

***APLIKASI PORTABLE LED-BASED FLUORESCENCE SPECTROSCOPY
DAN KEMOMETRIKA UNTUK AUTENTIKASI MADU LEBAH TANPA
SENGAT (*Tetragonula laeviceps*)***

(Skripsi)

Oleh

ATIKA YUMNA SABITA



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

APLIKASI *PORTABLE LED-BASED FLUORESCENCE SPECTROSCOPY* DAN KEMOMETRIKA UNTUK AUTENTIKASI MADU LEBAH TANPA SENGAT (*Tetragonula laeviceps*)

Oleh

ATIKA YUMNA SABITA

Madu *Tetragonula laeviceps* merupakan jenis madu dari lebah madu tanpa sengat yang bermanfaat bagi kesehatan. Namun, produksi yang tidak seimbang dan tingginya permintaan menyebabkan maraknya pemalsuan, umumnya dengan mencampurkan madu asli dengan sirup beras merah (*rice malt syrup*). Penelitian ini bertujuan mengautentikasi madu *Tetragonula laeviceps* menggunakan spektroskopi fluoresensi portabel berbasis LED dan analisis kemometrika.

Pengujian dilakukan dengan tiga sampel yaitu madu murni *Tetragonula laeviceps* nektar *Calliandra calothyrsus* (TL), madu yang dicampur dengan sirup beras (TLC) dalam rasio 10-60%, serta sirup beras murni (SB). Data spektra dianalisis menggunakan metode *Soft Independent Modeling of Class Analogy* (SIMCA) dengan beberapa teknik pretreatment *Smoothing Moving Average* (SMA) dan *Multiplicative Scatter Correction* (MSC). Hasil menunjukkan perbedaan nilai fluoresensi antara madu murni, campuran, dan sirup beras, khususnya pada panjang gelombang 484,5 nm. Model terbaik diperoleh dengan *pretreatment* MSC + SMA 5 *segment*, yang menghasilkan akurasi klasifikasi dan spesifisitas 100%, sensitivitas 0%, serta *error* 0%.

Penelitian ini membuktikan bahwa spektroskopi fluoresensi portabel merupakan metode yang efektif untuk autentikasi madu *Tetragonula laeviceps*, mampu membedakan produk madu asli dan campuran, serta membantu mendeteksi pemalsuan secara cepat, sehingga memberikan perlindungan lebih baik bagi konsumen.

Kata kunci: Madu *Tetragonula laeviceps*, Spektroskopi fluoresensi, Kemometrika, Autentikasi, SIMCA

ABSTRACT

APPLICATION OF PORTABLE LED-BASED FLUORESCENCE SPECTROSCOPY AND CHEMOMETRICS FOR AUTHENTICATION OF STINGLESS BEE HONEY (*Tetragonula laeviceps*)

By

ATIKA YUMNA SABITA

Tetragonula laeviceps honey, produced by stingless bees, is known for its health benefits. However, the imbalance between limited production and high demand has led to increasing cases of adulteration, commonly by mixing genuine honey with red rice syrup (rice malt syrup). This study aims to authenticate *Tetragonula laeviceps* honey using portable LED-based fluorescence spectroscopy combined with chemometric analysis.

The calibration was conducted on three types of samples: pure *Tetragonula laeviceps* honey from *Calliandra calothyrsus* nectar (TL), honey adulterated with rice syrup (TLC) in ratios ranging from 10% to 60%, and pure rice syrup (SB). Spectral data were analyzed using the Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) method, with several preprocessing techniques including Smoothing Moving Average (SMA) and Multiplicative Scatter Correction (MSC). The results showed clear differences in fluorescence intensity among pure honey, adulterated honey, and rice syrup, particularly at a wavelength of 484.5 nm. The best classification model was obtained using the MSC + SMA (5-segment) preprocessing combination, which achieved 100% classification accuracy and specificity, 0% sensitivity, and 0% error rate.

This research demonstrates that portable fluorescence spectroscopy is an effective method for authenticating *Tetragonula laeviceps* honey. It can distinguish between pure and adulterated products rapidly and non-destructively, thus offering enhanced consumer protection and supporting quality assurance in honey production.

Keywords: *Tetragonula laeviceps* honey, Fluorescence spectroscopy, Chemometrics, Authentication, SIMCA.

**APLIKASI *PORTABLE LED-BASED FLUORESCENCE SPECTROSCOPY*
DAN KEMOMETRIKA UNTUK AUTENTIKASI MADU LEBAH TANPA
SENGAT (*Tetragonula laeviceps*)**

Oleh

ATIKA YUMNA SABITA

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul Skripsi

: **APLIKASI PORTABLE LED-BASED
FLUORESCENCE SPECTROSCOPY DAN
KEMOMETRIKA UNTUK AUTENTIKASI
MADU LEBAH TANPA SENGAT (*Tetragonula
laeviceps*)**

Nama Mahasiswa

: **Atika Yumna Sabita**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2114071043

Program Studi

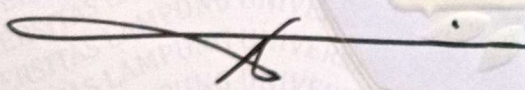
: Teknik Pertanian

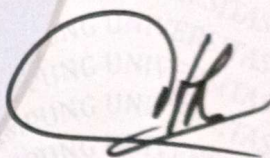
Fakultas

: Pertanian

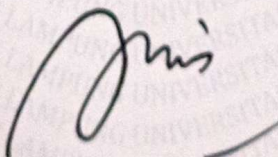


1. Komisi Pembimbing


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


Cicih Sugianti, S.T.P., M.Si., Ph.D.
NIP. 198805222012122001

2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian


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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

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



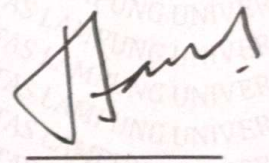
Sekretaris

: Cicih Sugianti, S.TP., M.Si., Ph.D.



Penguji

Bukan Pembimbing : Dr. Ir. Tamrin, M.S.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.

NIP. 196411161989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 18 Juni 2025

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah **Atika Yumna Sabita** NPM. **2114071043**. Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing, 1) **Prof. Dr. Agr. Sc. Diding Suhandy, S.T.P., M.Agr.** dan 2) **Cicih Sugianti, S.TP., M.Si., Ph.D.** Berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan, karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal, dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

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

Bandar Lampung, 19 Juni 2025

Yang membuat pernyataan


Atika Yumna Sabita
NPM. 2114071043

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kotabumi, Lampung Utara, Provinsi Lampung pada tanggal 22 September 2003. Penulis merupakan anak Tunggal dari pasangan Bapak Suhono dan Ibu Sri Wahyuni. Penulis menempuh Pendidikan di Taman Kanak-Kanak (TK) Aisyiyah 3 pada tahun 2007, Sekolah Dasar (SD) Muhammadiyah Pringsewu pada tahun 2009, Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 1 Pringsewu pada tahun 2015, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 1 Pringsewu pada tahun 2018. Penulis Terdaftar sebagai mahasiswa S1 Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada tahun 2021 melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi Asisten Praktikum pada mata kuliah Fisika Dasar pada tahun 2022. Penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) sebagai anggota Bidang Pengabdian Masyarakat pada periode 2023.

Pada bulan Januari hingga Februari tahun 2024, penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode 1 tahun 2024 selama 40 hari di Desa Setia Tama, Kecamatan Gedung Aji Baru, Kabupaten Tulang Bawang Barat. Selain itu pada tanggal 1 Juli hingga 9 Agustus 2024, penulis telah melaksanakan Praktik Umum (PU) di Omah Tawon Mataram, Kecamatan Gading Rejo, Kabupaten Pringsewu, Provinsi Lampung dengan judul Produksi Madu dengan Berbagai Spesies Lebah Madu di Omah Tawon Mataram.

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah rabbil 'aalamiin

Segala puji dan Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, kesehatan, dan kemudahan dalam setiap langkah sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Penulis meyakini bahwa skripsi ini adalah bagian dari ibadah dan bentuk perjuangan dalam menimba ilmu untuk menebar kebermanfaatan.

Skripsi ini kupersembahkan dengan penuh cinta, hormat, dan rasa terima kasih kepada:

Bapak dan Ibu tercinta (Bapak Suhono dan Ibu Sri Wahyuni)

Bapak dan Ibu tercinta sebagai tanda bakti, hormat, dan rasa terima kasih yang tiada terhingga kupersembahkan karya kecilku ini kepada Bapak dan Ibu yang selalu memberikan kasih sayang, segala dukungan, dan cinta kasih. Tiada mungkin dapat kubalas hanya dengan selembar kertas yang bertuliskan kata cinta dalam kata persembahanku ini. Semoga ini menjadi langkah awal untuk membuat Bapak dan Ibu bahagia karena ku sadar, selama ini belum bisa berbuat yang lebih.

Keluargaku

Untuk seluruh keluarga besarku, Terima kasih atas doa, dukungan, dan kasih sayang yang selalu mengiringi setiap langkahku. Kehangatan, kebersamaan, serta motivasi dari kalian menjadi kekuatan bagiku dalam menyelesaikan perjalanan ini.

Serta

Almamater Tercinta

Teknik Pertanian Universitas Lampung 2021

SANWACANA

Puji Syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT telah memberikan Rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Sholawat dan salam selalu tercurah kepada suri tauladan seluruh umat Islam, Nabi Muhammad SAW, yang senantiasa kita nantikan syafaatnya di akhirat kelak.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi yang berjudul “**Aplikasi Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy dan Kemometrika Untuk Autentikasi Madu Lebah Tanpa Sengat (*Tetragonula laeviceps*)**” ini banyak terjadi kesalahan ataupun kekurangan. Sehingga penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, doa, dukungan, dan bimbingan, serta arahan dalam penyelesaian skripsi ini. Ucapan terima kasih ini penulis ucapkan kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung;
2. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung;
3. Bapak Dr. Ir. Warji, S.TP., M.Si., IPM., selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
4. Bapak Prof. Dr. Agr. Sc. Diding Suhandy, S.TP., M.Agr., selaku pembimbing pertama dan dosen Pembimbing Akademik (PA) selama menempuh Pendidikan di Jurusan Teknik Pertanian, bukan hanya membimbing namun juga Bapak menjadi pengarah, penyemangat, dan

motivator yang luar biasa. Terima kasih sebesar-besarnya penulis ucapkan atas waktu dan kesabaran yang Bapak berikan selama proses penulisan skripsi ini. Tanpa dukungan Bapak yang tulus, mungkin skripsi ini belum bisa terselesaikan. Terima kasih telah mempermudah setiap proses dan selalu membuka pintu konsultasi dengan lapang dan memahami setiap kesulitan yang penulis hadapi. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan kesehatan, keberkahan, serta balasan terbaik untuk setiap kebaikan Bapak;

5. Ibu Cicih Sugianti, S.TP., M.Si., Ph.D., selaku dosen pembimbing kedua yang dengan penuh kesabaran dan perhatian membimbing penulis hingga di titik ini. Terima kasih telah membimbing, menasihati dan selalu mendorong penulis untuk terus berkembang;
6. Bapak Dr. Ir. Tamrin, M.S., selaku dosen penguji yang telah memberikan saran, arahan, bimbingan dan masukan dalam penyempurnaan skripsi ini;
7. Seluruh dosen Program Studi S1 Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung atas ilmu, pengalaman, dan didikannya dalam masa perkuliahan;
8. Seluruh staf Jurusan Teknik Pertanian atas semua bantuan dalam hal administrasi;
9. Kedua orang tuaku Bapak Suhono, A.Ma.TS dan Ibu Sri Wahyuni, S.H. atas segala cinta kasih dan pengorbanan tiada henti untuk anaknya. Terima kasih selalu memberikan yang terbaik, doa, dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dan mendapat gelar sarjana. Penulis doakan semoga Bapak dan Ibu selalu diberi kesehatan, umur panjang, dan kebahagiaan selalu;
10. Terima kasih untuk Evita, Widya, Diyah, Sindie, Triska, Ela, dan Hani yang telah membantu proses penyelesaian skripsi, memberikan dukungan serta semangat kepada penulis. Terima kasih sudah selalu bersama dalam setiap tawa dan drama dalam perkuliahan;

11. Terima kasih Tim Spectroscopy Research 21, Billa, Risky, Galih, Daniel yang menjadi penyemangat penulis dalam proses penelitian hingga penyelesaian skripsi ini;
12. Keluarga Teknik Pertanian 2021 yang telah memberikan semangat, dukungan, dan bantuannya selama menempuh pendidikan;
13. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan dalam penyelesaian skripsi ini.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan Bapak, Ibu, serta rekan-rekan yang telah membantu. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat di masa yang akan datang.

Bandar Lampung, 19 Juni 2025

Penulis

Atika Yumna Sabita
NPM. 2114071043

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	6
1.3. Tujuan Penelitian	7
1.4. Manfaat Penelitian	7
1.5. Batasan Masalah	8
1.6. Hipotesis	8
II. TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1. Lebah Madu	9
2.2. Lebah Madu Tanpa Sengat (<i>Stingless bee honey</i>)	10
2.3. Madu	13
2.4. <i>Rice Malt Syrup</i> (RMS)	15
2.5. <i>Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy</i>	17
2.6. Metode Kemometrika Menggunakan The Unscrambler	18
2.6.1. <i>Principal Component Analysis</i> (PCA)	19
2.6.2. <i>Soft Independent Modelling of Class Analogy</i> (SIMCA)	19

III. METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1. Waktu dan Tempat	21
3.2. Alat dan Bahan.....	21
3.3. Prosedur Penelitian	21
3.3.1. Persiapan Alat	23
3.3.2. Persiapan Bahan.....	23
3.3.3. Pengukuran Spektra dengan <i>Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy</i>	28
3.3.4. Pembuatan dan Pengujian Model	30
3.4. Analisis Data.....	30
 IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	 33
4.1 Hasil Analisis Spektra dan <i>Principal Component Analysis</i> (PCA)..	33
4.1.1. Madu <i>Tetragonula laeviceps</i> dengan Nektar <i>Calliandra calothyrsus Original</i>	33
4.1.2. Madu <i>Tetragonula laeviceps</i> dengan <i>Pretreatment</i> MSC + SMA 5 <i>Segment</i>	37
4.2. Model <i>Soft Independent Modelling of Class Analogy</i> (SIMCA)	42
4.2.1. Hasil Model SIMCA Menggunakan Data <i>Original</i>	43
4.2.2. Hasil Model SIMCA Menggunakan Data <i>Pretreatment</i> MSC + SMA 5 <i>Segment</i>	45
4.3. Klasifikasi Menggunakan Sampel Baru (Sampel Prediksi).....	46
4.3.1. Klasifikasi Menggunakan Data <i>Original</i>	46
4.3.2. Klasifikasi Menggunakan Data <i>Pretreatment</i> MSC + SMA 5 <i>Segment</i>	48
4.4. Kurva <i>Receiver Operating Characteristic</i> (ROC)	49
4.4.1. Kurva ROC Menggunakan Data <i>Original</i>	49
4.4.2. Kurva ROC Menggunakan Data <i>Pretreatment</i> MSC + SMA 5 <i>Segment</i>	54
 V. KESIMPULAN	 55
5.1. Kesimpulan	56
5.2. Saran	56

DAFTAR PUSTAKA.....	57
LAMPIRAN.....	63
Tabel 14-17.....	65
Gambar 30-33.....	69

DAFTAR TABEL

Tabel	<i>Teks</i>	Halaman
1.	Kandungan sirup beras.....	15
2.	Penomoran sampel madu dengan sirup beras	25
3.	Matriks konfusi	32
4.	Hasil perhitungan matriks konfusi serta nilai PC pada model kelas TL dan TLC menggunakan data kombinasi <i>pretreatment</i>	38
5.	Matriks konfusi model SIMCA TL dan TLC data <i>original</i>	47
6.	Matriks konfusi model SIMCA TL dan SB data <i>original</i>	47
7.	Matriks konfusi model SIMCA TLC dan SB data <i>original</i>	48
8.	Matriks konfusi model SIMCA TL dan TLC data <i>pretreatment</i> MSC + SMA 5 Segment.....	48
9.	Kategori performansi klasifikasi	49
10.	Nilai sensitivitas dan 1-spesifisitas dari klasifikasi TL dan TLC menggunakan data <i>original</i> pada beberapa level signifikansi.....	50
11.	Nilai sensitivitas dan 1-spesifisitas dari klasifikasi TL dan SB menggunakan data <i>original</i> pada beberapa level signifikansi.	51
12.	Nilai sensitivitas dan 1-spesifisitas dari klasifikasi TLC dan SB menggunakan data <i>original</i> pada beberapa level signifikansi.....	53
13.	Nilai sensitivitas dan 1-spesifisitas dari klasifikasi TL dan TLC menggunakan data <i>pretreatment</i> MSC + SMA 5 Segment pada beberapa level signifikansi.....	54
<i>Lampiran</i>		
14.	Klasifikasi model SIMCA pada model TL dan TLC menggunakan spektra <i>original</i>	64

15.	Klasifikasi model SIMCA pada model TL dan SB menggunakan spektra <i>original</i>	65
16.	Klasifikasi model SIMCA pada model TLC dan SB menggunakan spektra <i>original</i>	66
17.	Klasifikasi model SIMCA pada model TL dan TLC menggunakan spektra <i>pretreatment</i> MSC + SMA 5 <i>Segment</i>	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Teks	Halaman
1.	Lebah <i>Tetragonula laeviceps</i>	12
2.	Sarang Koloni Lebah <i>Tetragonula laeviceps</i>	13
3.	<i>Rice Malt Syrup</i> (RMS) atau Sirup Beras	16
4.	<i>Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy</i>	17
5.	Diagram Jablonski.....	18
6.	Diagram Alir Prosedur Penelitian	22
7.	Proses Pemanasan Bahan Sampel.....	23
8.	Proses Pencampuran Bahan Sampel	24
9.	Proses Pengadukan Bahan Sampel Menggunakan <i>Waterbath</i>	25
10.	Diagram Alir Persiapan Bahan.....	27
11.	Proses Persiapan Bahan.....	28
12.	Proses Persiapan Sampel.....	28
13.	Diagram Alir Pengambilan Spektra	29
14.	Proses Pengambilan Spektra	30
15.	Grafik nilai rata-rata spektra <i>original</i>	33
16.	Hasil PCA data spektra emisi <i>original</i> yang diukur berdasarkan sampel TL, TLC, dan SB	35
17.	Grafik <i>X-loadings</i> PC-1 dan PC-2 hasil PCA menggunakan data spektra <i>original</i>	36
18.	Grafik nilai rata-rata spektra MSC + SMA 5 <i>Segment</i>	39
19.	Hasil PCA data spektra emisi MSC + SMA 5 <i>Segment</i> berdasarkan sampel TL, TLC, dan SB	40
20.	Grafik <i>X-loadings</i> menggunakan data <i>pretreatment</i> MSC + SMA 5 <i>Segment</i>	41

21. Model SIMCA PC-1 dan PC-2 TL menggunakan data <i>original</i> pada panjang gelombang 300-899 nm	43
22. Model SIMCA PC-1 dan PC-2 TLC menggunakan data <i>original</i> pada panjang gelombang 300-899 nm	44
23. Model SIMCA PC-1 dan PC-2 SB menggunakan data <i>original</i> pada panjang gelombang 300-899 nm	44
24. Model SIMCA PC-1 dan PC-2 TL menggunakan data <i>pretreatment</i> MSC + SMA 5 <i>Segment</i> pada panjang gelombang 300-899 nm.....	45
25. Model SIMCA PC-1 dan PC-2 TLC menggunakan data <i>pretreatment</i> MSC + SMA 5 <i>Segment</i> pada panjang gelombang 300-899 nm.....	46
26. Kurva ROC klasifikasi berdasarkan kelas TL dan TLC menggunakan data spektra <i>original</i>	50
27. Kurva ROC klasifikasi berdasarkan kelas TL dan SB menggunakan data spektra <i>original</i>	52
28. Kurva ROC klasifikasi berdasarkan kelas TLC dan SB menggunakan data spektra <i>original</i>	53
29. Kurva ROC klasifikasi berdasarkan kelas TL dan TLC menggunakan data spektra <i>pretreatment</i> MSC + SMA 5 <i>Segment</i>	55

Lampiran

30. Proses pengambilan data spektra	68
31. Alat dan bahan yang digunakan dalam proses penelitian.....	68
32. <i>Alat Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy</i>	69
33. Holder yang berisi sampel.....	69

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Luas kawasan hutan di Indonesia tercatat sekitar 125,8 juta hektar (Badan Pusat Statistik Indonesia, 2021). Indonesia memiliki beragam sumber daya alam seperti air, lahan, hutan, dan laut yang tersebar di berbagai pulau. Kekayaan alam ini berpotensi besar dimanfaatkan sebagai peluang strategis untuk mendorong pertumbuhan ekonomi masyarakat. Luas wilayah hutan di Provinsi Lampung mencapai 1.004.735 ha, sebagaimana tercantum dalam Keputusan Menteri Kehutanan dan Perkebunan Nomor 256/Kpts-II/2000 yang ditetapkan pada 23 Agustus 2000. Salah satu pemanfaatan dari luasnya lahan hutan di Indonesia ialah pembudidayaan lebah madu.

Allah SWT menyebutkan lebah sebagai salah satu makhluk ciptaan-Nya dalam Al-Qur'an, tepatnya dalam Surah An-Nahl ayat 68–69, yang memuat penjelasan mengenai hewan tersebut

وَأَوْحَىٰ رَبُّكَ إِلَى النَّحْلِ أَنِ اتَّخِذِي مِنَ الْجِبَالِ بُيُوتًا وَمِنَ الشَّجَرِ وَمِمَّا يَعْرِشُونَ ۚ
ثُمَّ كُلِي مِن كُلِّ الثَّمَرَاتِ فَاسْلُكِي سُبُلَ رَبِّكِ ذُلُلًا يَخْرُجُ مِنْ بُطُونِهَا شَرَابٌ مُّخْتَلِفٌ أَلْوَانُهُ فِيهِ شِفَاءٌ لِلنَّاسِ ۚ
إِنَّ فِي ذَٰلِكَ لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ ٦٩

Artinya: Dan Tuhanmu mengilhamkan kepada lebah, "Buatlah sarang di gunung-gunung, di pohon-pohon kayu, dan di tempat-tempat yang dibuat manusia, kemudian makanlah dari segala (macam) buah-buahan lalu tempuhlah jalan Tuhanmu yang telah dimudahkan (bagimu)." Dari perut lebah itu keluar minuman (madu) yang bermacam-macam warnanya, di dalamnya terdapat obat yang menyembuhkan bagi manusia. Sungguh, pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang berpikir (TQS An-Nahl ayat 68-69).

Selain itu terdapat juga kutipan dari Albert Einstein yang menyatakan bahwa “Apabila lebah lenyap dari muka bumi, umat manusia diperkirakan hanya akan mampu bertahan hidup selama empat tahun saja”. Maksud dari kutipan tersebut menjelaskan bahwa tumbuhan yang hidup memerlukan adanya penyerbukan, jika lebah tidak lagi melakukan penyerbukan oleh tumbuhan maka dapat dikatakan akan punah dan tidak ada lagi oksigen yang dihasilkan oleh tanaman untuk manusia sehingga kehidupan pun akan punah.

Lebah madu termasuk dalam kelompok insekta atau serangga berkaki enam yang tergolong hewan berdarah dingin (*poikilotherm*), yaitu organisme yang suhu tubuhnya tidak tetap, melainkan mengikuti perubahan suhu di lingkungan tempatnya berada. Produk utama yang dihasilkan dari lebah madu adalah madu. Lebah madu memiliki struktur tubuh dan sistem sosial yang memungkinkan kelangsungan hidup serta keberlanjutan spesiesnya. Dalam satu koloni, selain terdapat ratu lebah, juga ada lebah pekerja dan lebah jantan. Pada tahap awal perkembangan, mulai dari telur hingga menetas menjadi larva, seluruh individu memiliki status yang setara. Namun, perbedaan mulai terlihat ketika larva dirawat oleh lebah pekerja. Jenis lebah akan dibentuk akan dibedakan dalam pakan yang disediakan (Junus, 2017).

Lebah madu *Trigona* (*stingless bee*) adalah kelompok lebah yang tidak bersengat dan memiliki ukuran yang kecil. Lebah *Trigona* masih masuk ke dalam kelompok “*Melipolini*” atau dekat dengan lebah madu bersengat (*Apis*) dalam suku “*Apidae*” lebah madu *Trigona* dapat melakukan penyerbukan pada floral maupun ekstra floral yang didapatkan pada bagian ketiak daun, kelopak bunga, maupun buah-buahan. Madu bukanlah satu-satunya produk yang dihasilkan oleh lebah madu. Di dalam satu kotak sarangan lebah terdapat getah dan bipolen yang jika diolah lebih lanjut dapat menghasilkan produk yang bermanfaat baik bagi manusia.

Madu merupakan salah satu bahan pemanis dari lebah yang disimpan tanpa melalui proses apapun. Madu adalah cairan alami yang biasanya mempunyai rasa

manis yang dihasilkan oleh lebah madu dari sari bunga tanaman (*floral nectar*) atau bagian lain dari tanaman (*extra floral nectar*) atau sekresi serangga (Wulandari, 2017). Kandungan yang terdapat di dalam madu memiliki tingkat viskositas yang tinggi yang dihasilkan oleh lebah melalui nektar bunga. Saat ini madu banyak digunakan sebagai sumber energi maupun pengobatan bagi manusia.

Madu memiliki kandungan yang terdiri atas glukosa sebesar 31,3%, fruktosa 38,2%, monosakarida mencapai 80%, laktosa 7,11%, sukrosa 1,31%, serta maltosa 7,31%, dengan kadar air berkisar antara 15 hingga 23%. Glukosa pada madu merupakan salah satu senyawa kimia yang dapat mengalami fermentasi dan diubah menjadi etanol. Dalam proses fermentasi, mikroorganisme seperti bakteri asam laktat berperan aktif dalam mengkonversi glukosa menjadi asam laktat, yang kemudian digunakan sebagai sumber energi dalam proses tersebut (Sasmita *et al.*, 2023).

Setiap 100 gram madu mengandung sekitar 2 mg asam folat (1% dari kebutuhan harian), 0,42 mg zat besi (3%), dan 0,5 mg vitamin C (1%). Madu dikenal sebagai pemanis alami yang tidak hanya enak, tetapi juga menyimpan berbagai manfaat kesehatan. Salah satu cara pemanfaatannya adalah dengan mencampurkannya bersama bahan herbal tertentu yang memiliki efek kesehatan spesifik (Nuraysih, 2015).

Harga jual madu bergantung dari kualitas dan kandungan dalam madu. Kualitas dan kandungan nutrisi dalam madu, seperti enzim, asam organik, vitamin, asam amino, mineral, antioksidan, serta senyawa organik lainnya berperan penting dalam meningkatkan nilai jualnya. Komposisi madu sangat dipengaruhi oleh sumber nektar yang dikumpulkan serta spesies lebah yang memproduksinya (Da Silva *et al.*, 2016). Bisa dikatakan juga bahwa jenis lebah madu *Tetragonula laeviceps* sangat sulit untuk dibudidayakan karena perlunya analisis suhu pada sekitar tempat penangkaran. Karena suhu merupakan salah satu faktor

keberlangsungan hidup lebah madu salah satunya adalah lebah madu *Tetragonula laeviceps* yang hanya dapat hidup pada suhu yang dingin.

Dalam kondisi ketidakseimbangan antara ketersediaan dengan permintaan pasar yang tinggi, membuat sejumlah produsen yang tidak bertanggung jawab bertindak melakukan pemalsuan madu *Tetragonula laeviceps* yang dijual untuk mendapatkan untung yang tinggi. Biasanya pemalsuan madu dilakukan dengan melakukan pencampuran antara madu murni dengan madu jenis lain yang lebih murah ataupun pencampuran bahan lain seperti glukosa, sukrosa, fruktosa, dan bahan pemanis lainnya. Produsen juga melakukan penyalahgunaan dalam pemberian label pada kemasan yang tidak sesuai dengan kandungan madu yang dijualnya. Menurut SNI 01-3545-2004 madu dapat dikatakan palsu jika kadar gula sukrosa yang terkandung lebih dari 5% dan kandungan gula (glukosa) lebih dari 7%, karena jika kandungan sukrosa dan glukosa yang terkandung lebih tinggi bisa menjadi indikasi bahwa terjadi penambahan gula eksternal dan madu tersebut dianggap palsu.

Karakteristik madu dapat berbeda-beda, tergantung pada jenis bunga serta jumlah nektar yang dikumpulkan lebah dari berbagai tumbuhan. Variasi pada sekresi nektar tumbuhan tersebut turut mempengaruhi mutu madu yang dihasilkan. Untuk memperoleh madu murni dengan kualitas tinggi, diperlukan pendekatan atau metode khusus dalam prosesnya. Namun, tidak sedikit penjual yang secara sengaja mencampurkan bahan tambahan seperti glukosa dan fruktosa ke dalam madu asli yang mereka pasarkan (Evahelda *et al.*, 2017).

Hal di atas menjadi perhatian khusus dan alasan penting untuk dilakukannya pengujian terhadap keaslian madu. Nantinya hasil dari uji keaslian madu dapat bermanfaat bagi konsumen untuk memperoleh hak dan jaminan keaslian madu dengan kriteria dan kandungan yang dibutuhkan. Produsen juga dapat mengendalikan kualitas madu yang akan dipasarkannya untuk memperoleh kepercayaan dari konsumen.

Masyarakat umum kerap menggunakan metode sederhana untuk menguji kualitas dan keaslian madu. Beberapa cara yang sering diterapkan antara lain: (1) memanaskan madu dengan sendok di atas api lilin lalu madu asli akan berubah warna, berbuih, lalu kembali memiliki tekstur lembut setelah didinginkan, serta tidak membentuk benang kaku saat ditarik dengan lidi, sedangkan madu palsu akan menghasilkan benang yang keras; (2) meneteskan madu ke atas kertas koran, di mana madu asli tidak akan menyerap secara meluas atau menembus kertas, sedangkan madu palsu akan meresap dan menembus permukaan koran; (3) mencampur madu ke dalam air hangat, madu asli tidak langsung larut dan air tetap jernih sebelum diaduk, sementara madu campuran akan menyebabkan air menjadi keruh meskipun belum diaduk (Yuliarti, 2015).

Secara umum, terdapat lima metode modern yang digunakan untuk mengidentifikasi keaslian madu, yaitu kromatografi, spektrometri massa (*mass spectrometry*), spektroskopi inframerah, resonansi magnetik inti (NMR), serta pendekatan berbasis teknik molekuler (Chin dan Sowndhararajan 2020). Salah satu perangkat yang dapat dimanfaatkan untuk menguji keaslian madu adalah spektroskopi fluoresensi portabel berbasis LED (*Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy*). Alat ini memiliki kelebihan berupa bentuknya yang kecil dan mudah digenggam, membuatnya sangat portabel dan fleksibel untuk digunakan di berbagai lokasi. Pengujian sampel tidak perlu dilakukan di laboratorium. Pengujian dengan menggunakan alat ini dapat terbilang mudah karena hanya meneteskan sekitar 1ml sampel ke bagian holder alat. Selain itu, alat ini lebih efisien dalam hal lokasi maupun waktu karena alat spektroskopi fluoresensi untuk menganalisis satu sampel hanya memerlukan waktu berkisar antara sepuluh hingga lima belas detik.

Fluoresensi merupakan suatu proses interaksi cahaya dengan suatu materi atom atau partikel akan menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu kemudian dipancarkan kembali dengan panjang gelombang yang lebih tinggi (Asriani dan Minarni, 2015). Data fluoresensi yang dihasilkan selanjutnya dianalisis dengan menggunakan metode SIMCA. Metode SIMCA merupakan teknik kemometrika

dalam menganalisis data untuk memahami struktur data kompleks menjadi variabel baru menjadi lebih sederhana sehingga mempermudah penafsiran data.

Dari hasil penelusuran pustaka, penggunaan spektroskopi fluoresensi berbasis LED (*Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy*) terhadap pengujian keaslian madu *Tetragonula laeviceps* nektar *Calliandra calothyrsus* murni yang dicampur dengan sirup beras masih belum dilakukan. Namun, penelitian sebelumnya mengenai pemalsuan madu pernah dilakukan dengan fokus pada pendeteksian madu lebah *Heterotrigona itama* yang berasal dari nektar *Acacia mangium*, yang dipalsukan menggunakan pemanis buatan jenis HFCS-55 dengan menggunakan alat spektroskopi fluoresensi berbasis UV-VIS yang dilakukan oleh Yesi Rahayu pada tahun 2023. Namun penggunaan spektroskopi fluoresensi berbasis UV-VIS masih kurang efisien dalam pengambilan data sampel di lapangan. Sedangkan pada penelitian ini dilakukan dengan penggunaan alat spektroskopi fluoresensi portabel berbasis LED di mana alat ini seratus hingga seribu kali lebih sensitif dibandingkan jenis UV-VIS. Dan alat ini juga portabel karena waktu perolehan dan analisis spektral yang cepat, biaya pengoperasian dan pemeliharaan yang terjangkau, konsumsi energi yang rendah, pengoperasian yang mudah, dan harga yang terjangkau bagi pekerja lapangan di negara berkembang.

Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk membedakan madu *Tetragonula laeviceps* nektar *Calliandra calothyrsus* murni dengan madu *Tetragonula laeviceps* nektar *Calliandra calothyrsus* yang dicampur dengan sirup beras dengan menggunakan alat spektroskopi fluoresensi berbasis LED (*Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy*) dan analisis data menggunakan metode SIMCA.

1.2. Rumusan Masalah

Madu *Tetragonula laeviceps* sangat banyak dikonsumsi oleh masyarakat karena khasiatnya, namun produksi madu *Tetragonula laeviceps* tidak seimbang antara pembudidayaan dengan permintaan pasar yang tinggi. Hal ini menjadi salah satu alasan banyak produsen yang menyalahgunakan produknya dengan

mencampurkan madu lebah tanpa sengat asli dengan bahan pemanis seperti sirup beras. Sirup beras banyak digunakan dalam pemalsuan madu karena sirup beras mudah untuk dicari, dan dijual dengan harga yang relatif murah. Sirup beras dan madu memiliki kandungan yang hampir mirip yaitu memiliki kandungan molekul tiga karbon asam atau 3-fosfoglisarat (C3). Tanaman C3 merupakan tanaman yang memiliki senyawa 3 karbon dioksida (3-fosfoglisarat) yang diasimilasi melalui fotosintesis (Novenda dan Nugroho, 2017). Terdapat dua jenis sirup beras, yaitu sirup beras merah (malt) dan sirup beras putih. Sirup beras merah lebih sering dimanfaatkan dalam praktik pemalsuan karena memiliki karakteristik warna, rasa, aroma, serta tingkat kekentalan yang menyerupai madu asli. Oleh karena itu, tindakan pemalsuan ini tentu merugikan konsumen, sebab dapat menurunkan kualitas maupun manfaat kesehatan dari madu tersebut.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan mendeteksi pemalsuan pada madu murni *Tetragonula laeviceps* nektar *Calliandra calothyrsus* yang telah dicampur sirup beras dengan variasi kadar antara 10% sampai 60%.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat mengidentifikasi kemurnian dari madu *Tetragonula laeviceps* nektar *Calliandra calothyrsus* dengan bahan pencampuran sirup beras.
2. Hasil identifikasi dapat bermanfaat bagi produsen maupun konsumen.
Produsen harus menjamin produknya sesuai antara kandungan yang ada pada madu dan label yang tertera pada produk nya, dan konsumen yang seharusnya mendapatkan hak terhadap khasiat dan kandungan madu yang dibelinya.
3. Dapat dijadikan referensi penelitian berikutnya mengenai identifikasi kemurnian madu dengan jenis lain dengan penggunaan alat spektroskopi fluoresensi berbasis LED (*Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy*).

1.5. Batasan Masalah

Cakupan masalah dalam penelitian ini dibatasi hanya pada proses autentikasi madu *Tetragonula laeviceps* yang berasal dari nektar tanaman *Calliandra calothyrsus*, dengan penambahan sirup beras sebagai bahan pencampur. Proses analisis dilakukan menggunakan perangkat spektroskopi fluoresensi portabel berbasis LED (*Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy*). Penelitian ini tidak melibatkan analisis terhadap kandungan kimia baik pada sampel madu maupun sirup beras yang digunakan.

1.6. Hipotesis

Hipotesis penelitian ini adalah penggunaan teknologi spektroskopi fluoresensi berbasis LED (*Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy*) dapat digunakan untuk membedakan madu *Tetragonula laeviceps* dari nektar *Calliandra calothyrsus* murni yang diperoleh dari Futrabungsu, Kecamatan Cirenghas, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat dengan membedakannya dari sirup beras merah dengan perbandingan percampuran 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5, dan 4:6. Data yang dihasilkan spektra diolah menggunakan metode SIMCA.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Lebah Madu

Sebagai bagian dari kekayaan sumber daya hutan, lebah madu memiliki potensi yang menjanjikan untuk dikembangkan. Hal ini disebabkan oleh ketersediaan pakan yang melimpah, mengingat hampir seluruh tanaman berbunga baik dari hutan, pertanian, maupun perkebunan dapat menjadi sumber makanan bagi lebah. Hasil dari aktivitas lebah madu memiliki nilai ekonomis yang tinggi serta dapat dimanfaatkan di berbagai sektor. Seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan kemajuan teknologi, tingkat pemanfaatan produk lebah madu pun terus meningkat, baik untuk konsumsi maupun sebagai bahan pengobatan, sehingga permintaan pasar terhadap produk-produk tersebut juga semakin tinggi (Anggara, 2020).

Sebagai bagian dari kekayaan sumber daya hutan, lebah madu memiliki potensi yang menjanjikan untuk dikembangkan. Hal ini disebabkan oleh ketersediaan pakan yang melimpah, mengingat hampir seluruh tanaman berbunga baik dari hutan, pertanian, maupun perkebunan dapat menjadi sumber makanan bagi lebah. Hasil dari aktivitas lebah madu memiliki nilai ekonomis yang tinggi serta dapat dimanfaatkan di berbagai sektor. Seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan kemajuan teknologi, tingkat pemanfaatan produk lebah madu pun terus meningkat, baik untuk konsumsi maupun sebagai bahan pengobatan, sehingga permintaan pasar terhadap produk-produk tersebut juga semakin tinggi (Setiawan *et al.*, 2016).

Lebah madu adalah hewan yang dapat memproduksi berbagai macam produk yang mempunyai banyak manfaat untuk kesehatan manusia. Beberapa jenis lebah

madu yang umum dibudidayakan di Indonesia antara lain *Apis mellifera*, *Apis cerana*, *Apis dorsata*, dan *Trigona sp.* Dari jenis-jenis tersebut, *Apis mellifera* dan *Trigona sp.* paling banyak ditemukan karena relatif mudah dalam proses pemeliharaannya (Rosyidi *et al.*, 2018).

Budidaya lebah madu memberikan manfaat langsung melalui hasilnya, seperti madu, royal jelly, bee pollen (tepung sari), lilin lebah, propolis, dan racun lebah. Selain manfaat tersebut, terdapat pula manfaat tidak langsung, yakni berkontribusi terhadap pelestarian sumber daya hutan dan peningkatan hasil tanaman. Hal ini terjadi karena adanya hubungan simbiosis yang saling menguntungkan antara lebah madu dan tanaman, di mana lebah membantu proses penyerbukan saat mereka mencari nektar sebagai sumber pakan (Fatma *et al.*, 2017).

2.2. Lebah Madu Tanpa Sengat (*Stingless bee honey*)

Lebah tanpa sengat yang termasuk dalam subfamili *Melliponinae* merupakan jenis lebah yang memiliki keanekaragaman morfologi dan perilaku, serta terdiri dari berbagai spesies jika dibandingkan dengan lebah dari kelompok *Apini*, *Bombini*, dan *Meliponini* (Lamerkabel *et al.*, 2021). Produksi dan perkembangan dari lebah *Trigona sp.* ini sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, yang meliputi suhu, kelembapan udara, curah hujan maupun ketinggian tempat. selain itu ketersediaan pakan sangat menentukan keberhasilan budidaya lebah *Trigona* (Fidela *et al.*, 2020).

Kelompok *Meliponini* dikenal sebagai jenis lebah yang memiliki sengat yang tidak berkembang atau tereduksi, sehingga sering disebut sebagai lebah tanpa sengat (*stingless bee*). Hal ini menyebabkan lebah tanpa sengat menarik minat masyarakat untuk dibudidayakan karena tidak berbahaya (tidak bersengat) selain produk perlebahannya nantinya dapat membantu menambah penghasilan secara signifikan (Riendriasari dan Krisnawati, 2017).

Kemampuan bertahan hidup koloni lebah tergantung pada tingkat keberhasilan lebah pekerja dalam mengumpulkan nektar, karbohidrat, dan polen yang

merupakan sumber protein dan vitamin dari bunga (Aleixo *et al.*, 2017). Serbuk sari merupakan salah satu sumber pakan utama bagi koloni lebah tanpa sengat. Saat lebah ini mengunjungi bunga, serbuk sari dapat terbawa oleh tubuhnya, baik secara sengaja maupun tidak sengaja (Wulandari, 2017). Lebah *Trigona* memiliki kemampuan adaptasi yang baik dan sangat cocok dibudidayakan di wilayah dengan keanekaragaman flora yang tinggi. Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Hasil Hutan Bukan Kayu (2018) menyebutkan bahwa Indonesia kaya akan jenis lebah tanpa sengat serta tumbuhan yang menyediakan pakan dan getah, yang secara signifikan mendukung kelangsungan serta pengembangan budidaya lebah *Trigona*.

Karena keragaman suku dan bahasa di Indonesia, lebah tanpa sengat (*stingless bees*) dikenal dengan berbagai nama lokal. Beberapa sebutan yang umum digunakan di berbagai daerah antara lain *kelulut* (Riau dan Sumatera Selatan), *galo-galo* (Sumatera Barat), *teuweul* (Jawa Barat dan Banten), *klanceng* (Jawa), serta *emuk* (Sulawesi Selatan). Secara global, terdapat lebih dari 600 spesies lebah tanpa sengat. Persebaran lebah ini terbagi ke dalam tiga wilayah utama, yaitu Neotropis, Afrotropis, dan Indo-Melayu/Australasian. Di Indonesia sendiri, telah tercatat sebanyak 46 spesies lebah tanpa sengat yang berasal dari 10 genus, dengan 23 spesies di antaranya ditemukan di Pulau Sumatra (Priawandiputra, 2020).

Trigona merupakan salah satu spesies yang termasuk dalam kelas serangga (*Insecta*). Jenis lebah ini cenderung lebih aktif mencari pakan di pagi hari dibandingkan pada waktu sore. Intensitas cahaya matahari menjadi salah satu faktor yang memengaruhi, dan ukuran tubuh lebah juga berperan dalam menentukan jarak jelajahnya saat mencari makanan. Semakin besar tubuh lebah, maka makin jauh jarak terbangnya. Lebah *Trigona* secara umum berwarna hitam, namun ada juga yang berwarna kekuningan dan kemerahan. Struktur tubuh dari lebah terdiri dari tiga macam bagian, yaitu kepala (*caput*), dada (*thoraks*) dan perut (*abdomen*). Pada bagian kepala terdapat sepasang mata majemuk, sepasang antena, dengan mulut berbentuk probosis untuk menghisap nektar. Lebah ini

memiliki enam kaki yang terdiri atas tiga pasang tungkai bersegmen. Pada sepasang tungkai bagian belakang terdapat rambut-rambut khusus yang tersusun menyerupai keranjang, yang berfungsi untuk membawa serbuk sari (*bee pollen*) dan getah atau resin. Sebagian besar spesies *Trigona* memiliki gigi yang tumpul sehingga gigitan mereka tidak menimbulkan rasa sakit. Gaya terbang lebah ini tergolong tenang dan halus, serta tidak menimbulkan suara bising. Dengan dua pasang sayap transparan yang dimilikinya, lebah *Trigona* termasuk ke dalam Ordo *Hymenoptera* dalam klasifikasi serangga (Achyani dan Wicandra, 2020).

Berikut merupakan klasifikasi dari *Tetragonula laeviceps* adalah sebagai berikut:

Kingdom : Animalia
 Phylum : Arthropoda
 Class : Insecta
 Ordo : Hymenoptera
 Familia : Apidae
 Sub Familia : Meliponinae
 Genus : *Tetragonula*
 Spesies : *Tetragonula laeviceps*

Untuk lebah madu tanpa sengat *Tetragonula laeviceps* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lebah *Tetragonula laeviceps*
 (Purwanto *et al.*, 2022)

Tetragonula laeviceps biasanya ditemukan pada daerah tropis termasuk Indonesia. Di Indonesia, lebah tanpa sengat dikenal dengan sebutan *Trigona bee* terutama

oleh para peternak lebah, namun spesies *Trigona bee* tidak ada di Indonesia, dan masyarakat di Jawa menyebutnya dengan lebah *Klanceng*. *Tetragonula laeviceps* memiliki habitat alami di batang pohon atau kayu, bambu, batang aren, dan di tanah (Agussalim, 2015). Lebah jenis *Tetragonula laeviceps* dapat menghasilkan madu, roti lebah, dan propolis (Agus salim *et al.*, 2019, 2020); (Erwan *et al.*, 2021); (Sabir *et al.*, 2021). Sarang koloni lebah madu tanpa sengat *Tetragonula laeviceps* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sarang Koloni Lebah *Tetragonula laeviceps*

2.3. Madu

Madu adalah bahan pangan alami yang bercita rasa manis, bertekstur kental, dan berwarna mulai dari keemasan hingga coklat tua. Kandungan utamanya adalah gula dalam jumlah tinggi dan lemak yang sangat rendah. Proses pembentukan madu melibatkan aktivitas enzimatik lebah terhadap nektar bunga, dan hasilnya digunakan sebagai persediaan makanan untuk koloni. Karakteristik madu, seperti warna, aroma, dan rasa, bervariasi tergantung pada jenis tanaman yang mendominasi di sekitar lokasi peternakan lebah. Proses pembuatannya melibatkan pengambilan nektar dari bunga, baik yang berasal dari satu jenis tanaman (monoflora) maupun dari berbagai jenis tanaman (multiflora) (Asfar dan Asfar, 2021).

Madu merupakan cairan kental alami berasa manis yang dihasilkan lebah setelah mengkonsumsi nektar bunga dan bahan-bahan manis lain dari tumbuhan. Madu

adalah campuran yang kompleks, terdiri dari berbagai nutrisi dan senyawa bioaktif, seperti karbohidrat terutama fruktosa dan glukosa serta enzim, protein, asam amino, asam organik, mineral, vitamin, senyawa aromatik, polifenol, pigmen, lilin, dan serbuk sari (*pollen*), yang semuanya berperan dalam menentukan warna, aroma, dan cita rasa madu (Pavlova *et al.*, 2018).

Jenis madu dapat dibedakan berdasarkan sumber nektarnya, yakni madu multiflora yang diperoleh dari beragam jenis tanaman, dan madu uniflora yang mayoritas nektarnya berasal dari satu jenis tumbuhan (Erna, 2016). Madu yang diproduksi oleh lebah *Trigona* cenderung memiliki cita rasa asam dan bernilai jual tinggi di pasaran (Sadam *et al.*, 2016).

Lebah menghasilkan madu sebagai cairan manis alami yang berasal dari nektar bunga tanaman. Komposisi madu didominasi oleh gula sekitar 81,3% dan air sebanyak 17,2%, serta mengandung asam amino dan sejumlah mineral seperti fosfor, zat besi, magnesium, natrium, aluminium, kalsium, dan kalium (Wulandari, 2017). Madu banyak dimanfaatkan sebagai pemanis dan penambah cita rasa dalam berbagai jenis makanan dan minuman. Sejak zaman dahulu, madu telah dikenal karena kandungan nutrisinya dan manfaat terapeutiknya. Saat ini, madu diproduksi secara global dengan total produksi mencapai sekitar 1,2 juta ton per tahun. Beberapa negara utama penghasil madu antara lain Tiongkok, Turki, Argentina, Ukraina, Meksiko, dan Amerika Serikat. Selain itu, madu juga dikenal memiliki sifat antiinflamasi, antioksidan, dan antibakteri yang mendukung penggunaannya dalam bidang kesehatan (Sa *et al.*, 2017).

Madu yang dihasilkan oleh lebah *Trigona sp.* mengandung vitamin C, yang memiliki manfaat sebagai antibiotik alami, penangkal racun, antioksidan, dan turut memperkuat sistem imun tubuh. Madu dari *Trigona* juga terkenal karena kandungan propolisnya yang tinggi. Kandungan propolis inilah yang menjadi salah satu alasan mengapa madu *Trigona* memiliki banyak manfaat bagi kesehatan dan berpotensi digunakan dalam terapi berbagai penyakit (Yuliana *et al.*, 2015).

2.4. *Rice Malt Syrup (RMS)*

Menurut SNI 3544 (BSN, 2013), sirup merupakan minuman yang terbuat dari campuran gula dan air dengan kandungan kadar gula minimal 65% atau lebih dan bahan tambahan yang diizinkan oleh undang-undang. *Rice malt syrup (RMS)*, atau yang dikenal sebagai sirup beras, termasuk pemanis yang umum digunakan sebagai campuran dalam produk madu. Sirup ini dihasilkan melalui pengolahan utuh dari beras merah organik. Proses pembuatannya dimulai dengan fermentasi menggunakan enzim untuk menguraikan pati, lalu dilanjutkan dengan pemanasan hingga berubah menjadi sirup kental. Kandungan sirup beras dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan sirup beras

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

Beberapa ahli menyatakan bahwa sirup beras sebaiknya hanya digunakan apabila pemanis lain atau pengganti gula sudah tidak tersedia. Hal ini disebabkan oleh tingginya indeks glikemik sirup beras, serta kandungan kalornya yang hampir dua kali lipat lebih tinggi dibandingkan gula putih. Faktor-faktor tersebut menjadi alasan utama perlunya kehati-hatian dalam penggunaannya. Penggunaan sampel sirup beras merah dapat dilihat pada contoh Gambar 3.



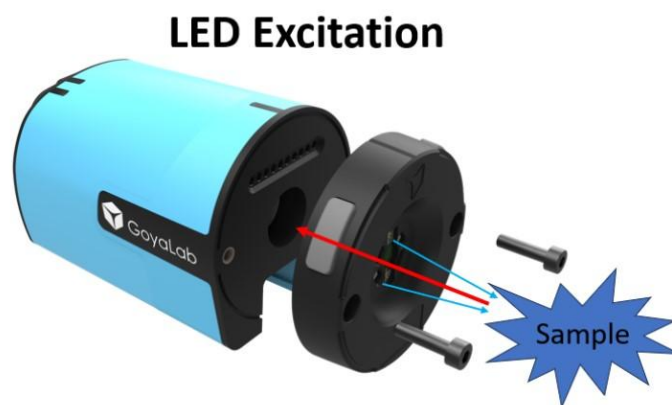
Gambar 3. *Rice Malt Syrup* (RMS) atau Sirup Beras
(Sumber: *Sumber* www.blibli.com)

Sirup beras sering dimanfaatkan sebagai bahan campuran dalam praktik pemalsuan madu, karena memiliki karakteristik yang menyerupai pemanis lainnya, baik dari sisi warna maupun kandungan nutrisinya. Tindakan pemalsuan bertujuan untuk mendapatkan volume madu yang lebih besar sehingga meningkatkan keuntungan produsen yang tidak bertanggung jawab tanpa memperdulikan kemurnian madu. Pemalsuan ini dapat meningkatkan gula darah konsumen, yang dapat menyebabkan diabetes, penambahan berat badan perut, dan obesitas, meningkatkan kadar lipid darah, dan dapat menyebabkan tekanan darah tinggi. Organ yang paling umum terkena zat pengotor madu adalah hati diikuti oleh ginjal, jantung, dan otak (Fakhlai *et al.*, 2020).

Produk pemanis dengan berbahan dasar beras terdapat dua jenis yaitu sirup beras putih dan sirup beras merah. Untuk sirup beras merah diproduksi dengan cara enzimatik dengan proses memecah beras merah, atau yang biasa dikenal dengan sirup beras merah. Jenis pemanis ini lebih disukai karena memiliki komponen utamanya lebih banyak komponen glukosa daripada fruktosa. Namun jika dikonsumsi secara berlebihan dapat menimbulkan beberapa masalah pada kesehatan.

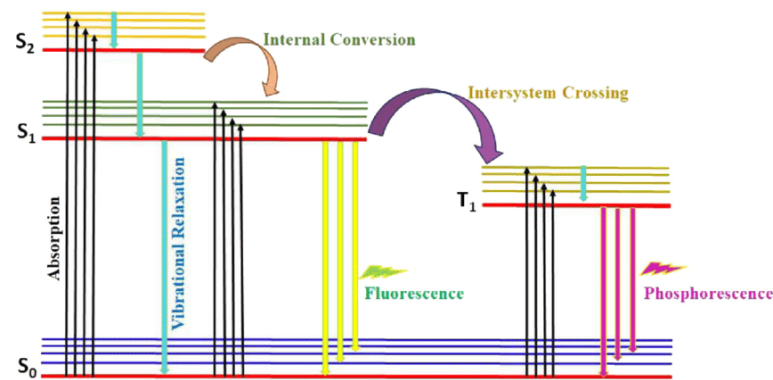
2.5. *Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy*

Spektroskopi fluoresensi portabel merupakan spektroskopi elektromagnetik yang mengamati intensitas spektrum fluoresensi dari suatu sampel yang disinari oleh *light emitting diode* (LED) sebagai sumber eksitasi. Spektroskopi fluoresensi menggunakan kamera *charged couples device* (CCD) atau *complementary metallic oxide semiconductor* (CMOS) atau pengolahan spektra. Fluoresensi adalah proses ketika cahaya berinteraksi dengan suatu zat, di mana partikel atau atom dari zat tersebut menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu, lalu memancarkan kembali cahaya tersebut dengan panjang gelombang yang lebih panjang (Asriani dan Minarni, 2015). Untuk alat spektroskopi fluoresensi portabel dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. *Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy*
(Sumber: www.axiomoptics.com)

Fluoresensi terjadi ketika molekul menyerap energi cahaya pada suatu panjang gelombang tertentu, lalu memancarkan kembali cahaya tersebut pada panjang gelombang yang umumnya lebih panjang. Senyawa yang bersifat fluoresen memiliki dua spektrum khas, yakni spektrum eksitasi (menunjukkan panjang gelombang serta intensitas cahaya yang diserap) dan spektrum emisi (menunjukkan panjang gelombang serta intensitas cahaya yang dipancarkan) (Naresh, 2014). Diagram yang biasanya digunakan untuk menggambarkan penyerapan dan emisi cahaya oleh fluoresensi adalah diagram Jablonski. Diagram Jablonski dalam prinsip fluoresensi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Jablonski
(Sumber: Pamei *et al*, 2019)

Spektrometer portable dapat digunakan untuk pengukuran di tempat sehingga lebih fleksibel, meminimalkan kesalahan pengangkutan sampel, dan dapat memberikan respons waktu nyata (Santos *et al.*, 2022). Spektroskopi fluoresensi portable yang diklasifikasikan dengan kemometrika memiliki banyak kelebihan dibanding dengan spektroskopi berbasis laboratorium/*benchtop*, diantaranya seperti akuisisi spektral dan waktu analisis yang cepat, biaya pengoperasian dan pemeliharaan yang terjangkau, konsumsi energi yang rendah, pengoperasian yang mudah, dan keterjangkauan bagi para pekerjaan lapangan di negara berkembang, tidak terkecuali untuk pekerja di Indonesia (Correia *et al.*, 2018). Dari banyaknya kelebihan, spektroskopi fluoresensi berbasis LED ternyata alat ini juga memiliki kekurangan, seperti rentang dengan spectral yang terbatas dan perlu mengatur beberapa LED pada beberapa panjang gelombang eksitasi yang diperlukan.

2.6. Metode Kemometrika Menggunakan The Unscrambler

Metode kemometrika adalah multi disiplin ilmu yang melibatkan statistik multivariat pemodelan matematika dan informasi teknologi, khususnya diterapkan pada data kimia. Analisis multivariat adalah cara untuk meringkas data variabel dengan menciptakan variabel baru yang mengandung sebagian besar informasi. Variabel-variabel baru kemudian digunakan untuk pemecahan masalah dan tampilan yaitu klasifikasi hubungan dan mengontrol grafik (Yulia *et al.*, 2017). Dapat diketahui bahwa ilmu matematika dan statistika mendukung pemahaman kemometrika. Dari hasil data yang dihasilkan dari spektroskopi diolah

menggunakan metode kemometrika untuk meningkatkan kualitas data yang diperoleh.

The Unscrambler memiliki tujuan utama untuk membantu dalam analisis data multivariat serta dalam merancang desain percobaan. Salah satu masalah yang dapat diselesaikan dengan perangkat lunak ini adalah klasifikasi sampel yang belum diketahui ke dalam kelompok-kelompok tertentu. Proses klasifikasi ini berguna untuk mengidentifikasi kesamaan antara sampel baru dengan kelompok sampel yang telah digunakan dalam pembuatan model. Jika sampel baru cocok dengan model yang telah dibentuk, maka kategori sampel tersebut dapat ditentukan (Citrasari AP, 2016).

2.6.1. Principal Component Analysis (PCA)

Principal Component Analysis (PCA) merupakan metode matematis yang digunakan untuk mereduksi dimensi data. Teknik ini berasal dari bidang statistika, namun penerapannya tidak terbatas pada analisis statistik saja, melainkan juga digunakan dalam pengolahan spektrum, khususnya dalam tahap ekstraksi fitur (*feature extraction*) (Murdika *et al.*, 2021). PCA digunakan untuk menyederhanakan jumlah variabel dalam suatu data, sehingga hanya beberapa variabel penting yang dipertahankan. Variabel hasil reduksi tersebut mampu merepresentasikan keseluruhan variabel asli dalam data secara efektif (Zahroh dan Bahri, 2024).

2.6.2. Soft Independent Modelling of Class Analogy (SIMCA)

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

2017). SIMCA adalah metode klasifikasi yang termasuk dalam kategori supervised, yaitu klasifikasi dengan data terbimbing. Dalam penerapannya, SIMCA menggunakan dua jenis sampel yaitu pertama, sampel training (*training set*) yang digunakan untuk membangun model, dan kedua sampel prediksi (*prediction set*) yang berfungsi untuk menguji performa model yang telah dibuat.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan November 2024 dengan pengambilan data spektra yang bertempat di Laboratorium Rekayasa Bioproses dan Pascapanen Pertanian (RBPP), Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

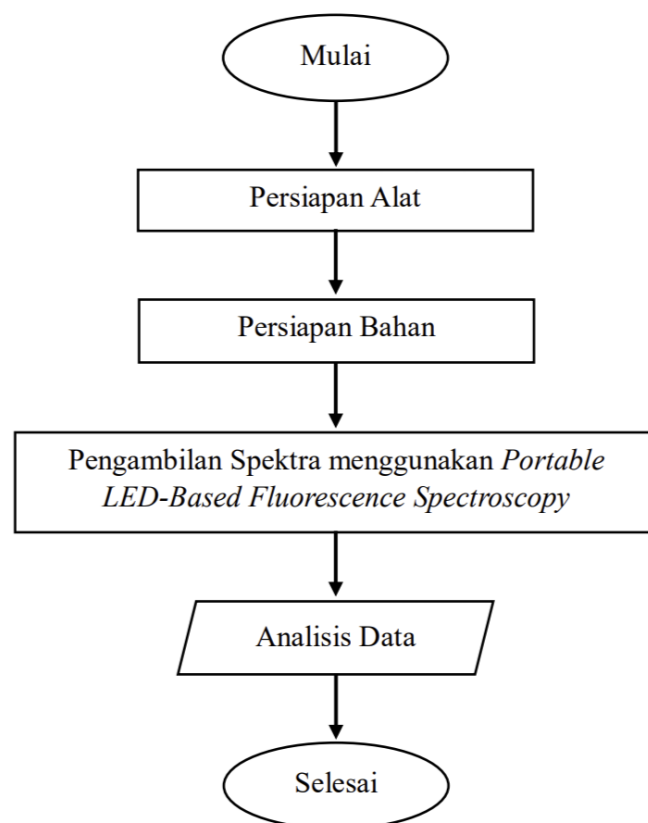
3.2. Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan alat berupa spektroskopi fluoresensi portabel berbasis LED (*Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy*), *water bath* jenis Digiterm 200 (J.P. Selecta, Spain), *magnetic stirrer* (CiblancTM, China), gelas beaker, gelas ukur, pipet ukur 2 ml, tisu dan spatula. Bahan yang digunakan adalah madu dari jenis lebah tanpa sengat *Tetragonula laeviceps* nektar *Calliandra calothyrsus*, sirup beras dan aquades. Madu lebah tanpa sengat *Tetragonula laeviceps* diperoleh dari toko Futrabungsu, Kecamatan Cirenghas, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat, dan sirup beras merah dibeli melalui toko online.

3.3. Prosedur Penelitian

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk menganalisis dan menguji model dengan metode SIMCA untuk dapat membedakan madu dari jenis lebah tanpa sengat *Tetragonula laeviceps* nektar *Calliandra calothyrsus* yang nantinya akan dilakukan pencampuran dengan bahan pemanis *rice malt syrup* (RMS) atau sirup

beras. Penelitian ini mencakup sejumlah tahapan yang harus dilaksanakan, dimulai dari tahap persiapan peralatan, dilanjutkan dengan persiapan sampel yang mencakup proses pengukuran madu, serta pemanasan madu dan bahan pemanis menggunakan alat *water bath*, lalu dilanjutkan dengan proses pendinginan pada suhu ruang. Setelah itu, dilakukan percampuran sampel dengan perbandingan 9:1 (18 ml madu murni dan 2 ml sirup beras), 8:2 (16 ml madu murni dan 4 ml sirup beras), 7:3 (14 ml madu murni dan 6 ml sirup beras), 6:4 (12 ml madu murni dan 8 ml sirup beras), 5:5 (10 ml madu murni dan 10 ml sirup beras), dan 4:6 (18 ml madu murni dan 12 ml sirup beras) lalu larutan dihomogenkan menggunakan alat *magnetic stirrer*. Proses selanjutnya adalah pengambilan spektra, yang kemudian dilanjutkan dengan analisis data menggunakan metode klasifikasi SIMCA. Diagram alir prosedur penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram Alir Prosedur Penelitian

3.3.1. Persiapan Alat

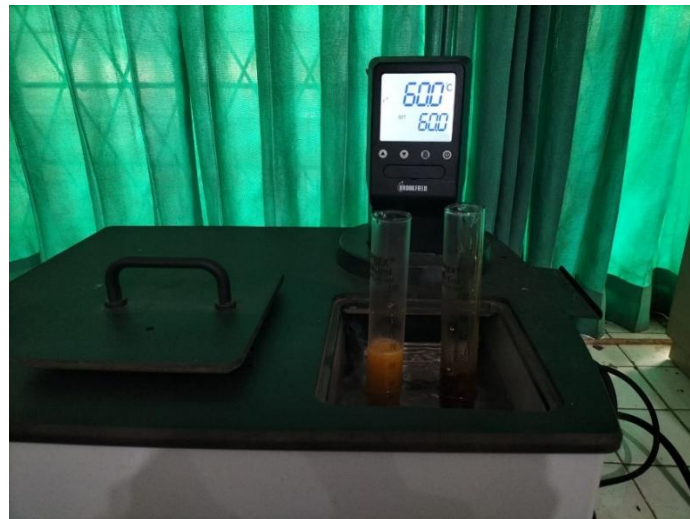
Tahapan persiapan alat dilakukan dengan memastikan seluruh peralatan tersedia secara lengkap, serta melakukan pemeriksaan menyeluruh baik sebelum maupun selama proses penelitian berlangsung. Hal ini bertujuan untuk menjamin bahwa alat bekerja sesuai dengan fungsinya dan mencegah terjadinya hambatan selama pelaksanaan penelitian.

3.3.2 Persiapan Bahan

Adapun tahapan dalam persiapan bahan yaitu:

1. Pemanasan Sampel

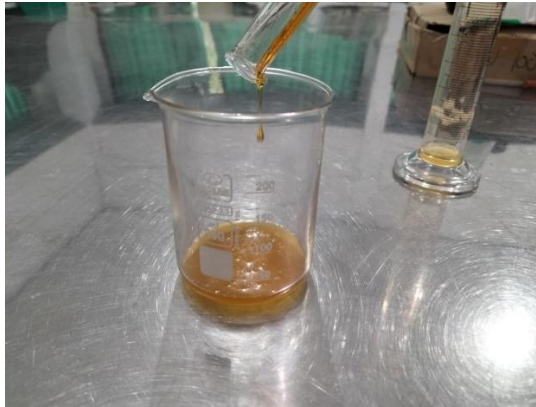
Pada tahap ini analisis dilakukan secara langsung pada sampel madu dan sirup beras tanpa penambahan prosedur lain seperti proses penyaringan, pengadukan, ataupun pengocokan. Sampel madu ataupun sirup beras dipanaskan menggunakan alat *water bath* dengan suhu 60-65 °C dalam kurun waktu 30 menit. Setelah dilakukan pemanasan sampel didinginkan hingga suhu sampel setara dengan suhu ruangan. Proses pemanasan sampel yang dilakukan dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Proses Pemanasan Bahan Sampel

2. Pencampuran Madu dengan Sirup Beras

Sampel madu dan sirup beras yang telah dipanaskan dan telah didinginkan hingga suhu ruang, kemudian dilakukan proses pencampuran sampel madu dengan sirup beras yang dipisahkan disetiap gelas *Beaker* dengan perbandingan 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5, dan 4:6. Proses pencampuran bahan sampel dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Proses Pencampuran Bahan Sampel

3. Pengadukan Sampel

Proses pengadukan dilakukan dengan menggunakan alat *water bath* (CiblancTM, china) selama 10 menit. Proses pengadukan dilakukan dengan kecepatan sedang hingga pencampuran bahan madu dan sirup beras menjadi sampel yang homogen. Selanjutnya bahan sampel siap untuk dilakukan pengambilan data spektra. Pencampuran bahan sampel madu dengan sirup beras dengan proses pengadukan menggunakan alat *water bath* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Proses Pengadukan Bahan Sampel Menggunakan Waterbath

4. Persiapan Sampel

Dalam persiapan sampel, sampel diberikan label dan kode pada gelas *beaker* berdasarkan jenis bahan dan kadar pencampuran. Untuk sampel madu murni *Tetragonula laeviceps* yang mengandung nektar *Calliandra calothyrsus* diberi kode sampel TL. Sampel madu campuran madu murni dengan sirup beras dengan kadar perbandingan 10%-60% diberi kode sampel berurut TLC10, TLC20, TLC30, TLC40, TLC50, TLC60. Untuk sampel sirup beras diberi kode sampel SB. Kode penomoran dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini:

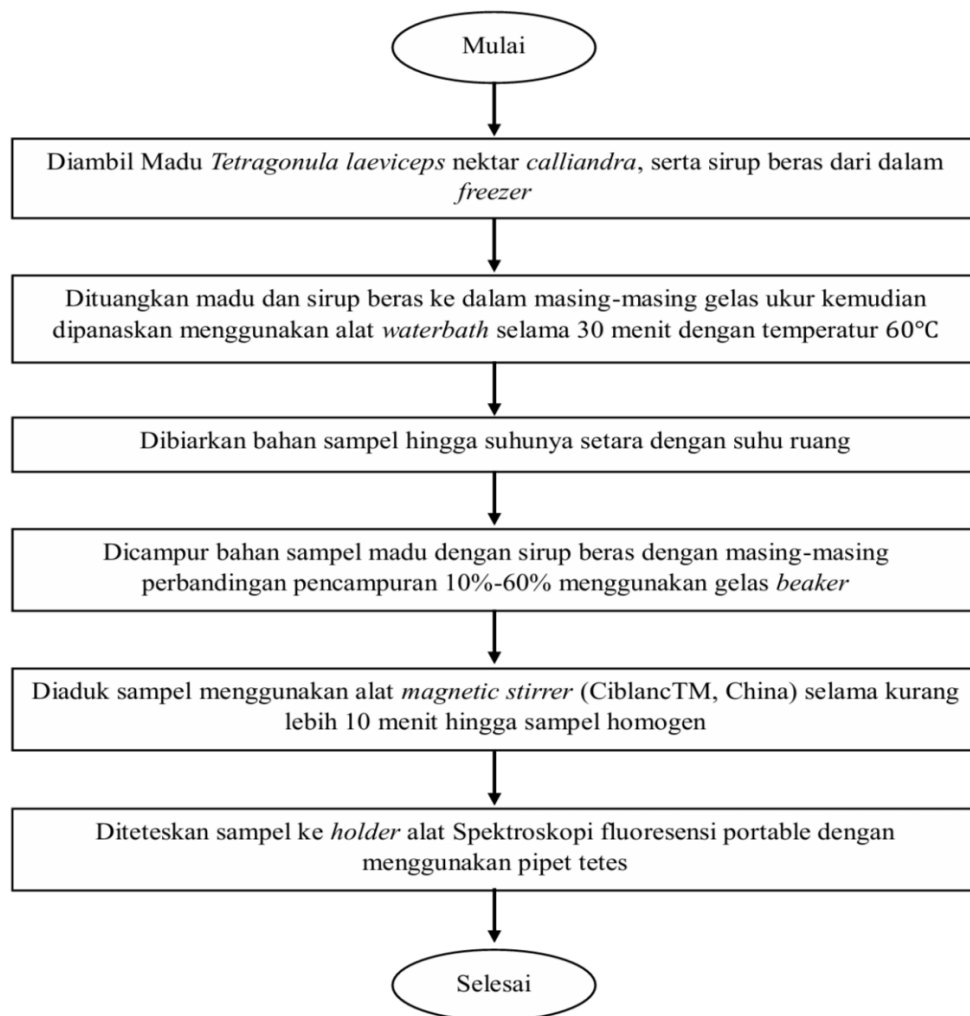
Tabel 2. Penomoran sampel madu dengan sirup beras

No Sampel	Komposisi Bahan
1-50	50 ml Madu murni <i>Tetragonula laeviceps</i> nektar <i>Calliandra calothyrsus</i> (TL)
51-60	18 ml Madu <i>Tetragonula laeviceps</i> nektar <i>Calliandra calothyrsus</i> + 2 ml sirup beras (TLC 10)
61-70	16 ml Madu <i>Tetragonula laeviceps</i> nektar <i>Calliandra calothyrsus</i> + 4 ml sirup beras (TLC 20)
71-80	14 ml Madu <i>Tetragonula laeviceps</i> nektar <i>Calliandra calothyrsus</i> + 6 ml sirup beras (TLC 30)

Tabel 2. (Lanjutan)

No Sampel	Komposisi Bahan
81-90	12 ml Madu <i>Tetragonula laeviceps</i> nektar <i>Calliandra calothyrsus</i> + 8 ml sirup beras (TLC 40)
91-100	10 ml Madu <i>Tetragonula laeviceps</i> nektar <i>Calliandra calothyrsus</i> + 10 ml sirup beras (TLC 50)
101-110	8 ml Madu <i>Tetragonula laeviceps</i> nektar <i>Calliandra calothyrsus</i> + 12 ml sirup beras (TLC 60)
111-160	50 ml Sirup Beras (SB)

Data spektra diambil sebanyak 160 sampel yang diulang sebanyak dua kali sehingga memiliki total sampel sebanyak 320 sampel. Setelah sampel yang dicampurkan menjadi homogen, sampel dipipet dengan volume kurang lebih 1 mililiter, lalu dimasukkan ke dalam *sampel holder* warna hitam pada alat Spektroskopi fluoresensi portable. Untuk memaksimalkan difusi cahaya, permukaan sampel holder harus dibersihkan terlebih dahulu. Diagram alir persiapan bahan dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram Alir Persiapan Bahan

Bahan sampel madu lebah tanpa sengat *Tetragonula laeviceps* dan sirup beras dapat dilihat pada Gambar 11. Sedangkan untuk bahan sampel pencampuran madu dengan sirup beras dapat dilihat pada Gambar 12.



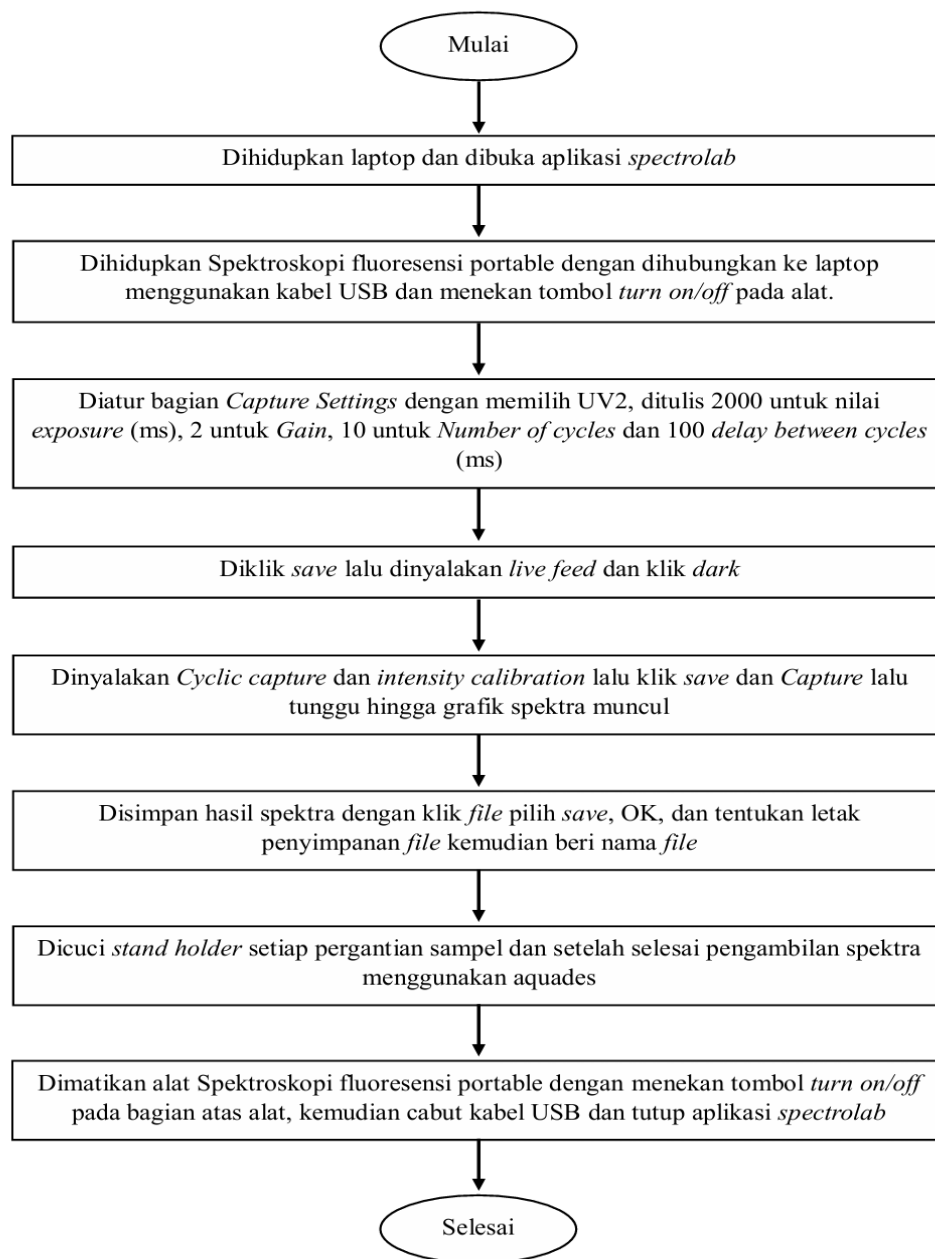
Gambar 11. Proses Persiapan Bahan



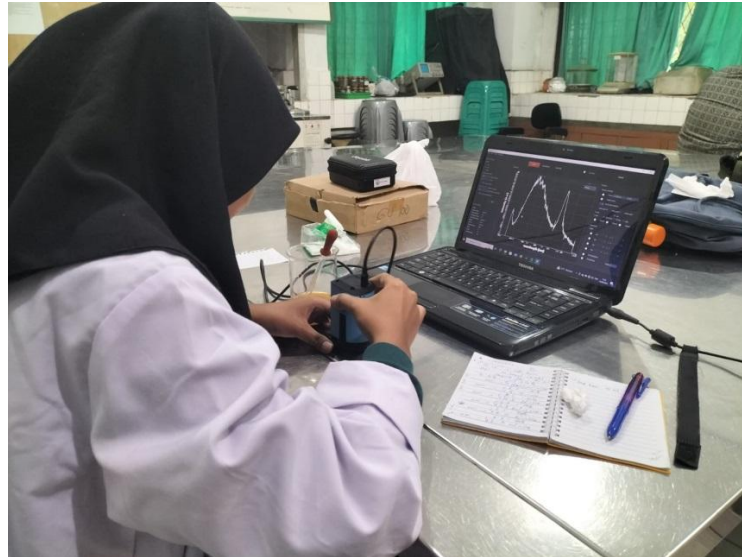
Gambar 12. Proses Persiapan Sampel

3.3.3 Pengukuran Spektra dengan *Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy*

Pengukuran data spektra dilakukan dengan menggunakan alat *Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy*. Sampel dipipet dan diteteskan ke bagian *sample holder* sebanyak kurang lebih 1 ml. Kemudian alat diletakan di atas *sample holder* dan dilakukan pengambilan data nilai intensitas fluoresensinya. Untuk pengambilan data spektra dijelaskan pada Gambar 13 dan 14.



Gambar 13. Diagram Alir Pengambilan Spektra



Gambar 14. Proses Pengambilan Spektra

3.3.4 Pembuatan dan Pengujian Model

Pengujian model dilakukan berdasarkan data intensitas fluoresensi yang telah dikumpulkan sebelumnya melalui aplikasi *Spectrolab*. Data tersebut digunakan sebagai acuan dalam membentuk model atau persamaan untuk keperluan analisis. Proses pengujian dilakukan menggunakan perangkat lunak The Unscrambler versi 10.4 dengan menerapkan metode *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Soft Independent Modeling of Class Analogy* (SIMCA).

3.4 Analisis Data

Dalam mengidentifikasi sampel, harus dilakukan analisis pada data. Penggunaan aplikasi The unscrambler untuk mengolah dan menganalisis data yang didapatkan. Dalam penelitian ini, data diolah menggunakan metode *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Soft Independent Modeling of Class Analogy* (SIMCA). Setelah seluruh data spektra diperoleh, data tersebut disusun dan digabungkan secara sistematis menggunakan Microsoft Excel, dimulai dari data sampel madu murni *Tetragonula laeviceps*, dilanjutkan dengan sampel campuran, dan diakhiri dengan data sirup beras. Selanjutnya penggunaan aplikasi The unscrambler untuk menganalisis file Microsoft Excel tersebut. Sampel kalibrasi, validasi dan prediksi merupakan tiga kelompok sampel yang akan digunakan dalam proses pengolahan

data. Sampel kalibrasi digunakan pada tahap pembuatan model *Soft Independent Modeling of Class Analogy* (SIMCA), sedangkan sampel validasi digunakan pada tahap pengujian model. Hasil dari pengolahan model SIMCA yang menghasilkan daftar tabel hasil dilakukan pengujian model menggunakan matriks konfusi.

Dalam proses analisis data pada penelitian ini, diterapkan dua algoritma *pretreatment*. Algoritma pertama yang digunakan adalah metode *Smoothing Moving Average* (SMA), yang berfungsi untuk mereduksi noise pada data, dengan cara dikombinasikan bersama metode *pretreatment* lainnya dalam tahap awal pengolahan data. Persamaan metode SMA adalah sebagai berikut:

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

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
 N : jumlah segmen (berupa bilangan ganjil)

Selanjutnya digunakan algoritma *Multiplicative Scatter Correction* (MSC) yang bertujuan untuk mengurangi pengaruh penguatan (multiplikatif) dan pergeseran nilai (aditif) yang disebabkan oleh efek hamburan cahaya dalam spektrum. Dengan metode ini, distribusi intensitas cahaya pada data spektroskopi menjadi lebih homogen dan akurat. Persamaan metode MSC adalah sebagai berikut:

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

$$F(x) = \frac{X_{org} - a_i}{b_i} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

- $F(x)$: Nilai dari spektrum yang dikoreksi (matriks data)
 X_{org} : Nilai spektra asli
 $\bar{x}_j$: Nilai dari spektrum rata-rata
 e_i : Nilai eror
 a_i : Nilai intersep
 b_i : Nilai *slope*

- I : Indeks sampel
J : Indeks panjang gelombang

Untuk melihat hasil algoritma terbaik, sebelumnya dilakukan terlebih dahulu perhitungan matriks konfusi pada setiap *pretreatment* dari nilai PC kumulatif, akurasi, spesifisitas, sensitivitas, dan nilai *error* paling kecil. Matriks konfusi merupakan hasil dari pengklasifikasian data suatu sampel dari pengolahan data menggunakan metode SIMCA yang menghasilkan daftar tabel hasil. Matriks konfusi digunakan untuk mengevaluasi dan memprediksi apakah suatu objek diklasifikasikan dengan benar atau tidak. Dari matriks ini dapat dihitung beberapa parameter seperti tingkat akurasi, sensitivitas, spesifisitas, dan tingkat kesalahan (*error*). Berikut merupakan matriks konfusi yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Matriks konfusi

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

Perhitungan:

1. Akurasi (AC) $= \frac{TP+TN}{TP+TN+FN+FP} \times 100\%$
2. Sensitivitas (S) $= \frac{TP}{TP+FN} \times 100\%$
3. Spesifisitas (SP) $= \frac{TN}{TN+FP} \times 100\%$
4. *Error* $= \frac{FP+FN}{TP+FP+FN+TN} \times 100\%$

Keterangan:

- a : Sampel Kelas A yang sudah sesuai kelasnya (*True Positive*)
b : Sampel Kelas A yang tidak sesuai kelasnya (*False Positive*)
c : Sampel Kelas B yang tidak sesuai kelasnya (*False Negative*)
d : Sampel Kelas B yang sudah sesuai kelasnya (*True Negative*)

V. KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan diperoleh kesimpulan hasil analisis autentikasi yang dilakukan melalui grafik spektra dari penggunaan alat spektroskopi fluoresensi portabel berbasis LED pada sampel pencampuran persentase 10% dari madu lebah tanpa sengat *Tetragonula laeviceps* dan bahan pemanis sirup beras merah yang dilakukan *pretreatment* MSC+SMA 5 *segment* sudah mampu menunjukkan perbedaan antara madu murni dengan bahan pemanis sirup beras.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian terdapat kemiripan antara madu murni *Tetragonula laeviceps* dengan bahan pencampuran pemanis dari sirup beras karena dari kedua sampel bahan tersebut memiliki kandungan yang hampir sama yaitu memiliki kandungan molekul tiga karbon asam atau 3-fosfoglisarat (C3). Untuk mendapatkan perbedaan yang lebih spesifik antara madu murni *Tetragonula laeviceps* dengan bahan pencampuran pemanis dari sirup beras dapat dilakukan penambahan multiple LED sebesar 300 nm.

DAFTAR PUSTAKA

- Agussalim. (2015). *Produksi Madu, Polen dan Propolis Lebah Trigona sp. Dalam Berbagai Desain Stup* [Skripsi, Universitas Gadjah Mada].
<https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/84504>
- Agussalim., Agus A., Nurliyani., Umami N. (2019). The Sugar Content Profile of Honey Produced by The Indonesian Stingless Bee, *Tetragonula laeviceps*, from Different Regions. *Livest Res Rural Dev*, 31(6): 91.
<http://www.lrrd.org/lrrd31/6/aguss31091.html>
- Agussalim., Nurliyani., Umami N., Agus A. (2020). The Honey dan Propolis Production from Indonesia Stingless Bee: *Tetragonula laeviceps*. *Livest Res Rural Dev*, 32(8): 121.
- Aleixo, K. P., Menezes, C., Imperatriz Fonseca, V. L., dan da Silva, C. I. (2017). Seasonal availability of floral resources and ambient temperature shape stingless bee foraging behavior (*Scaptotrigona* aff. *Depilis*). *Apidologie*, 48(1): 117-127. <https://doi.org/10.1007/s13592-016-0456-4>
- Al-Qur'an Surah An-Nahl* (16) ayat 68-69.
- Anggara, T. B. (2020). *Visualisasi Bentuk Lebah Madu Pada Karya Panel* [Skripsi, Institut Seni Indonesia Yogyakarta]. <https://digilib.isi.ac.id/7054/>.
- Asfar, A. M. I. A., dan Asfar, A. Muhammad Irfan Taufan. (2021). Analysis of Molecular Stability on Waste Extracts of *Trigona spp.* Bees Haves. Ethanologically. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 10(2): 75-80.
<https://doi.org/10.15294/jbat.v10i2.33471>

- Asriani, F., dan Minarni. (2015). Analisa Pengaruh Panjang Gelombang Sumber Cahaya Penginduksi Fluoresensi Terhadap Fluoresensi Klorofil Pada Daun Bayam Yang Dipengaruhi Variasi Sinar Matahari. *Komunikasi Fisika Indonesia*, 12(10): 629-636.
- Axiom Optics. (2024). *IndiGo Fluo | Portable Fluorescence Spectrometer*. Diakses pada 7 November 2024, dari <https://www.axiomoptics.com/products/portable-fluorescence-spectrometer/>
- Azis, A., Izzati, M., dan Haryanti, S. (2015). Aktivitas antioksidan dan nilai gizi dari beberapa jenis beras dan millet sebagai bahan pangan fungsional Indonesia. *Jurnal Biologi*, 4(1): 45–61. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/biologi/article/view/19400>
- Badan Pusat Statistik. (2021). *Luas Kawasan Hutan dan Kawasan Konservasi Perairan Indonesia*. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *Madu. SNI 3545:2013*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Hasil Hutan Bukan Kayu. (2018). *Panduan Singkat Budidaya dan Breeding Lebah Trigona sp.* BALITBANGTEK-HHBK, Lombok Barat.
- Blibli.com. (2024). Rice Syrup / Sirup Beras Korea 1.2 KG. Diakses pada 8 November 2024, dari <https://www.blibli.com/p/rice-syrup-sirup-beras-korea-1-2-kg/ps--MEF-70031-00896>
- Chin NL., Sowndhararajan K. (2020). A Review on Analytical Methods for Honey Classification, Identification and Authentication. Honey Analysis New Advances and Challenges. In: *Toledo VAA, Chambo EDD*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.90232>
- Citrasari AP, D. (2016). *Penentuan Adulterasi Daging Babi Pada Nugget Ayam Menggunakan NIR dan Kemometrik*. [Skripsi, Universitas Jember]. <https://repository.unej.ac.id/xmlui/handle/123456789/71193>
- Correia, R. M., Domingos, E., Cáo, V. M., Araujo, B. R. F., Sena, S., Pinheiro, L. U., Fontes, A. M., Aquino, L. F. M., Ferreira, E. C., Filgueiras, P., dan Romão, W. (2018). Portable near infrared spectroscopy applied to fuel quality control. *Talanta*., 1(176): 26-33 <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.07.094>
- Da Silva, P. M., Gauche, C., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., dan Fett, R. (2016). Honey: Chemical composition, stability and authenticity. *Food Chemistry*, 196: 309-323. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.051>

- Erna, S. (2016). Classification of 7 monofloral honey varieties by PTR-ToF-MS direct headspace analysis and chemometrics. *Talanta*, 147: 213-219.
<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.09.062>
- Erwan, E., Suhardin, S., Syamsuhaidi, S., Purnamasari, D. K., Muhsinin, M., dan Agussalim, A. (2021). Propolis mixture production and foragers daily activity of stingless bee *Tetragonula* sp. In bamboo and box hives. *Livestock Research for Rural Development*, 33(6): 1-4.
www.lrrd.org/lrrd33/6/3382apis.html
- Evahelda, e., Pratama, f., Malahayati, n. dan Santoso, b. (2017). Sifat Fisik dan Kimia Madu dari Nektar Pohon Karet. *Agritech*, 37(4): 363-368.
<https://doi.org/10.22146/agritech.16424>
- Fatma, I. I., Haryanti, S., dan Suedy, S. W. A. (2017). Uji Kualitas Madu Pada Beberapa Wilayah Budidaya Lebah Madu Di Kabupaten Pati. *Jurnal Akademika Biologi*, 6(2): 58-65.
- Fidela, A., Ekawati, A. H., dan Jakaria. (2020). Sosialisasi Budidaya Lebah *Trigona* sp. Di Desa Barudua, Kecamatan Malangbong, Kabupaten Garut. *Jurnal Pusat Inovasi Masyarakat*, 2(4): 647-651.
- Indonesia, B. P. S. (n.d.). *Luas Kawasan Hutan dan Kawasan Konservasi Perairan Indonesia Berdasarkan Surat Keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2017-2023—Tabel Statistik*. Retrieved March 13, 2025, from <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/1/MTcxNiMx/luas-kawasan-hutan-dan-kawasan-konservasi-perairan-indonesia-berdasarkan-surat-keputusan-menteri-lingkungan-hidup-dan-kehutanan--2017-2021.html>
- Junus, M. (2017). *Produksi Lebah Madu – Bookstore UB Press*.
<https://bookstore.ub.ac.id/shop/peternakan/produksi-lebah-madu/>
- Khotimah, A. (2023). *Penggunaan Teknologi Spektroskopi Fluoresensi Portabel dan Metode SIMCA Untuk Autentikasi Madu Lebah Hutan (Apis dorsata)* [Skripsi, Universitas Lampung].
- Lamerkabel, J. S. A., Siahaya, V. G., Saepuloh, W., Latriyanto, A., Junus, M., erwan, erwan, Batoro, J., Jaya, F., dan Masyitoh, D. (2021). Karakteristik Morfologi dan Morfometrik Lebah Madu Tak Bersengat (Apidae; Melliponinae) pada Koloni di Daerah Pesisir Pulau Ambon. *Jurnal Budidaya Pertanian*, 17(1): 28-35.
<https://doi.org/10.30598/jbdp.2021.17.1.28>
- Mala Pamei dan Amrit Puzari,. (2019). Luminescent transition metal–organic frameworks: An emerging sensor for detecting biologically essential metal ions. *Nano-Structures and Nano-Objects*, 19(1): 100364.
<https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2019.100364>

- Murdika, U., Alif, M, dan Mulyani, Y. (2021). Identifikasi Kualitas Buah Tomat dengan Metode PCA (Principal Component Analysis) dan Backpropagation. *Electrician-Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol 15(3): 160-267. <https://doi.org/10.23960/elc.v15n3.2240>
- Naresh, K. (2014). *Application of Fluorescence Spectroscopy*. 5(1):. <https://doi.org/10.1016/j.bbadv.2023.100091>
- Novenda, I. L., dan Nugroho, S. A. (2017). Analisis Kandungan Prolin Tanaman Kangkung (*Ipomoea reptans* Poir), Bayam (*Amaranthus spinosus*), dan Ketimun (*Cucumis sativus* L.). *Pancaran Pendidikan*, 5(4): 223-234. <http://repository.unej.ac.id/handle/123456789/80019>
- Nuraysih. (2015). Efektivitas Terapi Kombinasi Jus Bayam-Jeruk Sunkis-Madu Terhadap Kadar Hemoglobin Pada Ibu Hamil Dengan Anemia Di Wilayah Kerja UPTD Puskesmas Kecamatan Pontianak Selatan. *ProNers*, 3(1): 160-168. <https://doi.org/10.26418/jpn.v3i1.11009>
- Nurchahyo, B. (2015). *Identifikasi dan Autentikasi Meniran (Phyllanthus Niruri) Menggunakan Kombinasi Spektrum Ultraviolet-Tampak Dan Kemometrika* [Skripsi, Institut Pertanian Bogor]. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/78573>
- Pauliuc, D., Dranca, F., dan Oroian, M. (2020). Antioxidant activity, total phenolic content, individual phenolics and physicochemical parameters suitability for Romanian honey authentication. *Foods*, 9(3): 306. <https://doi.org/10.3390/foods9030306>
- Pavlova, T., Stamatovska, V., Kalevska, T., Dimov, I., dan Nakov, G. (2018). Quality Characteristic Of Honey: A Review. *Proceedings Of University Of Ruse*, 57(10.2): 31-37. <https://eprints.uklo.edu.mk/id/eprint/8786>
- Priawandiputra, W. (2020). Daftar Spesies Lebah Tanpa Sengat (Stingless Bees) dan Tumbuhan Pakannya di Lubuk Bintialo dan Pangkalan Bulian, Sumatera Selatan. *Zoological Society of London (ZSL) Indonesia*. <https://repository.zsl.org/publications/328112/>
- Produksi Lebah Madu – Bookstore UB Press. (n.d.). Retrieved March 13, 2025, from <https://bookstore.ub.ac.id/shop/peternakan/produksi-lebah-madu/>
- Purba, M. S., Lamerkabel, J. S. A., dan Patty, J. A. (2023). Karakter Morfologi dan Morfometrik Lebah Sosial (Aphidae) di Pertanian Organik Beema Honey Bogor. *Jurnal Pertanian Kepulauan*, 7(2): 97-103. <https://doi.org/10.30598/jpk.2023.7.2.97>

- Purwanto, H., Soesilohadi, R. C. H., dan Trianto, M. (2022). Stingless bees from meliponiculture in South Kalimantan, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(3): 695-702.
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d230309>
- Pusat Standardisasi Nasional. 2004. SNI 01-3545-2004: *Madu*. Departemen Perindustrian RI, Jakarta.
- Rahmaddiansyah, D. (2024). *Autentikasi madu lebah Heterotrigona itama dengan nektar Acacia mangium dan Calliandra calothyrsus menggunakan portable LED-based fluorescence spectroscopy* [Skripsi, Universitas Lampung]. <http://digilib.unila.ac.id/id/eprint/86140>
- Riendriasari, S. D., dan Krisnawati, K. (2017). Produksi Propolis Mentah (Raw Propolis) Lebah Madu *Trigona spp.* Di Pulau Lombok. *Ulin: Jurnal Hutan Tropis*, 1(1): 71-75. <https://doi.org/10.32522/ujht.v1i1.797>
- Rosyidi, D., Radiati, L. E., Minarti, S., Mustakim., Susilo, A., Jaya, F., dan Azis, A. (2018). Perbandingan Sifat Antioksidan Propolis Pada Dua Jenis Lebah (*Apis Mellifera* dan *Trigona sp.*) di Mojokerto dan Batu, Jawa Timur, Indonesia. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak*, 13(2): 108-117.
<https://doi.org/10.21776/ub.jitek.2018.013.02.5>
- Sa, M., Sa, A.-A., Al, M., dan Mj, A. (2017). Role of honey in modern medicine. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24(5): 975-978.
<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.12.010>
- Sabir, A., Agus, A., Sahlan, M., dan Agussalim. (2021). The minerals content of honey from stingless bee *Tetragonula Laeviceps* from different regions in Indonesia. *Livestock Research for Rural Development*, 33(2): 1-5.
lrrd.org/lrrd33/2/aguss3322.html
- Sadam, B., Hariani, N., dan Fachmay, S. (2016). Jenis Lebah Madu Tanpa Sengat (Stingless Bee) di Tanah Merah Samarinda. *Jurnal MIPA UNMUL*, vol 5: 374-378.
- Santos, F. D. dos, Vianna, S. G. T., Cunha, P. H. P., Folli, G. S., de Paulo, E. H., Moro, M. K., Romão, W., de Oliveira, E. C., dan Filgueiras, P. R. (2022). Characterization of Crude Oils with a Portable Nir Spectrometer. *Microchemical Journal*, 18: 107696. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4061502>
- Sasmita, Y., Sukainah, A., dan Wijaya, M. (2023). Pengaruh Penambahan Madu Sebagai Sumber Karbon terhadap Fermentasi Spontan Biji Kopi Arabika Di Kabupaten Bantaeng. *Jurnal Patani: Pengembangan Teknologi Pertanian dan Informatika*, 6(1): 11-17.
<https://doi.org/10.47767/patani.v6i1.456>

- Setiawan, A., Sulaeman, R., dan Arlita, T. (2016). Strategi Pengembangan Usaha Lebah Madu Kelompok Tani Setia Jaya di Desa Rambah Jaya Kecamatan Bangun Purba Kabupaten Rokan Hulu. *Jom Faperta*, 3(1): 183-189. <https://www.neliti.com/id/publications/203135/>
- Suhandy, D., Al Riza, D. F., Yulia, M., Kusumiyati, K., Telaumbanua, M., dan Naito, H. (2024). Rapid Authentication of Intact Stingless Bee Honey (SBH) by Portable LED-Based Fluorescence Spectroscopy and Chemometrics. *Foods*, 13(22), 3648. <https://doi.org/10.3390/foods13223648>
- Suhandy, D., dan Yulia, M. (2017). Peaberry coffee discrimination using UV-visible spectroscopy combined with SIMCA and PLS-DA. *International Journal of Food Properties*, 7(1): 331-339. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1296861>
- Suhandy, D., Yulia, M., Ogawa, Y., dan Kondo, N. (2017). Diskriminasi Kopi Lanang Menggunakan UV-Visible Spectroscopy dan Metode SIMCA. *agriTech*, 37(4): 471-476. <https://doi.org/10.22146/agritech.12720>
- Wulandari, D. D. (2017). Analisa Kualitas Madu (Keasaman, Kadar Air, dan Kadar Gula Pereduksi) Berdasarkan Perbedaan Suhu Penyimpanan. *Jurnal Kimia Riset*, 2(1): 16-22. <https://doi.org/10.20473/jkr.v2i1.3768>
- Yulia, M., Iriani, R., Suhandy, D., Waluyo, S., dan Sugianti, C. (2017). Studi Penggunaan Uv-vis Spectroscopy dan Kemometrika Untuk Mengidentifikasi Pemalsuan Kopi Arabika dan Robusta Secara Cepat. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 6(1): 45-52. <https://doi.org/10.23960/jtep-l.v6i1.%p>
- Yuliana, R., Sutariningsih, E., Santoso, H. B., dan Riendrasari, S. D. (2015). Daya Antimikrobia Sarang Lebah Madu *Trigona spp.* Terhadap Mikrobia Patogen. *Bioedukasi UNS*, 8(1): 67-72. <https://doi.org/10.20961/bioedukasi-uns.v8i1.3546>
- Yuliarti, N. (2015). *Khasiat madu untuk kesehatan dan kecantikan*. Rapha Publishing. ISBN 978-979-29-4688-8.
- Zahroh, K. A., dan Bahri, S. (2024). Klasifikasi Penyakit Sirosis Menggunakan Metode PCA-Backpropagation. *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa*, 29(1): 14-24. <https://doi.org/10.35760/tr.2024.v29i1.844>