

Profil Bioaktif Madu Lebah Tak Bersengat Berdasarkan Jenis Sumber Nektar

Bioactive Profile of Stingless Bee Honey Based on Nectar Source Types

Irnayanti Bahar¹, Wiwik Wiji Astuti², Andi Gita Maulidyah Indraswari Suhri^{4*}

¹Jurusan Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas patompo,
Kota Makassar, 90233, Indonesia

²Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas
Hasanuddin, Kota Makassar, 90245, Indonesia

*Corresponding Author: gitamaulidyah@unhas.ac.id

Abstrak: Madu *stingless bee* (*Meliponini*) merupakan produk alamiah yang memiliki nilai strategis dalam industri pangan fungsional dan kesehatan karena kandungan senyawa bioaktifnya yang unik. Namun, variasi komposisi madu berdasarkan sumber nektar di Indonesia, belum terdokumentasi secara mendalam. Penelitian ini bertujuan menganalisis perbedaan kadar air, gula total, polifenol, aktivitas antioksidan, dan antimikroba madu *stingless bee* yang dihasilkan dari sumber nektar yang berbeda. Sampel madu dikumpulkan dari tiga vegetasi berbeda yaitu nektar akasia, nektar rambutan dan nektar kelengkeng. Analisis laboratorium dilakukan menggunakan metode standar, termasuk spektrofotometri untuk mengukur kadar gula dan polifenol, uji DPPH untuk aktivitas antioksidan, serta uji *disc diffusion* untuk aktivitas antimikroba. Hasil penelitian menunjukkan bahwa madu dari nektar rambutan memiliki kadar air lebih rendah ($23,5\% \pm 1,2$), polifenol tertinggi (356 ± 21 mg GAE/100g), dan aktivitas antioksidan paling kuat (IC₅₀ 12,4 mg/mL). Selain itu, madu ini juga menunjukkan aktivitas antimikroba terhadap *Staphylococcus aureus* dengan zona inhibisi $14,2 \pm 1,5$ mm. Temuan ini mengindikasikan bahwa sumber nektar berperan krusial dalam menentukan kualitas madu, sehingga dapat menjadi dasar pengembangan produk madu bernilai tambah tinggi berbasis keanekaragaman flora lokal.

Kata kunci: Antioksidan; bioaktif, madu; nektar; polifenol; *stingless bee*.

Abstract: Stingless bee honey (*Meliponini*) is a natural product with strategic value in the functional food and health industries due to its unique bioactive compound content. However, variations in honey composition based on nectar sources in Indonesia, have not been thoroughly documented. This study aims to analyze the differences in moisture content, total sugars, polyphenols, antioxidant activity, and antimicrobial properties of stingless bee honey derived from different nectar sources. Honey samples were obtained from three distinct vegetative sources: acacia, rambutan, and longan nectars. Laboratory analyses were conducted using standard methods, including spectrophotometry for measuring sugar and polyphenol contents, DPPH assay for antioxidant activity, and disc diffusion method for antimicrobial testing. The results showed that honey from rambutan nectar had the lowest moisture content ($23.5\% \pm 1.2$), the highest polyphenol content (356 ± 21 mg GAE/100g), and the strongest antioxidant activity (IC₅₀ 12.4 mg/mL). In addition, this honey also demonstrated antimicrobial activity against *Staphylococcus aureus* with an inhibition zone of 14.2 ± 1.5 mm. These findings indicate that nectar source plays a crucial role in determining honey quality, and may serve as a foundation for the development of high-value honey products based on local floral biodiversity.

Keywords: antioxidant; honey; nectar; polyphenol; stingless bee.

Dikumpulkan: 28 Mei 2025 Direvisi: 29 Juni 2025

Diterima: 5 Agustus 2025

Dipublikasi: 31 Agustus 2025

Pendahuluan

Madu *stingless bee* (genus *Meliponini*) telah lama dikenal sebagai produk alamiah dengan potensi kesehatan yang luar biasa, terutama karena kandungan senyawa bioaktif seperti polifenol, flavonoid, dan asam organik. Berbeda dengan madu dari lebah madu umum *Apis mellifera*, madu *stingless bee* memiliki karakteristik kimiawi yang unik, seperti kadar air lebih tinggi (20-35%) dan profil rasa yang kompleks akibat dominasi nektar dari tanaman tropis (Nascimento et al., 2015; Shamsudin et al., 2019; Carina Biluca et al., 2021; Gela et al., 2021;;). Di Indonesia, keanekaragaman hayati yang melimpah, termasuk lebih dari 40 spesies lebah tak bersengat dan ribuan jenis flora penghasil nektar, menawarkan peluang besar untuk pengembangan madu dengan komposisi spesifik. Namun, potensi ini belum sepenuhnya tergarap akibat terbatasnya data ilmiah tentang variasi komposisi madu berdasarkan sumber nektar (Bertazzini & Forlani, 2016; Zhang et al., 2021; Dobrinas et al., 2022).

Studi terdahulu di negara-negara tropis seperti Brasil dan Malaysia telah mengungkap korelasi erat antara sumber nektar dengan kualitas madu. Sebagai contoh, madu dari nektar bunga *Eucalyptus* di Brasil menunjukkan aktivitas antimikroba yang unggul, (Bobis et al., 2020; Lima et al., 2022), sedangkan madu rambutan di Malaysia dikenal karena kandungan flavonoidnya yang tinggi (Moniruzzaman et al., 2017). Selain kandungan antioksidan dan flavonoid yang tinggi, berbagai studi juga menunjukkan bahwa komposisi nektar memengaruhi parameter fisik dan organoleptik madu seperti kadar gula, rasa, dan aroma. Sebagai contoh, madu dari bunga kelengkeng (*Dimocarpus longan*) memiliki kadar fruktosa dan glukosa yang tinggi serta rasa manis khas yang disukai konsumen (Lertlakkanawat et al., 2024). Di sisi lain, madu dari bunga kopi di Indonesia dilaporkan memiliki profil rasa yang lebih kompleks dengan aroma floral dan keasaman ringan yang memengaruhi preferensi pasar (Depaula et al., 2025). Variasi dalam total padatan terlarut, pH, dan aktivitas air juga telah dilaporkan sangat bergantung pada sumber botani nektar (Adgaba et al., 2016), sehingga pemahaman terhadap sumber pakan lebah menjadi penting dalam meningkatkan kualitas dan nilai tambah madu. Namun, data serupa untuk madu *stingless bee* Indonesia masih sangat terbatas. Minimnya informasi ini tidak hanya menghambat penetapan standar mutu madu lokal, tetapi juga membatasi peluang sertifikasi produk berbasis indikasi geografis (Ingram et al., 2020; Bose & Padmavati, 2024). Secara global, hasil penelitian ini

memiliki implikasi penting dalam konteks perubahan iklim dan penurunan keanekaragaman tanaman berbunga, yang dapat mengganggu ketersediaan sumber nektar bagi lebah. Variasi sumber nektar tidak hanya memengaruhi kesehatan koloni, tetapi juga menentukan mutu kimia dan nilai komersial madu (Escuredo & Seijo, 2019). Oleh karena itu, pemetaan hubungan antara flora pakan dan karakteristik madu berperan strategis dalam pengelolaan lanskap yang ramah penyerbuk, konservasi sumber daya hayati, serta peningkatan daya saing produk madu di pasar global..

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dirancang untuk menjawab tiga pertanyaan utama: (1) Bagaimana variasi kandungan nutrisi (kadar air, gula total) dan senyawa bioaktif (polifenol, aktivitas antioksidan) pada madu *stingless bee* dari sumber nektar berbeda; (2) Apakah perbedaan sumber nektar berpengaruh signifikan terhadap aktivitas biologis madu, seperti sifat antimikroba?; (3) Bagaimana implikasi temuan ini terhadap pengembangan produk madu bernilai tambah tinggi?

Bahan dan Metode

Desain Penelitian dan Pengambilan Sampel

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksploratif-komparatif untuk menganalisis variasi komposisi madu *stingless bee* *Tetragonula laeviceps* yang berasal dari tiga jenis nektar berbeda, yaitu akasia *Acacia mangium*, rambutan *Nephelium lappaceum*, dan kelengkeng *Dimocarpus longan*. Ketiga sumber nektar tersebut dipilih karena merupakan vegetasi dominan yang diketahui menjadi sumber pakan utama lebah di daerah tropis, serta memiliki karakteristik fitokimia yang berbeda.

Sampel madu diperoleh melalui pembelian langsung dari peternak lebah lokal yang telah menjalankan budidaya lebah secara berkelanjutan. Madu yang diperoleh telah dikemas dan disimpan sesuai standar penanganan pasca-panen oleh peternak. Untuk setiap jenis sumber nektar, dikumpulkan lima botol madu dari peternak yang berbeda sebagai ulangan biologis, sehingga total terdapat 15 botol madu yang dianalisis. Setiap botol dianggap sebagai satu unit sampel yang mewakili kondisi khas madu dari masing-masing sumber nektar.

Informasi mengenai jenis nektar utama diperoleh melalui wawancara terstruktur dengan peternak di lokasi pengambilan sampel. Peternak diminta mengidentifikasi jenis tumbuhan berbunga yang dominan di sekitar lokasi pemeliharaan lebah,

khususnya dalam radius jelajah lebah yang berkisar antara 300 hingga 1000 meter. Selain itu, dikonfirmasi pula apakah koloni bersifat menetap (tidak berpindah lokasi selama musim berbunga) dan apakah panen dilakukan dalam periode dominasi bunga tertentu. Berdasarkan data vegetasi dominan yang dilaporkan peternak dan kesesuaian musim berbunga, ditetapkan perkiraan sumber utama nektar pada masing-masing sampel.

Meskipun tidak dilakukan analisis palinologi untuk memastikan asal botani madu, pendekatan wawancara berbasis persepsi peternak dikombinasikan dengan observasi lokasi telah digunakan secara luas dalam penelitian madu monofloral di wilayah tropis (Moniruzzaman et al., 2013; Biluca et al., 2016). Oleh karena itu, metode ini dinilai valid dalam konteks studi eksploratif dan pengamatan awal terhadap karakteristik madu berdasarkan dugaan sumber nektar dominan..

Validasi terhadap keaslian sumber nektar dilakukan melalui penelusuran deskriptif terhadap latar belakang ekologi lokasi budidaya, termasuk dokumentasi visual vegetasi oleh peternak dan riwayat lokasi koloni lebah. Semua sampel madu disimpan dalam wadah tertutup, bebas kontaminasi, dan didinginkan pada suhu 4°C selama transportasi dan penyimpanan sebelum dianalisis di laboratorium. Prosedur ini bertujuan menjaga stabilitas parameter fisiko-kimia dan kandungan senyawa bioaktif madu, serta memastikan reproduktibilitas data antar ulangan (Moniruzzaman et al., 2013; Biluca et al., 2016).

Analisis Laboratorium

Analisis laboratorium dilakukan untuk mengukur empat parameter utama yaitu kadar air, gula total, total polifenol, dan aktivitas antioksidan. Kadar air ditentukan menggunakan metode oven (AOAC 925.45) dengan mengeringkan sampel pada suhu 105°C selama 24 jam hingga mencapai berat konstan (Isengard et al., 2001). Kadar gula total dianalisis melalui spektrofotometri UV-Vis (Shimadzu UV-1800) dengan reagen anthrone pada panjang gelombang 620 nm, menggunakan glukosa sebagai standar (Yemm & Willis, 1954). Total polifenol diukur dengan metode Folin-Ciocalteu, di mana ekstrak madu direaksikan dengan reagen Folin-Ciocalteu dan natrium karbonat, kemudian absorbansi diukur pada panjang gelombang 765 nm. Hasil dinyatakan dalam mg asam galat ekuivalen (GAE) per 100 gram madu (Singleton et al., 1999). Aktivitas antioksidan diuji menggunakan metode DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil), dengan nilai IC50 dihitung melalui regresi linier antara

konsentrasi sampel dan persen inhibisi radikal bebas (Brand-Williams et al., 1995).

Uji antimikroba dilakukan terhadap sampel madu terpilih menggunakan metode *disc diffusion* untuk mengevaluasi aktivitas terhadap bakteri Gram positif (*Staphylococcus aureus*, ATCC 25923) dan Gram negatif (*Escherichia coli*, ATCC 25922). Pemilihan kedua strain ini didasarkan pada penggunaannya yang luas sebagai organisme uji standar dalam penilaian aktivitas antimikroba bahan alami, karena mewakili dua tipe dinding sel bakteri yang berbeda serta relevansinya dalam infeksi klinis umum (Mandal & Mandal, 2011; Badawy et al., 2012).

Kultur bakteri diperoleh dari koleksi strain referensi dan diaktivasi dalam media Nutrient Broth pada suhu 37 °C selama 18–24 jam. Suspensi bakteri disesuaikan dengan standar McFarland 0.5 ($\sim 10^8$ CFU/mL) sebelum diinokulasi secara merata pada permukaan media Mueller-Hinton agar. C

akram kertas steril (diameter 6 mm) direndam dalam larutan madu, kemudian diletakkan pada media dan diinkubasi pada suhu 37 °C selama 24 jam. Kloramfenikol (30 µg) digunakan sebagai kontrol positif. Diameter zona hambat diukur dalam milimeter menggunakan jangka sorong digital. Seluruh pengujian dilakukan dalam tiga ulangan, dan hasil dilaporkan sebagai rerata $\pm$ standar deviasi. Metode *disc diffusion* ini merupakan pendekatan yang umum dan valid untuk skrining awal aktivitas antimikroba alami, dan telah banyak digunakan dalam studi bioaktivitas madu, termasuk madu lebah tidak bersengat (Tan et al., 2009).

Analisis Statistik

Data yang diperoleh dianalisis secara statistik menggunakan perangkat lunak *Jamovi* versi 2.3.21. Sebelum dilakukan analisis varians (ANOVA) satu arah, data terlebih dahulu diuji normalitasnya menggunakan uji Shapiro–Wilk dan homogenitas varians menggunakan uji Levene. Uji ANOVA satu arah diterapkan untuk mengidentifikasi perbedaan yang signifikan antar kelompok madu berdasarkan sumber nektar, dengan tingkat signifikansi ditetapkan pada $\alpha = 0,05$. Jika ditemukan perbedaan yang signifikan, analisis dilanjutkan dengan uji *post-hoc* Tukey HSD untuk menentukan pasangan kelompok yang berbeda secara statistik. Seluruh data disajikan dalam bentuk rerata $\pm$ standar deviasi.

Hasil dan Pembahasan

Hasil

Karakteristik Fisiko-Kimia

Hasil analisis kadar air menunjukkan perbedaan signifikan antara madu dari kedua lokasi. Madu yang berasal dari nektar rambutan dan kelengkeng memiliki kadar air rata-rata $23,5\% \pm 1,2$ dan $24,1\% \pm 1,4$, sementara madu dari nektar akasia memiliki kadar air lebih tinggi, yaitu $27,8\% \pm 1,5$ ($*p* = 0,003$). Meskipun demikian, kadar gula total tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan antar lokasi. Madu kelengkeng dan rambutan memiliki kadar gula total $65,8 \pm 3,0$ g/100g, sedangkan madu akasia sebesar $63,8 \pm 2,9$ g/100g ($*p* = 0,42$).

Senyawa Bioaktif dan Aktivitas Antioksidan

Kandungan polifenol pada madu nektar rambutan tercatat sebagai yang tertinggi, yaitu 356 ± 21 mg GAE/100g, diikuti oleh madu nektar kelengkeng (298 ± 18 mg GAE/100g) dan nektar akasia (214 ± 15 mg GAE/100g) ($p < 0,001$). Aktivitas antioksidan yang diukur melalui nilai IC50 juga menunjukkan pola serupa. Madu nektar rambutan memiliki aktivitas antioksidan terkuat dengan IC50 12,4 mg/mL, sementara madu nektar kelengkeng dan akasia masing-masing memiliki IC50 14,2 mg/mL dan 18,6 mg/mL ($p = 0,001$) (Tabel 1).

Tabel 1. Perbandingan Komposisi Madu Berdasarkan Sumber Nektar

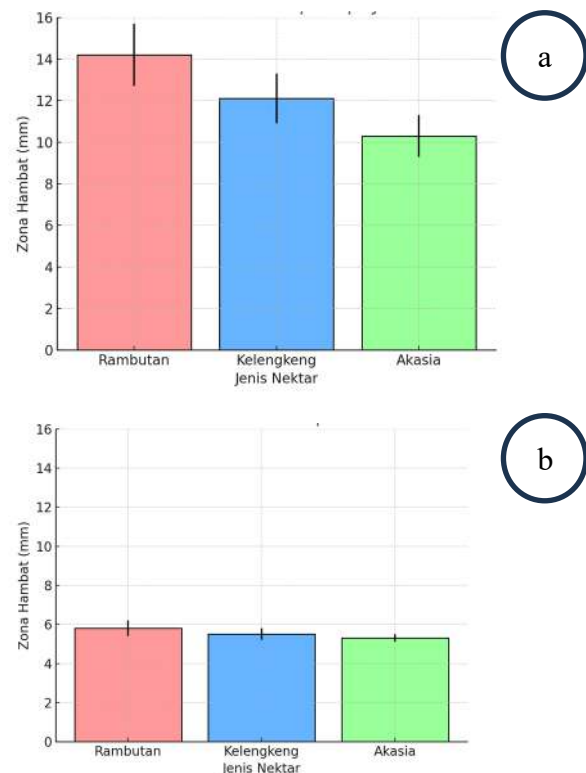
Parameter	Nektar Rambutan	Nektar Kelengkeng	Nektar Akasia
Kadar Air (%)	$23,5 \pm 1,2^a$	$24,1 \pm 1,4^a$	$27,8 \pm 1,5^a$
Gula Total (g/100g)	$65,8 \pm 3,0^a$	$64,2 \pm 2,8^a$	$63,8 \pm 2,9^a$
Total Polifenol (mg GAE/100g)	356 ± 21^a	298 ± 18^a	214 ± 15^b
IC50 (mg/mL)	12,4 ^a	14,2 ^a	18,6 ^b

*Nilai dengan huruf superskrip berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang signifikan (Tukey HSD, $p < 0,05$).

Tabel tersebut menyajikan perbandingan kandungan nutrisi dan senyawa bioaktif madu berdasarkan tiga jenis sumber nektar. Nilai kadar air, gula total, total polifenol, dan IC50 ditampilkan secara berurutan untuk madu dari nektar rambutan, kelengkeng, dan akasia. Perbedaan nilai antar kelompok terlihat jelas pada masing-masing parameter. Madu dari nektar rambutan menunjukkan nilai tertinggi untuk total polifenol dan nilai IC50 terendah, sedangkan madu dari nektar akasia mencatatkan nilai polifenol terendah dan IC50 tertinggi. Seluruh data ditampilkan dalam bentuk rerata $\pm$ standar deviasi, dan menunjukkan adanya variasi komposisi berdasarkan jenis nektar yang digunakan.

Aktivitas Antimikroba

Uji antimikroba terhadap *Staphylococcus aureus* menunjukkan bahwa madu nektar rambutan mampu menghambat pertumbuhan bakteri dengan zona inhibisi $14,2 \pm 1,5$ mm, meskipun lebih rendah dibandingkan kontrol positif kloramfenikol (22,0 mm). Namun, tidak terdapat aktivitas penghambatan yang signifikan terhadap *Escherichia coli*, dengan zona inhibisi kurang dari 6 mm pada semua sampel.



Gambar 1. Aktivitas antimikroba madu terhadap (a) *Staphylococcus aureus*, dan (b) *Escherichia coli*

Grafik yang disajikan menunjukkan perbandingan zona hambat madu dari ketiga jenis nektar terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. Pada grafik (a), madu dari nektar rambutan menghasilkan zona hambat terbesar terhadap *S. aureus*, diikuti oleh madu kelengkeng dan akasia. Sementara pada grafik (b), seluruh sampel madu menunjukkan zona hambat yang sangat kecil terhadap *E. coli*, dengan nilai kurang dari 6 mm (Gambar 1). Perbedaan ukuran zona hambat antar jenis madu tampak jelas pada grafik, dan mencerminkan variasi kemampuan penghambatan masing-masing terhadap kedua jenis bakteri uji.

Pembahasan

Hasil penelitian ini mengungkap adanya pengaruh signifikan dari variasi sumber nektar terhadap karakteristik fisiko-kimia, kandungan senyawa bioaktif, dan aktivitas biologis madu yang dihasilkan oleh lebah tak bersengat *T. laeviceps*. Temuan ini selaras dengan literatur global yang menekankan bahwa faktor lingkungan dan botani secara langsung memengaruhi kualitas madu alami, terutama dari genus lebah yang mengandalkan vegetasi lokal sebagai satu-satunya sumber nektar (Moniruzzaman et al., 2017; Mohammed, 2022; Quiralte et al., 2023).

Kadar air merupakan indikator penting dalam menilai stabilitas madu karena secara langsung berpengaruh pada risiko fermentasi mikroba dan umur simpan produk (da Silva et al., 2016; Manickavasagam et al., 2024). Dalam studi ini, madu dari nektar rambutan memiliki kadar air lebih rendah ($23,5\% \pm 1,2$) dibandingkan madu akasia ($27,8\% \pm 1,5$). Perbedaan ini kemungkinan besar bukan hanya disebabkan oleh karakteristik tanaman penghasil nektar, tetapi juga faktor ekologis seperti kelembaban relatif dan suhu lingkungan.

Faktor ekologis di lokasi budidaya lebah, seperti intensitas cahaya matahari, ventilasi alami, serta kelembaban mikro di sekitar sarang, turut memengaruhi efisiensi proses penguapan air dari nektar selama pematangan madu (Mitchell, 2019; Nicolson et al., 2022). Lokasi koloni lebah penghasil madu rambutan cenderung memiliki kondisi mikroklimat yang lebih kering dan terbuka, dengan paparan cahaya matahari langsung serta sirkulasi udara yang baik di sekitar kotak sarang, sehingga mempercepat proses evaporasi. Sebaliknya, lokasi akasia berada di area dengan tutupan vegetasi yang lebih rapat dan kelembaban lingkungan yang tinggi, yang dapat menghambat pengurangan kadar air

dalam madu. Penelitian oleh Mitchell (2019) membuktikan bahwa ventilasi sarang dan kondisi mikroklimat mempengaruhi kemampuan lebah dalam proses evaporasi air dari nektar yang dikumpulkan. Oleh karena itu, rendahnya kadar air pada madu rambutan dapat dianggap sebagai kombinasi optimal antara iklim setempat dan fisiologi lebah, menghasilkan produk akhir yang lebih stabil secara mikrobiologis dan lebih unggul dari segi mutu penyimpanan.

Kadar gula total, yang mencerminkan energi metabolik dan manisnya madu, tidak menunjukkan perbedaan signifikan antar kelompok. Hal ini dapat dijelaskan oleh fakta bahwa proses enzimatik konversi sukrosa menjadi fruktosa dan glukosa oleh lebah relatif seragam di berbagai lokasi (Ali et al., 2021; Brys et al., 2024). Walaupun kadar gula tidak membedakan secara statistik, nilai rata-rata yang lebih tinggi pada madu rambutan ($65,8 \pm 3,0$ g/100g) tetap memberikan kontribusi terhadap densitas kalori dan mungkin memperkuat persepsi rasa yang lebih manis, yang menjadi faktor penting dalam preferensi konsumen. Studi oleh Ben-Ali & Taghouti, (2022) menunjukkan bahwa kadar gula, terutama fruktosa dan glukosa, secara signifikan memengaruhi persepsi sensori dan tingkat kesukaan terhadap madu.

Kandungan total polifenol menunjukkan perbedaan mencolok antar jenis nektar, dengan madu rambutan mencatatkan konsentrasi tertinggi (356 ± 21 mg GAE/100g), diikuti oleh kelengkeng dan akasia. Tingginya kandungan ini mencerminkan karakteristik fitokimia dari bunga rambutan, yang telah diketahui memiliki kandungan flavonoid tinggi (Jantapaso & Mittraparp-arthorn, 2022; Windarsih & Efendi, 2019). Penelitian ini memperkuat hipotesis bahwa komposisi nektar sangat menentukan konsentrasi akhir senyawa fenolik dalam madu, bukan hanya sebagai hasil metabolisme lebah. Nilai IC₅₀ yang lebih rendah pada madu rambutan (12,4 mg/mL) menunjukkan kapasitas antioksidan tertinggi. Korelasi terbalik antara kandungan polifenol dan nilai IC₅₀ menegaskan bahwa senyawa fenolik adalah agen dominan dalam aktivitas antioksidan madu (Martinello & Mutinelli, 2021). Ini sesuai dengan teori bahwa molekul fenolik bekerja dengan mendonorkan atom hidrogen atau elektron untuk menetralkan spesies reaktif oksigen (ROS), sehingga menurunkan stres oksidatif pada sel biologis (Pisoschi et al., 2021; Pisoschi & Pop, 2015). Dalam konteks aplikasi fungsional, madu rambutan menunjukkan potensi besar sebagai suplemen alami yang mendukung pertahanan antioksidan tubuh.

Pengujian aktivitas antimikroba menunjukkan hasil yang menarik. Madu rambutan memberikan zona hambat $14,2 \pm 1,5$ mm terhadap *Staphylococcus aureus*, sedangkan semua jenis madu gagal menghasilkan zona

hambat signifikan terhadap *Escherichia coli*. Hal ini mendukung temuan sebelumnya bahwa madu lebih efektif terhadap bakteri Gram positif dibandingkan Gram negatif karena perbedaan struktur dinding sel (Stavropoulou et al., 2022; Syed Yaacob et al., 2020). Dinding sel Gram negatif yang kompleks, dengan lapisan lipopolisakarida, bertindak sebagai penghalang terhadap molekul polar seperti senyawa fenolik dalam madu. Namun, temuan ini juga mengisyaratkan bahwa senyawa antimikroba dalam madu mungkin memiliki keterbatasan jika diterapkan pada infeksi saluran pencernaan yang lebih sering melibatkan Gram negatif. Oleh karena itu, ke depannya dibutuhkan karakterisasi lebih lanjut terhadap senyawa aktif spesifik seperti asam fenolat, flavonoid, dan enzim glukosa oksidase, yang diketahui mampu meningkatkan potensi antimikroba, serta memformulasi madu dengan cara sinergistik dengan senyawa tambahan untuk memperluas spektrum antibakterinya.

Temuan bahwa madu rambutan memiliki komposisi terbaik dari segi kadar air, fenolik, antioksidan, dan aktivitas antimikroba, memberikan dasar ilmiah untuk mengarahkan pengembangan peternakan lebah ke sistem agroforestri terpadu. Penanaman pohon rambutan di sekitar koloni lebah dapat meningkatkan kualitas madu sekaligus mendukung keberlanjutan produksi. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa integrasi tanaman buah dalam sistem budidaya lebah memperkuat pasokan pakan, memperbaiki iklim mikro sarang, dan meningkatkan nilai ekonomi madu (Lechner et al., 2021). Strategi ini juga membuka peluang penciptaan produk madu indikasi geografis (GI) berbasis kekhasan floristik lokal (Mwakaje et al., 2018)..

Penelitian ini memperkuat pemahaman ilmiah tentang pengaruh sumber nektar terhadap mutu madu lebah tak bersengat lokal. Temuan ini relevan untuk pengembangan standar mutu berbasis indikasi geografis dan strategi pemberdayaan peternak melalui konservasi tanaman penghasil nektar unggulan, seperti rambutan. Madu dari sumber spesifik berpotensi dikembangkan sebagai produk fungsional bernilai tinggi, khususnya dengan klaim antioksidan dan aktivitas antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus*. Namun, keterbatasan wilayah dan waktu pengambilan sampel menjadi kendala dalam generalisasi temuan. Studi lanjutan dengan cakupan spasial dan temporal yang lebih luas dibutuhkan untuk memperkuat validitas dan aplikabilitas hasil ini.

Kesimpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa sumber nektar berpengaruh signifikan terhadap kualitas madu *stingless bee*, terutama dalam hal kadar air, kandungan polifenol, aktivitas antioksidan, dan kemampuan antimikroba. Madu dari nektar rambutan menunjukkan profil terbaik, dengan aktivitas antioksidan tertinggi dan daya hambat efektif terhadap *Staphylococcus aureus*. Sementara itu, seluruh sampel madu tidak menunjukkan aktivitas signifikan terhadap *Escherichia coli*. Temuan ini menggarisbawahi pentingnya pemilihan sumber nektar dalam pengembangan madu fungsional dan mendukung potensi madu lokal sebagai produk bernilai tambah tinggi. Penelitian lanjutan dengan cakupan lebih luas tetap diperlukan untuk memperkuat generalisasi dan aplikasi hasil ini.

Ucapan terima kasih

Terima kasih kepada Kemdiktisaintek yang telah mendanai penelitian ini pada skema Penelitian Dosen Pemula tahun 2025 (0070/C3/AL.04/2025).

Referensi

- Adgaba, N., Getachew, A., Al-Ghamdi, A., Mohammed, S. E. A., Owayss, A. A., Alqarni, A. S., Awad, A. M., Ansari, M. J., & Tadesse, Y. (2016). Nectar secretion dynamics and honey production potentials of some major honey plants in Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24(1), 180–191. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.05.002>
- Ali, H., Iqbal, J., Raweh, H. S., & Alqarni, A. S. (2021). Proboscis behavioral response of four honey bee Apis species towards different concentrations of sucrose, glucose, and fructose. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(6), 3275–3283. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.02.069>
- Badawy, O. F. H., Shafii, S. S. A., Kamal, A. M., & Tharwat, E. E. (2004). Antibacterial activity of bee honey and its therapeutic usefulness against *Escherichia coli* 0157:H7 and *Salmonella typhimurium* infection. *Revue Scientifique et Technique de l'OIE*, 23(3), 1011–1022. <https://doi.org/10.20506/rst.23.3.1543>
- Ben-Ali, S., & Taghouti, I. (2022). Tunisian consumer preferences for local forest honey attributes: A market segmentation analysis. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 20(1), e0101. <https://doi.org/10.5424/sjar/2022201-18411>
- Bertazzini, M., & Forlani, G. (2016). Intraspecific Variability of Floral Nectar Volume and Composition in Rapeseed (*Brassica napus* L. var.

- oleifera). *Frontiers in Plant Science*, 7(680). <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00288>
- Biluca, F. C., Braghini, F., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2016). Physicochemical profiles, minerals and bioactive compounds of stingless bee honey (Meliponinae). *Journal of Food Composition and Analysis*, 50, 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.05.007>
- Bobis, O., Moise, A. R., Ballesteros, I., Reyes, E. S., Durán, S. S., Sánchez-Sánchez, J., Cruz-Quintana, S., Giampieri, F., Battino, M., & Alvarez-Suarez, J. M. (2020). Eucalyptus honey: Quality parameters, chemical composition and health-promoting properties. *Food Chemistry*, 325, 126870. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126870>
- Bose, D., & Padmavati, M. (2024). Honey Authentication: A review of the issues and challenges associated with honey adulteration. *Food Bioscience*, 61, 105004. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.105004>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/s0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/s0023-6438(95)80008-5)
- Bryś, M. S., Staniec, B., & Strachecka, A. (2024). The effect of pollen monodiets on fat body morphology parameters and energy substrate levels in the fat body and hemolymph of *Apis mellifera* L. workers. *Scientific Reports*, 14(1), 15177. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-64598-0>
- Carina Biluca, F., Braghini, F., Campos Ferreira, G., Costa dos Santos, A., Helena Baggio Ribeiro, D., Valdemiro Gonzaga, L., Vitali, L., Amadeu Micke, G., Carolina Oliveira Costa, A., & Fett, R. (2021). Physicochemical parameters, bioactive compounds, and antibacterial potential of stingless bee honey. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(2). <https://doi.org/10.1111/jfpp.15127>
- da Silva, P. M., Gauche, C., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2016). Honey: Chemical composition, stability and authenticity. *Food Chemistry*, 196, 309–323. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.051>
- Depaula, J., Cunha, S. C., Partelli, F. L., Fernandes, J. O., & Farah, A. (2025). Major Bioactive Compounds, Volatile and Sensory Profiles of *Coffea canephora* Flowers and Infusions for Waste Management in Coffee Production. *Foods (Basel, Switzerland)*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/foods14060911>
- Dobrinas, S., Soceanu, A., Constanda, L. M., Birghila, C., Birghila, S., Matei, N., & Popescu, V. (2022). Chemical Analysis and Quality Assessment of Honey Obtained from Different Sources. *Processes*, 10(12), 2554. <https://doi.org/10.3390/pr10122554>
- Gela, A., Hora, Z. A., Kebebe, D., & Gebresilassie, A. (2021). Physico-chemical characteristics of honey produced by stingless bees (*Meliponula beccarii*) from West Showa zone of Oromia Region, Ethiopia. *Heliyon*, 7(1), e05875. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05875>
- Escuredo, O., & Seijo, M. C. (2019). Honey: Chemical Composition, Stability and Authenticity. *Foods*, 8(11), 577. <https://doi.org/10.3390/foods8110577>
- Ingram, V., Hansen, M. E., & Bosselmann, A. S. (2020). To Label or Not? Governing the Costs and Benefits of Geographic Indication of an African Forest Honey Value Chain. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00102>
- Isengard, H.-D., Schultheiß, D., Radović, B., & Anklam, E. (2001). Alternatives to official analytical methods used for the water determination in honey. *Food Control*, 12(7), 459–466. [https://doi.org/10.1016/s0956-7135\(01\)00044-5](https://doi.org/10.1016/s0956-7135(01)00044-5)
- Jantapaso, H., & Mittraparp-arthorn, P. (2022). Phytochemical Composition and Bioactivities of Aqueous Extract of Rambutan (*Nephelium lappaceum* L. cv. Rong Rian) Peel. *Antioxidants*, 11(5), 956. <https://doi.org/10.3390/antiox11050956>
- Lima, W. G., Moreira Brito, J. C., Stephanie da Cruz Nizer, W., & Sampaio de Assis, D. C. (2022). Antifungal, antibiofilm and anti-resistance activities of Brazilian monofloral honeys against *Candida* spp. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 42, 102335. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102335>
- Lechner, A. M., Sagala, S., Ooi, J. Y., Kanai, J. M., Ang, M. L. E., Hamel, P., & Azhar, B. (2021). *Urban Biodiversity and Nature-Based Solutions in Southeast Asia*. i seas yusof ishak institute singapore. <https://doi.org/10.1355/9789815011210>
- Lertlakkawat, P., Sommano, S. R., Danmek, K., Hongsibsong, S., Jung, C., Namin, S. M., Wongkaew, M., & Chuttong, B. (2024). The Phytochemical Properties of Low-Grade Longan Syrup and Its Potential Use as a Dietary

- Supplement for Honey Bees. *Insects*, 15(12), 946. <https://doi.org/10.3390/insects15120946>
- Manickavasagam, G., Saaid, M., & Lim, V. (2024). Impact of prolonged storage on quality assessment properties and constituents of honey: A systematic review. *Journal of Food Science*, 89(2), 811–833. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16921>
- Mandal, M. D., & Mandal, S. (2011). Honey: its medicinal property and antibacterial activity. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 1(2), 154–160. [https://doi.org/10.1016/s2221-1691\(11\)60016-6](https://doi.org/10.1016/s2221-1691(11)60016-6)
- Mitchell, D. (2019). Nectar, humidity, honey bees (*Apis mellifera*) and varroa in summer: a theoretical thermofluid analysis of the fate of water vapour from honey ripening and its implications on the control of *Varroa destructor*. *Journal of The Royal Society Interface*, 16(156), 20190048. <https://doi.org/10.1098/rsif.2019.0048>
- Mohammed, M. E. A. (2022). Factors Affecting the Physicochemical Properties and Chemical Composition of Bee's Honey. *Food Reviews International*, 38(6), 1330–1341. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1810701>
- Moniruzzaman, M., Sulaiman, S. A., Gan, S. H., & Khalil, M. I. (2013). Physicochemical and antioxidant properties of Malaysian honeys produced by *Apis cerana*, *Apis dorsata* and *Apis mellifera*. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/1472-6882-13-43>
- Mitchell, D. (2019). Nectar, humidity, honey bees (*Apis mellifera*) and varroa in summer: a theoretical thermofluid analysis of the fate of water vapour from honey ripening and its implications on the control of *Varroa destructor*. *Journal of The Royal Society Interface*, 16(156), 20190048. <https://doi.org/10.1098/rsif.2019.0048>
- Moniruzzaman, M., Amrah Sulaiman, S., & Gan, S. H. (2017). Phenolic Acid and Flavonoid Composition of Malaysian Honeys. *Journal of Food Biochemistry*, 41(2), e12282. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12282>
- Mwakaje, A. E. G., Bosselmann, A. S., Hansted, L., Nyunza, G., & Maganga, F. (2018). Using geographical indications for signalling quality and reducing transaction costs of marketing Uyu honey from Tanzania. *Forests, Trees and Livelihoods*, 27(2), 118–138. <https://doi.org/10.1080/14728028.2018.1445040>
- Nascimento, A., Marchini, L., Carvalho, C., Araújo, D., Olinda, R., & Silveira, T. (2015). Physical-Chemical Parameters of Honey of Stingless Bee (Hymenoptera: Apidae). *American Chemical Science Journal*, 7(3), 139–149. <https://doi.org/10.9734/ACSJ/2015/17547>
- Nicolson, S. W., Human, H., & Pirk, C. W. W. (2022). Honey bees save energy in honey processing by dehydrating nectar before returning to the nest. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20626-5>
- Pisoschi, A. M., & Pop, A. (2015). The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 97, 55–74. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2015.04.040>
- Pisoschi, A. M., Pop, A., Iordache, F., Stanca, L., Predoi, G., & Serban, A. I. (2021). Oxidative stress mitigation by antioxidants - An overview on their chemistry and influences on health status. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 209, 112891. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2020.112891>
- Quiralte, D., Zarzo, I., Fernandez-Zamudio, M.-A., Barco, H., & Soriano, J. M. (2023). Urban Honey: A Review of Its Physical, Chemical, and Biological Parameters That Connect It to the Environment. *Sustainability*, 15(3), 2764. <https://doi.org/10.3390/su15032764>
- Shamsudin, S., Selamat, J., Sanny, M., Abd. Razak, S.-B., Jambari, N. N., Mian, Z., & Khatib, A. (2019). Influence of origins and bee species on physicochemical, antioxidant properties and botanical discrimination of stingless bee honey. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 239–264. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1576730>
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). 14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In *Methods in Enzymology* (Vol. 299, pp. 152–178). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/s0076-6879\(99\)90017-1](https://doi.org/10.1016/s0076-6879(99)90017-1)
- Stavropoulou, E., Voidarou, C. (Chrysa), Rozos, G., Vaou, N., Bardanis, M., Konstantinidis, T., Vrioni, G., & Tsakris, A. (2022). Antimicrobial Evaluation of Various Honey Types against Carbapenemase-Producing Gram-Negative Clinical Isolates. *Antibiotics*, 11(3), 422. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11030422>
- Syed Yaacob, S. N., Wahab, R. A., Huyop, F., Lani, M. N., & Zin, N. M. (2020). Morphological alterations in gram-positive and gram-negative bacteria exposed to minimal inhibitory and

bactericidal concentration of raw Malaysian stingless bee honey. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 34(1), 575–586. <https://doi.org/10.1080/13102818.2020.1788421>

- Tan, H. T., Bs, K.-K., Rahman, R. A., Hassan, S. A., Halim, A. S., Gan, S. H., & Sulaiman, S. A. (2009). The antibacterial properties of Malaysian tualang honey against wound and enteric microorganisms in comparison to manuka honey. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/1472-6882-9-34>
- Windarsih, G., & Efendi, M. (2019). Short communication: Morphological characteristics of flower and fruit in several rambutan (*Nephelium lappaceum*) cultivars in Serang City, Banten, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 20(5). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200537>
- Yemm, E. W., & Willis, A. J. (1954). The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Biochemical Journal*, 57(3), 508–514. <https://doi.org/10.1042/bj0570508>
- Zhang, X.-H., Qing, X.-D., Mu, S.-T., Wang, D., Zheng, J.-J., Zhou, S.-J., Kang, C., & Liu, Z. (2021). Authentication of honey of different nectar sources and antioxidant property evaluation by phenolic composition analysis with chemometrics. *Food Control*, 124, 107900. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.107900>