

**PENGGUNAAN UV-VIS SPEKTROSKOPI DAN METODE
KEMOMETRIKA UNTUK MENGIDENTIFIKASI PEMALSUAN MADU
MONOFLORA (*Acacia mangium*) LEBAH TANPA SENGAT
(*Heterotrigona itama*) DENGAN BAHAN PEMANIS HFCS-55**

(Skripsi)

Oleh

ANNISY SYAHIDA AULIA MAHBU BILAH



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2022

**PENGGUNAAN UV-VIS SPEKTROSKOPI DAN METODE
KEMOMETRIKA UNTUK MENGIDENTIFIKASI PEMALSUAN MADU
MONOFLORA (*Acacia mangium*) LEBAH TANPA SENGAT (*Heterotrigona
itama*) DENGAN BAHAN PEMANIS HFCS-55**

Oleh

ANNISY SYAHIDA AULIA MAHBU BILAH

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

PENGGUNAAN UV-VIS SPEKTROSKOPI DAN METODE KEMOMETRIKA UNTUK MENGIDENTIFIKASI PEMALSUAN MADU MONOFLORA (*Acacia mangium*) LEBAH TANPA SENGAT (*Heterotrigona itama*) DENGAN BAHAN PEMANIS HFCS-55

OLEH

ANNISY SYAHIDA AULIA MAHBU BILAH

Sebagai madu premium, madu monoflora dari lebah tanpa sengat *Heterotrigona itama* adalah produk yang memiliki resiko pemalsuan yang tinggi. Salah satu bentuk pemalsuan madu yaitu mencampurnya dengan bahan pemanis buatan, namun tertulis sebagai madu murni pada label. Untuk mengantisipasinya maka penting untuk memiliki sistem autentikasi sehingga dapat memberikan hak keaslian produk bagi konsumen dan produsen mendapatkan kepercayaan dari konsumen. Penelitian ini memanfaatkan spektroskopi *UV-visible* dan metode kemometrika untuk mengidentifikasi pemalsuan madu lebah *Heterotrigona itama* dari nektar *Acacia mangium* yang dicampur HFCS-55. Sampel madu *H. itama* murni (MI) berjumlah 20 sampel dan madu campuran (MC) berjumlah 120 sampel. Data spektra diukur pada rentang panjang gelombang 190-1100 nm, interval 1 nm, dan menggunakan mode absorbansi.

Data spektra original ditransformasi dengan beberapa kombinasi dari lima jenis *pretreatment* yaitu *smoothing moving average*, *multiplicative scatter correction* (MSC), *standard normal variate* (SNV), *normalize*, dan Savitzky-Golay. Model SIMCA yang menggunakan data hasil *pretreatment* MSC + *smoothing moving average 5 segment* mampu mengklasifikasi seluruh sampel dengan benar dan memberikan nilai sempurna dengan akurasi 100%, sensitivitas 100%, spesifisitas 100%, dan nilai *error* 0%. Sedangkan nilai PC kumulatif dari analisis PCA menunjukkan bahwa 99% varian data dapat dijelaskan dengan baik. Visualisasi *score plot* menampilkan pola sampel MI dan MC yang dapat dibedakan dengan nyata. Pada plot *x-loading* terindikasi puncak gelombang pada 288 nm dan 290 nm, keduanya berkorelasi dengan absorbansi dari flavonoid dan asam fenolik. Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian pendahulu, yang membuktikan bahwa madu mengandung lebih dari 150 senyawa polifenol yang

mengandung flavonoid, fenolik acid, katekin, dan turunan asam sinamik. Sedangkan flavonoid adalah golongan yang mendominasi dalam senyawa fenolik. Saran dari penulis adalah untuk melakukan penelitian lanjutan dengan senyawa fenolik sebagai target dalam klasifikasi. Selain itu dapat dengan melibatkan beragam jenis madu untuk mengetahui lebih banyak senyawa penting yang berkontribusi dalam mengkarakterisasi madu.

Kata kunci: Spektroskopi UV-Vis, SIMCA, monoflora, kemometrika, identifikasi pemalsuan

ABSTRACT

THE USE OF UV-VIS SPECTROSCOPY AND CHEMOMETRIC METHODS TO IDENTIFY ADULTERATION OF STINGLESS BEE (*Heterotrigona itama*) MONOFLORA (*Acacia mangium*) HONEY WITH SWEETENER HFCS-55

By

ANNISY SYAHIDA AULIA MAHBU BILAH

*As premium honey, monoflora honey from the stingless bee *Heterotrigona itama* is a product that has a high risk of adulteration. One form of adulteration of honey is to mix it with artificial sweeteners, but it is written as pure honey on the label. To anticipate this, it is important to have an authentication system so that it can give consumers the right to product authenticity and producers to gain the trust of consumers. This study utilized UV-Visible spectroscopy and chemometric methods to identify adulteration of *Heterotrigona itama* bee honey from *Acacia mangium* nectar mixed with HFCS-55. There were 20 samples of pure *H. itama* honey (MI) and 120 samples of mixed honey (MC). Spectral data were measured in the wavelength range 190-1100 nm, 1 nm interval, and using absorbance mode.*

The original spectral data were transformed by several combinations of five types of pretreatment, namely smoothing moving average, multiplicative scatter correction (MSC), standard normal variate (SNV), normalize, and Savitzky-Golay. The SIMCA model using MSC + smoothing moving average 5 segment pretreatment data was able to classify all samples correctly and gave perfect scores with 100% accuracy, 100% sensitivity, 100% specificity, and 0% error value. While the cumulative PC value from PCA analysis shows that 99% of the data variance can be explained well. The score plot visualization shows the MI and MC sample patterns that can be distinguished significantly. The x-loading plot indicated wave peaks at 288 nm and 290 nm, both correlated with the absorbance of flavonoids and phenolic acids. This is by the results of previous studies, which proved that honey contains more than 150 polyphenolic compounds containing flavonoids, phenolic acids, catechins, and cinnamic acid derivatives. While flavonoids are the dominant group in phenolic compounds. The suggestion from the author is to carry out further research with phenolic compounds as

targets in the classification. Another suggestion is to involve various types of honey to find out more important compounds that contribute to the characterization of honey.

Keywords: *UV-Vis spectroscopy, SIMCA, monoflora, chemometrics, identification of adulteration*

Judul Skripsi

: **PENGGUNAAN UV-VIS SPEKTROSKOPI
DAN METODE KEMOMETRIKA UNTUK
MENGIDENTIFIKASI PEMALSUAN MADU
MONOFLORA (*Acacia mangium*) LEBAH
TANPA SENGAT (*Heterotrigena itama*)
DENGAN BAHAN PEMANIS HFCS-55**

Nama Mahasiswa

: ***Annisy Syahida Aulia Mahbu Bilah***

Nomor Pokok Mahasiswa

: **1814071004**

Jurusan

: **Teknik Pertanian**

Fakultas

: **Pertanian**



1. **Komisi Pembimbing**

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

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

2. **Ketua Jurusan Teknik Pertanian**

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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

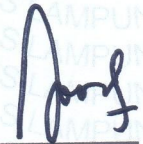
Ketua

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



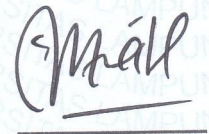
Sekretaris

: Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.



Penguji

Bukan Pembimbing : Meinilwita Yulia, S.TP., M.Agr. Sc.



2. Dekan Fakultas Pertanian



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

NIP. 19611020 198603 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 27 April 2022

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah **Annisy Syahida Aulia Mahbu Bilah** NPM 1814071004.

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing, **1) Dr. Agr. Sc. Diding Suhandy, S.TP., M.Agr.** dan **2) Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.** 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, 27 April.....2022

Yang membuat pernyataan



Annisy Syahida Aulia Mahbu Bilah

NPM 1814071004

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Annisy Syahida Aulia Mahbu Billah, lahir pada tanggal 03 Maret 2000, di Mulyo Asri, Kabupaten Tulang Bawang Barat, Provinsi Lampung. Penulis merupakan anak pertama dari Bapak Muhammad Iqbal dan Ibu Sumiyati. Pendidikan yang ditempuh oleh penulis dimulai dari Taman Kanak-kanak (TK) Al-Munawaroh Mulyo Asri pada tahun 2006, kemudian Sekolah Dasar (SD) di SD N 2 Rejo Asri pada tahun 2007 hingga tahun 2012, dilanjutkan dengan Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP N 2 Kotagajah pada tahun 2013 hingga tahun 2015, dan menempuh Sekolah Menengah Akhir (SMA) di SMA N 1 Kotagajah pada tahun 2015 hingga tahun 2018.

Sejak tahun 2018, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Selama menjadi mahasiswa penulis terdaftar dan aktif di Forum Studi Islam Fakultas Pertanian (FOSI FP) sebagai anggota bidang Kemuslimahan periode 2018-2019 dan sebagai sekretaris bidang Kemuslimahan periode 2019-2020. Penulis juga terdaftar dan aktif dalam Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) pada periode 2018-2019 sebagai anggota bidang Keprofesian. Selain itu penulis terdaftar dan aktif dalam Lembaga Dakwah Kampus Bina Rohani

Islam Unila pada periode 2018-2019 sebagai anggota departemen Kajian Ilmiah Islam dan Keumatan.

Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode 1 pada tanggal 07 Februari hingga 01 Maret 2021 di Desa Kotagajah Timur, Kecamatan Kotagajah, Kabupaten Lampung Tengah. Kemudian penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di PT Suhita Lebah Indonesia, Kota Bandar Lampung, pada tanggal 01 Agustus hingga 04 September 2021. Kegiatan yang dilakukan selama Praktik Umum yaitu turut serta dalam proses pasca panen madu hingga pengemasan. Judul laporan praktik umum yang disusun oleh penulis berjudul “Mempelajari Penurunan Kadar Air Tanpa Pemanasan terhadap Madu Lebah Tak Bersengat Menggunakan Metode Dehumidifikasi dan Mempelajari Pasca Panen di PT Suhita Lebah Indonesia Kota Bandar Lampung”.



Persembahan

Ilmu seujung kuku
Amalan sebutir debu
Diterima atau tidak tak ada yang tahu
Semoga yang sedikit ini terus terjaga,
Sampai pada Ridha-Nya.

Karya ini kupersembahkan untuk :

Allah ﷻ

Yang dengan persaksianku aku berucap
Bahwa kasih sayang-Nya tak pernah habis
Yang dengan kasih sayang itu Ia menghadirkan
Ibundaku, Buyaku, dan orang-orang tercintaku.
Dengan kasih sayang yang sama pula
Ia menuntunku menimba dari sumur ilmu-Nya.

*Alhamdulillah, Wash salatu was salamu
'ala Rasulillah.*



SANWACANA

Segala puji bagi Allah ﷻ, tidak ada ilmu selain apa yang Ia ajarkan kepada kami. Muara bagi seluruh kekaguman, tidak ada kemudahan selain yang Ia jadikan mudah. Saya ucapkan rasa syukur atas ArRahman dan ArRahim-Nya, memberi kesempatan menuntut ilmu sehingga menyadari betapa sedikitnya ilmu yang dimiliki dihadapan ilmu-Nya yang tak terbatas. Sholawat teriring salam semoga selalu tercurah kepada Baginda Rasulullah Muhammad ﷺ, dan keluarga, serta para sahabatnya. Skripsi yang berjudul **“Penggunaan UV-Vis Spektroskopi dan Metode Kemometrika untuk Mengidentifikasi Pemalsuan Madu Monoflora (*Acacia Mangium*) Lebah Tanpa Sengat (*Heterotrigona Itama*) dengan Bahan Pemanis HFCS-55”** adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di Universitas Lampung.

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

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung atas dukungannya dalam administrasi skripsi ini.
2. Bapak Dr Ir. Sandi Asmara, M.Si., selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, sebagai pembimbing akademik, dan dosen pembimbing kedua atas waktu yang diluangkan dalam memberi bimbingan dan nasehat untuk penulis.
3. Bapak Dr. Agr. Sc. Diding Suhandy, S.TP., M.Agr., selaku dosen pembimbing utama yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, nasihat, saran, dan motivasi pada berbagai tahap penyelesaian skripsi.

4. Ibu Meinilwita Yulia, S.TP., M. Agr. Sc., selaku dosen pembahas yang telah memberikan nasihat, saran, dan kritik yang membangun selama proses penyusunan skripsi.
5. Seluruh Dosen Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung yang dengan ikhlas menyampaikan ilmunya sejak awal perkuliahan, memberi nasihat, dan motivasi, serta teladan yang baik bagi seluruh mahasiswanya.
6. Bundaku Sumiyati dan Buyaku Muhammad Iqbal (rahimahullah) atas keridhaannya, kedua adikku Amru Haidar Ahmad Nurrasyid dan Rafif Khoirul Anam, serta seluruh keluarga, atas dukungan, nasihat-nasihat terbaik, cinta yang begitu luas, dan doanya yang tidak pernah terputus.
7. Sahabatku, *reminders*, temen duduk bertiga, *special gift from Allah* (ceilabh), Amira Sakina Putri dan Maya Elinta.
8. Keluarga Teknik Pertanian 2018 atas rasa kekeluargaan, semangat dan dukungannya selama perkuliahan.
9. Keluarga besar FOSI FP sebagai lingkungan taat yang mengajarkan ketulusan ukhuwah, dan penyemangat untuk terus memperbaiki diri.
10. Kak Nurul Uswatun Khasanah, mba Binti Khoiriyah, dan kak Mega Laskarwati yang telah memberi arahan, referensi, dan menjawab berbagai pertanyaan selama penelitian dan penyusunan skripsi.

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

Bandar Lampung,2022

Penulis

Annisy Syahida Aulia Mahbu Bilah

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xx
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Hipotesis.....	6
1.6 Batasan Masalah.....	7
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Lebah Penghasil Madu	8
2.1.1 Lebah Trigona	9
2.1.2 Klasifikasi dan Morfologi Lebah Trigona.....	10
2.2 Madu.....	12
2.3 Perbandingan Madu Lebah Tidak Bersengat dengan Lebah Bersengat.....	13
2.4 Sifat Fisik Madu	14
2.5 Jenis-Jenis Madu	17
2.6 Sirup Jagung	18
2.7 <i>UV-Vis Spectroscopy</i>	19
2.8 Metode Kemometrika.....	23
2.8.1 <i>Principal Component Analisis (PCA)</i>	24
2.8.2 <i>SIMCA (Soft Independent Modelling of Class Analogies)</i>	28
2.8.3 <i>Confusion Matrix</i>	29
III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	35
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	35
3.3 Prosedur Penelitian.....	35

3.3.1	Persiapan Alat	36
3.3.2	Prosedur Persiapan Bahan	37
3.3.3	Pengukuran Spektra dengan Spektrometer	43
3.3.4	Membuat 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 Modeling of Class Analogy</i> (SIMCA)	51

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1.	Analisis Spektra Madu <i>Heterotrigona itama</i> Nektar <i>Acacia mangium</i>	53
4.1.1.	Analisis Spektra Madu <i>H. itama</i> Murni dan Campuran Menggunakan Data Spektra Original dengan Panjang Gelombang 190-1100 nm	55
4.1.2.	Analisis Spektra Madu <i>H. itama</i> Murni dan Campuran Menggunakan <i>Pretreatment MSC + Smoothing Moving Average 5S</i>	58
4.2.	Hasil <i>Principal Component Analysis</i> (PCA).....	61
4.2.1	Hasil Analisis PCA Terhadap Data Spektra Original pada Panjang Gelombang 190-1100 nm	62
4.2.2.	Hasil Analisis PCA Terhadap Data Perbaikan <i>MSC + Smoothing Average 5S</i> 66	
4.3.	Model <i>Soft Independent Modelling of Analogy</i> (SIMCA) pada Panjang Gelombang 190-1100 nm	70
4.3.1.	Model <i>Soft Independent Modelling of Class Analogy</i> (SIMCA) Menggunakan Data Spektra <i>Original</i>	71
4.3.2.	Model <i>Soft Independent Modelling of Class Analogy</i> (SIMCA) Menggunakan Data Spektra dengan <i>Pretreatment MSC + Smoothing Moving Average 5 Segment</i>	73
4.4.	Klasifikasi Menggunakan Sampel Baru (sampel prediksi)	75
4.4.1.	Klasifikasi Menggunakan Data Original.....	75
4.4.2.	Klasifikasi Menggunakan Data <i>Pretreatment MSC + Smoothing Moving Average 5 Segment</i>	76
4.5.	<i>Coomans Plot</i>	77
4.5.1.	<i>Coomans Plot</i> Menggunakan Data Spektra Original pada Panjang Gelombang 190-1100nm	78
4.5.2.	<i>Coomans Plot</i> Menggunakan Data Spektra dengan <i>Pretreatment MSC + Smoothing Moving Average 5 Segment</i> pada Panjang Gelombang 190-1100nm	79
4.6.	Kurva <i>Receiver Operating Characteristic</i> (ROC).....	80
4.6.1.	Kurva ROC Menggunakan Data Spektra Original	80

4.6.2. Kurva ROC Menggunakan Data Spektra Hasil <i>Pretreatment</i> MSC + <i>Smoothing Moving Average 5 Segment</i>	82
V. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan.....	85
5.2. Saran.....	86
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Perbandingan bentuk dan ukuran tubuh <i>Apis cerana</i> dengan <i>Heterotrigona itama</i> (Sumber: Yuwei dan Lin, 2019).	9
Gambar 2. Diagram tampak samping ciri khas lebah tanpa sengat. Bagian yang digunakan dalam mencirikan <i>Hetrotrigona itama</i> disorot dengan warna merah (Sumber: Yuwei dan Lin, 2019).	11
Gambar 3. Prinsip pengukuran pada UV-Vis spectroscopy (Sumber: De Caro dan Claudia, 2015).....	21
Gambar 4. Spektrofotometer array single beam berbasis kuvet: Cahaya beam dari lampu menembus sampel, mengalami didifraksikan oleh pemilah cahaya dan diarahkan ke pendeteksi cahaya (Sumber: De Caro dan Claudia, 2015).....	22
Gambar 5. Prinsip Kerja Proyeksi PC pada PCA (Sumber: Munawar dan Hasanuddin, 2020).....	25
Gambar 6. Plot Score dan <i>Loading</i> pada PCA (Sumber: Zahrok, 2019).....	26
Gambar 7. Diagram alir prosedur penelitian.	36
Gambar 8. Pemanasan sampel menggunakan <i>water bath</i>	37
Gambar 9. Pencampuran Madu dengan HFCS-55	38
Gambar 10. Pengenceran sampel dengan aquades.	39
Gambar 11. Pengadukan sampel menggunakan <i>magnetic stirrer</i>	39
Gambar 12. Persiapan sampel	41
Gambar 13. Diagram Alir Persiapan Sampel	42
Gambar 14. Pengukuran spektra menggunakan UV-Vis spektroskopi	43
Gambar 15. Diagram alir pengambilan spektra.....	44
Gambar 16. Mengimport data dari <i>Microsoft Excel</i> ke The Unscrambler 10.4.	47
Gambar 17. Proses mentranspose Data pada The Unscrambler 10.4.....	48

Gambar 18. Proses membuat kolom <i>Category Variable</i>	48
Gambar 19. Langkah menambahkan <i>level name</i>	49
Gambar 20. Tahap <i>define ranges</i>	50
Gambar 21. Langkah PCA Pada <i>The Unscrambler 10.4</i>	51
Gambar 22. Membangun model SIMCA	52
Gambar 23. Denah lokasi pemanenan sampel di Kabupaten Way Kanan, Provinsi Lampung	53
Gambar 24. Tampilan warna madu <i>H. itama</i> murni MI, madu <i>H. itama</i> campuran MC dan HFCS (dokumen pribadi).....	55
Gambar 26. Grafik nilai rata-rata absorbansi HFCS, MI, MC10-60% menggunakan <i>pretreatment MSC + smoothing moving average 5S</i>	61
Gambar 27. Hasil PCA data spektra original pada panjang gelombang 190-1100 nm berdasarkan level pencampuran yang berbeda.	62
Gambar 28. Hasil PCA data spektra original pada panjang gelombang 190-1100 nm antara kelas sampel MI dan MC.	63
Gambar 29. Grafik <i>x-loading</i> PC-1 dan PC-2 hasil PCA menggunakan spektra original.	65
Gambar 30. Hasil PCA data spektra menggunakan <i>pretreatment MSC + smoothing moving average 5S</i> berdasarkan level pencampuran yang berbeda.	67
Gambar 31. Hasil PCA data spektra menggunakan <i>pretreatment MSC + smoothing moving average 5S</i> antara kelas sampel MI dan MC.	68
Gambar 32. Grafik <i>x-loading</i> PC1 dan PC-2 hasil PCA menggunakan spektra hasil <i>pretreatment MSC + smoothing moving average 5S</i>	69
Gambar 33. Model SIMCA MI menggunakan data spektra original dengan panjang gelombang 190-1100 nm.	71
Gambar 34. Model SIMCA MC level pencampuran 10-60% menggunakan data spektra original pada panjang gelombang 190-1100 nm	72
Gambar 35. Model SIMCA MI menggunakan data spektra dengan <i>pretreatment MSC + smoothing moving average 5S</i> dengan panjang gelombang 190-1100 nm.	73
Gambar 36. Model SIMCA MC menggunakan data spektra dengan <i>pretreatment MSC + smoothing moving average 5S</i> dengan panjang gelombang 190-1100 nm.	74

Gambar 37. <i>Plot coomans</i> hasil klasifikasi model SIMCA MI dan MC menggunakan data spektra original pada panjang gelombang 190-1100 nm.	78
Gambar 38. <i>Plot coomans</i> hasil klasifikasi SIMCA MI dan MC menggunakan data spektra dengan <i>pretreatment</i> MSC + <i>smoothing moving average</i> 5S.	79
Gambar 39. Kurva ROC klasifikasi MI dan MC pada data spektra original.....	82
Gambar 40. Kurva ROC klasifikasi MI dan MC pada data spektra hasil <i>pretreatment</i> MSC + <i>smoothing moving average</i> 5S	83

Lampiran

Gambar 41. Bahan air distilasi (a) dan sampel madu Itama (b)	119
Gambar 42. Larutan sampel pengenceran 1:20 (a) dan HFCS-55 (b).....	119
Gambar 43. Alat yang digunakan <i>UV-Vis Spectrometer Genesys 10S UV-Vis (Thermo Elektron Instrument, USA)</i> (a) <i>Magnetic stirrer Ciblanc TM</i> (b).....	119
Gambar 44. Alat yang digunakan spatula (a) dan pipet tetes (b).	119
Gambar 45. Alat yang digunakan gelas beaker (a) dan gelas ukur (b).....	119
Gambar 46. Grafik spektra sampel menggunakan pengenceran 1:20	119

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Perbandingan Madu Lebah <i>Apis</i> dengan Madu Lebah <i>Trigona</i> . Sumber (Fadhilah & Rizkika, 2015).....	13
Tabel 2. Hubungan Nilai Absorbansi dan Transmittansi (sumber: Edinburgh Instruments, 2022).....	20
Tabel 3. Matriks Konfusi.....	30
Tabel 4. Penomoran Sampel Madu dengan Campuran HFCS	40
Tabel 6. Matriks Konfusi Model SIMCA Kelas MI dan Kelas MC Menggunakan Data Original.....	76
Tabel 7. Matriks Konfusi Model SIMCA Kelas MI dan Kelas MC Menggunakan Data Hasil <i>Pretreatment</i>	77
Tabel 8. Nilai Sensitivitas dan 1-Spesifisitas dari Klasifikasi MI dan MC Menggunakan Data Original pada Beberapa Level Signifikansi	81
<i>Lampiran</i>	
Tabel 10. Glosarium (Suhandy & Yulia, 2019b)	94
Tabel 11. Hasil PCA Menggunakan Data Original pada Panjang Gelombang 190-1100 nm.....	96
Tabel 12. Hasil PCA Menggunakan Perbaikan MSC + <i>Smoothing Moving Average 5S</i> pada Panjang Gelombang 190-1100 nm	103
Tabel 13. Klasifikasi Model SIMCA pada Sampel MI dan MC Data <i>Original</i> pada Panjang Gelombang 190-1100 nm	110
Tabel 14. Klasifikasi Model SIMCA pada Sampel MI dan MC Data Hasil <i>Pretreatment MSC + Smoothing Moving Average 5S</i> pada Panjang Gelombang 190-1100 nm	112

Tabel 15. Hasil Perhitungan Matriks Konfusi dan Nilai PC dari Beberapa Kombinasi <i>Pretreatment</i>	114
Tabel 16. Data <i>Coomans Plot</i> Menggunakan Data Spektra Original Sampel Prediksi MI dan MC	116
Tabel 17. Data <i>Coomans Plot</i> Menggunakan Data Spektra Hasil <i>Pretreatment</i> MSC + <i>Smoothing Moving Average 5S</i> Sampel Prediksi MI dan MC	118

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi aneka ragam jenis lebah penghasil madu dan jenis tanaman berbunga sebagai sumber pakan lebah yang cukup besar untuk memproduksi madu. Potensi aneka ragam hayati di Indonesia seharusnya dapat dioptimalkan untuk memproduksi madu (Firmansyah, 2006). Fakta tersebut juga sesuai dengan pernyataan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2018), bahwa madu merupakan salah satu produk hasil hutan bukan kayu yang menjadi produk unggulan di sektor kehutanan. Dengan luas daratan seluas 193 juta hektar dan luas hutan 188 juta hektar, maka Indonesia mempunyai sumber daya alam lahan yang sangat luas untuk pengembangan industri madu. Setidaknya terdapat 115 tanaman yang dapat menjadi sumber nektar di negeri ini, keadaan alam Indonesia ini sangat cocok untuk usaha peternakan lebah karena kaya akan ragam tanaman bunga. Sepanjang hidupnya, lebah madu selalu bekerja. Selain membantu penyerbukan tumbuhan (polinator) yang secara tidak langsung menjaga kelestarian bumi, lebah madu juga memproduksi berbagai zat yang bermanfaat di bidang kesehatan. Produk yang paling dikenal orang adalah madu (Suranto, 2010).

Madu telah dikenal di seluruh dunia sebagai cairan manis dari nektar yang dikumpulkan dan diproses dalam tubuh lebah, serta memiliki banyak manfaat bagi kehidupan manusia. Manfaat madu bahkan telah dikenal sejak ribuan tahun lalu, sebagaimana firman Allah SWT. yang berbunyi : “Dari perut lebah itu keluar minuman (madu) yang bermacam-macam warnanya, didalamnya terdapat obat yang menyembuhkan bagi manusia. Sungguh, pada yang demikian itu benar-

benar terdapat tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang berpikir.” (Q. S. An-Nahl/16:69)

Madu adalah salah satu sumber daya alam yang dihasilkan oleh lebah dan mengandung banyak nutrisi yang bermanfaat bagi manusia. Hal tersebut dipengaruhi oleh komposisi yang dimilikinya, madu mengandung karbohidrat kompleks, air serta komponen minor. Madu juga banyak mengandung vitamin, mineral, enzim, senyawa organik, asam amino bebas dan senyawa volatil (Baroni et al., 2006). Komposisi pada madu dipengaruhi oleh beberapa hal yakni oleh nektar bunga yang telah dikumpulkan dan dikeluarkan oleh lebah yang menghisapnya, faktor iklim dan kematangan madu (Wibowo et al., 2016).

Kualitas madu merupakan pertimbangan yang sangat penting, dan perlu diperhatikan. Pentingnya memperhatikan kualitas madu karena hal tersebut berkaitan erat dengan khasiat madu yang dibutuhkan masyarakat dan menggambarkan keamanan produk untuk dikonsumsi. Pada awalnya konsumen lebih menekankan pada kualitas yang berhubungan langsung dengan produk madu, karena produk yang dibuat harus dapat memenuhi kepuasan konsumen (Suranto & Riza, 2005).

Kualitas dan kandungan madu akan menentukan harga jual madu. Nilai komersial madu meningkat seiring dengan kualitas dan kandungan madu, terutama karena nutrisinya yaitu enzim, asam amino, vitamin, asam organik, mineral, antioksidan, dan senyawa organik yang menyusunnya (da Silva et al., 2016). Indikator madu yang penting bagi konsumen adalah warna, aroma, dan rasa. Warna, aroma, dan rasa madu dipengaruhi oleh jenis tanaman sumber nektarnya (Nayik & Nanda, 2015). Secara khusus, komposisi madu sangat ditentukan oleh asal nektar madu dan jenis lebah yang menghasilkan sekresi madu (da Silva et al., 2016).

Umumnya, lebah penghasil madu akan mengambil nektar dari berbagai jenis bunga ataupun pohon yang berbeda-beda sehingga akan menghasilkan sifat madu tersendiri. Namun pada peternakan lebah, biasanya telah dilakukan pengaturan sumber nektar yang disediakan untuk lebah berupa perkebunan dengan jenis tumbuhan yang tertentu saja. Di banyak negara, peternak lebah biasanya

mencampur madu dengan jenis yang berbeda-beda untuk memperoleh warna dan kandungan air yang diinginkan (Gosyenland, 2010). Berdasarkan sumber nektarnya ada dua jenis madu yaitu madu multiflora, yang berisi nektar dan embun madu dari beberapa spesies tanaman, dan madu monoflora yang memiliki konsentrasi serbuk sari 45% dari satu jenis tanaman, madu uniflora merupakan madu yang paling berharga (Schuhfried et al., 2016).

Madu monofloral adalah target utama untuk dipalsukan dengan madu multifloral yang lebih murah ataupun bahan pemanis. Madu monofloral, menjadi yang paling dihargai oleh konsumen dan diakui sebagai produk dengan kualitas lebih baik dan madu monoflora memiliki nilai pasar yang lebih tinggi (Soares et al., 2015). Madu monofloral memiliki karakteristik organoleptik yang unik dan dianggap sebagai produk premium (Park et al., 2020). Sebagai produk premium, harga madu monofloral jauh lebih tinggi dibandingkan dengan madu multifloral (Donarski et al., 2010).

Tingginya harga madu monoflora disebabkan oleh ketersediaan dan produksi yang rendah dan kesulitan pemanenan. Ketersediaan yang terbatas berkebalikan dengan tingkat permintaan masyarakat. Pada saat ini, permintaan pasar akan madu monofloral sangat tinggi (Park et al., 2020). Dalam kondisi ketidakseimbangan antara persediaan dengan permintaan pasar tersebut, sejumlah produsen yang tidak bertanggung jawab melakukan pemalsuan terhadap madu monoflora untuk mendapat untung yang tinggi. Pemalsuan madu tidak hanya dilakukan dengan mencampur madu murni dengan madu jenis lain yang lebih murah, namun pemalsuan juga dilakukan dengan cara pencampuran dengan bahan lain seperti glukosa, sukrosa, fruktosa, dan bahan pemanis lainnya, serta pemberian label yang tidak sesuai dengan kandungan madu.

Hal di atas menjadi alasan pentingnya dilakukan pengujian keaslian madu. Uji keaslian tersebut memberikan manfaat bagi konsumen maupun produsen. Dengan adanya jaminan keaslian madu konsumen mendapat perlindungan terhadap haknya untuk memperoleh madu dengan kriteria dan kandungan yang dibutuhkan.

Sedangkan produsen dapat mengendalikan kualitas madu yang dipasarkan dan memperoleh kepercayaan dari konsumen.

Badan Standarisasi Nasional telah menetapkan beberapa faktor yang harus diuji dalam menetapkan mutu madu sebagai indikator kemurnian madu, faktor tersebut adalah aktivitas enzim diastase, *hydroxymethylfurfural* (HMF), kadar air, gula pereduksi, sukrosa, keasaman, kadar abu, dan logam Arsen (Standar Nasional Indonesia, 01-3545-2013). Namun hal yang menjadi kendala adalah faktor-faktor tersebut harus diuji secara keseluruhan, sehingga memakan waktu yang lama dan biaya yang tinggi serta tidak efektif untuk mengidentifikasi madu murni dengan madu dengan campuran tertentu.

Penelitian keaslian madu dan madu campuran telah banyak dilakukan dengan berbagai metode. Metode tersebut diantaranya berdasarkan fisikokimia yang meliputi kadar abu, padatan tak larut dalam air, dan keasaman (Prabowo et al., 2019). Selain cara tersebut terdapat beberapa cara untuk mengetahui kemurnian madu secara kimia yakni analisis karbon, analisis mikroskopis, analisis *hydroxymethylfurfural* (HMF), analisis polaritas cahaya dan terakhir tes keasaman (Moermanto, 1986). Analisis fisikokimia dan analisis kimia pada pelaksanaannya membutuhkan tenaga ahli, banyak persiapan sampel, dan peralatan khusus, sehingga tidak semua orang dapat melakukannya.

Spektroskopi *Fourier Transform-infrared* (FTIR), *near infrared* (NIR) dan FT Raman merupakan teknologi yang memanfaatkan gelombang cahaya atau spektra. Metode spektroskopi telah membuktikan potensi besar ketiganya dalam uji keaslian makanan. Ketiga metode tersebut telah berhasil diterapkan dalam studi otentikasi madu dari aspek identifikasi asal madu dan penentuan pencampuran (Chin & Sowndhararajan, 2020). Teknik spektroskopi juga meliputi *infrared* (IR) *spectroscopy*, *mid-infrared spectroscopy*, *Fourier Transform-Near Infrared* (FT-NIR), dan FTMIR, Raman, FTMIR-ATR, FTIR-TR, dan *Front-Face Fluorescence Spectroscopy* (Chin & Sowndhararajan, 2020). Xiangrong Zhu dan tim kerjanya (2010), telah berhasil mendeteksi pencampur berupa bahan pemanis dalam madu menggunakan NIR-Spektroskopi dan kemometrika (Zhu et al., 2010).

Woodcock bersama tim kerjanya (2007), telah berhasil mengklasifikasikan sampel madu berdasarkan geografisnya dengan menggunakan NIR-Spektroskopi. Selanjutnya Lanzhen Chen dan tim kerjanya (2011), telah menentukan pemalsuan Madu Cina yang dicampur sirup jagung tinggi fruktosa menggunakan metode NIR-Spektroskopi.

Pada penelitian ini metode spektroskopi yang akan digunakan yaitu UV-Vis Spektroskopi. UV-Vis Spektroskopi adalah metode yang sederhana, murah dan mudah digunakan. Ini berlaku untuk banyak sampel berbeda yang tidak terlalu rumit. Oleh karena itu UV/Vis digunakan di berbagai bidang, terutama untuk pengukuran rutin, misalnya di rumah sakit, industri petrokimia, industri makanan, laboratorium kontrol kualitas air, universitas, pabrik kimia dan biologi menggunakan UV-Vis Spektroskopi (Hooijschuur, 2021). Metode ini cukup akurat, mudah dioperasikan, persiapan sampel yang minimal, dan yang paling penting adalah spektrometernya tersedia dengan harga yang sangat terjangkau sehingga proses hilirisasi teknologinya sangat memungkinkan. Pada saat ini di Indonesia, metode spektroskopi berbasis UV-Vis Spektroskopi telah diujicobakan untuk uji keaslian pangan, seperti kopi (Suhandy & Yulia, 2017, 2019a).

Penggunaan UV-Vis Spektroskopi untuk membedakan madu monoflora *Acacia mangium* dengan campuran HFCS (*high fructose corn syrup*). Berdasarkan alasan-alasan di atas maka, tujuan penelitian ini adalah melakukan identifikasi madu monoflora *Acacia mangium* murni dengan madu monoflora *Acacia mangium* yang dicampur HFCS 55% menggunakan UV-Vis Spektroskopi. Kandungan HFCS akan diidentifikasi berdasarkan level pencampurannya 10-60%.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Pemalsuan madu berupa pencampuran madu monoflora *Acacia mangium* lebah tanpa sengat *H. itama* dengan bahan pemanis HFCS-55.

2. Perlunya sistem autentikasi untuk membedakan madu monoflora *Acacia mangium* lebah tanpa sengat *H. itama* murni dan yang telah dicampur HFCS-55 menggunakan UV-Vis Spektroskopi dan metode kemometrika.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi pemalsuan madu monoflora *Acacia mangium* lebah tanpa sengat *H. itama* yang dicampur HFCS-55 berdasarkan level pencampuran antara 10-60% menggunakan UV-Vis Spektroskopi dan metode kemometrika.
2. Membangun dan menguji model klasifikasi menggunakan metode PCA dan SIMCA, sebagai sistem autentikasi kemurnian madu monoflora *Acacia mangium* lebah *H. itama*

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengidentifikasi kemurnian madu *Acacia mangium* lebah tanpa sengat *H. itama* dan bahan pencampur HFCS-55.
2. Identifikasi pemalsuan dapat menghindarkan kerugian bagi konsumen maupun produsen. Konsumen mendapat jaminan keaslian dan jaminan kualitas madu, produsen yang memiliki perlindungan keaslian produk akan mendapat kepercayaan dari konsumen.
3. Sebagai referensi penelitian selanjutnya mengenai identifikasi kemurnian madu menggunakan UV-Vis Spektroskopi.

1.5 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah UV-Vis Spektroskopi dapat mengidentifikasi pencampuran madu monoflora *Acacia mangium* murni lebah tanpa sengat *H. itama* dengan bahan pemanis HFCS-55 didasarkan pada respon penyerapan terhadap cahaya.

1.6 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Identifikasi dilakukan hanya terhadap madu monoflora *Acacia mangium* lebah tanpa sengat *H. itama* dengan pencampur HFCS-55.
2. Tidak dilakukan uji kimia terhadap sampel.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lebah Penghasil Madu

Lebah secara umum dikelompokkan berdasarkan ada tidaknya sengat, sehingga terbagi menjadi dua kelompok: bersengat dan tidak bersengat. Lebah bersengat, seperti Apis, lebih sering dibudidayakan dan lebih terkenal di masyarakat.

Sedangkan lebah tidak bersengat *Trigona* lebih sedikit dibudidayakan dan tidak semua masyarakat mengetahuinya. *Trigona* salah satu makhluk primitif yang hidup pada zaman prasejarah. Namun, berdasarkan hasil penemuan fosil oleh para ahli arkeologi, lebah tidak bersengat justru merupakan lebah tertua yang pernah diketahui (Fadhilah & Rizkika, 2015).

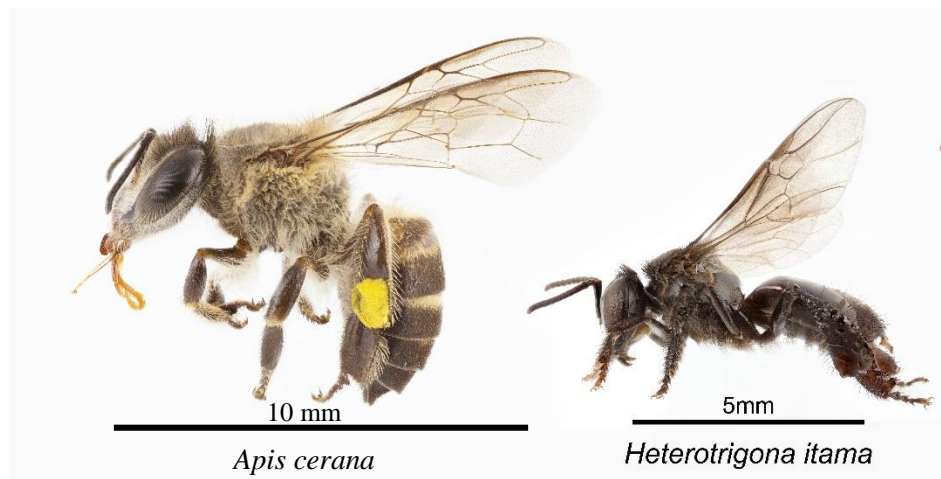
Bukti paling valid eksistensi lebah tidak bersengat adalah berupa ditemukannya fosil oleh *Cretotrigona prisca* di New Jersey, Amerika Serikat, fosil itu berupa lebah pekerja *Trigona prisca*. Peneliti menduga fosil itu ada sejak 96-74 juta tahun silam yaitu bertepatan pada akhir era Cretaceous. Fosil *trigona* lain ditemukan di wilayah Baltik, Republik Dominika, dan Meksiko (Fadhilah & Rizkika, 2015).

Di Indonesia madu dihasilkan oleh berbagai jenis lebah madu. Lebah *trigona* mencakup sejumlah besar genus, dibuktikan dengan terdapat sekitar 202 jenis di dunia, yang terdiri atas 186 takson termasuk ke dalam 55 genus yang terbagi menjadi 61 sub-genus. Sub-genus tersebut tersebar di beberapa benua di dunia termasuk Amerika Selatan yang ditemukan genus *OxyTrigona*, *ParaTrigona*, *NanoTrigona*, *Plebeia*, *Scaura*, *Tetragona*, *ApalaTrigona*, *DolichoTrigona*, *CeleTrigona*, *CephaloTrigona*, dan *Melipona*. Sedangkan di benua Australia ditemukan genus *Tetragonula* dan *Austroplebeia*. Di benua Afrika berhasil

ditemukan sub-genus yang terdiri dari AxetoTrigona, ApoTrigona, dan Plebeina. Sub-genus tersebut juga banyak ditemukan di wilayah Asia Tenggara diantaranya genus GenioTrigona, HeteroTrigona, HomoTrigona, LisoTrigona, PlatyTrigona, Tetragonula, dan TeTrigona (Rasmussen & Cameron, 2010).

2.1.1 Lebah Trigona

Penelitian ini akan terfokus pada madu dari satu jenis lebah yaitu *Heterotrigona itama*. *Heterotrigona itama* termasuk lebah jenis *Trigona*, tubuh *Trigona* memiliki bentuk seperti lalat sehingga dinamai penyingok lalet di daerah Palembang, Sumatra Selatan. Nama *Trigona* berbeda-beda di setiap daerah contohnya yaitu: Lanceng (Jawa), Gegelah (Lampung), Taeweul (Sunda), Galo-galo (Sumatra Barat) dan masih banyak lagi (Achyani & Wicandra, 2019).



Gambar 1. Perbandingan bentuk dan ukuran tubuh *Apis cerana* (lebah bersengat) dengan *Heterotrigona itama* (lebah tanpa sengat) (Sumber: Yuwei dan Lin, 2019).

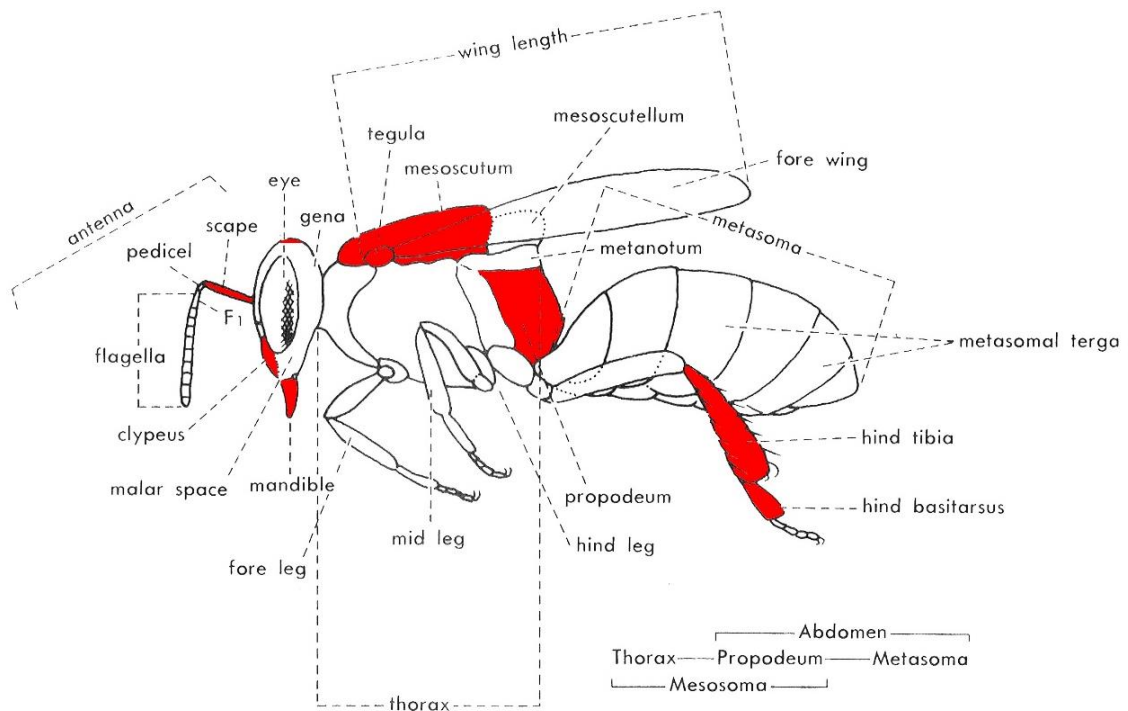
Heterotrigona itama memiliki daerah puncak sayap berwarna putih, dengan sayap keseluruhan berwarna sepi yang seragam. Ukuran tubuh *Heterotrigona itama* lebih kecil dari *Apis cerana* (lebah madu Asia). Cara mudah membedakan lebah yang tidak bersengat dengan lebah lainnya adalah dengan melihat posisi kaki belakangnya saat terbang. Kaki belakang lebah *Heterotrigona itama* tanpa sengat menggantung lemas ke bawah saat terbang, sementara lebah lain yang melipat kaki belakangnya di bawah perut saat terbang (Yuwei & Lin, 2019).

Trigona sp. memiliki ukuran tubuh yang lebih kecil dibandingkan lebah *Apis*, yaitu berkisar 5 mm. Ukuran tubuh berpengaruh terhadap jangkauan terbang lebah, semakin besar tubuh semakin jauh jangkauan terbangnya. Lebah *Trigona* mampu terbang hingga 600 m (Nelli, 2004). Dengan ukuran tubuh yang kecil tingkat produksi madunya juga lebih sedikit dan memerlukan teknik khusus dalam mengekstrak madunya. Meskipun demikian *Trigona* memiliki keunggulan yaitu lebih banyak menghasilkan propolis dibandingkan jenis lebah lain (Singh S., 1962)

2.1.2 Klasifikasi dan Morfologi Lebah Trigona

Klasifikasi lebah *Heterotrigona itama* menurut Achyani dan Wicandra (2019), adalah sebagai berikut.

Kingdom	: Animalia
Phylum	: Arthropoda
Class	: Insecta
Ordo	: Hymenoptera
Familia	: Apidae
Sub Familia	: Meliponinae
Genus	: Heterotrigona
Spesies	: <i>Heterotrigona itama</i>



Gambar 2. Diagram tampak samping ciri khas lebah tanpa sengat. Bagian yang digunakan dalam mencirikan *Heterotrigona itama* disorot dengan warna merah (Sumber: Yuwei dan Lin, 2019).

Gambar di atas hanya mencakup diagnosis spesies melalui pemeriksaan tubuh lebah *Heterotrigona itama* jenis pekerja. Bagian tubuh yang penting untuk mencirikan spesies ditandai dengan warna merah seperti gambar di atas, dan biasanya diperiksa dengan bantuan lensa tangan atau mikroskop bedah (Yuwei & Lin, 2019). Ciri utama lebah *Trigona* adalah tidak adanya sengat (*Stingless bee*). Sengat berguna sebagai pertahanan lebah dari predator, karena tidak memiliki sengat, lebah *Trigona* mengandalkan propolis sebagai penguat dinding sarang sebagai pertahanan yang juga berguna untuk menjaga kestabilan suhu di dalam sarang. Warna Lebah *Trigona* yang paling sering ditemui adalah warna hitam dan warna kekuningan dan kemerahan. Tubuh *Trigona* terdiri dari 3 bagian utama, yaitu kepala/caput, dada/thoraks dan perut/abdomen. Pada bagian kepala terdapat dua helai antena, sepasang mata majemuk, dengan mulut berupa probosis sebagai penghisap nektar. Lebah ini memiliki enam tungkai yang beruas-ruas (Achyani & Wicandra, 2019).

Sayap lebah *Trigona* terdiri dari dua pasang sayap transparan sehingga secara sistematika menjadikannya termasuk kedalam Ordo Hymenoptera. Sedangkan familia lebah *Trigona* termasuk kedalam Apidae bersama dengan lebah penghasil madu lainnya. Karena adanya pengelompokkan lebah penghasil madu berdasarkan ada tidaknya sengat, maka lebah yang tidak memiliki sengat seperti *Trigona* termasuk kedalam sub familia Meliponinae (Achyani & Wicandra, 2019).

2.2 Madu

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 3545:2013, definisi madu adalah cairan alami yang umumnya mempunyai rasa manis yang dihasilkan oleh lebah madu (*Apis sp.*) dari sari bunga tanaman (*flora nectar*) atau bagian lain dari tanaman. Madu merupakan pemanis alami berasal dari nektar bunga yang dikenal lama oleh masyarakat dunia dan memiliki khasiat tertentu bagi tubuh manusia (Bogdanov, 2011). Sebagaimana Allah SWT berfirman dalam Al-Quran surah An-Nahl/16:69 yang berbunyi : “Dari perut lebah itu keluar minuman (madu) yang bermacam-macam warnanya, didalamnya terdapat obat yang menyembuhkan bagi manusia. Sungguh, pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang berpikir.”

Berdasarkan standar Codex Alimentarius Commission (2001), madu adalah bahan manis alamiah yang diproduksi oleh lebah madu dari nektar tanaman atau dari sekresi bagian yang hidup pada tanaman atau *excretion plant sucking insect* pada bagian hidup tanaman. Lebah madu telah mengumpulkan dan mengubahnya dengan bahan khusus yang terdapat dalam tubuh lebah, kemudian mendepositkan, mengeringkan, menyimpannya dalam sarang lebah, dan membiarkannya sampai matang (*mature*) (F. G. Winarno, 2020).

Madu berasal dari nektar yang dikumpulkan oleh lebah dari berbagai macam tumbuhan yang diproses di dalam tubuh lebah hingga membentuk larutan gula jenuh ataupun sangat jenuh dan mengandung 17% air, 38% fruktosa, 31% glukosa, 10% gula jenis lainnya dan berbagai macam mikronutrisi (vitamin-

vitamin, asam amino dan mineral-mineral) dengan pH di bawah 4 (Bogdanov, 2011).

Karakteristik madu disesuaikan dengan sumber nektarnya yaitu flora, ekstra flora, dan madu embun. Dikenal pula madu monoflora yang artinya berasal dari satu tumbuhan utama dan multiflora yaitu berasal dari nektar beberapa jenis tumbuhan bunga (Suranto, 2007).

2.3 Perbandingan Madu Lebah Tidak Bersengat dengan Lebah Bersengat

Terdapat perbedaan antara madu lebah bersengat dan lebah tak bersengat dari aspek fisik maupun organoleptik. Meskipun demikian perbedaan tersebut dapat juga dipengaruhi oleh perbedaan kondisi iklim, asal flora, maupun kelembaban udara lokasi sarang lebah berada. Beberapa perbedaan tersebut dijelaskan pada tabel berikut.

Tabel 1. Perbandingan Madu Lebah Bersengat (*Apis*) dengan Madu Lebah Tanpa Sengat (*Trigona*). Sumber (Fadhilah & Rizkika, 2015)

Aspek Pembeding	Madu <i>Apis</i> / Bersengat	Madu <i>Trigona</i> / Tanpa Sengat
Rasa madu	Cenderung manis	Agak asam, dapat juga disertai rasa pahit
Propolis	<1 kg per tahun	5,8 kg per tahun
Kadar air	Kadar air madu <i>Apis mellifera</i> 20,2%	Kadar air madu tanpa sengat <i>Heterotrigona itama</i> 31%; <i>Plebia tobagoensis</i> 42,0%; <i>Trigona nigra</i> 31,2%; <i>Melipona trinitatis</i> 32,2%.
Kandungan enzim	Relatif sedikit jenis enzimnya	Lebih beragam jenis enzimnya

Rasa madu lebah *Trigona* yang cenderung asam berasal dari proses fermentasi yang terjadi pada saat madu berada dalam sarangnya. Kadar air madu yang tinggi memicu terjadinya proses fermentasi. Bentuk sarang *Trigona* yang berupa kantung-kantung propolis mengharuskan pemanenan dilakukan dengan metode yang khusus, metode yang biasa digunakan yaitu dengan cara ditiris atau dipipet

(Fadhilah & Rizkika, 2015). Kelebihan produk lebah *Trigona* adalah mampu menghasilkan propolis lebih banyak dibandingkan lebah *Apis* yang hanya 1 kg per tahun sedangkan lebah *Trigona* mampu menghasilkan propolis sebanyak 5,8 kg setiap tahunnya (Fadhilah & Rizkika, 2015).

2.4 Sifat Fisik Madu

Sifat fisik madu menurut Firman Jaya (2016), dalam bukunya Produk-Produk Lebah dan Hasil Olahannya adalah sebagai berikut:

a. Higroskopis

Madu mampu menyerap uap air dari udara untuk mencapai kesetimbangan dengan kelembaban udara, kemampuan ini disebut sifat higroskopis. Hal yang sering menjadi permasalahan dalam penyimpanan madu di Indonesia adalah kelembaban relatif udara (RH) Indonesia yang tinggi yaitu berkisar antara 60-90%, ditambah lagi madu memiliki konsentrasi gula yang melewati jenuh (*super saturated solution*). Hal tersebut membuat madu lebih mudah menyerap uap air dan menghasilkan madu dengan kadar air yang tinggi. Sedangkan kadar air yang tinggi pada madu dapat memicu terjadinya proses fermentasi, menimbulkan kandungan alkohol, dan menaikkan kadar asam pada madu. Madu yang telah mengalami fermentasi tidak baik untuk dikonsumsi terlebih lagi dijual ke konsumen (Jaya, 2016).

b. Tekanan Osmosis

Madu merupakan medium hiperosmotik, menurut KBBI hiperosmotik adalah larutan yang memiliki bahan terlarut lebih banyak dibandingkan dengan larutan lain sehingga kandungan airnya kurang. Hal tersebut ditunjukkan dengan kandungan padatan madu yang melebihi jenuh (*supersaturated solution*), padatan madu merupakan monosakarida 84%, yakni campuran antara fruktosa dan glukosa. Sifat hiperosmotik inilah yang membuat madu juga merupakan antibakteri yang baik, karena ketika organisme bersel satu seperti bakteri dan jamur berada pada larutan madu maka madu akan bekerja dengan menarik air dari

organisme bersel satu tersebut, dan melumpuhkannya. Selain itu madu tidak memiliki cukup air untuk kehidupan bakteri (Jaya, 2016).

c. Kadar Air

Kadar air yang terlalu tinggi pada madu dapat mengakibatkan penurunan kualitas madu secara alami, karena air dapat menjadi media tumbuh bagi khamir dan memicu fermentasi. Kadar air madu saat dipanen dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya yaitu asal nektar yang dikumpulkan lebah, kondisi iklim, dan kelembaban relatif udara. Data menunjukkan madu yang mengandung air berasal dari nektar tumbuh-tumbuhan yang dimatangkan lebah. Dalam menentukan kualitas madu, kadar air merupakan faktor penting yang harus diperhatikan. Standar maksimum kadar air madu Indonesia adalah 22%, pada kadar tersebut madu dinilai aman dari terjadinya fermentasi. Sedangkan untuk madu yang berasal dari lebah tak bersengat (*Trigona*) kadar air maksimal adalah 27,5% (Jaya, 2016).

Penurunan kadar air secara alami sebenarnya telah terjadi sejak madu berada di sarang lebah. Hal tersebut dapat terjadi karena tekanan uap air udara lebih rendah dari kadar air bakal madu, sehingga air pada bakal madu menguap. Perbedaan tekanan uap air ini disebabkan oleh kepakakan sayap lebah yang begitu cepat, *National Geography* menyatakan bahwa kecepatan kepakakan sayap lebah dapat mencapai 200 kepakakan per detik, hal tersebut menyebabkan kadar air madu dapat turun mencapai 15-20%. Kemudian untuk menjaga kadar air madu agar tidak kembali naik, maka sel madu ditutup menggunakan lapisan lilin. Konsentrasi madu dipengaruhi oleh beberapa faktor dalam proses pematangan madu, faktor tersebut diantaranya cuaca, kadar air awal nektar, kemampuan koloni lebah, laju sekresi. Kadar air madu dapat meningkat secara alami jika madu telah dipanen dan diletakkan di tempat terbuka, sehingga kemasan madu harus memenuhi standar kedap udara dan dikemas secara higienis untuk menghindari kontaminasi (Jaya, 2016).

d. Viskositas

Viskositas madu menunjukkan menunjukkan tingkat kemudahan madu untuk mengalir, semakin tinggi viskositas maka semakin lambat madu mengalir. Viskositas juga menunjukkan kekentalan madu, sehingga sangat dipengaruhi oleh kadar air madu, jenis flora, dan suhu lingkungan. Semakin tinggi suhu maka semakin encer atau semakin rendah viskositas madu. Pengaruh peningkatan suhu $3,5^{\circ}$ C setara dengan peningkatan kadar air sebesar 1%. Asal flora juga mempengaruhi kekentalan madu, pada suhu yang sama, misalnya pada suhu 25° C madu dengan kadar air 16,5%, yang berasal dari *flora sage*, dengan viskositas sebesar 115 poise (Jaya, 2016).

e. Aktifitas Air

Aktifitas air madu atau α_w menunjukkan air bebas pada madu, semakin tinggi α_w semakin menopang kehidupan mikroorganismenya. Aktivitas air bergantung pada suhu dan kadar air, semakin tinggi suhu maka α_w akan tinggi pula, dan air akan berpindah dari benda dengan α_w tinggi ke α_w rendah. Selain itu, asam madu juga memiliki pengaruh sedikit terhadap sifat aktifitas air. Aktifitas air yang sering dijumpai di laboratorium pada suhu antar $4-37^{\circ}$ C dengan kadar air 16% adalah 0,5 dan pada kadar air 18,3% adalah 0,6 (Jaya, 2016).

f. Warna Madu

warna madu sangat beragam mulai dari kuning jernih hingga berwarna coklat gelap. Warna yang sering jumpai adalah kuning kecoklatan seperti warna gula karamel. Hal yang mempengaruhi warna madu yaitu jenis flora, kematangan madu, dan lamanya kondisi penyimpanan, sehingga warna madu dengan jenis flora yang sama dapat berbeda-beda pada setiap pemanenan. Selain itu warna madu ditentukan juga oleh kualitas sarang dan subspecies lebah. Sedangkan kejernihan madu sangat ditentukan oleh partikel yang tercampur, seperti ada tidaknya pollen. Jika madu mengalami proses kristalisasi, maka warna madu menjadi terang karena kristal glukosa yang dikandungnya berwarna putih (Jaya, 2016).

2.5 Jenis-Jenis Madu

Berdasarkan sumber bunga (nektar), madu dibedakan menjadi 2, yaitu madu monofloral dan madu multifloral (Jaya, 2016). Madu monoflora merupakan madu yang diperoleh dari satu tumbuhan utama. madu ini biasanya dinamakan berdasarkan sumber nektarnya, seperti madu Kopi, madu Randu, dan madu Kangkung. Sumber nektar yang berbeda akan mempengaruhi sifat madu yang dihasilkan oleh lebah, diantaranya dari segi warna dan komponen madu (Sihombing, 2005). Sedangkan madu multiflora adalah madu yang mengambil nektar dari bermacam-macam jenis tanaman, sebagai contoh adalah madu hutan yang mana lebah mendapatkan nektar dari beberapa jenis tanaman yang terdapat dalam suatu area tertentu (Jaya, 2016).

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

1. Madu floral

Bagian tumbuhan yang menghasilkan nektar tidak hanya bunga, bagian cabang batang, ketiak daun dan, kulit batang juga menghasilkan nektar. Madu yang berasal dari nektar bunga disebut madu flora. Adapun madu yang dihasilkan dari berbagai jenis bunga maka dinamakan madu multiflora dan jika hanya berasal dari satu jenis tanaman maka madu tersebut disebut madu monoflora. Nektar disekresi dari berbagai macam jenis bunga dengan komposisi sekitar 95% adalah substansi gula, asam amino (0,05%), mineral (0,02%-0,045%) serta asam organik, vitamin, dan senyawa volatil dengan jumlah yang sedikit (Jaya, 2016).

2. Madu ekstra floral

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

3. Embun madu (*honeydew*)

Madu embun adalah produk dari sekresi pada tubuh serangga (kebanyakan kumbang kecil famili *Psyllidae*, *Lechnidae*, atau *Lechanidae*) yang ekstrudatnya diletakkan pada bagian-bagian tanaman. Hasil dari sekresi yang berasal dari pencernaan serangga tersebut dikeluarkan dalam bentuk embun dan selanjutnya

dikumpulkan oleh lebah, dan dimatangkan di dalam sarang. *Honeydew* mengandung substansi gula sebanyak 5-60% dan sedikit asam amino, mineral, protein, dan vitamin (Jaya, 2016).

4. Madu Organik

Madu organik merupakan madu yang diproduksi oleh perternakan lebah dari tumbuhan organik. Komposisi madu organik tidak memiliki perbedaan terhadap madu normal, namun madu organik tidak terdapat residu dari pestisida yang digunakan dalam tahap proses produksi (Jaya, 2016).

2.6 Sirup Jagung

Berdasarkan standar SNI 3544 (BSN, 2013), sirup adalah minuman yang berasal dari pencampuran gula dan air dengan takaran larutan gula paling sedikit 65% dengan tambahan bahan lain dan tambahan bahan yang diperbolehkan sesuai aturan. HFCS (*high fructose corn syrup*) atau sirup jagung fruktosa tinggi merupakan pemanis buatan berwujud cair sebagai alternatif pengganti sukrosa yang berbahan dasar utama jagung dengan tambahan enzim untuk menghidrolisis pati jagung serta bahan kimia lain. HFCS dibuat melalui tahap hidrolisis kimia dan enzimatis pati jagung yang mempunyai amilosa dan amilopektin. Sirup jagung sebagian besar mengandung glukosa kemudian melewati tahap isomerisasi glukosa dalam sirup jagung menjadi fruktosa sehingga dihasilkan sirup jagung fruktosa tinggi atau HFCS.

High Fructose Corn Syrup (HFCS) dibuat dengan bahan dasar sirup jagung dengan kadar glukosa tinggi (*High Glucose Corn Syrup*). Inti dari pembuatan HFCS adalah dengan mengkonversi *High Glucose Corn Syrup* menjadi HFCS dengan bantuan enzim glukosa isomerase, enzim ini berperan penting sebagai katalis dalam proses konversi *High Glucose Corn Syrup* menjadi HFCS. HFCS yang dihasilkan mengandung 42% fruktosa, sedangkan HFCS yang mengandung kadar fruktosa hingga 90% diperoleh lewat proses fraksionasi untuk membuang sebagian besar glukosa yang masih terkandung dalam HFCS 42%. HFCS 55% diperoleh lewat pencampuran HFCS 90% dengan HFCS 42%.

HFCS ini memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan sukrosa dalam olahan makanan dan minuman, yang membuat HFCS menarik yaitu rasa manisnya, keasaman, kelarutan serta harganya yang tergolong murah. HFCS ini banyak sekali diproduksi di Amerika Serikat (AS) sebagai campuran makanan dan minuman (Parker *et al.*, 2010).

2.7 UV-Vis Spectroscopy

Spektrofotometer UV-Vis adalah alat yang digunakan untuk mengukur panjang gelombang dan intensitas dari sinar ultraviolet dan cahaya tampak yang diabsorpsi oleh sampel. Sinar ultraviolet dan cahaya tampak memiliki energi yang cukup untuk mempromosikan elektron pada kulit terluar ke tingkat energi yang lebih tinggi. Spektrum ini sangat berguna untuk pengukuran secara kuantitatif. Penentuan konsentrasi analit di dalam larutan bisa dengan mengukur absorbansi (radiasi yang diserap) pada panjang gelombang tertentu dengan menggunakan hukum Lambert-Beer (Dachriyanus, 2004).

Metode pengukuran cahaya yang diserap dapat digunakan dalam kimia analitik untuk menentukan karakter suatu zat dan melakukan kuantifikasi zat.

Spektroskopi UV-Vis adalah teknik yang didasarkan pada penyerapan cahaya oleh zat sampel yang tidak diketahui (De Caro & Claudia, 2015). Penyerapan cahaya (absorbansi) berkorelasi dengan penerusan cahaya (transmitansi), semakin tinggi intensitas absorbansi maka semakin rendah intensitas transmitansinya.

Menurut website Edinburgh Instruments (2022), transmitansi adalah perbandingan antara intensitas cahaya yang diteruskan melalui sampel disimbolkan I terhadap intensitas cahaya datang sebelum melewati sampel yang disimbolkan I_0 .

Sebagaimana yang dijelaskan pada persamaan berikut:

$$T = \frac{I}{I_0} \dots\dots\dots(1)$$

Nilai transmitansi adalah antara 0 sampai 1, meskipun lebih umum diekspresikan dalam persen transmittan, sebagaimana rumus berikut:

$$T (\%) = 100 \frac{I}{I_0} \dots\dots\dots(2)$$

Absorbansi memiliki korelasi terhadap transmitansi, intensitas cahaya datang I_0 , dan intensitas cahaya yang diteruskan I . Korelasi tersebut dijelaskan pada persamaan berikut

$$A = \log_{10} \frac{I_0}{I} \dots\dots\dots(3)$$

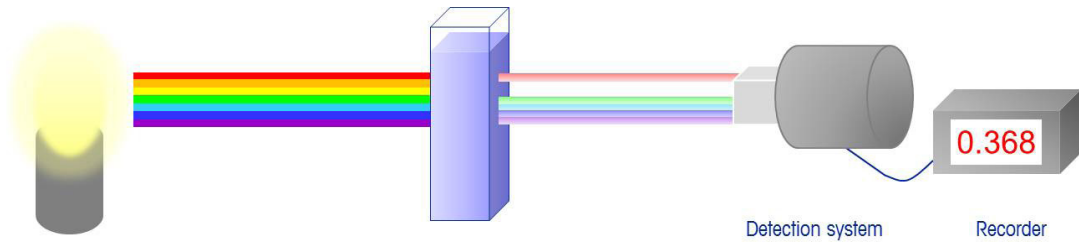
$$A = -\log_{10} T \dots\dots\dots(4)$$

Absorbansi memiliki hubungan logaritmik terhadap transmitansi; jika absorbansi bernilai 0 atau tidak ada cahaya yang diserap, maka transmitansi akan bernilai 100% yang artinya seluruh cahaya diteruskan. Sedangkan jika absorbansi bernilai 1, maka transmitansi bernilai 10%. Hubungan transmitansi dengan absorbansi dengan nilai yang lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hubungan Nilai Absorbansi dan Transmitansi (sumber: Edinburgh Instruments, 2022)

Absorbansi	Transmitansi
0	100%
1	10%
2	1%
3	0.1%
4	0.01%
5	0.001%

Pada metode ini sampel disinari dengan sinar elektromagnetik dari berbagai panjang gelombang dalam spektrum tampak (*Visible*) dan rentang gelombang yang berdekatan yaitu ultraviolet (UV) dan gelombang inframerah dekat (NIR). Setiap zat memiliki cara unik dalam menyerap cahaya. Cahaya yang tidak diserap, yaitu cahaya yang ditransmisikan, dicatat sebagai fungsi panjang gelombang oleh detektor, dan menyajikan spektrum UV/VIS dari sampel yang dapat dipahami peneliti (De Caro & Claudia, 2015).



Gambar 3. Prinsip pengukuran pada UV-Vis spectroscopy (Sumber: De Caro dan Claudia, 2015)

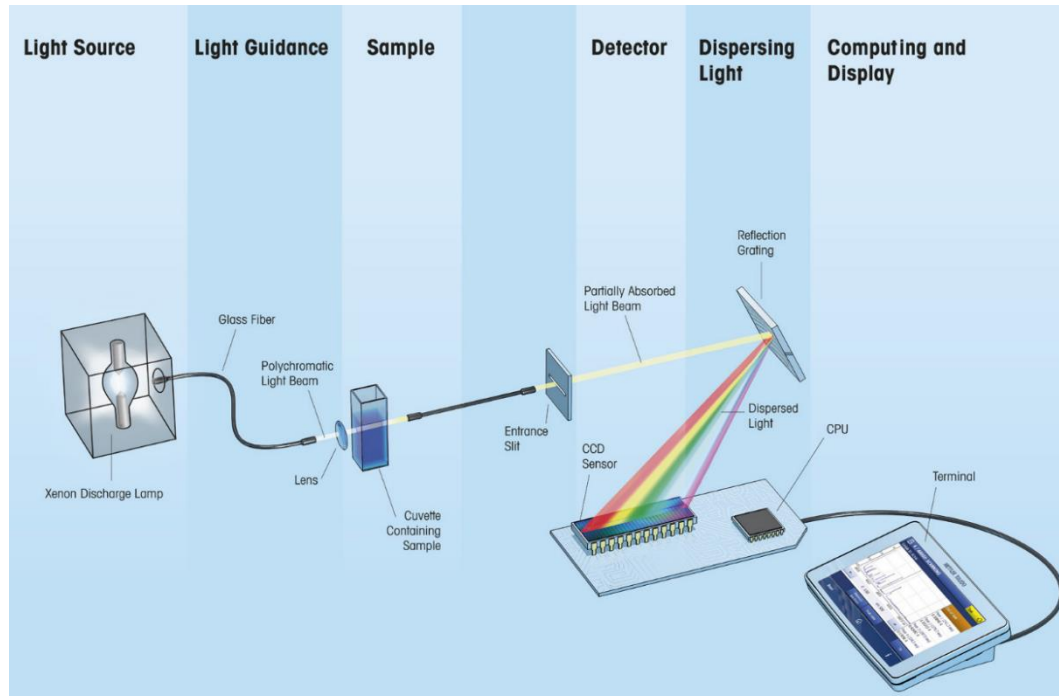
Gambar 3 di atas menunjukkan, karena setiap zat menyerap cahaya dengan perilaku yang berbeda, maka akan menghasilkan hubungan yang unik dan spesifik antara zat dan spektrum UV-Vis-nya. Ciri khas spektrum tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi atau mengukur suatu zat. Spektrofotometer UV-Vis mengukur intensitas cahaya yang melewati larutan sampel dalam kuvet, dan membandingkannya dengan intensitas cahaya sebelum melewati sampel (De Caro & Claudia, 2015).

Menurut Mark F. Vitha (2019), Dalam bukunya yang berjudul dalam pengukuran absorbansi dan mengumpulkan spektrum, Spektrofotometer UV-Vis harus memiliki beberapa kemampuan, hal tersebut adalah:

1. Memancarkan radiasi elektromagnetik pada rentang spektrum UV-vis.
2. Memisahkan cahaya berdasarkan panjang gelombang komponennya (hal ini diperlukan karena analisis kuantitatif memerlukan radiasi monokromatik).
3. Melewatkan cahaya secara selektif dengan panjang gelombang tertentu menembus sampel dan larutan referensi dan secara sistematis memvariasikan panjang gelombang.
4. Mengukur intensitas cahaya yang melewati sampel dan referensi.
5. Mengubah intensitas cahaya yang diukur menjadi pembacaan absorbansi (yang dapat dipahami peneliti).

Pada umumnya, komponen spektrometer disusun seperti pada Gambar 4 yang menunjukkan bahwa cahaya dari sumber dilewatkan melalui pengatur panjang gelombang, kemudian diarahkan ke sampel dan/atau cairan pelarut (juga disebut sebagai referensi atau blank) dan menabrak detektor. Detektor mengubah energi

cahaya menjadi sinyal listrik, yang pada akhirnya diubah menjadi pembacaan digital akhir yang dapat ditafsirkan (Vitha, 2019).



Gambar 4. Spektrofotometer array single beam berbasis kuvet: Cahaya beam dari lampu menembus sampel, mengalami didifraksikan oleh pemilah cahaya dan diarahkan ke pendeteksi cahaya (Sumber: De Caro dan Claudia, 2015)

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

1. Sumber cahaya

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

2. Pemegang sampel

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

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

3. Elemen dispersi

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

4. Detektor cahaya

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

2.8 Metode Kemometrika

Kemometrika adalah cabang ilmu yang memperoleh data dengan penerapan metode matematika dan statistik, untuk ekstraksi informasi yang berguna dari segi fisika dan kimia yang terlibat dalam proses manufaktur. Kemometrika digunakan untuk pengumpulan dan analisis data multivariat, kalibrasi, pemodelan proses, pengenalan pola dan klasifikasi, koreksi dan kompresi sinyal, dan pengendalian proses statistik. Baik permasalahan prediktif maupun deskriptif bisa diselesaikan dengan chemometrics (Singh et al., 2013).

Kemometrika dapat digunakan untuk merancang atau memilih prosedur dan pengujian yang optimal, serta untuk menarik informasi kimia sebanyak-banyaknya dari suatu data. Pada dasarnya kalibrasi berdasarkan pada jumlah variabelnya dikelompokkan menjadi kalibrasi univariate dan kalibrasi multivariat. Kalibrasi univariate merupakan kalibrasi yang jumlah variabelnya adalah satu.

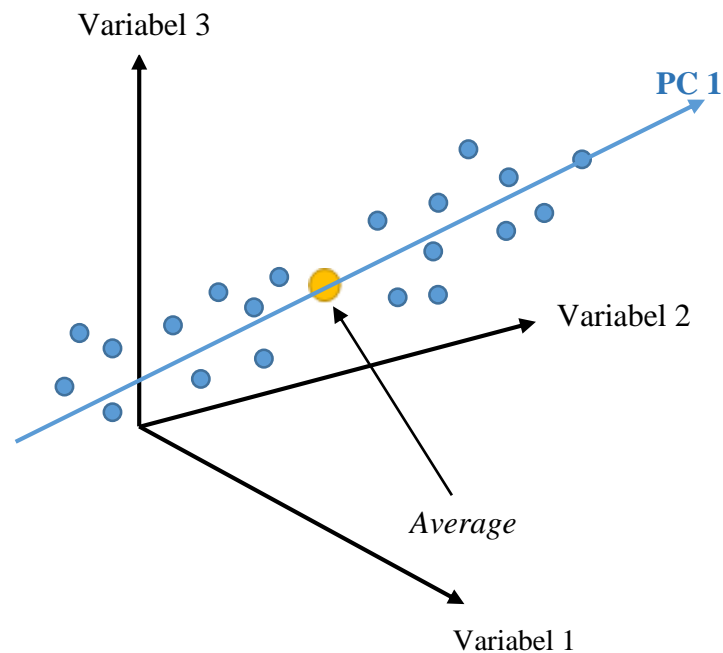
Sementara itu, kalibrasi multivariat menggunakan banyak variabel untuk melakukan prediksi. Kemometrika lebih banyak terkait dengan kalibrasi multivariat (Rohman et al., 2014).

2.8.1 *Principal componen Analisis (PCA)*

Principal componen Analisis (PCA) merupakan salah satu metode interpretasi data dalam kemometrika. *Software* ini berguna untuk mengelompokkan sampel dengan cara mendeteksi variabel yang membedakan setiap sampel (Pratiwi & Harjoko, 2013). Perbedaan antar sampel dapat dipengaruhi oleh ratusan bahkan ribuan variabel, dengan PCA dapat diketahui apakah variabel-variabel tersebut saling berkorelasi atau saling lepas (Suhandy & Yulia, 2019b). Metode ini dijalankan dengan menggunakan *software* kemometri. Tujuan dari PCA adalah untuk mereduksi dimensi yang besar dari ruang data (*observed variable*) menjadi dimensi yang lebih kecil dari ruang fitur (*independent variable*), yang dibutuhkan untuk mendeskripsikan data lebih sederhana (Pratiwi & Harjoko, 2013).

Principal componen Analisis (PCA) adalah metode proyeksi, yang mencari arah dalam ruang multivariat secara progresif memberikan kecocokan terbaik dari distribusi data, yaitu yang paling mendekati data dalam arti kuadrat terkecil. Hal tersebut menjelaskan mengapa PCA adalah teknik pilihan di sebagian besar kasus untuk analisis data eksplorasi. Hal ini memungkinkan kompresi dimensi data di sekaligus mengurangi seminimal mungkin hilangnya informasi (Singh et al., 2013).

Prinsip utama proyeksi PCA adalah dengan menemukan arah di antara ruang jarak (misal. Dispersi) ujung data yang terbesar. Atau dengan penjelasan lain yaitu: menemukan kombinasi linear dari variabel awal yang terbukti memiliki kontribusi paling besar dalam membuat sampel yang berbeda satu dengan yang lainnya. PC sendiri berarti kombinasi linear atau arah di antara ruang gerak (Munawar & Hasanuddin, 2020). Untuk lebih memahami Prinsip proyeksi PCA, dapat melihat Gambar 5 berikut.

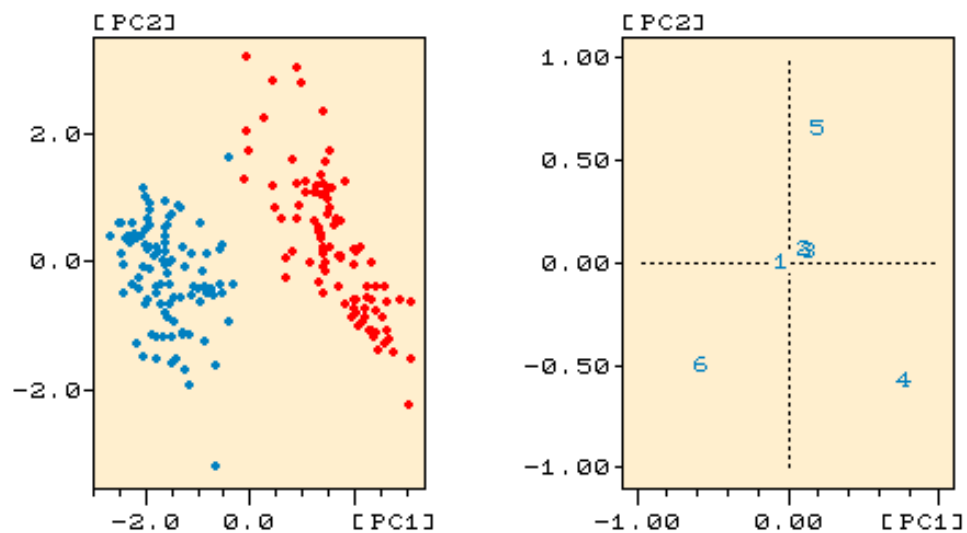


Gambar 5. Prinsip Kerja Proyeksi PC pada PCA (Sumber: Munawar dan Hasanuddin, 2020)

Nilai dari komponen di atas dihitung secara berulang sedemikian rupa, sehingga kontribusi terbesar dalam mempengaruhi perbedaan antar sampel terdapat pada PC 1. Kemudian pada PC 2 memiliki paling banyak informasi setelah PC 1 (sisa informasi yang tidak terhitung oleh PC 1), dan begitupun pada PC seterusnya. Proses ini dapat berlangsung hingga sebanyak PC yang dihitung karena adanya variabel dalam tabel data. Bersama dengan dihitungnya PC maka seluruh perbedaan dari masing-masing sampel telah dihitung, dan digambarkan sebagai sebuah sumbu koordinat baru yang memiliki dua keunggulan (Munawar & Hasanuddin, 2020). Sebagaimana yang dijelaskan oleh Suhandy dan Yulia (2019)b, keunggulan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Masing-masing PC orthogonal satu sama lain. PC1 orthogonal dengan PC2 dan seterusnya.
2. Adanya pemeringkatan terhadap seluruh PC, yang menunjukkan PC dengan nomor lebih kecil membawa lebih banyak informasi daripada PC dengan nomor yang lebih besar.

Berdasarkan pemeringkatan terhadap PC, maka sejumlah PC pertama membawa informasi yang paling diandalkan dalam mengidentifikasi data. Sedangkan PC pada urutan akhir lebih banyak mengandung noise. Hal tersebut memudahkan kita untuk lebih spesifik dalam mempelajari data yang penting, yaitu pada PC pertama. Hal tersebut lebih sederhana dibandingkan tabel data mentah yang begitu kompleks (Munawar & Hasanuddin, 2020). Gambar 6 berikut adalah plot score yang menampilkan pola sampel.



Gambar 6. Plot Score dan *Loading* pada PCA (Sumber: Zahrok, 2019)

Ada beberapa plot umum yang selalu digunakan ketika menggunakan PCA:

- plot *score* / *score* (bagian kiri pada gambar di atas),
- plot *loading* / *loading* yang sesuai (bagian kanan pada gambar atas)
- plot *loading* sebagai garis spektral, serta
- plot nilai eigen yang diurutkan.

Perhitungan pada PCA didasarkan pada perhitungan nilai eigen dan vektor eigen yang menyatakan penyebaran data dari suatu data set. Adapun algoritma PCA secara umum adalah sebagai berikut:

1. Transformasi *Mean-Centering*

Transformasi *mean-centering* merupakan proses memindahkan semua data kebagian tengah, untuk memperoleh data yang lebih stabil. Berikut langkah-langkah *mean-centering*:

- a. Cari mean data
- b. Pindahkan setiap posisi data kebagian tengah, dengan cara mengurangi nilai setiap data dengan nilai mean data.

2. Hitung matriks kovarian dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Cov}(xy) = \frac{\sum xy}{n} - (\bar{x})(\bar{y}) \dots\dots\dots (5)$$

3. Hitung nilai eigen dengan menyelesaikan persamaan sebagai berikut:

$$(A - \lambda I) = 0 \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

A : matriks kovarian

λ : nilai eigen

I : matriks identitas

4. Hitung vektor eigen dengan menyelesaikan persamaan sebagai berikut:

$$[A - \lambda I][X] = [0] \dots\dots\dots (7)$$

X merupakan vektor eigen.

5. Tentukan variabel baru (*principal component*) dengan mengalikan variabel asli dengan matriks vektor eigen.

2.8.2 SIMCA (*Soft Independent Modelling of Class Analogies*)

Pada tahun tujuh puluhan Wold memperkenalkan SIMCA (*soft independent modeling of class analogies*) sebagai metode klasifikasi yang menarik. Metode ini sangat berguna untuk mengklasifikasikan pengamatan multi dimensi karena didahului dengan menerapkan metode PCA untuk memperkecil dimensi, sehingga mensederhanakan proses mempelajari data yang kompleks. Karena PCA diterapkan pada setiap grup secara terpisah, SIMCA menyediakan informasi tambahan mengenai kelompok yang berbeda seperti keterkaitan antar variabel yang berbeda dan langkah-langkah pemisahan (Vanden Branden & Hubert, 2005).

Terdapat dua statistik dasar yang diterapkan pada SIMCA, Skor dan Jarak Ortogonal digunakan di semua versi SIMCA. Perbedaan antara kedua metode tersebut adalah cara keduanya menafsirkan dan menerapkan statistik dalam aturan keputusan. Empat aturan keputusan SIMCA yang paling populer: Sederhana (oleh Massart), Alternatif (oleh Wise), Indeks Gabungan (oleh Joe Qin), dan Data Driven (oleh Pomerantsev) (Pomerantsev & Rodionova, 2020).

Salah satu fitur penting SIMCA adalah kemampuannya untuk mengkarakterisasi hasil klasifikasi dengan cara yang baik secara statistik, yaitu untuk memperkirakan kesalahan-kesalahan klasifikasi secara teoritis. Metode ini didasarkan pada statistik *Principal Component Analysis* (PCA) yang digunakan untuk menetapkan aturan keputusan untuk mendeteksi objek ekstrem (Pomerantsev & Rodionova, 2020).

Lavine (2009), menjelaskan untuk mengimplementasikan SIMCA adalah dengan menerapkan beberapa tahap berikut:

- a. Dilakukan pemisahan PCA pada setiap kelas di data set, dengan memastikan dalam jumlah yang cukup.
- b. Dipertahankan komponen utama untuk sebagian besar variasi data dalam setiap kelas.

- c. Dibuat klasifikasi di dalam SIMCA dengan membandingkan varian residual dari sampel dengan rata-rata residual varian dari sampel yang membentuk kelas. Perbandingan ini menjelaskan ukuran langsung dari kesamaan sampel untuk kelas tertentu dan ukuran *goodness of fit* sampel untuk model kelas tertentu dapat ditentukan dengan melihat perbandingan tersebut.

Dalam jurnalnya Shevtsov, Weyns dan Maggio (2019), menjelaskan rumus umum yang diterapkan pada SIMCA adalah sebagai berikut:

$$X_{ik} - \pi_k = \sum_{a=1}^A \beta_{ka} \theta_{ai} + e_{ik} \dots\dots\dots(8)$$

e_{ik} memiliki simpangan baku S_0 , yang merupakan jarak tipikal untuk setiap objek di kelas ke kelas itu sendiri.

$$S_0 = \sqrt{\sum_{k=1}^p \sum_{i=1}^n ((e_{ik})^2 / (p - A)(n - A - 1)) \dots\dots\dots(9)}$$

2.8.3 Confusion Matrix

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

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

Confusion matrix menjadi alat pengukuran kinerja klasifikasi yang sering diandalkan. Confusion matrix bekerja dengan menganalisa tingkat kinerja model

klasifikasi dalam mengenali record dari setiap kelas yang berbeda. Sesuai dengan yang dijelaskan oleh Suhandy dan Yulia (2019)b, tabel *confusion matrix* adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Matriks Konfusi

Jenis Kelas	Sampel Kelas A (aktual)	sampel Kelas B (aktual)
Sampel Kelas A (prediksi oleh model klasifikasi)	TP	FP
Sampel Kelas B (prediksi oleh model klasifikasi)	FN	TN

Keterangan:

- TP (*true positive*) memuat sampel kelas A yang diklasifikasikan bahwa benar termasuk kelas A aktual.
- FP (*false positive*) memuat sampel kelas A yang diklasifikasikan masuk ke dalam kelas B aktual.
- TN (*true negative*) memuat sampel kelas B yang diidentifikasi masuk bahwa benar masuk ke dalam kelas B aktual.
- FN (*false negative*) menunjukkan sampel kelas B yang diklasifikasikan masuk ke dalam kelas A aktual.

Untuk mengukur kinerja model klasifikasi maka dihitung parameter akurasi, sensitivitas, spesifisitas dan Matthews's *correlation coefficient* (MMC). Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Sensitivitas (\%)} = \frac{TP}{TP+FP} \times 100 \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{Spesifisitas (\%)} = \frac{TN}{TN+FP} \times 100 \dots\dots\dots (11)$$

$$\text{Akurasi (\%)} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FN+FP} \times 100 \dots\dots\dots (12)$$

$$\text{Error rate (\%)} = \frac{FP}{TP+FP} \times 100 \dots\dots\dots (13)$$

$$\text{MMC} = \frac{(TP \times TN - FP \times FN)}{\sqrt{(TP \times FN)(TP + FP)(TN + FN)(TN + FP)}} \dots\dots\dots (14)$$

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

- a. Akurasi bernilai 0,90 – 1,00 = *excellent classification*/sangat memuaskan.
- b. Akurasi bernilai 0,80 – 0,90 = *good classification*/baik.
- c. Akurasi bernilai 0,70 – 0,80 = *fair classification*/dapat diterima.
- d. Akurasi bernilai 0,60 – 0,70 = *poor classification*/buruk.
- e. Akurasi bernilai 0,50 – 0,60 = *failur calassification*/gagal

2.8.4. Transformasi Data Spektra (*Pretreatment*)

Pretreatment data spektral seringkali menjadi tahap yang sangat penting jika hasil ideal ingin diperoleh, baik analisis berkaitan dengan penggalian data eksplorasi, klasifikasi atau membangun model prediksi (Rinnan et al., 2009). *Pretreatment* data spektra bertujuan untuk mengurangi pengaruh *noises* dan interferensi gelombang terhadap data spektra yang diperoleh, sehingga model yang dibangun lebih stabil dan akurat (Kusumaningrum et al., 2007).

Menurut Yukihiro et al. (2006), *pretreatment* dibagi dalam empat kategori yaitu (1) pengurangan kebisingan atau *noise* dapat berupa perataan, (2) koreksi dasar dapat berupa turunan (*derivative*) yaitu Savitzky-Golay, *Multiple Scatter Correction* (MSC), *Standard Normal Variate* (SNV), (3) peningkatan resolusi misalnya perbedaan spektra, dan (4) pemusatan dan normalisasi metode dapat berupa pemusatan rata-rata, normalisasi area, sebagaimana penjelasan di bawah ini:

a. MSC

Metode *Multiplicative Scatter Correction* (MSC) adalah suatu metode pretreatment untuk mengurangi *amplification (multiplicative, scattering)* pada spektra. Tujuan dilakukannya metode ini adalah untuk menghilangkan efek hamburan cahaya yang tidak diinginkan.

Tahap awal metode ini adalah dengan mencari nilai MSC yaitu menghitung rata-rata spektra pada sampel. Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan plot dua dimensi dengan rata-rata spektra di sumbu x dan spektra tunggal yang ingin diperbaiki menggunakan MSC di sumbu y. Plot yang telah terbentuk tersebut menampilkan garis linier untuk mengetahui nilai intersep (a) dan slope (b).

$$y = bx + a \dots \dots \dots (15)$$

maka MSC dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini:

$$f(x) = \frac{x-a}{b} \dots \dots \dots (16)$$

Keterangan :

f (x) : Nilai dari spektrum yang dikoreksi (matriks data).

x : Nilai dari spektra asli

a : Nilai intersep

b : Nilai *slope*

b. *Standard normal variate* (SNV)

Sebagaimana MSC, hasil praktis dari SNV yaitu data spektral yang telah dibersihkan dari *multiplicative interferences* dari *scatter effects*. Transformasi data ini dilakukan dengan mengeliminasi deviasi yang dimiliki spektra yang disebabkan oleh perbedaan ukuran pada partikel sampel dan *scatter*. *Scatter* tersebut diperoleh dari kesalahan teknis saat melakukan pengambilan data pada sampel yang diuji.

Pencarian nilai SNV didahului dengan perhitungan SD atau standar deviasi/ simpangan baku yang merupakan nilai statistik untuk menentukan sebaran data pada setiap sampel. Nilai standar deviasi ini adalah penjumlahan dari nilai absorbans tiap sampel pada 190 nm-1100 nm. Setelah mengetahui nilai simpangan baku, selanjutnya yang dilakukan perhitungan untuk mencari nilai SNV menggunakan rumus berikut:

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^K (x_{ik} - \bar{x}_i)^2}{K-1}} \dots\dots\dots (17)$$

$$\tilde{x}_{ik} = \frac{x_{ik} - \bar{x}_i}{s_i} \dots\dots\dots (18)$$

Keterangan :

s_i : Standar deviasi

K : Jumlah data pada sampel i

k : Indeks panjang gelombang

\tilde{x}_{ik} : Nilai SNV dari sampel i pada panjang gelombang k

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

\bar{x}_i : Nilai rata-rata pada sampel i

c. *Savitzky-Golay differentiation*

Metode ini cocok digunakan jika bertujuan untuk memisahkan puncak yang saling bertumpuk dan memperbaiki *baseline* spektra yang memiliki informasi yang tidak relevan dengan komponen kimia dan biologi sampel saat dilakukan pengukuran. Turunan pertama membuat puncak yang ada pada spektra *original* menjadi 0, sementara turunan kedua menghilangkan *offset*, *baseline*, dan *slope* secara bersamaan.

d. *Smoothing Moving Average*

Pretreatment ini merupakan metode yang efektif dalam memperbaiki data ratio *noise* dan sinyal serta menghilangkan *noise* frekuensi tinggi. Cara kerjanya yaitu dengan menentukan jumlah titik atau *segment* untuk *averaging* data, semakin rendah titik *averaging* data maka resolusi spektra yang dimiliki menjadi semakin tinggi dan sebaliknya, semakin tinggi titik *averaging* data maka resolusi spektra yang dimiliki menjadi semakin rendah. Persamaan yang digunakan untuk menghitung spektra menggunakan metode *smoothing moving average* adalah sebagai berikut:

$$S_j = \frac{Y_{j-1} + Y_j + Y_{j+1}}{3} \dots\dots\dots (19)$$

Keterangan :

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

Y_j : Nilai spektra asli pada panjang gelombang ke-j

j : Indeks panjang gelombang

3 : Jumlah *segment*

Persamaan di atas digunakan untuk *segment* 3, jumlah *segment* tersebut bisa divariasikan namun harus bilangan ganjil dan dimulai dari 3.

e. *Normalization (MN)*

Normalization adalah metode perbaikan data yang didasari pada orientasi sampel. Metode ini bertujuan untuk membuat sampel terletak pada skala yang sama.

Persamaan *mean normalize* adalah sebagai berikut:

$$f(x) = \frac{x}{\text{mean}} \dots\dots\dots (20)$$

Keterangan :

$f(x)$: Nilai *mean normalize* pada sampel di panjang gelombang x

x : Nilai spektra asli

mean : Nilai spektra rata-rata pada sampel

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu dan tempat pelaksanaan penelitian ini adalah pada bulan Januari 2022 di Laboratorium Rekayasa Bioproses dan Pascapanen Pertanian (Lab. RBPP), Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

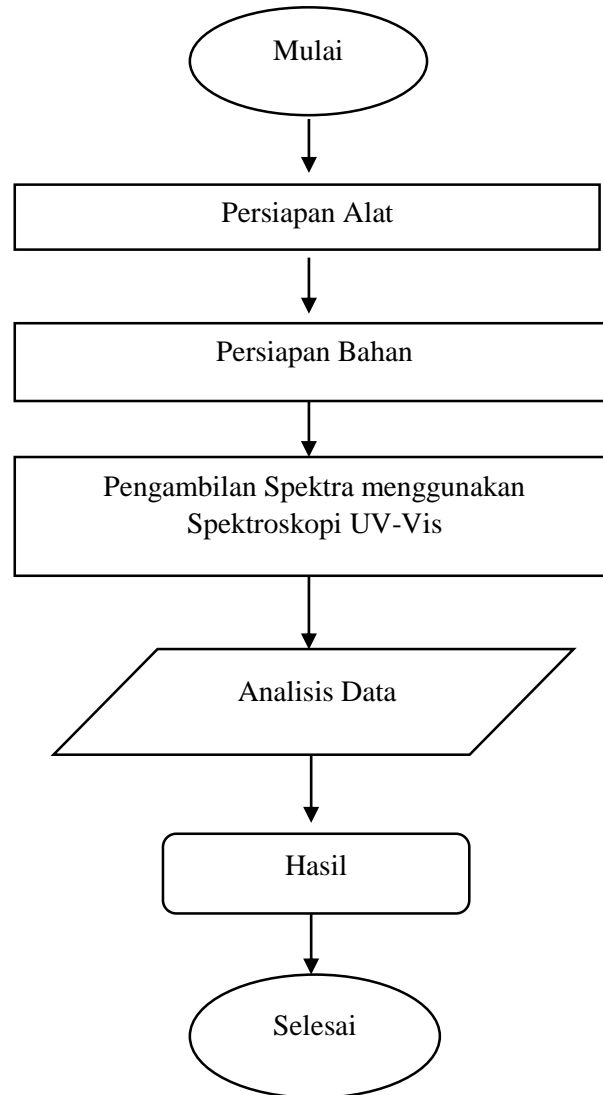
3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Analisis sampel madu dilakukan menggunakan spektroskopi *dual beam UV-visible* tipe *benchtop* (Genesys™ 10S UV-Vis, Thermo Elektron Instrument, USA) dengan parameter sebagai berikut: rentang pengukuran 190-1100 nm, mode transmitansi, dan interval panjang gelombang 1 nm. Alat lainnya yaitu thermometer, *magnetic stirrer* (Ciblanc™, Cina) (*size* pelat atas 4 x 4 *inch*), *waterbath*, kuvet, labu *Erlenmeyer* 50 ml, pipet ukur (10 ml, dan 2 ml), *rubber bulb*, gelas beker, gelas ukur, toples kecil, corong plastic, spatula, komputer, dan *flashdisk*. Bahan yang digunakan adalah madu monoflora nektar *Acacia mangium* lebah tanpa sengat *Heterotrigona itama* yang diperoleh dari PT Suhita Lebah Indonesia, bahan pemanis HFCS-55, dan air destilasi sebagai pengencer.

3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan prosedur yang meliputi persiapan alat dan bahan, kemudian persiapan sampel dengan cara memanaskan madu dan pemanis buatan. Setiap sampel diencerkan atau disebut dengan proses dilusi, diaduk menggunakan pengaduk magnetik, dilanjutkan dengan proses pengambilan

spektra dan selanjutnya data dianalisis menggunakan metode SIMCA. Diagram alir prosedur ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram alir prosedur penelitian.

3.3.1 Persiapan Alat

Persiapan alat meliputi penyediaan alat dengan lengkap dan pemeriksaan kondisi alat. Ketersediaan alat-alat yang diperlukan dalam penelitian penting untuk diperhatikan kelengkapannya sehingga setiap tahap penelitian dapat terlaksana

dengan lancar. Pemeriksaan kondisi alat harus dilakukan dengan seksama sebelum dan selama penelitian untuk memastikan alat dapat digunakan dengan baik sesuai fungsinya.

3.3.2 Prosedur Persiapan Bahan

Terdapat beberapa perlakuan yang harus dikenakan pada madu yang akan dijadikan sampel penelitian, di antaranya yaitu:

1. Penyimpanan Madu

Madu murni yaitu monoflora nektar *Acacia mangium* yang diperoleh dari PT Suhita Lebah Indonesia dan bahan pemanis HFCS-55 dikemas dalam botol *foodgrade* dan dijauhkan dari sinar matahari langsung. Madu dikirim ke laboratorium RBPP dan disimpan pada suhu rendah.

2. Pemanasan Sampel

Mengacu pada BSN (2013), analisis dilakukan langsung terhadap sampel tanpa perlakuan lain kecuali penyaringan, pengadukan dan pengocokan. Sampel dihangatkan dalam wadah tertutup di atas pemanas air 60-65°C selama 30 menit untuk memastikan tidak ada bagian-bagian yang menggumpal pada sampel. Setelah pemanasan selesai bahan dibiarkan pada suhu ruangan sampai suhunya setara dengan suhu ruang.



Gambar 8. Pemanasan sampel menggunakan *water bath*.

3. Pencampuran HFCS-55

Madu yang telah selesai dipanaskan dan kembali dingin, selanjutnya dicampur dengan pemanis buatan. Rasio pencampuran madu dengan HFCS-55 yang dilakukan yaitu 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5, dan 4:6.



Gambar 9. Pencampuran Madu dengan HFCS-55

4. Pengenceran Sampel

Seluruh sampel yang akan diukur menggunakan spectoscopy harus berada pada konsentrasi yang sesuai dengan kisaran sensitivitas dari alat yang digunakan. Untuk mendapat konsentrasi yang tepat larutan diencerkan menggunakan air destilasi dengan perbandingan 1:20 (ml:ml). Perbandingan tersebut dipilih berdasarkan hasil prapenelitian, dan pada perbandingan 1:20 (ml:ml) spektra yang diperoleh menunjukkan hasil yang terbaik. Menurut penelitian Suhandy, Yulia dan Kusumiyati (2020), pencampuran yang baik dilakukan dengan cara mencampurkan madu dan air destilasi dengan perbandingan 1:20 (v/v).



Gambar 10. Pengenceran sampel dengan aquades.

5. Pengadukan Sampel

Sampel madu yang telah diencerkan diaduk dengan pengaduk magnetik (Ciblanc, TM, Cina) selama 10 menit dengan kecepatan sedang hingga campuran dapat dipastikan homogen. Pada kondisi ini sampel telah siap diambil data spektranya.



Gambar 11. Pengadukan sampel menggunakan *magnetic stirrer*.

6. Persiapan Sampel

Persiapan sampel diawali dengan penomoran sampel, sampel dinomori dan diberi kode berdasarkan jenis campuran dan kadar campurannya. Sampel madu *H. itama* murni diberi kode sampel MI, sampel madu campuran dengan level 10-60% diberi kode sampel berturut-turut MC10, MC20, MC30, MC40, MC50, MC60, sedangkan sampel HFCS-55 diberi kode sampel HF. Penomoran sampel dapat dilihat pada Table 4 di bawah ini.

Tabel 4. Penomoran Sampel Madu dengan Campuran HFCS

No Sampel	Komposisi Bahan
1-20	10 ml Madu + 0 ml sirup jagung (MI)
21-40	9 ml Madu + 1 ml sirup jagung (MC10)
41-60	8 ml Madu + 2 ml sirup jagung (MC20)
61-80	7 ml Madu + 3 ml sirup jagung (MC30)
81-100	6 ml Madu + 4 ml sirup jagung (MC40)
101-120	5 ml Madu + 5 ml sirup jagung (MC50)
121-140	4 ml Madu + 6 ml sirup jagung (MC60)
141-160	Hight Fructose Corn Syrup 55% (HF)

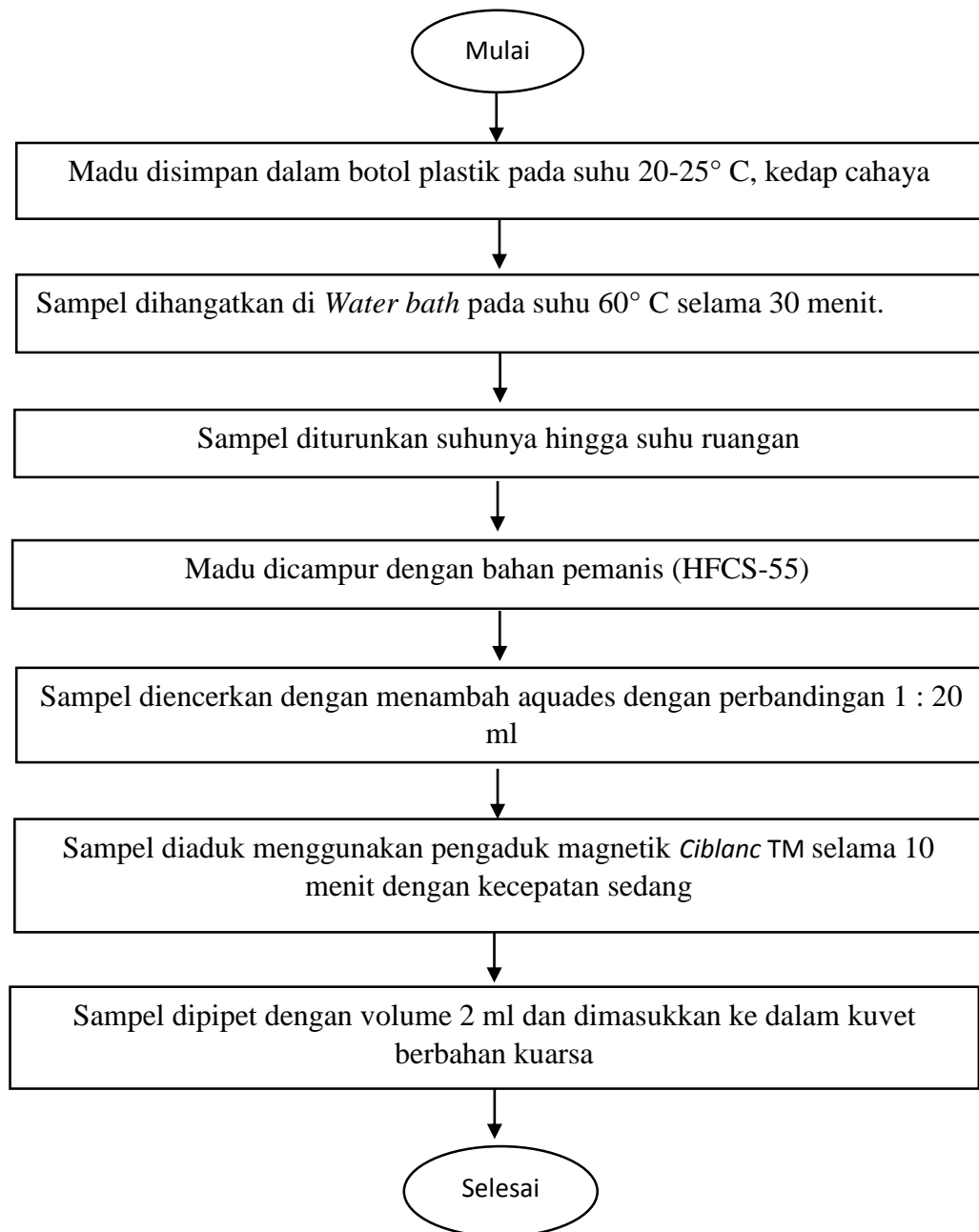
Sebanyak 320 sampel diambil data spektranya dengan masing-masing 2 kali pengulangan. Setelah sampel dipastikan homogen, kemudian dipipet dengan volume 2 ml dan dimasukkan ke dalam kuvet berbahan kuarsa.

Permukaan luar kuvet terutama dinding transparan dari kuvet harus dipastikan dalam keadaan bersih, agar gelombang cahaya dapat diteruskan dengan optimal. Kuvet dimasukkan ke dalam spektroskopi UV-visible. Kemudian diukur spektranya dengan parameter sebagai berikut: rentang pengukuran 190-1100 nm, mode transmitansi, dan interval panjang gelombang 1 nm.



Gambar 12. Persiapan sampel

Gambar 13 di bawah ini merupakan diagram alir persiapan bahan.



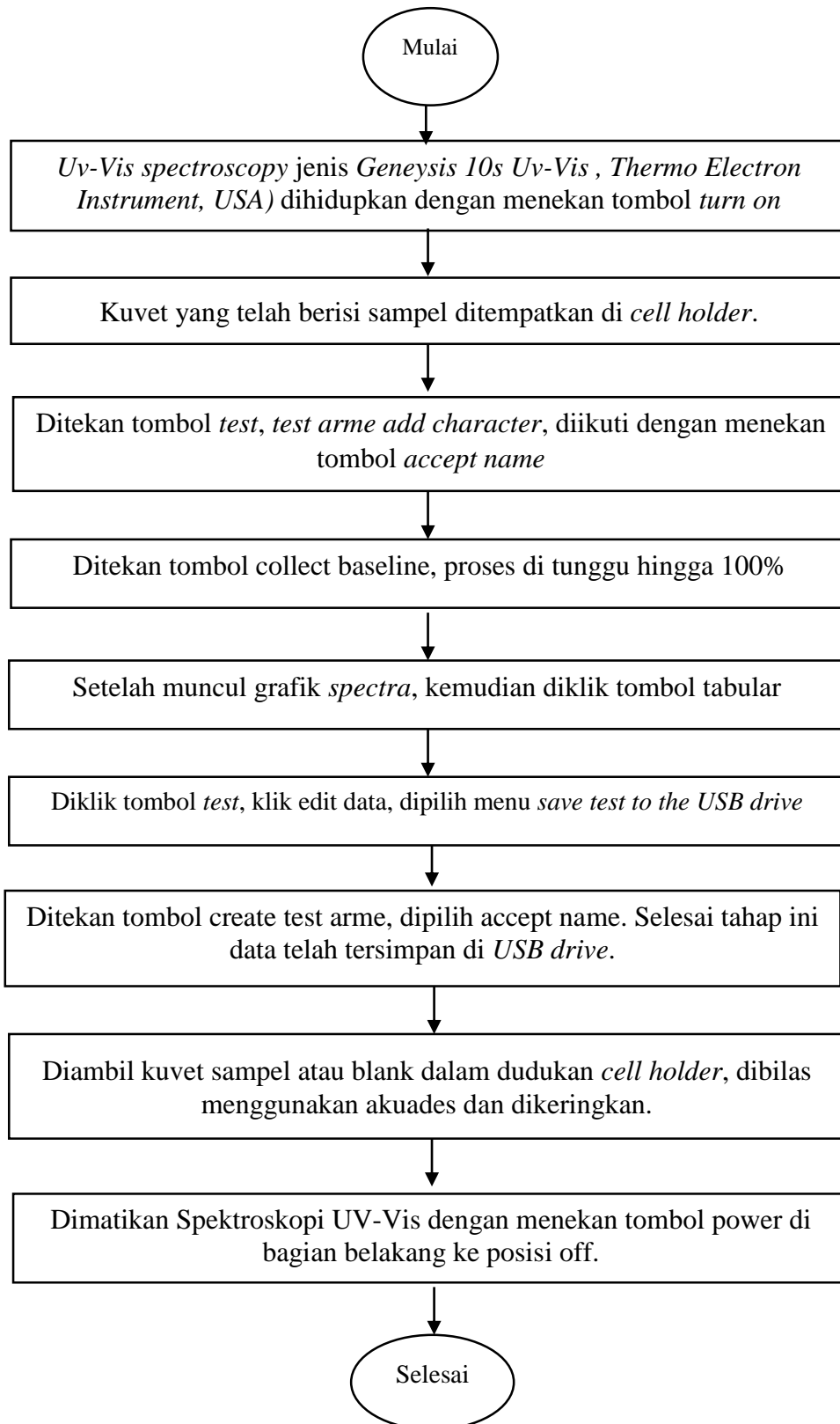
Gambar 13. Diagram Alir Persiapan Sampel

3.3.3 Pengukuran Spektra dengan Spektroskopi

Pengambilan data spektra menggunakan alat spektroskopi, sampel adalah madu yang telah diencerkan, sampel dipipet ke dan dimasukkan ke dalam kuvet sebanyak 2 ml. Selanjutnya kuvet diletakkan di dalam *holders system* dan diambil nilai absorbansinya, dapat dilihat pada Gambar 14. Langkah pengambilan data spektra menggunakan spektroskopi dijelaskan pada Gambar 15.



Gambar 14. Pengukuran spektra menggunakan UV-Vis spektroskopi



Gambar 15. Diagram alir pengambilan spektra

3.3.4 Membuat dan Menguji Model

Model dibangun dan diuji berdasarkan data nilai absorbansi yang telah diperoleh sebelumnya. Data absorbansi menjadi dasar dalam membangun model atau persamaan dan juga digunakan untuk pengujian ketepatan model. Pembuatan dan pengujian model menggunakan metode SIMCA dan PCA pada Perangkat lunak *The Unscrambler* versi 10.4.

3.4 Analisis Data

Data yang telah diperoleh hanya dapat diartikan jika pola sampel telah dideteksi, pola sampel dideteksi menggunakan *The Unscrambler* versi 10.4. Pembangunan model kalibrasi menggunakan metode *soft independent modeling of class analogy* (SIMCA) dan *principal component analysis* (PCA). Seluruh nilai absorbansi dari sampel yang didapat dikumpulkan dalam satu file data *Microsoft Excel* kemudian dianalisis menggunakan aplikasi *The Unscrambler* versi 10.4. Sampel dibagi menjadi 3 kelompok yang akan digunakan dalam proses kalibrasi, validasi dan prediksi. Sampel kalibrasi digunakan pada tahap pembuatan model SIMCA, sampel validasi digunakan pada tahap validasi model yang telah dibangun, dan sampel prediksi digunakan pada pengujian model. Kemudian hasil klasifikasi yang diperoleh dari pengujian model dihitung menggunakan matriks konfusi.

3.5 *Principal Component Analysis* (PCA)

Data nilai absorban yang diambil dari *UV-Vis Spectroscopy* berasal dari sampel madu monoflora *Acacia mangium* lebah *Heterotrigona itama* murni dan yang telah dicampur dengan HFCS. Setelah diperoleh data absorbansinya kemudian data tersebut dikumpulkan menjadi satu dalam satu file *Microsoft Excel*.

Kemudian file *Microsoft Excel* dianalisis menggunakan aplikasi *The Unscrambler version 10.4* (Sukarye, 2018).

Analisis Komponen Utama (*principal component analysis*) adalah analisis *multivariate* yang mentransformasi variabel-variabel asal yang saling berkorelasi menjadi variabel-variabel baru yang tidak saling berkorelasi dengan mereduksi sejumlah variabel tersebut sehingga mempunyai dimensi yang lebih kecil namun dapat menerangkan sebagian besar keragaman variabel aslinya (Rumus Statistik, 2021).

Banyaknya komponen utama yang terbentuk sama dengan banyaknya variabel asli. Pereduksian (penyederhanaan) dimensi dilakukan dengan kriteria persentase keragaman data yang diterangkan oleh beberapa komponen utama pertama. Apabila beberapa komponen utama pertama telah menerangkan lebih dari 75% keragaman data asli, maka analisis cukup dilakukan sampai dengan komponen utama tersebut (Rumus Statistik, 2021).

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

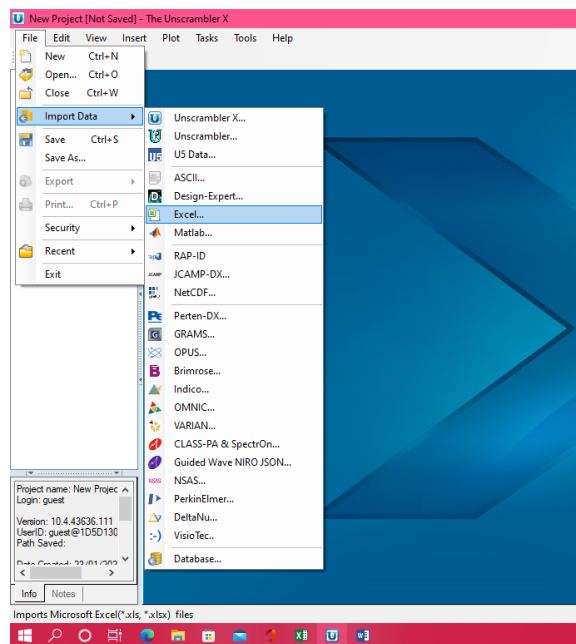
- a. Menentukan dan menjalankan metode *pre-treatment* terhadap data spektra yang sesuai jika dirasa perlu atau hanya menggunakan spektra asli tanpa *pre-treatment*.
- b. Menjalankan algoritma PCA, tentukan jumlah komponen utama (PC) yang akan dilibatkan, diagnosis model.
- c. Menginterpretasikan plot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

Untuk mengakses metode analisis PCA perangkat lunak Unscrambler adalah dengan mengakses menu *Task – Analyze – Principal Component Analysis*. Data yang akan digunakan berupa data absorbansi dari UV-Vis Spectroscopy, terdiri dari 100 sampel madu uniflora *Acasia mangium* dan 100 sampel madu monoflora.

Semua data absorptansi yang diperoleh dijadikan file *Microsoft Excel* versi 97-2003. Data tersebut nantinya akan diimpor ke perangkat lunak Unscrambler dan didefinisikan sebagai kategori yang akan diklasifikasikan. Tahap yang dijalankan adalah sebagai berikut:

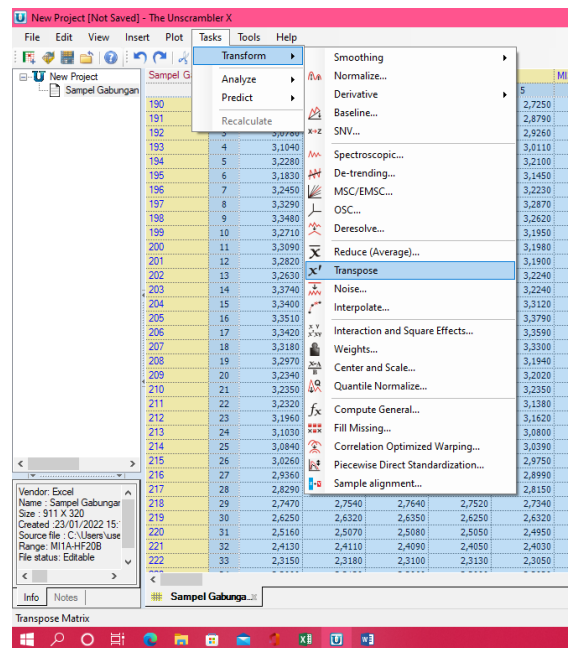
1. Buka perangkat lunak Unscrambler versi 10.4.
2. Mengimpor data, yaitu dengan klik menu File lalu klik import data, dengan format *excel* untuk mengambil file *Microsoft Excel* yang akan dianalisis.

Berikut ini adalah gambar proses impor data dari *Ms. Excel*.



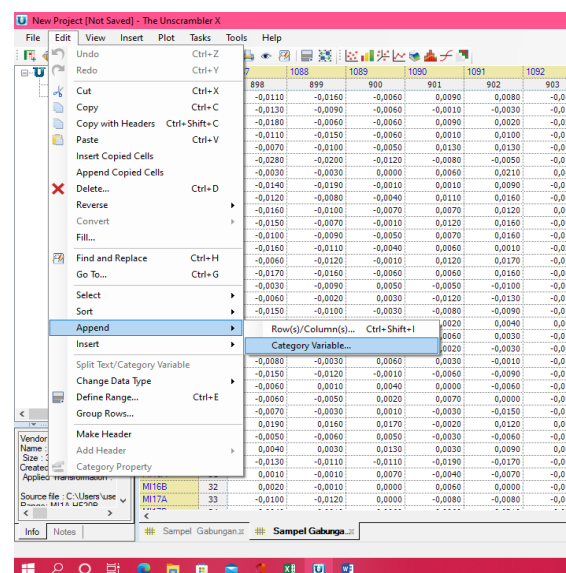
Gambar 16. Mengimpor data dari *Microsoft Excel* ke *The Unscrambler* 10.4.

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



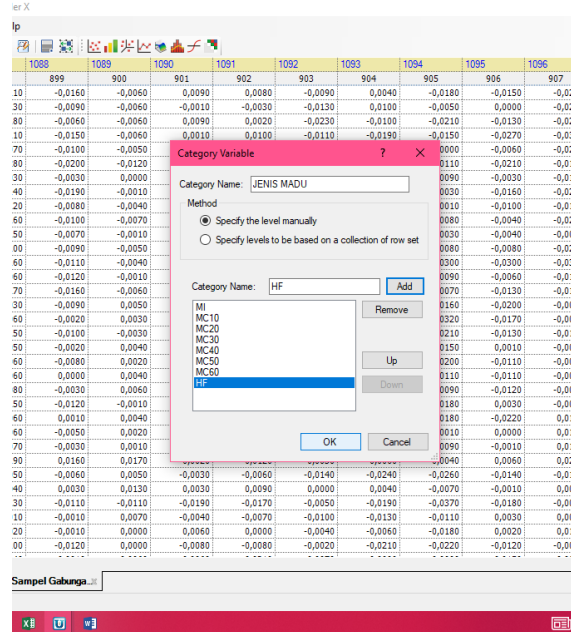
Gambar 17. Proses mentranspose Data pada The Unscrambler 10.4.

4. Menuliskan *Category Variable Name*, tahapnya yaitu pilih menu edit klik *Append* lalu pilih *Category Variable*, kemudian tuliskan kata “JENIS MADU” ada *Category Variable Name*.



Gambar 18. Proses membuat kolom *Category Variable*.

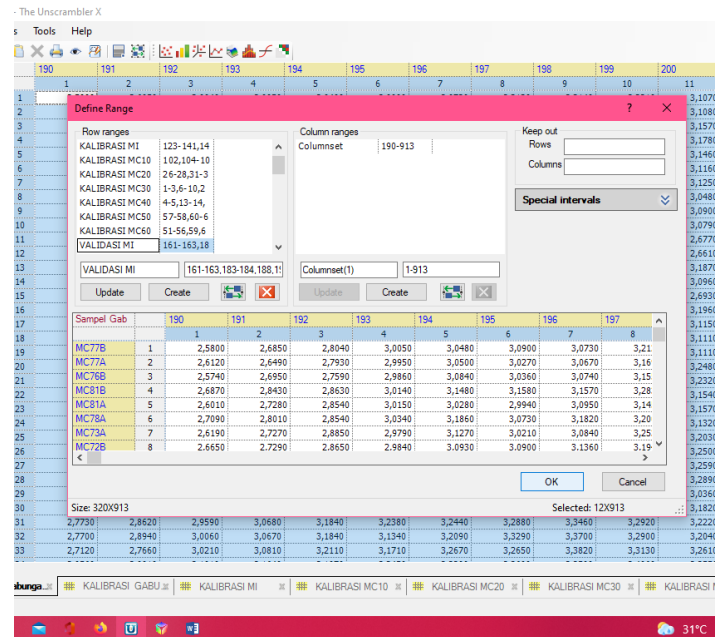
5. Mengisis *Level Name*, tuliskan jenis madu yaitu madu uniflora Hetero trigona murni dan madu Heterotrigona campuran pada *Level Name*. Penjelasan pada gambar berikut.



Gambar 19. Langkah menambahkan *level name*

6. Diklik kolom JENIS MADU dan setiap baris diisi sesuai jenis madu. Sebelum menganalisis data menggunakan PCA maka diawali dengan pengelompokan data berdasarkan kategori sampel dan variabel. Tahap yang dilakukan yaitu:
- Klik menu edit kemudian pilih *define ranges*
 - Isi *rowset* dengan nama kalibrasi, validasi, dan prediksi dari jenis madu
 - Isi *column set* dengan jumlah *wavelength*

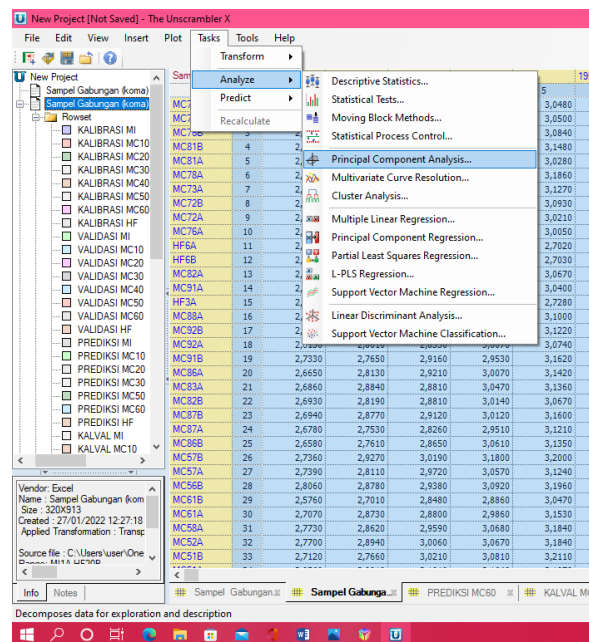
Berikut adalah gambar proses pengelompokan data yang dijalankan.



Gambar 20. Tahap *define ranges*

7. Menambahkan kolom *Category Variable*, kolom tersebut berisi kalibrasi, validasi, dan prediksi (KALVALPRED).
8. Menganalisis data dengan PCA, ini adalah tahap inti tahap yang dilakukan yaitu:
 - Pilih menu *Task*
 - Pilih PCA
 - Pilih validasi *test set*
 - Kemudian klik *set up*
 - Pilih diisi sesuai jumlah data validasi pada sampel.

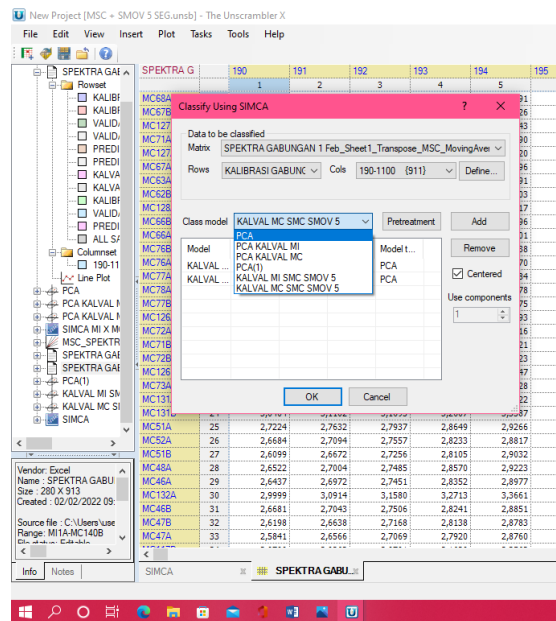
Gambar berikut menjelaskan tahap analisis PCA di atas.



Gambar 21. Langkah PCA Pada *The Unscrambler 10.4*.

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

Setelah hasil diskriminasi PCA diperoleh dan didapat hasil yang bagus, maka langkah selanjutnya adalah membangun model SIMCA (*soft independent modeling of class analogy*). SIMCA merupakan teknik analisis multivariat terawasi yang digunakan untuk menguji kekuatan diskriminasi dan klasifikasi sampel. SIMCA digunakan untuk menetapkan sampel ke dalam kelas yang tersedia dengan tepat. Metode klasifikasi ini didasarkan pada pembuatan model PCA untuk masing-masing kelas dan mengklasifikasikan setiap sampel pada masing-masing model PCA.



Gambar 22. Membangun model SIMCA

Hasil luaran yang diperoleh dari SIMCA adalah berupa tabel klasifikasi yang menunjukkan ke dalam kelas mana setiap sampel digolongkan, apakah masuk ke dalam satu kelas yang tepat, beberapa kelas, atau tidak terklasifikasikan ke dalam kelas manapun. Sampel madu yang digunakan untuk membuat model SIMCA dibagi menjadi 3 bagian yaitu untuk kalibrasi, validasi dan prediksi. Sampel kalibrasi adalah sampel madu yang akan digunakan untuk membuat model SIMCA, sampel validasi digunakan untuk mengecek kembali model yang digunakan, dan sampel prediksi adalah sampel madu yang akan digunakan untuk menguji model yang sudah dibuat dari sampel kalibrasi dan validasi.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil penelitian membuktikan keberhasilan metode analisis spektroskopi UV-Vis dan kemometrika dalam mengidentifikasi pemalsuan madu lebah *Heterotrigona itama* nektar *Acacia mangium* yang dicampur sirup HFCS-55.
2. Model klasifikasi PCA yang dibangun menggunakan data spektra original menampilkan visualisasi pola sampel pada *score plot* yang terpisah dengan baik antara sampel murni MI dan sampel campuran MC. Nilai varian PC-1 sebesar 97% dan nilai varian PC-2 sebesar 1%, sehingga, secara kumulatif seluruh PC mampu menjelaskan varian data sebesar 98%. Data hasil *pretreatment* MSC + *smoothing moving average* 5S menghasilkan pola sampel yang terpisah dengan semakin baik, nilai varian PC-1 sebesar 96% dan nilai varian PC-2 sebesar 3%, sehingga seluruh PC mampu menjelaskan varian data sebesar 99%.
3. Pada visualisasi *x-loading*, terindikasi puncak gelombang pada 288 nm dan 290 nm, sekaligus menunjukkan variabel tersebut berpengaruh kuat dalam mengkarakterisasi sampel MI dan MC. Panjang gelombang tersebut berkorespondensi dengan respon asam fenolik merujuk pada penelitian Parri et al. (2020), yang menyatakan gelombang 280-290 nm menunjukkan absorbans dari beberapa asam fenolik.
4. Performansi model SIMCA dalam mengklasifikasi sampel dievaluasi menggunakan matriks konfusi. Pada data original didapatkan nilai sensitivitas, spesifisitas, akurasi, dan error berturut-turut 100%; 92,3%; 93,3%; dan 6,67%, model klasifikasi dikategorikan sebagai *fair classification*. Sedangkan pada

data hasil *pretreatment* MSC + *smoothing moving average* 5S didapatkan nilai sensitivitas, spesifisitas, akurasi, dan *error* berturut-turut 100%; 100%; 100%; dan 0%, model klasifikasi dikategorikan sebagai *excellent classification*.

5.2. Saran

Saran dari penulis adalah untuk melakukan penelitian lanjutan dengan senyawa fenolik sebagai target dalam klasifikasi. Selain itu dapat dengan melibatkan beragam jenis madu untuk mengetahui lebih banyak senyawa penting yang berkontribusi dalam mengkarakterisasi madu, ataupun melibatkan jenis pencampur lain yang berpotensi menjadi bahan pemalsuan madu.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Quran. Surah. An-Nahl/16:69 (tanpa tanggal) *Al-Quran*.
- Achyani, & Wicandra, D. (2019). *Kiat Praktis Budidaya Lebah Trigona (Heterotrigona itama)*. CV. Laduny Alifatama.
- Apratiwi, N. (2016). *Studi Penggunaan UV-Vis Spectroscopy untuk Identifikasi Campuran Kopi Luwak dengan Kopi Arabika*. Universitas Lampung.
- Baroni, Veronica, M., & Nores. (2006). Determination of Volatile Organic Compound Patterns Characteristic of Five Unifloral Honey by Solid-Phase Microextraction-Gas Chromatography-Mass Spectrometry Coupled to Chemometrics. *Food Chem Journal*, *54*, 7235–7241.
- Bogdanov, S. (2011). *Functional and Biological Properties of the Bee Products : a Review I Functional and Biological Properties of the Bee Products : a Review*. www.bee-hexagon.net
- Chen, L., Xue, X., Ye, Z., & Zhou, J. (2011). Determination of Chinese Honey Adulterated with High Fructose Corn Syrup by Near Infrared Spectroscopy. *Food Chemistry*, *128*, 1110–1114.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.10.027>
- Chin, N. L., & Sowndhararajan, K. (2020). A Review on Analytical Methods for Honey Classification, Identification and Authentication. In *Honey analysis-new advances and challenges*. Intechopen.
- Codex Alimentarius Commission. (2001). *Revised Standards for Honey* (Patent No. Codex Standard 12-198).
- da Silva, P. M., Gauche, C., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2016). Honey: Chemical Composition, Stability and Authenticity. *Food Chem*, *196*, 309–323. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.051>
- Dachriyanus. (2004). *Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi*. Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LPTIK) Universitas Andalas.
- De Caro, C., & Claudia, H. (2015). *UV/VIS Spectrophotometry -Fundamentals and Applications*. Mettler Toledo.
- de Santana, F. B., S.J., M., L.C., G., W.B., N., & R.J., P. (2018). Rapid Discrimination between Authentic and Adulterated Andiroba Oil Using

- FTIR-HATR Spectroscopy and Random Forest. *Food Analytical Methods*, *11*, 1927–1935. <https://doi.org/10.1007/s12161-017-1142-5>
- Donarski, J. A., Jones, S. A., Harrison, M., Driffield, M., & Charlton, A. J. (2010). Identification of Botanical Biomarkers Found in Corsican Honey. *Food Chemistry*, *118*(4), 987–994. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.10.033>
- Edinburgh Instruments. (2022). *The Beer-Lambert Law*. Edinburgh Instruments Ltd. <https://www.edinst.com/us/blog/the-beer-lambert-law/>
- F. G. Winarno. (1992). *Kimia Pangan dan Gizi*. Pt. Gramedia Pustaka Utama.
- F. G. Winarno. (2020). *Panduan Analisis Kemurnian Madu*. PT Gramedia Pustaka Utama.
- Fadhilah, R., & Rizkika, K. (2015). *Laba Lebah Tanpa Sengat*. PT Trubus Swadaya.
- Ferreira, I. C. F. R., Aires, E., Barreira, J. C. M., & Estevinho, J. C. M. (2009). Ferreira, I. C. F. R., Aires, E., Barreira, J.C.M., & Estevinho, J. C. M. (2009). Antioxidant Activity of Portuguese Honey Samples: Different Contributions of The Entire Honey and Phenolic Extract. *Food Chemistry*, *114*, 1438–1443. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.028>
- Firmansyah. (2006). *Analisa Perilaku dan Preferensi Konsumen Terhadap Atribut Madu dan Produk Pesaingnya serta Implimasinya bagi Sategi Pemasaran*. IPB.
- Gosyenland. (2010). *Jenis Madu*. <http://www.gosyenland.com/front/index.php/artikel-madu/50-jenis-madu>
- Hoo, Z. H., Candlish, J., & Teare, D. (2017). What is an ROC curve? *Emergency Medicine Journal*, *34*(6), 357–359. <https://doi.org/10.1136/emered-2017-206735>
- Hooijschuur, J. H. (2021). *UV/Vis Spectrometry Basics*. Chromedia. <https://www.chromedia.org/chromedia?waxtrapp=fotjtbEsHiemBpdmBIIecCFpBN&subNav=lnijabEsHiemBpdmBIIecCFpBN>
- Jaya, F. (2016). *Produk-Produk Lebah dan Hasil Olahannya*. UB Press.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2018). *Status Hutan dan Kehutanan Indonesia*. Kementerian Kehutanan.
- Kusmantoro, Z. N. (2018). *Akurasi Uji Diagnostik Menggunakan Luasan Bawah Kurva ROC Smoothed Empirical*. Universitas Gadjah Mada.
- Kusumaningrum, D., Hoonsoo, L., Lohumi, S., Changyeun, M., Kim, M. S., & Cho, B. K. (2007). Non-Destructive Technique for Determining the Viability of Soybean (*Glycine Max*) Seeds Using FT-NIR Spectroscopy. *Journal of The Science of Food and Agriculture*, *98*(7), 1734–1742.
- Lavine, B. K. (2009). Validation of classifiers. In: Walczak, B., Tauler, R., and

- Brown, S. (eds.). *Comprehensive Chemometric : Chemical and Biochemical Data Analysis*, 587–599.
- Markham, K. R. (1988). *Cara Mengidentifikasi Flavonoid*. Penerbit ITB.
- Moermanto. (1986). Tinjauan tentang Quality Control pada Industri Madu. In Perum Perhutani (Ed.), *Prosiding Lokakarya Pembudidayaan Lebah Madu untuk Peningkatan Kesejahteraan Masyarakat*. Perum Perhutani.
- Moniruzzaman, M., Sulaiman, S. A., Khalil, M. 1., & Gan, S. H. (2013). Evaluation of physicochemical and antioxidant properties of sourwood and other Malaysian honeys: a comparison with manuka honey. *Chemistry Central Journal*, 7(1), 138. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-7-138>
- Munawar, A. A., & Hasanuddin. (2020). *Analisis Data Multivariat Menggunakan The Unscrambler X*. Syiah Kuala University Press.
- Nayik, A. G., & Nanda, V. (2015). Physico-Chemical, Enzymatic, Mineral and Colour Characterization of Three Different Varieties of Honey from Khasmir Valley of India with a Multivariate Approach. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 65(2), 101–108. <https://doi.org/https://doi.org/10.1515/pjfn-2015-0022>
- Nelli. (2004). *Waktu Pencarian Serbuk Sari Lebah Pekerja Trigona sp (Apidae: Hymenoptera)*. Institut Pertanian Bogor.
- Nistrup, P. (2019). *Principal Component Analysis (PCA) 101, using R. Towards Data Science*. <https://towardsdatascience.com/principal-component-analysis-pca-101-using-r-361f4c53a9ff>
- Nurcahyo, B. (2015). *Identifikasi dan Autentikasi Meniran (Phyllanthus Niruri) Menggunakan Spektrum Ultraviolet Tampak dan Kemometrika. (Skripsi)*. Institut Pertanian Bogor.
- Park, S. H., Kim, Y. K., Kim, M. S., & Lee, S. H. (2020). Antioxidant and Antibacterial Properties of Hovenia (Hovenia dulcis) Monofloral Honey Produced in South Korea. *Food Science of Animal Resources*, 40(2), 221–230. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2020.e6>
- Parri, E., Santinami, G., & Domenici, V. (2020). *Front-Face Fluorescence of Honey of Different Botanic Origin: A Case Study from Tuscany (Italy)*. MDPI.
- Pomerantsev, A. L., & Rodionova, O. Y. (2020). Popular decision rules in SIMCA: Critical review. *Journal of Chemometrics*, 34(8). <https://doi.org/10.1002/cem.3250>
- Prabowo, S., Yuliani, Prayitno, A. Y., Lestari, K., & Kusesvara, A. (2019). Penentuan Karakteristik Fisiko-Kimia Beberapa Jenis Madu Menggunakan Metode Konvensional Dan Metode Kimia. *Journal of Tropical AgriFood*, 1(2), 66–73.
- Pratiwi, D. E., & Harjoko, A. (2013). *Implementasi Pengenalan Wajah menggunakan PCA (Principal Componen Analysis)*. FMIPA UGM.

- Q. S. An-Nahl/16:69. (n.d.). *Al-Quran*.
- Rasmussen, C., & Cameron, S. A. (2010). Global Stingless Bee Phylogeny Supports Ancient Divergence, Vicariance, and Long Distance Dispersal. *Biological Journal of the Linnean Society*, *99*, 206–232. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2009.01341.x>
- Rinnan, Å., Nørgaard, L., Berg, F. van den, Thygesen, J., Bro, R., & Engelsen, S. B. (2009). Chapter 2 - Data Pre-processing. *Infrared Spectroscopy for Food Quality Analysis and Control*, *3*, 29–50. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012374136300002X>
- Rohman, A., Triyana, K., Sismindari, & Erwanto, Y. (2014). Quantification of Lard in the Mixture with Olive Oil in Cream Cosmetic Based on FTIR Spectra and Chemometrics for Halal Authentication. *Jurnal Teknologi*, *69*, 113–119.
- Rumus Statistik. (2021). *Analisis Komponen Utama (Principal Component Analysis)*. Rumus Statistik. <https://www.rumusstatistik.com/2015/03/analisis-komponen-utama-principal.html>
- S., S. (1962). *Beekeeping in India*. Indian Council Agricultural Research.
- Schuhfried, E., Pulgar, J. S. del, Bobba, M., Piro, R., Cappellin, L., Mark, D. T., & Biasioli, F. (2016). Classification of 7 Monofloral Honey Varieties by PTR-ToF-MS Direct Headspace Analysis and Chemometrics. *Talanta Journal*, *147*, 213–219.
- Shevtsov, S., Weyns, D., & Maggio, M. (2019). SimCA*. *ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems*, *13*(4), 1–34. <https://doi.org/10.1145/3328730>
- Sihombing. (2005). *Ilmu Ternak Lebah Madu*. Gadjah Mada University Press.
- Singh, I., Juneja, P., Kaur, B., & Kumar, P. (2013). *Pharmaceutical Applications of Chemometric Techniques*. 2013.
- Soares, S., Amaral, J. S., Oliveira, M. B. P. P., & Mafra, I. (2015). Improving DNA isolation from honey for the botanical origin identification. *Food Control*, *48*, 130–136. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.02.035>
- Standar Nasional Indonesia. (2013). *Madu*. SNI 01-3545-2013.
- Subagyo. (2008). *Forecasting Konsep dan Aplikasi*. BPFE.
- Sugianti, C., Apratiwi, N., Suhandy, D., Telaumbanua, M., Waluyo, S., & Yulia, M. (2016). Studi Penggunaan Uv-Vis Spectroscopy untuk Identifikasi Campuran Kopi Luwak dengan Kopi Arabika. *Jurnal Teknik Pertanian*, *5*(31), 167–176.
- Suhandy, D., & Yulia, M. (2017). Peaberry coffee discrimination using UV-visible spectroscopy combined with SIMCA and PLS-DA. *International Journal of Food Properties*, *20*, S331–S339. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1296861>

- Suhandy, D., & Yulia, M. (2019a). Klasifikasi Kopi Bubuk Speisialti Kalosi dan Toraja menggunakan UV-Visible Spectroscopy dan Metode PLS-DA. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 24, 73–81.
- Suhandy, D., & Yulia, M. (2019b). *Tutorial Analisis Data Spektra menggunakan The Unscrambler*. Graha Ilmu.
- Suhandy, D., & Yulia, M. (2021). Uji Keaslian Madu Lebah Hutan Apis Dorsata dari Nektar *Uniflora Acacia Mangium* Menggunakan Spektroskopi Ultraviolet dan Kemometrika. 22(1), 25–34.
- Suhandy, D., Yulia, M., & Kusumiyati, K. (2020). Klasifikasi Madu Berdasarkan Jenis Lebah (Apis dorsata versus Apis mellifera) Menggunakan Spektroskopi Ultraviolet dan Kemometrika. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 25(4), 564–573. <https://doi.org/10.18343/jipi.25.4.564>
- Sukarye, K. (2018). *Studi Penggunaan Uv- Vis Spectroscopy dan Metode SIMCA untuk Membedakan Kopi Bubuk Berdasarkan Umur Simpan (Skripsi)*. Universitas Lampung.
- Suranto, A. (2007). *Terapi Madu*. Penebar Plus.
- Suranto, A. (2010). *Dahsyatnya Propolis untuk Menggempur Penyakit*. AgroMedia Pustaka.
- Suranto, & Riza, A. M. (2005). Penentuan Strategi Pemasaran Berdasarkan Perilaku Konsumen dengan Metode Diskriminan. *Jurnal Teknik Industri*, 4(1), 18–27.
- Vanden Branden, K., & Hubert, M. (2005). Robust classification in high dimensions based on the SIMCA Method. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 79(1–2), 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2005.03.002>
- Vercellis, C. (2019). *Business Intelligence: Data Mining and Optimization for Decision Making*. John Willey dan Sons, Ltd., Publication.
- Vitha, M. F. (2019). *Specroscopy: Prinsiples and Instrumentations*. Jhon Wiley & Sons, Inc.
- Wibowo, B. A., Rivai, M., & Tasripan. (2016). Alat Uji Madu Menggunakan Polarimeter dan Sensor Warna. *Junal Teknik*, 5(1), 28–33.
- Wikipedia. (2021). Noisy Data. In *Wikipedia*. https://en.wikipedia.org/wiki/Noisy_data
- Woodcock, T., Downey, G., Kelly, J. D., & O'Donnell, C. (2007). Geographical Classification of Honey Samples by Near-Infrared Spectroscopy: A Feasibility Study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 9128–9134.
- Yukihiro, O., W. Fred, M., & Alfred A., C. (2006). *Near- Infrared Spectroscopy in Food Science and Technology*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/0470047704>

- Yuwei, W., & Lin, L. Y. (2019). *Heterotrigona itama* - *Stingless Bee*. Wiki.NUS. <https://wiki.nus.edu.sg/display/TAX/Heterotrigona+itama+-+Stingless+Bee>
- Zainol, M. I., Mohd Yusoff, K., & Mohd Yusof, M. Y. (2013). Antibacterial activity of selected Malaysian honey. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, *13*(1), 1. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-13-129>
- Zhu, X., Li, S., Shan, Y., & Zhang, Z. (2010). Detection of Adulterants such as Sweeteners Materials in Honey using Near-Infrared Spectroscopy and Chemometrics. *Journal of Food Engineering*, *101*, 92–97. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.06.014>