

**PENGGUNAAN TEKNOLOGI SPEKTROSKOPI FLUORESENSI  
PORTABEL DAN METODE SIMCA UNTUK AUTENTIKASI MADU  
LEBAH HUTAN (*Apis dorsata*)**

**(Skripsi)**

Oleh

**AINUN KHOTIMAH**



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

## ABSTRAK

### PENGGUNAAN TEKNOLOGI SPEKTROSKOPI FLUORESENSI PORTABEL DAN METODE SIMCA UNTUK AUTENTIKASI MADU LEBAH HUTAN (*Apis dorsata*)

Oleh

**AINUN KHOTIMAH**

Madu merupakan suatu zat alami yang dihasilkan oleh lebah dari nektar bunga dan bagian tumbuhan lain yang memiliki aktivitas antioksidan enzimatis dan non enzimatis serta mengandung berbagai nutrisi. Madu hutan termasuk salah satu jenis madu premium yang memiliki nilai jual tinggi namun tingkat produksinya rendah. Hal ini karena madu hutan yang dihasilkan oleh lebah *Apis dorsata* sampai saat ini belum bisa dibudidayakan. Dengan demikian, madu hutan saat ini menjadi salah satu madu yang sering dipalsukan. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem untuk autentikasi. Penelitian ini menggunakan teknologi spektroskopi fluoresensi portabel dan metode SIMCA untuk mengautentikasi pemalsuan madu hutan. Penelitian ini bertujuan untuk membedakan madu hutan murni dan yang telah dicampur dengan sirup beras.

Terdapat 190 sampel yang digunakan, terdiri dari 50 sampel madu asli (MA) dan 140 sampel madu campuran (MC) dengan level pencampuran 10-60%. Pengukuran spektra dilakukan pada panjang gelombang 300-800 nm dengan 2 kali ulangan. Prosedur yang dilakukan sebelum pengukuran spektra yaitu pemanasan madu, pencampuran dengan sirup beras, pengenceran, pengadukan, selanjutnya dilakukan pengambilan spektra dan membuat model serta mengujinya dengan metode PCA dan SIMCA. Hasil pengujian PCA pada spektra *original* PC-1 dan PC-2 berjumlah 98%. Hasil PCA terbaik diperoleh dengan cara perbaikan spektra menggunakan beberapa perlakuan, dan diperoleh perbaikan *smoothing moving average 7 segment* dengan jumlah nilai PC-1 dan PC-2 sebesar 99%. Hasil plot *X-loading* terindikasi adanya puncak gelombang pada 448 nm dan 459 nm yang mengkarakterisasi sampel MA yang diduga pada panjang gelombang tersebut terdapat kandungan asam fenolik dan vitamin B2. Hal tersebut sesuai dengan fakta bahwa terdapat kandungan vitamin B yang bertanggung jawab atas aktivitas antioksidan di dalam madu. Hasil klasifikasi model SIMCA MA dan MC mendapatkan nilai akurasi, sensitivitas dan spesifisitas sebesar 100% serta nilai eror 0%. Berdasarkan kurva ROC yang menjelaskan hubungan spesifisitas dan

sensitivitas, memperoleh klasifikasi sangat baik karena semakin mendekati garis  $Y = (0,1)$ . Sehingga dapat mengklasifikasikan antara madu hutan asli (MA) dan madu hutan campuran (MC) dengan sangat baik.

**Kata kunci :** Madu hutan, sirup beras, spektroskopi fluoresensi portabel, PCA, SIMCA.

## **ABSTRACT**

### **USE OF PORTABLE FLUORESCENCE SPECTROSCOPY TECHNOLOGY AND THE SIMCA METHOD FOR AUTHENTICATION OF FOREST BEE HONEY (*Apis dorsata*)**

**By**

**AINUN KHOTIMAH**

Honey is a natural substance produced by bees from flower nectar and other plant parts that has enzymatic and non-enzymatic antioxidant activity and contains various nutrients such as protein, vitamins, organic acids, flavonoids, and phenolic compounds. Forest honey is a type of premium honey that has a high selling value but a low production level. This is because forest honey produced by *Apis dorsata* bees cannot be cultivated until now. Thus, forest honey is currently one of the honeys that is often counterfeited. Therefore, we need a system for authentication. This study uses portable fluorescence spectroscopy technology and the SIMCA method to authenticate forest honey counterfeiting. This study aims to distinguish between pure forest honey and that which has been mixed with rice malt syrup.

There were 190 samples used, consisting of 50 samples of pure honey (MA) and 140 samples of adulterated honey (MC) with a mixing level of 10-60%. Spectral measurements were carried out at a wavelength of 300-800 nm with 2 repetitions. The procedures performed before spectral measurements were heating the honey, mixing it with rice syrup, dilution, stirring, then taking the spectra and making a model and testing it with the PCA and SIMCA methods. PCA test results on the original PC-1 and PC-2 spectra amounted to 98%. The best PCA results were obtained by improving the spectra using several treatments, and the 7 segment smoothing moving average was obtained with a total of 99% PC-1 and PC-2 values. The results of the X-Loading plot indicate that there are peaks at 448 nm and 459 nm which characterize the MA samples which are thought to contain vitamins B2 at these wavelengths. This is in accordance with the fact that there is a phenolic acid and vitamin B2 content which is responsible for antioxidant activity in honey. The results of the classification of the SIMCA MA and MC models obtained an accuracy, sensitivity and specificity value of 100% and an error value of 0%. Based on the ROC curve which explains the relationship

between specificity and sensitivity, the classification is very good because it is getting closer to the Y line (0.1). So that it can classify authentic forest honey (MA) and adulterated forest honey (MC) very well.

**Keyword** : Forest honey, rice syrup, portable spectroscopy fluorescence, PCA, SIMCA

**PENGGUNAAN TEKNOLOGI SPEKTROSKOPI FLUORESENSI  
PORTABEL DAN METODE SIMCA UNTUK AUTENTIKASI MADU  
LEBAH HUTAN (*Apis dorsata*)**

**Oleh**

**Ainun Khotimah**

**Skripsi**

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

**Pada**

**Jurusan Teknik Pertanian  
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDARLAMPUNG  
2023**

Judul Skripsi

: **PENGGUNAAN TEKNOLOGI  
SPEKTROSKOPI FLUORESENSI PORTABEL  
DAN METODE SIMCA UNTUK  
AUTENTIKASI MADU LEBAH HUTAN (*Apis  
dorsata*)**

Nama Mahasiswa

: **Ainun Khotimah**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1914071003

Program Studi

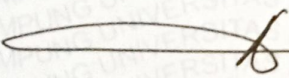
: Teknik Pertanian

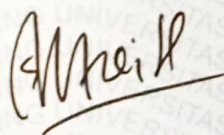
Fakultas

: Pertanian

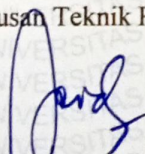


1. Komisi Pembimbing

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

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

2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian

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

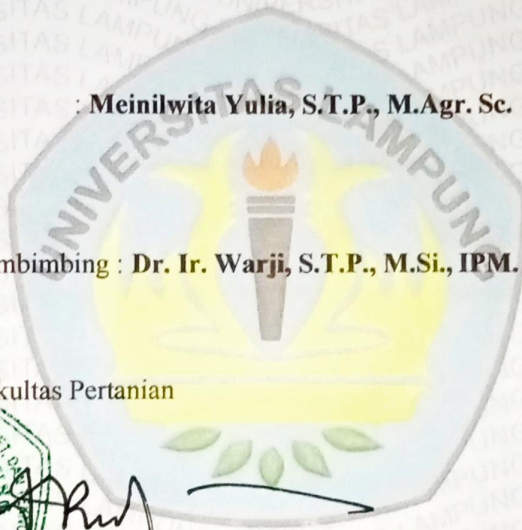
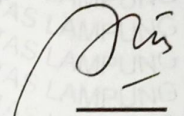
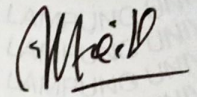
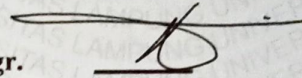
**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

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

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

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



**2. Dekan Fakultas Pertanian**



**Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.**  
NIP. 196110201986031002

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 31 Mei 2023**



## PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah **Ainun Khotimah** dengan NPM **1914071003**, dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing, 1) **Prof. Dr.Agr.Sc. Diding Suhandy, S.TP., M.Agr.**, dan 2) **Meinilwita Yulia, S.T.P., M.Agr. Sc.** berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal,dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

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

Bandarlampung,  
Yang membuat pernyataan,

2023



Handwritten signature of Ainun Khotimah in black ink.

**Ainun Khotimah**  
1914071003

## RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Wonosari, Kecamatan Gadingrejo, Kabupaten Pringsewu, Provinsi Lampung pada tanggal 21 Februari 2001.

Penulis adalah anak pertama dari dua bersaudara dari Bapak Muridan dan Ibu Nur Fatimah. Penulis menempuh pendidikan

Taman Kanak-kanak (TK) di TK Mawar Azam pada tahun 2007. Pendidikan

Sekolah Dasar (SD) di MI Baabussalaam Wonosari dan lulus tahun 2013.

Sekolah Menengah Pertama (SMP) diselesaikan di SMP Negeri 1 Gadingrejo

pada tahun 2016 dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 2

Gadingrejo lulus pada tahun 2019.

Tahun 2019, penulis mendaftarkan diri sebagai salah satu calon mahasiswa

Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung dan di terima melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa penulis terdaftar di Unit Kegiatan Mahasiswa

Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) sebagai Anggota Bidang

Keprofesian.

Pada tanggal 10 Januari-19 Februari 2022, penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Pekon Sidodadi, Kecamatan Pagelaran, Kabupaten Pringsewu selama 40 hari. Kemudian, pada tanggal 4 Juli-8 Agustus 2022, penulis melaksanakan kegiatan Praktik Umum selama 30 hari kerja di PT. Suhita Lebah Indonesia di Gunung Terang, Langkapura, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung, dengan judul “Mempelajari Penangan Pascapanen Madu Dari Lebah *Apis Mellifera* Di PT. Suhita Lebah Indonesia Kota Bandar Lampung Provinsi Lampung”.

## *Persembahan*

*Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, serta kesehatan, kemudahan dan kelancaran dalam setiap langkah sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.*

*Karya ini ku persembahkan untuk :*

### *Kedua orang tuaku*

*Bapak Muridan dan Ibu Nur Fatimah yang tanpa kenal lelah memberikan doa, cinta dan kasih sayang, bimbingan yang luar biasa, serta pengorbanan yang sangat berarti.*

### *Adikku*

*Akhdan Abrori yang selalu memberikan doa, dukungan, dan semangat yang tiada henti.*

*Serta*

*“Kepada Almamater Tercinta”*

*Teknik Pertanian Universitas Lampung 2019*

## SANWANCANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan karya tulis ini. Sholawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW. dan dapat kita nantikan syafaat nya di akhirat kelak. Skripsi dengan judul **“Penggunaan Teknologi Spektroskopi Fluoresensi Portabel dan Metode SIMCA Untuk Autentikasi Madu Lebah Hutan (*Apis dorsata*)”** merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini banyak terjadi kesalahan dan kekurangan. Sehingga penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih atas bantuan semua pihak yang telah memberikan bantuan, doa, dukungan, dan bimbingan serta arahan dalam penyelesaian skripsi ini. Ucapan terima kasih saya ucapkan kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian yang telah membantu dalam administrasi skripsi.
2. Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si., selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Dr. Agr. Sc. Diding Suhandy, S.T.P., M.Agr., selaku dosen pembimbing akademik penulis yang meluangkan waktunya untuk memberikan masukan, arahan, motivasi dan nasihat selama proses penelitian hingga penyusunan skripsi ini.
4. Ibu Meiniwita Yulia, S.T.P., M.Agr.Sc., selaku dosen pembimbing kedua penulis yang telah memberikan bimbingan, saran dan dorongan dalam proses penyusunan skripsi ini.

5. Bapak Dr. Ir. Warji, S.T.P., M.Si., IPM., selaku dosen pembahas penulis yang telah memberikan kritik, koreksi, dan arahan dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
7. Seluruh Staf Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
8. Bapakku Muridan, Ibuku Nur Fatimah, dan Adikku Akhdan Abrori, serta seluruh keluarga atas semua doa, kasih sayang, dukungan dan nasihat yang telah diberikan.
9. Sahabatku Leni Tri Wahyuni, Luailiyatuzzahrok, dan Dewi Meilinda yang selalu mendengarkan keluh kesahku, berbagi cerita, memberikan semangat serta dukungan dalam penelitian hingga proses penyusunan skripsi ini.
10. Teman-teman terdekat dan seperjuangan skripsi (Yesi Rahayu, Dicky Ervandi, dan Muhammad Kholis).
11. Keluarga Teknik Pertanian 2019 yang telah membantu dan menemani penulis selama perkuliahan, penelitian hingga penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna. Semoga skripsi ini menjadi manfaat bagi kita semua. Aamiin.

Bandarlampung,      Juni 2023  
Penulis

**Ainun Khotimah**

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>vii</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
1.4 Manfaat Penelitian .....	5
1.5 Batasan Masalah .....	6
1.6 Hipotesis Penelitian .....	6
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
2.1 Madu .....	7
2.2 Klasifikasi Lebah .....	8
2.3 Jenis Madu .....	9
2.4 Kandungan Madu.....	9
2.5 Manfaat Madu.....	10
2.6 Sirup Beras.....	11
2.7 UV-Vis Spektroskopi .....	12
2.8 Spektroskopi Fluoresensi .....	13
2.9 Metode Kemometrika .....	16
2.9.1 <i>Principal Component Analysis (PCA)</i> .....	16
2.9.2 <i>Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA)</i> .....	17
2.9.3 Matriks Konfusi ( <i>Confusion Matrix</i> ) .....	17
2.9.4 <i>Pretreatment</i> .....	20

<b>III. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>20</b>
3.1 Waktu dan Tempat.....	20
3.2 Alat dan Bahan .....	20
3.3 Prosedur Penelitian .....	20
3.4 Pembuatan Larutan .....	21
3.5 Pengambilan Spektra Menggunakan Spektroskopi Fluoresensi .....	24
3.5 Membuat dan Menguji Model .....	26
3.6 Analisis Data.....	26
3.7 <i>Principal Component Analysis</i> (PCA).....	26
3.8 Membuat Model Menggunakan Analisis <i>Soft Independent Modeling of Class Analogy</i> (SIMCA).....	33
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>35</b>
4.1 Analisis Spektra Madu Hutan Asli dan Campuran .....	35
4.1.1 Analisis Spektra Madu Hutan Murni dan Campuran Menggunakan Data Spektra <i>Original</i> dengan Panjang Gelombang 300-800 nm.....	36
4.1.2 Analisis Spektra Madu Hutan Asli dan Campuran Menggunakan <i>Pretreatment Smoothing Moving Average 7 segment</i> .....	38
4.2 Hasil <i>Principal Component Analysis</i> (PCA) .....	45
4.2.1 Hasil <i>Principal Component Analysis</i> (PCA) Menggunakan Data Spektra <i>Original</i> dengan Panjang Gelombang 300-800 nm .....	46
4.2.2 Hasil <i>Principal Component Analysis</i> (PCA) Menggunakan Data <i>Pretreatment Smoothing Moving Average 7 Segment</i> .....	49
4.3 Model <i>Soft Independent Modelling of Class Analogy</i> (SIMCA) pada Panjang Gelombang 300-800 nm .....	52
4.3.1 Model <i>Soft Independent Modelling of Class Analogy</i> (SIMCA) Data Spektra <i>Original</i> .....	53
4.3.2 Model <i>Soft Independent Modelling of Class Analogy</i> (SIMCA) Data Spektra <i>Pretreatment Smoothing Moving Average 7 Segment</i> .....	54
4.4 Klasifikasi Menggunakan Sampel Baru (Sampel Prediksi) .....	56
4.4.1 Klasifikasi Menggunakan Data <i>Original</i> .....	56
4.4.2 Klasifikasi Menggunakan Data <i>Pretreatment Smoothing Moving Average 7 Segment</i> .....	57
4.5 <i>Coomans Plot</i> .....	58
4.5.1 <i>Coomans Plot</i> Menggunakan Data Spektra <i>Original</i> pada Panjang Gelombang 300-800 nm .....	58
4.5.2 <i>Coomans Plot</i> Menggunakan Data <i>Pretreatment Smoothing Moving Average 7 Segment</i> pada Panjang Gelombang 300-800 nm.....	59
4.6 Kurva <i>Receiver Operating Characteristic</i> (ROC).....	60



4.6.1 Kurva ROC Menggunakan Data Spektra <i>Original</i> .....	60
4.6.2 Kurva ROC Menggunakan Data Spektra <i>Pretreatment Smoothing</i> <i>Moving Average 7 Segment</i> .....	62
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>65</b>
5.1 Kesimpulan .....	65
5.2 Saran .....	66
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>67</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>71</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
1. Lebah <i>Apis dorsata</i> .....	8
2. Sirup Beras .....	11
3. Spektrometer Fluoresensi.....	13
4. Proses Fluoresensi.....	14
5. Diagram Alir Prosedur Penelitian .....	21
6. Pemanasan Madu .....	22
7. Pengadukan Sampel .....	23
8. Diagram Alir Persiapan Bahan.....	24
9. Diagram Proses Pengambilan Spektra .....	25
10. Penggabungan Nilai Intensitas Pada <i>Microsoft Excel</i> .....	27
11. Proses <i>Import Data</i> .....	27
12. Proses <i>Transpose</i> .....	28
13. Proses Membuat <i>Category Variable</i> .....	28
14. Proses Pengisian <i>Level Name</i> .....	29
15. Proses Pengisian Kode Sampel .....	29
16. Proses <i>Define Range</i> .....	30
17. Penentuan KALVALPRED .....	30
18. Proses Analisis PCA .....	30
19. <i>Model Inputs</i> .....	31
20. <i>Weights</i> .....	31
21. <i>Validation</i> .....	32
22. <i>Algorithm</i> .....	32
23. Hasil Analisis PCA .....	32
24. Proses Membangun Model SIMCA.....	33
25. <i>Classify Using SIMCA</i> .....	34

26. Tabel Pengelompokan Hasil Proses SIMCA .....	34
27. Tampilan Warna Madu Hutan Asli (MA), Madu Hutan Campuran (MC), dan Sirup Beras (SB) .....	35
28. Grafik Nilai Rata-Rata Spektra Emisi <i>Original</i> MA, MC10%-MC60%, dan SB dengan Panjang Gelombang 300-800 nm yang Dieksitasi Menggunakan Panjang Gelombang 365 nm .....	36
29. Hasil Rata-Rata Data Spektra Emisi Sampel MA, MC10%-MC 60%, dan SB Menggunakan Data <i>Pretreatment Smoothing Moving Average 7 Segment</i> yang Dieksitasi Menggunakan Panjang Gelombang 365 nm .....	38
30. Hasil <i>Plot Score</i> PCA Menggunakan Data Spektra Emisi <i>Original</i> Berdasarkan MA dan MC Pada Level Pencampuran yang Berbeda yang Dieksitasi Menggunakan Panjang Gelombang 365 nm .....	41
31. Hasil <i>Plot Score</i> PCA Data Spektra Emisi <i>Original</i> Berdasarkan MA dan MC yang Dieksitasi Menggunakan Panjang Gelombang 365 nm .....	41
32. Grafik <i>X-Loading</i> Menggunakan Data Spektra Emisi <i>Original</i> .....	43
33. Hasil <i>Plot Score</i> PCA Menggunakan Data <i>Pretreatment Smoothing Moving Average 7 Segment</i> Berdasarkan MA dan MC Pada Level Pencampuran yang Berbeda yang Dieksitasi Menggunakan Panjang Gelombang 365 nm .....	45
34. Hasil <i>Plot Score</i> PCA Menggunakan Data <i>Pretreatment Smoothing Moving Average 7 Segment</i> Berdasarkan MA dan MC yang Dieksitasi Menggunakan Panjang Gelombang 365 nm .....	45
35. Grafik <i>X-Loading</i> Menggunakan Data <i>Pretreatment Smoothing Moving Average 7 Segment</i> yang Dieksitasi Menggunakan Panjang Gelombang 365 nm .....	47
36. Model SIMCA MA pada Data Spektra Emisi <i>Original</i> dengan Panjang Gelombang 300-800 nm yang Dieksitasi Menggunakan Panjang Gelombang 365 nm .....	49
37. Model SIMCA MC pada Data Spektra Emisi <i>Original</i> Menggunakan Panjang Gelombang 300-800 nm dengan Level Campuran 10%-60% yang Dieksitasi Menggunakan Panjang Gelombang 365 nm .....	49

38. Model SIMCA MA Menggunakan Data <i>Pretreatment Smoothing Moving Average 7 Segment</i> yang Dieksitasi Menggunakan Panjang Gelombang 365 nm .....	50
39. Model SIMCA MC Menggunakan Data <i>Pretreatment Smoothing MovingAverage 7 Segment</i> yang Dieksitasi Menggunakan Panjang Gelombang 365 nm.....	51
40. <i>Coomans Plot</i> Hasil Klasifikasi Model SIMCA MA dan MC Menggunakan Data Spektra <i>Original</i> Pada Panjang Gelombang 300-800 nm .....	55
41. <i>Coomans Plot</i> Menggunakan Data <i>Pretreatment Smoothing Moving Average 7 Segment</i> pada Panjang Gelombang 300-800 nm.....	56
42. Kurva ROC Klasifikasi MA dan MC Menggunakan Data Spektra Emisi <i>Original</i> yang Dieksitasi Menggunakan Panjang Gelombang 365 nm .....	58
43. Kurva ROC Klasifikasi MA dan MC Menggunakan Data <i>Pretreatment Smoothing Moving Average 7 Segment</i> .....	60
44. Sampel Pengenceran 1:5 MI (A) Dan Sampel Madu Hutan (b).....	78
45. Alat Yang Digunakan Pipet Tetes (c) dan Kuvet (d) .....	78
46. Alat Yang Digunakan Gelas Beaker (e) Dan Gelas Ukur (f).....	78
47. Proses Pengadukan Sampel (g) dan Proses Pemanasan Sampel (h) .....	79

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
1. Kandungan Madu .....	10
2. Kandungan Sirup Beras .....	12
3. Matriks Konfusi .....	18
4. Pemberian Nomor Sampel .....	23
5. Hasil perhitungan matriks konfusi serta nilai PC menggunakan beberapa kombinasi <i>pretreatment</i> .....	39
6. Matriks Konfusi Model SIMCA MA dan MC Data <i>Original</i> .....	52
7. Matriks Konfusi Model SIMCA MA dan MC Data <i>Pretreatment Smoothing Moving Average 7 Segment</i> .....	53
8. Nilai Sensitivitas dan 1-Spesifisitas Dari Klasifikasi MA dan MC Menggunakan Data Spektra <i>Original</i> Pada Beberapa Level Signifikansi .....	57
9. Nilai Sensitivitas dan 1-Spesifisitas Dari Klasifikasi MA dan MC Menggunakan Data <i>Pretreatment Smoothing Moving Average 7 Segment</i> Pada Beberapa Level Signifikansi .....	59
10. Tabel Istilah.....	68
11. Klasifikasi Model SIMCA Menggunakan Spektra Data <i>Original</i> .....	70
12. Klasifikasi Model SIMCA Menggunakan Spektra Data <i>Pretreatment Smoothing Moving Average 7 Segment</i> .....	72
13. Data <i>Coomans Plot</i> Menggunakan Data Spektra <i>Original</i> Sampel Prediksi MA dan M .....	74
14. Data <i>Coomans Plot</i> Menggunakan Data Spektra <i>Pretreatment Smoothing Moving Average 7 Segment</i> Sampel Prediksi MA dan MC .....	76

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki kekayaan alam yang sangat berlimpah. Baik flora maupun fauna yang sangat beragam dengan keadaan geografis yang bermacam-macam. Sebagai salah satu paru-paru dunia, Indonesia memiliki wilayah hutan yang sangat luas. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan pada tahun 2020 hasil pemantauan luas lahan berhutan seluruh daratan Indonesia adalah 95,6 juta hektar atau 50,9% dari total luas daratan. Dari total luas lahan hutan 92,5% atau 88,4 juta hektar berada dalam kawasan hutan. Dilihat dari luas lahannya banyak komoditas yang memiliki nilai jual tinggi dari hutan selain kayu yaitu salah satunya madu. Madu banyak dikonsumsi oleh masyarakat karena dipercaya memiliki banyak manfaat.

Madu merupakan suatu zat alami yang dihasilkan oleh lebah dari nektar bunga dan bagian tumbuhan lain yang memiliki aktivitas antioksidan enzimatis dan non enzimatis. Selain itu, madu adalah larutan dari gula jenuh dan mengandung berbagai nutrisi seperti, protein, vitamin, asam organik, flavonoid, dan senyawa fenolik. Dan di dalam madu juga terdapat enzim seperti katalase, peroksida, glukosa teroksidasi, dan fitokimia lainnya. Kandungan fitokimia yang terdapat dalam madu tergantung pada kondisi lingkungan dan iklim di mana madu tersebut dihasilkan. Banyak jenis madu mengandung banyak fitokimia, termasuk polifenol dan asam fenolik yang bertindak sebagai antioksidan. Polifenol utama dalam madu adalah flavonoid dengan kandungan 60 sampai 460 g per 100 g madu (Sime *et al.*, 2015).

Madu termasuk salah satu komoditas pertanian yang memiliki nilai ekonomis

tinggi. Hal ini disebabkan karena madu memiliki tiga manfaat sekaligus, seperti sebagai sumber nutrisi, bahan kesehatan, dan bahan kosmetika (Oroian dan Ropciuc, 2017). Sudah sejak lama madu telah dikonsumsi karena dipercaya memiliki berbagai khasiat. Dan di zaman yang modern ini telah dibuktikan dengan banyaknya riset yang telah dilakukan bahwa madu memang memiliki berbagai khasiat untuk tubuh. Saat ini juga telah banyak yang membudidayakan lebah untuk menghasilkan madu. Namun tentu saja madu dari hasil budidaya kualitasnya kalah dengan madu hutan asli. Perbedaan vegetasi di suatu wilayah memberikan pengaruh terhadap karakteristik madu yang dihasilkan seperti sukrosa, fruktosa, glukosa, kadar air, dan enzim diastase (Pribadi and Wiratmoko, 2019).

Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2020 luas hutan Provinsi Lampung mencapai 1.004.735 hektar. Provinsi Lampung memiliki kekayaan alam yang sangat melimpah. Dari luasnya wilayah hutan Lampung tersebut, maka sangat berpotensi menghasilkan komoditas unggulan non kayu salah satunya madu hutan. Penelitian dan pengembangan madu lokal dinilai penting karena perbedaan vegetasi, cuaca, dan lingkungan yang dapat mempengaruhi madu serta kandungan antioksidannya. Hutan yang subur di Lampung merupakan sumber makanan bergizi bagi lebah penghasil madu. Perbedaan vegetasi yang ada pada hutan Lampung diduga memberikan pengaruh terhadap karakteristik madu yang dihasilkan. Jadwal pembungaan dipengaruhi oleh tipe tanah, iklim, dan kondisi vegetasi yang kemudian berpengaruh terhadap kualitas dan kuantitas sekresi nektar yang dihasilkan (Bhalchandra *et al.*, 2014).

Secara khusus, komposisi madu sangat ditentukan oleh asal nektar madu dan jenis lebah yang menghasilkan sekresi madu (Da Silva *et al.*, 2016). Atas dasar ini, madu dikelompokkan sebagai monofloral atau multiflora bergantung pada asal nektar madu apakah berasal dari satu jenis tanaman (monoflora) atau beberapa jenis tanaman (multiflora). Untuk saat ini lebah *Apis dorsata* belum bisa dibudidayakan, sehingga produksinya pun terbatas. Terbatasnya ketersediaan madu hutan ini mendorong oknum-oknum tertentu untuk memalsukan madu hutan. Dengan demikian, madu hutan pada saat ini menjadi salah satu madu yang

sering dipalsukan, baik dengan cara dioplos dengan madu jenis lain yang lebih murah atau pemalsuan dengan dicampur menggunakan bahan pemanis buatan. Salah satunya pencampuran madu dengan sirup beras. Alasan digunakannya sirup beras sebagai campuran madu karena sirup beras memiliki warna, rasa, aroma, dan kekentalan yang sangat mirip dengan madu. Sehingga saat sudah dicampurkan dengan madu akan sulit untuk membedakan madu tersebut murni atau campuran.

Beberapa cara bisa dilakukan untuk menguji keaslian madu. Evaluasi sensori termasuk salah satu cara yang dapat digunakan untuk membedakan jenis madu yang satu dengan yang lain atau campuran antara madu asli dan madu oplosan atau yang sudah dimanipulasi. Evaluasi sensori adalah cara yang dilakukan oleh manusia untuk menjelaskan madu dengan panca indra yaitu indra perasa, indra penglihatan, indra peraba, dan aroma. Namun uji sensori ini mempunyai kelemahan karena manusia memiliki keterbatasan fisik untuk mendeskripsikan ciri suatu bahan. Selain uji sensori, bisa menggunakan metode NIR (*near infrared*). Namun metode NIR juga memiliki kekurangan yaitu menggunakan alat seperti spektrometer dan sumber cahaya (*light source*) yang mahal sehingga menjadi kendala dalam perkembangan alat di Indonesia (Suhandy dan Yulia, 2017). Selain metode di atas, terdapat juga metode lain yaitu HPLC (*high performance liquid of chromatography*), namun metode HPLC ini juga memerlukan instrumentasi yang mahal dan penggunaannya pun rumit serta melibatkan bahan kimia (menghasilkan limbah kimia).

Salah satu metode *spectroscopy* yang layak dikembangkan di Indonesia adalah *UV-Vis spectroscopy* jenis *fluorescence spectroscopy* yang merupakan spektroskopi elektromagnetik yang dapat menganalisis fluoresensi sari suatu sampel. Menurut Rene Albani (2007), fluoresensi merupakan lepasnya suatu energi yang berbentuk radiasi dengan energi yang lebih rendah atau memiliki panjang gelombang yang lebih tinggi berupa cahaya tampak. Metode ini cukup akurat dapat mendeteksi pemalsuan madu dengan kadar pencampuran yang sangat rendah, alatnya yang mudah dioperasikan, persiapan sampel yang minimal, dan yang paling penting adalah spektrometernya tersedia dengan harga yang sangat



terjangkau. Alat ini termasuk jenis *portable* dan *handheld* yang dapat mempermudah proses pengambilan data karena bisa langsung mendatangi sampel ke lokasinya sehingga keaslian madu dapat tetap terjaga. Dengan demikian proses hilirisasi teknologinya sangat memungkinkan.

Saat ini di Indonesia, metode spektroskopi berbasis *UV spectroscopy* telah diujicobakan untuk uji keaslian pangan, seperti kopi, teh, dan madu. Beberapa riset yang telah dilakukan yaitu Klasifikasi Kopi Bubuk Spesialti Kalosi Dan Toraja Menggunakan *Uv-Visible Spectroscopy* dan Metode PLS-DA (Suhandy & Yulia 2017; Suhandy & Yulia 2019a), *Peaberry Coffee Discrimination Using UV-Visible Spectroscopy Combined With SIMCA and PLS-DA* (Suhandy & Yulia 2019b), Identifikasi *Grade* Teh Hitam (*Camellia sinensis*) CTC Produk PT. Perkebunan Nusantara VIII Unit Rancabali Bandung Menggunakan *UV-Vis Spectroscopy* dan Metode SIMCA (Supriyanto, 2019), Studi Penggunaan *UV-Vis Spectroscopy* dan Metode SIMCA untuk Klasifikasi Madu Hutan Berdasarkan Letak Geografis (Zaini, 2019), Penggunaan *UV-Vis Spectroscopy* dan Metode SIMCA untuk Diskriminasi Madu Kelengkeng dan Madu Karet PT Madu Pramuka (Hartono, 2021), dan Penggunaan *UV-Vis Spectroscopy* dan Metode SIMCA untuk Identifikasi Madu Lebah Hutan (*Apis dorsata*) Berdasarkan Sumber Nektar (Firmansyah, 2019).

Penelitian sebelumnya telah menerapkan *UV-Vis spectroscopy* untuk menguji keaslian madu telah dilakukan, misalnya Roshan *et al.*, (2013) menggunakan *UV spectroscopy* untuk menguji keaslian madu Sidr asal Yaman. Namun, penelitian tersebut menggunakan bahan kimia, yaitu ethanol untuk proses ekstraksi atau persiapan sampelnya. Untuk uji keaslian madu asal Indonesia berdasarkan asal lebahnya (entomologi) belum dilakukan. Lebih jauh, uji keaslian madu dengan proses persiapan sampel madu menggunakan air destilasi (bebas bahan kimia) belum dilakukan. Dengan demikian, tujuan penelitian ini adalah melakukan investigasi penggunaan *UV spectroscopy* dan metode SIMCA untuk menguji keaslian madu dari lebah *Apis dorsata* dengan persiapan sampel madu tanpa melibatkan bahan kimia (hanya air destilasi).

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah rendahnya tingkat produksi madu namun tingkat konsumsi yang rendah dimanfaatkan oleh oknum tertentu menurunkan kualitas madu yaitu dengan memalsukan madu asli melalui pencampuran dengan bahan-bahan tertentu yang dapat menyerupai madu asli. Bahan yang biasa digunakan untuk membuat madu palsu yaitu gula atau sirup yang memiliki harga lebih murah. Salah satu jenis madu yang sering dipalsukan adalah madu hutan. Karena jenis madu hutan tergolong madu dengan tingkat produksi yang lebih rendah dan memiliki harga lebih mahal dari madu jenis lain yang bisa dibudidayakan. Madu hutan memiliki kandungan air yang lebih sedikit dan merupakan jenis madu terfavorit serta terbaik dari jenis madu yang lainnya, sehingga pemalsuan ini dilakukan untuk dapat meningkatkan keuntungan yang besar bagi sektor penjual madu.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Membedakan madu hutan asli dan madu hutan campuran yang dicampur dengan sirup beras dengan level pencampuran antara 10-60% berdasarkan data nilai spektra pada daerah UV-Vis.
2. Membangun dan menguji model dengan metode SIMCA untuk menentukan keaslian madu hutan sehingga dapat membedakan antara madu hutan asli dan madu hutan campuran (dioplos menggunakan sirup beras).

## 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk menginformasikan kepada masyarakat mengenai pemalsuan pada madu hutan Lampung yang dicampur dengan sirup beras serta sebagai bahan referensi tentang penelitian Penggunaan Teknologi Spektroskopi Fluoresensi Portabel dan Metode SIMCA untuk Autentikasi Madu Hutan (*Apis dorsata*).

### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Uji keaslian untuk penentuan keaslian madu pada penelitian ini hanya dilakukan pada jenis madu hutan Lampung.
2. Uji kimia tidak dilakukan pada sampel madu maupun sirup beras yang digunakan.

### **1.6 Hipotesis Penelitian**

Hipotesis dari penelitian ini yaitu teknologi spektroskopi fluoresensi dapat membedakan madu hutan asli dan madu hutan yang dicampur sirup beras berdasarkan kandungan spektranya menggunakan metode SIMCA (*Soft Independent Modeling of Class Analogy*).

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Madu

Menurut SNI (Standar Nasional Indonesia), madu didefinisikan sebagai cairan manis yang dihasilkan oleh lebah madu yang berasal dari sari bunga tanaman (floral nektar) atau bagian lain dari tanaman (ekstra floral nektar) atau ekskresi serangga. Nektar sendiri merupakan semacam cairan yang dihasilkan oleh kelenjar nektar tumbuhan dalam bentuk karbohidrat (30–50%) (Bogss, 1988; Harder, 1986). Menurut standar internasional seperti *Codex Alimentarius (Revised Codex Standard for Honey Codex STAN 12–1981, Rev. 1 (1987), Rev. 2. 2001)*, madu didefinisikan sebagai bahan pemanis alami yang diproduksi oleh lebah madu dari nektar tanaman atau dari sekresi bagian hidup tanaman atau ekskresi serangga penghisap tanaman, kemudian lebah mengumpulkan dan mengubahnya dengan menggabungkan dengan zat spesifik yang mereka miliki, mengumpulkan, mengeringkan, menyimpan dan meninggalkannya di sarang lebah sampai matang (Da Silva *et al.*, 2016).

Lebah dapat menghasilkan madu dari nektar bunga yang merupakan makanan utama lebah yang berasal dari bagian tumbuhan hidup, dihisap oleh lebah yang selanjutnya diubah dan diikat menggunakan senyawa tertentu yang kemudian disimpan di sarang lebah yang berbentuk heksagonal. Madu termasuk sumber stamina yang dikenal sangat bagus karena madu memiliki kandungan gula sederhana yang langsung dapat digunakan oleh tubuh, serta mengandung garam mineral dan kandungan lainnya. Selain itu, madu juga merupakan bahan makanan mengandung gula yang tidak memerlukan pengolahan dahulu sebelum dimanfaatkan oleh manusia (Sihombing, 1997).

## 2.2 Klasifikasi Lebah

Lebah merupakan serangga yang dapat menghasilkan madu. Lebah madu merupakan hewan penghisap nektar dari tanaman yang kemudian diubah menjadi madu dengan senyawa tertentu dan selanjutnya madu tersebut akan disimpan dalam sarang lebah. Menurut Sihombing (2005), klasifikasi lebah hutan penghasil madu sebagai berikut.

Kingdom : Animalia  
Phylum : Arthropoda  
Class : Insecta  
Ordo : Hymenoptera  
Family : Apidae  
Genus : *Apis*  
Species : *Apis dorsata*



Gambar 1. Lebah *Apis dorsata*

Lebah penghasil madu asli termasuk dalam genus *Apis* dari famili Apidae. Lebah apis dapat menghasilkan madu dan lilin (Sarwono, 2001). *Apis dorsata* merupakan lebah yang hidup di hutan. Lebah ini dapat berkembang biak di daerah subtropis dan tropis Asia seperti Indonesia, Filipina dan negara-negara Asia lainnya dan hidup di dataran pada ketinggian 0-1.000 meter di atas permukaan laut. Jenis lebah ini banyak dimanfaatkan untuk diambil madunya di berbagai wilayah Indonesia seperti Kalimantan, Sulawesi, Sumatera dan pulau-pulau Nusa Tenggara Barat dan Nusa Tenggara (Suranto, 2004).

### 2.3 Jenis Madu

Madu dapat diklasifikasikan menurut spesies tanaman dari mana nektar berasal. Apabila madu dari lebah yang memperoleh kebutuhan nutrisinya dari berbagai sumber dan tumbuhan tidak berpengaruh, maka disebut madu multiflora atau madu poliflora, seperti madu hutan di Indonesia yang alam hutan Indonesiannya heterogen. Sedangkan madu dari lebah yang kebutuhan nutrisinya berasal dari tumbuhan dominan disebut madu uniflora. Beberapa daerah juga memiliki beberapa bioflora madu yang terbuat dari nektar dua spesies tanaman yang berbeda. Lebah cenderung mengumpulkan nektar bunga hanya dari satu spesies tanaman. Namun, jika nektar dari beberapa tanaman tidak dapat memenuhi kebutuhan nutrisinya, lebah akan mengumpulkan nektar dari jenis tanaman lain (Suranto, 2004).

Selain madu multiflora dan uniflora, masih banyak jenis madu lainnya, seperti madu bunga (*flower nectar*) dan madu *honeydew* (*extra flower*). Madu bunga adalah madu yang dihasilkan oleh lebah dari nektar, yang memiliki struktur botani khusus (tanaman berbunga). Madu *honeydew* juga bisa berasal dari ekskresi serangga penghisap tumbuhan terutama dari famili *Aphididae*. Oleh karena itu, kandungan yang ada dalam madu juga didasarkan pada asal botani dan juga asal geografisnya, karena tanaman madu ditentukan oleh kondisi iklim dan sifat tanah (Iglesias *et al.*, 2004). Bau dan rasa adalah dua hal yang sangat diinginkan dalam madu. Rasa *honeydew* lebih kuat dari *flower honey*, sedangkan aroma *honeydew* tidak semanis *flower honey* (Castro-Vazquez *et al.*, 2006).

### 2.4 Kandungan Madu

Madu mengandung banyak mineral seperti kalsium, aluminium, besi, natrium, magnesium, kalium dan fosfor. Beberapa vitamin yang terdapat dalam madu adalah asam askorbat (C), tiamin (B1), niasin, biotin, riboflavin (B2), piridoksin (B6), vitamin K, asam folat dan asam pantotenat (Suranto, 2004). Enzim lain yang berperan penting dalam madu adalah glukosa oksidase, diastase, lipase, invertase

dan peroksidase. Semua zat yang ada dalam madu adalah zat yang sangat bermanfaat bagi sistem metabolisme (Suranto, 2004).

Menurut Belay (2017) dan Bogdanov (2004), enzim diastase merupakan enzim yang ditambahkan oleh lebah pada saat proses pematangan madu. Diastase (amilase) mencerna pati maltosa dan relatif stabil terhadap panas dan lama penyimpanan. Enzim ini juga banyak mengkatalisis konversi gula lainnya dan terutama bertanggung jawab untuk pola gula pada madu. Diastase memiliki peran penting untuk menilai kualitas madu dan digunakan sebagai indikator kemurnian madu karena enzim tersebut berasal dari tubuh lebah. Menurut asal serbuk sari, madu dapat dibagi menjadi madu NP (serbuk sari alami) dan madu PS (pengganti serbuk sari). Madu murni biasanya terdiri dari 17,1% air, 82,4% karbohidrat, 38% fruktosa, 31% glukosa, 12,9% gula lainnya, 0,5% protein, asam amino, senyawa fenolik, vitamin, asam organik dan mineral (Kuntadi, 2012).

Tabel 1. Kandungan Madu

Komposisi	Konsentrasi
Air	17,1 %
Glukosa	31%
Sukrosa	1,3%
Fruktosa	38,5%
Maltosa	7,1%
Protein	0,5%
Ribovlavin (Vit. B2)	0,038 mg (3%)
Niacin (Vit. B3)	0,021 mg (1%)
Folat (Vit. B9)	2 mg (1%)
Vitamin C	0,5 mg (1%)
Vitamin B5	0,068 mg (1%)
Fenol	0,38 mg
Kalsium	23 mg
Flavonoid	17,2 mg
Antioksidan	30,96 %

## 2.5 Manfaat Madu

Secara umum, madu bermanfaat untuk meningkatkan kekebalan tubuh. Lebih jauh lagi madu dapat membantu pemulihan beberapa penyakit tertentu, seperti diare,

tekanan darah tinggi, diare, dan penyakit jantung. Madu juga mengandung zat sejenis asetil kolin yang dapat meningkatkan metabolisme tubuh, seperti menurunkan tekanan darah dan melancarkan peredaran darah. Selain penyakit di atas, penyakit lain yang dapat diobati dengan madu antara lain infeksi mata, tekanan darah rendah, TBC, sakit kepala, hepatitis, neuralgia, infeksi saluran kemih dan disfungsi ereksi. Sedangkan penyakit luar yang dapat diobati dengan madu adalah stomatitis, bibir pecah-pecah, luka bakar dan penyakit kulit lainnya. Ibu hamil juga bisa mengonsumsi madu untuk mencegah keracunan saat hamil untuk tumbuh kembang anak meningkatkan imunitas (Suranto, 2004).

## 2.6 Sirup Beras

Menurut SNI 3544 (BSN, 2013), sirup adalah minuman yang terbuat dari campuran gula dan air dengan kadar gula minimal 65% atau lebih dan bahan tambahan yang diizinkan oleh undang-undang. Salah satu pemanis buatan yang biasa digunakan adalah sirup beras. Sirup beras merupakan pemanis yang terbuat dari beras merah yang diperoleh dengan merendap pati nasi dengan enzim sakarifikasi untuk memecah pati kemudian disaring dan dilakukan pemanasan evaporatif untuk mendapatkan konsistensi yang diinginkan menggunakan senyawa dan enzim yang menghidrolisis pati dalam beras untuk menggantikan maltotriosa. Sirup beras dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sirup Beras

Sirup beras memiliki peran penting pada industri pembuatan makanan dan minuman, serta dalam pembuatan roti (Shaw *at all*, 1992). Sirup beras memiliki indeks glikemik yang tinggi yaitu 98. Indeks glikemik merupakan ukuran



kecepatan makanan dapat meningkatkan kadar gula darah. Dalam satu sendok sirup beras merah mengandung 55-75 kalori.

Tabel 2. Kandungan Sirup Beras

Komposisi	Konsentrasi
Kalori	55 kkal
Protein	7,94 g
Serat	0,5 g
Maltosa	45%
Maltotriosa	52%
Dekstrin	5%
Glukosa	3%

## 2.7 UV-Vis Spektroskopi

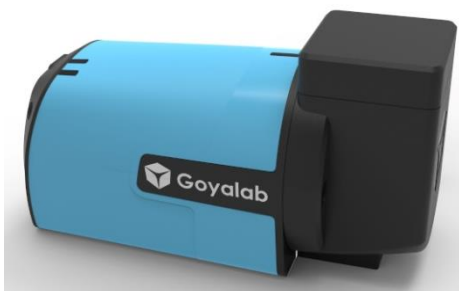
Spektrofotometri adalah metode analisis yang didasarkan pada penyerapan cahaya pada panjang gelombang tertentu dengan resolusi objek tertentu. Spektrofotometer adalah perangkat yang berfungsi untuk melacak spektra khusus. Spektrofotometer menggabungkan dua perangkat dalam satu sistem, termasuk spektrometer dan fotometer. Spektrometer memancarkan bahan sebagai cahaya spektroskopi pada panjang gelombang tertentu, sedangkan fotometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur tingkat keparahan suatu kejadian atau sumber cahaya (Gholib, 2007). Menurut Penner (2010), spektroskopi menyangkut proses menciptakan, mengukur dan menafsirkan spektrum atau spektrum yang dihasilkan dari efek radiasi elektromagnetik. Kemudian, menurut Package (2006), spektroskopi adalah studi masalah dengan menggunakan radiasi elektromagnetik.

Metode spektroskopi sangat informatif dan banyak digunakan dalam analisis kualitatif maupun analisis kuantitatif. Metode spektroskopi berdasarkan penyerapan atau emisi radiasi elektromagnetik dalam domain ultraviolet (UV), tampak (visible), inframerah (IR), gelombang radio (resonansi magnetik, rentang frekuensi NMR), dan fluoresensi sering ditemui metode spektroskopi untuk analisis pangan. Spektrometer UV-Vis adalah kombinasi dari spektrometer ultraviolet dan tampak yang menggunakan dua jenis cahaya yang berbeda yaitu

sinar ultraviolet dan cahaya tampak. Dalam sistem spektrometer, UV-Vis sangat populer karena kemudahannya dan dapat digunakan untuk pola berwarna atau tidak berwarna. Spektrometer mengukur penyerapan cahaya di daerah ultraviolet (200-3350 nm) dan tampak (350-8800 nm). Penyerapan sinar UV dan cahaya tampak menyebabkan perubahan konduktivitas listrik, mempertahankan arus tanah dalam keadaan orbital ke keadaan orbital energi yang lebih tinggi (Apratiwi, 2016).

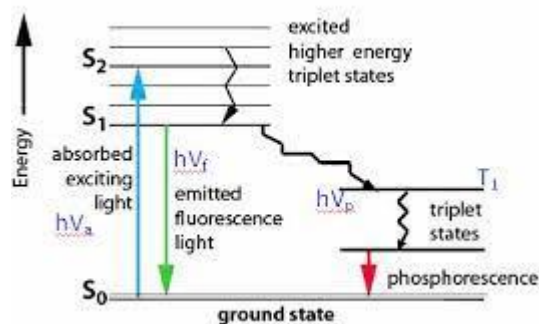
## 2.8 Spektroskopi Fluoresensi

*Fluorescence Spectroscopy* adalah suatu jenis spektroskopi elektromagnetik yang dapat menganalisis fluoresensi dari sebuah sampel. Menurut Haryanto (2008), fluoresensi merupakan suatu proses pemancaran radiasi cahaya oleh suatu materi setelah tereksitasi oleh berkas cahaya berenergi tinggi. Terjadinya emisi cahaya karena proses absorpsi cahaya oleh atom yang mengakibatkan keadaan atom tereksitasi. Keadaan atom yang telah tereksitasi akan kembali pada keadaan semula dengan melepaskan energi yang berupa cahaya (de-eksitasi). Fluoresensi merupakan proses perpindahan tingkat energi dari keadaan atom tereksitasi menuju ke keadaan stabil (*ground states*). Proses fluoresensi berlangsung kurang lebih 1 nano detik sedangkan proses fosforesensi berlangsung lebih lama, sekitar 1 sampai dengan 1000 mili detik. Menurut Lakowicz (2006), spektroskopi fluoresensi adalah metode pengukuran intensitas cahaya fluoresensi dengan membandingkan intensitas cahaya fluoresensi yang dipancarkan oleh zat yang diujikan dan oleh suatu baku pembanding tertentu. Spektrometer fluoresensi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Spektrometer Fluoresensi (Goyalab, 2023)

Panjang gelombang eksitasi tertentu dipilih untuk memperoleh panjang gelombang emisi. Terdapat 2 panjang gelombang eksitasi yang digunakan yaitu 300 nm dan 365 nm dengan emisi panjang gelombang 300-800 nm. Setelah mendapat satu panjang gelombang yang baik maka selanjutnya emisi bisa teramati dengan baik pada panjang gelombang tersebut. Sehingga dapat diperoleh intensitas panjang gelombang eksitasi versus emisi yang dikenal dengan spektrum emisi. Pada spektrofлуorometer memiliki dua detektor sehingga dapat merekam spektrum eksitasi dan spektrum emisi. Spektrum emisi yang dimaksud adalah distribusi panjang gelombang dari suatu emisi yang diukur pada panjang gelombang eksitasi konstan tunggal. Emisi terjadi dari keadaan S1, terlepas dari panjang gelombang eksitasi. Oleh karena itu, emisi tidak tergantung pada panjang gelombang eksitasi. Sedangkan spektrum eksitasi merupakan ketergantungan dari intensitas emisi yang diukur pada panjang gelombang emisi tunggal, setelah dipindai panjang gelombang dari eksitasi (Lakowicz, 2006). Proses terjadinya fluoresensi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Proses Fluoresensi (Lakowicz, 2006).

Gambar di atas merupakan diagram Jablonski. Diagram Jablonski menunjukkan proses terjadinya fluoresensi dan fosforesensi. Ketika sebuah atom atau molekul menyerap energi cahaya  $h\nu_a$ , elektron keadaan dasar (*ground state*) S<sub>0</sub> bergerak ke tingkat energi yang lebih tinggi dari tingkat S<sub>1</sub> atau S<sub>2</sub>. Proses ini memakan waktu kurang dari 1 piko detik. Atom mengalami konversi internal atau relaksasi ke keadaan S<sub>1</sub> dalam waktu yang sangat singkat sekitar  $10^{-1}$  ns dan atom ini kemudian memancarkan sejumlah energi yang setara dengan  $h\nu_f$  dalam bentuk cahaya. Jadi energi atom semakin lama akan berkurang dan kembali ke tingkat

energi dasar S<sub>0</sub>, mencapai keadaan kesetimbangan termal (*thermally equilibrium*). Emisi fluoresensi dalam bentuk spektrum lebar muncul sebagai akibat dari tingkat energi S<sub>1</sub> yang bergeser ke berbagai sublevel S<sub>0</sub> yang menunjukkan tingkat keadaan energi dasar dari getaran atom 0, 1, dan 2 (Lakowicz, 2006).

Menurut Mulja dan Suharman (1995), komponen-komponen penting yang terdapat pada spektrofluorometer adalah sebagai berikut.

1. Sumber cahaya

Sumber cahaya pada spektrofluorometer menggunakan lampu pancar xenon yang memiliki tekanan tinggi. Penggunaan lampu jenis ini karena dapat digunakan sebagai sumber cahaya (energi) dengan intensitas tinggi dan dapat menghasilkan energi yang kontinyu dengan panjang gelombang 380 nm hingga 720 nm dengan intensitas tinggi dari ultraviolet sampai inframerah.

2. Monokromator

Fungsi monokromator yaitu untuk menyeleksi panjang gelombang, mengubah cahaya dari sumber sinar polikromatis menjadi cahaya monokromatis.

Monokromator yang biasanya digunakan pada spektroskopi fluoresensi berjenis *grating* atau lensa prisma. *Grating* dapat merubah cahaya menjadi spektrum cahaya. Terdapat dua buah monokromator yaitu untuk menentukan panjang gelombang cahaya eksitasi dan untuk menentukan panjang gelombang cahaya yang diemisikan sampel. Monokromator yang pertama dapat mendispersikan cahaya dari sumber cahaya sehingga dapat menghasilkan radiasi eksitasi yang monokromatis. Sampel yang telah tereksitasi selanjutnya bisa berfluoresensi sehingga merupakan sumber cahaya untuk monokromator yang kedua.

3. Kuvet

Kuvet merupakan wadah yang digunakan untuk sampel. Yang terbuat dari kuarsa yang dapat melewati radiasi daerah ultraviolet ( $\leq 350$  nm). Kuvet ini berupa sel empat persegi panjang dengan ukuran 2 ml sampai 3 ml.

4. Detektor

Fungsi dari detektor adalah untuk menangkap sinar terusan dari larutan sampel. Dengan prinsip merubah energi foton di luar yang jatuh mengenai

sampel dan energi tersebut diubah menjadi besaran yang dapat diukur.

Detektor yang biasa digunakan adalah *fotomultiplier tube* atau *thermocouple*.

## 5. Amplifier

Fungsi dari amplifier memiliki adalah untuk memperkuat hasil dari pembacaan detektor sehingga mampu terdeteksi oleh alat pengukur berupa panjang gelombang. Amplifier ini dibutuhkan saat sinyal listrik elektronik yang dialirkan sudah melewati detektor.

Beberapa kondisi fisik yang dapat berpengaruh pada fluoresensi molekuler adalah polaritas, potensial ionik, suhu, tekanan, keasaman (pH), jenis ikatan hidrogen, viskositas, dan quencher (penghambat de-eksitasi). Kondisi fisik ini dapat berpengaruh pada proses penyerapan energi cahaya eksitasi. Ini mempengaruhi proses de-eksitasi molekuler, sehingga dapat dihasilkan karakteristik intensitas dan spektrum emisi fluoresensi yang berbeda (Valeur and Berberan-Santos, 2012).

## 2.9 Metode Kemometrika

Metode kemometrika merupakan suatu metode penelitian yang mencakup statistik, variabel, model matematika dan teknologi informasi, dan khususnya berlaku untuk data kimia. Analisis multivariat adalah cara untuk menyimpulkan data yang berbeda dengan membuat variabel baru yang berisi data yang merupakan ukuran standar. Variabel baru yang telah dibuat kemudian digunakan untuk memecahkan masalah dan tampilan, seperti pengelompokan hubungan dan pengelolaan gambar grafik. *Principal component analysis* (PCA) adalah sebuah transformasi linier yang digunakan untuk menarik fitur dari data berdimensi tinggi. PCA dapat memproyeksikan data ke dalam *subspace*. Metode PCA dapat mengecilkan ukuran *file* yang besar tanpa kehilangan data penting yang ada (Ronggo *et al.*, 2007).

### 2.9.1 *Principal Component Analysis* (PCA)

*Principal Component Analysis* (PCA) adalah suatu metode proyeksi yang dapat menggambarkan seluruh informasi yang terdapat pada tabel data yang kompleks.

PCA bertujuan untuk mengelompokkan sampel dalam bentuk pemodelan data, untuk mengetahui adanya outlier (pencilan), dan menyeleksi peubah untuk diklasifikasikan atau melakukan pemodelan data. Bagian utama yang dipilih memiliki variasi terbesar dalam suatu set data, kemudian untuk komponen garis kedua tegak lurus terhadap komponen pertama dan memiliki variasi terbesar. Secara umum, fungsi dari dua pokok bagian ini sebagai bidang proyeksi utama dalam pemeriksaan visual data multivariat (Miller dan Miller, 2000).

### **2.9.2 *Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA)***

*Soft independent modeling of class analogy (SIMCA)* merupakan suatu metode analisis multivariat yang berfungsi untuk menguji kekuatan pengelompokan dan diskriminasi sampel. Metode SIMCA dapat digunakan untuk menetapkan sampel ke dalam kelas yang tersedia dengan benar. Pengklasifikasian ini didasarkan pada model PCA yang telah dibuat untuk tiap kelas dan sampel dikelompokkan pada masing-masing model PCA. Bentuk dari SIMCA berupa tabel pengklasifikasian di mana sampel dapat diklasifikasikan pada satu kelas, beberapa kelas, atau tidak termasuk pada kelas manapun (Nurcahyo, 2015).

Pembuatan dan pemodelan yang dibangun dengan program *soft independent modeling of class analogy (SIMCA)*. SIMCA juga termasuk ke dalam PCA tetapi memiliki nilai sensitivitas pembacaan data yang lebih besar (*supervised*). Bagian utama dipertahankan untuk beberapa variasi data pada tiap-tiap kelas.

Pengelompokan di dalam SIMCA dilakukan dengan membandingkan variasi residual dari sampel dengan rata-rata residual varian sampel yang membentuk kelas. Perbandingan ini memberikan ukuran langsung dari kesamaan sampel untuk kelas tertentu dan dapat dianggap sebagai ukuran *goodness of fit* dari sampel untuk model kelas tertentu (Lavine, 2009).

### **2.9.3 *Matriks Konfusi (Confusion Matrix)***

Menurut Lavine (2009), matriks konfusi adalah daftar yang mencatat hasil kerja pengelompokan dari pengolahan suatu data dengan SIMCA. Matriks konfusi

memiliki kegunaan untuk melaksanakan pengujian dan memprediksi objek yang tepat atau tidak. Matriks konfusi mempunyai sejumlah rumus luaran yaitu akurasi, sensitivitas, spes ifisitas dan *error rate*. Keempat luaran tersebut dapat dituliskan secara matematik sebagai berikut :

Tabel 3. Matriks Konfusi

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

Perhitungan :

1. Akurasi (AC) :  $\frac{a+d}{a+b+c+d} \times 100\%$  .....(1)
2. Sensitivitas (S) :  $\frac{a}{a+d} \times 100\%$  .....(2)
3. Spesifisitas (SP) :  $\frac{d}{d+b} \times 100\%$  .....(3)
4. *Error rate* :  $\frac{b+c}{a+d+b+c} \times 100\%$  .....(4)

Keterangan :

a merupakan sampel kelas A yang masuk ke dalam kelas A atau yang biasa disebut dengan sampel *True Positive* (TP)

b merupakan sampel kelas A yang masuk ke dalam kelas B atau biasa disebut dengan sampel *False Positive* (FP)

c merupakan sampel kelas B yang masuk ke dalam kelas A atau juga biasa disebut sampel *False Negative* (FN)

d merupakan sampel kelas B yang masuk ke dalam kelas B atau biasa disebut dengan sampel *True Negative* (TN)

Kelas A adalah kelas sampel dari madu hutan murni atau asli

Kelas B adalah kelas sampel dari madu hutan yang telah dicampur dengan sirup beras

Keakuratan model yang dibangun ditunjukkan oleh nilai akurasi yang diperoleh. Kemudian kemampuan model yang dibangun untuk tidak menerima sampel yang bukan kelasnya ditunjukkan oleh nilai sensitivitas. Dalam hal ini semakin tinggi nilai sensitivitas maka model yang dibangun akan semakin mengenali karakteristik dari sampel yang diujikan. Spesifisitas merupakan kemampuan dari

model yang dibangun untuk mengerahkan sampel ke dalam kelasnya dengan benar. Dari penjelasan sebelumnya maka dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas maka model yang dibangun akan semakin kuat. Sedangkan untuk *error rate* merupakan kesalahan dalam pengklasifikasian model yang dibangun. Semakin rendahnya nilai *error rate* menunjukkan model yang dibangun semakin baik (Apratiwi, 2016).

#### 2.9.4 Pretreatment

*Pretreatment* data spektra dilakukan untuk mendapatkan model yang lebih akurat. Perlakuan *pretreatment* ini berfungsi untuk mengurangi *noise* dan interferensi gelombang data spektra yang diperoleh. Data spektra yang diperoleh akan mendapat perlakuan *pretreatment* terlebih dahulu pada data kalibrasi dan data prediksi. Setelah itu dilakukan pengembangan model analisis. Terdapat 4 metode *pretreatment* yang bisa digunakan untuk memperbaiki spektra, yaitu *smoothing moving average*, *standar normal variate* (SNV), *multiplicative scatter correction* (MSC), dan *mean normalization* (MN) (Prieto, 2017., Kusumaningrum *et al.*, 2018). Pada penelitian ini menggunakan *smoothing moving average* yang merupakan salah satu metode yang sering dipakai untuk menghilangkan *noise*. Umumnya *smoothing moving average* digabungkan dengan metode lain. Persamaan metode *smoothing moving average* ditulis sebagai berikut.

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

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

Rumus di atas digunakan untuk segmen = 3, di mana pembagi dan penyebut dapat berubah sesuai dengan segmen yang dibuat. Hasil dari *smoothing moving average* akan terpusat di tengah karena jumlah segmen adalah bilangan ganjil.



### **III. METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat**

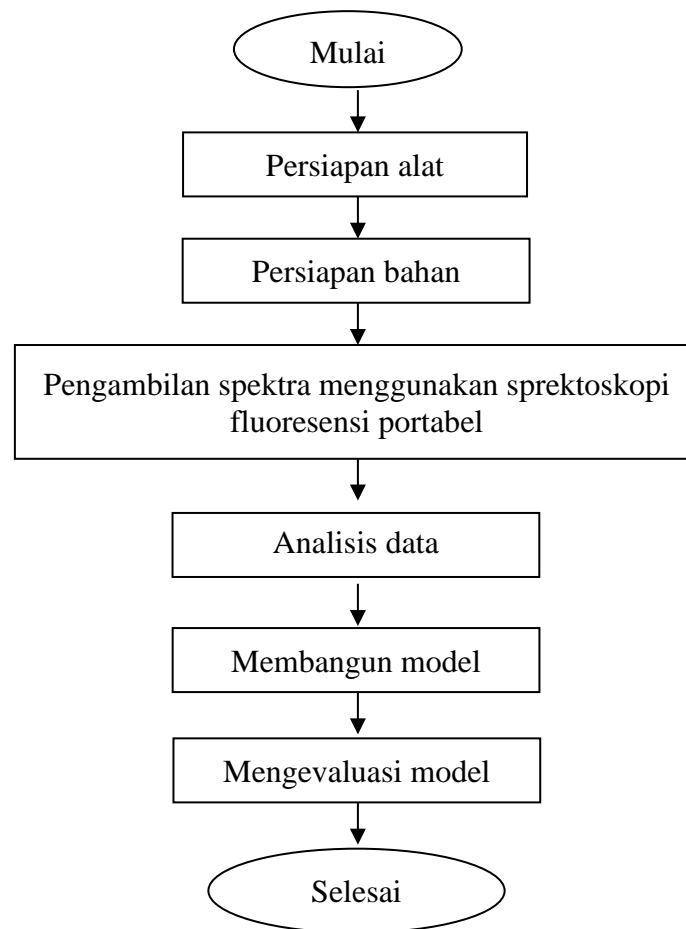
Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2022 (pengambilan data spektra) di Laboratorium Rekayasa Bioproses dan Pascapanen Pertanian (Lab. RBPP), Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

#### **3.2 Alat dan Bahan**

Alat yang digunakan adalah UV-Vis spektroskopi jenis *portable* (GoyaLab, *Flourence Spectroscopy*), komputer, kuvet, *waterbatch*, pipet ukur, gelas beaker, erlenmeyer, gelas ukur, *magnetic stirrer* (Ciblanc<sup>TM</sup>, Cina), kotak hitam, kain penutup hitam, dan tisu. Bahan yang digunakan adalah madu hutan Lampung sebanyak 10 ml, 9 ml, 8 ml, 7 ml, 6 ml, 5 ml, dan 4 ml, sirup beras sebanyak 1 ml, 2 ml, 3 ml, 4 ml, 5 ml, dan 6 ml, dan *aquades*.

#### **3.3 Prosedur Penelitian**

Prosedur yang harus dilakukan pada penelitian ini meliputi persiapan alat dan bahan yang akan digunakan, selanjutnya madu diekstraksi dengan melalui beberapa tahapan diantaranya pemanasan madu, pencampuran pemanis buatan, pengenceran, dan pengadukan. Setelah dilakukannya pengadukan, kemudian dilakukan pengambilan spektra dengan spektrometer, membuat model dan mengujinya. Prosedur penelitian dapat dilihat dari diagram alir yang disajikan pada Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Diagram Alir Prosedur Penelitian

### 3.4 Pembuatan Larutan

Beberapa proses yang perlu dilakukan pada madu untuk mencapai larutan yang siap diukur spektranya dengan menggunakan alat *UV-Vis spectroscopy portable*. Mulai dari pemanasan madu, pencampuran dengan pemanis buatan, pengenceran, pengadukan, dan persiapan sampel.

#### 1. Pemanasan Madu

Sebelum dianalisis madu akan dipanaskan terlebih dahulu. Proses pemanasan ini bertujuan untuk mengencerkan madu agar tidak ada yang mengkristal. Proses ini dilakukan dengan memasukkan sampel madu ke dalam wadah sebanyak 10 ml yang selanjutnya dipanaskan menggunakan *waterbath* dengan temperatur 60°C selama 30 menit untuk menghilangkan bagian madu yang terdapat kristalisasi

(Frausto-Reyes, 2017). Temperatur 60° C merupakan suhu yang paling rendah dibandingkan dengan suhu untuk melakukan pasteurisasi pada madu. Selanjutnya sampel madu diletakkan pada suhu kamar sampai dingin. Proses pemanasan madu dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Pemanasan Madu

## 2. Pencampuran Pemanis Buatan (Sirup Beras)

Setelah madu selesai dipanaskan selanjutnya didiamkan hingga suhunya sesuai dengan suhu kamar dan kemudian madu tersebut dicampurkan dengan pemanis buatan (sirup beras). Untuk level pencampuran yang digunakan yaitu sebesar 10-60%.

## 3. Pengenceran

Madu yang telah dicampur dengan sirup beras kemudian diencerkan dengan *aquades* pada perbandingan 1:5 (ml:ml). Perbandingan pengenceran ini didapat pada saat melakukan pra penelitian, yang mana grafik spektra yang diperoleh dengan hasil terbaik pada pengenceran 1:5 (ml:ml).

## 4. Pengadukan

Madu yang telah diencerkan menggunakan *aquades* selanjutnya diaduk dengan *magnetic stirrer* (Ciblanc, TM, Cina) selama 10 menit untuk menghomogenkan campuran bahan. Proses pengadukan sampel dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengadukan Sampel

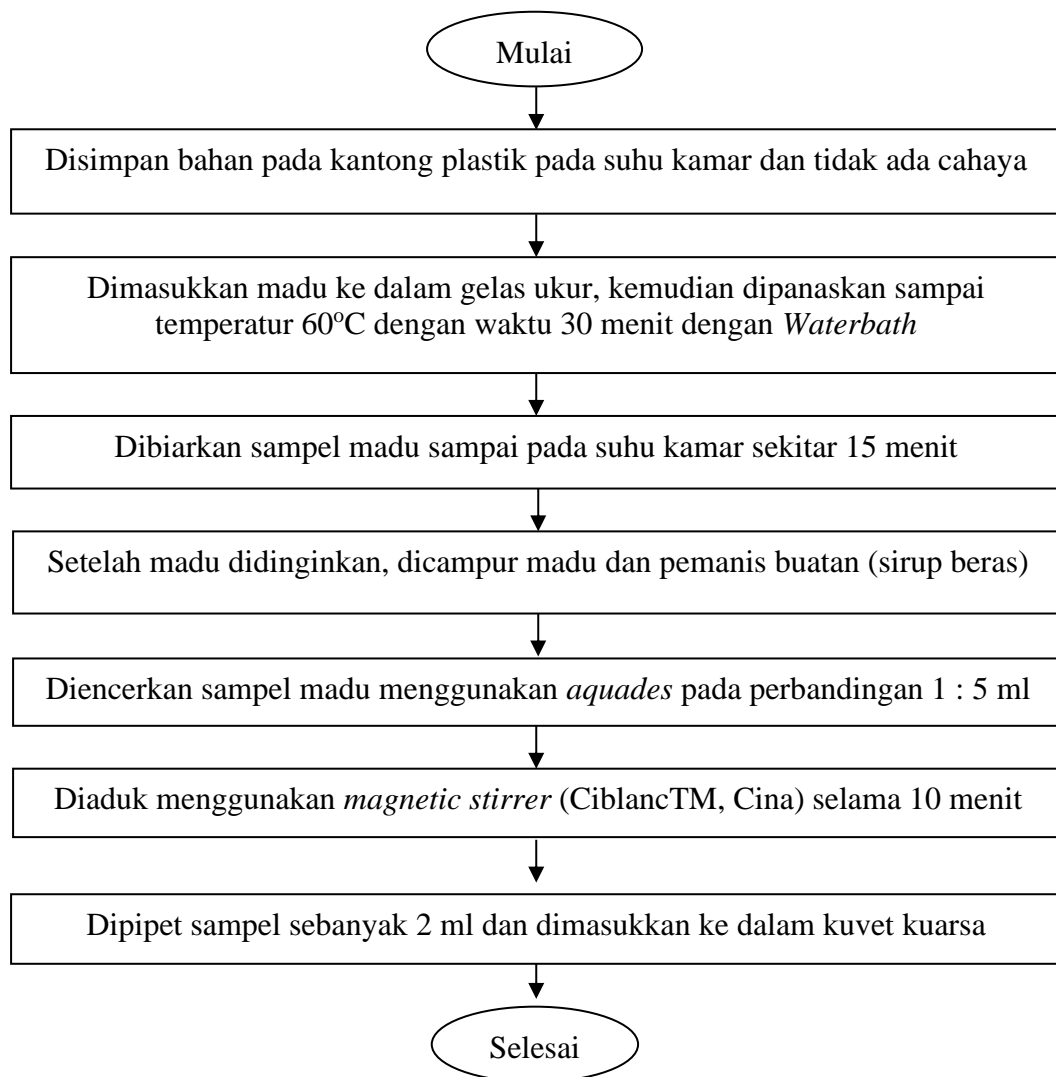
#### 5. Persiapan Sampel

Sampel madu diberikan label penomoran terlebih dahulu dengan level perbandingan yang digunakan. Penomoran sampel disajikan pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Pemberian Nomor Sampel

No. Sampel	Komposisi Bahan
1-50	10 ml Madu + 0 ml sirup beras (MA)
51-70	9 ml Madu + 1 ml sirup beras (MC10%)
71-90	8 ml Madu + 2 ml sirup beras (MC20%)
91-110	7 ml Madu + 3 ml sirup beras (MC30%)
111-130	6 ml Madu + 4 ml sirup beras (MC40%)
131-150	5 ml Madu + 5 ml sirup beras (MC50%)
151-170	4 ml Madu + 6 ml sirup beras (MC60%)
171-190	Sirup beras (SB)

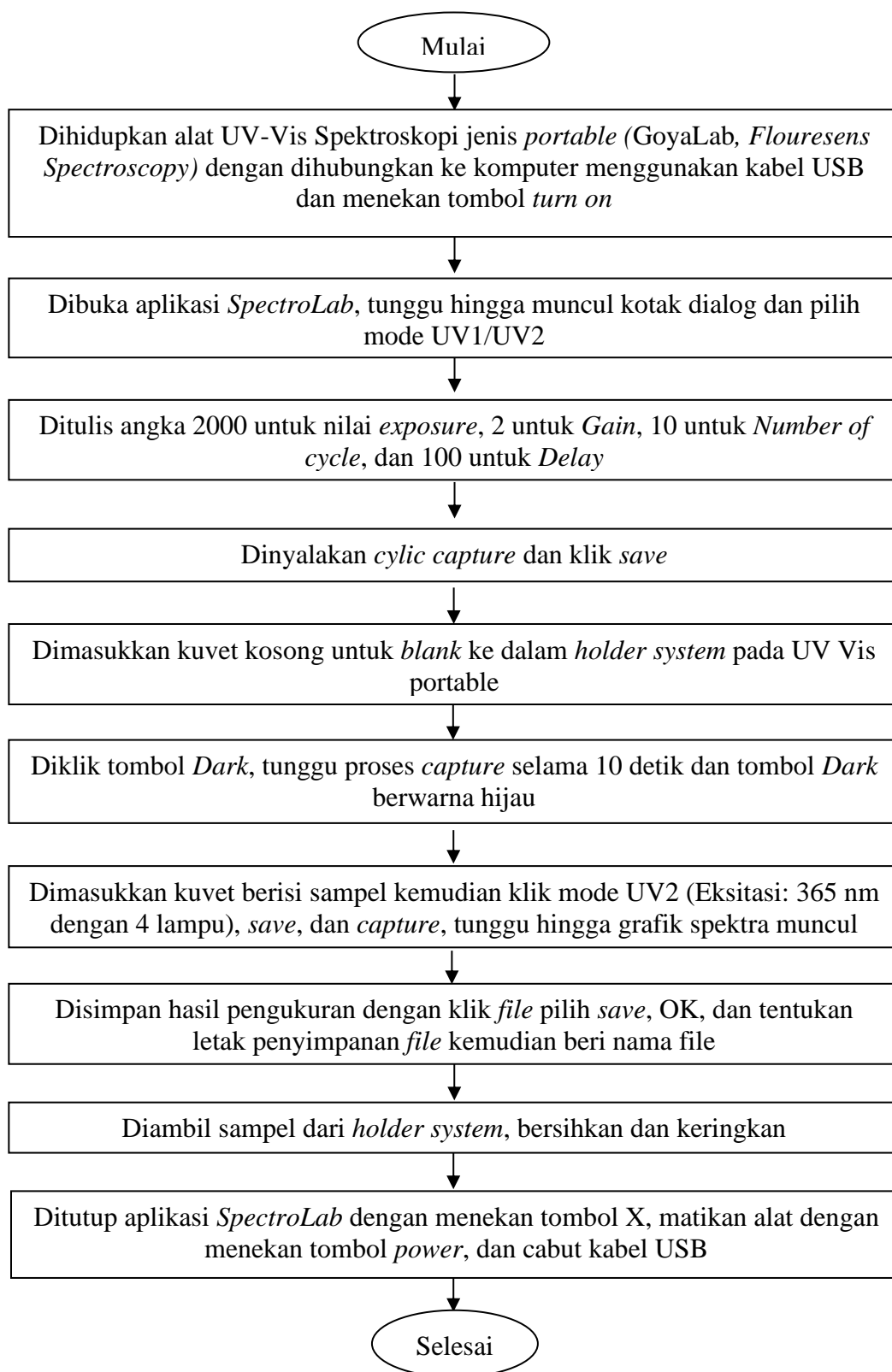
Sampel yang digunakan sebanyak 190 sampel dengan 2 kali ulangan. Bahan yang telah dihomogenkan kemudian diambil menggunakan pipet sebanyak 2 ml lalu dimasukkan ke kuvet kuarsa. Persiapan bahan dari penelitian ini terdapat pada diagram alir Gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8. Diagram Alir Persiapan Bahan (dimodifikasi dari Firmansyah, 2019).

### 3.5 Pengambilan Spektra Menggunakan Spektroskopi Fluoresensi

Sampel yang sudah dimasukkan ke dalam kuvet kuarsa kemudian dimasukkan dalam sistem *holder* dan diukur nilai absorbannya selama 2 menit. Langkah-langkah pengambilan spektra dapat dilihat pada Gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9. Diagram Proses Pengambilan Spektra

### **3.5 Membuat dan Menguji Model**

Nilai intensitas yang telah diperoleh selanjutnya akan dibuat dan diuji model dengan perangkat lunak *The Unscrambler* versi 10.4 dengan metode SIMCA.

### **3.6 Analisis Data**

Analisis data dilakukan untuk mendeteksi pola sampel menggunakan perangkat lunak *The Unscrambler* versi 10.4. Pengembangan model kalibrasi dilakukan dengan metode *principal component analysis* (PCA) dan *soft independent modeling of class analogy* (SIMCA). Nilai intensitas sampel yang telah diperoleh selanjutnya digabungkan menjadi satu dalam *microsoft excel* yang kemudian dianalisis menggunakan aplikasi *The Unscrambler* versi 10.4. Sampel akan dibagi menjadi sampel kalibrasi, validasi, dan sampel prediksi. Sampel kalibrasi digunakan untuk membuat model SIMCA, sampel validasi digunakan untuk menguji model tersebut. Setelah hasil klasifikasi dari pengujian model didapatkan kemudian dilakukan perhitungan menggunakan matriks konfusi.

### **3.7 Principal Component Analysis (PCA)**

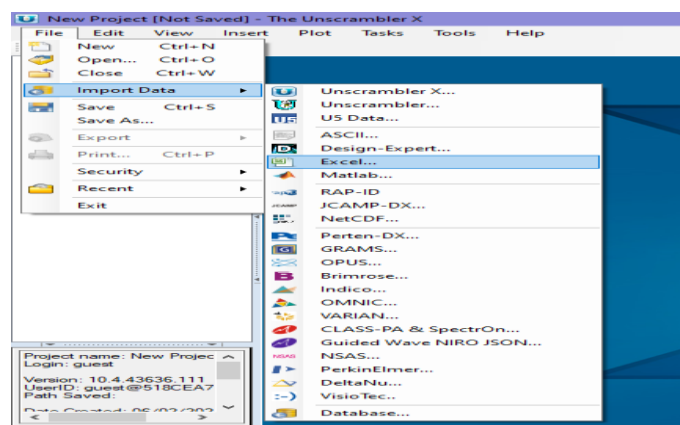
Pengambilan data spektra pada sampel madu hutan murni, madu hutan campuran, dan sirup beras dilakukan menggunakan spektroskopi fluoresensi portabel memperoleh data nilai intensitas dari setiap sampel. Yang selanjutnya seluruh data intensitas tersebut digabungkan ke dalam satu *file* pada *Microsoft Excel*.

Proses penggabungan data dapat dilihat pada Gambar 10.

	MV	MW	MX	MY	MZ	NA	NB	NC	ND	NE	NF	NG	NH	NI	NJ	NK	NL	NM	NN	NO	NP
1111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1114	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1115	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1116	5.6	5.7	6.1	5.6	5.9	6.1	4.9	4.9	5.1	4.8	4.9	4.7	5.4	6	4.7	4.6	4.9	4.8	4.7	4.6	4.6
1117	5.8	5.8	4.5	5.1	5.1	4.3	5.1	4.9	5.1	4.4	5.1	4.9	5.4	4.2	5.1	5	5.1	4.4	4.9	5	5.1
1118	5.8	6	5	5.1	5	5.2	4.5	4.7	4.3	4.8	4.7	4.5	5.2	5.1	4.1	4.1	4	4.8	5	5.1	5.1
1119	5.7	5.5	5.1	4.9	5.2	5	5.6	5.5	5.2	4.8	5.6	5.4	5.2	4.7	5.3	5.4	5.6	5.4	5.5	5.5	5.5
1200	5.3	5.3	6.1	6.1	6	6.4	4.9	5.8	6.3	6.6	5	5.3	6	5.9	5.5	5.8	5	5.1	5.2	5.4	5.4
1221	5.8	5.5	6.7	5.8	5.1	5.1	5	4.2	6.1	5.9	5.7	5.9	5.3	5	5.2	5.3	5.3	6.6	4.8	5	5
1222	6.7	6.7	6.3	7.1	7.6	7.6	5.6	5.6	5.3	6	5.4	5.2	7.8	7.7	6	5.5	5.6	5.3	5.6	5.5	5.5
1223	7.3	7	4.8	5	7.1	6.6	6.1	6.6	5.8	5.9	6.6	6.1	6	6.5	5.7	6.3	5.6	5.1	6	5.6	5.6
1204	6.6	6.6	7.2	7	7.5	7.1	6.3	5.8	6.3	5.7	6.1	6	7.1	6.8	6.2	5.8	6.3	6.9	6.1	6.7	6.7
1205	7.5	7.4	7	6.6	7	6.6	6.2	6.2	7.2	7.1	6.1	6.7	6.6	6.7	5.9	6.1	6.7	7	6.2	6	6
1206	6.4	5.6	7.1	6.4	8	8.2	7	6.7	7	6.9	6.7	6.9	6.4	7	6.6	6.9	7.3	7	6.9	6.6	6.6
1227	8.6	9.8	6.2	7.7	8.1	8.4	7.7	7.3	6.7	6.4	7.5	7.2	8.4	8.6	7.4	7.4	5.7	6.5	7.4	7.2	7.2
1228	7.3	7.7	7.3	7.7	8.1	8.1	7	7	7	7.8	7.1	7.2	8.1	8	6.8	7.6	7.4	7.1	6.9	6.9	6.9
1229	8.8	8.6	8.3	8.4	8	8.9	7.5	7.3	8	8.1	7.1	7.7	8.9	7.8	7.7	7.8	8.6	8.4	6.8	7.3	7.3
1300	8.4	8.2	8.5	7.7	8.3	7.7	6.9	7	8.5	8.7	7.2	7.5	7	7.8	6.8	5.7	8.3	8.3	6.8	7.2	7.2
1311	8.6	9.2	8.2	7.9	8.6	8.6	7	7.6	8.3	8.1	7.8	8.3	9	9.3	7.7	7.9	8.2	8.1	8	7.9	7.9
1312	10.1	9.9	9.6	11	10.1	10.4	10	9.8	9.4	8.9	10	9.1	11.1	10.3	10.1	10.1	10.3	9.2	9.3	9.7	9.7
1313	9.3	9.3	8.5	8.1	10.1	9.9	8.7	9.2	9.1	8.4	8.3	9.6	10.5	9.9	8.3	8.7	8.3	8.2	8.5	8.6	8.6
1314	9.3	9.1	9.8	9.8	10.2	10.6	8.6	8.8	9.2	9.7	9.2	8.6	9.3	9.9	8.6	8.6	10	9.7	8.7	9.1	9.1
1315	9.1	9.7	10	9.7	10	10.3	9	9	9.8	9.7	9	8.6	10.4	10.7	8.8	8.6	9.6	9.9	9.1	9	9
1316	10.7	11.4	9.3	9.9	10.4	10.2	9.3	10.3	9.5	9.2	8.3	9.4	10.1	10.5	8.4	8.9	9.1	9	9.1	9.9	9.9
1317	10.8	10.9	10.7	10.5	11.3	11.6	9.3	9.6	10.6	10.6	10	10.1	10.9	11	9.6	10	10.9	10.8	9.4	9.8	9.8
1318	10.7	10.8	10.9	10.5	12.1	11.8	10.2	10.2	10.7	10.7	10.3	10.2	11.8	11.7	9.9	10.4	10.9	10.5	10.6	10.6	10.6
1319	11.1	10.8	10.4	9.2	11.4	11.1	9.4	9.8	10.1	11.2	9.1	9.3	10.4	11.6	9.9	8.8	11.1	10.8	9	9.9	9.9
1401	12.2	12.6	11.4	12.1	11.9	11.9	10.5	10.5	10.9	10.8	10.7	10.6	11.8	11.8	10.6	11	10.8	11.2	10.9	10.6	10.6

Gambar 10. Penggabungan Nilai Intensitas Pada *Microsoft Excel*

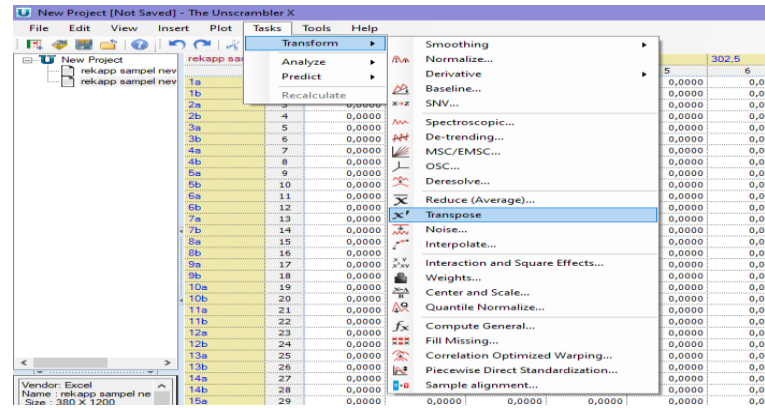
Setelah digabung ke dalam satu *file* kemudian dilakukan analisis data menggunakan aplikasi *The Unscrambler* versi 10.4. Buka aplikasi *The Unscrambler* kemudian klik *File*, pilih menu *Import Data* dan pilih format data *Excel*. Proses *Import Data* bisa dilihat pada Gambar 11.



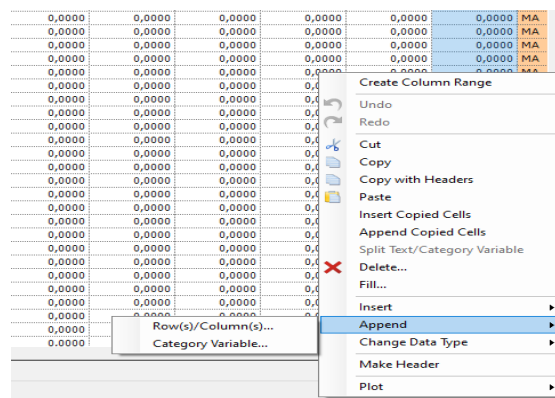
Gambar 11. Proses *Import Data*

Data akan terlihat pada layar setelah *Import Data* kemudian dilanjutkan dengan proses *Transpose* dengan klik *Tasks* pilih *Transform* dan klik *Transpose*. Proses *Transpose* dapat dilihat pada Gambar 12.

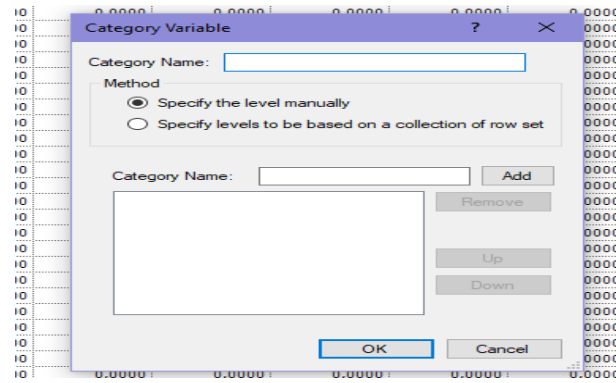


Gambar 12. Proses *Transpose*

Kemudian perlu dilakukan pengisian *level name* sebelum mencari nilai PCA. Pengisian *level name* dilakukan dengan pilih menu *Edit*, pilih *Append* dan klik *Category Variable*. Proses membuat *Category Variable* dapat dilihat pada Gambar 13.

Gambar 13. Proses Membuat *Category Variable*

Setelah kotak dialog *Category Variable* muncul, selanjutnya pada bagian atas terdapat *Category Name* isi dengan “JENIS MADU”. Dan pada *Category Name* bagian bawah diisi *Level Name* dengan klik *Add* dan menggunakan kode sampel Madu Hutan Asli (MA). Madu Hutan Campuran (MC10-MC60), dan Sirup Beras (SB). Jika seluruh kode sampel sudah tercatat selanjutnya pilih *OK*. Proses pengisian *Level Name* dapat dilihat pada Gambar 14.

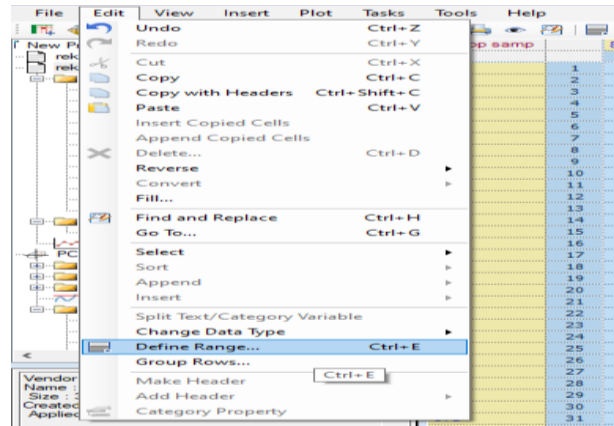
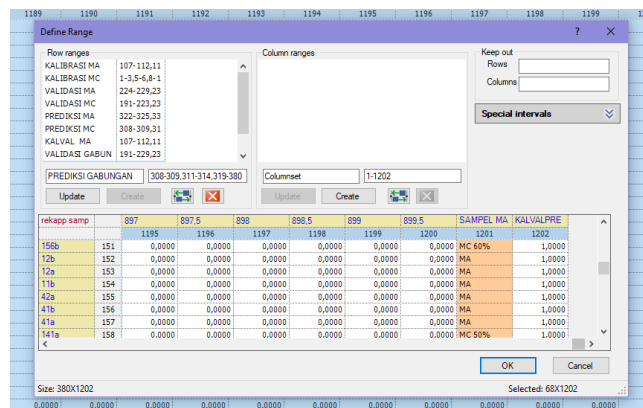
Gambar 14. Proses Pengisian *Level Name*

Pada kolom JENIS MADU nomor 1201 diklik dan diisi menyesuaikan kode sampel madu hutan sesuai dengan jenisnya di setiap baris. Kemudian setiap data dikelompokkan menyesuaikan kategori sampel dan variabelnya sebelum analisis data dengan PCA. Proses pengisian kode sampel dapat dilihat pada Gambar 15.

	898	898.5	899	899.5	JENIS MADU
	1197	1198	1199	1200	1201
10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	MC
10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	MC
10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	MC
10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	SB
10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	MC
10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	MC
10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	SB
10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	MC
10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	MC
10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	MC
10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	MC
10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	MC
10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	MC
10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	MC
10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	MC
10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	MC
10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	MC
10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	MC
10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	MC
10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	MC
10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	MC

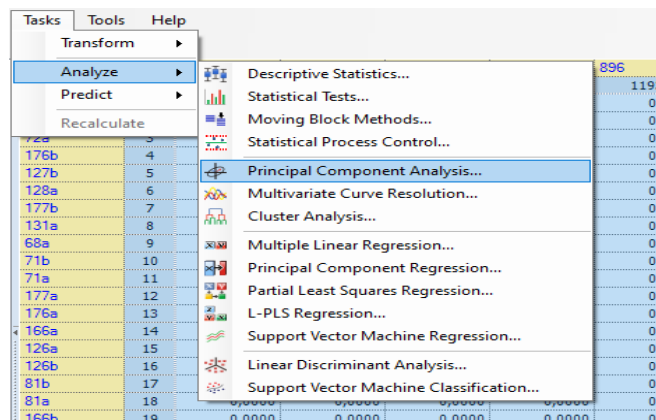
Gambar 15. Proses Pengisian Kode Sampel

Jika data sudah diklasifikasikan sesuai dengan jenis madu, setelah itu dilakukan pengelompokkan dengan pilih menu *Edit* dan pilih *Define Range* kemudian ditambah kolom *Rowset* dan diisi dengan nama KALVALPRED (Kalibrasi, Validasi dan Prediksi). Diberikan label angka pada sampel kalibrasi adalah 1, validasi adalah 2, dan prediksi adalah 3. Pada kolom *Columnset* sesuai *wavelength* yang digunakan pada penelitian ini, yaitu 300-800 nm. Proses *Define Range* dan penentuan KALVALPRED dapat dilihat pada Gambar 16 dan Gambar 17.

Gambar 16. Proses *Define Range*

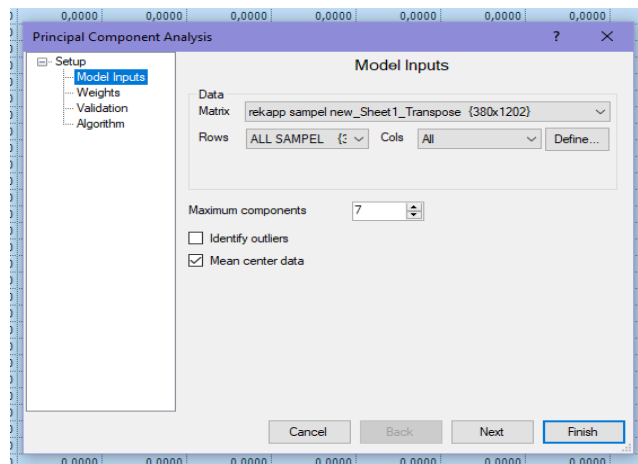
Gambar 17. Penentuan KALVALPRED

Setelah itu sampel dianalisis menggunakan metode PCA (*principal component analysis*). Pilih menu *Tasks*, kemudian *Analyze* dan pilih *Principal Component Analysis*. Proses analisis PCA dapat dilihat pada Gambar 18.

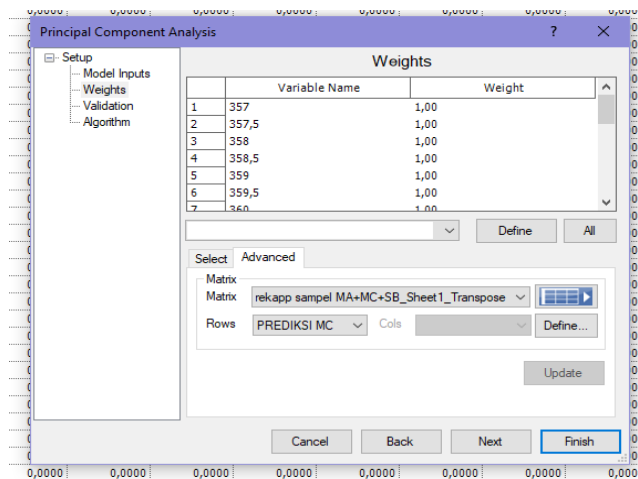


Gambar 18. Proses Analisis PCA

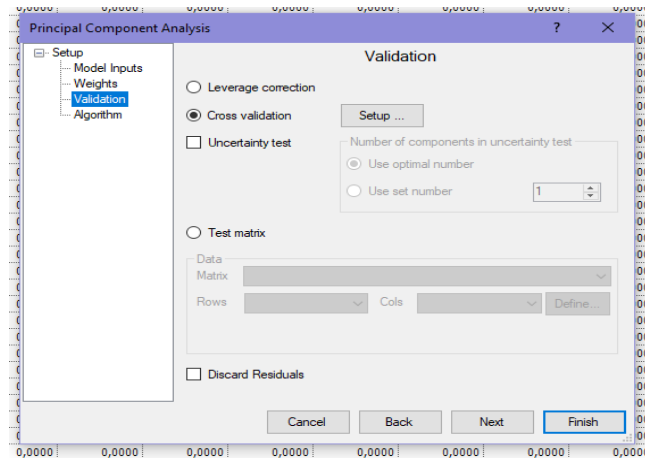
Selanjutnya akan muncul menu Setup dan terdapat 4 submenu yaitu pertama *Model Input* pilih *Rows* dengan klik *ALL SAMPLE* dan *Cols* diisi dengan klik 910-1100 {911}. Yang kedua submenu *Weights*, pilih menu *Advance* lalu *Rows* klik *ALL SAMPLE*. Ketiga *Validation*, pilih *Cross Validation* lalu pada *Setup* pilih *Cross validation method : Random*. Dan yang keempat *Algorithm* pilih *NIPALS*. Proses PCA ini dapat dilihat pada Gambar 19,20, 21, dan 22.



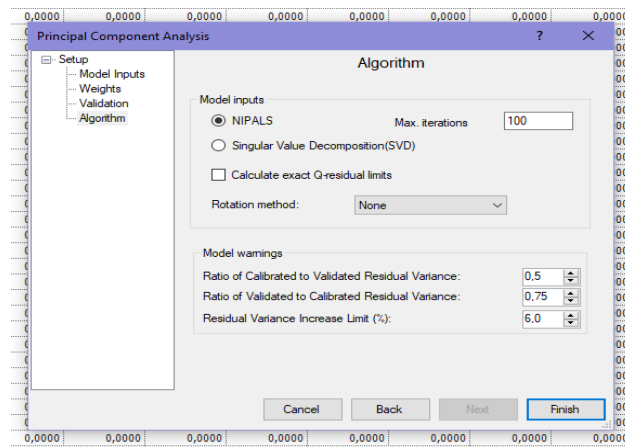
Gambar 19. *Model Inputs*



Gambar 20. *Weights*

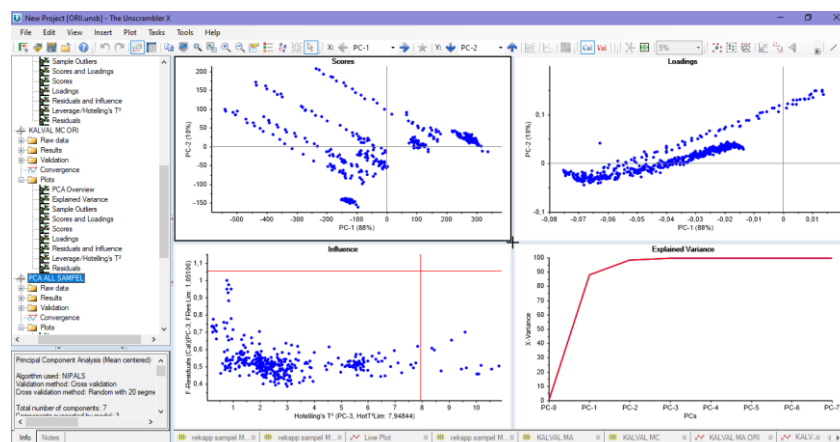


Gambar 21. Validation



Gambar 22. Algorithm

Hasil dari analisis menggunakan PCA berupa *plot Scores, Loadings, Influences*, dan *Explained Variance*. Hasil PCA tersebut dapat dilihat pada Gambar 23.

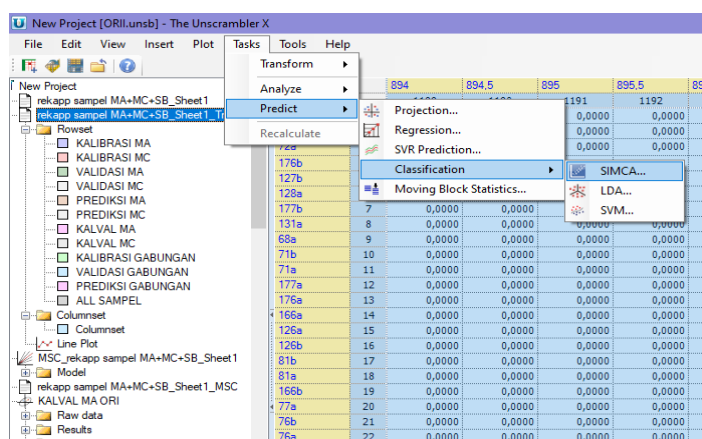


Gambar 23. Hasil Analisis PCA

### 3.8 Membuat Model Menggunakan Analisis *Soft Independent Modeling of Class Analogy* (SIMCA)

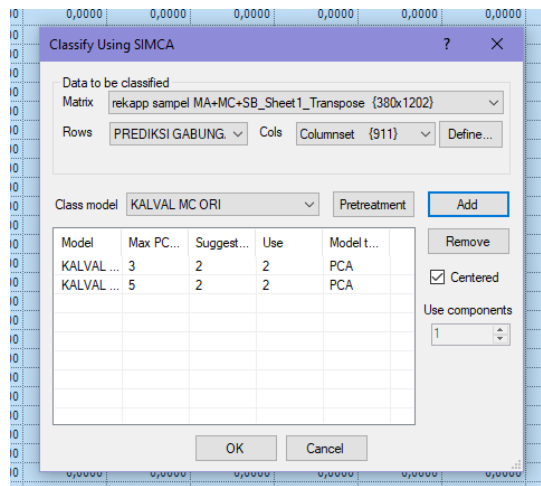
Setelah didapatkan hasil dari diskriminasi PCA dan mendapatkan hasil yang bagus, maka proses berikutnya yaitu membangun model *Soft Independent Modeling of Class Analogy* (SIMCA). SIMCA sendiri merupakan suatu teknik analisis multivariat terawasi yang dipakai untuk menguji kekuatan diskriminasi dan klasifikasi dari sampel. Dengan metode SIMCA sampel dapat masuk ke kelasnya masing-masing dengan tepat. Yang mendasari metode klasifikasi ini adalah pembuatan model PCA untuk tiap kelas dan pengklasifikasian tiap sampel pada masing-masing model PCA. Hasil yang didapatkan dari SIMCA yaitu berupa tabel klasifikasi sampel yang dapat mengklasifikasikan sampel ke dalam satu, beberapa kelas, atau tidak terklasifikasikan ke dalam kelas manapun.

Untuk membuat model SIMCA sampel madu yang digunakan akan dibagi dalam 3 bagian sampel yaitu untuk kalibrasi, validasi, dan prediksi. Model SIMCA akan dibuat menggunakan sampel kalibrasi dan sampel validasi akan digunakan untuk mengecek kembali model yang digunakan. Sedangkan untuk sampel prediksi akan digunakan untuk menguji model yang sudah dibuat dari sampel kalibrasi dan validasi. Sebelum membuat model SIMCA terlebih dahulu pastikan telah membuat model PCA KALVAL MA dan PCA KALVAL MC. Langkah pertama yang dilakukan untuk membangun model SIMCA yaitu dengan pilih data sampel gabungan yang telah di *Transpose*, selanjutnya klik menu *Task* pilih *Predict* dan pilih *Classification* lalu klik SIMCA. Proses membangun model SIMCA dapat dilihat pada Gambar 24.



Gambar 24. Proses Membangun Model SIMCA

Setelah itu akan muncul *Classify Using SIMCA*. Untuk *Rows* diisi dengan PREDIKSI GABUNGAN {56} dan *Cols* diisi dengan 300-800 {911}. Kemudian untuk *Class model* pilih KALVAL MA dan KALVAL MC dengan klik menu *Add* secara bergantian. Proses ini dapat dilihat pada Gambar 25.



Gambar 25. *Classify Using SIMCA*

Melalui tahapan ini akan didapatkan tabel pengelompokan sampel, di mana akan terlihat sampel yang masuk sesuai dengan kelasnya dan sampel yang masuk ke dalam beberapa kelas, serta sampel yang tidak masuk ke dalam kelas manapun. Pada tabel pengelompokan sampel akan diketahui bahwa sampel yang masuk ke dalam kelasnya ditandai dengan adanya tanda bintang (\*). Hasil dari model SIMCA dapat dilihat pada Gambar 26.

Sample - Class	KALVAL H	KALVAL H
160a	*	*
160b	*	*
165b	*	*
170a	*	*
170b	*	*
165a	*	*
55a	*	*
55b	*	*
60a	*	*
50b	*	*
45a	*	*
45b	*	*
50a	*	*
60b	*	*
75a	*	*
75b	*	*
80a	*	*
70b	*	*
65a	*	*
65b	*	*
70a	*	*
40b	*	*
15a	*	*
15b	*	*
20a	*	*
10b	*	*
5a	*	*
5b	*	*
10a	*	*
20b	*	*
35a	*	*
35b	*	*
40a	*	*
30b	*	*

Gambar 26. Tabel Pengelompokan Hasil Proses SIMCA

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini membuktikan bahwa teknologi spektroskopi fluoresensi portabel mampu membedakan madu hutan asli dan madu hutan campuran berdasarkan perbedaan nilai intensitas yang diperoleh. Madu hutan murni memiliki nilai intensitas yang lebih rendah dibandingkan dengan madu hutan campuran. Semakin tinggi campuran sirup beras yang digunakan maka akan menghasilkan nilai intensitas yang semakin tinggi pula.
2. Analisis PCA menggunakan data spektra *original* pada sampel MA dan MC memperlihatkan pola *plot score* yang sudah terpisah dengan baik yang memiliki nilai PC-1 sebesar 88% dan PC-2 sebesar 10%. Hasil ini dapat menunjukkan keragaman varian data sebesar 98%. Kemudian pada data yang memperoleh perlakuan *smoothing moving average 7 segment* hasil analisis PCA pada sampel MA dan MC yang didapatkan juga memperlihatkan pola *plot score* yang sudah terpisah dengan baik yang memiliki nilai PC-1 sebesar 89% dan PC-2 sebesar 10%. Dari hasil tersebut dapat menunjukkan keragaman varian data sebesar 99%.
3. Pada grafik *X-loading* terindikasi adanya puncak gelombang pada 448 nm dan 459 nm yang mengkarakterisasi sampel MA dan MC. Diduga pada panjang gelombang tersebut terdapat kandungan asam fenolik dan vitamin B2. Hal tersebut sesuai dengan fakta bahwa terdapat kandungan asam fenolik dan vitamin B2 yang bertanggung jawab atas aktivitas antioksidan di dalam madu.



4. Performansi model SIMCA dalam mengklasifikasikan sampel dievaluasi dengan menggunakan matriks konfusi. Data *original* memperoleh nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas sebesar 100% dan *error rete* bernilai 0. Dan mempunyai model klasifikasi terbaik yang termasuk klasifikasi *excellent classification* atau sangat memuaskan pada level signifikansi 5%, 10% dan 25%. Sedangkan dengan data hasil *pretreatment Smoothing Moving Average 7 Segment* mendapatkan nilai akurasi, sensitivitas, spesifisitas dan *error rate* secara berurutan yaitu 100%; 100%; 100%; dan 0% serta memiliki model klasifikasi data *pretreatment* yang tergolong klasifikasi sangat memuaskan atau *excellent classification* pada level signifikansi 5%, 10% dan 25%.

## 5.2 Saran

Pada penelitian ini, peneliti menyarankan untuk selanjutnya diharapkan melakukan penelitian lebih lanjut terhadap madu premium di berbagai wilayah di Indonesia terutama pada jenis madu hutan atau jenis bahan pencampur lainnya yang dapat berpotensi menjadi bahan dasar pencampuran madu.

## DAFTAR PUSTAKA

- Apratiwi, N. 2016. *Studi Penggunaan UV-Vis Spectroscopy Untuk Identifikasi Campuran Kopi Luwak dengan Kopi Arabika*. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. 105 hlm.
- Belay, A., Desse, G., Marc, H., & Hannelore, B. 2017. *Enzyme Activity, Amino Acid Profiles And Hydroxymethylfurfural Content In Ethiopian Monofloral Honey*. *Journal of Food Science and Technology*, 54(9), 2769–2778. doi: 0.1007/s13197-017-2713-6
- Bhalchandra, W., Baviskar, R. K., & Nikam, T. B. 2014. *Diversity Of Nectariferous And Polleniferous Bee Flora At Anjaneri And Dugarwadi Hills Of Western Ghats Of Nasik District*. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 2(4), 244–249.
- Bogdanov, S., Ruoff, K., & Oddo, L. P. 2004. *Physico-Chemical Methods For The Characterisation Of Unifloral Honeys: A review*. *Apidologie*, 35, S4–S17. doi: 10.1051/ apido.
- Bogss, C. L. 1988. *Rates of Nectar Feeding In Butterflies: Effects Of Sex, Size, Age, And Nectar Concentration*. *Functional Biology*. 2: 289–295.
- Castro-Vázquez, L., Díaz-Maroto, M. C. & Pérez-Coello, M. S. 2006. *Volatile Composition and Contribution to The Aroma Of Spanish Honeydew Honeys. Identification of a new chemical marker*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54(13): 4809-4813 hlm.
- Da Silva, P.M., Gauche, C., Gonzaga, L.V., Costa, A.C.O., Fett, R. 2016. *Honey Chemical Composition, Stability and Authenticity*. *Food Chemistry*. 196 (4) : 309-323 hlm.
- Parri, E., Santinami, G., dan Domenici, V., 2020. *Front-Face Fluorescence Of Honey Of Different Botanic Origin; A Case Study From Tuscany (Italy)*. *Applied Sciences*. 10(5) : 1- 25 hlm
- Hartono, P. 2021. *Penggunaan UV-Vis Spectroscopy dan Metode SIMCA untuk Diskriminasi Madu Kelengkeng dan Madu Karet PT Madu Pramuka*. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. 183 hlm.

- Haryanto, G. 2008. *Probe Optik Untuk Mengukur Konsentrasi Fitoplankton, Studi Kasus Scenedesmus sp*(Tesis). Universitas Indonesia. Depok. 46 hlm.
- Kuntadi. 2012. *Budidaya Lebah Madu Apis mellifera L. oleh Masyarakat Pedesaan Kabuten Pati, Jawa Tengah*. Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam. 9(4):351-361 hlm.
- Kusumaningrum, D., Hoonsoo, L., Lohumi,S., Changyeun, M., Kim, M. S., and Cho, B.K. 2017. *Non-Destructive Technique for Determining the Viability of Soybean (Glycine Max) Seeds Using FT-NIR Spektroskopi*. Journal of The Science of Food and Agriculture. 98(5):1734-1742 hlm.
- Kusmantoro, Z. N. 2018. *Akurasi Uji Diagnostik Menggunakan Luasan Bawah Kurva ROC Smoothed Empirical*. Universitas Gadjah Mada.
- Lakowicz, J.R. 2006. *Principles of Fluorescence Spektroskopi*. 3rd Ed. USA: University of Maryland School of Medicine Baltimore.
- 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 hlm.
- Miller, J.N., and Miller, J.C. 2000. *Statistics and Chemometrics for Analytical Chemistry*, 4th Edition. Pearson Education. Harlow. 271 hlm.
- Mulja, M dan Suharman. 1995. *Analisis Instrumental*. Surabaya: Airlangga University press.
- Nurchahyo, B. 2015. *Identifikasi dan Autentikasi Meniran (Phyllanthus Niruri) Menggunakan Kombinasi Spektrum Ultraviolet-Tampak Dan Kemometrika*. Institut Pertanian Bogor.  
<http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/78573>
- Oddo LP, Bogdanov S. 2004. *Determination Of Honey Botanical Origin: Problems And Issues*. Apidologie. 35: S2–S3.  
<https://doi:10.1051/apido:2004044>.
- Oroian M, Ropciuc S. 2017. *Honey Authentication Based On Physicochemical Parameters And Phenolic Compounds*. Computers and Electronics in Agriculture. 138: 148–156. <https://doi:10.1016/j.compag.2017.04.020>.
- Parker, K., Salas, M., and Nwosu, V. 2010. *High Fructose Corn Syrup : Production Uses And Public Health Concern*. USA Department of Biology, College of Science and Technology, North Carolina Central University. 8 hlm.

- Parri, E., Santinami, G., and Domenici, V. 2020. *Front-Face of Honey of Different Botanic Origin: A Case Study from Tuscany(Italy)*. Applied Sciences. Vol. 10 : 1-25
- Pribadi A dan M. Enggar Wiratmoko. 2019. *Karakteristik Madu Lebah Hutan (Apis dorsata fabr.) Dari Berbagai Bioregion di Riau*. Jurnal Penelitian Hasil Hutan. Vol. 37 No. 3 : 185-200
- Prieto, B.G. 2017. *Novel Variable Influence on Projection (VIP) Methods in OPLS, O2PLS, and On PLS Models for Single and Multiblock Variable Selection*. Thesis. Department of Chemistry Industrial Doctoral School, Umeå University. Sweden. 120 hlm.
- Rahayu, C. 2012. *Analisis Kualitatif dan Kuantitatif Kandungan Senyawa Total Polifenol dan Flavonoid Madu Paliasa Secara Spektrofotometri UV-VIS*. Skripsi (hlm. 90). Universitas Hassanudin.
- Rene Albani, J. 2007. *Principles and Applications of Fluorescence Spectroscopy*. Blackwell Publishing. Garsington.
- Ronggo, Y., Chalus, P., Maurer, L., and Martinez, C. L. 2007. *A Review of Near Infrared Spektroskopi and Chemometrics in Pharmaceutical Technologies*. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. 44 (1) : 683–700 hlm. <https://doi:10.1021/jf402280y>.
- Sakri, F. M. 2015. *Madu dan Khasiatnya : Suplement Sehat Tanpa Efek Samping*. Diandra Primamitra Pustaka Indonesia. Yogyakarta. 84 hlm.
- Sarwono, B. 2001. *Kiat Mengatasi Permasalahan Praktis Lebah Madu*. Agromedia Pustaka. Tangerang.
- Shaw, Jei-Fu, dan Jyh-Rong Sheu. 1992. *Produksi Sirup Maltosa Tinggi dan Tepung Protein Tinggi dari Beras Dengan Metode Enzimati*. Biosains, Bioteknologi, dan Biokimia. 56 (7): 1071-1073.
- Sihombing, D.T.H. 1997. *Ilmu Ternak Lebah Madu*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta. 243 hlm.
- Sime, D., Atlabachew, M., Abshiro, M. R., and Zewde, T., 2015. *Total Phenols and Antioxidant Activities of Natural Honeys and Propolis Collected from Different Geographical Regions of Ethiopia*. Bull Chem Soc Ethiop. 29 (2): 163-172.
- Smirnoff, N. 2005. *Antioxidant and Reactive Oxygen Species in Plants*. Blackell Publishing. <https://doi.org/10.1002/9780470988565.fmatter>
- SNI 3544 (BSN). 2013. *Sirup*. Badan Standarisasi Nasional.

- Suhandy D, Yulia M. 2019a. *Klasifikasi Kopi Bubuk Speisialti Kalosi Dan Toraja Menggunakan Uv-Visible Spectroscopy Dan Metode PLS-DA*. Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia. 24(1): 73–81. [https://doi.org/ 10.18343/jipi.24.1.73](https://doi.org/10.18343/jipi.24.1.73).
- Suhandy, D., & Yulia, M. 2019b. *Tutorial Analisis Data Spektra Menggunakan The Unscrambler*. Graha Ilmu.
- Suhandy D, Yulia M. 2017. *Peaberry Coffee Discrimination Using UV-Visible Spectroscopy Combined With SIMCA and PLS-DA*. International Journal of Food Properties. 20(sup1): S331–S339. <https://doi:10.1080/10942912.2017.1296861>.
- Supriyanto. 2019. *Identifikasi Grade Teh Hitam (Camellia sinensis) CTC Produk PT. Perkebunan Nusantara VIII Unit Rancabali Bandung Menggunakan UV-Vis Spectroscopy dan Metode SIMCA*. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandarlampung. 74 hlm.
- Suranto, A. 2004. *Khasiat dan Manfaat Madu Herbal*. Agromedia Pustaka. Jakarta. 115 hlm.
- Valeur B, Berberan-Santos, M. N. 2012. *Molecular Fluorescence Principles and Applications*. Wiley-VCH Verlag. Weinheim. Germany.
- Zaini, M. F. 2019. *Studi Penggunaan UV-Vis Spectroscopy dan Metode SIMCA untuk Klasifikasi Madu Hutan Berdasarkan Letak Geografis*. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandarlampung. 124 hlm.