakan untuk membedakan madu *Apis cerana* dan *Apis mellifera* (Wang *et al.*, 2019) dan juga menggunakan metode LC-MS yang digunakan sebagai uji keaslian beberapa madu komersial dengan asal botani dan geografis yang berbeda-beda. Pada metode *infrared spectroscopy* untuk uji keaslian madu sebagian besar meliputi metode *near infrared* (NIR) dan *mid infrared* (MIR) *spectroscopy*. Adapun contoh lain yaitu madu yang berasal Afrika Selatan telah dilakukan uji keaslian madu dan dideteksi madu palsu menggunakan metode NIR *spectroscopy* dan metode kemometrika, lalu pada pengujian berhasil sehingga mendapatkan nilai akurasi sebesar 93,3–99,9% (Guelpa *et al.*, 2017). Madu lain yang berasal Irlandia juga diuji keasliannya menggunakan MIR *spectroscopy* dan SIMCA (*Soft Independent Modelling of Class Analogy*). Sehingga dari hasil uji madu asal Irlandian mendapatkan persentase ketepatan klasifikasi sebesar 90,9–100% (Kelly *et al.*). NMR secara luas digunakan untuk uji keaslian madu atas dasar botani dan asal geografis. Lalu ada Teknik molekuler, seperti PCR (*polymerase chain reaction*), untuk uji keaslian madu jeruk (*Citrus spp.*) yang dioplos dengan pemanis dari molase beras (Sobrino-Gregorio *et al.*, 2019). Metode yang dijelaskan merupakan metode

modern yang memiliki kelebihan dari tiap metodenya, contohnya yaitu untuk persiapan sampel yang sangat minimal, akurasi pengukuran yang dapat diandalkan, dan pengukuran yang relatif lebih cepat.

2.4 High Fructose Corn Syrup (HFCS)

Sirup adalah minuman yang terbuat dari campuran gula dan air dengan takaran larutan gula minimal 65% dan tambahan komponen yang diperbolehkan menurut pedoman yang ditetapkan oleh standar SNI 3544 (BSN, 2013). Sirup jagung fruktosa tinggi, sering dikenal sebagai HFCS (*High Fructose Corn Syrup*) atau sirup jagung fruktosa tinggi, adalah pemanis buatan cair yang menggantikan sukrosa dan sebagian besar dibuat dari jagung dengan penambahan bahan kimia dan enzim untuk menghidrolisis pati jagung. HFCS dibuat dengan menghidrolisis pati jagung, yang mengandung amilosa dan amilopektin, secara kimiawi dan enzimatis. Jagung fruktosa tinggi dibuat dari sirup jagung, yang sebagian besar terdiri dari fruktosa.

Dengan bantuan enzim fruktosa isomerase, sirup jagung fruktosa tinggi diubah menjadi sirup jagung fruktosa tinggi (HFCS). Enzim ini berfungsi sebagai katalis dalam konversi sirup jagung glukosa tinggi menjadi HFCS. HFCS yang dihasilkan memiliki kandungan fruktosa 42%, sedangkan HFCS dengan kandungan fruktosa hingga 90% diproduksi menggunakan proses fraksinasi yang sebagian besar menghilangkan sisa glukosa dari HFCS 42%. HFCS 90% dan HFCS 42% digabungkan untuk membuat HFCS 55% (Annisy, 2022).

Menurut Wijanarka (2008), fruktosa juga banyak terdapat dalam buah-buahan, sehingga sering kali gula fruktosa juga dibuat dari sari buah. HFCS memiliki tekstur cair sehingga sangat mudah untuk diaplikasikan pada makanan dan minuman. HFCS menarik karena memiliki banyak manfaat dibandingkan sukrosa dalam makanan dan minuman olahan, termasuk rasa manis, keasaman, dan kelarutan.

2.5 Rice Malt Syrup (RMS)

Sirup beras, juga dikenal sebagai RMS (*Rice Malt Syrup*), diproduksi hanya menggunakan beras merah organik dengan secara keseluruhan. Beras pertama-

tama dibiakkan dengan enzim untuk memecah pati, dan kemudian campurannya dimasak hingga mencapai konsistensi sirup. Produk jadi memiliki sejumlah kecil glukosa, serta karbohidrat kompleks yang larut, maltosa, dan gula lainnya.

Pemanis ini diproduksi dengan cara enzimatik memecah beras merah, juga dikenal sebagai sirup beras merah, malt beras merah, dan malt beras. Karena komponen utamanya adalah glukosa daripada fruktosa, yang terakhir sering dianggap sebagai kontributor utama masalah kesehatan bila dikonsumsi secara berlebihan, pemanis ini mungkin lebih disukai daripada yang lain (ini tidak berlaku untuk fruktosa yang ditemukan secara alami dalam buah segar. karena penambahan nutrisi dan kandungan serat).

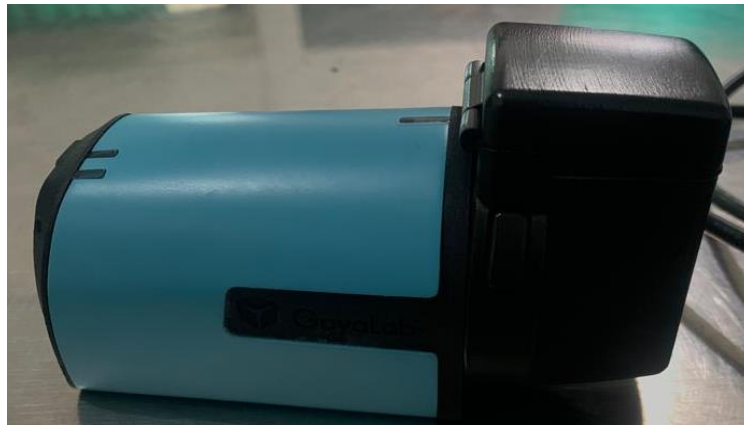
Meskipun sirup beras memiliki sedikit mineral, beberapa orang khawatir menggunakannya secara berlebihan karena arsenik yang ditemukan di semua produk beras. Para ahli sepakat bahwa sirup beras hanya layak digunakan jika semua pengganti gula lainnya telah habis. Fakta bahwa ia memiliki indeks glikemik tinggi adalah salah satu alasan terpenting untuk menggunakannya dengan hati-hati dan juga sirup beras memiliki kalori sekitar dua kali lebih banyak daripada jumlah gula putih yang sama.

Sirup beras dapat juga dijadikan sebagai bahan pencampur madu karena jika diamati sirup beras memiliki karakter yang sama dengan pengganti gula lainnya. Dalam hal warna maupun kandungan jika dicampurkan dengan madu dapat meningkatkan keuntungan bagi sebagian orang yang menginginkan keuntungan tanpa memperdulikan keaslian madu, karena sirup beras memiliki komponen yang dapat menjadikan potensi pemalsuan madu menjadi lebih besar.

2.6 Portable Spectroscopy

Spektroskopi portabel merupakan alat yang didesain untuk para peneliti agar mendapatkan data seperti panjang gelombang dengan mudah dan cepat. Alat ini merupakan alat dapat pengukuran penyerapan pada cairan yang terkandung dalam kuvet sehingga mendapatkan hasil pembacaan dari suatu sampel. Spektroskopi portabel dari GoyaLab merupakan alat yang menggunakan pengukuran dengan eksitasi UV yang diteruskan ke sampel untuk mendapatkan hasil dari pengukuran

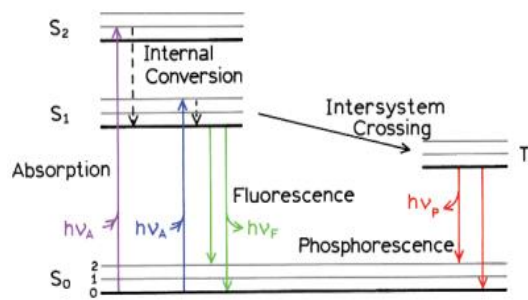
yang ditunjukkan oleh detektor sehingga keluar pada aplikasi dari rancangan GoyaLab. Spektroskopi portabel memiliki ukuran hanya sebesar genggam tangan, alat ini juga dapat disebut dengan spektroskopi *handheld*. Gambar 4 merupakan gambar dari spektroskopi portabel yang memiliki ukuran yang dapat digenggam dengan tangan.



Gambar 4. Spektroskopi portabel dari GoyaLab

Fluoresensi adalah penyerapan energi cahaya oleh molekul pada satu panjang gelombang kemudian beremisi langsung pada gelombang lain yang biasanya lebih panjang. Senyawa fluorensen memiliki dua spektrum karakteristik: spektrum eksitasi (panjang gelombang dan jumlah cahaya yang diserap) dan spektrum emisi (panjang gelombang dan jumlah cahaya yang dipancarkan) (Naresh, 2014).

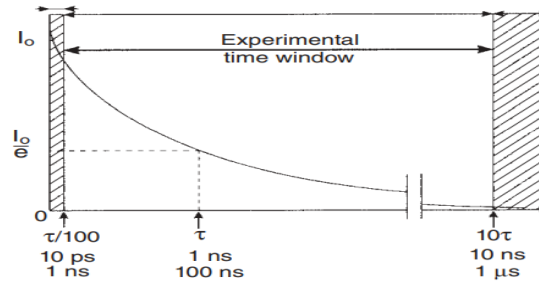
Gambar 5 merupakan gambar diagram Jablonski yang menunjukkan terjadinya proses fluoresensi dan fosforesensi. Ketika suatu atom atau molekul mengabsorpsi energi cahaya sebesar $h\nu_A$ maka elektron-elektron pada kondisi dasar (*ground state*) S_0 akan berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi ke tingkat S_1 atau S_2 . Waktu yang dibutuhkan untuk proses tersebut kurang dari 1 piko detik.



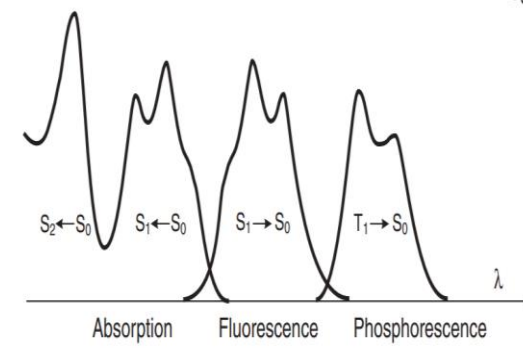
Gambar 5. Jablonski diagram (Sumber: Lakowicz, 2006)

Atom akan mengalami konversi internal atau relaksasi pada kondisi S₁ dalam waktu yang sangat singkat sekitar 10^{-1} ns, lalu atom tersebut akan melepaskan sejumlah energi sebesar $h\nu_F$ yang berupa cahaya. Oleh karena itu, energi atom berkurang seiring berjalannya waktu dan akan kembali menuju ke tingkat energi dasar S₀ untuk mencapai kesetimbangan termal (*thermally equilibrium*). Emisi fluoresensi dalam bentuk spektrum yang lebar muncul dari transisi tingkat energi S₁ menuju ke sub-tingkat energi S₀ yang berbeda-beda yang menunjukkan tingkat keadaan energi dasar vibrasi atom 0, 1, dan 2 berdasarkan prinsip Frank-Condon.

Apabila *intersystem crossing* terjadi sebelum transisi dari S₁ ke S₀ yaitu saat di S₁ terjadi konversi spin ke *triplet state* yang pertama (T₁), maka transisi dari T₁ ke S₀ akan mengakibatkan fosforesensi dengan energi emisi cahaya sebesar $h\nu_P$ dalam selang waktu kurang lebih 1 μ s sampai dengan 1s. Proses ini menghasilkan energi emisi cahaya yang relatif lebih rendah dengan panjang gelombang yang lebih panjang dibandingkan dengan fluoresensi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Diagram lifetime fluoresensi dan fosforesensi
(Sumber : Lakowicz, 2006)



Gambar 7. Spektrum fluoresensi dengan fosforesensi
(Sumber :Lakowicz, 2006)

Beberapa kondisi fisis yang mempengaruhi fluoresensi molekuler meliputi polaritas, ion, potensial listrik, suhu, tekanan, keasaman (pH), mode ikatan hidrogen, viskositas, dan *quencher* (inhibitor eksitasi). Kondisi fisik ini mempengaruhi proses penyerapan energi cahaya yang menarik. Ini mempengaruhi proses penonaktifan molekul dan mengarah pada sifat intensitas dan spektrum emisi fluoresensi yang berbeda (Lakowicz, 2006).

Menurut De Caro & Claudia (2015), pada umumnya spektroskopi memiliki 4 komponen utama yaitu:

1. Sumber cahaya

Sumber cahaya adalah yang mencakup spektrum UV/VIS. lampu yang mengandung gas seperti xenon adalah yang paling umum digunakan, atau kombinasi dari dua lampu yang berbeda seperti tungsten/deuterium.

2. Pemegang sampel

Pemegang sampel berfungsi untuk menampung sampel. Kuvet sebagai wadah sampel cair, bahan yang digunakan dapat berupa kuarsa, kaca borosilikat atau plastik akrilik. Namun, kaca dan plastik akrilik tidak memancarkan sinar UV dan hanya dapat digunakan untuk pengukuran dalam rentang cahaya tampak.

Sampel padat dapat dipasang pada posisi dudukan yang dapat dilalui gelombang cahaya, posisi tersebut adalah jalur optik spektrofotometer sehingga dapat dilakukan pengukuran cahaya yang ditransmisikan.

3. Elemen dispersi

Prisma kuarsa atau kisi difraksi, yaitu elemen dispersi yang berfungsi untuk mendistribusikan cahaya menjadi panjang gelombang yang terpisah. Elemen tersebut merupakan komponen optik dengan struktur periodik yang mampu mendifraksikan cahaya.

4. Detektor cahaya

Detektor dapat berupa *photomultiplier*, *multichannel array* (misalnya sebuah fotodiode array, atau PDA), atau sebuah *charge-coupled device* (CCD), dan kamera digital. Komponen tersebut merekam intensitas cahaya yang ditransmisikan. Baik detektor PDA dan CCD menggunakan bahan semikonduktor fotosensitif untuk mengubah cahaya menjadi sinyal elektronik yang kemudian direkam oleh instrumen.

2.7 Metode Kemometrika

Kemometrika adalah suatu ilmu yang memperoleh data melalui penerapan metode matematika dan statistik untuk tujuan ekstraksi informasi yang relevan dalam hal fisika dan kimia yang terlibat dalam proses manufaktur. Analisis data multivariat, kalibrasi, pemodelan proses, pengenalan dan klasifikasi pola, koreksi dan kompresi sinyal, dan kontrol proses statistik hanyalah beberapa dari banyak aplikasi kemometrik. Kemometrika juga dapat mampu menangani masalah deskriptif dan prediktif.

2.7.1 *Principal Component Analysis* (PCA)

Principal Component Analysis (PCA) merupakan suatu teknik analisis statistik multivariat. Pada era ini, teknik analisis statistik PCA adalah teknik yang paling populer. Karena, PCA digunakan dalam bidang pengenalan pola serta pemrosesan

sinyal. PCA pada dasarnya merupakan dasar dari analisis data multivariat yang menerapkan metode proyeksi. Teknik analisis ini biasanya digunakan untuk meringkas tabel data multivariat dalam skala besar hingga dapat digunakan sebagai kumpulan variabel yang lebih kecil atau sebagai indeks ringkasan. Variabel kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi tren tertentu, kelompok variabel, hingga *outlier*.

Principal Component Analysis (PCA) adalah teknik statistik yang mengubah variabel asli yang paling sering digunakan dan berkorelasi menjadi sekumpulan variabel baru yang lebih kecil dan independen (tidak lagi berkorelasi).

PCA adalah suatu teknik statistik untuk mengubah dari sebagian besar variabel asli yang digunakan yang saling berkorelasi satu dengan yang lainnya menjadi satu set variabel baru yang lebih kecil dan saling bebas. Jadi PCA berguna untuk mereduksi data, sehingga lebih mudah untuk menafsirkan data-data tersebut.

Pengurangan dimensi (*dimension reduction*) yang terdapat pada sekelompok data digunakan untuk mengurangi beberapa variabel yang tidak berelasi antar satu variabel dengan variabel lainnya dalam satu kelompok klaster. Tujuan dari reduksi dimensi adalah untuk mendapatkan variabel – variabel yang optimal yang dapat membentuk klaster yang diinginkan. Salah satu metode untuk pengurangan dimensi adalah *Principal Component Analysis*.

Principal Component Analysis menurut Lindsay (2002) adalah sebuah metode untuk mengidentifikasi pola dalam sebuah data dan menyatakannya dalam sebuah cara untuk menentukan persamaan dan perbedaan dalam data. Salah satu keunggulan yang dapat ditemukan dalam PCA adalah dengan melakukan metode ini dapat mengurangi jumlah dimensi yang terdapat dalam satu pola tanpa mengurangi informasi yang terdapat dalam data. Oleh karena itu, *Principal Component Analysis* sangat diperlukan untuk reduksi pola-pola yang ada dalam suatu klaster.

PCA sangat cocok digunakan dengan data dalam jumlah besar. PCA lebih dikenal dengan analisis faktor. Beberapa langkah dalam menggunakan metode PCA adalah:

- a) Menyiapkan data yang akan dianalisis dengan menggunakan *Principal Component Analysis*
- b) Hitung rata-rata kelompok data.
- c) Lakukan perhitungan untuk matriks kovarian
- d) Melakukan perhitungan vektor eigen dan nilai eigen dari matriks kovarians.
- e) Dapatkan dataset baru berdasarkan variabel yang terkait dengan suatu faktor.

PCA dapat mengidentifikasi adanya penyebab perbedaan antar sampel, menentukan variabel yang berperan besar terhadap perbedaan sampel serta dapat mengkuantifikasi beberapa informasi baik informasi berguna dan tidak sesuai (*noise*) yang akan dikeluarkan dalam bentuk data (Suhandy & Yulia, 2019).

Berikut tiga atribut yang sesuai pada hasil PCA :

1. Nilai Varian

Nilai varian merupakan nilai yang menyatakan tingkat kesalahan dalam melakukan proses olah data serta memberikan berapa banyak data informasi yang telah diperhitungkan secara berurutan oleh komponen model.

2. *Loadings*

Loadings merupakan suatu skala yang memberikan informasi berupa gambaran struktur data dengan bentuk variabel yang saling berkaitan atau berhubungan dan di setiap variabelnya memiliki nilai *loadings* pada masing – masing PC nya. Nilai *loadings* juga menggambarkan peran variabel terhadap PC dan memperhitungkan seberapa baik kinerja dari PC saat memperhitungkan varian dari variabel tersebut. Semakin kecil hubungan antara PC dan variabel maka berbanding terbalik dengan nilai *loadings* yang didapat akan semakin besar. Variasi nilai *loadings* dari -1 sampai +1.

3. Nilai Skor

Nilai skor merupakan nilai yang menggambarkan perbedaan atau kesamaan antar masing – masing sampel. PC yang dihasilkan memiliki nilai skor pada setiap sampel, lalu sampel akan dikoordinatkan lokasinya di sepanjang PC tersebut. Atau dengan kata lain, nilai skor menggambarkan struktur data dari pola sampel.

Hubungan nilai skor PCA dan *loadings* adalah nilai *loadings* yang akan

menunjukkan bagaimana data tersebut bergerak disepanjang komponen (PC) lalu diinterpretasi dari PC tersebut untuk diterjemahkan makna dari nilai skor. Agar dapat mengetahui bahwa nilai skor dan *loadings* bekerja, maka sebelumnya kita harus mengetahui terlebih dahulu bahwa PC adalah sumbu terarah. Sehingga didapat nilai skor maupun nilai *loadings* bernilai positif maupun negatif (Suhandy & Yulia, 2019).

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

Soft Independent Modeling of Class Analogies (SIMCA) merupakan salah satu metode klasifikasi pada analisis perubah ganda yang diperkenalkan pertama kali pada tahun 1976 oleh Svante Wold. SIMCA (*Soft Independent Modelling of Class Analogy*) teknik analisis multivariat terawasi yang digunakan untuk menguji kekuatan diskriminasi dan klasifikasi sampel. SIMCA digunakan untuk menetapkan sampel ke dalam kelas yang tersedia dengan tepat.

Metode kemometrika misalnya SIMCA (*Soft Independent Modelling of Class Analogy*) dan PCA (*Principal Component Analysis*) digunakan untuk mempermudah dalam mengklasifikasikan data terutama spektra antara *adulteration* dan *non adulteration*.

Analisis multivariat SIMCA (*Soft Independent Modelling of Class Analogy*) merupakan teknik analisis multivariat terbimbing yang digunakan untuk menguji kekuatan diskriminasi dan klasifikasi sampel. SIMCA digunakan untuk mencocokkan sampel dengan benar ke dalam kelas yang tersedia. Metode klasifikasi ini didasarkan pada pembuatan model PCA untuk setiap kelas dan mengklasifikasikan setiap sampel dalam setiap model PCA. Hasil dari SIMCA berupa tabel klasifikasi, dimana sampel dapat terklasifikasi dalam satu kelas, beberapa kelas, atau tidak ke dalam kelas manapun (Nurchahyo, 2015).

Pada prosesnya, SIMCA menggunakan nilai standar deviasi residual sebagai ukuran atau kriteria untuk proses pengkelasan sampel. Sehingga setiap kelas akan memiliki model SIMCA tertentu dengan memiliki nilai batas berupa nilai standar deviasi residual tertentu sebagai panduan untuk mengevaluasi apakah sebuah sampel yang akan dievaluasi kelasnya termasuk ke dalam kelas tertentu atau tidak.

Terdapat dua statistik dasar yang diterapkan pada SIMCA, Skor dan Jarak Ortogonal digunakan di semua versi SIMCA. Perbedaan antara kedua metode tersebut adalah cara keduanya menafsirkan dan menerapkan statistik dalam aturan keputusan. Empat aturan keputusan SIMCA yang paling populer: Sederhana (oleh Massart), Alternatif (oleh Wise), Indeks Gabungan (oleh Joe Qin), dan Data Driven (oleh Pomerantsev) (Pomerantsev & Rodionova, 2020). Salah satu fitur penting SIMCA adalah kemampuannya untuk mengkarakterisasi hasil klasifikasi dengan cara yang baik secara statistik, yaitu untuk memperkirakan kesalahan-kesalahan klasifikasi secara teoritis. Metode ini didasarkan pada statistik *Principal Component Analysis* (PCA) yang digunakan untuk menetapkan aturan keputusan untuk mendeteksi objek ekstrem (Pomerantsev & Rodionova, 2020).

2.7.3 Confusion Matrix

Klasifikasi yang dilakukan sistem terhadap sampel tentunya diharapkan memberikan prediksi yang tepat. Namun pada beberapa kasus ketepatan tidak mencapai 100%. Maka penting untuk dilakukan pengujian kinerja sistem klasifikasi untuk mengetahui tingkat ketepatannya dalam memprediksi. Menurut (Lavine, 2009), elemen-elemen yang menjadi parameter dalam menentukan baik atau tidaknya model diskriminasi/klasifikasi adalah sebagai berikut:

- a. Akurasi, yang menunjukkan seberapa tepat suatu model dalam mengklasifikasi sampel secara keseluruhan.
- b. Sensitivitas, yang menunjukkan kemampuan model diskriminasi/klasifikasi untuk menolak sampel yang bukan kelasnya.
- c. Spesifisitas, yang menunjukkan kemampuan model diskriminasi/klasifikasi untuk mengarahkan sampel masuk ke dalam kelas secara benar.

Confusion matrix menjadi alat pengukuran kinerja klasifikasi yang sering diandalkan. *Confusion matrix* bekerja dengan menganalisis tingkat kinerja model klasifikasi dalam mengenali *record* dari setiap kelas yang berbeda. Sesuai dengan yang dijelaskan oleh (Suhandy & Yulia, 2019), tabel *confusion matrix* adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Matriks konfusi

Jenis Kelas	Kelas A (aktual)	Kelas B (aktual)
Hasil SIMCA A	(TP)	(FP)
Hasil SIMCA B	(FN)	(TN)

Perhitungan:

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

$$2. \text{ Sensitivitas (S)} : \frac{TN}{FP+TN} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

$$3. \text{ Spesifisitas (SP)} : \frac{TP}{TP+FN} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

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

Keterangan:

TP : *True Positive* TN : *True Negative*

FP : *False Positive* FN : *False Negative*

TP : Sampel kelas A yang masuk ke dalam kelas A

FP : Sampel kelas A yang masuk ke dalam kelas B

FN : Sampel kelas B yang masuk ke dalam kelas A

TN : Sampel kelas B yang masuk ke dalam kelas B

Kelas A : Kelas sampel madu *Apis mellifera* asli

Kelas B : Kelas sampel madu *Apis mellifera* yang dicampur dengan bahan pemanis buatan

Nilai yang telah dihitung menunjukkan performansi model klasifikasi. Semakin tinggi nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas maka semakin baik model klasifikasi yang dibangun. Sedangkan *false alarm rate* menunjukkan tingkat kesalahan kinerja model klasifikasi, sehingga seakin rendah nilai false alarm rate semakin baik model klasifikasi yang dibangun. MMC memiliki nilai -1 hingga +1. Nilai MMC = +1 memiliki arti hasil klasifikasi sempurna (Apratiwi, 2016; de Santana et al., 2018) . Nilai akurasi memiliki tingkat diagnosa sebagai berikut:

- a. Akurasi bernilai 0,90 – 1,00 = *excellent classification*/sangat memuaskan.
- b. Akurasi bernilai 0,80 – 0,90 = *good classification*/baik.
- c. Akurasi bernilai 0,70 – 0,80 = *fair classification*/dapat diterima.

- d. Akurasi bernilai $0,60 - 0,70 = \text{poor classification/buruk}$.
- e. Akurasi bernilai $0,50 - 0,60 = \text{failur classification/gagal}$.

2.7.4 Pretreatment

Pretreatment merupakan salah satu pilihan yang ada di dalam aplikasi *The Unscrambler X*. Fungsi dari *pretreatment* adalah untuk mengurangi interferensi dan *noise* yang ada pada panjang gelombang yang dihasilkan pada spektra. Interferensi pada spektra merupakan suatu gangguan yang dapat merubah hasil spektra yang diteliti. Sedangkan *noise* merupakan gangguan yang tidak diinginkan yang bisa disebabkan oleh sumber listrik yang tidak stabil, sehingga menghasilkan kualitas spektra yang tidak diinginkan. *Pretreatment* dilakukan agar spektra yang dihasilkan dapat menjadi spektra baik sehingga dampak dari *noise* berkurang. Menurut O'Haver (2017), Galindo-Prieto (2017), dan Kusumaningrum (2018) untuk memperbaiki spektra, ada beberapa macam *pretreatment* yang dapat digunakan, yaitu :

a. *Smoothing Moving Average*

Smoothing moving average adalah salah satu cara yang kerap dipakai guna menghilangkan *noise*. *Smoothing moving average* umumnya digabungkan dengan metode lain. Persamaan metode *smoothing moving average* ditulis sebagai berikut.

$$S_j = \frac{Y_{j-1} + Y_j + Y_{j+1}}{3} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :

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

Y_j : Nilai spektra asli pada panjang gelombang ke j

j : Indeks panjang gelombang

3 : Jumlah segmen

Pembagi dan penyebut dapat berubah sesuai dengan segmen yang dibuat, dengan contoh pada rumus di atas menggunakan segmen berjumlah 3. Karena hasil dari *smoothing moving average* adalah bilangan ganjil maka hasil akan terpusat di tengah.

b. *Multiplicative Scatter Correction (MSC)*

MSC adalah metode pendekatan untuk mengurangi amplification (*multiplicative, scattering*) efek di spektrum. Variasi cahaya yang menyebar pada data spektroskopi dapat diperbaiki menggunakan *multiplicative scatter correction*. MSC memiliki tujuan utama yaitu agar semua sampel diperbaiki sehingga semua sampel persebaran cahayanya memiliki tingkat yang sama. Berikut persamaan yang digunakan dalam metode MSC.

$$X_{org} = a_i + b_i \bar{x}_j + e_i \dots\dots\dots(6)$$

$$X_{i,MSC} = \frac{X_{org} - a_i}{b_i} \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan :

$X_{i,MSC}$: Nilai dari spektrum yang dikoreksi (matriks data).

X_{org} : Nilai dari spektra asli

\bar{x}_j : Nilai dari spektrum rata-rata

e_i : Nilai eror

a_i : Nilai intersep

b_i : Nilai slope

i : Indeks sampel

j : Indeks panjang gelombang

Mencari nilai MSC dapat dilakukan dengan cara mencari koefisien regresi terlebih dahulu. Yaitu dengan a_i dan b_i yang didapat dari persamaan regresi tiap sampel pada grafik linier yang telah dibentuk dan menunjukkan persamaan $y = a+bx$ pada sampel i . Koefisien regresi yang sudah didapat dan dihitung menggunakan persamaan di atas maka perhitungan MSC dapat dilakukan.

c. *Standard Normal Variate (SNV)*

SNV adalah cara transformasi guna menghilangkan efek hamburan (*scatter effects*) yang terdapat pada spektrum, dengan cara menskala dan memusatkan spektrum individual. Hasil SNV yaitu, menghilangkan *multiplicative interferences* dari *scatter effects* data spektra. SNV memiliki tujuan utama yaitu menghapus

gangguan multiplikasi dari ukuran dan persebaran partikel. Metode SNV memiliki rumus persamaan sebagai berikut:

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^K (x_{ik} - x_i)^2}{K-1}} \dots\dots\dots(8)$$

$$X_{ik} = \frac{x_{ik} - x_i}{s_i} \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan :

S_i : Standar deviasi

K : Jumlah data pada sampel i

i : Indeks sampel

k : Indeks panjang gelombang

X_{ik} : Nilai SNV dari sampel i pada panjang gelombang k

X_{ik} : Nilai spektra original pada sampel i pada panjang gelombang k

X_i : Nilai rata-rata pada sampel i

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2023. Untuk mendapatkan data hasil pengujian keaslian Madu Kopi. Tempat yang digunakan untuk melaksanakan penelitian ini adalah Laboratorium Rekayasa Bioproses dan Pasca Panen (RBPP) di Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Lampung.

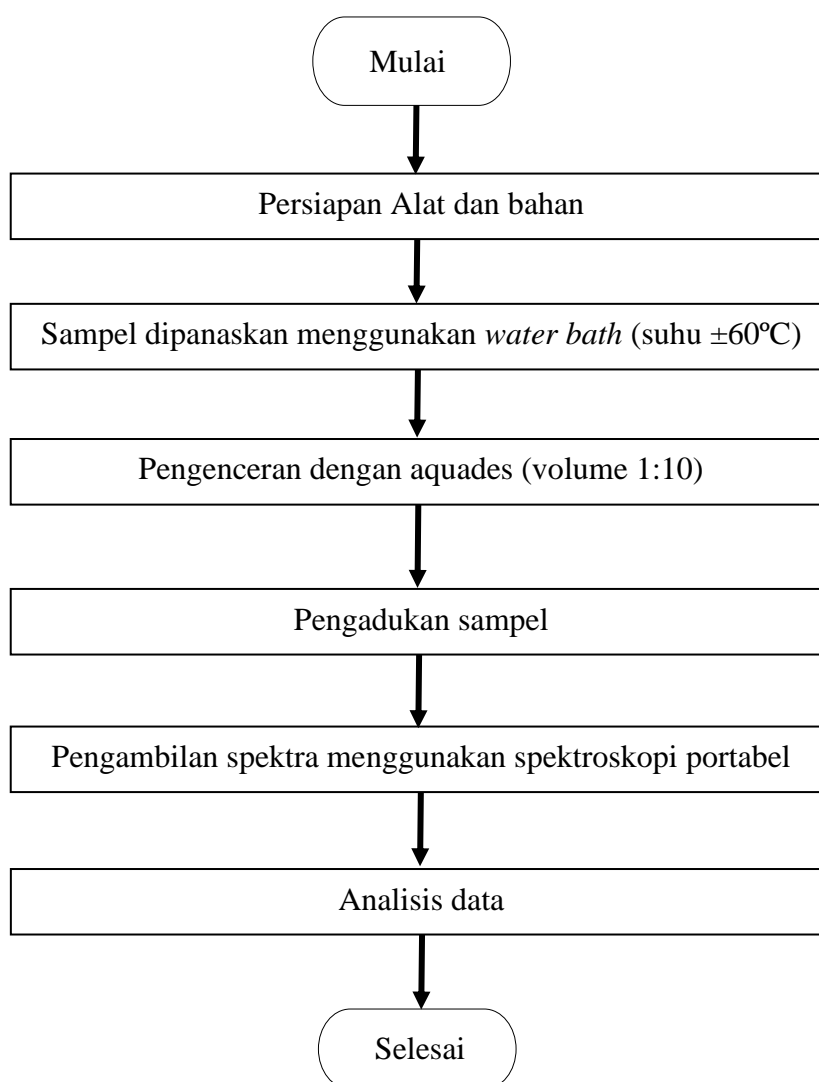
3.2 Alat dan Bahan

Analisis sampel madu dilakukan menggunakan spektroskopi fluoresensi portabel dari GoyaLab. Alat lainnya yaitu, *magnetic stirrer* (CiblancTM, Cina) (*size* pelat atas 4 x 4 *inch*), *water bath*, kuvet, labu *Erlenmeyer* 50 ml, pipet tetes, gelas beker, gelas ukur, spatula, laptop. Bahan yang digunakan adalah madu kopi dari Sarang Maduku yang diperoleh dari daerah perkebunan kopi di lereng Gunung Muria, Desa Dudakawu, Kecamatan Kembang, Jepara Jawa Tengah, bahan pemanis buatan *High Fructose Corn Syrup* (HFCS-55), bahan pemanis buatan *Rice Malt Syrup* (RMS) dan air destilasi sebagai pengencer.

3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan alat spektroskopi portabel dengan data fluoresensi. Alat ini memiliki pengukuran dengan rentan panjang gelombang spektra emisi pada 365 nm dan lampu LED sebanyak 4 buah. Untuk mengukur spektra sampel madu *Apis mellifera* ditandai dengan penomoran/kode sampel. Dalam hal ini madu asli diberikan dengan kode sampel MA, kemudian madu dengan campuran 10% dan 20% diberikan kode sampel *low* yang artinya pada kedua sampel memiliki pencampuran rendah dalam penelitian madu *Apis mellifera* ini. Kemudian madu dengan campuran 30% dan 40% diberikan kode

sampel *mid* yang artinya kedua sampel memiliki tingkat pencampuran yang berada di tengah antara pencampuran lainnya. Lalu pencampuran yang terakhir yaitu pencampuran 50% dan 60% diberikan kode sampel *high*, yang artinya sampel tersebut memiliki pencampuran yang tinggi terhadap bahan pemanis buatan. Lalu bahan pemanis buatan diberikan kode RMS dan HFCS, karena diambil dari singkatan dari bahan pemanis buatan tersebut. Prosedur penelitian ditunjukkan oleh Gambar 8.



Gambar 8. Diagram alir prosedur penelitian

3.3.1 Persiapan Alat

Penelitian ini diawali dengan prosedur yang pertama, yaitu persiapan alat. Persiapan yang dilakukan yaitu memastikan bahwa alat tersedia dengan lengkap dan dalam kondisi yang baik sehingga mengurangi hal – hal yang tidak diinginkan pada saat digunakan. Ketersediaan alat – alat untuk penelitian sangatlah penting agar dapat terlaksanakan dengan lancar dan harus diperiksa dengan baik dan benar.

3.3.2 Persiapan Bahan

Prosedur yang selanjutnya yaitu dengan mempersiapkan bahan yang akan dijadikan bahan penelitian, diantaranya yaitu :

1. Penyimpanan Bahan

Madu kopi yang diperoleh dari Sarang Maduku, bahan pemanis HFCS-55 dan bahan pemanis *Rice Malt Syrup* yang masing–masing dikemas dalam botol dengan aman seperti pada Gambar 9, 10, dan 11. Bahan–bahan ini langsung dikirim ke laboratorium RBPP dan disimpan pada suhu yang rendah.



Gambar 9. Sampel madu kopi



Gambar 10. HFCS-55



Gambar 11. RMS

2. Pemanasan Sampel

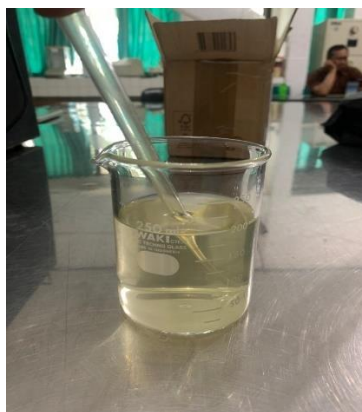
Mengacu pada SNI 8664-2018 tentang madu, analisis dilakukan langsung terhadap sampel tanpa perlakuan lain kecuali penyaringan, pengadukan dan pengocokan. Jika mengandung bagian-bagian yang menggumpal maka sampel dihangatkan di dalam *water bath* pada suhu 60-65°C selama 30 menit seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Pemanasan sampel

3. Pencampuran dengan bahan pemanis

Madu yang telah dipanaskan oleh *water bath* dan dibiarkan dingin, langkah selanjutnya yaitu mencampur dengan bahan pemanis yang sudah disiapkan (HFCS-55 dan RMS). Pencampuran ini dilakukan dengan rasio 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5, dan 4:6. Dari rasio pencampuran ini, dalam perbandingan bahan pemanis dibagi oleh 2 bahan. Misalnya 10% bahan pemanis artinya 5% HFCS-55 dan 5% RMS.

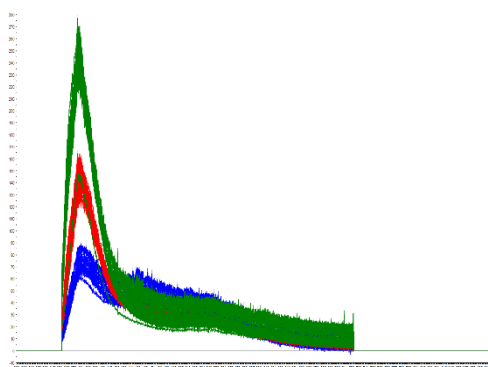


Gambar 13. Sampel yang telah dicampur bahan pemanis

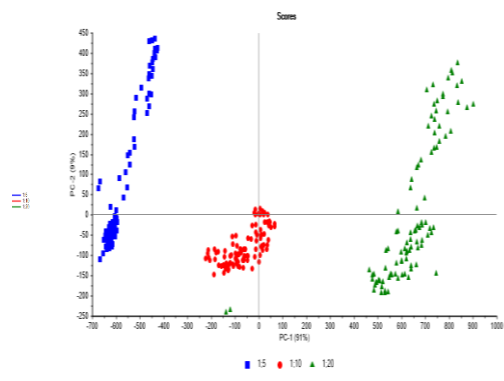
4. Pengenceran Sampel

Setiap sampel yang akan diteliti dengan spektroskopi harus memiliki konsentrasi yang berada dalam kisaran sensitivitas peralatan yang akan digunakan. Untuk mencapai konsentrasi akhir yang diinginkan, larutan diencerkan dengan air suling dengan perbandingan 1:10. (ml:ml). Hasil studi pendahuluan digunakan untuk memandu pemilihan perbandingan untuk mendapatkan hasil pengenceran yang

terbaik. Warna biru merupakan hasil dari percobaan perbandingan pengenceran 1:5, lalu warna merah 1:10 dan warna hijau perbandingan 1:20. Hasil menunjukkan bahwa spektrum yang dihasilkan menunjukkan hasil terbaik pada perbandingan rasio 1:10 (ml:ml), karena hasil spektrum rasio tersebut tidak berpecah seperti rasio yang lainnya. Hasil percobaan untuk mendapatkan hasil pengenceran terbaik dapat dilihat pada Gambar 14 dan 15.



Gambar 14. *Line plot* PCA yang didapatkan dari data pengenceran sampel (Sumber : penelitian pendahuluan)



Gambar 15. *Plot Score* pada PCA dari data pengenceran sampel (Sumber : penelitian pendahuluan)

5. Pengadukan Sampel

Sampel madu yang telah diencerkan diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama sepuluh menit hingga campuran menjadi tercampur/homogen. Dalam keadaan saat ini, sampel disiapkan untuk diambil data spektranya menggunakan alat spektroskopi.



Gambar 16. Pengadukan menggunakan *magnetic stirrer*

6. Persiapan Sampel

Langkah pertama dalam proses preparasi sampel adalah penomoran sampel.

Setiap sampel diberi nomor dan kode yang ditentukan oleh jenis kombinasi serta komponen campuran. Sampel madu murni madu kopi ditetapkan sebagai sampel MA, sampel madu campuran dengan konsentrasi berkisar antara 10 sampai 60% ditetapkan sebagai kelas *LOW* yang artinya memiliki pencampuran dengan kadar 10-20%, *MID* yang memiliki kadar 30-40% dan *HIGH* yang memiliki kadar 50-60%, lalu ada bahan pemanis yaitu ditetapkan sebagai RMS dan HFCS.

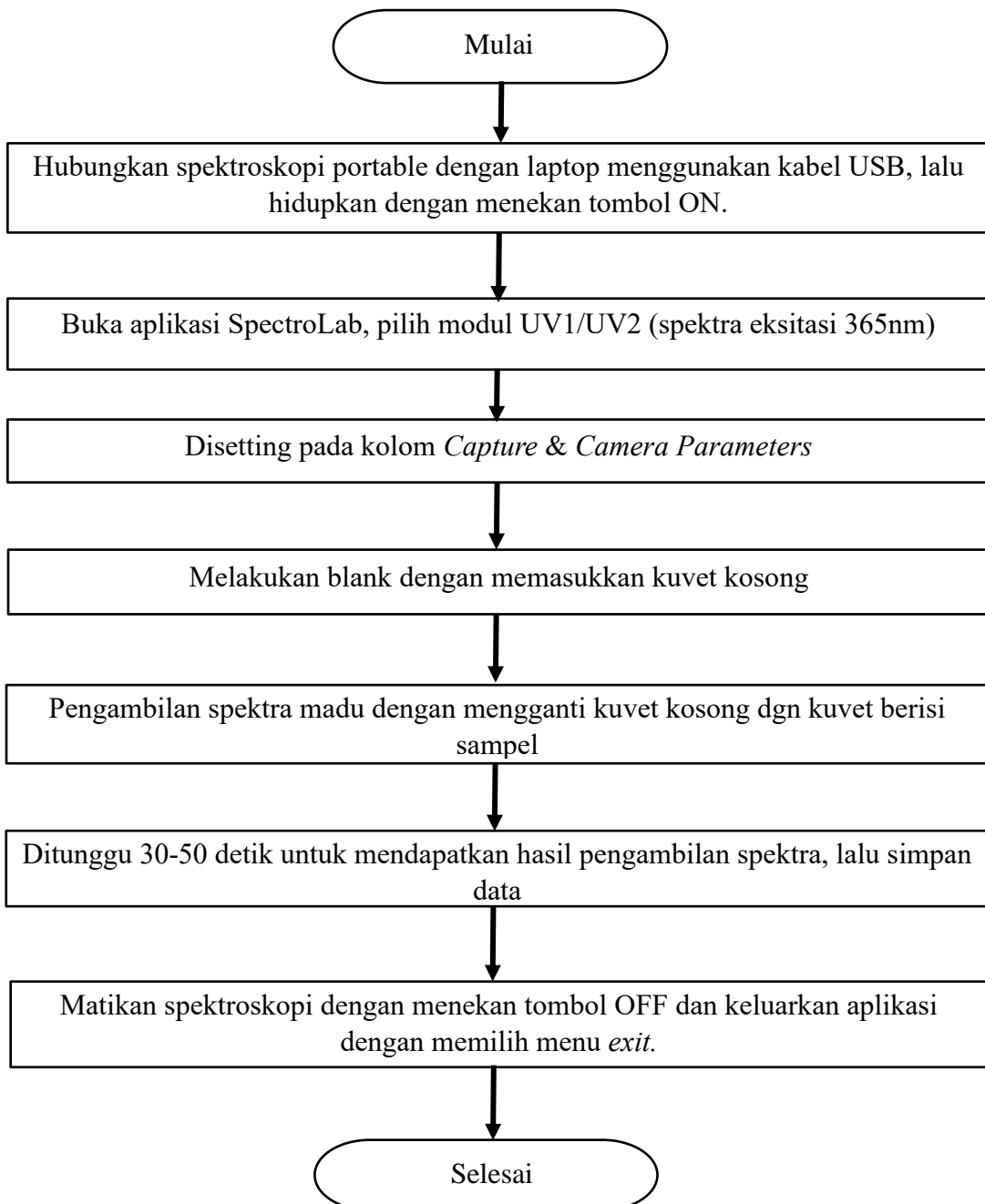
Penomoran sampel dan komposisi bahan dalam tiap sampel dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Pemberian nomor sampel

Nomor Sampel	Komposisi Bahan
1-20	10 ml Madu + 0 ml HFCS-55 + 0ml RMS (MA)
21-40	9 ml Madu + 0,5 ml HFCS-55 + 0,5ml RMS (LOW)
41-60	8 ml Madu + 1 ml HFCS-55+ 1 ml RMS (LOW)
61-80	7 ml Madu + 1,5 ml HFCS-55 + 1,5 ml RMS (MID)
81-100	6 ml Madu + 2 ml HFCS-55 + 2 ml RMS (MID)
101-120	5 ml Madu + 2,5 ml HFCS-55 + 2,5 ml RMS (HIGH)
121-140	4 ml Madu + 3 ml HFCS-55 +3 ml RMS (HIGH)
141-160	<i>Rice Malt Syrup</i> (RMS)
161-180	<i>High Fructose Corn Syrup-55</i> (HFCS)

Sampel yang akan diambil data spektranya pada penelitian ini sebanyak 210 sampel dengan masing-masing 2 kali pengulangan ditandai dengan huruf A dan B pada sampel.

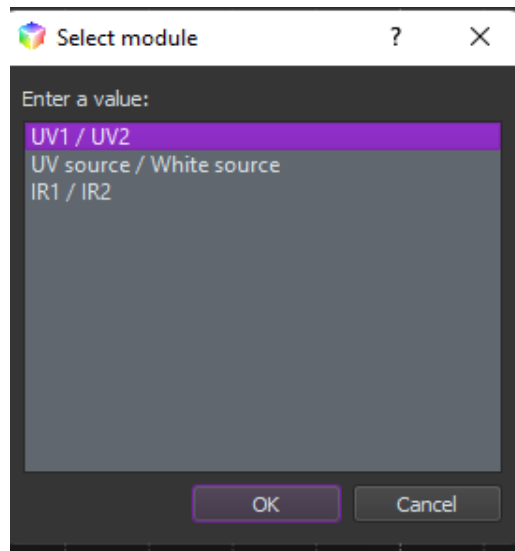
3.3.3 Pengambilan Spektra Madu



Gambar 17. Diagram alir pengambilan spektra

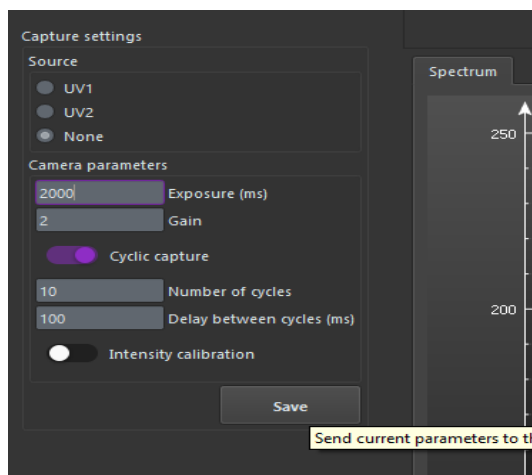
Langkah selanjutnya dalam penelitian yaitu pengambilan spektra madu yang membutuhkan penggunaan spektroskopifluore portabel dari GoyaLab. Gambar 17 merupakan diagram yang menunjukkan cara untuk mengambil spektra madu pada penelitian ini. Kemudian pada langkah awal dalam pengambilan spektra adalah

mengatur terlebih dahulu aplikasi untuk menghubungkan spektroskopi dengan laptop. Aplikasi untuk mengambil spektra ini bernama *SpectroLab*, setting mulai dari menghidupkan spektroskopi portabel yang dihubungkan USB sebagai daya sekaligus penghubung ke laptop. Setelah spektroskopi portabel hidup, langkah selanjutnya yaitu akan muncul perintah pilih modul, dan dipilih UV1/UV2 seperti pada Gambar 18.



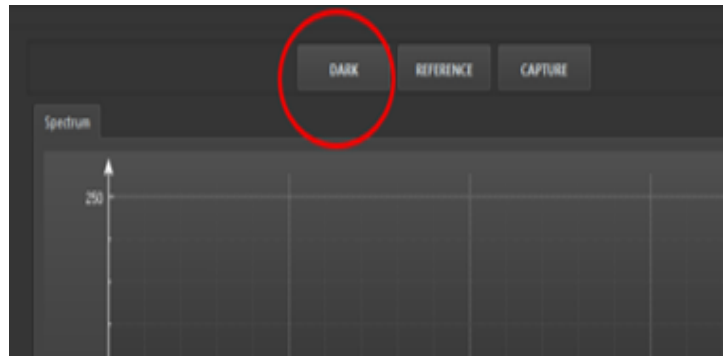
Gambar 18. Pemilihan modul pada aplikasi

Kemudian melakukan pengaturan *capture* ke *None* terlebih dahulu dan di kolom *camera parameters* atur *exposure* ke 2000 ms, *gain* 2, dan *cyclic capture* dihidupkan lalu klik save seperti pada Gambar 19 di bawah ini.



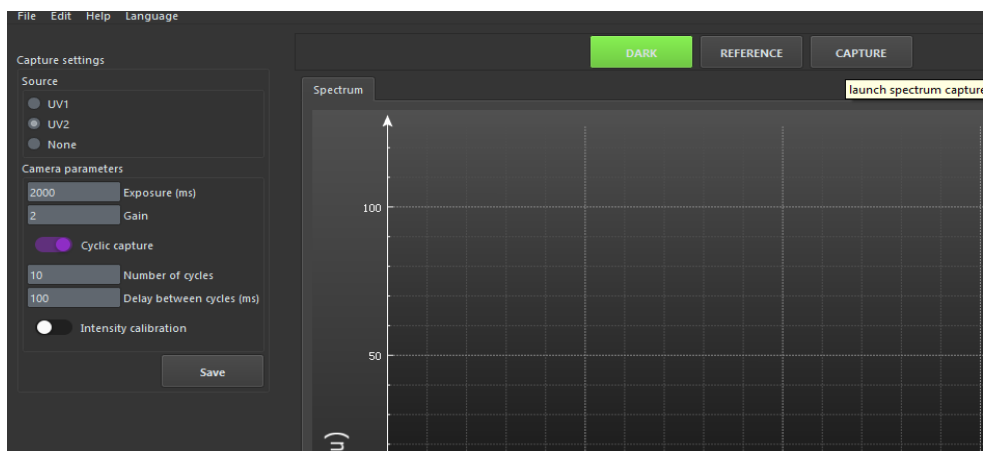
Gambar 19. Mengatur pengukuran pada aplikasi

Ketika aplikasi *SpectroLab* sudah diatur. Gambar 20 adalah langkah untuk melakukan blank/kalibrasi agar alat dapat digunakan dan mendapatkan hasil yang baik (terhindar dari noise) dengan cara memasukkan kuvet kosong ke dalam spektroskopi portabel, kemudian klik *Dark* pada aplikasi.



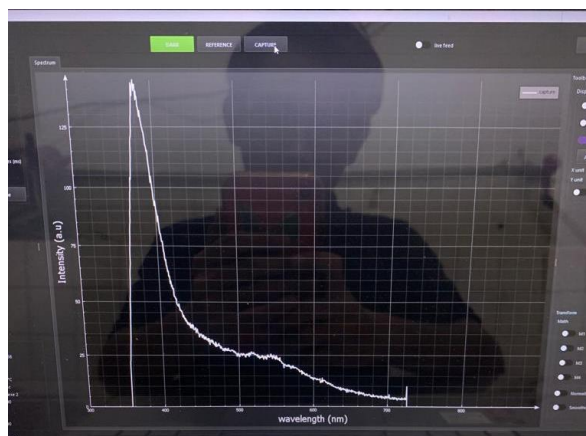
Gambar 20. Kalibrasi alat spektroskopi

Setelah blank dilakukan, keluarkan kuvet kosong lalu ganti dengan kuvet yang berisi sampel maka pada *capture settings* dipindahkan dengan menekan tombol pilihan UV1/UV2, kemudian klik *Capture*, seperti pada Gambar 21.

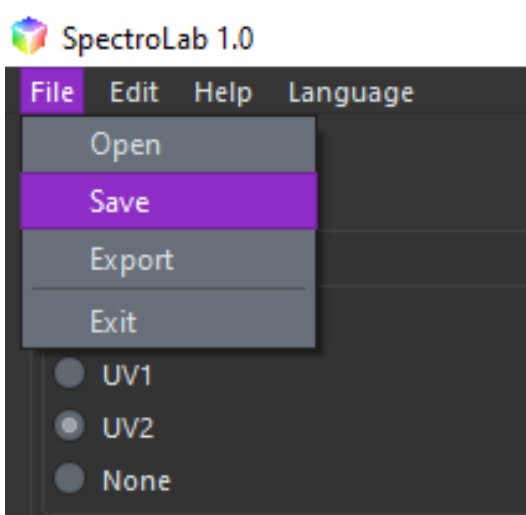


Gambar 21. Pengambilan spektra madu

Jika sudah muncul data spektra (Gambar 22) yang ada di aplikasi. Gambar 23 merupakan cara untuk menyimpan data spektra dengan melakukan klik pada tombol *save* yang ada di menu bar *file*.



Gambar 22. Data spektra hasil percobaan sampel madu



Gambar 23. Penyimpanan data spektra yang telah didapat

Setelah itu, data ini dimuat ke dalam perangkat lunak *Unscramble X* sehingga dapat dilakukan analisis lebih lanjut terhadapnya. Spektrum madu juga diambil terus menerus dengan sampel yang telah disiapkan, untuk memperoleh spektra madu dari masing-masing sampel individu.

3.4 Analisis Data

Analisis data dilakukan setelah melewati beberapa tahapan, seperti tahap penelitian, perbandingan dengan sampel yang telah dicampurkan bahan pemanis dan analisis sampel. Tahap penelitian ini akan didapatkan data-data yang berada pada alat spektroskopi dan diolah menggunakan metode SIMCA dengan aplikasi *The Unscrambler X* versi 10.4. Pada alat ini merupakan alat yang dapat

mengetahui panjang gelombang pada sampel madu, sebelum dimasukkan kedalam alat spektroskopi portabel ini madu akan dimasukkan ke dalam *waterbath* untuk menghindari kesalahan data karena kristalisasi. Data dari sampel-sampel tersebut yang nantinya akan menjadi data yang digunakan. Analisis data yang dilakukan pada penelitian ini yaitu menggunakan aplikasi *The Unscrambler X* versi 10.4 untuk mendeteksi pola sampel, kemudian membangun model klasifikasi menggunakan metode *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Soft Independent Modeling of Class Analogy* (SIMCA).

3.4.1 Membangun Model Klasifikasi Menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA)

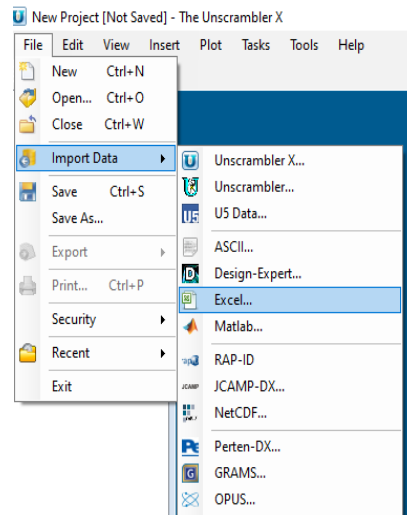
Data nilai fluoresensi yang diambil data spektroskopi portabel merupakan data yang diambil dari sampel madu *Apis mellifera* dengan nektar bunga kopi dan dicampur dengan 2 bahan pemanis. Setelah data diperoleh, data tersebut dikumpulkan menjadi satu dalam file *Microsoft Excel*. Kemudian file tersebut dianalisis menggunakan aplikasi *The Unscrambler X* versi 10.4.

Unscrambler merupakan aplikasi yang dirancang sebagai alat bantu dalam menganalisis data multivariat termasuk data spektra yang berasal dari pengukuran spektrometer (NIR *spectroscopy*, UV-Visible *spectroscopy*, Mid Infrared *Spectroscopy*, Tetrahertz *spectroscopy*, dan lainnya) (Suhandy & Yulia, 2019). PCA menjadi salah satu fitur proyeksi data yang disediakan dalam aplikasi *Unscrambler*. Berikut ini adalah tiga langkah umum dalam membangun dan menggunakan PCA:

- a. Menentukan dan menjalankan metode *pretreatment* terhadap data spektra yang sesuai jika dirasa perlu atau hanya menggunakan spektra asli tanpa *pretreatment*.
- b. Menjalankan algoritma PCA, tentukan jumlah komponen utama (PC) yang akan dilibatkan, diagnosis model.
- c. Menginterpretasikan plot *loading* dan plot skor.

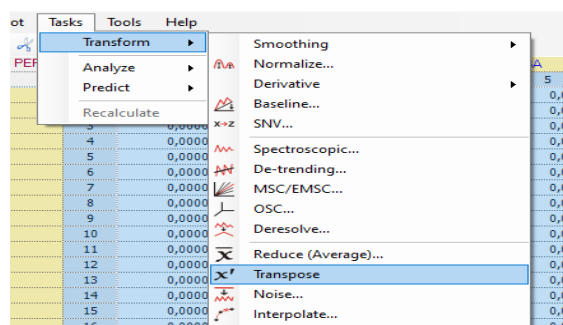
PCA diakses dengan menggunakan aplikasi *Unscrambler*. Namun sebelum mendapatkan nilai dari PCA, ada beberapa tahapan yang harus dilakukan, seperti

1. Buka perangkat lunak *Unscrambler* versi 10.4.
2. Mengimpor data, yaitu dengan klik menu *File* lalu pilih import data, dengan format *excel* untuk mengambil file *Microsoft Excel* yang akan dianalisis. Berikut ini adalah Gambar 24 proses *import* data dari *Ms. Excel*.



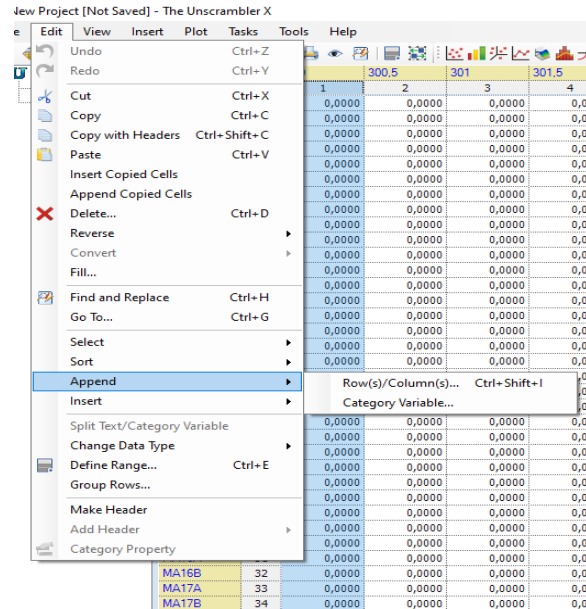
Gambar 24. Mengimpor data dari *Microsoft Excel* ke *The Unscrambler 10.4*.

3. Men-transpose data, setelah data berhasil diimpor dan tampil pada jendela *The Unscrambler*, kemudian data di-transpose dengan langkah
 - Klik menu tasks
 - Pilih fitur *transform*
 - Kemudian klik transpose. Proses dapat dilihat pada Gambar 25 berikut:



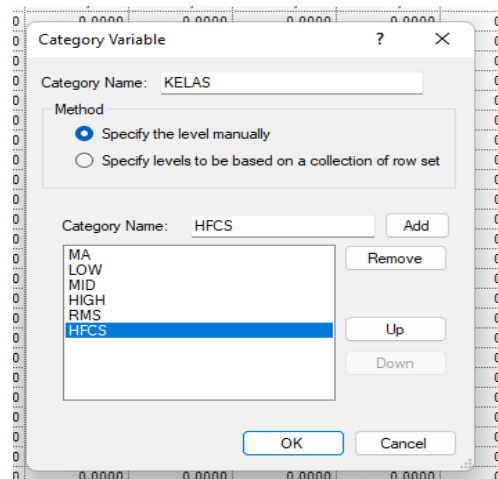
Gambar 25. Mentranspose data di aplikasi *The Unscrambler 10.4*

4. Menuliskan *Category Variable Name*, dengancara pilih menu *edit* klik *Append* lalu pilih *Category Variable*, kemudian tuliskan kata “KELAS” pada *Category Variable Name*.



Gambar 26. Membuat kolom *Category Variable*

5. Mengisi *Level Name*, tuliskan jenis madu yaitu madu asli (MA), LOW, MID, dan HIGH pada *Level Name*. Penjelasan pada gambar berikut :



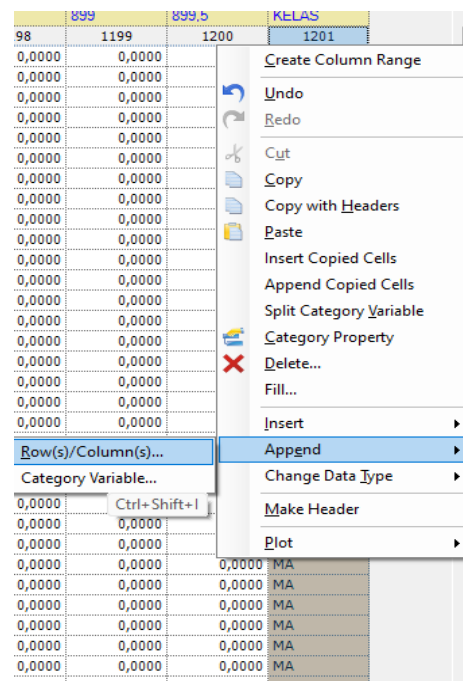
Gambar 27. Menambahkan *Level Name*

- 6. Diklik kolom KELAS warna *orange* dan setiap baris diisi sesuai kelas madu seperti pada Gambar 28.

99	899,5	KELAS
1199	1200	1201
0,0000	0,0000	MA
0,0000	0,0000	MA
0,0000	0,0000	MA
0,0000	0,0000	MA
0,0000	0,0000	MA
0,0000	0,0000	MA
0,0000	0,0000	MA
0,0000	0,0000	LOW
0,0000	0,0000	MID
0,0000	0,0000	HIGH
0,0000	0,0000	RMS
0,0000	0,0000	HFC5
0,0000	0,0000	
0,0000	0,0000	MA
0,0000	0,0000	MA
0,0000	0,0000	MA
0,0000	0,0000	MA
0,0000	0,0000	MA
0,0000	0,0000	MA
0,0000	0,0000	MA
0,0000	0,0000	MA
0,0000	0,0000	MA
0,0000	0,0000	MA
0,0000	0,0000	MA
0,0000	0,0000	MA
0,0000	0,0000	MA

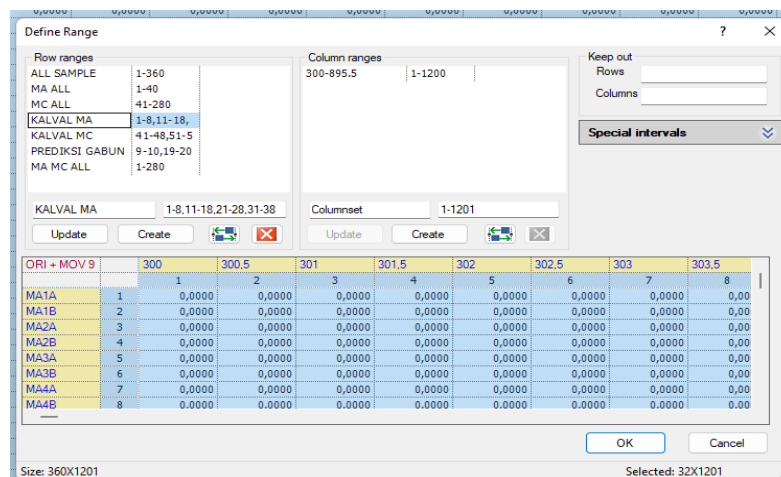
Gambar 28. Pengisian jenis madu sesuai kelasnya.

- 7. Menambahkan kolom untuk mengisi penomoran kalibrasi, validasi, dan prediksi (KALVALPRED) dengan cara memilih menu *Append* lalu pilih *Row(s)/Column(s)*.



Gambar 29. Menambahkan kolom untuk penomoran KALVALPRED

8. Sebelum menganalisis data menggunakan PCA maka diawali dengan pengelompokan data berdasarkan kategori sampel dan variabel. Tahap yang dilakukan yaitu:
- Klik menu edit kemudian pilih *define ranges*
 - Isi *rowset* dengan nama kalibrasi, validasi, dan prediksi dari kelas madu
 - Isi *column set* dengan jumlah *wavelength*
- Gambar 30 merupakan proses pengelompokan data yang dijalankan.



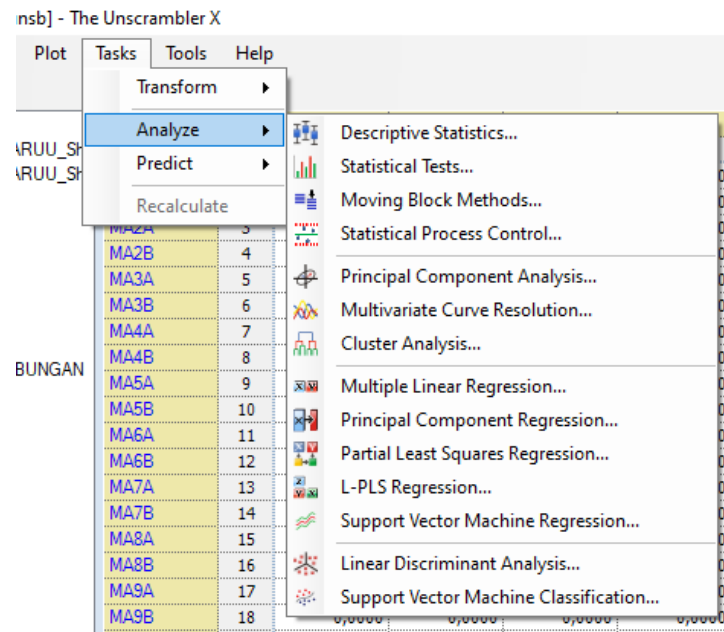
Gambar 30. Menentukan KALVALPRED

9. Menganalisis data dengan PCA, tahap inti yang dilakukan yaitu:
- Pilih menu *Task*
 - Pilih *analyze*
 - Pilih PCA

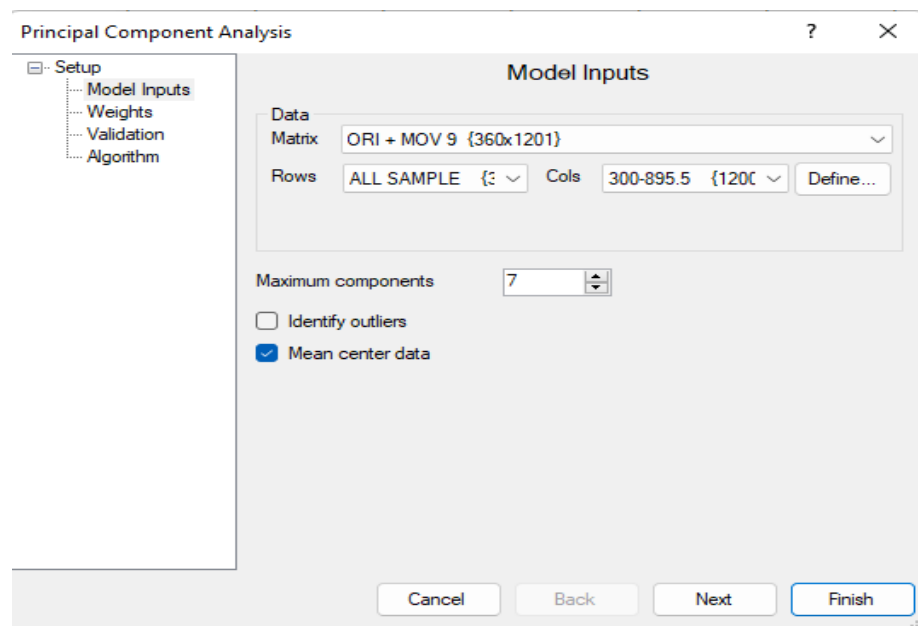
Pada saat di menu PCA ada beberapa komponen menu yang harus disetting untuk mendapatkan nilai PCA yang diinginkan dengan cara :

- Setting pada submenu *Model Input*
- Pada submenu *Weights*, pilih menu *Advanced*
- Pada submenu *validation*, pilih *Cross Validation*, kemudian setting menu *Setup* dengan settingan *method : Random*.
- Selanjutnya submenu terakhir yaitu *Algorithm* pilih *NIPALS*.

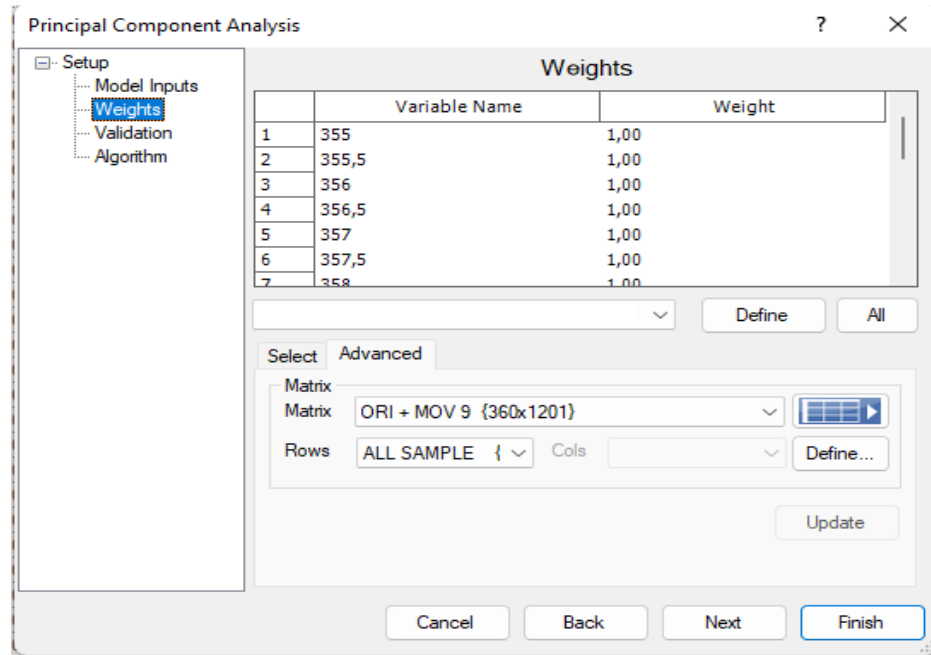
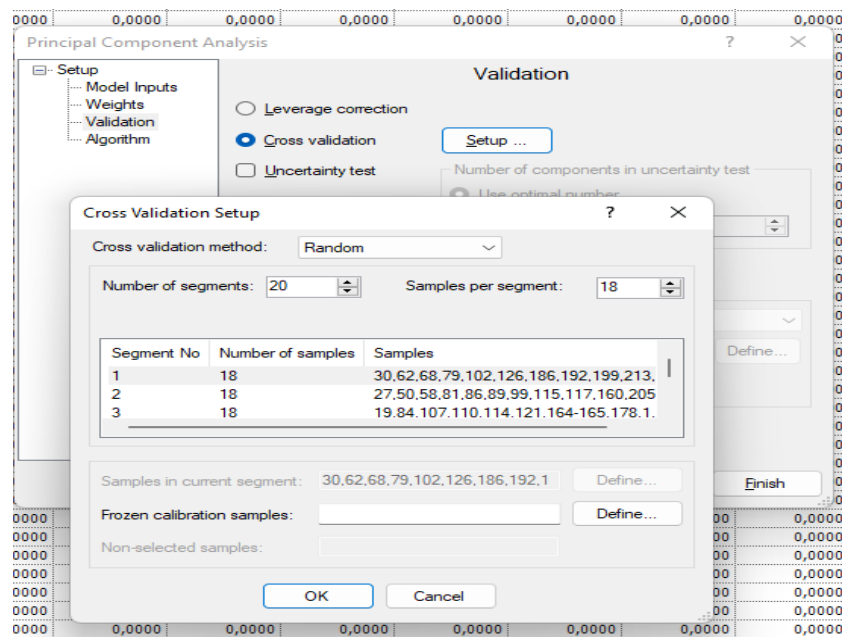
Gambar berikut menjelaskan tahap analisis PCA di atas.

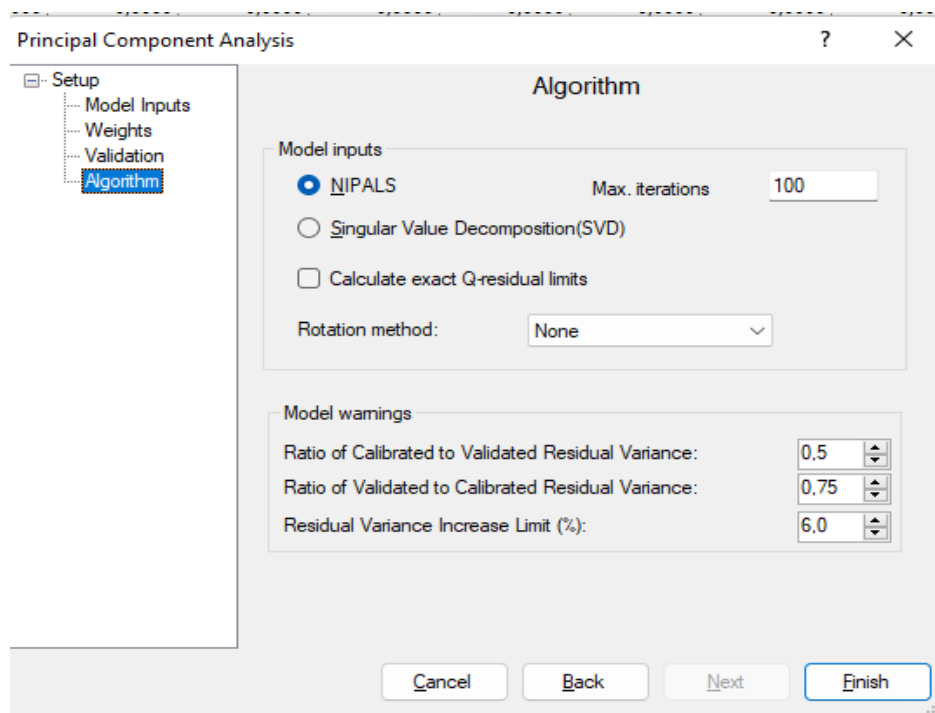


Gambar 31. Memilih proses membuat model dengan PCA



Gambar 32. Model inputs

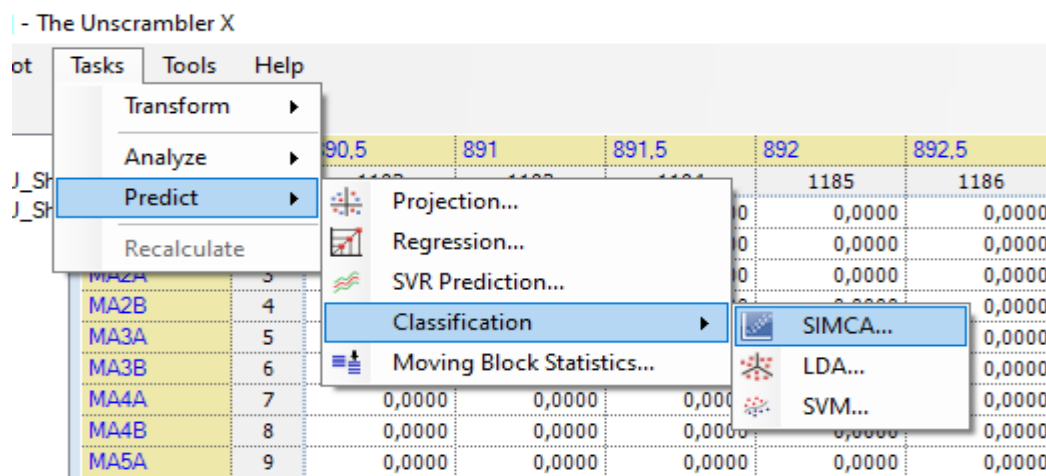
Gambar 33. *Weights*Gambar 34. *Validation*

Gambar 35. *Algorithm*

3.4.2 Membangun Model Klasifikasi Menggunakan Analisis *Soft Independent Modelling of Class Analogy (SIMCA)*

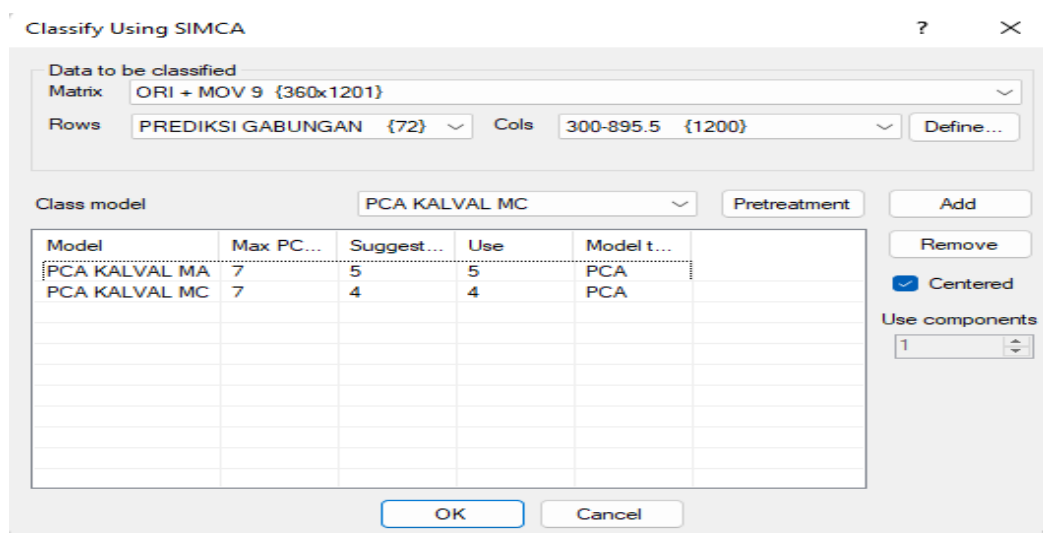
Setelah diperolehnya hasil diskriminasi dari PCA, tahap selanjutnya yaitu membangun model SIMCA. SIMCA merupakan teknik analisis multivariat terawasi guna menguji kekuatan diskriminasi dan klasifikasi pada sampel. Fungsi lainnya yaitu untuk menentukan sampel dengan tepat dengan kesesuaian kelas yang tersedia. Dasar dari metode klasifikasi ini adalah pembuatan model PCA pada tiap kelas dan tiap sampel diklasifikasi sesuai dengan model PCA yang dibuat. *Output* yang diperoleh berbentuk tabel klasifikasi, dengan setiap sampel diklasifikasikan ke dalam satu (sesuai kelasnya), beberapa (2 atau lebih) kelas, ataupun tidak terklasifikasikan ke dalam kelas manapun. Dalam membuat model SIMCA, sampel madu terbagi menjadi 3 bagian sampel. 3 bagian sampel tersebut berguna untuk kalibrasi, validasi dan prediksi. Membuat model SIMCA menggunakan sampel kalibrasi, sampel validasi berguna untuk mengecek kembali model yang telah dibuat dan sampel prediksi digunakan untuk menguji model yang telah dibuat dari dua sampel sebelumnya (kalibrasi dan validasi).

Pada proses untuk membangun model SIMCA, memiliki beberapa tahapan. Tahapan yang pertama yaitu memilih data yang sudah di *Transpose*. Kemudian pilih menu *Task* pilih *Predict* lalu pilih *Classification* dan pilih SIMCA seperti pada Gambar 36.



Gambar 36. Memilih proses SIMCA

Selanjutnya ketika menu SIMCA telah dipilih akan muncul jendela *Classify Using SIMCA*. Pada jendela ini isi *Rows* dengan PREDIKSI GABUNGAN dan *Cols* dengan 300-895.5. Selanjutnya ditambahkan model dengan cara pilih menu *Class* model, pilih KALVAL MA dan KALVAL MC dan pilih menu *Add* secara bergantian kemudian klik OK. Proses ini dapat dilihat pada Gambar 37.



Gambar 37. Classify Using SIMCA

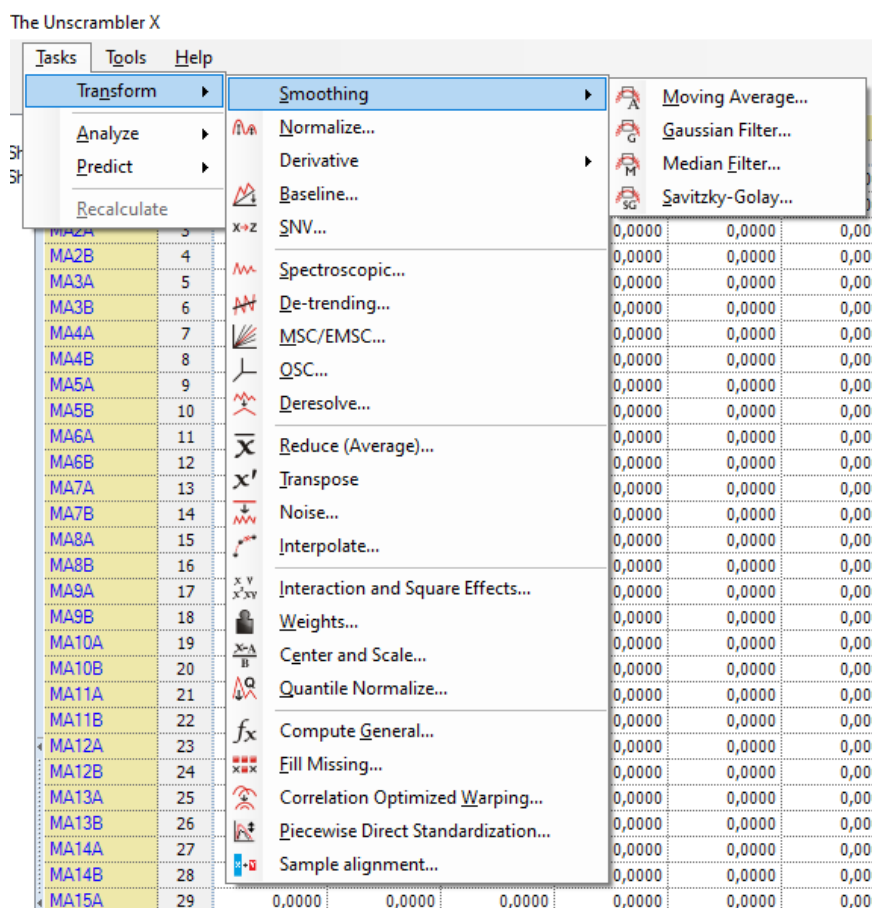
Setelah *loading* selesai pada aplikasi *The Unscrambler X*, akan muncul hasil dari SIMCA yang telah dibuat, seperti tabel klasifikasi yang dapat membedakan madu asli dan madu campuran. Gambar dari hasil SIMCA dapat dilihat pada Gambar 38.

Sample - Class	KALVAL M	KALVAL M
MA5A	*	
MA5B	*	
MA10A	*	
MA10B	*	
MA15A	*	
MA15B	*	
MA20A	*	
MA20B	*	
MC25A	*	*
MC25B	*	*
MC30A	*	*
MC30B		*
MC35A		*
MC35B		*
MC40A		*
MC40B		*
MC45A		*
MC45B		*
MC50A		*
MC50B		*
MC55A		*
MC55B		*
MC60A		*
MC60B		*
MC65A		*
MC65B		*
MC70A		*
MC70B		*
MC75A		*
MC75B		*
MC80A		*
MC80B		*
MC85A		*
MC85B		*
MC90A		*
MC90B		*
MC95A		*
MC95B		*
MC100A		*
MC100B		*
MC105A		*
MC105B		*
MC110A		*
MC110B		*
MC115A		*
MC115B		*
MC120A		*
MC120B		*
MC125A		*
MC125B		*
MC130A		*
MC130B		*

Gambar 38. Tabel klasifikasi SIMCA

Hasil SIMCA tersebut ada beberapa sampel yang masuk ke dalam 2 kelas sekaligus, hal ini dapat disebabkan adanya *noise* saat pengambilan data. Sehingga

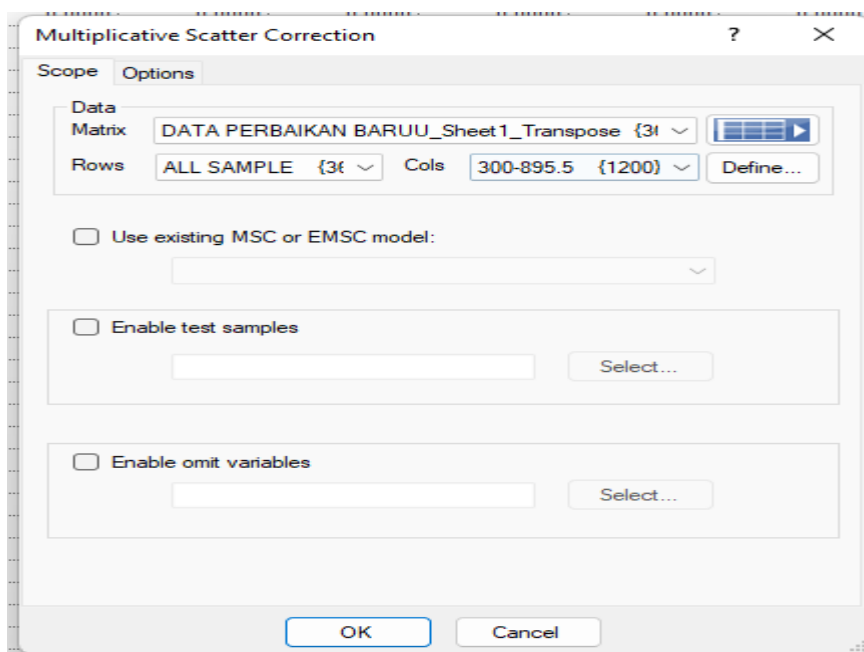
dibutuhkan adanya *pretreatment* untuk menghilangkan *noise* tersebut. Contoh dari *pretreatment* yaitu *Smoothing Moving Average*, MSC/EMSC, dan SNV. Proses *pretreatment* dilakukan dengan cara memilih menu *Task*, kemudian pilih *Transform* dan pilih diantara 4 *pretreatment* yang telah disebutkan sebelumnya. Proses *pretreatment* ini dapat dilihat pada Gambar 39.



Gambar 39. Contoh *pretreatment*

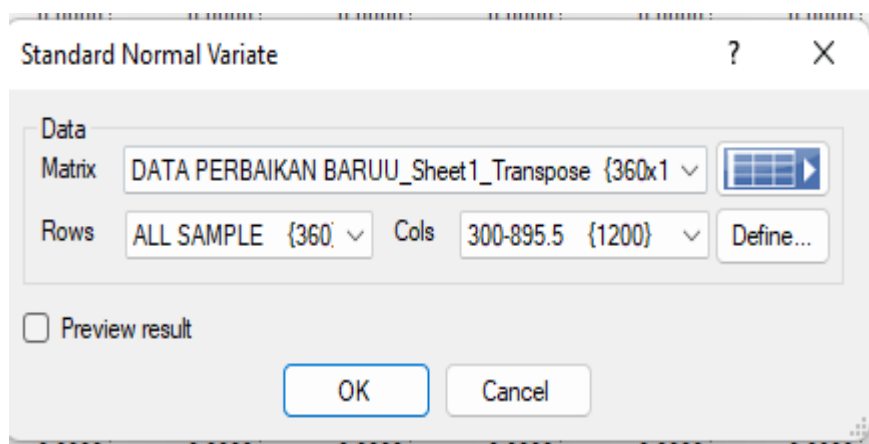
Dalam melakukan *pretreatment*, data yang digunakan adalah data *original* yang telah di *transpose*. Selanjutnya dihitung metode PCA dan SIMCA dari *original pretreatment* MSC/EMSC, SNV, dan *Smoothing Moving Average* dengan *Parameters Segment Size* bilangan ganji di mulai dari angka 3,5,7,9. Transformasi data menggunakan *pretreatment* MSC/EMSC (*Multiplicative Scatter Correction*) selanjutnya muncul jendela berisikan beberapa menu. Menu *Scope* lalu terdapat *Rows* yang dipilih “ALL SAMPLE” dan *Cols* dipilih “300-895.5 {1200}”. Selanjutnya pilih OK dibagian bawah jendela MSC. MSC (*Multiplicative Scatter Correction*) merupakan *pretreatment* data spektra dengan fungsinya untuk

menurunkan efek aditif dan multiplikatif yang berasal dari hamburan cahaya. MSC memiliki cara kerja berupa memisahkan efek dari hamburan cahaya dengan absorbans cahaya kimia. Proses *pretreatment* MSC/EMSC dapat dilihat pada Gambar 40.



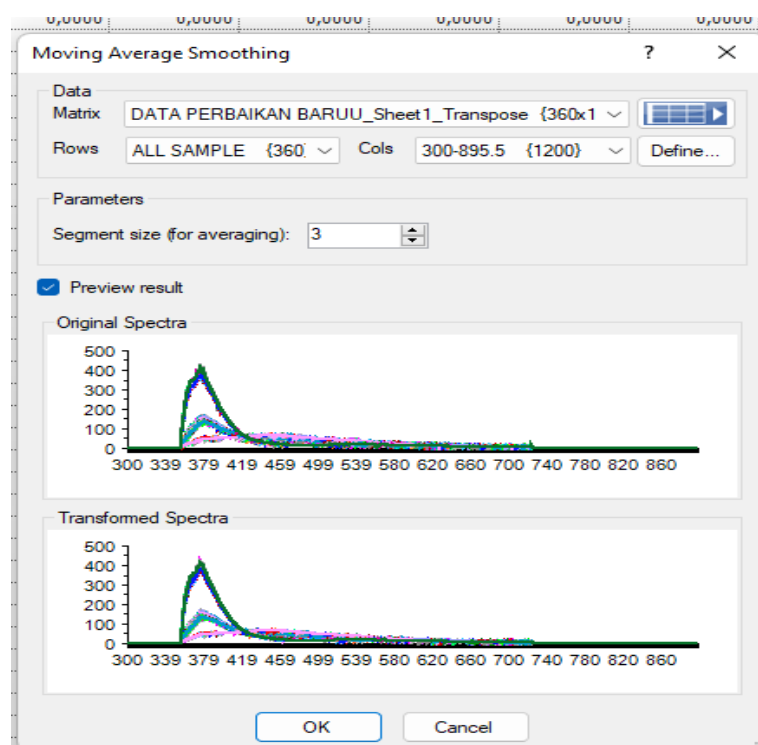
Gambar 40. Proses *pretreatment* MSC

Transformasi data menggunakan *pretreatment* SNV (*Standard Normal Variate*) selanjutnya muncul jendela yang berisikan *Rows* yang dipilih “ALL SAMPLE” dan *Cols* dipilih “300-895.5 {1200}”. Selanjutnya pilih OK dibagian bawah jendela SNV. Proses *pretreatment* SNV dapat dilihat pada Gambar 41.



Gambar 41. Proses *pretreatment* SNV

Transformasi data menggunakan *pretreatment Smoothing Moving Average*, selanjutnya muncul jendela yang berisikan *Rows* yang dipilih “ALL SAMPLE” dan *Cols* dipilih “300-895.5 {1200}”. Lalu pada menu *Parameters* terdapat *Segments size* yang dapat dipilih dengan bilangan ganjil di mulai dari angka 3,5,7,9. Menu *Smoothing Moving Average* ini juga dapat melihat spektra dari sebelum dilakukan *pretreatment* dan sesudah dilakukan *pretreatment* Selanjutnya pilih OK dibagian bawah jendela *Smoothing Moving Average*. Proses *pretreatment Smoothing Moving Average* dapat dilihat pada Gambar 42.



Gambar 42. Proses *Smoothing Moving Average*

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil identifikasi antara madu *Apis mellifera* asli (MA) dan madu *Apis mellifera* campuran (MC) berdasarkan level pencampuran, menghasilkan perberbedaan yang ditunjukkan oleh nilai fluoresensi. Apabila pencampuran (MC) dengan dua bahan pemanis semakin tinggi terhadap madu *Apis mellifera* asli (MA), maka nilai fluoresensi akan semakin menjauhi nilai fluoresensi spektra *Apis mellifera* asli. Hal ini menunjukkan bahwa madu yang dicampur dengan bahan pemanis akan semakin menjauhi tingkat keaslian dari madu asli tersebut.
2. Pengembangan model PCA mendapatkan hasil dengan PCA yang telah dibangun menggunakan data spektra *original* sampel MA dan MC menampilkan pola sampel pada *plot score* yang terpisah dengan nilai PC-1 sebesar 59% dan PC-2 sebesar 33%, sehingga mampu menjelaskan varian data secara kumulatif 92%. Sedangkan hasil klasifikasi PCA menggunakan data spektra *original + smoothing moving average 9 segment* sampel MA dan MC menampilkan pola sampel pada *plot score* yang terpisah dan berkumpul dengan baik sesuai kelasnya dengan nilai PC-1 sebesar 60% dan PC-2 sebesar 3%, sehingga mampu menjelaskan varian data secara kumulatif sebesar 93%.
3. Pengujian performansi model SIMCA dalam mengklasifikasi sampel yang dievaluasi menggunakan matriks konfusi pada data *original* memiliki nilai akurasi, sensitivitas, spesifisitas dan eror secara berurutan yaitu, 94,6%; 100%; 72,7%; dan 5,4% serta memiliki model klasifikasi terbaik pada level signifikansi 25%. Sedangkan dengan data hasil *pretreatment original + smoothing moving average 9 segment* mendapatkan nilai akurasi, sensitivitas, spesifisitas dan eror secara berurutan yaitu 100%; 100%; 100%; dan 0% serta memiliki model

klasifikasi data *pretreatment* yang tergolong klasifikasi sangat memuaskan atau *excellent classification* pada semua level signifikansi.

4. Hasil penelitian ini dapat membuktikan bahwa dengan menggunakan metode analisis spektroskopi portabel dan metode SIMCA dapat menguji pemalsuan terhadap madu *Apis mellifera* dengan nektar bunga kopi yang dicampur dengan dua bahan pemanis yaitu *Rice Malt Syrup* (RMS) dan *High Fructose Corn Syrup* (HFCS).

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya dari penulis adalah untuk melakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan bahan pemanis lain yang banyak beredar di masyarakat sekaligus berpotensi untuk menjadi bahan pencampur madu oleh oknum yang tidak bertanggung jawab. Kemudian dapat juga menggunakan metode klasifikasi yang lain seperti LDA maupun PLS-DA.

DAFTAR PUSTAKA

- Adji, Suranto. (2004). *Khasiat dan Manfaat Madu Herbal*. Agromedia Pustaka.
- Al Fady, N. M. F. (2015). *Madu dan luka diabetik: Metode perawatan luka komplementer dilengkapi dengan hasil riset* (Cetakan pertama). Gosyen Publishing.
- Aulia, Annisy S. (2022). *Penggunaan UV-VIS Spektroskopi dan Metode Kemometrika Untuk Mengidentifikasi Pemalsuan Madu Monoflora (Acacia Mangium) Lebah Tanpa Sengat (Heterotrigona Itama) Dengan Bahan Pemanis HFCS-55*[Skripsi]. Universitas Lampung.
- Apratiwi, N. (2016). *Studi Penggunaan UV-VIS Spectroscopy untuk Identifikasi Campuran Kopi Luwak dengan Kopi Arabika*. Universitas Lampung.
- Apriani, D., Gusnedi, & Yenni Darvina. (2013). *Studi Tentang Nilai Viskositas Madu Hutan dari Beberapa Daerah di Sumatera Barat untuk Mengetahui Kualitas Madu*.
- Baroni, M. V., Podio, N. S., Badini, R. G., Inga, M., Ostera, H. A., Cagnoni, M., Gautier, E. A., García, P. P., Hoogewerff, J., & Wunderlin, D. A. (2015). Linking Soil, Water, and Honey Composition To Assess the Geographical Origin of Argentinean Honey by Multielemental and Isotopic Analyses. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(18), 4638–4645. <https://doi.org/10.1021/jf5060112>
- Bayu, Nurcahyo. (2015). *Identifikasi Dan Autentikasi Meniran (Phyllanthus Niruri) Menggunakan Kombinasi Spektrum Ultraviolet-Tampak Dan Kemometrika* [Skripsi]. Institut Pertanian Bogor.
- Chayati, I., & Miladiyah, I. (2015). Kajian Kadar Flavonoid, Aktivitas Antioksidan, Dan Kapasitas Antioksidan Madu Monoflora. *Mgmi*, 6(1), 11-24.
- De Caro, C., & Claudia, H. (2015). *UV/VIS Spectrophotometry -Fundamentals and Applications*. Mettler Toledo.
- de Santana, F. B., S.J., M., L.C., G., W.B., N., & R.J., P. (2018). Rapid Discrimination between Authentic and Adulterated Andiroba Oil Using FTIR-HATR Spectroscopy and Random Forest. *Food Analytical Methods*, 11, 1927–1935.
- Ferreira, I. C. F. R., Aires, E., Barreira, J. C. M., & Estevinho, J. C. M. (2009). Ferreira, I. C. F. R., Aires, E., Barreira, J.C.M., & Estevinho, J. C. M. (2009). Antioxidant Activity of Portuguese Honey Samples: Different Contributions

- of The Entire Honey and Phenolic Extract. *Food Chemistry*, 114, 1438–1443. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.028>
- 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. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:umu:diva-130579>
- Guelpa, A., Marini, F., du Plessis, A., Slabbert, R., & Manley, M. (2017). Verification of authenticity and fraud detection in South African honey using NIR spectroscopy. *Food Control*, 73, 1388–1396. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.11.002>
- Hadi B. H., Fajar S., Jati R., & Rizka D. (2017). Penentuan Kadar Polifenol Ekstrak Teh Kemasan Dengan Metode Remaserasi Menggunakan Spektrofotometri UV-Vis. *Jurnal Ilmiah Farmasi Akademi Farmasi Jember*, 2, 7–14. <https://doi.org/10.53864/jifakfar.v2i1.16>
- Himawan, Aris B. (2022). *Studi Pencampuran Madu Tidak Bersengat (Tetrigona Apicalis) Dengan Sirup Jagung HFCS 55 Menggunakan UV-VIS Spektroskopi Dan Metode SIMCA*[Skripsi]. Universitas Lampung.
- Jaya, F. (2016). *Produk-Produk Lebah dan Hasil Olahannya*. UB Press.
- Kusumaningrum, D., Lee, H., Lohumi, S., Mo, C., Kim, M. S., & Cho, B.-K. 2018. *Non-destructive technique for determining the viability of soybean (Glycine max) seeds using FT-NIR spectroscopy*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(5), 1734–1742. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8646>
- Lakowicz, J. R., & Masters, B. R. (2006). Principles of Fluorescence Spectroscopy, Third Edition. *Journal of Biomedical Optics*, 13(2), 029901. <https://doi.org/10.1117/1.2904580>
- Lavine, B. K. (2009). Validation of classifiers. In: Walczak, B., Tauler, R., and Brown, S. (eds.). *Comprehensive Chemometric : Chemical and Biochemical Data Analysis*, 587–599.
- Lindsay, I. S. (2002). *A tutorial on Principal Components Analysis*.
- Ling Chin, N., & Sowndhararajan, K. (2020). A Review on Analytical Methods for Honey Classification, Identification and Authentication. In V. de Alencar Arnaut de Toledo & E. Dechechi Chambó (Eds.), *Honey Analysis—New Advances and Challenges*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.90232>
- Markham, K. R. (1988). *Cara Mengidentifikasi Flavonoid*. Penerbit ITB.
- Naresh, K. (2014). *Applications of Fluorescence Spectroscopy*. 5.
- Nurheti, Y. (2015). *Khasiat madu untuk kesehatan dan kecantikan* (1st ed.). Rapha Publishing.
- Oldroyd, B., & Wongsiri, S. (2009). *Asian Honey Bees: Biology, Conservation, and Human Interactions*. <https://doi.org/10.2307/j.ctv2drhcfb>

- O'Haver, T. 2017. *A Pragmatic Introduction to Signal Processing*. Department of Chemistry and Biochemistry, The University of Maryland.
- Parri, E., Santinami, G., & Domenici, V. (2020). *Front-Face Fluorescence of Honey of Different Botanic Origin: A Case Study from Tuscany (Italy)*. MDPI.
- Persano Oddo, L., & Bogdanov, S. (2004). Determination of honey botanical origin: Problems and issues. *Apidologie*, 35(Suppl. 1), S2–S3. <https://doi.org/10.1051/apido:2004044>
- Pomerantsev, A. L., & Rodionova, O. Y. (2020). Popular decision rules in SIMCA: Critical review. *Journal of Chemometrics*, 34(8). <https://doi.org/10.1002/cem.3250>
- Pontis, J. A., Alves da Costa, L. A. M., Reis da Silva, S. J., & Flachi, A. (2014). Color, phenolic and flavonoid content of honey from Roraima. *Food Science and Technology*, 34(1), 69–73. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612014005000015>
- Sobrinho-Gregorio, L., Vilanova, S., Prohens, J., & Escriche, I. (2019). Detection of honey adulteration by conventional and real-time PCR. *Food Control*, 95, 57–62. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.07.037>
- Standar Nasional Indonesia. (2018). *Madu*. SNI 8664-2018.
- Standar Nasional Indonesia. (2013). *Sirup*. SNI 3544-2013.
- Suhandy, D., & Yulia, M. (2019). *Tutorial Analisis Data Spektra menggunakan The Unscrambler*. Graha Ilmu.
- Sholekhah, A. (2018). *Aktivitas Antioksidan, Kadar Total Fenolik Dan Kadar Total Flavonoid Madu Kaliandra Pada Tiga Jenis Lebah Yang Berbeda (Apis mellifera, Apis cerana dan Trigona sp.)* [Skripsi]. Universitas Brawijaya.
- Wang, X., Rogers, K. M., Li, Y., Yang, S., Chen, L., & Zhou, J. (2019). Untargeted and Targeted Discrimination of Honey Collected by *Apis cerana* and *Apis mellifera* Based on Volatiles Using HS-GC-IMS and HS-SPME-GC-MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(43), 12144–12152. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b04438>
- Wijanarka, W. (2008). *Produksi Inulinase Fusan 3 Hasil Fusi Prototip Interspecific Kluveromyces Marxianus Dan Torulospira Pretoriensis Autothonus*. FMIPA UNDIP.
- Wulansari, D. (2018). *Madu Sebagai Terapi Komplementer*. Graha Ilmu. Yogyakarta.