p-ISSN: 1907-8056
e-ISSN: 2527-5410
AGROINTEK
Jurnal Teknologi Industri Pertanian
journal homepage: journal.trunojoyo.ac.id/agrointek

Karakteristik sifat fisikokimia madu hutan, madu budidaya, dan madu lebah tanpa sengat di Indonesia

Devi Fatmawati[1], Dede Robiatul Adawiyah[2*], Uswatun Hasanah[2]

[1] *Agribisnis, Universitas Palangka Raya, Palangka Raya, Indonesia*
[2] *Ilmu dan Teknologi Pangan, IPB University, Bogor, Indonesia*

Article history
Diterima:
7 Februari 2024
Diperbaiki:
3 April 2025
Disetujui:
5 Mei 2025

Keyword
Apis spp.;
Honey;
Local bees;
Rheology;
Trigona spp.

ABSTRACT

Indonesia is a vast archipelago with significant biodiversity, including honey bee species that produce large amounts of honey. Therefore, understanding the chemical and physical properties of the various types of honey produced is essential for improving the utilization and diversification of the national food supply. This study used a Completely Randomized Design (CRD) method with various types of Indonesian honey, namely forest honey, cultivated honey, and stingless bee honey obtained from Kalimantan, Sumatra, and Java. It included chemical characterization (moisture content, ash, pH, total phenolics, vitamin C, total sugar) and physical characterization (color and rheology) of honey. The result showed that cultivated honey has the best chemical properties (moisture content and total sugar). Forest honey has the highest vitamin C content. Honey from the stingless bee (Heterotrigona itama) from East Java has the lowest ash content and pH. The honey of the stingless bee Tetragonula leaviceps had the highest total phenol content. The physical properties of all honey were dominantly brownish-yellow and had a non-Newtonian dilatant flow behavior. The PCA results revealed that the chemical and physical properties of the honey samples differed significantly. There was a positive correlation between the total sugar and the constant viscosity index value of the honey.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

[*] Penulis korespondensi
Email : dede_adawiyah@apps.ipb.ac.id
DOI 10.21107/agrointek.v20i1.24737

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara kepulauan dengan luas daratan yang didominasi oleh kawasan hutan sebesar 120,5 juta hektar (ADB 2009). Beragam spesies lebah terdapat di Indonesia, dua diantaranya *Apis* spp. dan *Trigona* spp. Spesies *Apis* spp. termasuk dalam famili Apidae, sedangkan spesies *Trigona* spp. dalam famili Meliponidae (Hidayat et al. 2018). Spesies-spesies lebah *Apis* spp. yang berada di wilayah Indonesia diantaranya *Apis cerana*, *Apis florea*, *Apis mellifera*, dan *Apis dorsata* (Yunita et al. 2019). Spesies *Apis dorsata* di Indonesia hanya terdapat di Pulau Sumatera, Irian Jaya, Sulawesi, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, dan Kalimantan (Lamerkabel 2011).

Lebah *Trigona* spp. di Indonesia, terdapat empat subgenus yaitu *Heterotrigona, Tetragonula, Hypotrigona,* dan *Lepidotrigona*. Jenis lebah *Trigona* spp. yang dibudidayakan di Indonesia yaitu 41 jenis di Pulau Sumatera (jenis lebah *Heterotrigona itama* dan *Geniotrigona thoracica*), 31 jenis lebah *Trigona* spp. di Pulau Kalimantan, dan 9 jenis lebah *Trigona* spp. di Pulau Jawa (jenis lebah *Tetragonula laeviceps, Heterotrigona itama,* dan *Tetragonula biroi*) (Lukman et al. 2020).

Lebah menghasilkan madu, cairan yang dihasilkan oleh lebah madu dengan tekstur cukup kental dan memiliki rasa manis. Madu merupakan cairan ekskresi serangga yang berasal dari sari bunga tanaman (Gebremariam and Brhane 2014). Madu menurut BSN (2018), terbagi menjadi tiga golongan yaitu madu hutan, madu budidaya, dan madu lebah tanpa sengat. Perbedaan ketiga golongan madu tersebut hanya berasal dari jenis lebah yang digunakan, madu hutan dihasilkan oleh lebah liar *Apis dorsata*, madu budidaya dihasilkan oleh lebah *Apis mellifera* atau *Apis cerana*, dan madu lebah tanpa sengat dihasilkan oleh lebah tanpa sengat (*Trigona*) baik liar maupun budidaya (BSN 2018).

Madu budidaya adalah madu yang dihasilkan dari lebah yang diternakkan atau dibudidayakan oleh manusia dan warna yang dihasilkan lebih terang dibandingkan dengan madu hutan dan konsistensi cairannya lebih kental (Pemayun et al. 2023). Walaupun kini madu lebah tanpa sengat telah banyak dibudidayakan, madu ini juga memiliki perbedaan lain selain dari jenis lebah yang diterapkan dan cara budidaya yang relatif mudah. Madu ini juga menunjukkan sifat kimia dan fisik yang berbeda dibandingkan dengan madu budidaya.

Produksi madu di Indonesia pada tahun 2021 menurut BPS (2021) berjumlah sebesar 2,21 ton. Sementara itu, produksi madu budidaya di Jawa Barat mencapai lebih dari 1,7 juta liter pada tahun 2016 (Sutanto and Yuliana 2021). Selain itu, produksi madu lebah tanpa sengat mencapai 200 ton per tahun (KLHK 2023). Jumlah produksi madu ini dapat dimanfaatkan sebagai pangan fungsional, agar meningkatkan diversifikasi pangan di Indonesia.

Tabel 1 Karakteristik kimia berdasarkan SNI 8664:2018

Jenis uji	Madu hutan	Madu budidaya	Madu lebah tanpa sengat
Kadar air (%b/b)	Maks 22	Maks 22	Maks 27,5
Kadar abu (%b/b)	Maks 0,5	Maks 0,5	Maks 0,5

Tabel 2 Pengambilan sampel madu

Jenis madu	Spesies lebah	Tempat	Keterangan
Madu hutan	*Apis dorsata*	Kapuas, Kalimantan Tengah Buntok, Kalimantan Tengah	Kelengkeng Bunga liar
Madu budidaya	*Apis mellifera*	Bogor, Jawa Barat	
Madu lebah tanpa sengat	*Heterotrigona itama*	Balangan, Kalimantan Selatan Pacitan, Jawa Timur	
	Tetragonula leaviceps	Kuningan, Jawa Barat	
	Geniotrigona thoracica	Lampung Barat, Lampung	

Karakteristik kimia dan fisik madu dapat dipengaruhi oleh spesies lebah madu. Tabel 1 menunjukkan beberapa karakteristik kimia madu berdasarkan SNI 8664:2018. Karakteristik fisik dari madu yang dihasilkan oleh lebah madu *Apis* spp. memiliki rasa yang manis, tekstur yang kental, dan memiliki warna coklat tua, sementara madu yang dihasilkan dari lebah *Trigona* spp. memiliki aroma yang khas, sedikit berair, memiliki rasa asam dan manis, serta berwarna coklat muda (Al-Kafaween et al. 2020). Penelitian tentang karakteristik reologi madu dari Portugis terhadap suhu menunjukkan bahwa madu Portugis bersifat Newtonian (Afonso et al. 2018). Penelitian Ubaidillah et al. (2021) tentang karakteristik reologi madu dari lebah *Apis mellifera* menunjukkan madu tersebut bersifat non-Newtonian.

Berbagai penelitian madu yang sudah ada, masih banyak yang belum diketahui tentang karakteristik kimia dan fisik dari madu hutan, madu budidaya, dan madu tanpa sengat di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik kimia madu (kadar air, kadar abu, pH, total fenol, vitamin C, dan total gula), karakteristik fisik madu (reologi dan warna), korelasi antara karakteristik kimia dengan karakteristik fisik pada madu, serta karakteristik penciri madu di Indonesia.

METODE

Bahan dan Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari penangas air, neraca analitik, peralatan gelas, desikator, buret, dan *bulb*. Instrumen yang digunakan terdiri atas *Chromameter* Konica Minolta (Jepang), Rheometer (MCR-92,M/s.Anton Paar, Austria), UV-Vis spektrofotometer (Shimadzu, Jepang), pH meter (LAQUA, Horiba Scientific), oven vakum VO-7-3 Ogawa Seiki Co.,LTD (Japan), tanur listrik Nabertherm (Germany), dan refraktometer PAL-3 ATAGO (Tokyo).

Bahan utama merupakan madu murni yang berasal dari petani lebah yang terdiri dari madu lebah tanpa sengat (madu *Heterotrigona itama* dari Pacitan (Jawa Timur) dan Balangan (Kalimantan Selatan); madu *Geniotrigona thoracica* dari Lampung Barat (Lampung); madu *Tetragonula leaviceps* dari Kuningan (Jawa Barat), madu budidaya (madu *Apis mellifera* dari Bogor (Jawa Barat)), dan madu hutan (madu *Apis dorsata* dari Kapuas dan Buntok (Kalimantan Tengah)). Bahan lainnya adalah akuades, etanol, indikator PP, larutan iodium, asam galat, Na_2CO_3,dan *Folin-Ciocalteau*.

Tahapan Penelitian

Pengambilan sampel

Sampel madu diperoleh dari petani lebah di berbagai daerah di Indonesia yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Karakterisasi Kimia

Karakterisasi kimia madu meliputi kadar air, kadar abu, pH, total fenol, vitamin C, dan total gula. Analisis kadar air dilakukan berdasarkan metode oven vakum dari AOAC (1999). Analisis kadar abu menggunakan metode pengabuan kering berdasarkan AOAC (2012). Analisis pH dilakukan menggunakan pH meter. Analisis total fenol menggunakan metode spektrofotometri (Zahra et al. 2021 termodifikasi). Analisis vitamin C menggunakan metode titrasi dari Saputri and Putri (2017). Analisis total gula dilakukan menggunakan alat refraktometer berdasarkan Adityarini et al. (2020).

Karakterisasi Fisik

Karakterisasi fisik madu meliputi analisis warna dan reologi. Analisis warna menggunakan *Chromameter Konica Minolta* (Jepang) berdasarkan Ly et al. (2020). Analisis reologi menggunakan alat Rheometer MCR-92 M/s, Anton Paar (Austria) dengan suhu konstan (25^{o}C), *shear rate* 0-100 s^{-1}, dan pengukur bentuk *cone* dan *plate*. Pengujian ini menggunakan model persamaan Herscel-Bulkley pada persamaan (1) sebagai berikut :

$$\tau = k.\dot{\gamma}^{n} + \tau 0 \quad (1)$$

Keterangan :
τ : *shear stress*
$\dot{\gamma}$: *shear strain rate*
$\tau 0$: *yield stress*
n : *flow indeks* dengan n = 1 (fluida newtonian), n>1 (fluida dilatan), 0<n<1 (fluida pseudoplastik) (Trávníček et al. 2012)

Analisis Data

Data karakteristik kimia dan fisik yang dihasilkan diolah lebih lanjut menggunakan *software* IBM SPSS 24 dengan uji *one-way ANOVA* (Analysis of Variance) serta uji lanjut DMRT (*Duncan Multi Range Test*) dengan tingkat

kepercayaan 95% (α : 0,05). Hubungan korelasi dan penciri madu dianalisis menggunakan data multivariat PCA (*Principal Component Analysis*) dengan bantuan perangkat lunak Minitab 17.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Kimia Madu

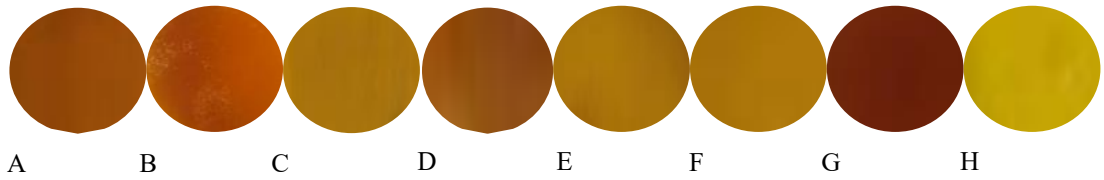
Karakteristik kimia pada madu merupakan parameter penting untuk melihat kualitas mutu suatu pangan. Hasil karakterisasi kimia berbagai sampel madu yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 3. Madu hutan dari Kapuas, Kalimantan Tengah memiliki nilai kadar air tertinggi dibandingkan madu hutan dari Buntok yaitu 22,64 ± 1,13% (b/b). Perbedaan kandungan air pada madu hutan di dua lokasi yang berbeda ini dipengaruhi oleh umur panen yang digunakan. Jenis madu budidaya memiliki nilai kadar air yang sangat rendah dibandingkan dengan jenis madu lainnya yaitu 8,66 ± 0,20 % (b/b) untuk madu yang berasal dari pohon Kelengkeng dan 9,98 ± 0,41% (b/b) berasal dari tanaman bunga liar. Hal ini diduga karena proses penanganan pada saat proses pemanenan madu yang terkontrol sehingga menghasilkan kadar air yang rendah dibandingkan madu yang lainnya. Selain itu, sumber nektar yang diperoleh dari jenis lebah yang digunakan akan mempengaruhi kadar air yang dihasilkan (Alodia et al. 2020).

Kadar air pada sampel madu tanpa sengat dengan jenis lebah *Geniotrigona thoracica* yang berasal dari Lampung Barat memiliki kandungan air yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel madu lainnya yaitu sebesar 25,18 ± 1,50 (%b/b). Hal ini bisa disebabkan karena iklim dan kelembaban lingkungan disekitarnya, dimana Indonesia memiliki kelembaban yang cukup tinggi berkisar antara 60-90% (Hilda et al. 2022), sehingga semua madu tersebut sudah memenuhi standar mutu yang ditetapkan pada SNI 8664 : 2018 tentang madu.

Tabel 3 Karakteristik kimia madu

Jenis madu	Keterangan	Parameter					
		Kadar air (%b/b)	Kadar abu (%b/b)	pH	Total fenol (mg GAE/g)	Vitamin C (%)	Total Gula (°brix)
Madu hutan	Kapuas	22,64 ± 1,13^{d}	0,47 ± 0,15^{b}	3,99 ± 0,02^{e}	1,46 ± 0,29^{e}	1,02 ± 0,35^{ab}	68,65 ± 0,45^{c}
	Buntok	20,46 ± 0,90^{c}	0,51 ± 0,47^{b}	4,01 ± 0,03^{e}	1,78 ± 0,03^{f}	1,91 ± 0,66^{d}	70,58 ± 0,31^{d}
Madu budidaya	Kelengkeng	8,66 ± 0,20^{a}	0,16 ± 0,03^{a}	4,26 ± 0,04^{f}	0,69 ± 0,02^{c}	1,76 ± 0,01^{cd}	80,63 ± 0,26^{e}
	Bunga liar	9,98 ± 0,41^{b}	0,16 ± 0,02^{a}	4,33 ± 0,02^{g}	0,87 ± 0,03^{d}	1,31 ± 0,48^{abc}	80,72 ± 0,66^{e}
Madu lebah tanpa sengat	*Heterotrigona itama* Kalimantan Selatan	23,77 ± 0,37^{e}	0,12 ± 0,01^{a}	2,90 ± 0,03^{b}	0,63 ± 0,02^{bc}	1,46 ± 0,45^{bcd}	67,58 ± 0,24^{b}
	Heterotrigona itama Jawa Timur	20,76 ± 0,22^{c}	0,07 ± 0,01^{a}	2,32 ± 0,07^{a}	0,03 ± 0,01^{a}	1,32 ± 0,48^{abc}	70,42 ± 0,19^{d}
	Tetragonula leaviceps	23,84 ± 0,38^{e}	0,68 ± 0,16^{c}	3,17 ± 0,05^{d}	2,06 ± 0,01^{g}	1,16 ± 0,45^{ab}	67,02 ± 0,11^{a}
	Geniotrigona thoracica	25,18 ± 1,50^{f}	0,17 ± 0,01^{a}	3,02 ± 0,01^{c}	0,54 ± 0,03^{b}	0,88 ± 0,01^{a}	67,43 ± 0,16^{b}

*Pada kolom yang sama, angka yang diikuti huruf kecil yang berbeda menunjukkan simple effect semua perlakuan yang berbeda nyata pada taraf signifikansi 0.05 dengan *Duncan Multiple Range Test*



Gambar 1 Warna sampel madu A) madu hutan Kapuas;B) madu hutan Buntok; C) madu budidaya kelengkeng; D) madu budidaya bunga liar; E) madu lebah tanpa sengat *Heterotrigona itama* Kalimantan Selatan; F) madu lebah tanpa sengat (*Heterotrigona itama*) Jawa Timur; G) madu lebah tanpa sengat (*Tetragonula leaviceps*); H) madu lebah tanpa sengat (*Geniotrigona thoracica*)

Tabel 4 Hasil analisis warna pada berbagai jenis madu

Jenis madu	Keterangan	L*	a*	b*	Warna dominan
Madu hutan	Kapuas	35,29 ± 2,21^{ab}	13,64 ± 0,78^{f}	34,75 ± 9,07^{bc}	Kuning kecokelatan
	Buntok	40,08 ± 4,82^{bcd}	4,29 ± 0,95^{bc}	19,18 ± 5,10^{bc}	Kuning kecokelatan
Madu budidaya	Kelengkeng	44,66 ± 4,00^{cd}	11,25±0,90^{de}	40,72 ± 11,23^{c}	Kuning kecokelatan
	Bunga liar	38,22 ± 4,54^{bc}	11,83± 2,74^{ef}	52,53 ± 1,19^{d}	Kuning kecokelatan
Madu lebah tanpa sengat	*Heterotrigona itama* Kalimantan Selatan	47,69 ± 10,24^{d}	2,81 ± 2,81^{b}	31,45±10,71^{bc}	Kuning kecokelatan
	Heterotrigona itama Jawa Timur	40,96 ± 7,46^{bcd}	5,30 ± 1,62^{c}	35,18 ± 9,28^{bc}	Kuning kecokelatan
	Tetragonula leaviceps	28,04 ±6,93^{a}	9,45 ± 2,23^{d}	21,30 ± 07,59^{a}	Kuning gelap kecokelatan
	Geniotrigona thoracica	47,78 ± 9,38^{d}	-0,30 ± 1,93^{a}	25,50 ± 6,65^{ab}	Kuning kehijauan

*Pada kolom yang sama, angka yang diikuti huruf kecil yang berbeda menunjukkan simple effect semua perlakuan yang berbeda nyata pada taraf signifikansi 0.05 dengan Duncan Multiple Range Test.

Kadar abu pada madu berkisar 0,07 - 0,68 %b/b, berdasarkan uji lanjut DMRT terdapat perbedaan yang signifikan dengan taraf kepercayaan 5% antara jenis madu yang digunakan dengan perlakuan tersebut. Madu *Tetragonula leaviceps* memiliki nilai kadar abu >0,5% yaitu 0,68 ± 0,16 (%b/b) yang belum sesuai dengan SNI 8664 tahun 2018 tentang madu. Hal ini diduga karena lebah mengambil cairan nektar atau getah tanaman yang mengandung mineral yang tinggi (Kaligis and Mokosuli 2022). Rata-rata pH madu yang dihasilkan berkisar dari pH 2-4. Nilai pH pada madu lebah tanpa sengat memiliki nilai pH yang paling rendah dibandingkan dengan pH madu hutan dan madu budidaya yaitu sekitar pH 2,32 ± 0,08 – 3,17 ± 0,06. Hal ini dapat dipengaruhi oleh jenis lebah yang digunakan yaitu lebah *Trigona* memiliki ukuran tubuh yang lebih kecil dibandingkan dengan lebah *Apis dorsata* dan *Apis mellifera*, sehingga proses eksresi nektar di dalam tubuh lebah lebih cepat dan lebih lama disimpan didalam sarang sehingga menghasilkan pH madu yang asam. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kadar pH pada madu diantaranya sumber nektar, metode pengolahan, dan pH tanah(Abera and Alemu 2023).

Hasil kandungan vitamin C yang ada pada madu hutan berkisar 1,02 ± 0,35 - 1,91 ± 0,66%. Kandungan vitamin C yang berbeda-beda dapat dipengaruhi oleh sumber nektar tanaman yang diambil oleh jenis lebah yang digunakan. Kandungan vitamin C yang ada pada madu sangat dipengaruhi oleh sumber nektar tanaman di sekitar lokasi budidaya (Abduh et al. 2023).

Kandungan total fenol dapat diukur menggunakan kurva standar asam galat dengan persamaan yaitu y=0,0501x+ 0,1653 dengan R^2

sebesar 0,9917. Madu hutan dari Kalimantan Tengah mengandung total fenol sebesar 1,46 ± 0,29-1,78 ± 0,04 mgGAE/g. Kandungan total fenol madu hutan tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan madu hutan yang berasal dari Sumbawa yaitu 0,07 - 0,39 mg GAE/g (Saputri and Putri 2017). Rata-rata kandungan total fenol pada jenis madu budidaya yaitu 0,69 ± 0,02-0,87 ± 0,03 mgGAE/g memiliki kandungan total fenol yang lebih tinggi dibandingkan dengan madu yang berasal dari Ethiopia yaitu 0,24 ± 0,4 - 0,77 ± 0,7 mgGAE/g madu (Tesfaye 2023).

Kandungan total fenol tertinggi untuk madu lebah tanpa sengat diperoleh dari lebah *Tetragonula leaviceps* yang berlokasi di Kuningan (Jawa Barat) sebesar 2,06 ± 0,01 mgGAE/g. Kandungan total fenol dari madu tersebut memiliki kandungan tertinggi dibandingkan madu lebah tanpa sengat (*Tetragonula leaviceps*) dari Sleman dan Klaten yaitu 1,69 dan 1,21 mgGAE/g (Agus et al. 2019). Perbedaan kandungan total fenol pada berbagai jenis madu yang dianalisis diduga disebabkan oleh perbedaan keadaan lingkungan sekitar sarang dan perbedaan sumber nektar bunga yang diambil oleh lebah (Hailu and Belay 2020).

Kadar total gula madu yang dihasilkan dari berbagai daerah di Indonesia sangat bervariasi berkisar 67,02 ± 02 – 80,72 ± 0,67 ^{o}brix. Hasil total gula dari ketiga kategori madu memiliki perbedaan yang diduga berasal dari sumber nektar tanaman yang digunakan. Madu budidaya yang memiliki sumber tanaman spesifik (monofloral) memiliki nilai total gula yang tinggi dibandingkan madu hutan dan madu lebah tanpa sengat yang menggunakan beragam nektar tanaman (multifloral). Faktor-faktor yang dapat memengaruhi perbedaan total gula yang dihasilkan meliputi spesies lebah, sumber nektar tanaman, serta kondisi lingkungan (Adityarini et al. 2020).

Karakteristik Fisik Madu

Warna

Warna adalah suatu parameter yang cukup penting dalam karakteristik madu. Hal ini dikarenakan warna adalah hal yang pertama yang dapat dilihat oleh konsumen untuk menjadi salah satu pertimbangan dalam proses pembelian (Hakim et al. 2021). Sistem yang dikembangkan CIELAB menjabarkan nilai L* sebagai adalah skala dengan nilai 0 (hitam) – 100 (putih), nilai a* merupakan warna merah (+) atau hijau (-), dan b* merupakan warna kuning (+) atau biru (-) (Oraščanin et al. 2023).

Madu menunjukkan intensitas warna kecerahan sekitar 28,04 ±6,93 - 47,78 ± 9,38. Seluruh sampel madu memiliki nilai L* < 50, maka madu cenderung berwarna gelap. Warna yang paling gelap ada pada madu lebah tanpa sengat jenis *Tetragonula leaviceps* sebesar 28,04 ±6,93. Hal ini selaras dengan pernyataan Saputri et al. (2023) yang menyatakan bahwa apabila nilai L* > 50, maka madu berwarna semakin terang, begitu pula sebaliknya.

Madu hutan, madu budidaya, dan madu lebah tanpa sengat selain jenis *Geniotrigona thoracica* memiliki nilai a* positif yang menentukan bahwa madu tersebut cenderung berwarna kecokelatan (Tabel 4), sedangkan madu *Geniotrigona thoracica* memiliki nilai a* negatif yang menunjukkan bahwa madu cenderung berwarna kehijauan. Seluruh sampel madu memiliki nilai b* positif sekitar 19,18 ± 5,10 - 52,53 ± 1,19 yang menunjukkan bahwa madu cenderung mengarah pada spektrum warna *yellowish*. Hasil ANOVA juga menunjukkan berbeda nyata secara signifikan pada taraf 5% pada nilai b* terhadap semua jenis madu yang digunakan.

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa rata-rata warna madu hutan berwarna cokelat yang dapat dipengaruhi oleh komposisi kimia seperti senyawa fenolik maupun kandungan mineral (kadar abu) yang tinggi dibandingkan yang lainnya. Selaras dengan pendapat Martins et al. (2023), yang menyatakan bahwa madu yang berwarna cokelat mengandung mineral yang tinggi.

Selain itu, penampakan warna cokelat terang pada madu budidaya biasanya dapat dipengaruhi oleh sumber nektar tanaman yang homogen (monofloral) seperti kelengkeng ataupun bunga liar, sedangkan madu lebah tanpa sengat yang memiliki warna yang bervariasi bisa tergantung pada sumber nektar tanamannya yang bervariasi. Perbedaan warna madu yang didapatkan dipengaruhi oleh sumber nektar tanaman yang digunakan (Alodia et al. 2020).

Reologi

Sifat fisik seperti reologi sangat penting dalam suatu proses pembuatan makanan dan bisa memengaruhi persepsi konsumen. Karakteristik fisik tersebut merupakan karakteristik dari suatu bahan yang berkaitan erat dengan perilaku aliran

yang disebabkan oleh adanya pemberian tekanan atau gaya tertentu (Ramli et al. 2022). Berdasarkan analisis reologi menggunakan rheometer Anton Paar MCR 92 menghasilkan parameter sifat aliran yang dapat dilihat pada Tabel 5.

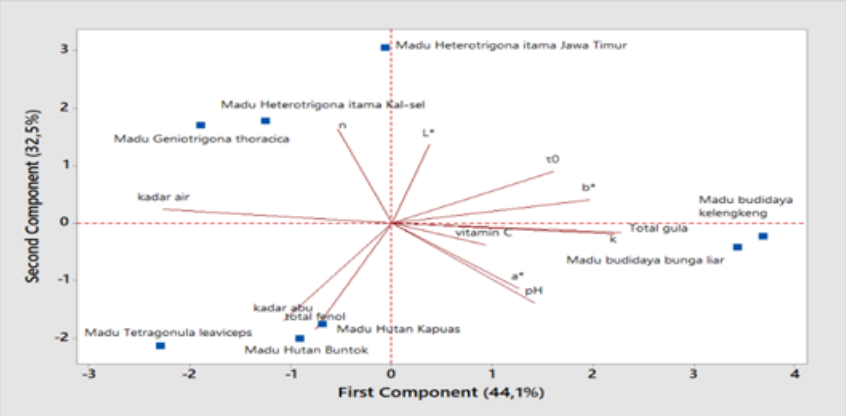
Parameter n adalah suatu nilai indeks tingkah laku aliran, K merupakan indeks konsistensi dengan satuan ($Pa.s^n$), dan nilai τ0 (*yield stress*) merupakan gaya minimum yang diperlukan untuk mengalirkan suatu bahan cair yang dimiliki oleh fluida non-Newtonian (Hariyadi *et al.* 2019). Semua sampel madu memiliki nilai τ0>0 dan nilai indeks tingkah laku aliran (n)>1, sehingga dikategorikan sebagai cairan non-Newtonian dilatan. Produk pangan seperti madu yang dikategorikan bersifat dilatan memiliki fenomena peningkatan kekentalan (*shear thickening*) dari suatu cairan seiring adanya gaya pengadukan atau tekanan (Asim et al. 2023). Nilai n semakin kecil menunjukkan bahwa cairan bersifat pseudoplastik, sedangkan semakin besar nilai n menunjukkan cairan bersifat dilatan (Tabel 5). Cairan bersifat pseudoplastik, apabila semakin besar gaya yang diberikan, maka aliran cairan semakin encer (*shear thinning*) (Hariyadi et al. 2019).

Sifat kekentalan fluida umumnya dapat dilihat dari nilai K, dimana nilai K menunjukkan tentang kekentalan cairan (Hariyadi et al. 2019). Tabel 4 menunjukkan bahwa madu budidaya kelengkeng memiliki nilai K tertinggi yaitu 6,9428 ± 0,1649. Hal ini selaras dengan penelitian Ubaidillah et al. (2021) yang menyatakan bahwa madu yang ada pada tanaman kelengkeng memiliki nilai kekentalan yang tinggi dibandingkan dengan madu lainnya.

Tabel 5 Parameter sifat aliran dalam madu

Jenis madu	Keterangan	n	k	τ0
Madu hutan	Kapuas	1,0187 ± 0,0026^{b}	0,3067 ± 0,1184^{a}	0,6472 ± 0,7935^{a}
	Buntok	0,9548 ± 0,1153^{ab}	0,6165 ± 0,3345^{a}	0,1627 ± 0,2300^{a}
Madu budidaya	Kelengkeng	1,0291 ± 0,0034^{ab}	6,9428 ± 0,1649^{c}	5,4490 ± 0,9156^{b}
	Bunga liar	1,0424 ± 0,1457^{ab}	5,1384 ± 0,3903^{b}	5,4221 ± 2,6350^{b}
Madu lebah tanpa sengat	*Heterotrigona itama* Kalimantan Selatan	1,1664 ± 0,0479^{bc}	0,1527 ± 0,0383^{a}	0,2464 ± 0,3435^{a}
	Heterotrigona itama Jawa Timur	1,2627 ± 1,1018^{c}	0,5905 ± 0,1648^{a}	8,0464 ± 2,5422^{b}
	Tetragonula leaviceps	1,0969 ± 0,0082^{ab}	0,1956 ± 0,0045^{a}	0,3228 ± 0,0989^{a}
	Geniotrigona thoracica	1,0989 ± 0,0514^{ab}	0,1926 ± 0,0348^{a}	0,3899 ± 0,2209^{a}

*Pada kolom yang sama, angka yang diikuti huruf kecil yang berbeda menunjukkan simple effect perlakuan yang berbeda nyata pada taraf signifikansi 0.05 dengan *Duncan Multiple Range Test.*



Gambar 2 Hasil ekstraksi biplot *Principal Component analysis* (PCA)

Tabel 6 Hubungan korelasi antar beberapa parameter uji

Parameter	Kadar Air	Kadar Abu	pH	Total Gula	Vitamin C	Total Fenol	a*	b*	L*	n	k	t_0
Kadar Air	1											
Kadar Abu	0,31*	1										
pH	-0,66**	0,22	1									
Total Gula	-0,98**	-0,36*	0,66**	1								
Vitamin C	-0,29*	-0,03	0,23	0,27	1							
Total Fenol	0,19	0,87**	0,41**	-0,23	0,07	1						
a*	-0,51**	0,28*	0,58**	0,49**	0,05	0,31*	1					
b*	-0,60**	-0,37**	0,28	0,62**	-0,01	-0,39**	0,56**	1				
L*	-0,03	-0,48**	-0,14	0,07	0,12	-0,51**	-0,19	0,43**	1			
n	0,03	-0,09	-0,10	-0,05	-0,09	-0,06	-0,08	-0,03	-0,02	1		
k	-0,74**	-0,25	0,49**	0,73**	0,21	-0,16	0,34*	0,42**	0,06	0,33*	1	
t_0	-0,45**	-0,39**	-0,03	0,45**	-0,05	-0,43**	0,16	0,37**	0,03	0,47**	0,61**	1

Analisis Multivariat

Berbagai jenis madu sangat disukai di kalangan konsumen, karakteristik dan sifat madu yang berbeda-beda dapat dipengaruhi oleh asal geografis yang mengacu pada lokasi sarang lebah dan kondisi lingkungan di sekitar sarangnya (Afifi et al. 2021). Analisis data multivariat digunakan untuk mendapatkan visualisasi hubungan antar karakteristik kimia dan fisik pada beberapa sampel madu. Komponen utama 1 dapat menjelaskan 44,1% dari jumlah total varian, sedangkan pada komponen 2 dapat menjelaskan 32,5% dari jumlah total varian. Plot komponen utama 1 dan 2 dapat menjelaskan 76,6% dari seluruh varian. Nilai kedua komponen utama menunjukkan visualisasi dua dimensi yang baik karena nilai komponen utama 1 dan komponen utama 2 > 70% (Maulana et al. 2022).

Hasil ekstraksi biplot PCA menunjukkan empat kelompok madu yang terbagi berdasarkan karakteristik kimia dan fisik (Gambar 2). Karakteristik fisik lebih dominan pada kelompok 1 pada madu lebah tanpa sengat (*Heterotrigona* itama) dari Jawa Timur dengan kandungan tertinggi yaitu nilai L*, b* (kuning), dan τ_0 (*yield stress*). Kelompok 2 lebih dominan pada madu budidaya dengan perlakuan tertinggi pada total gula, nilai K, vitamin C, dan a* (merah). Madu hutan Buntok, madu hutan Kapuas, dan madu *Tetragonula leaviceps* pada kelompok 3 memiliki karakteristik kimia seperti kadar abu dan total fenol yang dominan dibanding sampel madu lainnya, serta madu *Heterotrigona itama* dari Kalimantan Selatan dan madu *Geniotrigona thoracica* lebih dominan pada kelompok 4 dengan kandungan tertinggi kadar air dan nilai n.

Berdasarkan Tabel 6 Terdapat hubungan korelasi positif yang kuat antara perlakuan total gula dengan nilai indeks konstanta (K) dengan nilai kepercayaan 99% pada madu budidaya kelengkeng dan madu budidaya bunga liar, serta terdapat hubungan korelasi negatif antara perlakuan nilai L* terhadap nilai total fenol madu dan kandungan total gula terhadap kadar air dalam madu. Semakin gelap intensitas warna yang

dihasilkan semakin tinggi kandungan total fenol yang dihasilkan dan semakin banyak kandungan total gula dalam madu maka semakin kental madu tersebut dan semakin rendah kadar air yang terkandung didalamnya.

KESIMPULAN

Ketiga kategori madu yaitu madu hutan, madu budidaya, dan madu lebah tanpa sengat memiliki karakteristik kimia yang berbeda-beda, diantaranya kadar air 8,66 – 25,18 (%b/b), kadar abu 0,07 – 0,68 (%b/b), vitamin C tertinggi ada pada madu hutan dari Buntok yaitu 1,907 ± 0,66%, nilai total fenol yang tertinggi ada pada madu lebah tanpa sengat (*Tetragonula leaviceps*) sebesar 2,0636 ± 0,01 mg GAE/g, dan total gula berkisar 67,02 ± 02 – 80,72 ± 0,67 ^{o}brix. Karakteristik fisik madu yang dominan berwarna kuning kecokelatan dan memiliki sifat aliran non-Newtonian dilatan. Analisis PCA menghasilkan 4 kelompok penciri madu dari karakteristik kimia dan fisik serta terdapat hubungan korelasi positif yang kuat antara total gula dengan nilai indeks konsistensi kekentalan madu pada madu budidaya. Analisis lebih lanjut mengenai aktivitas antioksidan madu dengan metode DPPH dan FRAP sebagai penunjang pengembangan pangan fungsional berbasis madu potensial untuk dilakukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Asta Berkarya Farm sebagai penyedia madu lebah tanpa sengat sebagai sampel penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

[ADB] Asian Development Bank. 2009. The Economics of Climate Change in Southeast Asia: A Regional Review. Asian Development Bank.

[AOAC] Association of Official Analytical Chemistry. 1999. Official Method of Analysis 925.45 . Page p.2. Mercel Decker, New York (US).

[AOAC] Association of Official Analytical Chemistry. 2012. Official Methos of Analysis. Marcel Decker, New York (US).

[BPS] Badan Pusat Statistik. 2021. Statistik Produksi Kehutanan 2021. Badan Pusat Statistik. Jakarta (ID).

[BSN] Badan Standarisasi Nasional. 2018. SNI 8664:2018 tentang Madu. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta (ID).

[KLHK] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2023. Data Pemasaran Produk HHBK: Madu Hutan, Madu Budidaya, dan Madu Kelulut. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Indonesia.

Abduh, Y. M., A. Shabrina, A. R. Caman, A. E. Pratiwi, and M. Ihsani. 2023. Effects of hive sizes and mesh materials on the productivity of propolis and honey produced by Tetragonula laeviceps. IIUM Engineering Journal 2(24):34–44.

Abera, T., and T. Alemu. 2023. Physico-chemical characteristics of honey produced from northeastern Ethiopia. Heliyon 2(9):1–7.

Adityarini, D. , S. A. , Suedy, and S. Darmanti. 2020. Kualitas madu lokal berdasarkan kadar air, gula total dan keasaman dari kabupaten Magelang. Buletin Anatomi dan Fisiologi 1(5):18–24.

Afifi, H. S. , I. , Abu-alrub, and S. Masry. 2021. Discrimination of samar and talh honey produced in the gulf cooperation council (gcc) region using multivariate data analysis. Annals of Agricultural Sciences(66):31–37.

Afonso, M., M. Magalhães, L. Fernandes, M. Castro, and E. Ramalhosa. 2018. Temperature effect on rheological behavior of portuguese honeys. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences 68(3):217–222.

Agus, A., Agussalim, Nurliyani, N. Umami, and I. G. S. Budisatria. 2019. Evaluation of antioxidant activity, phenolic, flavonoid, and vitamin c content of several honey produced by the Indonesian stingless bee : Tetragonula leaviceps. Livestock Research for Rural Development 31(10):1–9.

Al-Kafaween, M. A., A. B. M. Hilmi, Jaffar N., H. A. N. Al-Jamal, M. K. Zahri, and F. I. Jibril. 2020. Antibacterial and antibiofilm activities of Malaysian trigona honey against Pseudomonas aeruginosa atcc 10145 and Streptococcus pyogenes atcc 19615. Jordan Journal of Biological Sciences 13(1):69–76.

Alodia, E. R., A. Bunyamin, and E. Mardawati. 2020. Pengaruh lokasi geografis dan vegetasi terhadap sifat fisikokimia madu dari Ciwidey dan Bogor. AgriHealth: Journal of Agri-food, Nutrition and Public Health 1(2):71–80.

Amrullah Syarif Hidayat, Hilda, and Rusli Rahim Fitri. 2018. Identifikasi lebah dan kupu polinator di hutan billa battang kota PALOPO. Jurnal Dinamika 9:1–12.

Asim, S. B. , E. , Noviani, and H. Helmi. 2023. Pemodelan aliran fluida bidang miring pada lapisan tipis. Jurnal Matematika Integrasi 19(1):125–136.

Gebremariam, T. , and G. Brhane. 2014. Determination of quality and adulteration effects of honey from adigrat and its surrounding areas. International Journal Technology Enhance Emerging English Research 2(10):71–76.

Hailu, D., and A. Belay. 2020. Melissopalynology and antioxidant properties used to differentiate Schefflera abyssinica and polyfloral honey. PLOS ONE 15(10):e0240868.

Hakim, S. S. , Siswadi, R. S. , Wahyuningtyas, B. , Rahmanto, W. , Halwany, and F. Lestari. 2021. Sifat fisikokimia dan kandungan mikronutrien pada madu kalulut (Heterotrigona itama) dengan warna berbeda. Jurnal Penelitian Hasil Hutan 39(1):1–12.

Hariyadi, P. , E. H. , Purnomo, and F. Kusnandar. 2019. Aliran dan Transportasi Fluida. Di dalam: Haryadi P, editor. Landasan Teknik Pangan. IPB Press, Bogor.

Hilda, A. K. W. , D. , Ratnasari, and S. N. Khotimah. 2022. Kualitas madu lebah Apis dorsata desa Semalah kabupaten Kapuas Hulu Kalimantan Barat. BioWallacea : Jurnal Penelitian Biologi (Journal of Biological Research) 9(2):81–90.

Kaligis, M. I. G., and Y. S. Mokosuli. 2022. Characteristics and Flavonoid Content of Honey Apis dorsata Binghami from The Manembo Forest of South Minahasa. Jurnal Biologi Tropis 22(4):1420–1430.

Lamerkabel, J. S. A. 2011. Mengenal jenis-jenis lebah madu, produk-produk dan cara budidaya. Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi 9(1):70–78.

Lukman, G. , Hardiansyah, and S. Siahaan. 2020. Potensi jenis lebah madu kalulut (Trigona spp) untuk meningkatkan ekonomi masyarakat desa Galang kecamatan Sungai Pinyuh kabupaten Mempawah. Jurnal Hutan Lestari 8(4):792–801.

Ly, B. C. K. , E. B. , Dyer, J. L. , Feig, A. L. , Chien, and S. Del Bino. 2020. Research techniques made simple: cutaneous colorimetry: a reliable technique for objective skin color measurement. Journal Invest Dermatology 14(1):3–121.

Martins, M. , E. , Pereira, J. S. , Amaral, and M. B. P. P. Oliveira. 2023. Mineral content as an indicator of botanical origin in honey: A chemometric approach. Food Chemistry.

Maulana, A. , A. , Muhammad, A. , Umar, F. R. , Mahendra, M. , Mustofa, and W. Nurcholis. 2022. Profiling metabolites through chemometric analysis in orthosiphon aristatus extracts as α-glucosidase inhibitory activity and in silico molecular docking. Indonesian Journal of Chemistry 22(2):501–514.

Oraščanin, M., M. Bektašević, E. Šertović, Z. Sarić, and V. Alibabić. 2023. Color,total phenols and antioxidant activity of honey from northwestern bosnia and herzegovina. Technologica acta 16(1):15–21.

Pemayun, C. I. D. L. , I. G. D. , Ambarawati, I. G. A. S. , Pradnyani, and P. L. Sudirman. 2023. Perbandingan efektivitas madu budidaya (Apis cerana) dan madu hutan (Apis dorsata) terhadap re-epitelisasi penyembuhan ulkus traumatikus pada mukosa mulut tikus wistar (Rattus norvegicus). . Bali Dental Journal 7(2):91–98.

Ramli, H., N. F. A. Zainal, M. Hess, and C. H. Chan. 2022. Basic principle and good practices of rheology for polymers for teachers and beginners. Chemistry Teacher International 4(4):307–326.

Saputri, D. S., and Y. E. Putri. 2017. Aktivitas antioksidan madu hutan di beberapa kecamatan di kabupaten SUMBAWA BESAR. Jurnal TAMBORA 2(3):1–6.

Saputri, N. A., M. T. Pathiassana, N. Gaibi, Lestian, Nuriman, A. D. Septiani, and R. T. Pathiussina. 2023. Analisis pengaruh suhu terhadap warna, densitas, dan viskositas madu hutan lebah Apis dorsata dari kecamatan LUNYUK-SUMBAWA. Jurnal Pengolahan Pangan 8(1):1–8.

Sutanto, R. , and E. Yuliana. 2021. Potensi Budidaya Lebah Madu (Apis mellifera) sebagai Alternatif Usaha Peternakan Rakyat. Jurnal Agribisnis Peternakan 6(1):22–29.

Tesfaye, O. 2023. Evaluating the Antioxidant Properties of Unifloral Honey (Apis mellifera L.) from Ethiopia. International Journal of Food Science 2023:1–9.

Trávníček, P., T. Vítěz, and A. Přidal. 2012. Rheological properties of honey. Scientia Agriculturae Bohemica 43(4):160–165.

Ubaidillah, B. W. Lenggana, H. Sukanto, S. A. Mazlan, K. C. Nugroho, and H. W. Nugroho. 2021. Rheological properties of Indonesia honeys. Pages 26–34 AIP Conference Proceedings. AIP Conference Proceedings, Yogyakarta, Indonesia.

Yunita, Pordamantra, and A. P. Berkat. 2019. Strategi pengembangan budidaya lebah madu di kelurahan kalampangan kecamatan sabangau kota palangka raya honey cultivation development strategy in kalampangan village Sabangau subdistrict palangka raya city. Journal Socio Economics Agricultural 14(1):62–71.

Zahra, N. N., H. Muliasari, Y. Andayani, and I. M. Sudarma. 2021. Karakteristik fisikokimia ekstrak madu dan propolis trigona sp. asal LOMBOK UTARA. Jurnal Agrotek Ummat 6(1):74–82.