

**PENGGUNAAN *UV-VIS SPECTROSCOPY* DAN METODE
KEMOMETRIKA UNTUK MENGIDENTIFIKASI MADU LEBAH TIDAK
BERSENGAT (*Stingless Bees*) DARI NEKTAR DAN JENIS LEBAH YANG
BERBEDA**

(Skripsi)

Oleh

AMIRA SAKINA PUTRI



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

**PENGGUNAAN UV-VIS SPECTROSCOPY DAN METODE
KEMOMETRIKA UNTUK MENGIDENTIFIKASI MADU LEBAH TIDAK
BERSENGAT (*Stingless Bees*) DARI NEKTAR DAN JENIS LEBAH YANG
BERBEDA**

Oleh

AMIRA SAKINA PUTRI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

PENGUNAAN *UV-VIS SPECTROSCOPY* DAN METODE KEMOMETRIKA UNTUK MENGIDENTIFIKASI MADU LEBAH TIDAK BERSENGAT (*Stingless Bees*) DARI NEKTAR DAN JENIS LEBAH YANG BERBEDA

OLEH

AMIRA SAKINA PUTRI

Kandungan yang ada pada madu banyak dimanfaatkan untuk kesehatan manusia baik sebagai pengobatan maupun perawatan kulit, bahkan pengobatan menggunakan madu sudah dilakukan sejak ribuan tahun lalu. Hal tersebut dikarenakan madu banyak mengandung karbohidrat, vitamin, mineral dan berbagai asam yang baik untuk tubuh. Banyak jenis madu yang beredar di pasaran yang berasal dari berbagai jenis nektar dan lebah, dengan begitu madu memiliki nilai komersial yang berbeda dari setiap jenisnya. Dengan jenis dan harga yang beragam, banyak masyarakat ingin mengetahui identitas asli dari madu yang dibeli untuk menyesuaikan dengan kandungan yang dibutuhkan. Saat ini telah ditemukan teknologi yang dapat mengevaluasi karakteristik madu dengan tetap mempertahankan kualitas. Teknologi yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan bantuan alat spektroskopi UV-Vis dan metode kemometrika yang menguji tiga madu dari lebah tidak bersengat (*Tetrigona apicalis*, *Heterotrigona itama* dan *Geniotrigona thoracica*).

Pengambilan spektra madu dengan spektroskopi UV-Vis ini, diawali dengan persiapan sampel dengan memanaskan madu menggunakan *water bath* selama 30 menit dengan suhu 60°C, kemudian dilakukan pengenceran menggunakan perbandingan 1:20, dengan madu 1 mL dan 20 mL air destilasi. Setelah dilakukan pengenceran, kemudian dilakukan pengadukan dengan menggunakan *magnetic stirrer* tegangan 220–240 Volt selama 10 menit.

Setelah sampel siap diukur, kemudian dimasukkan ke dalam kuvet kuarsa sebanyak 2 mL. Setiap jenis madu dilakukan pengujian sebanyak 50 sampel dengan pengulangan sebanyak 2 kali. Pengambilan data spektra ini menggunakan alat spektrometer UV-Vis dengan panjang gelombang 190-1100 nm. Telah didapatkan analisis hasil penelitian dari ketiga jenis madu ini menggunakan *software The Unscrambler* versi 10.4, hasil analisis ini disajikan dalam plot *line*, plot *score* dan *X-Loadings* yang didapatkan nilai PC-1 dan PC-2 sebesar 95% dan 4% secara berurutan dengan total sebesar 99%. Pada perhitungan matriks konfusi didapatkan hasil nilai akurasi sebesar 100%, sensitivitas 100%, spesifisitas 100% dan eror 0%, yang membuktikan bahwa sampel telah masuk ke dalam kelas yang sesuai. Sedangkan untuk mengetahui tingkat keakuratan dari model SIMCA dilakukan analisis menggunakan kurva ROC yang menghasilkan kategori tingkat pertama yaitu luar biasa. Hasil PCA juga dilakukan *pretreatment* dan didapatkan hasil terbaik pada data transformasi *standard normal variate* (SNV) dengan kombinasi *smoothing moving average 3 segment* yang menghasilkan persentase PC-1 sebesar 90% dan PC-2 sebesar 10% dengan total sebesar 100%.

Kata kunci: spektroskopi UV-Vis, PCA, lebah tidak bersengat, nektar dan karakteristik madu.

ABSTRACT

THE APPLICATION OF UV-VIS SPECTROSCOPY AND CHEMOMETRIC METHODS TO IDENTIFY STINGLESS BEES HONEY FROM DIFFERENT NECTAR AND TYPES OF BEES

By

AMIRA SAKINA PUTRI

*The content of honey is widely used for human health as medicine and skincare even honey has been used for thousands of years. This is because honey contains have a lot of carbohydrates, vitamins, minerals, and various acids that are good for the body. There are many types of honey on market are obtained from various types of nectar and bees, so honey has a different commercial value from each type. With various types and prices, honey consumers want to know the original identity of the honey they buy to match the required content. Currently, technology has been found that can evaluate the characteristics of honey while maintaining quality. The technology used in this study uses UV-Vis spectroscopy and chemometric methods to test three kinds of honey from stingless bees (*Tetrigona apicalis*, *Heterotrigona itama*, and *Geniotrigona thoracica*).*

Taking honey spectra with UV-Vis spectroscopy, begins with sample preparation by heating honey using a water bath for 30 minutes at 60 °C then dilution using a ratio of 1:20, with 1 mL honey and 20 mL distilled water. After dilution, then stirred using a magnetic stirrer with a voltage of 220-240 Volts for 10 minutes.

After the sample is ready to be measured, then it is put into a quartz cuvette for as much as 2 mL. Each type of honey was tested for 50 samples with 2 repetitions. The spectral data were collected using a UV-Vis spectrometer with a wavelength of 190-1100 nm. An analysis of the results of these three types of honey has been obtained using The Unscrambler version 10.4 software, the results of this analysis are presented in plot line, plot score, and X-Loadings which obtained the PC-1 and PC-2 values of 95% and 4% respectively with a total of 99%. In the confusion matrix calculation, the results obtained are 100% accuracy values, 100% sensitivity, 100% specificity, and 0% error, which proves that the sample has entered the appropriate class. Meanwhile, to determine the level of accuracy of the SIMCA model, an analysis was carried out using the ROC curve which resulted in the first level category as an excellent classification. PCA results were also

pretreated and the best results were obtained on standard normal variate (SNV) transformation data with a combination of smoothing moving average 3 segment which resulted in PC-1 percentage of 90% and PC-2 of 10% with a total of 100%.

Keywords: *UV-Vis spectroscopy, PCA, stingless bees, nectar and honey characteristics.*

Judul Skripsi

: **PENGGUNAAN UV-VIS SPECTROSCOPY DAN METODE KEMOMETRIKA UNTUK MENGIDENTIFIKASI MADU LEBAH TIDAK BERSENGAT (*Stingless Bees*) DARI NEKTAR DAN JENIS LEBAH YANG BERBEDA**

Nama Mahasiswa

: **Amira Sakina Putri**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **1814071016**

Jurusan

: **Teknik Pertanian**

Fakultas

: **Pertanian**



1. **Komisi Pembimbing**

Dr. Agr. Sc. Diding Suhandy, S.TP., M.Agr.
NIP 19780303 200112 1 001

Meinilwita Yulia, S. TP., M.Agr.Sc.
NIP 19790514 200812 2 001

2. **Ketua Jurusan Teknik Pertanian**

Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.
NIP 19621010 198902 1 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

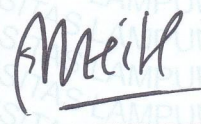
Ketua

: **Dr. Agr. Sc. Diding Suhandy, S.TP., M.Agr.**



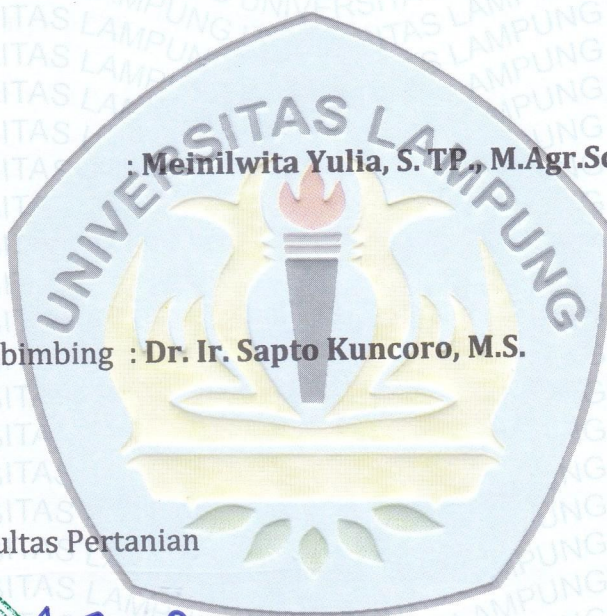
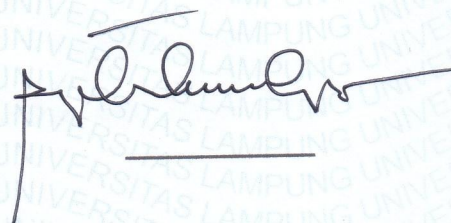
Sekretaris

: **Meinilwita Yulia, S.TP., M.Agr.Sc.**

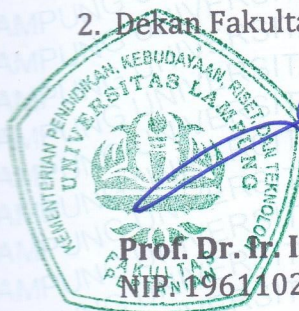


Penguji

Bukan Pembimbing : **Dr. Ir. Supto Kuncoro, M.S.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



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

NIP. 19611020 198603 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 26 April 2022

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah Amira Sakina Putri NPM **1814071016**.

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang menjadi tulisan dalam karya ilmiah saya adalah hasil karya yang saya buat oleh bimbingan Komisi Pembimbing, **1) Dr. Agr. Sc. Diding Suhandy, S.TP., M.Agr. dan 2) Meinilwita Yulia, S. TP., M.Agr.Sc.** Berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal, dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

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

Bandar Lampung, 26 April 2022
Yang membuat pernyataan



Amira Sakina Putri
NPM. 1814071016

RIWAYAT DIRI



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, Provinsi Lampung pada tanggal 7 Maret 2000, merupakan putri pertama dari dua bersaudara, buah hati pasangan (Alm) Bapak Budi Ibrahman dan Ibu Incik Meddina Fabiola. Penulis menempuh pendidikan TK Darmawanita Bandar Lampung pada tahun 2003-2006, Sekolah Dasar (SD) Negeri 2 Harapan Jaya Bandar Lampung pada Tahun

2006-2012, Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 23 Bandar Lampung pada Tahun 2012-2015 dan Sekolah Menengah Akhir (SMA) Negeri 5 Bandar Lampung pada tahun 2015-2018. Pada tahun 2018, penulis terdaftar menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi (SNMPTN).

Selama mengikuti perkuliahan, penulis aktif dalam Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) sebagai Anggota Bidang Dana dan Usaha pada periode 2018-2019. Penulis juga terdaftar aktif di Kader Inti Pemuda Anti Narkoba (KIPAN) Provinsi Lampung pada Tahun 2020. Selain itu, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode 1 Tahun 2021 pada tanggal 7 Februari hingga 1 Maret 2021 di Kelurahan Perumnas Way Halim, Kecamatan Way Halim, Kota Bandar Lampung. Sementara itu pada tanggal 1 Agustus hingga 4 September 2021, penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di PT. Suhita Lebah Indonesia

(SLI) selama dengan judul “Mempelajari Penanganan Pasca Panen Madu dari Lebah Tidak Bersengat (*Heterotrigona itama*) di PT. Suhita Lebah Indonesia (SLI) 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 :

Ibundaku


Mama Incik Meddina yang tak kenal lelah memberikan doa, cinta dan kasih sayang, bimbingan yang luar biasa, serta pengorbanan yang sangat berarti.

Ayahandaku

Papa Budi Ibrahman (Alm), Insya Allah kita akan bertemu kembali di Surga-Nya kelak.

keluargaku

Hendra, Ayah Ivan, Papa Awal, Ayah Kanjeng, Ibu Kanjeng, Kak Indy, Bang Wawan, Kak Nisa, serta semua keluarga besar Incik dan keluarga besar Achry atas do'a, dukungan moral dan materil, dan kasih sayang yang selalu diberikan dengan tulus.



SANWACANA

Puji dan syukur saya haturkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan kuasanya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Penggunaan *UV-Vis Spectroscopy* dan Metode Kemometrika untuk Mengidentifikasi Madu Lebah Tidak Bersengat (*Stingless Bees*) dari Nektar dan Jenis Lebah yang Berbeda”** ini dengan tepat waktu. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa selama proses penyusunan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Bapak Dr.Ir.Sandi Asmara, M.Si., selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
3. Bapak Dr.Agr.Sc Diding Suhandy, S.T.P.M.Agr., selaku pembimbing akademik penulis yang telah membimbing, memberikan arahan, masukan, nasihat dan meluangkan waktunya selama pelaksanaan penelitian sampai selesai penyusunan skripsi ini.
4. Ibu Meinilwita Yulia, S. TP., M.Agr.Sc. selaku pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam penulisan skripsi ini.
5. Bapak Dr.Ir. Sapto Kuncoro, M.S., selaku pembahas yang telah memberikan kritik, koreksi dan masukan dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Kedua orang tuaku tercinta, (Alm) Papaku Budi Ibrahman dan Mamaku Incik Meddina Fabiola, yang telah memberikan cinta kasih serta doa restu kepadaku.

7. Keluargaku tercinta, Hendra, Ayah Ivan, Papa Awal, Ayah Kanjeng, Ibu Kanjeng, Kak Indy, Bang Wawan, Kak Nisa, serta semua keluarga besar Incik dan keluarga besar Achry atas do'a, dukungan moral dan materil, dan kasih sayang yang selalu diberikan dengan tulus.
8. Para Dosen atas bimbingan dan pengajarannya selama menjadi mahasiswa serta seluruh staf dan Pak Supri yang telah membantu penulis dalam proses akademik dan kemahasiswaan selama penyusunan skripsi ini.
9. PT. Suhita Lebah Indonesia yang telah menyediakan sampel dan bersedia memberikan informasi kepada penulis.
10. Kak ega yang selalu ada, mendengar keluh kesah dan membantu penulis selama perkuliahan.
11. Kak Nurul, Kak Binti, Kak Nasywa, Kak Mega yang telah memberi arahan dan refrensi kepada penulis selama penelitian dan penyusunan skripsi ini.
12. Rekan seperjuanganku, Annisy, Aris, Ghifari atas motivasi dan semangat dalam menyelesaikan skripsi.
13. Grup Para Petualang Syantik, Maya dan Anisy yang selalu mendengar kehebohan dan kepanikan penulis.
14. Keluarga TEP 2018 atas semangat dan dukungannya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
15. Keluarga DANUS atas penerimaan dan pengalaman yang luar biasa sebelum, saat dan sesudah periode.
16. Gustin, Azizah, Dewi yang selalu mendengar keluh kesah penulis.
17. Ranti dan Khamidah yang selalu selalu menghibur penulis dikala penat.
18. Keluarga TEP 2018 atas semangat dan dukungannya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Semoga seluruh bantuan yang telah diberikan kepada penulis mendapat pahala dan ridho dari Allah SWT dan semoga penulisan skripsi ini bermanfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan terutama bagi penulis.

Bandar Lampung,

Penulis

Amira Sakina Putri

DAFTAR ISI

	Halaman
SANWACANA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	6
1.3. Tujuan Penelitian	7
1.4. Manfaat Penelitian	7
1.5. Hipotesis.....	7
1.6. Batasan Masalah	8
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Madu	9
2.1.1. Pengertian Madu	9
2.1.2. Komposisi Madu	10
2.1.3. Jenis Madu	12
2.2. Lebah Madu	13
2.2.1. Jenis Lebah Madu	14
2.2.2. Sumber Pakan Lebah Madu	18
2.3. <i>UV-Vis Spectroscopy</i>	24
2.4. Metode Kemometrika	26
2.4.1. <i>Principal Component Analysis (PCA)</i>	27
2.4.2. <i>Soft Independent Modelling of Class Analogy (SIMCA)</i>	29
2.4.3. Matriks Konfusi (<i>Confusion Matrix</i>)	31
2.4.4. <i>Pretreatment</i>	32
III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	37
3.2. Alat dan Bahan Penelitian.....	37

3.3. Prosedur Penelitian	37
3.3.1. Persiapan Alat	39
3.3.3. Pengambilan Spektra dengan <i>UV-Vis Spectrometer</i>	43
3.3.4. Membangun dan Menguji Model.....	45
3.4. Analisis Data.....	45
3.5. <i>Principal Component Analysis</i> (PCA).....	45
3.6. Membangun Model Menggunakan Analisis <i>Soft Independent Modelling of Class Analogy</i> (SIMCA)	52
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Analisis Spektra Tiga Jenis Madu Lebah Tak Bersengat pada Panjang Gelombang 190-1100 nm Menggunakan Data <i>Original</i> dan <i>Pretreatment</i>	59
4.1.1. Analisis Spektra Tiga Jenis Madu Lebah Tak Bersengat Menggunakan Data <i>Original</i>	61
4.1.2. Analisis Spektra Tiga Jenis Madu Lebah Tak Bersengat Menggunakan Data <i>Pretreatment</i> SNV + <i>Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	63
4.2. Hasil <i>Principal Component Analysis</i> (PCA) Tiga Jenis Madu Lebah Tak Bersengat pada Panjang Gelombang 190-1100 nm Menggunakan Data <i>Original</i> dan <i>Pretreatment</i>	69
4.2.1. Hasil Plot <i>score</i> dan Grafik <i>X-Loading</i> PCA Tiga Jenis Madu Lebah Tak Bersengat Menggunakan Data <i>Original</i>	70
4.2.2. Hasil Plot <i>score</i> dan Grafik <i>X-Loading</i> PCA Tiga Jenis Madu Lebah Tak Bersengat Menggunakan Data <i>Pretreatment</i> SNV + <i>Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	74
4.3. Model <i>Soft Independent Modelling of Class Analogy</i> (SIMCA) Tiga Jenis Madu Lebah Tak Bersengat pada Panjang Gelombang 190 – 1100 nm Menggunakan Data <i>Original</i> dan <i>Pretreatment</i>	78
4.3.1. Model SIMCA Tiga Jenis Madu Lebah Tak Bersengat Menggunakan Data <i>Original</i>	78
4.3.2. Model SIMCA Tiga Jenis Madu Lebah Tak Bersengat Menggunakan Data <i>Pretreatment</i> SNV + <i>Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	80
4.4. Klasifikasi Sampel Tiga Jenis Madu Lebah Tak Bersengat pada Panjang Gelombang 190 - 1100 nm Menggunakan Data <i>Original</i> dan <i>Pretreatment</i>	82
4.3.1. Klasifikasi Sampel Tiga Jenis Lebah Tak Bersengat Menggunakan Data <i>Original</i>	82
4.3.2. Klasifikasi Sampel Tiga Jenis Lebah Tak Bersengat Menggunakan Data <i>Pretreatment</i> SNV + <i>Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	85

4.5. Plot <i>Coomans</i> Tiga Jenis Madu Lebah Tak Bersengat pada Panjang Gelombang 190 -1100 nm Menggunakan Data <i>Original</i> dan <i>Pretreatment</i>	89
4.5.1. Plot <i>Coomans</i> Tiga Jenis Madu Lebah Tak Bersengat Menggunakan Data <i>Original</i>	89
4.5.2. Plot <i>Coomans</i> Tiga Jenis Madu Lebah Tak Bersengat Menggunakan Data <i>Pretreatment</i> SNV + <i>Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	92
4.6. Kurva <i>Receiver Operating Characteristic</i> (ROC) Tiga Jenis Madu Lebah Tak Bersengat pada Panjang Gelombang 190 -1100 nm Menggunakan Data <i>Original</i> dan <i>Pretreatment</i>	95
4.6.1. Kurva ROC Tiga Jenis Madu Lebah Tak Bersengat Menggunakan Data <i>Original</i>	96
4.6.2. Kurva ROC Tiga Jenis Madu Lebah Tak Bersengat Menggunakan Data <i>pretreatment</i> SNV + <i>Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	100
V. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	105
5.2. Saran	106
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel	Teks	Halaman
1.	Komposisi Kimia Madu Hutan per 100 Gram (Sumber: Suranto, 2008).....	10
2.	Uji Fitokimia Madu Lebah Tidak Bersengat (Sumber: Widowati, 2021).....	11
3.	Jenis Lebah Tanpa Sengat yang Berada di 4 Wilayah (Sumber : Priawandiputra <i>Et Al.</i> , 2018).....	17
4.	Beberapa Jenis Tanaman yang Menghasilkan Nektar, Polen Dan Resin (Sumber: Wiratmoko, 2018).....	23
5.	Matriks Konfusi.....	32
6.	Penomoran Sampel.....	42
7.	Hasil Transformasi Spektra <i>Original</i> Menggunakan Beberapa <i>Pretreatment</i> pada Panjang Gelombang 190-1100 Nm	64
8.	Relasi antara Nilai Absorbans dan Transmittans (Sumber: Edinburgh Instruments, 2022).	69
9.	Kandungan Kimia Berdasarkan Panjang Gelombang dari <i>X-Loading</i> Data <i>Original</i>	73
10.	Kandungan Kimia Berdasarkan Panjang Gelombang dari <i>X-Loading</i> Data <i>Pretreatment</i>	77
11.	Matriks Konfusi Model SIMCA MT dan Model SIMCA MA Menggunakan Data <i>Original</i>	82
12.	Matriks Konfusi Model SIMCA MT dan Model SIMCA MI Menggunakan Data <i>Original</i>	83

13. Matriks Konfusi Model SIMCA MA dan Model SIMCA MI Menggunakan Data <i>Original</i>	84
14. Matriks Konfusi Model SIMCA MT dan Model SIMCA MA Menggunakan Data <i>SNV + Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	86
15. Matriks Konfusi Model SIMCA MT dan Model SIMCA MI Menggunakan Data <i>SNV + Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	86
16. Matriks Konfusi Model SIMCA MA dan Model SIMCA MI Menggunakan Data <i>SNV + Smoothing Moving Average 3 Segment</i>	87
17. Hasil Tingkat Spesifisitas dan Sensitivitas Klasifikasi Model SIMCA MT dan MA Menggunakan Data <i>Original</i> pada Beberapa Level Signifikansi	96
18. Hasil Tingkat Spesifisitas Dan Sensitivitas Klasifikasi Model SIMCA MT dan MI Menggunakan Data <i>Original</i> pada Beberapa Level Signifikansi.....	97
19. Hasil Tingkat Spesifisitas dan Sensitivitas Klasifikasi Model SIMCA MA dan MI Menggunakan Data <i>Original</i> pada Beberapa Level Signifikansi.....	99
20. Hasil Tingkat Spesifisitas dan Sensitivitas Klasifikasi Model SIMCA MT dan MA Menggunakan Data <i>Pretreatment SNV + Smoothing Moving Average 3 Segment</i> pada Beberapa Level Signifikansi	100
21. Hasil Tingkat Spesifisitas dan Sensitivitas Klasifikasi Model SIMCA MT dan MI Menggunakan Data <i>Pretreatment SNV + Smoothing Moving Average 3 Segment</i> pada Beberapa Level Signifikansi	101
22. Hasil Tingkat Spesifisitas dan Sensitivitas Klasifikasi Model SIMCA MA dan MI Menggunakan Data <i>Pretreatment SNV + Smoothing Moving Average 3 Segment</i> pada Beberapa Level Signifikansi	103
23. Daftar Istilah (Lavine, 2009 ; Suhandy & Yulia, 2019).....	115
24. Klasifikasi Model SIMCA pada Sampel MT Dan MA Data <i>Original</i> pada Panjang Gelombang 190-1100 nm	117
25. Klasifikasi Model SIMCA pada Sampel MT dan MI Data <i>Original</i> pada Panjang Gelombang 190-1100 nm	118
26. Klasifikasi Model SIMCA pada Sampel MA dan MI Data <i>Original</i> pada Panjang Gelombang 190-1100 nm	119
27. Klasifikasi Model SIMCA pada Sampel MT dan MA Data <i>Pretreatment SNV + Smoothing Moving Average 3 Segment</i> Panjang Gelombang 190-1100 nm..	120

28. Klasifikasi Model SIMCA pada Sampel MT dan MI Data *Pretreatment* SNV + *Smoothing Moving Average 3 Segment* Panjang Gelombang 190-1100 nm.. 121
29. Klasifikasi Model SIMCA pada Sampel MA dan MI Data *Pretreatment* SNV + *Smoothing Moving Average 3 Segment* Panjang Gelombang 190-1100 nm.. 122

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Teks	Halaman
1.	Sarang lebah <i>Trigona spp</i> (Lebah tanpa sengat) terdapat propolis	22
2.	Sarang lebah <i>Apis</i> (Lebah bersengat).....	22
3.	Diagram alir prosedur penelitian.....	38
4.	Pemanasan madu (Sumber: Dokumen pribadi, 2022).....	40
5.	Pengenceran madu dengan aquades (Sumber: Dokumen pribadi, 2022).....	40
6.	Pengadukan madu dengan <i>magnetic stirrer</i>	41
7.	Pengukuran spektra bahan menggunakan <i>UV-Vis Spectrometer</i> (Sumber: Dokumen pribadi, 2022).....	42
8.	Diagram alir persiapan sampel.....	43
9.	Diagram alir proses pengambilan spektra sampel madu.....	44
10.	Penggabungan data di <i>Microsoft Excel</i>	46
11.	Langkah meng- <i>import</i> data	46
12.	Langkah <i>transpose</i> data di aplikasi <i>the unscrambler</i>	47
13.	Langkah membuat <i>Category Variable</i>	48
14.	Menentukan kelompok sesuai dengan kode jenis madu	48
15.	Membuat <i>Define Ranges</i>	49
16.	Menentukan KALVALPRED	49
17.	Menganalisis dengan metode PCA di aplikasi <i>The Unscrambler</i>	50
18.	Pemilihan <i>Setup</i> dalam analisis PCA	51

19. Hasil plot analisis PCA	51
20. Membangun model SIMCA	52
21. Proses membangun model SIMCA.....	53
22. <i>Output</i> pembagian kelas di SIMCA	54
23. Tampilan plot <i>Commans</i>	54
24. Proses melakukan <i>pretreatment</i>	55
25. Tampilan transformasi data <i>smoothing moving average</i>	56
26. Tampilan transformasi data <i>normalization</i>	56
27. Tampilan <i>Savitzky-Golay derivative</i>	57
28. Tampilan transformasi data menggunakan SNV	58
29. Tampilan transformasi data menggunakan MSC/EMSC.....	58
30. Sampel dari tiga jenis madu	59
31. Wilayah Pemanenan PT. Suhita Lebah Indonesia	60
32. Nilai rata-rata absorbans data spektra <i>original</i> pada panjang gelombang 190-1100 nm.....	61
33. Nilai rata-rata absorbans data spektra <i>pretreatment SNV + smoothing moving average 3 segment</i> pada panjang gelombang 190-1100 nm	68
34. Hasil plot skor PCA data <i>original</i>	70
35. Hasil grafik <i>X-Loading</i> PC-1 data <i>original</i>	71
36. Hasil grafik <i>X-Loading</i> PC-2 data <i>original</i>	72
37. Hasil plot skor PCA data SNV + <i>smoothing moving average 3 segment</i>	74
38. Hasil grafik <i>X-Loading</i> PC-1 data SNV + <i>smoothing moving average 3 segment</i>	75
39. Hasil grafik <i>X-Loading</i> PC-2 data SNV + <i>smoothing moving average 3 segment</i>	76
40. Model SIMCA sampel MA menggunakan data <i>original</i>	78

41. Model SIMCA sampel MI menggunakan data <i>original</i>	79
42. Model SIMCA sampel MT menggunakan data <i>original</i>	79
43. Model SIMCA sampel MA menggunakan Data SNV + <i>smoothing moving average 3 segment</i>	80
44. Model SIMCA Sampel MI Menggunakan Data SNV + <i>smoothing moving average 3 segment</i>	80
45. Model SIMCA sampel MT menggunakan data SNV + <i>smoothing moving average 3 segment</i>	81
46. Plot <i>Coomans</i> dari pengklasifikasian model SIMCA MT dan MA menggunakan data <i>original</i>	89
47. Plot <i>Coomans</i> dari pengklasifikasian model SIMCA MT dan MI menggunakan data <i>original</i>	90
48. Plot <i>Coomans</i> dari pengklasifikasian model SIMCA MA dan MI menggunakan data <i>original</i>	91
49. Plot <i>Coomans</i> dari pengklasifikasian model SIMCA MT dan MA menggunakan data SNV + <i>smoothing moving average 3 segment</i>	92
50. Plot <i>Coomans</i> dari pengklasifikasian model SIMCA MT dan MI menggunakan data SNV + <i>smoothing moving average 3 segment</i>	93
51. Plot <i>Coomans</i> dari pengklasifikasian model SIMCA MA dan MI menggunakan data SNV + <i>smoothing moving average 3 segment</i>	94
52. Kurva ROC dari pengklasifikasian model SIMCA MT dan MA menggunakan data <i>original</i>	97
53. Kurva ROC dari pengklasifikasian model SIMCA MT dan MI menggunakan data <i>Original</i>	98
54. Kurva ROC dari pengklasifikasian model SIMCA MA dan MI menggunakan data <i>Original</i>	99
55. Kurva ROC dari pengklasifikasian model SIMCA MT dan MA menggunakan data SNV + <i>smoothing moving average 3 segment</i>	101
56. Kurva ROC dari pengklasifikasian model SIMCA MT dan MI Menggunakan data SNV + <i>smoothing moving average 3 segment</i>	102
57. Kurva ROC dari pengklasifikasian model SIMCA MA dan MI menggunakan data SNV + <i>smoothing moving average 3 segment</i>	103

58. Bahan yang digunakan (a) air destilasi (b) madu.....	123
59. Larutan sampel (a) madu <i>Tetrigona apicalis</i> (b) madu <i>Heterotrigona itama</i> (c) madu <i>Geniotrigona thoracica</i> dengan perbandingan 1 : 20	123
60. Alat yang digunakan (a) pipet tetes (b) spatula (c) <i>magnetic stirer CiblanCTM</i>	124
61. (a) Hasil Spektra Madu <i>Tetrigona apicalis</i> (b) <i>UV-Vis Spectrometer Genesys 10S UV-Vis</i> (c) <i>Waterbath</i>	124

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia termasuk daerah tropis dengan kawasan hutan tropis terluas setelah Brazil dan Kongo yang membuktikan bahwa Indonesia memiliki potensi besar untuk mengembangkan flora maupun fauna (Purba *et al.*, 2014). Dengan banyaknya flora yang ada di Indonesia, maka sangat besar kemungkinan untuk mengembangbiakkan hewan lebah yang dapat menghasilkan madu. Banyaknya flora di Indonesia memberikan dampak positif dalam menghasilkan banyak jenis madu di Indonesia. Flora yang tumbuh menghasilkan nektar yang membantu lebah dalam menghasilkan madu dan sebagai sumber energi utama bagi lebah.

Hal tersebut memberikan Indonesia peluang yang besar untuk mengekspor madu, Selain itu, 9 dari 11 jenis madu terbaik di dunia berada di Indonesia. Menurut Wakil Ketua Asosiasi Perlebaran Indonesia (API) 2016, produksi madu yang dihasilkan di Indonesia mencapai 15.000 hingga 75.000 ton dalam satu tahun. Sedangkan madu yang dibutuhkan di Indonesia sebesar 150.000 ton per tahun hal ini selaras dengan keputusan Pemerintah yang masih mengimpor madu dari China berjumlah separuh dari kebutuhan madu di Indonesia. Penyebab kurangnya produksi madu ini dikarenakan petani atau penghasil madu masih minim.

Kandungan yang ada pada madu alami dapat digunakan sebagai pengobatan tradisional, terlebih pandemi *Covid-19* ini membuat masyarakat ingin menjaga

imunitas tubuh, dengan secara rutin mengkonsumsi madu karena madu dapat mencukupi kebutuhan pada tubuh manusia. Bahkan sejak ribuan tahun lalu masyarakat telah memiliki pengetahuan tentang pengobatan secara tradisional yaitu menggunakan bahan dari tanaman yang berkhasiat sebagai penyembuh dari berbagai penyakit. Pengobatan dengan cara tersebut dikenal sebagai pengobatan herbal, yaitu usaha manusia untuk memperbaiki fungsi tubuh menggunakan bahan-bahan yang ada di alam (tumbuh-tumbuhan) baik yang berasal dari satu jenis tanaman maupun dibuat menjadi ramuan (mencampurkan beberapa tanaman yang digunakan sebagai obat) (Rahman, 2012).

Nektar merupakan sumber makanan lebah madu yang berasal dari tanaman penghasil sayuran, buah-buahan, tanaman pangan dan perkebunan juga tanaman hias yang mengandung nektar dan polen. Tanaman penghasil pakan lebah atau nektar ini jumlahnya dapat mengalami perubahan bergantung pada tipe tanah dari tanamannya, intensitas pengolahan tanah, jenis tanaman serta pembudidayaan dari masing-masing kebun yang mengakibatkan musim gagal bunga atau tanaman sedikit menghasilkan bunga sampai musim berlimpah bunga. Nektar merupakan larutan gula yang ada pada tanaman dengan rasa yang manis, nektar yang ada pada tanaman ini merupakan sekresi yang dihasilkan oleh tanaman pada bagian kelenjar nektarium yang terletak di seluruh bagian tanaman khususnya bagian bunga dan daun. Selain nektar, sumber pakan lebah dapat juga memakan embun madu (*honey dew*) yang diperoleh dari kutu yang ada di tanaman di dalam *family Coccidae* dan *Aphidhae* berupa cairan manis (Mulyono *et al.*, 2015).

Nektar berdasarkan asalnya dihasilkan oleh sari bunga tanaman yaitu nektar flora dan nektar dari bagian lain suatu tanaman seperti ujung batang dan kuncup daun yang disebut nektar ekstra flora. Contoh nektar ekstra flora ini seperti tumbuhan *Melicoccus sp*, *Acacia mangium*, dan *Schima wallichii*. Nektar yang ada pada tumbuhan dapat ditemukan pada tingkat tiang, tingkat pohon dan tingkat pancang. Salah satu tanaman yang dapat menghasilkan nektar yang baik adalah nektar dari tanaman Akasia mangium yang memiliki durasi sekresi berjangka panjang karena nektar dari tanaman ini berasal dari kelenjar ekstra flora dari suatu tanaman yang ada di setiap pangkal daun pada bagian petiole (Graham *et al.*, 2003) namun tidak

semua kelenjar dari tanaman Akasia mangium ini mengeluarkan nektar (Kuntadi *et al.*, 2012).

Setiap nektar mengandung berbagai jenis karbohidrat seperti sukrosa, glukosa dan fruktosa. Tiga jenis karbohidrat tersebut merupakan jenis karbohidrat terbanyak di dalam nektar tanaman namun unsur laktosa dan galaktosa tetap ada, walaupun jumlah yang ditemukan tidak sebanyak tiga jenis karbohidrat tersebut. Hal tersebut yang membuat madu banyak mengandung senyawa gula (Tjitrosoepomo, 1997 ; Mulyono *et al.*, 2015).

Madu menurut definisi merupakan suatu zat cair dengan tekstur kental dan terasa manis yang dibuat oleh lebah dengan cara difermentasikan dalam perut lebah setelah mengalami perubahan (Rahman, 2012). Konstituen dari madu asli dikenal sebagai gula *invert* merupakan dekstrosa dan fruktosa yang telah tercampur dengan intensitas yang sama. Madu asli atau madu murni berupa cairan yang berasal dari nektar bunga yang diproses oleh lebah madu dengan cara dihisap menggunakan lidah yang panjang dan berbentuk tabung kemudian dimasukkan dalam kantong madu yang ada di dalam tubuh lebah (Adriani, 2011).

Selain senyawa gula, madu juga mengandung beberapa mineral dan vitamin. Mineral yang ada dalam madu seperti sulfur, natrium, besi, belerang, magnesium, kalium, fosfor dan kalsium, sedangkan vitamin yang terkandung dalam madu seperti vitamin B1, B2, B3, B6 dan C. Selain karbohidrat, vitamin dan mineral pada madu, terdapat juga beberapa jenis hormon, yodium, tembaga serta seng dengan jumlah yang tidak terlalu banyak. Komposisi dari karbohidrat, mineral, vitamin dan bahan-bahan lain tersebut jumlahnya berbeda-beda sesuai dengan jenis tanaman, kualitas dari nektar yang dihisap serta serbuk sari yang diproses oleh lebah madu (Sambodo, 2009).

Madu dibagi menjadi dua bagian berdasarkan asal nektar, yaitu madu multiflora dan uniflora. Pada madu multiflora nektar yang diolah lebah madu berasal dari berbagai jenis bunga sedangkan madu uniflora nektar yang diproses oleh lebah hanya dari satu macam bunga. Selain berasal dari jumlah nektar yang dihisap oleh lebah, jenis madu juga dapat berasal dari jenis lebahnya. Terdapat dua jenis lebah

yaitu lebah bersengat dan lebah tidak bersengat. Lebah bersengat berasal dari Genus *Apis* dengan beberapa spesies yaitu *Apis cerana*, *Apis mellifera* dan *Apis dorsata* (Lamerkabel, 2011). Sedangkan lebah tidak bersengat (*stingless bees*) memiliki lebih dari 600 jenis lebah di seluruh dunia. Sebanyak 46 jenis sudah ditemukan di Indonesia dengan 23 jenis berasal dari Sumatra. Lebah tidak bersengat yang berasal dari Sumatra seperti *Tetrigona apicalis*, *Geniotrigona thoracica*, *Trigona melina*, *Heterotrigona itama*, *Trigona fuscibasis*, *Trigona fuscobalteata*, *Trigona laevicep* dan *Trigona drescher* (Priawandiputra *et al.*, 2018). Karakteristik dan kualitas dari suatu madu bergantung pada beberapa faktor seperti asal vegetasi, musim bunga, kelembaban udara, suhu udara lingkungan sekitar serta asal geografis yang dapat menentukan harga jual madu (Schuhfried *et al.*, 2016).

Nilai komersial madu sangat beragam, hal ini dikarenakan banyaknya variasi madu yang beredar di pasaran. Nilai komersial madu akan meningkat sesuai dengan kandungan yang ada pada madu tersebut. Harga madu yang dijual harus disesuaikan dengan jenis madu yang dijual maka diperlukan tanda pengenal dari suatu produk guna memberikan informasi kepada konsumen bahwa produk yang dijual berasal dari suatu lokasi tertentu untuk memberikan kepercayaan kepada konsumen dan dapat mempertahankan reputasi dari suatu merek (Zaini, 2019).

Pada setiap jenis madu memiliki kandungan yang berbeda seperti pada madu yang dihasilkan dari lebah tidak bersengat harganya akan cenderung lebih mahal karena banyak mengandung propolis dibandingkan dengan madu dari lebah bersengat. Hal tersebut membuat banyak oknum memalsukan madu dengan mencampur madu yang lebih murah dan mengklaim bahwa madu tersebut berasal dari lebah tidak bersengat sehingga oknum dapat menjual dengan harga yang lebih tinggi.

Pemalsuan pangan dapat berupa mengubah tampilan makanan dengan menambah, mengganti dan mencampur suatu bahan makanan atau minuman yang tidak sesuai dengan identitas yang diberikan oleh penjual untuk mendapatkan keuntungan sebanyak-banyaknya. Pemalsuan bahan pangan yang sering ditemukan salah

satunya adalah madu, hal tersebut karena akhir-akhir ini madu banyak diminati masyarakat untuk keperluan kesehatan dan kecantikan (Firmansyah, 2019).

Semakin maraknya penjualan madu yang belum diketahui asal usulnya maka perlu dilakukan pengujian dengan tetap mempertahankan kualitas dari madu tersebut untuk membuktikan bahwa madu sesuai dengan identitas yang diklaim oleh penjual, hal ini telah mendapat perhatian pemerintah dengan dibuatnya undang-undang khusus yaitu Undang-Undang perlindungan konsumen nomor 8 tahun 1999 juga tuntutan para konsumen yang sudah kritis dalam memilih produk yang akan dibeli.

Uji kemurnian madu dilakukan di dalam laboratorium dan dapat juga dilakukan dengan cara organoleptik atau *human sensory* yaitu dengan cara mencium bau dan rasa khas yang dikeluarkan oleh madu seperti rasa buah dari nektar yang dihisap oleh lebah madu. Namun, pengujian dengan cara organoleptik ini tergolong tidak absolut atau tidak pasti karena pengujian dengan organoleptik ini sesuai dengan kondisi yang sedang dialami penguji dan keterbatasan fisik manusia (Handayani, 2016).

Mengidentifikasi asal usul madu juga dapat dilakukan dengan beberapa metode yang terdapat dalam undang-undang Uni Eropa seperti *chromatography* yaitu dengan memisahkan molekul pada larutan dari pola pergerakan molekul tersebut ada pada fase gerak ataupun fase diam (Cotte *et al.*, 2004), analisis fisiologi dengan melihat secara fisik dari bahan yang diuji (El Sohaimy *et al.*, 2015), mengidentifikasi atau menganalisis serbuk sari yang dikeluarkan tanaman (Moar, 1985), *electric-tongue analysis* (Major *et al.*, 2011), dan spektrofotometri resonansi magnetik inti proton (Boffo *et al.*, 2012) dan analisis sensor (Piana *et al.*, 2004). Namun, pengujian yang telah ditetapkan oleh Uni Eropa ini akan menghabiskan waktu cukup panjang yang belum sesuai dengan kemajuan pasar di Indonesia, memerlukan biaya yang tidak sedikit, tenaga ahli yang kompeten serta menghasilkan limbah kimia yang berbahaya

Selain metode yang telah disebutkan di atas, ada juga evaluasi karakteristik madu dengan menggunakan metode NIR (*Near Infra Red Spektroskopi*), prinsip kerja

alat ini dengan berdasar kepada perbedaan ikatan kimia tertentu dengan karakteristik apabila menerima gelombang cahaya pada spektrum tersebut. Namun metode seperti ini mempunyai kelemahan seperti peralatan yang harganya sangat mahal dan bagi pengguna alat NIR harus yang telah professional untuk menjaga proses pengumpulan data dapat dengan baik terbaca oleh alat.

Telah ditemukan metode untuk mengidentifikasi karakteristik madu yang cukup tepat di laboratorium dengan menggunakan alat *UV-Vis spectroscopy* yaitu alat yang mudah ditemukan di beberapa laboratorium dengan keunggulan dapat mengidentifikasi produk pertanian khususnya madu dengan cepat dan akurat serta pengeluaran yang dibutuhkan dengan metode ini tergolong murah karena menggunakan air sebagai pelarut sehingga bebas dari bahan kimia untuk proses ekstraksinya (Apratiwi, 2016). Maka dalam penelitian ini alat yang digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik madu adalah spektrofotometer UV-Vis. Pengujian karakteristik produk pertanian khususnya madu dengan menggunakan alat spektrofotometer UV-Vis telah berhasil dilakukan oleh Firmansyah (2019), Zaini (2019), Hartono (2019), dan Khasanah (2021). Namun pengujian karakteristik madu lebah tidak bersengat (*stingless bees*) dari nektar dan jenis lebah yang berbeda dengan melibatkan tiga jenis madu hutan sebagai sampel yaitu *Tetrigona apicalis* dengan nektar ekstra flora pohon damar (*Agathis dammara*), *Heterotrigona itama* dengan nektar ekstra flora pohon Akasia mangium (*Accacia mangium*) dan *Geniotrigona thoracica* dengan nektar flora multiflora menggunakan alat *UV-Vis spectroscopy* dan metode kemometrika belum pernah dilakukan. Sehingga pada penelitian ini dilakukan evaluasi penggunaan alat *UV-Vis spectroscopy* untuk mengidentifikasi madu lebah tidak bersengat (*stingless bees*) dari nektar dan jenis lebah yang berbeda.

1.2. Rumusan Masalah

Bagaimana cara mengidentifikasi madu secara cepat berdasarkan nektar dan jenis lebah yang berbeda dari lebah tidak bersengat (*stingless bees*) yang memiliki harga cenderung lebih mahal ?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi tiga jenis madu dari lebah tidak bersengat (*Tetrigona apicalis*, *Heterotrigona itama* dan *Geniotrigona thoracica*) menggunakan *UV-Vis spectroscopy* dan metode kemometrika.
2. Membangun dan menguji model klasifikasi menggunakan metode PCA dan SIMCA secara cepat dan tepat untuk mengidentifikasi madu dari tiga jenis lebah dan nektar yang berbeda untuk lebah tidak bersengat (*stingless bees*) khususnya yang beredar di Provinsi Lampung.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian yang dilakukan, sebagai berikut:

1. Memberikan informasi untuk penelitian selanjutnya mengenai perbedaan tiga jenis madu yang berasal dari jenis lebah dan nektar yang berbeda untuk jenis lebah tidak bersengat (*stingless bees*).
2. Memberikan pilihan teknologi uji keaslian madu menggunakan *UV-Vis spectroscopy* dari tiga jenis lebah madu tidak bersengat (*stingless bees*) yang diharapkan mampu membantu pemerintah dan industri untuk memberikan hak konsumen dengan benar.

1.5. Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah:

1. Dapat mengidentifikasi tiga jenis madu yang berasal dari jenis lebah dan nektar yang berbeda untuk jenis lebah tidak bersengat (*stingless bees*) menggunakan *UV-Vis spectroscopy* dengan metode kemometrika secara cepat dan tepat.

2. Dapat mengetahui perbedaan sifat optik dari tiga jenis madu lebah tidak bersengat (*stingless bees*) yang berasal dari jenis lebah dan nektar yang berbeda.

1.6. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Uji coba dilakukan pada tiga jenis madu hutan yang berasal dari *Tetrigona apicalis* dengan nektar ekstra flora pohon damar (*Agathis dammara*), *Heterotrigona itama* dengan nektar ekstra flora pohon Akasia mangium (*Accacia mangium*) dan *Geniotrigona thoracica* dengan nektar flora multiflofra.
2. Penelitian ini menggunakan alat *UV-Vis Spectroscopy*.
3. Pada penelitian ini tidak dilakukan uji kimia.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Madu

2.1.1. Pengertian Madu

Madu adalah produk yang dihasilkan dari hutan. Madu merupakan salah satu produk yang unggul dari sektor kehutanan. Hal ini karena Indonesia memiliki luas hutan mencapai 143 juta hektar dari 193 juta hektar luas daratan, maka sangat wajar jika Indonesia memiliki sumber daya alam yang melimpah dan tepat jika mengembangkan industri madu di daerah seperti ini. Di Indonesia, sedikitnya ada 115 tanaman yang menghasilkan nektar yaitu cairan yang menjadi pakan bagi lebah, dengan hal tersebut berarti Indonesia mempunyai beragam tanaman yang akan memberikan variasi-variasi madu dengan berbagai macam jenis nektarnya. Dengan banyaknya jenis tanaman di Indonesia maka sangat mungkin untuk memproduksi madu sepanjang tahun (Kementrian Pertanian, 2015).

Madu ialah cairan manis dari alam. Madu berasal dari dua jenis nektar yaitu, nektar tumbuhan dari bagian bunga (floral nektar) dan nektar yang asalnya dari bagian tanaman selain bunga seperti kuncup daun dan ujung batang (ekstra floral nektar). Nektar yang telah dihisap oleh lebah harus diproses terlebih dahulu untuk menghasilkan madu. Madu sangat baik jika dikonsumsi manusia karena memiliki kandungan yang dibutuhkan oleh manusia seperti gizi, vitamin, zat antibiotik dan anti bakteri (Suranto, 2004).

2.1.2. Komposisi Madu

Madu banyak mengandung vitamin dan gizi yang baik bagi tubuh manusia. Pada kandungan gizi yang ada pada madu berupa mineral seperti magnesium, kalsium, natrium, besi, aluminium, fosfor dan kalium. Sedangkan vitamin yang terkandung di dalam madu berupa riboflavin (B2), thiamin (B), niasin, piridoksin (B6), asamfolat, asam askorbat (C), asam pantotenat, biotin serta vitamin K (Suranto, 2004). Komposisi kimia dari madu hutan per 100 gram disajikan dalam Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Komposisi Kimia Madu Hutan per 100 gram (Sumber: Suranto, 2008)

No	Komposisi	Jumlah
1	Kalori	328 kal
2	Kadar air	17,2 g
3	Protein	0,5 g
4	Karbohidrat	82,4 g
5	Abu	0,2 g
6	Tembaga	4,4-9,2 mg
7	Fosfor	1,9-6,3 mg
8	Besi	0,06-1,5 mg
9	Mangan	0,02-0,4 mg
10	Magnesium	1,2-3,5 mg
11	Thiamin	0,1 mg
12	Riboflavin	0,02 mg
13	Protein	0,5 g
14	Niasin	0,20 mg
15	Lemak	0,1 g
16	pH	3,9
17	Asam total	43,1 mg

Karbohidrat merupakan komposisi terbanyak yang ada pada madu yaitu sekitar 70% - 80% berupa glukosa dan fruktosa yang dapat dijadikan sebagai bahan aktif dalam perawatan kulit, hal ini lah yang membuat madu banyak dijadikan bahan kosmetik (*Honey in Dermatology and Skin Care: A Review*, 2013) serta kandungan air yang ada pada madu sekitar 10% - 20% (Baroni *et al.*, 2015). Kandungan asam organik yang ada pada madu sangat berpengaruh pada rasa yang akan dikeluarkan dari berbagai jenis madu. Kandungan protein dapat mengatasi rendahnya kadar albumin dalam darah dan globulin yang berperan untuk sirkulasi ion, hormon dan asam lemak (Pita-Calvo *et al.*, 2017). Selain itu, madu juga banyak mengandung 150 kelompok zat polifenol yang didalamnya terdapat senyawa flavonoid, asam fenolik, turunan asam sinamat dan katekin (Ferreira *et al.*, 2009). Menurut (Robbins & Bean, 2004) adanya senyawa-senyawa tersebut dapat mengaktifkan zat antibakteri dan antivirus.

Di Indonesia, banyak ditemukan madu yang mengandung senyawa fitokimia (*phytochemical*) yang bersifat anti-oksidan, anti-inflamasi, anti-bakteri dan dapat memperbaiki metabolisme dalam tubuh sehingga dapat meningkatkan imun tubuh dan mencegah berbagai penyakit (Gheldof & Engeseth, 2002; Piljac-Zegarac *et al.*, 2009). Berdasarkan laporan Universitas Nasional tentang karakteristik kimia madu dari lebah tidak bersengat (*stingless bees*) menggunakan uji fitokimia diperoleh data seperti pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Uji Fitokimia Madu Lebah Tidak Bersengat (Sumber: Widowati, 2021)

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Keterangan
Alkaloid	-	Tidak Ada
Saponin	+	Ada
Tanin	-	Tidak Ada
Fenolik	+	Ada
Flavonoid	+	Ada
Triterpenoid	+	Ada
Steroid	-	Tidak Ada
Glikosida	+	Ada

2.1.3. Jenis Madu

Jenis madu biasa dikenal sesuai dengan sumber nektar tanaman yang dihisap oleh lebah pekerja. Seperti lebah yang hidup di sekitar kebun pohon akasia maka nektarnya akan berasal dari pohon akasia dan madu yang dihasilkan akan dinamai madu akasia. Hal tersebut yang membuat banyak jenis madu yang ada di pasaran seperti madu karet yang berasal dari pohon karet, madu mangga, madu meranti, dan lain-lain (Suranto, 2004).

Selain dari jenis nektar tanaman yang dihisap lebah madu, jenis madu juga dapat dibedakan berdasarkan jenis dan jumlah tanaman yang diambil nektarnya. Jika nektar yang diambil oleh lebah pekerja hanya satu jenis tanaman atau ada satu tanaman yang dominan maka jenis madu tersebut digolongkan jenis madu uniflora atau madu monoflora. Contoh dari madu uniflora yang beredar dipasaran yaitu madu akasia yang hanya berasal dari pohon akasia, madu durian yang hanya berasal dari pohon durian. Sedangkan jika nektarnya diambil dari tanaman yang beragam atau lebih dari satu tanaman maka madu tersebut digolongkan madu multiflora atau poliflora. Contoh dari madu multiflora yang beredar di pasaran seperti madu hutan yang berasal dari pohon-pohon yang hidupnya berada disekitar lebah. Ada juga madu biflora yaitu madu yang nektarnya berasal dari dua jenis tanaman, namun hanya ada di beberapa daerah saja. Lebah cenderung menghisap nektar dari satu jenis tanaman, jika lebah menghisap lebih dari satu jenis tanaman, hal tersebut dikarenakan nektar yang diambil dari tanaman sebelumnya tidak mencukupi untuk menjadi pakan ratu dan koloni lebah (Suranto, 2004).

Madu dapat juga dibedakan berdasarkan bagian tanaman yang menghasilkan nektar yaitu madu flora, madu embun (*honey dew*) dan madu ekstra flora. Pada madu flora dihasilkan dari nektar flora yaitu dari bagian bunga pada tanaman contohnya madu mangga, madu alpukat, dan lain-lain. Pada madu ekstra flora maka madu dihasilkan dari nektar ekstra flora yaitu berasal dari bagian tanaman selain bunga seperti kuncup daun, ujung batang, kelopak bunga, contohnya madu akasia, madu karet, dan lain-lain. Pada madu embun (*honey dew*) maka madu tersebut dari cairan yang terlihat seperti madu hasil dari sekresi serangga tertentu,

biasanya terdapat pada kelopak bunga dan getah pada pohon contohnya getah yang ada di pohon pinus (Suranto, 2004).

Madu dapat juga dibedakan berdasarkan jenis lebah yaitu jenis lebah bersengat dan lebah tidak bersengat. Jenis lebah bersengat cenderung memiliki harga jual yang lebih murah karena jenis lebah ini cenderung lebih banyak menghasilkan madu daripada jenis lebah tidak bersengat dengan harga lebih tinggi karena menghasilkan madu lebih sedikit yang membuat madu dari lebah tidak bersengat tergolong sedikit dipasaran. Selain ketersediaan madu yang sedikit, lebah tidak bersengat juga memiliki lebih banyak kandungan propolis yang baik untuk tubuh (Pribadi, 2020).

2.2. Lebah Madu

Lebah madu merupakan serangga yang hidup berkelompok, serangga ini termasuk ordo *Hymenoptera* yang mempunyai arti “sayap bening atau bersayap selaput”. Seperti namanya, lebah madu ini dapat memproduksi madu. Badan pada serangga ini beruas-ruas dan saling berhubungan yang disebut segmen. Anatomi tubuh lebah terbagi menjadi tiga yaitu bagian kepala, bagian leher, dan bagian perut. Pada bagian kepala terdapat alat mulut. Bagian lehernya terdapat dua pasang sayap dan kakinya (Hadiwiyoto, 1980).

Lebah madu hidup dalam koloni besar seperti semut, rayap, dan lain-lain. Dalam satu sarang lebah dapat mencapai 60.000–70.000 lebah. Pada satu koloni lebah di dalamnya masing-masing mempunyai pekerjaan untuk menghasilkan madu. Sebuah koloni terdiri dari seekor lebah ratu yang mempunyai tugas untuk memimpin dan menjaga keutuhan koloninya. Ratu lebah juga diharuskan bertelur sepanjang hidupnya untuk meneruskan keberlangsungan hidup dalam satu koloni. Ratu lebah mempunyai ciri fisik seperti ukuran tubuh yang besar jika dibandingkan dengan lebah pekerja yaitu satu setengah kali lebih panjang, tubuh ratu lebah juga memiliki warna yang lebih gelap dari lebah lainnya dalam satu koloni (Mazaya, 2019).

Selain ratu, terdapat juga pembagian tugas yaitu lebah jantan yang bertugas untuk mengawini ratu lebah dan menjaga keamanan koloninya, dengan ciri fisik memiliki tubuh yang lebih kecil dari ratu lebah namun lebih besar dari lebah pekerja dan mata yang besar, selain lebah jantan ada juga lebah pekerja yang merupakan lebah yang paling banyak dalam satu koloni dan mempunyai tugas untuk melayani semua kebutuhan ratu, namun sesuai dengan umur lebah pekerja tersebut, pada usia sekitar tiga minggu maka tugas lebah pekerja adalah mencari nektar pada tumbuhan yang akan diolah oleh ratu. Lebah pekerja mempunyai ciri fisik yang lebih kecil dibandingkan dengan fisik ratu lebah dan lebah jantan dengan bentuk tubuh yang ramping dan memiliki warna hitam kecokelatan (Mazaya, 2019). Dalam satu sarang lebah ada madu yang potensial untuk dikembangkan karena produksi madu banyak, namun ada juga koloni lebah yang memproduksi sedikit madu (Pramuka, 1988).

Lebah madu memerlukan makanan untuk kebutuhan energi sebagaimana makhluk hidup lainnya. Lebah madu baik ratu lebah, lebah jantan dan lebah pekerja memerlukan berbagai zat yang ada dalam nektar untuk pertumbuhan, perkembangan, reproduksi dan produksinya. Porsi atau besarnya makanan yang dibutuhkan dalam seekor lebah bergantung pada fase pertumbuhannya. Pakan sangat berpengaruh terhadap kelangsungan hidup juga produksi madu yang dihasilkan lebah dalam sebuah koloni (Warisno, 1996).

2.2.1. Jenis Lebah Madu

Serangga ini terdapat di hampir seluruh dunia dengan tiga genus yang dimiliki yaitu (*Apis*, *Trigona*, *Melipona*) dan spesiesnya yang sangat banyak, namun yang dikenal secara umum hanya lima spesies yaitu *Apis dorsata*, *Apis indica*, *Apis mellifera*, *Apis florea*, dan *Trigona spp.* (Sarwono, 2001). Lebah madu memiliki berbagai macam jenis yang dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu lebah madu yang memiliki sengat dan lebah madu yang tidak memiliki sengat. Kedua jenis lebah ini memiliki ciri serta keunggulannya masing-masing, yaitu sebagai berikut:

a. Lebah dengan Sengat

Genus dari lebah bersengat umumnya adalah *Apis*, dengan beberapa spesies yang dimiliki yaitu *Apis mellifera*, *Apis dorsata*, *Apis florea*, *Apis cerana*, *Apis koschevnikovi*, *Apis andeniformis*, *Apis nuluensis*, dan *Apis nigrocincta*. Namun pada umumnya di Indonesia hanya mengembangbiakkan tiga jenis yaitu lebah *A. mellifera*, *A. dorsata*, dan *A. cerana* (Lamerkabel, 2011). Berikut penjelasan ketiga spesies yang banyak dikembangkan di Indonesia:

1. *Apis mellifera*

Serangga ini berasal dari Italia dengan sifat yang tidak ganas. Lebah *Apis mellifera* masuk Indonesia tahun 1841. Lebah ini banyak tinggal di cerobong asap dan pohon yang berlubang. Namun banyak para petani sekarang memanfaatkan stupa untuk mengembangbiakkannya karena lebih mudah dalam merawat dan memanennya. Badan hewan ini berbulu dengan ukuran tubuh seperti tawon dan dominan berwarna hitam. *Apis mellifera* umumnya dalam satu koloni berjumlah 30.000 ekor. Madu yang dapat diproduksi mencapai 20-60 kg madu per koloni dengan produksi madu yang tergolong tinggi maka madu dari lebah *A. mellifera* menjadi salah satu lebah yang paling banyak dikembangkan para petani (Kahono & Erniwati, 2014).

2. *Apis dorsata*

A. dorsata berasal dari Asia Selatan dan Asia Tenggara yang banyak ditemukan di Indonesia, China, Filipina, Nepal dan Malaysia. Di Indonesia, lebah ini hanya ditemukan di Pulau Sumatera, Irian Jaya, Kalimantan, Maluku, Sulawesi, Nusa Tenggara Barat dan Nusa Tenggara Timur. Sarang dari hewan ini memiliki sisiran sarang hanya selebar yang bergantung di cabang-cabang pohon besar dan tebing batuan karena habitatnya yang seperti itu maka cara mengambil madu dari lebah ini dengan langsung diambil dari hutan. *Apis dorsata* terkenal dengan sifat agresifnya yang dengan mudah menyengat atau menyerang manusia atau predator yang ingin mengambil madunya. Lebah ini mampu menghasilkan madu sebanyak 50–70 kg madu per koloni (Kahono & Erniwati, 2014).

3. *Apis cerana*

Apis cerana berasal dari Asia yang tersebar dari Afganistan, Jepang, China dan Indonesia. Hewan ini dapat menyengat manusia namun tidak terlalu agresif seperti *A. dorsata*. Budidaya dari lebah ini dapat dengan cara tradisional dan modern. Cara tradisional dibudidayakan di dalam glodok yang kemudian dipindahkan ke dalam stup jika telah penuh. Sedangkan cara modern mengembangbiakkan lebah ini dengan memasukkan langsung ke dalam kotak (stup) yang langsung dapat dikembangbiakkan tanpa dipancing menggunakan glodok terlebih dahulu. Lebah ini mampu menghasilkan madu sebanyak 2–5 kg per koloni (Kahono & Erniwati, 2014).

b. Lebah Tanpa Sengat (*Stingless bees*)

Lebah tanpa sengat ini memiliki nama yang berbeda-beda di setiap daerah seperti kelulut, galo-galo, teuweul, klanceng, emuk dan lain-lain. Lebah tanpa sengat yang sudah ditemukan memiliki 600 jenis di seluruh dunia. Persebaran lebah tanpa sengat ini terbagi menjadi tiga wilayah, yaitu Afrotropical, Neotropical, dan Indo-Malay/ Australasian. Terdapat 46 jenis di Indonesia dengan 10 genus dan 23 jenis tersebut berada di wilayah Sumatra. Lebah tanpa sengat memiliki zat perekat sebagai ciri khasnya nya yang digunakan sebagai senjata untuk mempertahankan koloninya (Priawandiputra *et al.*, 2018). Berikut beberapa jenis lebah tanpa sengat yang ditemukan di empat wilayah Indonesia seperti dalam Tabel 3:

Tabel 3. Jenis Lebah Tanpa Sengat yang Berada di 4 Wilayah Indonesia (Sumber: Priawandiputra *et al.*, 2018).

No	Jenis Lebah Tanpa Sengat	Jawa	Sumatra	Lubuk Bintialo	Pangkalan Bulian
1.	<i>Pariotrigona pendleburyi</i>	-	+	-	-
2.	<i>Lisotrigona scintillans</i>	-	+	-	-
3.	<i>Lepidotrigona nitidiventris</i>	+	+	-	-
4.	<i>Lepidotrigona trochanterica</i>	-	+	-	-
5.	<i>Lepidotrigona terminata</i>	-	+	+	+
6.	<i>Lepidotrigona ventralis</i>	-	+	-	-
7.	<i>Homotrigona fimbriata</i>	-	+	-	-
8.	<i>Heterotrigona itama</i>	+	+	+	+
9.	<i>Lophotrigona canifrons</i>	-	+	+	+
10.	<i>Geniotrigona thoracica</i>	-	+	+	-
11.	<i>Tetrigona apicalis</i>	+	+	+	+
12.	<i>Trigonella moorei</i>	-	+	-	-
13.	<i>Trigonella lieftincki</i>	-	+	-	-
14.	<i>Tetragonula atripes</i>	-	+	-	-
15.	<i>Tetragonula colina</i>	-	+	+	-
16.	<i>Tetragonula fuscibasis</i>	-	+	-	-
17.	<i>Tetragonula reepeni</i>	-	+	-	-
18.	<i>Tetragonula fuscobalteata</i>	+	+	+	+
19.	<i>Tetragonula melina</i>	-	+	-	-
20.	<i>Tetragonula drescheri</i>	+	+	-	-
21.	<i>Tetragonula minangkabau</i>	-	+	-	-
22.	<i>Tetragonula minangkabau f. Darek</i>	-	+	-	-
23.	<i>Tetragonula laeviceps</i>	+	+	+	+
Total (spesies)		6	23	8	6

Di Indonesia umumnya mengembangkan lebah tanpa sengat dari genus *Trigona spp*, *Geniotrigona thoracica*, *Heterotrigona itama*. Spesies ini sangat cocok dibudidayakan di Indonesia karena bergantung pada keadaan hutan yang ditinggali (Priawandiputra *et al.*, 2020), berikut penjelasan dari spesies lebah tidak bersengat yang banyak dikembangkan di Indonesia:

1. *Trigona spp*

Lebah *Trigona spp* dikenal dengan nama klanceng di pulau Jawa. Tubuh dari lebah ini cenderung kecil dibandingkan dengan jenis lebah lainnya serta sifat yang relatif jinak. Lebah *Trigona spp* rata-rata menghasilkan madu sekitar 1-3 kg dan dapat memproduksi propolis sebanyak 2 kg per tahun dalam 1 koloni (Balai Kesatuan Pengelolaan Hutan, 2019).

2. *Geniotrigona thoracica*

Lebah *Geniotrigona thoracica* memiliki ukuran tubuh yang lebih besar dibandingkan dengan jenis lebah tanpa sengat lain yaitu berukuran 7,58 mm dengan warna tubuh yang dominan hitam kecoklatan dan bagian thorax yang berwarna coklat (Sanjaya *et al.*, 2019). Lebah ini dikenal dengan nama kelulut kijang dan ditemukan di Pulau Sumatera (Priawandiputra *et al.*, 2020).

3. *Heterotrigona itama*

Lebah *Heterotrigona itama* dikenal dengan nama kelulut beruang yang ditemukan di Pulau Sumatra dan Jawa. Lebah ini termasuk lebah yang mudah berkembang biak di berbagai media bersarang karena sifatnya yang mudah beradaptasi. Ukuran lebah *H. itama* berukuran 5,17 mm dengan warna yang dominan hitam kecoklatan (Priawandiputra *et al.*, 2020).

2.2.2. Sumber Pakan Lebah Madu

Sumber pakan yang dikonsumsi oleh lebah madu untuk menghasilkan madu berasal dari berbagai jenis tanaman, baik tanaman buah-buahan, sayuran, tanaman industri juga tanaman yang ada di hutan liar. Bunga merupakan bagian yang ada di tanaman, bunga tersebut mengeluarkan nektar dan polen untuk dikonsumsi dan diproses oleh lebah pekerja menjadi cairan manis yang memiliki banyak manfaat untuk manusia. Cairan manis tersebut disebut dengan madu. Nektar dan polen yang dikonsumsi oleh lebah merupakan faktor yang berpengaruh pada produk madu yang dihasilkan (Rusfidra, 2006).

Dalam upaya mengembangbiakkan lebah untuk menghasilkan produk madu, maka sangat penting untuk menentukan lokasi atau tempat yang akan digunakan sebagai

sarang lebah, seperti lokasi tersebut harus dekat dengan tanaman atau pohon yang menghasilkan banyak sumber nektar, tepung sari dan air. Serta akan lebih baik jika tanaman yang ada disekitar tempat hidup lebah memiliki lebih dari satu pohon atau tanaman yang menjadi sumber pakan karena jika pohon yang berada disekitar hidup lebah tidak mencukupi untuk kebutuhan pakannya seperti lebih banyak koloni lebah yang ada di lingkungan dan tidak sebanding dengan cairan nektar yang berada disekitar maka lebah akan sedikit memproduksi madu bahkan dapat berpindah tempat. Contoh tanaman yang dapat menghasilkan sumber makanan untuk lebah, seperti pohon kamboja, karet, kedondong, anggur, apel, mangga, pisang, jagung, akasia, kopi dan lain-lain (Warisno, 1996).

Menurut Sarwono 2001, Lebah madu mengkonsumsi tiga jenis pakan yang berasal dari tanaman yaitu:

1. Nektar

Nektar juga biasa disebut dengan sari bunga merupakan zat yang berwujud cairan dengan rasa manis, cairan ini mengandung gula sekitar 20-40% yang diproduksi oleh bunga untuk menarik perhatian serangga untuk membantu penyerbukan seperti lebah dan kupu-kupu. Serangga tersebut menghisap nektar untuk diproses menjadi madu, dengan cara nektar yang telah dihisap kemudian dikonsentrasikan lagi hingga mencapai 83% bahan padat dan ditambahkan enzim invertase yang dapat membagi sukrosa menjadi gula yaitu glukosa dan fruktosa (Wibowo *et al.*, 2016). Selain menguntungkan bagi lebah, hal ini juga memberikan dampak positif terhadap bunga karena membantu bunga untuk penyerbukan dengan cara mengangkut serbuk sari yang ada pada bunga jantan ke bunga betina.

Nektar yang telah diproses oleh lebah, akan menghasilkan madu yang akan disimpan dalam sel-sel sarang kemudian madu akan terekstraksi air, pembentukan monosakarida serta pengayaan dengan campuran aromatik. Kemudian lebah akan menutup sel selama tiga sampai tujuh hari untuk mematangkan madu (Adji, 2007).

Nektar yang dihisap oleh lebah memiliki dua golongan yaitu:

a. Nektar Flora

Nektar flora merupakan pakan lebah dari sari bunga yang berasal dari bagian bunga baik dari dalam bunga maupun dekat bunga tanaman sebuah tanaman contohnya madu mangga, madu alpukat, dan lain-lain (Graham *et al.*, 2003).

b. Nektar Ekstra Flora

Pada madu ekstra flora cairan manis yang dihisap oleh lebah dari bagian tanaman selain bunga seperti kuncup daun, kelopak bunga, ujung batang, contohnya madu akasia, madu karet dan lain-lain (Graham *et al.*, 2003).

2. Polen

Polen atau biasa disebut serbuk sari atau tepung sari merupakan serbuk halus yang terdapat di bunga jantan. Serbuk halus ini berbentuk partikel mikroskopis yang berguna untuk menghasilkan benih bagi bunga betina. Serbuk sari ini dihasilkan oleh kepala sari (anther) yaitu organ reproduksi bunga jantan yang ditemukan di sebagian besar tanaman yang memiliki bunga. Jika nektar atau sari bunga banyak mengandung karbohidrat, berbeda dengan serbuk sari (polen) ini banyak mengandung sumber vitamin, protein, dan mineral yang dikonsumsi oleh lebah yang masih larva untuk pertumbuhan dan perkembangannya. Polen yang telah dikumpulkan akan dijadikan butiran kemudian ditambahkan ke nektar atau madu yang dihasilkan (Agussalim *et al.*, 2016).

3. Resin

Resin merupakan getah yang dikeluarkan beberapa tumbuhan. Getah ini umumnya membeku dengan warna yang bening. Resin kemudian dikumpulkan lebah *Trigona spp* untuk menghasilkan propolis yang bukan hanya bermanfaat terhadap lebah tetapi bermanfaat juga untuk manusia. Propolis yang dikumpulkan oleh lebah ini dijadikan sebagai pembentuk sarang dan berlindung dari bakteri serta tempat ratu menyimpan telur (Agussalim *et al.*, 2016). Propolis ini yang kemudian dipanen oleh manusia yang digunakan sebagai obat (Wiratmoko, 2018).

Semua Lebah *Trigona spp* membutuhkan getah resin karena lebah jenis ini tidak memiliki sengat seperti yang ada pada lebah jenis *Apis*. Tidak adanya sengat pada

lebah *Trigona* membuat lebah jenis ini tergolong lemah terlebih lebah jenis ini mempunyai fisik yang kecil, hal itu membuat lebah ini cenderung bertahan dalam menghadapi musuhnya seperti predatornya atau lebah lainnya. Dengan adanya getah resin ini membuat pertahanan sarang lebah *Trigona* lebih kuat menghadapi serangan predator. Sifat getah resin yang lengket membuat predator atau musuh yang akan masuk atau menyerang sarang *Trigona* tidak dapat masuk kedalam sarang (Achyani & w, 2019).

Getah resin ini didapatkan oleh lebah *Trigona* dari berbagai macam pohon. Setiap pohon yang menghasilkan getah resin memiliki ciri khas yang membuat warna, bau dan komposisi propolis yang dihasilkan akan berbeda. Tanaman yang beraroma cenderung lebih baik dalam menghasilkan getah resin seperti yang telah dimanfaatkan dalam bidang kesehatan dan industri kecantikan. Namun kualitas dan efektivitas propolis yang dihasilkan bergantung dari jenis getah resin yang digunakan. Contoh resin yang bermanfaat dalam bidang kesehatan yaitu Rasamala dan Kemenyan. Getah resin keluar jika bagian pohon mengalami luka/patah/rusak. Tanaman yang menghasilkan getah resin yaitu pohon manggis, kenari dan nangka (Achyani & w, 2019).

Propolis yang dihasilkan dari tanaman beraroma biasanya menimbulkan aroma yang harum seperti getah resin yang dihasilkan dari pohon pinus yang dapat digunakan sebagai balsam atau obat luka, selain itu ada juga pohon Trenggulun dan Damar. Namun tidak semua getah resin dapat dijadikan bahan baku pembuatan sarang oleh lebah *Trigona*, seperti pohon kemang dan glutta. Hal ini disebabkan karena sumber getah resin yang dihasilkan pohon tersebut membuat lebah *Trigona spp* terkena alergi (Achyani & w, 2019).

Selain jenis tanaman yang diperoleh untuk pengambilan getah resin, jenis lebah juga sangat berpengaruh terhadap intensitas dan kualitas produk propolis yang dihasilkan. Hanya jenis *Tetrigona apicalis*, *Trigona leviceps* dan *Geniotrigona thoracica* yang suka mengumpulkan getah resin. Sedangkan jenis *Heterotrigona itama* dan *Trigona terminata* hanya memproduksi lilin. Namun tidak semua getah resin bisa menjadi bahan baku *Trigona spp* dalam membuat sarang. Getah resin

dari keluarga *Anacardiaceae* seperti Kemang dan Glutta alias Rengas/Ingas/Ringas akan membuat *Trigona spp* alergi. Sumber getah resin yang harus dihindari adalah *Ipoh Antiaris Toxicaria* dan *Bintaro* (Achyani & w, 2019).



Gambar 1. Sarang lebah *Trigona spp* (Lebah tanpa sengat) terdapat propolis (Sumber:ensiklo,2020).



Gambar 2. Sarang lebah *Apis* (Lebah bersengat) (Sumber:IDN *TIMES*,2020).

Berdasarkan hasil pengamatan lapangan Balai Litbang Teknologi Serat Tanaman Hutan Tahun 2017 diperoleh data seperti pada Tabel 4 berikut:

Tabel 4. Beberapa Jenis Tanaman yang Menghasilkan Nektar, Polen Dan Resin (Sumber: (Wiratmoko, 2018)).

No	Jenis	Nektar	Polen	Resin
1	Meranti	+	-	+
2	Mahang	+	-	-
3	Kopi	+	+	-
4	Pulai	+	+	-
5	Geronggang	+	+	-
6	Keruing	+	-	+
7	Jelutung	+	-	+
8	Karet	+	-	+
9	Durian	+	-	-
10	Jambu Air	+	+	+
11	Jambu Biji	+	+	+
12	Mangga	+	-	+
13	<i>Acacia mangium</i>	+	-	-
14	<i>Acacia crassicarpa</i>	+	-	-
15	Aren	-	+	-
16	Kelapa	+	+	-
17	Kelapa Sawit	-	+	-
18	Temon	+	-	-
19	Senduduk	+	+	-
20	Rumput Israel	+	+	-
21	Putri Malu	-	+	-
22	Rumput Teki	-	+	-
23	Rumput Kerisan	-	+	-
24	<i>Clidemia sp</i>	+	+	-

Keterangan:

(+): Tanaman menghasilkan (nektar/polen/resin)

(-) : Tanaman tidak menghasilkan (nektar/polen/resin)

2.3. UV-Vis Spectroscopy

UV-Vis spectroscopy atau biasa disebut Spektrofotometer UV-Vis diambil dari dua kata yaitu Spektrofotometer dan *UV-visibel*. Spektrofotometer bermakna dua alat yaitu spektrometer dan fotometer. Pada kata spektrometer memiliki arti yakni sebuah piranti yang dapat menghasilkan sinar spektrum dengan panjang gelombang tertentu, sedangkan kata fotometer memiliki arti piranti atau suatu perangkat yang dapat digunakan cahaya saat melewati sebuah sampel yang akan dijadikan objek penelitian. Pada kata UV-Vis memiliki arti *Visible* (sinar tampak) yang merupakan hasil dari spektrofotometer berupa spektrum radiasi (Basset *et al.*, 1994).

Dari kata tersebut maka Spektrofotometer *Visibel* merupakan salah satu metode dalam menganalisis yang didasarkan pada absorpsi cahaya panjang gelombang seperti menentukan konsentrasi panjang gelombang serapan maksimum (λ_{maks}) dan nilai absorbans sinar melalui pengukuran intensitas sampel larutan yang konsentrasinya telah ditentukan yang dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi, panjang gelombang serapan maksimum (λ_{maks}) dan nilai absorbans atau transmitans sinar pada pengukuran intensitas sampel larutan. Prinsip kerja pada alat spektrofotometer ini disebut spektrofotometri (Gholib, 2007).

Spektrofotometer UV-Vis ini dapat menganalisis unsur dengan kadar rendah, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Pada penetapan nilai secara kuantitatif didapatkan hasil berdasarkan nilai absorbans dari spektrum senyawa kompleks dari objek yang akan diteliti. Analisa kuantitatif dengan metode spektrofotometri UV-Vis ini terbagi menjadi tiga macam langkah kerja yaitu: analisa multi komponen, analisa dua komponen serta analisa kuantitatif zat tunggal. Pada analisa kuantitatif komponen menganalisis campuran dari tiga zat atau lebih sedangkan analisa dua komponen menganalisis campuran dua macam zat, analisa kuantitatif zat tunggal menganalisis satu jenis zat (Fatoni, 2015).

Sedangkan pada penetapan nilai secara kualitatif berdasarkan puncak yang dihasilkan oleh spektrum objek yang dianalisa dengan panjang gelombang

tertentu. Namun penetapan nilai secara kualitatif hanya bisa dipakai untuk data sekunder. Analisa kualitatif pada metode spektrofotometri UV-Vis ini dapat menentukan dua penetapan yaitu penentuan panjang gelombang maksimum serta dapat juga memeriksa kemurnian spektrum UV-Vis. Warna yang dihasilkan dari alat spektrofotometer UV-Vis ini ditetapkan dengan cara menambah bahan-bahan tertentu sebagai bahan pengkomplikasi yang selektif terhadap unsur yang telah ditentukan (Noviarty & Angraini, 2013).

Spektrofotometer memiliki beberapa perlengkapan di dalamnya seperti lampu yang digunakan sebagai sumber cahaya. Lampu yang digunakan pada spektrofotometer memiliki *filament Deutrium, Tungsten* dan *Wolfram*. Selain lampu, spektrofotometer juga dilengkapi dengan kolimator, kuvet, prisma serta blangko. Pada kolimator berperan sebagai pemotong sinar yang menyebar kolimator untuk memotong sinar yang menyebar dalam spektrofotometer, kuvet digunakan sebagai wadah sampel atau objek yang akan diteliti, prisma berfungsi untuk memilah spektrum cahaya namun dapat juga menggunakan grating atau kisi serta blanko yang berfungsi sebagai pembanding dan pendeteksi cahaya untuk menangkap cahaya yang diteruskan (ditransmisikan) dari objek yang diteliti (Khopkar, 1990).

Cara kerja dari alat yang ada pada spektrofotometer ini yaitu saat prisma atau *grafting* menyeleksi cahaya yang dilewatkan pada sampel atau blangko selanjutnya akan diterima oleh fotometer berupa intensitas cahaya. Perbandingan intensitas cahaya tersebut disebut transmansi cahaya yang berlaku pada hukum *Lambert-Beer*. Hukum *Lambert-Beer* ini mengemukakan tentang serapan sinar atau energi radiasi yang dihasilkan dari unsur kimia secara kuantitatif (dapat terukur). Suatu berkas cahaya putih (sinar polikromatis) dilewatkan pada suatu objek maka akan terjadi refleksi, absorpsi atau transmisi dari objek atau sampel yang akan dianalisis. Jika radiasi elektromagnetik terkena suatu larutan dengan intensitas radiasi awal maka akan diteruskan, dipantulkan, dan diserap (Mulja, 1995).

Perbedaan warna yang dihasilkan dari alat spektrofotometer UV-Vis ini ditentukan oleh absorbans panjang gelombang atau ukuran kuantitatif sebagai rasio logaritmik antara radiasi yang jatuh ke suatu bahan yang kemudian ditransmisikan (diteruskan) oleh objek atau suatu larutan. Spektrofotometer digunakan untuk mengukur jumlah cahaya yang diabsorpsi atau ditransmisi oleh molekul-molekul di dalam larutan, ketika suatu panjang gelombang cahaya ditransmisikan melalui larutan, sebagian energi cahaya tersebut akan diserap (diabsorpsi). Besarnya kemampuan molekul-molekul zat terlarut untuk mengabsorpsi cahaya pada panjang gelombang tertentu dikenal dengan istilah absorbans (A), yang setara dengan nilai konsentrasi larutan tersebut dan panjang berkas cahaya yang dilalui (biasanya 1 cm dalam spektrofotometer) ke poin jumlah cahaya yang ditransmisikan atau diabsorpsi diukur dengan *phototube* (Sirait, 2009).

2.4. Metode Kemometrika

Kemometrika merupakan suatu pengaplikasian dari prosedur matematika yang biasa digunakan untuk mengevaluasi dan memproses suatu data dalam jumlah yang banyak serta dapat menginterpretasikan data tersebut. Kemometrika ini mampu mendapatkan nilai statistik dari nilai yang dihasilkan dari alat *UV-Vis spectroscopy* atau data spektrum dan informasi yang telah diperoleh sebelumnya. Metode yang baik untuk menganalisis data dari pengukuran kimia yang dengan singkat dapat membuat model matematis sehingga menghasilkan nilai yang dapat diukur atau diprediksi salah satunya menggunakan pengujian statistik multivariat (Varmuza & Filzmoser, 2016).

Dengan kata lain, metode kemometrika ini merupakan suatu ilmu yang mengimplikasikan teknik multivariat, statistik, pemodelan matematika dan informasi teknologi serta dapat diterapkan pada data kimia. Penggunaan metode kemometrika membuat kualitas data yang dihasilkan akan lebih baik walaupun tujuan digunakannya metode ini awalnya hanya sebagai pengolah data spektra namun penggunaan metode ini tidak dipungkiri dapat mengolah sejumlah informasi dari konsentrasi komponen sampel dengan singkat (Rohman, 2014).

Metode kemometrika ini diolah menggunakan *software* atau perangkat lunak *the Unscrambler* yang dapat digunakan untuk mengklasifikasi, mengkalibrasi dan menginterpretasikan data dengan cara menganalisis data multivariat sekaligus membentuk model eksperimen. Dalam mengkalibrasi multivariat dapat menggunakan *Partial Least Square* (PLS), *Principal Component Regression* (PCR) sedangkan dalam mengklasifikasikan dapat menggunakan *Soft Independent Modelling of Class Analogy* (SIMCA), *Linear Discriminant Analysis* (LDA), *Support Vector Machines* (SVM) dan untuk menginterpretasikan data dapat dengan metode *Principal Component Analysis* (PCA) (Balabin *et al.*, 2010).

Perangkat lunak ini secara fitur lebih mengutamakan untuk menangani data spektrum yang dihasilkan dari instrument seperti *laser spectroscopy*, *near infrared reflectance spectroscopy* (NIRS), *Fourier transform NIRS*, *magnetic stirrer CiblancTM* dengan tegangan 220–240 Volt, dan instrument *spectroscopy* lainnya. *Software* ini mampu mengklasifikasikan sampel yang tidak diketahui dalam beberapa kategori yang bertujuan mendapatkan sampel baru dengan model yang setaraf dengan kategori sampel yang digunakan saat pembuatan model (Citasari, 2015).

2.4.1. *Principal Component Analysis* (PCA)

Principal component analysis (PCA) merupakan teknik penyederhanaan data dengan jumlah peubah yang dikurangi dalam matriks data. Teknik penyederhanaan PCA ini dengan mentransformasi linier yang akan menghasilkan sistem koordinat yang baru dengan variasi jumlah perubahan yang terbesar. Tujuan PCA ini mempersempit dimensi suatu data tanpa mengubah atau mengurangi karakteristik data secara signifikan namun tetap menyimpan informasi awal yang sudah ada dalam matriks yang akan memudahkan dalam menginterpretasikan data-data tersebut (Miller & Miller, 2000).

PCA dapat menerapkan sampel dengan membuat kelompok yang umum, melakukan pemodelan dari suatu data, mengetahui perbedaan nilai yang signifikan atau pencilan dan memilah peubah untuk diklasifikasikan dan

melakukan pemodelan bagian pokok yang telah dipilih sehingga variasi terbesar akan dimiliki oleh komponen utama dalam suatu data sedangkan komponen utama yang kedua akan tegak lurus terhadap komponen pertama dengan variasi terbesar. Dua bagian tersebut berfungsi untuk proyeksi utama dalam pelacakan visual data multivariat (Miller & Miller, 2000).

Prinsip PCA sendiri yaitu mencari bagian pokok atau utama yang berasal dari kombinasi linier dari peubah asli (Miller & Miller, 2000). PCA dapat mengetahui faktor apa yang menyebabkan perbedaan antar sampel dan menentukan variabel yang memiliki peran atau kontribusi besar terhadap perbedaan sampel serta PCA mampu mengkuantifikasi sejumlah informasi yang berguna dan yang tidak sesuai (*noise*) untuk dikeluarkan dalam data (Suhandy & Yulia, 2019). Metode yang digunakan dalam PCA ini dengan mengubah beberapa bagian dominan variabel asli yang saling terhubung menjadi variabel baru yang lebih kecil dan tidak saling berhubungan dalam satu himpunan (Ardiansyah, 2013).

Hasil PCA merupakan komponen model PCA yang memiliki tiga atribut yang sudah sesuai yaitu:

1. Nilai Varian

Nilai varian adalah nilai yang menyatakan tingkat eror atau kesalahan dalam mengolah data serta memberikan data informasi berapa banyak yang diperhitungkan oleh komponen model secara berurutan.

2. *Loadings*

Loadings merupakan skala yang memberikan gambaran struktur data dengan bentuk variabel yang saling berhubungan dan setiap variabel memiliki nilai *loadings* pada setiap PC nya. Nilai *loadings* ini menggambarkan kadar kontribusi atau peran variabel terhadap PC serta memperhitungkan seberapa baik kinerja dari PC saat memperhitungkan varian dari variabel tersebut. Oleh karena itu, dapat dikatakan semakin kecil hubungan variabel dan PC maka berbanding terbalik dengan nilai *loadings* nya dengan kata lain nilai *loadings* akan semakin besar. Nilai *loadings* bervariasi dari -1 sampai +1.

3. Nilai Skor

Nilai skor merupakan nilai yang menunjukkan perbedaan ataupun kesamaan antar sampel. Masing-masing PC memiliki nilai skor setiap sampel yang mengkoordinatkan lokasi sampel disepanjang PC tersebut. Dengan kata lain, nilai skor merupakan gambaran struktur data dari pola sampel.

Hubungan antara nilai skor PCA dan *loadings* yaitu nilai dari *loadings* merupakan nilai yang menunjukkan bagaimana data bergerak disepanjang komponen (PC) kemudian interpretasi dari PC tersebut untuk menerjemahkan makna dari nilai skor. Untuk mengetahui nilai skor dan *loadings* bekerja, harus mengetahui bahwa PC adalah sumbu yang terarah maka nilai skor maupun nilai *loadings* dapat berupa nilai yang positif maupun negatif (Suhandy & Yulia, 2019). Plot yang umum digunakan dengan menggunakan metode PCA ini ada empat yaitu plot *score*, plot *loading*, plot sebagai garis spektral dan plot *eigen* yang disortir (Mubayinah *et al.*, 2016).

2.4.2. Soft Independent Modelling of Class Analogy (SIMCA)

Model yang dibentuk dan diuji menggunakan metode SIMCA yang merupakan salah satu teknik analisis multivariat guna menentukan jarak antar kelas, menguji kekuatan hasil klasifikasi dan deskriminasi dari suatu sampel serta dapat mengolah data spektrum inframerah yang digunakan sebagai data spektrum guna aplikasi kualitatif dan kuantitatif. SIMCA digunakan untuk menetapkan sampel yang diperlukan sesuai dengan kelas yang tepat dan tersedia. Teknik analisis multivariat SIMCA ini merupakan bagian dari PCA yang lebih unggul karena tingkat sensitivitas pembacaan lebih tinggi (*supervised*). Tujuan dari SIMCA dan PCA membuat sebuah pengurangan jumlah peubah yang dapat mendefinisikan sifat kimia atau aktivitas biologis dalam bentuk *independent* yang lebih kecil (Mubayinah *et al.*, 2016).

Model SIMCA ini didapatkan dari pembuatan model PCA dengan menggunakan sampel dari masing-masing kelas yang telah dianalisis dalam *training set*. Analogi dari sampel percobaan akan membuat penilaian untuk kelompok dan sampel yang

belum diketahui dilakukan perbandingan dengan model SIMCA (Camo, 2005). Hasil dari metode dengan menggunakan SIMCA ini merupakan tabel pengelompokan yang terdiri dari satu kelas, beberapa kelas bahkan tidak dikelompokkan pada kelas manapun (Nurchayyo, 2015). Pengelompokan ini dilakukan untuk mengklasifikasikan objek ke dalam lebih dari satu kelas secara bersamaan. Interpretasi hasil metode SIMCA ini menggunakan plot *coomans* yang dapat menunjukkan diskriminasi ke dalam dua kategori atau dua kelompok (Berrueta *et al.*, 2007).

Langkah kerja untuk menerapkan metode SIMCA ini adalah dengan memisahkan data PCA pada setiap kelas yang terdapat dalam kumpulan data. Ketika jumlah data PCA memadai maka komponen yang utama harus tetap sebagai bagian besar variasi perubahan data dalam setiap kelas. Pada pengelompokan dengan metode SIMCA dibangun dengan menggunakan perbandingan antara varian residual dengan rata-rata varian residual tersebut yang membentuk suatu kelas. Pengklasifikasian model SIMCA yang dibangun dari perbandingan tersebut dapat memberikan ukuran langsung dari beberapa sampel untuk suatu kelas yang memiliki persamaan serta dapat dijadikan sebagai ukuran yang berkesesuaian (*goodness of fit*) suatu sampel yang telah disiapkan dalam membentuk model dalam kelas tertentu (Lavine, 2009).

SIMCA memiliki keunggulan dan kelemahan sebagai pengklasifikasi data, yaitu sebagai berikut:

- a. SIMCA digunakan untuk sampel yang mempunyai peluang tinggi dalam pengelompokan. Dengan kata lain, varian residual yang digunakan tidak boleh melebihi batas atas dalam tiap kelas suatu data.
- b. Dalam menghasilkan model komponen utama pada masing-masing kelas, metode SIMCA sensitif terhadap kualitas suatu data yang dihasilkan. Variabel dengan model yang tidak sesuai dengan standar dari SIMCA atau yang berkekuatan dan daya selektif rendah hanya berkontribusi untuk model komponen utama akan dihapus dari analisis. Sedangkan kelemahan dari model SIMCA saat dua model yang digunakan maka sampel data

aktual akan sangat memungkinkan masuk ke dalam model, seperti sampel data aktual masuk ke dalam model A, model B maupun keduanya.

Hasil pengujian menggunakan metode SIMCA berguna sebagai perhitungan matriks konfusi seperti nilai akurasi, sensitivitas, spesifisitas dan eror (Lavine, 2009).

2.4.3. Matriks Konfusi (*Confusion Matrix*)

Hasil kerja pengolahan data menggunakan SIMCA yaitu matriks konfusi yang berupa tabel pencatat pengklasifikasian suatu set data. Matriks konfusi dapat membantu untuk menguji dan memprediksi objek yang tepat. Matriks konfusi menggunakan rumus dalam pengelolaannya yang menghasilkan *output* atau keluarannya berupa akurasi. Klasifikasi dari nilai akurasi membuktikan keakuratan dari suatu model yang telah dibangun, dimana a merupakan kode sampel dari kelas A yang masuk dalam kelas A secara aktual, sedangkan d merupakan kode sampel yang berasal dari kelas B yang masuk ke dalam kelas B secara aktual, b merupakan nomor dari sampel kelas A yang masuk ke dalam kelas B aktual, serta c merupakan nomor dari sampel kelas B yang masuk ke dalam kelas A aktual. Selain akurasi, terdapat juga sensitivitas. Sensitivitas menunjukkan sensibilitas kerja untuk melakukan penolakan terhadap sampel yang bukan termasuk dalam kelasnya. Jika nilai sensitivitas tinggi membuktikan bahwa model yang telah dibangun semakin efektif atau semakin mengenali karakteristik dari sampel yang diuji. Selain sensitivitas matriks konfusi juga mempunyai keluaran spesifisitas.

Spesifisitas merupakan kemampuan dari model yang dibangun untuk mengarahkan sampel yang masuk ke dalam kelas secara benar dan tepat. Jika sampel banyak yang masuk ke dalam kelas yang benar maka nilai spesifisitas akan tinggi. Nilai sensitivitas dan spesifisitas dapat menunjukkan nilai dari akurasi. Dengan begitu, jika nilai dari akurasi, sensitifitas, spesifisitas tinggi maka model yang telah dibuat merupakan model yang tepat (Lavine, 2009).

Sampel yang tidak masuk ke dalam kelas maka disebut sebagai eror. Nilai eror ini memperlihatkan tingkat ketidaktepatan dalam mengklasifikasikan model yang telah dibangun. Dengan kata lain, semakin tinggi nilai eror maka semakin buruk model yang telah dibuat dan sebaliknya jika nilai eror rendah maka model yang dibuat telah benar (Apratiwi, 2016).

Dapat dijadikan matematis dari empat *output* atau keluaran hasil tersebut, sebagai berikut:

Tabel 5. 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) : $\frac{a+d}{a+b+c+d}$ (1)
2. Sensitivitas (S) : $\frac{b}{b+d}$ (2)
3. Spesifisitas (SP) : $\frac{a}{a+c}$ (3)
4. *Error rate* : $\frac{b+c}{a+d+b+c}$ (4)

Keterangan :

TP : *True Positive*

TN : *True Negative*

FP : *False Positive*

FN : *False Negative*

a merupakan sampel dari kelas A yang masuk ke dalam kelas A, TP
 b merupakan sampel dari kelas A yang masuk ke dalam kelas B, FP
 c merupakan sampel dari kelas B yang masuk ke dalam kelas A, FN
 d merupakan sampel dari kelas B yang masuk ke dalam kelas B, TN
 (Faisal & Nugrahadi, 2019).

2.4.4. *Pretreatment*

Model yang telah dibuat perlu diberikan perlakuan khusus untuk mengetahui model tersebut baik atau buruk, dengan melakukan *pretreatment* spektra yaitu salah satu metode dalam memberikan perlakuan dengan data spektra yang telah didapat guna memperkecil pengaruh interferensi gelombang dan *noise* untuk

mendapatkan model yang lebih stabil dan akurat. Data spektra yang telah di dapat perlu perlakuan *pretreatment*, baik dengan data kalibrasi maupun prediksi untuk kemudian dilakukan pengembangan model analisis (Prieto, 2017; Kusumaningrum *et al.*, 2017). Terdapat dua tipe dari metode *pretreatment* yaitu metode MSC, SNV, *normalization, smoothing moving average* yang digunakan untuk mengurangi pengaruh dari *scatter* atau efek hamburan dan metode *Savitzky-Golay* untuk *derivative* atau turunan (Suhandy & Yulia, 2020).

Berikut penjelasan metode-metode tersebut:

a. *Smoothing Moving Average*

Metode *smoothing moving average* merupakan salah satu cara untuk mengeliminasi atau menghilangkan *noise* dari suatu pengolahan data, umumnya metode ini dapat menghilangkan *noise* yang berfrekuensi tinggi serta dapat memperbaiki rasio dan sinyal. Untuk menghilangkan *noise* dengan cara menentukan jumlah titik untuk *averaging* data. Data *averaging* yang rendah akan membuat resolusi dari spektra menjadi tinggi dan sebaliknya, data *averaging* yang tinggi akan membuat resolusi spektra rendah. Menghilangkan *noise* dapat juga dengan menggabungkan metode lain pengolahan awal data. Persamaan yang umum dipakai dalam metode ini, sebagai berikut:

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

Keterangan :

S_j : Nilai dari *smoothing moving average* di panjang gelombang ke j

Y_j : Nilai dari spektra asli di panjang gelombang ke j

j : Indeks panjang gelombang

3 : Jumlah segmen

Rumus (5) digunakan untuk 3 segmen, pembagi dan penyebut bisa berubah sesuai segmen yang diketahui. Hasil dengan metode ini akan tepusat yaitu berada di tengah karena jumlah segmen harus berupa bilangan ganjil yang dapat divariasikan.

b. *Savitzky-Golay differentiation*

Metode *Savitzky-Golay differentiation* dapat digunakan untuk meningkat resolusi dari suatu spektra serta dapat menghilangkan *background*. *Derivative* mampu menafsirkan lembah dan puncak dari spektra absorbans data. Diferensiasi *Savitzky-Golay* umumnya lebih fokus terhadap diferensiasi pertama. Saat penghapusan *offset* dilakukan pada turunan pertama 1st, sedangkan turunan kedua 2nd memungkinkan untuk menghilangkan *offset* dan *baseline*. Rumus metode *Savitzky-Golay differentiation* sebagai berikut:

$$X_j = \frac{1}{N} \sum_h^k = -k^{CjXj} + h \dots \dots \dots (6)$$

c. *Multiplicative Scatter Correction (MSC)*.

Salah satu metode yang digunakan untuk mengurangi *amplification* (*multiplicative, scattering*) efek dari dispektrum dapat dengan menggunakan metode *multiplicative scatter correction* (MSC). Metode ini digunakan untuk memperbaiki spektra dengan menghilangkan efek hamburan cahaya yang tidak diinginkan dalam spektroskopi. Tujuan dari penggunaan metode MSC yaitu memperbaiki cahaya dari semua sampel dengan menyamakan tingkat persebaran cahaya di semua sampel. Berikut persamaan dari metode ini:

$$X_{org} = a_i + b_i \bar{x}_j + e_i \dots \dots \dots (7)$$

$$X_{i, MSC} = \frac{X_{org} - a_i}{b_i} \dots \dots \dots (8)$$

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

Metode MSC ini dapat dilakukan dengan mencari koefisien regresinya yaitu a_i dan b_i yang diperoleh dari suatu persamaan regresi sampel dari grafik linier dan menunjukkan persamaan $y = a+bx$ pada sampel i. Setelah koefisien regresi suatu sampel didapatkan kemudian dilakukan perhitungan MSC dengan menggunakan persamaan (7) dan (8).

d. *Standard Normal Variate (SNV)*

Metode *standard normal variate* merupakan transformasi yang mampu menghapus efek pencar (*scatter effects*) dari suatu spektrum. Transformasi metode ini dilakukan dengan mengeliminasi deviasi spektra yang diperoleh dari perbedaan ukuran partikel sampel dan *scatter*. Kesalahan teknis saat melakukan pengujian sampel akan menghasilkan *scatter*. Tujuan utama dari metode SNV ini menghapus gangguan multiplikasi ukuran dan persebaran dari partikel. Perhitungan yang dilakukan dengan metode ini yaitu dengan mengurangi hasil yang telah didapat dengan rata-rata data per baris kemudian hasil tersebut dibagi dengan standar deviasi dari setiap baris (Jannah, 2014).

Sebelum mencari nilai yang dihasilkan dengan metode SNV, perlu dicari persamaan standar deviasi yang dapat menentukan nilai statistik guna mencari sebaran data pada setiap sampel. Standar deviasi ini didapatkan dengan mengetahui nilai absorbans tiap sampel pada panjang gelombang yang berkisar 190 -1100 nm. Persamaan dari metode SNV, sebagai berikut:

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^k (i_k - x_i)^2}{K-1}} \dots\dots\dots(9)$$

$$x_{ik} = \frac{x_{ik} - x_i}{S_i} \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan :

Si: Standar deviasi

K : Jumlah data pada sampel i

i : Indeks sampel

k : Indeks panjang gelombang

Xik : Nilai dari SNV pada sampel i dengan panjang gelombang k

xik: Nilai dari spektra *original* pada sampel i dengan panjang gelombang k

Xi : Nilai rata-rata pada sampel i

e. *Mean Normalization* (MN)

Metode *Mean Normalization* adalah metode yang mampu menskala sampel dalam rangka mendapatkan titik spektra yang berada di sekitar skala berdasarkan *mean* maksimum, daerah, puncak dan vektor satuan. Semua data dari spektrum yang telah diperoleh dinormalisasikan sebagai *mean normalization*.

Persamaan dari metode SNV, sebagai berikut:

$$x_{mean}(i,k) = \frac{X_{raw}}{X_{mean}} \dots\dots\dots(11)$$

Keterangan :

X_{mean}(i,k) : Nilai dari *mean normalize* sampel i dengan panjang gelombang k

i : Indeks sampel

k : Indeks panjang gelombang

X_{raw} : Nilai spektra asli

X_{mean} : Nilai spektra rata-rata pada sampel

(Kusumaningrum *et al.*, 2017).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

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

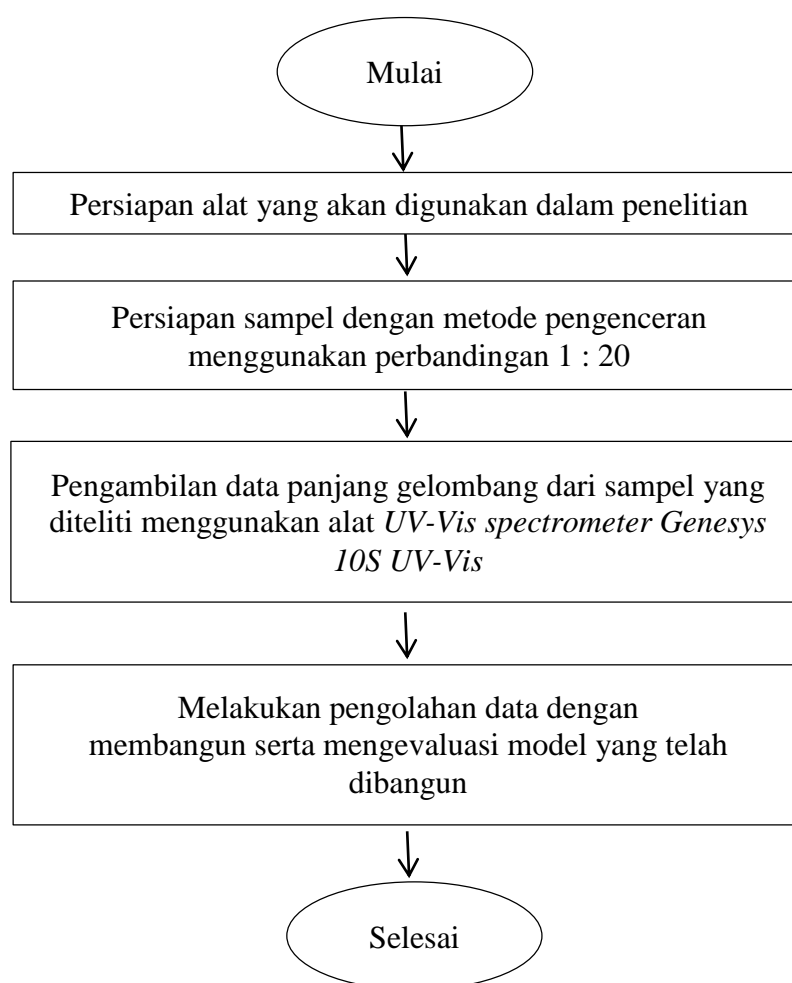
3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah *UV-Vis spectroscopy* jenis *Genesys 10S UV-Vis (Thermo Elektron Instrument, USA)*, kuvet, komputer, *flashdisk*, *Water bath*, *magnetic stirrer Ciblanc™* dengan tegangan 220–240 Volt , pipet ukur 2 ml, termometer, labu *Erlenmeyer* 50 ml, gelas ukur, gelas beker, spatula, corong dan tisu. Sedangkan bahan yang digunakan adalah akuades, tiga jenis madu dari lebah tidak bersengat yaitu jenis *Heterotrigona itama*, *Geniotrigona thoracica*, *Tetrigona apicalis* yang diperoleh dari PT. Suhita Lebah Indonesia.

3.3. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan guna mengidentifikasi madu yang berasal dari tiga jenis lebah dan nektar yang berbeda. Sampel penelitian ini menggunakan madu dari jenis *Tetrigona apicalis* dengan nektar *Agathis dammara*, *Heterotrigona itama*

dengan nektar *Accacia mangium* dan *Geniotrigona thoracica* dengan nektar multiflora. Penelitian ini meliputi beberapa langkah kerja yaitu, sebagai berikut: persiapan alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian, persiapan sampel yang meliputi proses pengenceran, pencampuran dengan cara diaduk, pengambilan nilai spektra, kemudian membangun model serta mengujinya agar dapat membedakan tiga jenis madu yang berasal dari nektar dan jenis lebah yang berbeda khususnya dari lebah tidak bersengat (*stingless bees*) dengan aplikasi *The Unscrambler* versi 10.4, selanjutnya dianalisis menggunakan metode SIMCA dan PCA. Diagram alir prosedur penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir prosedur penelitian (Firmansyah, 2019).

3.3.1. Persiapan Alat

Persiapan alat yang digunakan dalam penelitian perlu dilakukan untuk memastikan alat tersebut berfungsi dengan baik agar pelaksanaan penelitian dapat berjalan dengan lancar.

3.3.2. Persiapan Sampel

Terdapat beberapa proses yang harus dilakukan pada madu yang dijadikan sampel penelitian, yaitu sebagai berikut:

1. Penyimpanan madu

Tiga jenis madu yang diteliti disimpan dalam ruang yang tidak terkena sinar matahari langsung dan diberi label sesuai dengan identitas madu di dalamnya. Sampel tersebut disimpan dalam botol kaca.

2. Pemanasan madu

Umumnya madu yang telah disimpan mengalami pengkristalan di bagian bawah. Oleh karena itu, madu dipanaskan untuk melelehkan bagian yang mengkristal. Proses untuk memanaskan madu ini dengan menuangkan sampel madu yang telah disiapkan dalam wadah kaca sebanyak 10 ml kemudian dipanaskan menggunakan *Water bath* dengan suhu 60°C selama 30 menit (Reyes *et al.*, 2017). Proses ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pemanasan madu (Sumber: Dokumen pribadi, 2022).

3. Pengenceran

Madu yang telah dipanaskan kemudian dibiarkan sampai pada suhu kamar, kemudian sampel diencerkan menggunakan *aquades* dengan perbandingan 1: 20 (ml:ml), penggunaan perbandingan pengenceran ini berdasarkan penelitian sebelumnya yang mendapatkan nilai PCA tertinggi dan spektra terbaik. Proses pengenceran disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengenceran madu dengan *aquades* (Sumber: Dokumen pribadi, 2022).

4. Pengadukan

Madu yang telah diencerkan dengan *aquades* kemudian diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer ciblanc™* tegangan 220–240 Volt selama 10 menit untuk menghomogenkan campuran bahan. Dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengadukan madu dengan *magnetic stirrer* (Sumber: Dokumen pribadi, 2022).

5. Pengukuran spektra bahan

Setelah bahan dihomogenkan kemudian dimasukkan ke dalam kuvet kuarsa sebanyak 2 ml dan diukur spektranya menggunakan *UV-Vis spectrometer* jenis *Genesys 10S UV-Vis* dengan panjang gelombang 190-1100 nm. Dapat dilihat pada Gambar 7.

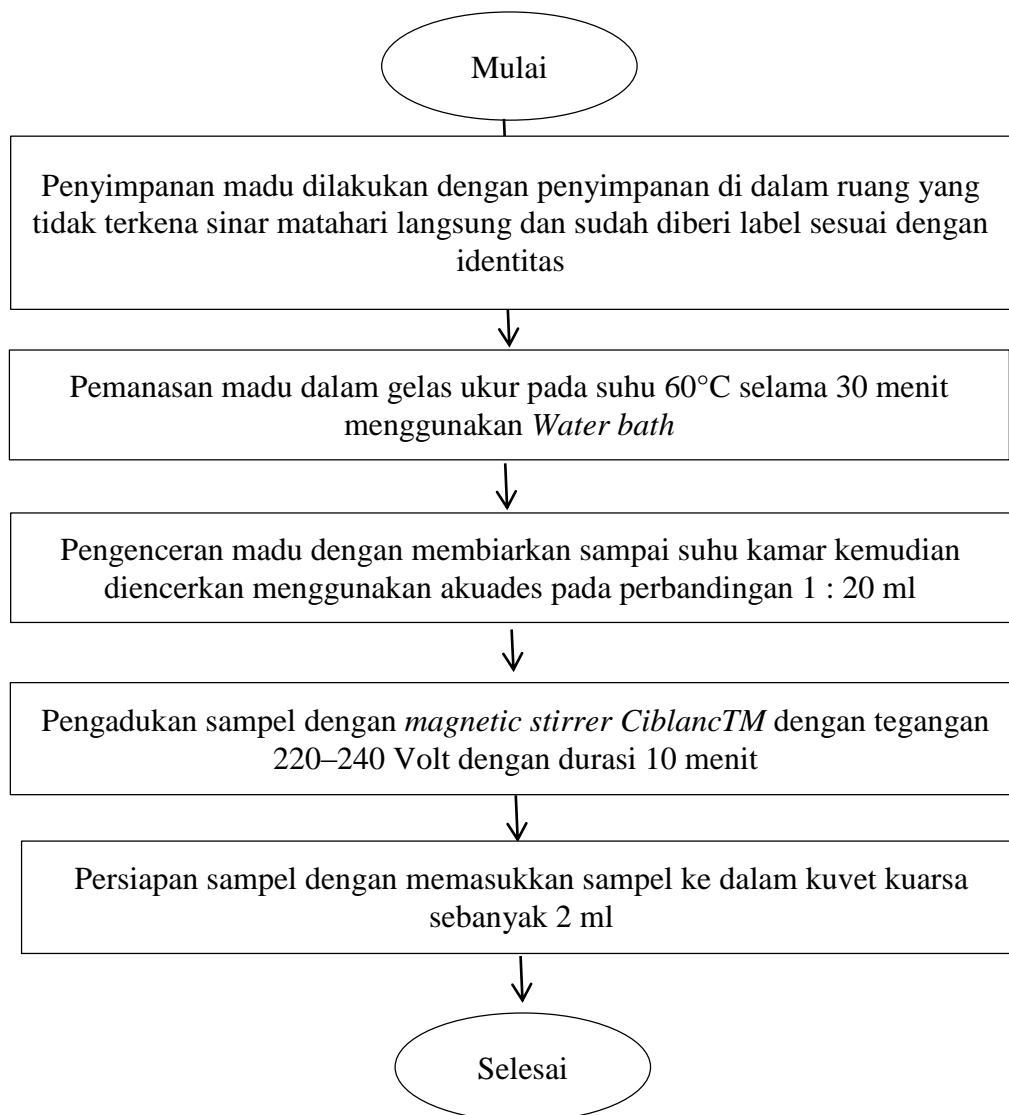


Gambar 7. Pengukuran spektra bahan menggunakan *UV-Vis spectrometer* (Sumber: Dokumen pribadi, 2022).

Dilakukan penomoran sampel setelah didapatkan data, seperti yang disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Penomoran Sampel

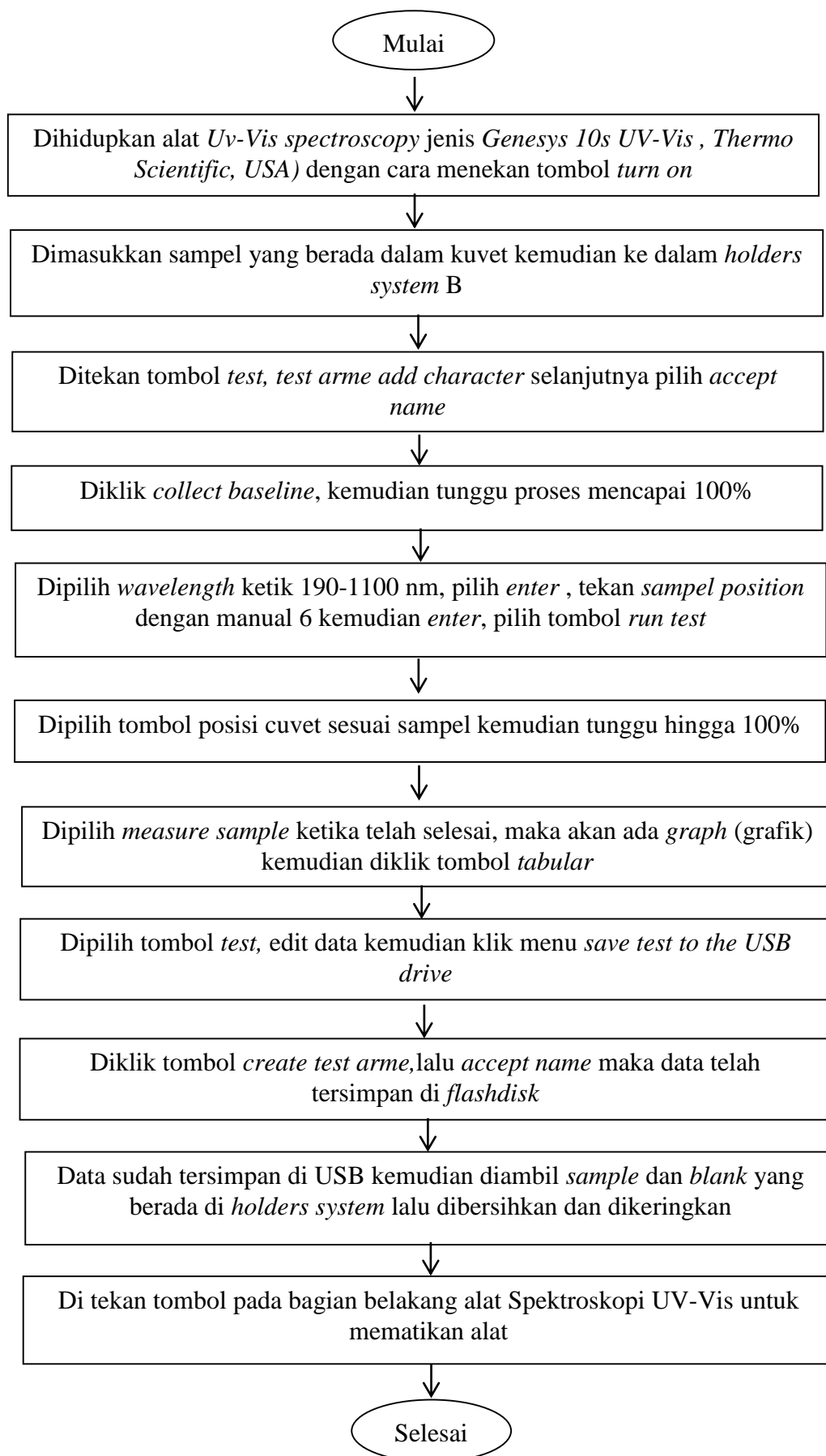
No Sampel	Komposisi Bahan
1-50	Madu <i>Tetrigona apicalis</i> (MA)
51-100	Madu <i>Heterotrigona itama</i> (MI)
101-150	Madu <i>Geniotrigona thoracica</i> (MT)



Gambar 8. Diagram alir persiapan sampel (Firmansyah, 2019).

3.3.3. Pengambilan Spektra dengan *UV-Vis Spectrometer*

Sampel yang telah diencerkan kemudian dimasukkan ke dalam kuvet sebanyak 2 ml dan dimasukkan ke dalam *holders system* untuk diambil nilai absorbansnya. Tahap-tahap pengambilan spektra dengan spektrofotometer ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram alir proses pengambilan spektra sampel madu (Firmansyah, 2019).

3.3.4. Membangun dan Menguji Model

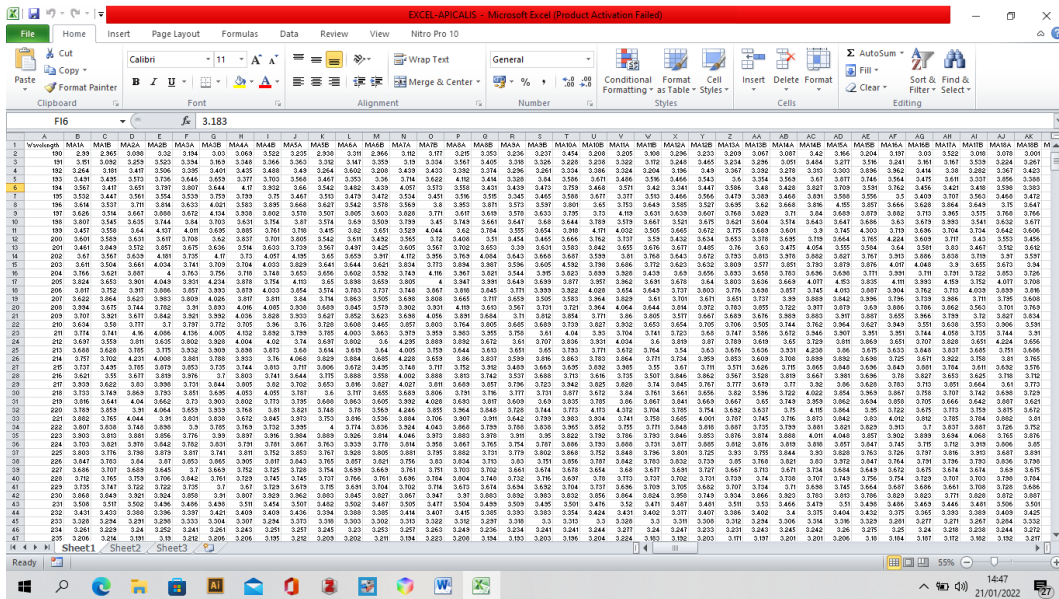
Nilai absorbans yang telah didapat dari alat spektrofotometer menjadi nilai dasar yang harus ada dalam tahap membuat dan menguji model, kemudian data tersebut akan diolah dengan menggunakan perangkat lunak *The Unscrambler 10.4* dengan metode PCA dan SIMCA.

3.4. Analisis Data

Analisis data perlu dilakukan untuk mendeteksi pola sampel dengan menggunakan perangkat lunak *The Unscrambler 10.4*. Model kalibrasi dibuat berdasarkan metode PCA dan SIMCA. Nilai absorbans dari sampel-sampel yang diuji selanjutnya digabung dalam satu file *Microsoft Excel*. Kemudian dianalisis dengan menggunakan aplikasi *The Unscrambler 10.4*. Sampel tersebut akan dibagi menjadi tiga bagian yaitu sampel kalibrasi untuk membangun model SIMCA, sampel validasi untuk memvalidasi model yang telah dibangun dan sampel prediksi untuk menguji model. Setelah hasil klasifikasi atau pengelompokan dari pengujian model didapatkan, kemudian dihitung menggunakan perhitungan matriks konfusi (*confusion matrix*).

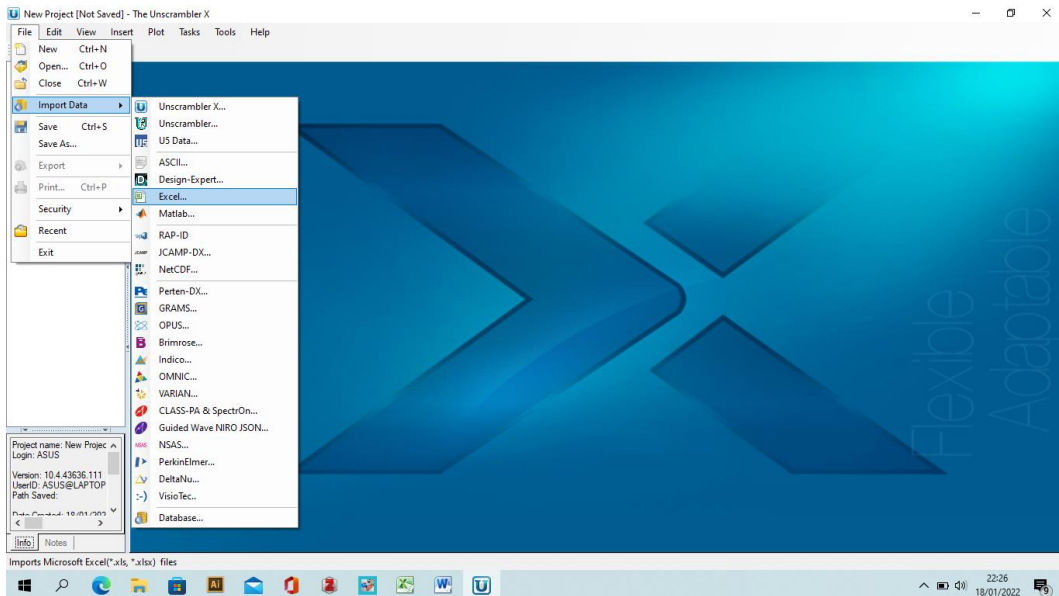
3.5. Principal Component Analysis (PCA)

Data yang diambil dari *Uv-vis spectroscopy* yaitu 50 sampel madu *Heterotrigona itama* 50 sampel, madu *Geniotrigona thoracica*, 50 sampel madu *Tetrigona apicalis*. Setelah nilai absorbans dari masing-masing sampel diperoleh kemudian data absorbans tersebut digabungkan menjadi satu dalam file *Microsoft Excel*. Data yang telah digabungkan dapat dilihat pada Gambar 10.

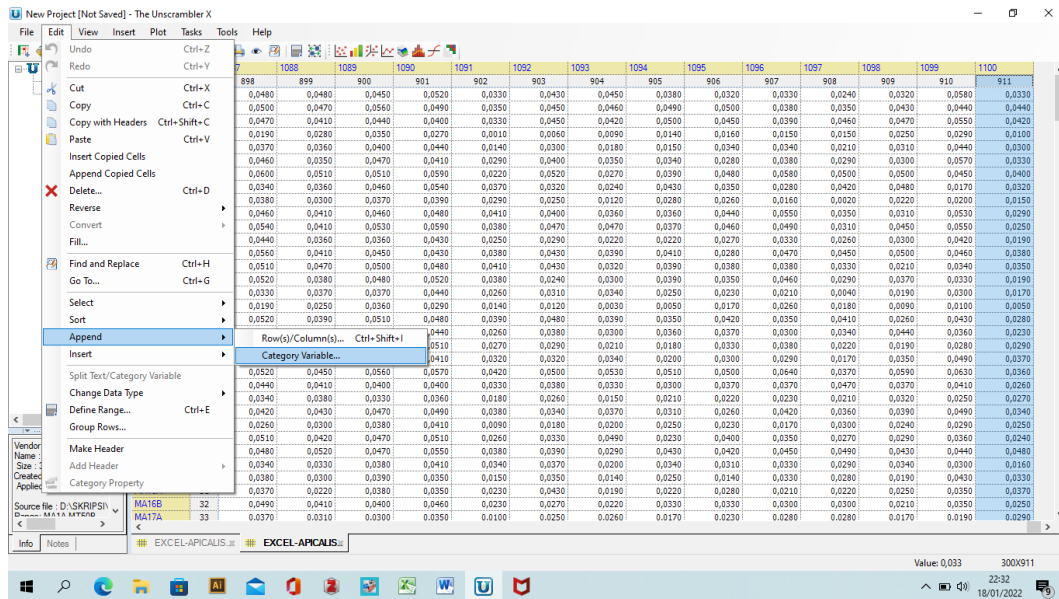


Gambar 10. Penggabungan data di *Microsoft Excel*

Kemudian file dalam *Microsoft Excel* dianalisis menggunakan aplikasi *The Unscrambler 10.4*. Sampel yang dianalisis dengan aplikasi *The Unscrambler 10.4* diolah dengan membuka aplikasi tersebut, kemudian klik file pilih *import* data, selanjutnya pilih format excel untuk memasukkan file *Microsoft Excel* yang akan dianalisis. Langkah meng-*import* data disajikan pada Gambar 11.

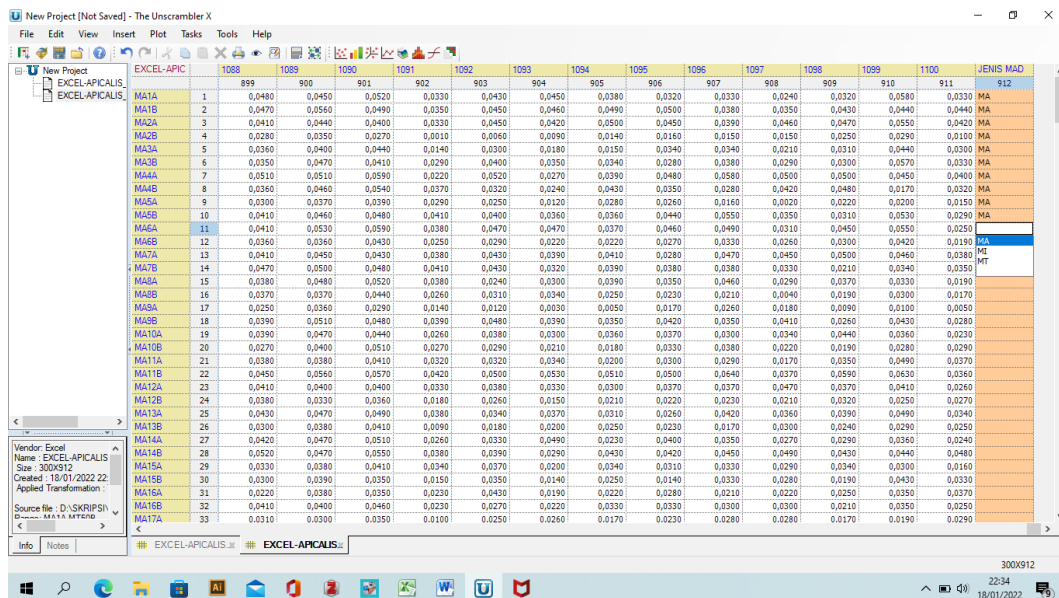


Gambar 11. Langkah meng-*import* data



Gambar 13. Langkah membuat *Category Variable*

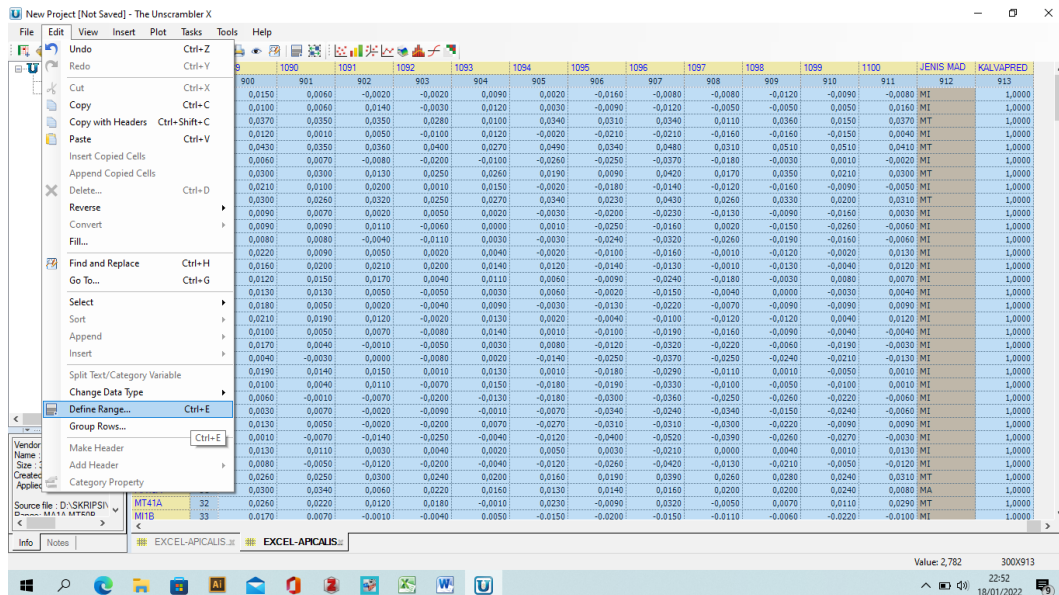
Selanjutnya pilih kolom “JENIS MADU” kemudian diisi pada masing-masing baris sesuai jenis madu. Sebelum data dianalisis menggunakan metode PCA data tersebut terlebih dahulu dikelompokkan sesuai kategori sampel dan variable. Dapat dilihat pada Gambar 14.



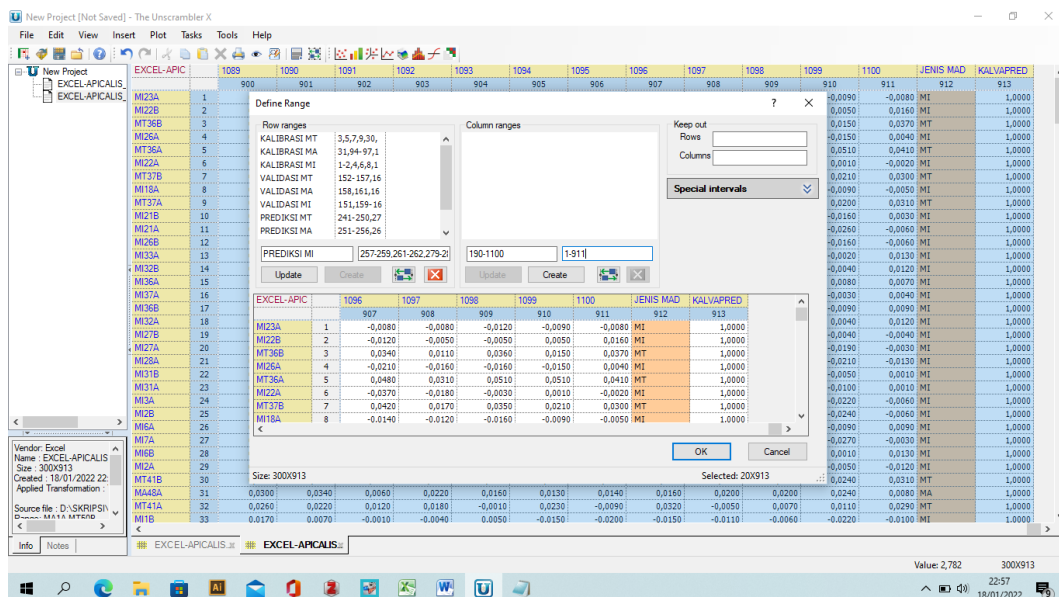
Gambar 14. Menentukan kelompok sesuai dengan kode jenis madu

Setelah dilakukan pengkategorian sampel sesuai jenis madu kemudian dilakukan pengelompokan dengan klik menu edit lalu pilih *define ranges* kemudian isi

rowset dengan nama kalibrasi, validasi, dan prediksi serta mengisi *column set* sesuai *wavelength* yang digunakan yaitu 190-1100 nm. Langkah tersebut dapat dilihat pada Gambar 15 dan 16.



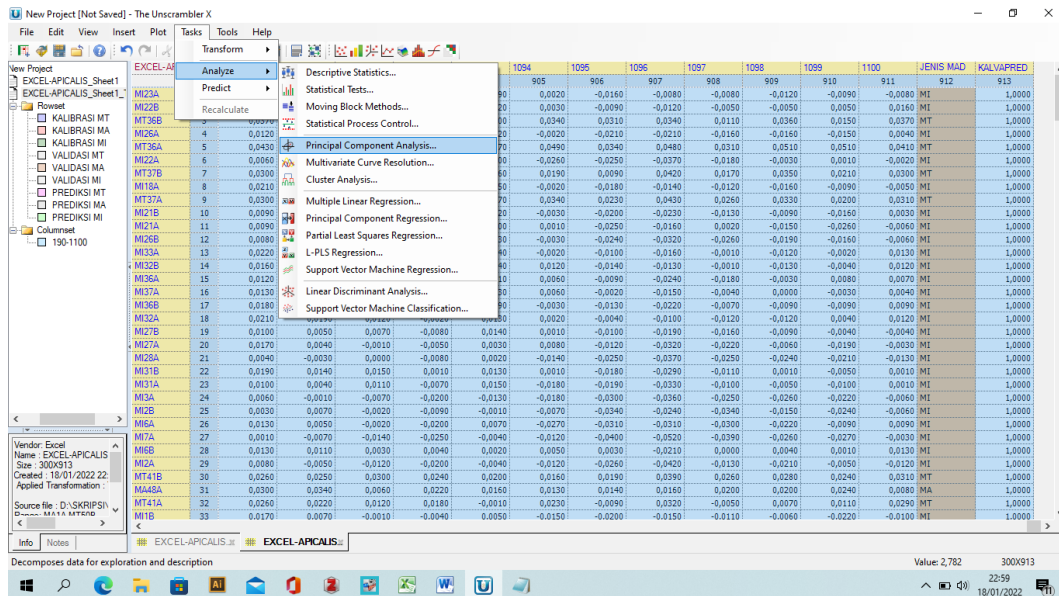
Gambar 15. Membuat *Define Ranges*



Gambar 16. Menentukan KALVALPRED

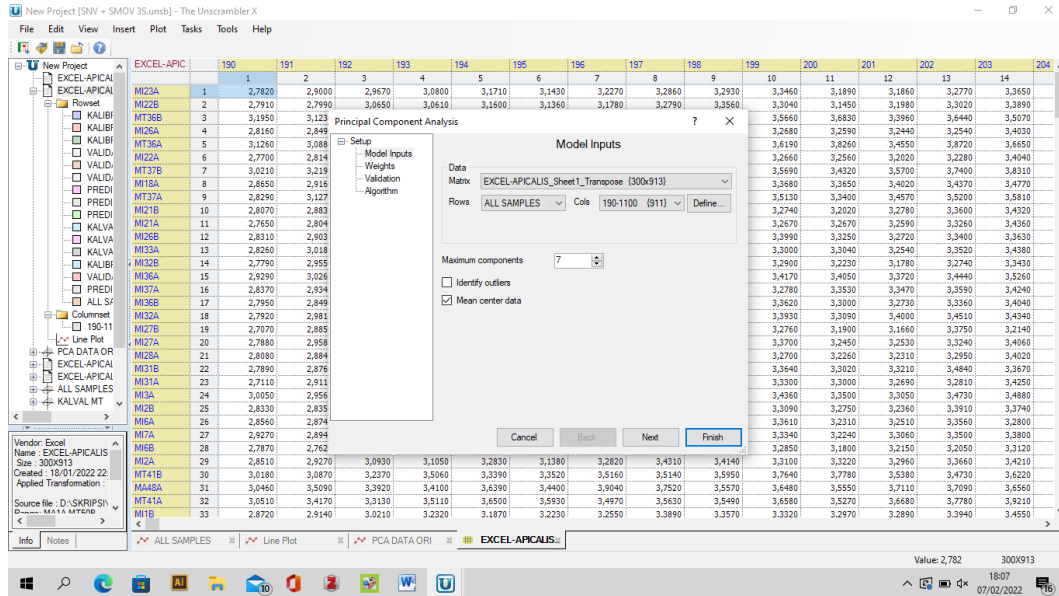
Data yang telah dikelompokkan sesuai sampel jenis madu yang digunakan, dengan kode angka yaitu kalibrasi dengan angka 1, validasi dengan angka 2 dan prediksi dengan angka 3, dengan jumlah pada setiap 10 sampel menggunakan kalibrasi sebanyak 5 kali, validasi sebanyak 3 kali dan prediksi sebanyak 2 kali.

Maka didapatkan jumlah kalibrasi pada penelitian yaitu 150 sampel, validasi sebanyak 90 sampel dan prediksi sebanyak 60 sampel. Selanjutnya dilakukan analisis menggunakan metode PCA dengan klik menu *task*, pilih *Principal Component Analysis* (PCA) lalu pilih validasi *test set*, pilih *Set up* dan diisi dengan jumlah data validasi pada sampel. Langkah tersebut disajikan pada Gambar 17.



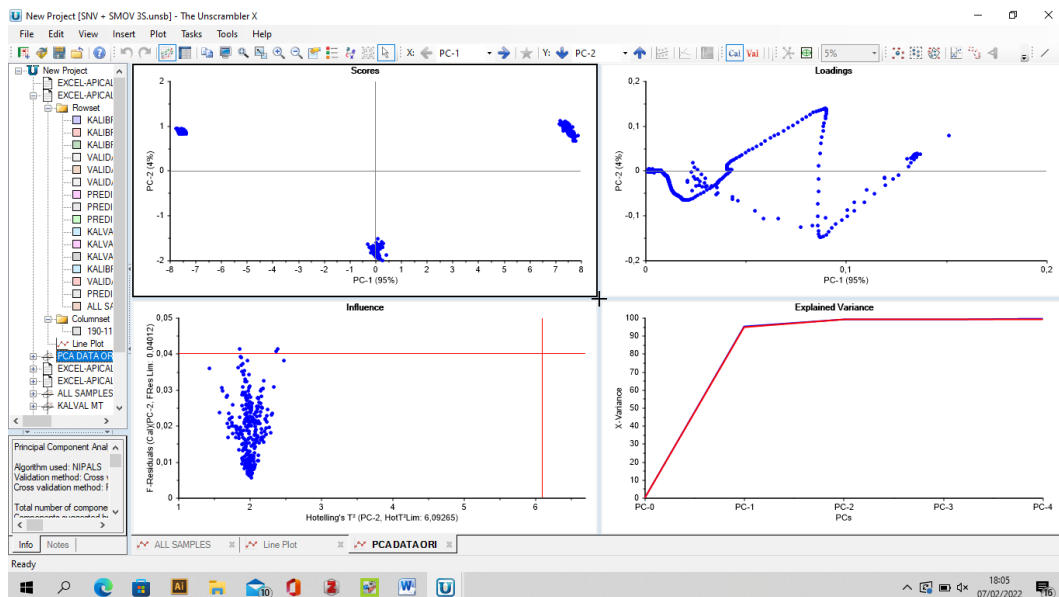
Gambar 17. Menganalisis dengan metode PCA di aplikasi *The Unscrambler*

Setelah mengklik *Analyze* dan memilih *Principal Component Analysis*, maka di layar akan muncul pilihan *setup*, pada *Model Inputs* pilih *Rows* menggunakan *All Samples*, *Cols* pilih 190-1100 {911}. Kemudian pada bagian *Weights*, sama seperti sebelumnya pilih *Rows* menggunakan *All Samples*. Pada bagian *Algorithm* pilih *NIPALS*, bagian ini menunjukkan bahwa banyak sampel yang digunakan dalam pengolahan data. Pemilihan *setup* analisis PCA disajikan dalam Gambar 18.



Gambar 18. Pemilihan *Setup* dalam analisis PCA

Output dari analisis menggunakan PCA yang muncul di layar adalah plot *scores*, *Loadings*, *Influences*, dan *Explained Variance*. Hasil yang muncul dalam layar disajikan dalam Gambar 19.

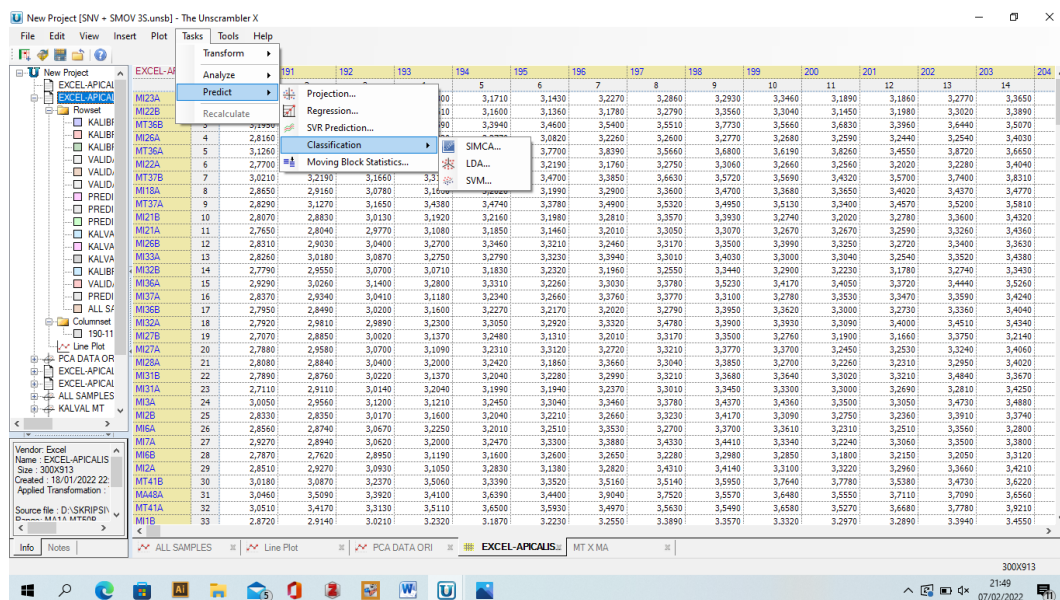


Gambar 19. Hasil plot analisis PCA

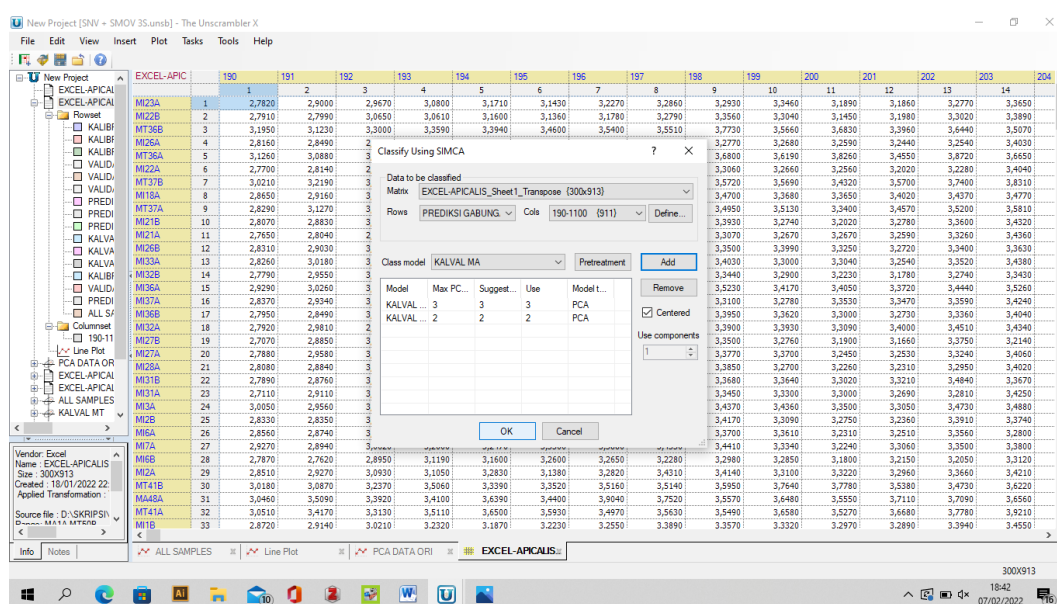
3.6. Membangun Model Menggunakan Analisis *Soft Independent Modelling of Class Analogy* (SIMCA)

Setelah didapatkan hasil diskriminasi dari PCA yang tepat dari sampel madu yang diteliti, maka proses selanjutnya membangun model dengan menggunakan metode *Soft Independent Modelling of Class Analogy* (SIMCA). SIMCA merupakan teknik analisis multivariat yang dapat menentukan jarak antar kelas, menguji kekuatan hasil klasifikasi dan deskriminasi. Sampel madu yang diperlukan untuk membuat model dengan menggunakan metode SIMCA ini terdapat tiga bagian yaitu untuk kalibrasi, validasi dan prediksi. Sampel kalibrasi untuk membangun model SIMCA, sampel validasi untuk memvalidasi atau mengecek kembali model yang telah dibangun dan sampel prediksi untuk menguji model yang telah dibuat dari sampel kalibrasi dan validasi.

Membangun model SIMCA, tahap yang dilakukan mirip seperti saat menganalisis tahap PCA yaitu dengan menggunakan menu *Task* kemudian pilih *Predict* lalu *Classification* dan pilih SIMCA. Hasil yang tampil di layar disajikan pada Gambar 20.

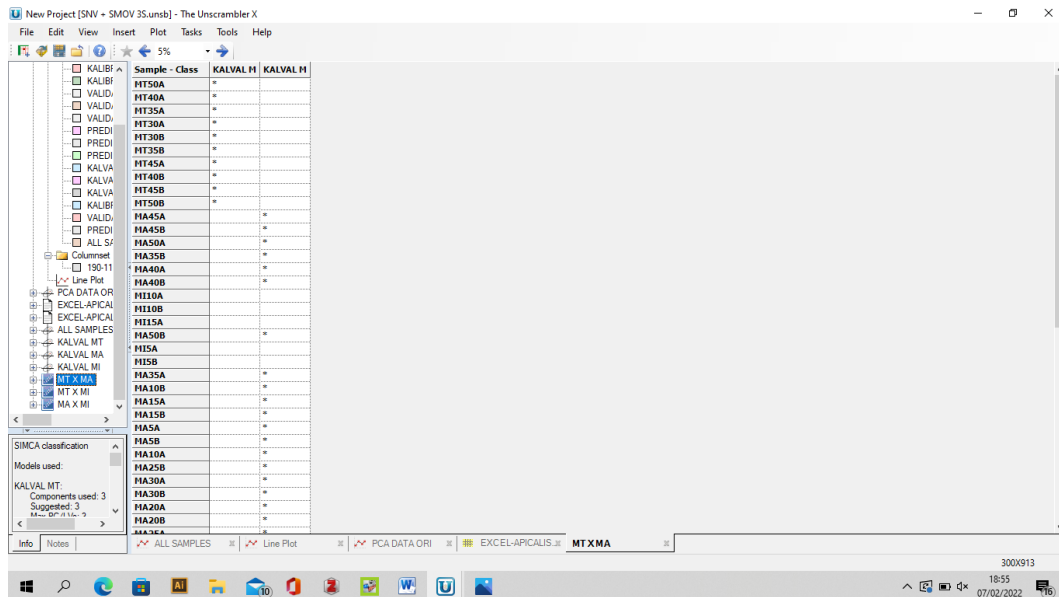


Setelah memilih menu SIMCA, maka akan muncul jendela *Classify Using SIMCA*. Berbeda dengan tahap analisis menggunakan PCA, pada SIMCA *Rows* yang dipilih adalah “Prediksi Gabungan” dan *Cols* yang digunakan menggunakan 190-1100 {911}. Pada pilihan *Class model* atau kelas yang dibangun dibuat berpasang-pasangan. Pada penelitian ini digunakan tiga pasang yaitu KALVAL MA dengan KALVAL MI, KALVAL MA dengan KALVAL MT dan KALVAL MI dengan KALVAL MT. Model kelas yang digunakan ini didapatkan dari *Define Range* yang telah dikelompokkan sebelumnya. Proses ini disajikan dalam Gambar 21.



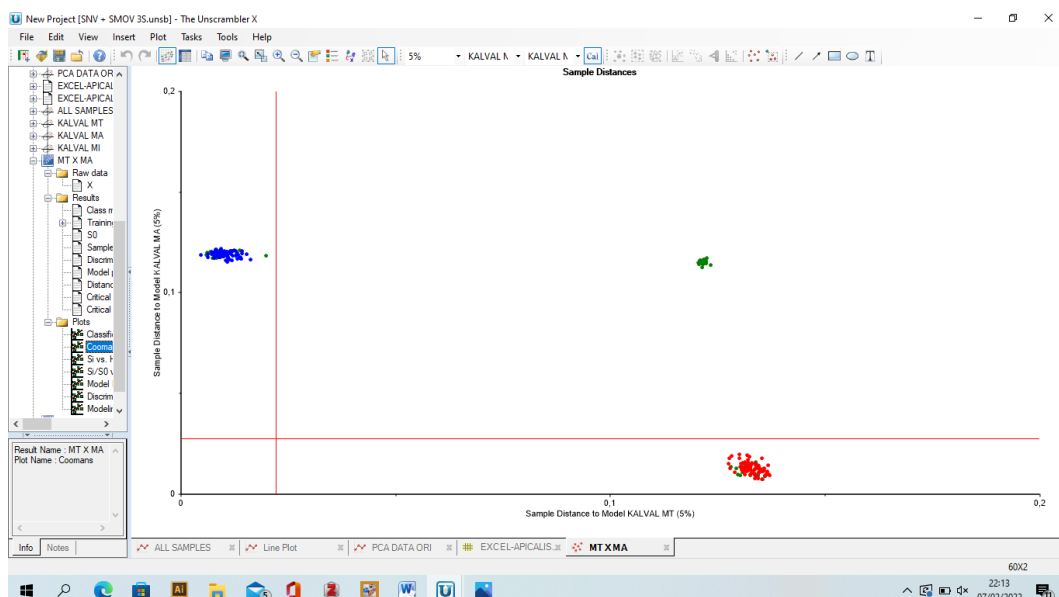
Gambar 21. Proses membangun model SIMCA

SIMCA dapat menetapkan sampel ke dalam suatu kelas yang sudah tersedia dan sesuai. Metode pengelompokan ini dibangun berdasarkan pembuatan model dengan metode PCA untuk setiap kelas dan mengelompokkan setiap sampel pada masing-masing model PCA. *Output* dari metode SIMCA ini berupa tabel pengelompokan. Tabel pengelompokan berisi sampel yang dibagi menjadi satu kelas, beberapa kelas atau tidak masuk dalam kelas manapun. Pada pengolahan data SIMCA ini disajikan dalam Gambar 22.



Gambar 22. Output pembagian kelas di SIMCA

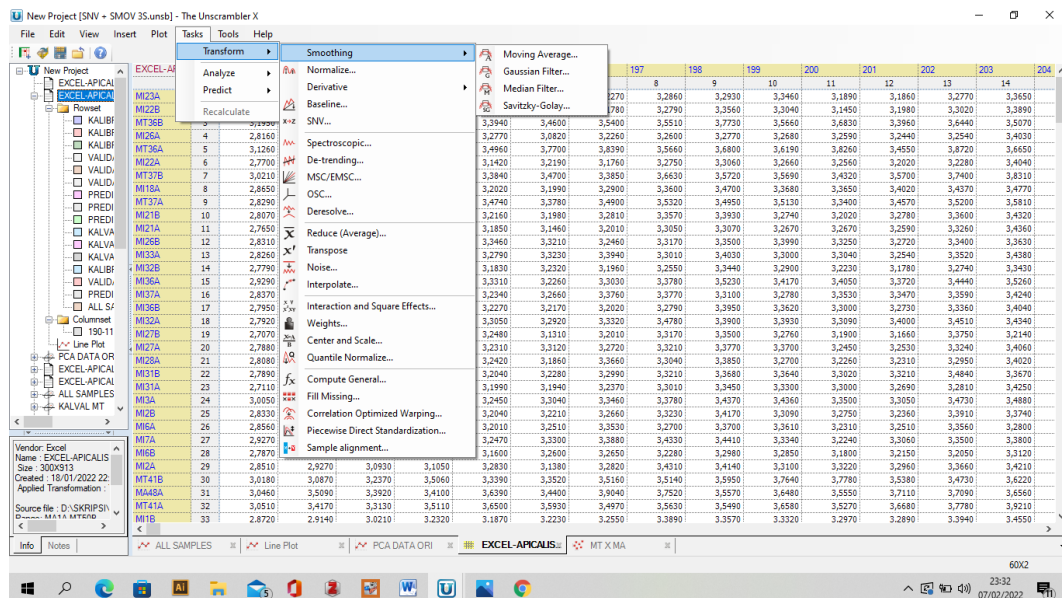
Berikut tabel pengelompokan dari metode SIMCA, sampel yang termasuk ke dalam kelas ditandai dengan tanda bintang (*). Aplikasi *unscrambler* menampilkan pengelompokan tabel dengan level signifikansi sebesar 5%. Namun terdapat 6 level signifikansi di dalam aplikasi ini yaitu 25% ; 10% ; 5% ; 1% ; 0,5% ; 0,1%. Selain tabel pengelompokan terdapat juga plot *commans* di dalam metode SIMCA ini yang disajikan dalam Gambar 23.



Gambar 23. Tampilan plot *Commans*

Hasil yang ditampilkan pada metode PCA dan SIMCA dengan menggunakan data *original* telah didapatkan dan menunjukkan data yang terpisah dari masing-masing sampel yang dibuktikan dengan pengelompokan sampel yang masuk ke dalam kelas yang sesuai. Namun hasil yang ditunjukkan dengan menggunakan data *original* tetap diberi perlakuan tambahan atau disebut dengan *pretreatment* yang membuat data yang dihasilkan akan lebih baik dari data *original*.

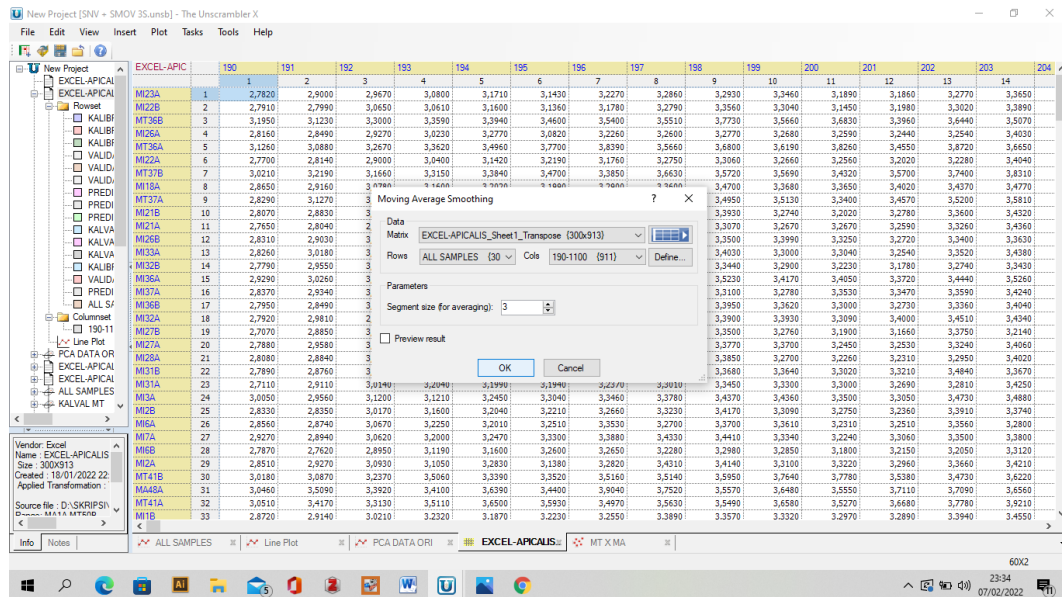
Pretreatment dapat dilakukan dengan cara memilih *Task* kemudian *Transform* lalu pilih *pretreatment* yang ada dalam aplikasi, dalam pengolahan data ini dilakukan 5 *treatment* yaitu *smoothing moving average*, *derivative Savitzky Golay*, *normalize*, *SNV* dan *MSC/EMSC* seperti yang tersaji dalam Gambar 24.



Gambar 24. Proses melakukan *pretreatment*

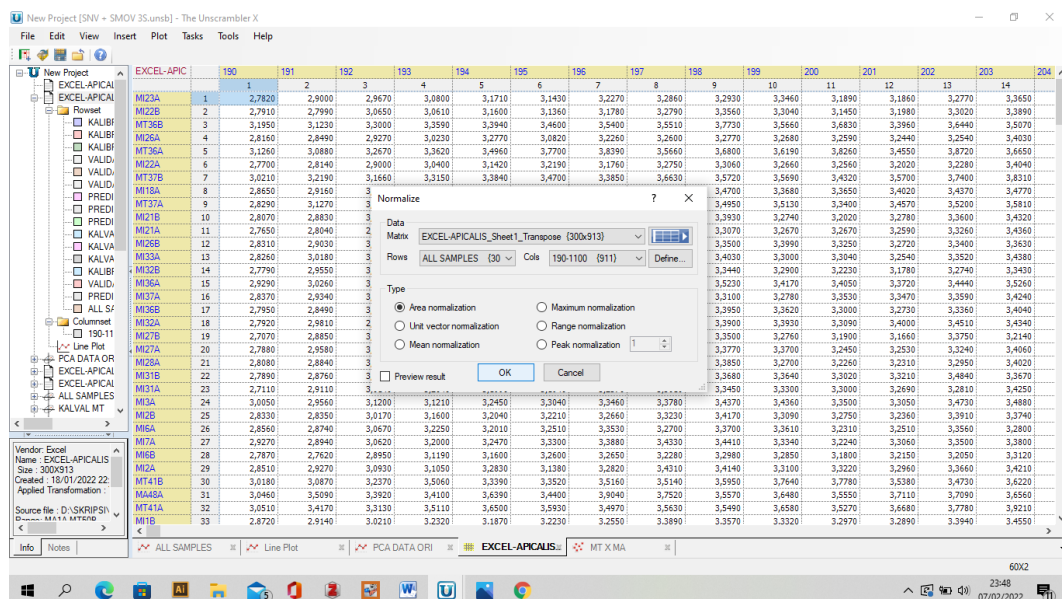
Data yang telah *ditranspose* dan dihitung menggunakan PCA dan SIMCA menggunakan data *original* kemudian dihitung kembali menggunakan masing-masing *pretreatment original*. Setelah data dilakukan pada masing-masing *pretreatment*. Kemudian dilakukan *pretreatment* kombinasi yaitu menggabungkan *pretreatment* dari dua data transformasi. Pada perlakuan *pretreatment* menggunakan *smoothing moving average* akan muncul jendela untuk menentukan data dan *Parameters* yang akan ditampilkan, pada pemilihan Rows digunakan “ALL SAMPLES” dan pada *Cols* pilih 190-1100 {911} kemudian pada *Parameters Segment Size* dilakukan pada angka yang ganjil yaitu 3,5,7,9.

Tampilan yang muncul di *pretreatment smoothing moving average* disajikan pada Gambar 25.



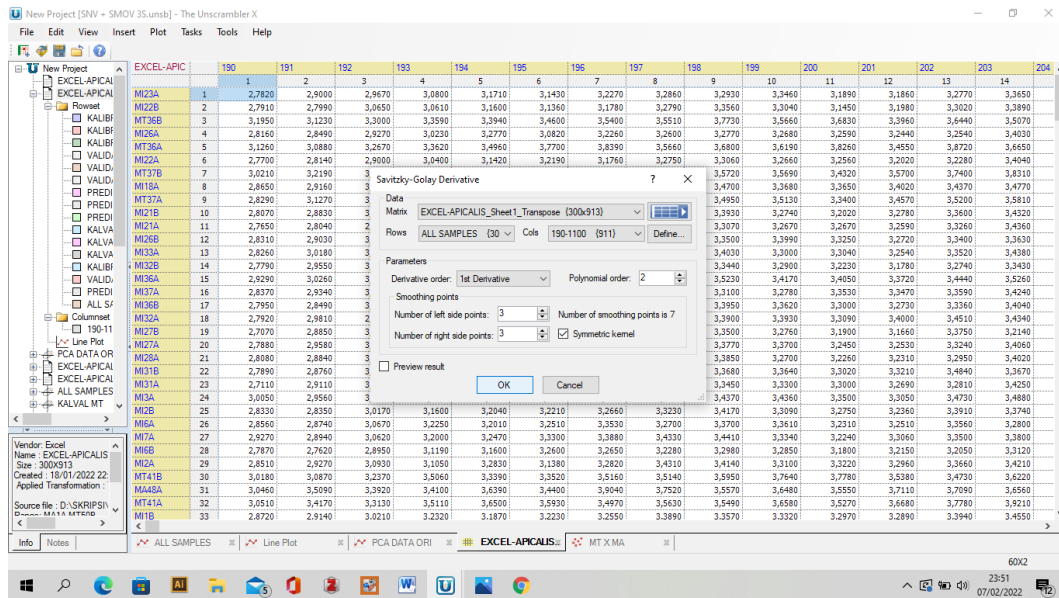
Gambar 25. Tampilan transformasi data *smoothing moving average*

Pada saat transformasi data menggunakan *normalize* akan muncul jendela yang dapat dilihat pada Gambar 26. Pada *Rows* dipilih “ALL SAMPLES” dan *Cols* dipilih “190-1100 {911}” lalu pilih *type* “Area normalization”.



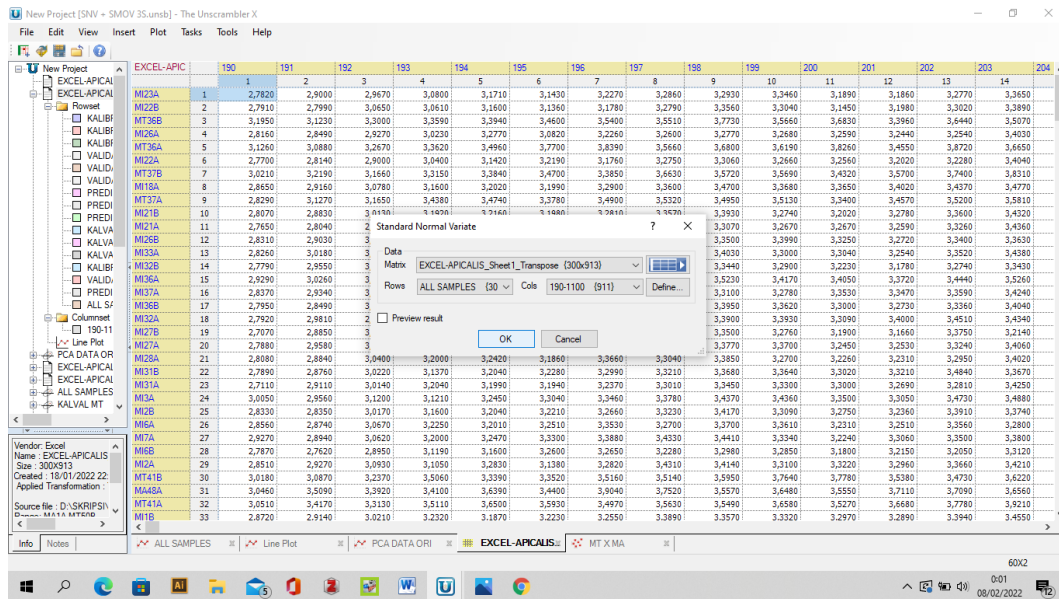
Gambar 26. Tampilan transformasi data *normalization*

Pada transformasi data *derivative* menggunakan *Savitzky-Golay* akan muncul jendela yang berbeda dari yang lain. Pada *Rows* dipilih “ALL SAMPLES” dan *Cols* dipilih “190-1100 {911}”, kemudian pada *derivative order* dipilih 1^{st} *derivative* dan 2^{nd} *derivative* lalu pada *smoothing points* dipilih 3,5,7 dan 9. Jendela yang muncul pada transformasi ini dapat dilihat pada Gambar 27.



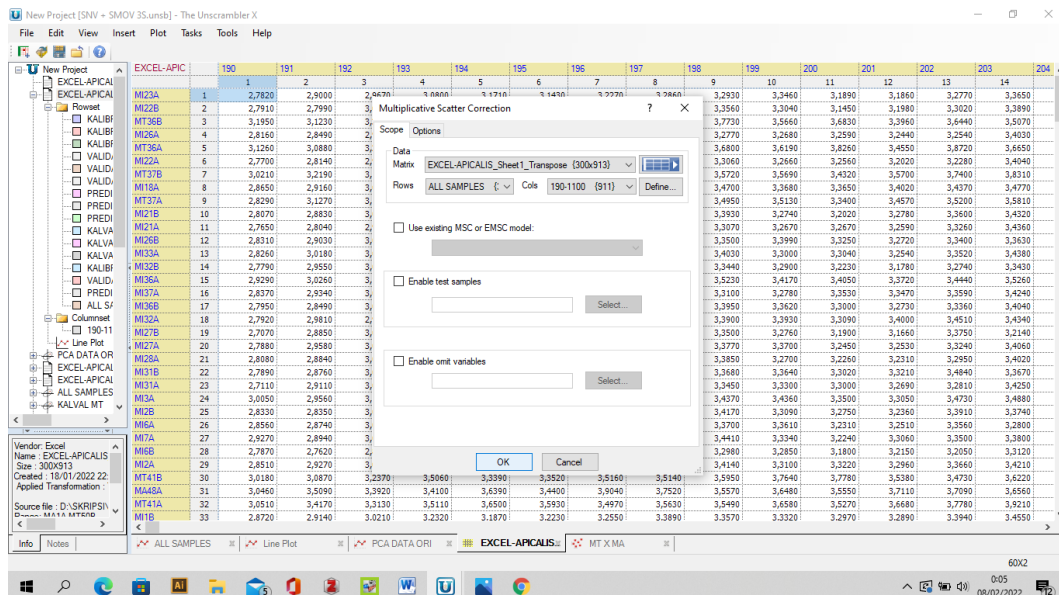
Gambar 27. Tampilan *Savitzky-Golay derivative*

Pada transformasi data menggunakan *standard normal variate* (SNV) akan muncul jendela untuk memilih *Rows* dan *Cols* seperti sebelumnya. Pada *Rows* dipilih “ALL SAMPLES” dan pada *Cols* dipilih “190-1100 {911}”. Namun pada transformasi data SNV tidak ada pemilihan *segment size*. Tampilan transformasi data SNV disajikan pada Gambar 28.



Gambar 28. Tampilan transformasi data menggunakan SNV

Pada transformasi data menggunakan MSC akan muncul jendela seperti sebelumnya untuk memilih *Rows* dan *Cols*. Pada *Rows* dipilih “ALL SAMPLES” dan pada *Cols* dipilih “190-1100 {911}”. Kemudian klik OK pada pojok kiri jendela. Tampilan transformasi data menggunakan MSC/EMSC disajikan pada Gambar 29.



Gambar 29. Tampilan transformasi data menggunakan MSC/EMSC

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini, sebagai berikut:

1. Hasil penelitian penggunaan *UV-Vis spectroscopy* dengan metode kemometrika terbukti berhasil dalam mengidentifikasi tiga jenis madu dari lebah tidak bersengat secara cepat dan akurat.
2. Hasil yang diperoleh dari presentase PCA ketiga jenis sampel lebah tidak bersengat (MA, MI dan MT) dari data *original* berhasil menjelaskan keragaman data sebesar 99% dengan nilai PC-1 95% dan PC-2 4%. Hasil terbaik data *pretreatment* didapatkan dari data transformasi *standard normal variate* (SNV) yang dikombinasikan dengan *smoothing moving average 3 segment* dengan nilai kumulatif PC sebesar 100% (nilai PC-1 90% dan PC-2 10%).
3. Dari hasil analisis *X-Loadings*, madu *Heterotrigona itama* dan *Tetrigona apicalis* memiliki panjang gelombang sensitive di 280 nm yang mengartikan bahwa kedua madu tersebut diduga banyak mengandung senyawa flavonoid dan protein sedangkan pada madu *Geniotrigona thoracica* memiliki panjang gelombang sensitive di 360 nm yang diduga menyerap asam fenolik, senyawa tersebut dapat mengaktifkan zat antibakteri dan antivirus.
4. Hasil klasifikasi sampel tiga jenis lebah madu tak bersengat menggunakan perhitungan matriks konfusi dari data *original* dan *pretreatment* menghasilkan nilai akurasi sebesar 100%, sensitivitas sebesar 100% dan spesifisitas sebesar 100% serta eror 0%.
5. Model SIMCA yang dibangun berhasil mengidentifikasi madu dari tiga jenis lebah tidak bersengat (*stingless bees*) yaitu jenis *Tetrigona apicalis*,

Heterotrigona itama dan *Geniotrigona thoracica* serta ketiga jenis madu dapat diklasifikasikan sesuai kelasnya. Berdasarkan kurva ROC dari nilai sensitivitas dan 1-spesifisitas dinyatakan ke dalam kategori luar biasa.

5.2. Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat lebih banyak lagi meneliti madu khususnya madu dari lebah tidak bersengat dari berbagai wilayah di Indonesia yang memiliki kecenderungan harga yang lebih mahal dibandingkan dengan madu lainnya dan dilakukannya pengidentifikasian madu menggunakan metode kemometrika lain seperti PLS dan LDA.

DAFTAR PUSTAKA

- Achyani, & w, dimas. (2019). *Kiat Praktis Budidaya Lebah Trigona (Heterotrigona itama)* (Metro). CV.Laduny Alifatama.
- Adji, S. (2007). *Terapi Madu* (Jakarta). Penebar Swadaya.
- Adriani, R. (2011). *Identifikasi Dan Karakterisasi Sifat Kimia dan Sifat Fisika Dari Madu Asli Dengan Madu Yang Dijual Di Pasaran Medan* [Skripsi]. Universitas Sumatra Utara.
- Agussalim, Agus, A., Umami, N., & Suparta Budisatria, I. G. (2016). Variasi Jenis Tanaman Pakan Lebah Madu Sumber Nektar Dan Polen Berdasarkan Ketinggian Tempat Di Yogyakarta. *Buletin Peternakan*, 41(4), 448–460.
- Apratiwi, N. (2016). *Studi Penggunaan UV-Vis Spectroscopy Untuk Identifikasi Campuran Kopi Luwak dengan Kopi Arabika* (Bandar Lampung) [Skripsi, Universitas Lampung]. 55 pp.
- Ardiansyah, R. F. (2013). *Pengenalan Pola Tanda Tangan dengan Menggunakan Metode Principal Component Analysis (PCA)* (Semarang) [Skripsi, Universitas Dian Nuswantoro]. 62 pp.
- Balabin, R. M., R.Z, S., & E.I., L. (2010). *Gasoline classification using near infrared (NIR) spectroscopy data: Comparison of multivariate techniques*. 67(1), 27–35.
- Balai Kesatuan Pengelolaan Hutan. (2019). *Pengelolaan Koloni Lebah Madu Bagian 2* [Artikel]. Dinas Lingkungan Hidup Dan Kehutanan, Yogyakarta.
- Baroni, M., Podio, N., Badini, R., Inga, M., Oстера, O., Cagnoni, M., Gautier, E., Peral García, P., Hoogewerff, J., & Wunderlin, D. (2015). *Linking soil, water, and honey composition to assess the geographical origin of argentinean honey by multielemental and isotopic analyses*. 63(18), 4638–4645.
- Basset, J., Denny, R. C., Jeffery, G. H., & Mendham, J. (1994). *Buku Ajar Vogel Kimia Analisis Kuantitatif Anorganik* (Jakarta). Buku Kedokteran EGC.

- Berrueta, L. A., R.M, A., & K, H. (2007). Supervised pattern recognition in food analysis. *Journal of Chromatography*, 11(58), 196–214.
- Boffo, E. F., Tavares, L. A., Tobias, A. C. T., Ferreira, M. M. C., & Ferreira, A. G. (2012). Identification of Components of Brazilian Honey by ¹HNMR and Classification of Its Botanical Origin by Chemometric Methods. *LWT-Food Science and Technology*, 49(1), 55–63.
- Camo. (2005). *The unscramble methods*.
- Citasari, D. (2015). *Penentuan Adulterasi Daging Babi pada Nugget Ayam Menggunakan NIR dan Kemometrik* [Skripsi]. Universitas Jember.
- Cotte, J. F., Casabianca, H., Cardon, S., Lheritier, J., & Grenier-Loustalot, M. F. (2004). Chromatographic Analysis of Sugars Applied to the Characterisation of Monofloral Honey. *Analytical Bioanalytical Chemistry*, 380(4), 698–705.
- Edinburgh Instruments. (2022). The Beer-Lambert Law. *Blog The Beer-Lambert Law*. <https://www.edinst.com/us/blog/the-beer-lambert-law/>
- El Sohaimy, S., Abdelwahab, A., & Brennan, C. (2015). Phenolic content, antioxidant and antimicrobial activities of Egyptian Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) Fruits. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 9(1), 141–147.
- Faisal, M., & Nugrahadi, D. (2019). *Belajar Data Science Klasifikasi dengan Bahasa Pemrograman R*. Scripta Cendekia.
- Fatoni, A. (2015). *Analisa Secara Kualitatif dan Kuantitatif Kadar Kafein dalam Kopi Bubuk Lokal yang Beredar di Kota Palembang Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis* (Palembang) [Laporan Penelitian Mandiri, Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Bhakti Pertiwi]. 118 pp.
- Fawcett, T. (2006). An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters*, 27, 861–874.
- 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* (114th ed.). Food Chemistry.
- Firmansyah, R. (2019). *Penggunaan Uv-Vis Spectroscopy Dan Metode Simca Untuk Identifikasi Madu Lebah Hutan (Apis dorsata) Berdasarkan Sumber Nektar* (Lampung) [Skripsi]. Universitas Lampung.
- Gheldof, N., & Engeseth, N. (2002). *Antioxidant capacity of honeys from various floral sources based on the determination of oxygen radical absorbance*

capacity and inhibition of in vitro lipoprotein oxidation in human serum samples. 50(10), 3050–3055.

- Gholib, I. (2007). *Pengantar Kimia Farmasi* (Yogyakarta). Pustaka Pelajar; 485 hlm.
- Graham, N. S., Raine, E. N., Matthew, P., & Pat, G. W. (2003). *Pollination ecology of Acacias (Fabaceae, Mimosoideae). 16. 103–118.*
- Hadiwiyoto, S. (1980). *Pedoman Pemeliharaan Tawon Madu* (Jakarta). Pradnya Paramita.
- Handayani, F. N. (2016). *Studi Penggunaan Metode Analisis Berbasis Uv-Vis Spectroscopy untuk Membedakan Kopi Luwak Asli dan Kopi Campuran. Luwak-Robusta Secara Cepat* (Lampung) [Skripsi, Universitas Lampung]. 114 pp.
- Hartawan, I. gusti ngurah bagus andre, Arsa, M., Ariati, N. komang, & Wirajana, I. nengah. (2015). Isolasi DNA Metagenomik Dari Madu Dengan Dan Tanpa Pengayaan Media LB (Luria-Bertani). *Universitas Udayana, Bali, 9(2), 189–195.* Bali.
- Hartono, P. (2019). *Penggunaan Uv - Visible Spectroscopy Dan Metode Simca Untuk Diskriminasi Madu Kelengkeng(Euphoria longana sp) dan Madu Karet (Hevea brasilliensis) PT Madu Pramuka* (Lampung) [Skripsi]. Universitas Lampung.
- Honey in dermatology and skin care: A review.* (2013). [by B. Burlando & L. Cornara]. *12(4), 306–313.*
- Jannah, R. (2014). *Diskriminasi Temu Lawak, Temu Mangga, Temu Hitam, Dan Kunyit Menggunakan Spektrum Ultraviolet-Tampak dan Kemometrika* [Skripsi]. Institut Pertanian Bogor.
- Kahono, S., & Erniwati. (2014). Keragaman Dan Kelimpahan Lebah Sosial (Apidae) Pada Bunga Tanaman Pertanian Musiman Yang Diaplikasi Pestisida Di Jawa Barat. *Bidang Zoologi, Pusat Penelitian Biologi - LIPI, 13(3).*
- Kementrian Pertanian. (2015). *Pedoman Upaya Khusus (Upsus) Peningkatan Produksi Padi, Jagung Dan Kedelai Melalui Program Perbaikan Jaringan Irigasi Dan Sarana Pendukungnya Tahun Anggaran 2015.*
<https://diperpautkan.bantulkab.go.id/filestorage/dokumen/2017/03/Permentan%20Nomor%20003-2015%20Pedoman%20Upsus%20pajale.pdf>

- Khasanah, N. U. (2021). *Studi Penggunaan Metode Uv-Vis Spektroskopi Dan Kemometrika Untuk Identifikasi Madu Multiflora Dari Empat Jenis Lebah Di Indonesia* (Lampung) [Skripsi]. Universitas Lampung.
- Khopkar, S. M. (1990). *Konsep Dasar Kimia Analitik* (Jakarta). Universitas Indonesia.
- Kim, Dhage, Shim, & Hahn. (2009). *Intense pulsed light sintering of copper nanoink for printed electronics*. Applied Physic A Material Science and Processing.
- Kuntadi, Adalina, Y., & Widiarti, A. (2012). *Pembaharuan Agroforestri Indonesia: Benteng Terakhir Kelestarian, Ketahanan Pangan, Kesehatan dan Kemakmuran* (Jawa Barat). Balai Penelitian Teknologi Agroforestri.
- Kusumaningrum, D., Hoonsoo, L., Lohumi, S., Changyeun, M., Kim, M. S., & Cho, B. K. (2017). *Non-Destructive Technique for Determining the Viability of Soybean (Glycine Max) Seeds Using FT-NIR Spectroscopy*. 98(5), 1734–1742.
- Lamerkabel, S. A. (2011). *Mengenal Jenis-Jenis Lebah Madu, Produk-Produk Dan Cara Budidayanya*. *Alumni Pasca Sarjana, Universitas Negeri Jakarta*, 9(1), 70–77.
- Lavine, B. K. (2009). *Comprehensive Chemometric: Chemical and Biochemical Data Aarlysis Volume III [Review of Comprehensive Chemometric: Chemical and Biochemical Data Aarlysis Volume III, by B. Walczak, R. Tauler, & S. Brown]*. *Oxford*, 587–599.
- Major, N., Markovic, K., Krpan, M., Saric, G., Hruskar, M., & Vahc ic, N. (2011). *Rapid Honey Characterization and Botanical Classification by An Electronic Tongue*. *Talanta Journal*, 85(1), 569–574.
- Mazaya. (2019). *Mengenal Lebah Madu & Koloninya.Taman Wisata Lebah*. <http://www.tamanwisatalebah.com/mengenal-lebah-madu-koloninya/>
- Miller, J. N., & Miller, J. C. (2000). *Statistics and Chemometrics for Analytical Chemistry* (4th Edition). Pearson Education; Harlow.
- Moar, N. T. (1985). *Pollen Analysis of New Zealand Honey*. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 28(1), 39–70.
- Mubayinah, A., Kuswandi, B., & Wulandari, L. (2016). *Penentuan Adulterasi Babi pada Sampel Burger Sapi Menggunakan Metode NIR dan Kemometrik*. 4(1), 35–40.
- Mulja, M. (1995). *Analisis Instrumental* (Surabaya). Universitas Airlangga Press.

- Mulyono, Susdiyanti, T., & Supriono, B. (2015). *Kajian ketersediaan pakan lebah madu lokal (apis cerana fabr.). 16(2)*, 19-26 p.
- Noviarty, & Angraini, D. (2013). *Analisis Neodimium Menggunakan Metoda Spektrofotometri Uv-Vis. 11(6)*, 9–17.
- Nuari, S., Anam, S., & Khumaidi, A. (2017). Isolasi dan Identifikasi Senyawa Flavonoid Ekstrak Etanol Buah Naga Merah (*Hylocereus polyrhizus* (F.A.C.Weber) Britton & Rose). *Creative Commons Attribution 4.0 International License, 3(2)*, 118–125.
- Nurchahyo, B. (2015). *Identifikasi dan Autentikasi Meniran (Phyllanthus Niruri) Menggunakan Spektrum Ultraviolet Tampak dan Kemometrika* [Skripsi]. Institut Pertanian Bogor.
- Piana, M., Oddo, L., Bentabol, A., Bruneau, E., Bogdanov, S., & Declerck, C. G. (2004). Sensory Analysis Applied to Honey. *State of Art Apidologie, 35*, 26–37.
- Piljac-Zegarac, J., Stipcevic, T., & Belščak, A. (2009). *Antioxidant properties and phenolic content of different floral origin honeys. 1(2)*, 43–50.
- Pita-Calvo, C., Guerra-Rodríguez, M., & Vázquez, M. (2017). *Analytical methods used in the quality control of honey. 65(4)*, 690–703.
- Pramuka, A. (1988). *Lebah Madu Madu Lebah di Indonesia Tahun 2000*. Pusat Apiari Pramuka.
- Priawandiputra, W., Azizi, M. G., Rismayanti, & Djakaria, K. M. (2018). *Lebah Tanpa Sengat (Stingless Bees) dan Tumbuhan Pakannya di Lubuk Bintialo dan Pangkalan Bulian, Sumatera Selatan*. ZSL Indonesia.
- Priawandiputra, W., Azizi, M. G., Rismayanti, Djakaria, K. M., Wicaksono, A., Raffiudin, R., Atmowidi, T., & Buchori, D. (2020). *Lebah Tanpa Sengat (Stingless Bees) di Desa Perbatasan Hutan (Sumatera Selatan; 1st ed.)*. ZSL Indonesia.
- Pribadi, A. (2020). Produktivitas Panen Propolis Mentah Lebah *Trigona itama* Cockerell (Hymenoptera: Apidae) Menggunakan Propolis Trap dan Manipulasi Lingkungan di Riau. *Majalah Ilmiah Biologi Biosfera, 37*, 60–68. <https://doi.org/10.20884/1.mib.2020.37.2.1045>
- Prieto, B. G. (2017). *Ovel Variable Influence on Projection (VIP) Methods in OPLS, O2PLS, and OnPLS Models for Single- and Multiblock Variable Selection* [Thesis, Umeå University]. Department of Chemistry Industrial Doctoral School.

- Purba, C. P., Nanggara, S., Ratriyono, M., Apriani, L., Rosalina, L., Sari, N., & Meridian, A. (2014). Potret keadaan hutan Indonesia 2009-2013. *Forest Watch Indonesia*.
- Pyrzynska, K., & Magdalena, B. (2009). *Analysis of Phenolic Acids and Flavonoids in Honey*. 101(7), 893–902.
- Rahayu, C. (2012). *Analisis Kualitatif Dan Kuantitatif Kandungan Senyawa Total Polifenol Dan Flavonoid Madu Paliasa Secara Spektrofotometri Uv-Vis* (Makassar) [Skripsi]. Universitas Hasanuddin.
- Rahman, N. (2012). *Uji Pengaruh Bee Pollen Terhadap Efek Tonik Madu Dari Spesies Lebah (Apis Mellifera) Pada Mencit Putih Jantan Galur Swiss Webster* (Surakarta) [Skripsi]. Fakultas Farmasi Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Reyes, F. C., Penuelas, C., Quintanar-Stephano, J. L., Macias-Lopez, E., Bujdud-Perez, J. M., & Medina-Ramirez, I. (2017). Spectroscopic Study of Honey from *Apis Millifera* from Different Regions in Mexico. *Spectrochimica Acta – Part A*, 178, 212–217.
- Robbins, R. J., & Bean, S. R. (2004). *Development of a quantitative high-performance liquid chromatography–photodiode array detection measurement system for phenolic acids*. 1038(1–2), 97–105.
- Rohman, A. (2014). *Statistika dan Kemometri Dasar dalam Analisis Farmasi* (Yogyakarta). Pustaka Pelajar.
- Rusfidra. (2006). *Kajian Ketersediaan Pakan Lebah Madu Lokal (Apis cerena Fabr.)*. *Fakultas Kehutanan Universitas Nusa Bangsa*, 16(2).
- Sambodo, N. (2009). *Uji Efek Tonik Madu Rambutan Pada Mencit Putih Jantan Dengan Metode Natatory Exhaustion* (Surakarta) [Skripsi]. Fakultas Farmasi Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Samotaev, N., Vasilyev, V., Malkin, E., Gromov, E., Belyakov, V., Golovin, A., Pershenkov, V., Ivanov, I., Shaltaeva, Y., & Matusko, M. (2015). *System for synchronous detection trace of explosives and drags substances on human fingers*. *Procedia Engineering*.
- Sanjaya, V., Astiani, D., & Sisillia, L. (2019). *Studi Habitat Dan Sumber Pakan Lebah Kelulut Di Kawasan Cagar Alam Gunung Nyiut Desa Pisak Kabupaten Bengkayang*. *Fakultas Kehutanan Universitas Tanjungpura*, 7(2), 786–798.
- Sarwono, B. (2001). *Lebah Madu* (Jakarta). Agro Media Pustaka.

- Schuhfried, E., Sanchez del Pulgar, J., Bobba, M., Piro, R., Cappellin, L., Tilmann, D. M., & Biasioli, F. (2016). *Classification of 7 Monofloral Honey Variates by PTR-ToF-MS Direct Headspace Analysis and Chemometrics*. 147, 213–219.
- Sirait, R. A. (2009). *Penerapan metode spektrofotometrin ultraviolet pada penetapan kadar nifedipin dalam sediaan tablet* (Medan) [Skripsi]. Universitas Sumatera Utara.
- Suhandy, D., & Yulia, M. (2019). *Tutorial Analisis Data Spektra Menggunakan The Unscrambler*. Graha Ilmu; Yogyakarta.
- Suhandy, D., & Yulia, M. (2020). *Teknologi Near Infrared Spectroscopy Portable Untuk Kuantifikasi Atribut Mutu Buah-Buahan*. Graha Ilmu.
- Suranto, A. (2004). *Khasiat dan Manfaat Madu Herbal* (Tangerang). Agromedia Pustaka.
- Suranto, A. (2008). *Khasiat dan Manfaat Madu Herbal*. PT. AgroMedia Pustaka.
- Taguchi, G. (2001). *Taguchi Method*. T.F. Cheng.
- Tjitrosoepomo. (1997). *Budidaya Lebah Madu Indonesia* (Jakarta). Erlangga.
- Varmuza, K., & Filzmoser, P. (2016). *Introduction to multivariate statistical analysis in chemometrics*. CRC press.
- Warisno. (1996). *Budidaya Lebah Madu* (Yogyakarta). Kanisius.
- Wibowo, B. A., Rivai, M., & Tasripan. (2016). Alat Uji Madu Menggunakan Sensor dan Polarimeter. *Jurnal Teknik ITS*, 5(1), 28–33.
- Widowati, R. (2021). *Karakteristik Kimia Madu stinglessbee *Tetragonula sapiens* Sebagai Penghambat Sel kanker*. Pusat Kajian Bioteknologi, Universitas Nasional.
- Wiratmoko. (2018). Tumbuhan Sumber Pakan Lebah Madu Jenis Trigona Spp Di Hutan Rawa Gambut. *Seminar Nasional Pelestarian Lingkungan (SENPLING)*, 58-64 hlm.
- Yasilnacar, E. K. (2005). *The Application of Computational Intelligence to Landslide Susceptibility Mapping in Turkey*. Melbourne: Department of Geomatics the University of Melbourne.
- Zaini, M. F. (2019). *Studi Penggunaan Uv-Vis Spectroscopy Dan Metode Simca Untuk Klasifikasi Madu Hutan Berdasarkan Letak Geografis* [Skripsi, Universitas Lampung]. Lampung.