

HUBUNGAN ANTARA TITIK DIDIH DENGAN PERSENTASE MASSA DARI BEBERAPA LARUTAN MADU ALAMI DAN MADU KOMERSIAL

(The Relationship between Boiling Point and Mass Percentage of Some Natural and Commercial Honey Solutions)

Dede Suhendar,^{1*} Afifah Tasdiq,¹ Asep Supriadin¹, & Yusuf Rohmatulloh¹

¹UIN Sunan Gunung Djati, Jl.A.H. Nasution No.105 Cibiru, Bandung 40614

Telp. (022)7800525, Faks. (022)7803936

Email: dede.suhendar@uinsgd.ac.id

Diterima 28 Agustus 2022, 25 Oktober 2022, disetujui 31 Oktober 2022

ABSTRACT

The traditional society's need for natural honey cannot easily be met with the many alternatives to commercial honey today, but the consistency of traditional methods in determining the authenticity of natural honey has not been scientifically confirmed. This simple research aims to study the relationship between the boiling point and mass percentage of some dilute natural honey based on the basic idea of the colligative properties of the solution and its comparison with some commercial honey samples. Each honey sample (six samples of natural honey and six samples of commercial honey) was diluted with distilled water in various weight percentages of 2.5–15.0% (w/w), then the boiling points were determined in ambient temperature and pressure. By using polynomial regression of degree 3, it was found that all-natural honey solutions had a pattern of increasing boiling point with increasing weight percentage, with different curvature patterns approaching linear (R3Lin), logarithmic (R3Log), exponential (R3Exp), and sigmoid (R3Sig) like patterns. The results of the comparison with six commercial honey solutions, there are only two samples that have an increasing regularity pattern, the rest are like fluctuates and/or has no relationship. Based on these results, the natural honey solution still has a close consistency with the colligative properties of the concentrated solutions so that it can be recommended as a new method in determining the authenticity of honey that has not undergone further processing, remains simple, easy, and inexpensive for testing.

Keywords: Natural honey, commercial honey, honey authenticity, colligative properties, boiling point

ABSTRAK

Kebutuhan masyarakat akan madu alami tidak dengan mudah dapat terpenuhi dengan banyaknya alternatif madu komersial saat ini, namun konsistensi metode tradisional dalam menentukan keaslian madu alami belum terbukti secara ilmiah. Penelitian sederhana ini bertujuan untuk mempelajari hubungan antara titik didih dan persentase massa larutan madu alami berdasarkan ide dasar sifat koligatif larutan dan perbandingannya dengan beberapa sampel madu komersial. Masing-masing sampel madu (enam sampel madu alami dan enam sampel madu komersial) diencerkan dengan akuades dalam variasi konsentrasi 2,5–15,0% (b/b), kemudian ditentukan titik didihnya. Dengan menggunakan regresi polinomial derajat 3, didapatkan bahwa semua larutan madu alami memiliki pola kenaikan titik didih seiring dengan kenaikan persentase berat madu dalam larutannya, dengan perbedaan pola kelengkungan yang mendekati pola linier (R3Lin), logaritmik (R3Log), eksponensial (R3Exp), atau sigmoid (R3Sig). Hasil perbandingannya dengan enam larutan madu komersial, terdapat hanya dua sampel yang memiliki keteraturan pola naik, sisanya fluktuatif dan/atau tak memiliki hubungan apapun. Berdasarkan hasil tersebut, larutan madu alami masih memiliki kedekatan konsistensi dengan sifat koligatif yang berlaku pada larutan-larutan berkonsentrasi tinggi sehingga dapat direkomendasikan sebagai metode baru dalam penentuan keaslian madu yang belum mengalami pengolahan lebih lanjut, tetap sederhana, mudah, dan murah untuk pengujian.

Kata kunci: Madu alami, madu komersial, keaslian madu, sifat koligatif, titik didih

I. PENDAHULUAN

Madu telah lama digunakan dalam peradaban manusia sejak ribuan tahun yang lalu, yakni untuk menjaga kesehatan, mengobati penyakit, atau hanya

sebagai sumber nutrisi (Samarghandian et al., 2017) Karena peranan penting madu dan nilai ekonominya, maka memicu adanya madu palsu dengan menggunakan pemanis yang lebih murah (Se et al.,

2019). Tidak heran jika metode penentuan keaslian madu secara tradisional, khususnya di Indonesia, sudah berkembang di masyarakat berdasarkan pengalaman turun-temurun (Mardatila, 2020). Setelah ditemukan metode-metode analisis dengan cara kimia ataupun instrumentasi elektronik, keaslian madu dapat dipelajari lebih baik lagi.

Salah satu karakteristik madu alami yang paling banyak diuji adalah karakteristik fisikokimianya, baik madu yang berasal dari Indonesia (Adalina et al., 2020; Chayati, 2008; Evahelda et al., 2017; Karimah et al., 2020; Radam et al., 2016; Rahayu et al., 2021) maupun kawasan lainnya (Abdulkhalik & Swaileh, 2017; Al-Farsi et al., 2018; Aljohar et al., 2018; Azonwade et al., 2018; Belay et al., 2013; Chirsanova et al., 2021; El Sohaimy et al., 2015; Mesele, 2021; Seraglio et al., 2019; Tariq et al., 2022), sedikit di antaranya memakai cara fisika (Costa et al., 2013; Prayitno et al., 2021). Beberapa karakterisasi fisika menawarkan biaya yang lebih murah daripada cara-cara fisikokimia dalam menentukan keaslian madu karena sedikit atau bahkan tidak melibatkan bahan-bahan kimia. Beberapa studi karakterisasi fisika yang telah dilakukan di antaranya konduktivitas listrik (Belay et al., 2013; Kukurová et al., 2008), spektroskopi inframerah (Naila et al., 2018; Prayitno et al., 2021), densitas, viskositas, tegangan permukaan, dan laju gelombang ultrasonik (Oroian, 2013), warna (Ardiansyah et al., 2019; Riswahyuli et al., 2020), reologi (Costa et al., 2013; Oroian et al., 2018), dan termal (Costa et al., 2013).

Masalah keaslian dan pemalsuan madu bukan merupakan hal mudah didefinisikan. Tidak ada standar yang khusus mengenai ciri khas madu alami, hanya dapat melakukan pendekatan dengan membandingkan pola sifat-sifat kimia, fisik, dan kuantitasnya, seperti rasio kandungan fruktosa terhadap glukosa, rentang kadar air, dan antioksidannya (Kukurová et al., 2008; Riswahyuli et al., 2020). Dari sekian banyak penelitian madu berdasarkan karakteristik fisiko-kimianya, masih sedikit penelitian yang secara eksplisit diterapkan langsung untuk menunjukkan kemungkinan pemalsuan beberapa produk madu komersial (Aljohar et al., 2018; Julika et al., 2019; Kukurová et al., 2008; Silitonga, 2011).

Penelitian-penelitian rekayasa kandungan madupun tak terhindarkan, walaupun hanya untuk memperbaiki tampilan supaya tidak terkesan sebagai madu palsu, seperti mencegah kristalisasi karena rasio glukosa:air yang cukup tinggi (Amariei et al., 2020). Terdapat bukti juga bahwa komposisi madu tak terlalu dipengaruhi oleh musim hujan maupun kemarau (Azonwade et al., 2018), namun terpengaruh

kandungan antioksidannya oleh ragam floranya (Hailu & Belay, 2020). Selain itu, untuk tujuan komersial, produsen madu dapat menambahkan gula industri, bahan-bahan kimia, dan air, secara langsung atau tidak.

Salah satu sifat medis dari madu yang populer adalah antibakteri (Almasaudi, 2021; Olaitan et al., 2007). Keaktifan madu sebagai antibakteri dapat berasal dari kandungan peroksida atau tekanan osmosis (Mandal & Mandal, 2011). Madu memiliki tekanan osmosis yang lebih besar daripada cairan yang ada dalam sel bakteri sehingga air dari sel bakteri akan keluar dan selnya menjadi rusak karena penyusutan volumenya. Adapun tekanan osmosis dalam ilmu kimia termasuk dalam kajian sifat koligatif sehingga kajian madu mesti sejalan pula dengan sifat-sifat koligatif lainnya, seperti salah satunya sifat kenaikan titik didih.

Sifat koligatif titik didih bukan hanya sifat kimia, namun juga sifat fisika. Sifat kimianya berkaitan dengan kuantitas zat terlarut, termasuk ion-ion dan molekul-molekul, sementara sifat fisiknya adalah titik didih. Penentuan madu secara fisika menawarkan metode yang lebih murah karena cenderung tidak memerlukan bahan-bahan kimia, seperti viskositas, yang dikaitkan dengan kandungan airnya (Costa et al., 2013; Esmaili et al., 2013). Dengan demikian, analisis sifat koligatif kenaikan titik didih larutan madu diharapkan dapat menjawab permasalahan analisis keaslian madu alami yang selama ini tak mudah dijangkau oleh kalangan awam, baik biaya maupun metode, namun tetap merepresentasikan sifat fisika-kimianya.

Dalam penelitian ini akan diturunkan hubungan rasional sifat koligatif perubahan titik didih terhadap molalitas menjadi perubahan titik didih terhadap persentase madu dalam larutannya, kemudian diujikan terhadap 6 sampel madu alami yang diencerkan dengan air. Karena madu komersial telah mengalami perlakuan-perlakuan tertentu untuk memenuhi tujuan komersial, maka diprediksi akan terjadi perbedaan pola perubahan hubungan antara titik didih dengan persentase larutan madu dari sampel madu yang diencerkan. Dengan demikian, tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari hubungan titik didih terhadap persentase madu yang diencerkan pada madu alami dan membandingkan perbedaan polanya terhadap madu komersial. Adapun penentuan titik didih hanya dilakukan secara sederhana di udara terbuka tanpa kontrol secara khusus, baik suhu, tekanan, dan laju pemanasan, dengan maksud agar mudah diterapkan oleh masyarakat luas.

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan terdiri atas enam sampel madu alami, enam sampel madu komersial, dan akuades. Adapun peralatan yang digunakan terdiri atas *hot plate*, termometer digital (ketelitian 0,1°C), peralatan gelas, piknometer, pipet tetes, dan neraca analitik.

Semua sampel madu alami diambil langsung dari lokasi budidaya lebah madu, Kelompok Tani Hutan (KTH) Banyu Metu, Pangandaran, Jawa Barat, pada Juni 2021. Sampel-sampel madu alami tersebut terdiri atas madu-madu yang berasal dari lebah Apis dorsata (MAD), Apis mellifera (MAM), Trigona biro (MTB), Trigona itama (MTI), Trigona lepiset (MTL), dan madu hitam pahit (MHP). Adapun sampel madu komersial diperoleh dari beberapa mini market yang berada di Kabupaten Garut, Jawa Barat, dan diberi kode MK1, MK2, MK3, MK4, MK5, dan MK6.

B. Prosedur Eksperimen

Semua sampel madu diencerkan dengan akuades dalam variasi konsentrasi 2,5, 5,0, 7,5, 10,0, 12,5, dan 15,0 %(b/b). Larutan-larutan madu tersebut dibuat dengan cara madu dipipet seberat 6,25, 12,5, ..., dan 37,5 g dalam gelas kimia 250 mL terpisah, kemudian diencerkan dengan akuades untuk mendapatkan total berat masing-masing 250 g. Masing-masing sebanyak 200 mL larutan madu dipanaskan di atas *hot plate* sampai mendidih dan diukur suhu titik didihnya. Prosedur pemanasan sampai mendidih dilakukan tiga kali untuk masing-masing sampel larutan madu kemudian dirata-ratakan. Gagasan pembuatan variasi larutan madu ini berasal dari variasi konsentrasi jus buah-buahan dari Crapiste & Lozano (1988) dan Chen dkk. (1990) dan ekstrak kopi dari Khomyakov dkk. (2020) dan pengaruhnya terhadap penurunan/kenaikan titik didihnya.

Berat jenis masing-masing larutan ditentukan dengan menggunakan piknometer 10 mL. Larutan madu dimasukkan ke dalam piknometer yang telah diketahui beratnya, lalu ditimbang. Berat jenis madu dihitung melalui berat larutan madu dibagi 10 mL, kemudian dikonversi dalam satuan g·cm⁻³. Prosedur diulang sebanyak tiga kali untuk masing-masing larutan, kemudian masing-masing berat jenisnya dirata-ratakan.

C. Gagasan Rumusan Sifat Koligatif Kenaikan Titik Didih untuk Dapat Diterapkan untuk Madu

Gagasan penelitian ini didasari dari rumusan sifat koligatif larutan yang sampai saat ini seringkali hanya digunakan untuk zat terlarut tunggal. Rumusan ini

akan diturunkan selanjutnya untuk sistem multi zat terlarut seperti pada larutan madu. Sifat koligatif yang paling mudah diterapkan eksperimennya adalah kenaikan titik didih (ΔT_b , °C) dengan rumus dasar sebagai berikut,

$$\Delta T_b = K_b \cdot m \cdot i \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan: K_b = tetapan kenaikan titik didih molal pelarut (°C·m⁻¹); m = konsentrasi zat terlarut (molal); dan i = faktor van't Hoff.

Sifat koligatif larutan seperti yang dirumuskan pada Pers. (1) memiliki arti terdapat hubungan yang linear antara ΔT_b terhadap m . Namun demikian, persamaan tersebut berlaku dalam larutan-larutan yang encer dengan konsentrasi zat terlarutnya $\leq 0,2$ M (Chang & Overby, 2008). Secara praktik, persamaan tersebut tidak bermanfaat jika diterapkan untuk sistem larutan multi-zat terlarut yang beragam sifat senyawa maupun komposisinya, baik sebagai campuran sesama ionik, sesama kovalen, ataupun campuran keduanya.

Jika kita menggunakan persamaan (1) untuk larutan non elektrolit, i bernilai 1 sehingga tidak perlu dicantumkan dalam persamaan. Selanjutnya, kami menguraikan konsentrasi molal pada Pers. (1) sampai menjadi konsentrasi dalam satuan %(b/b) dalam pelarut air dimulai perersamaan sebagai berikut,

$$\Delta T_b = K_b \cdot \frac{n_{solt}}{m_{air}} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan: n_{solt} = mol zat terlarut dan m_{air} = massa air (kg).

Karena mol merupakan massa zat (g) per massa relatif molekulnya (M_r), n_{solt} dapat disubstitusi dan menghasilkan persamaan berikut,

$$\Delta T_b = K_b \cdot \frac{m_{solt}/M_{r_{solt}}}{m_{air}} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan (*Remark*): m_{solt} = massa zat terlarut dan $M_{r_{solt}}$ = massa molekul relatif zat terlarut.

Jika Pers. (3) diterapkan hanya pada larutan yang sama namun dengan konsentrasi yang berbeda, maka $M_{r_{solt}}$ akan menjadi bagian dari konstanta. Kemudian, jika massa air dijadikan dalam satuan gram, maka kelipatan 1000-nya menjadi bagian dari tetapan juga. Dengan demikian, jika kita menggunakan larutan yang sama dalam konsentrasi yang berbeda akan berlaku,

$$\Delta T_b = \frac{K_b}{1000 \cdot M_{r_{solt}}} \cdot \frac{m_{solt}}{m_{air}} \dots\dots\dots (4)$$

m_{solt}/m_{air} perlu diganti dengan konsentrasi yang lebih banyak digunakan dan mudah dipahami sehari-hari, yakni dengan konsentrasi larutan dalam %(b/b). Kita dapat membuat regresi linear hubungan m_{solt}/m_{air} terhadap konsentrasi larutan (C_{solt}) 2,5, 5,0, 7,5, 10,0,

12,5, dan 15,0%(b/b) dan menghasilkan hubungan sebagai berikut (dengan $R^2 = 0,9988$),

$$\frac{m_{solt}}{m_{air}} = 1,1392 \cdot C_{solt} \dots\dots\dots (5)$$

Selanjutnya kemiringan (*slope*) regresi dari Pers. (5) dapat dimasukkan juga ke dalam Pers. (4), sehingga diperoleh hubungan kenaikan titik didih terhadap konsentrasi,

$$\Delta T_b = \frac{1,1392 \cdot K_b}{1000 \cdot Mr_{solt}} \cdot C_{solt}$$

$$\Delta T_b = \left(1,134 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{K_b}{Mr_{solt}} \right) \cdot C_{solt} \dots\dots\dots (6)$$

Jika gabungan semua komponen yang menjadi bagian konstanta pada Pers. (6) dijadikan konstanta baru, kita dapat memperoleh hubungan linear antara kenaikan titik didih terhadap persentase berat dalam larutan dengan zat terlarut tunggal sebagai berikut,

$$\Delta T_b = K \cdot C_{solt} \dots\dots\dots (7)$$

Dengan K sebagai konstanta baru khusus untuk kenaikan titik didih dari larutan zat yang sama namun berbeda kepekatannya.

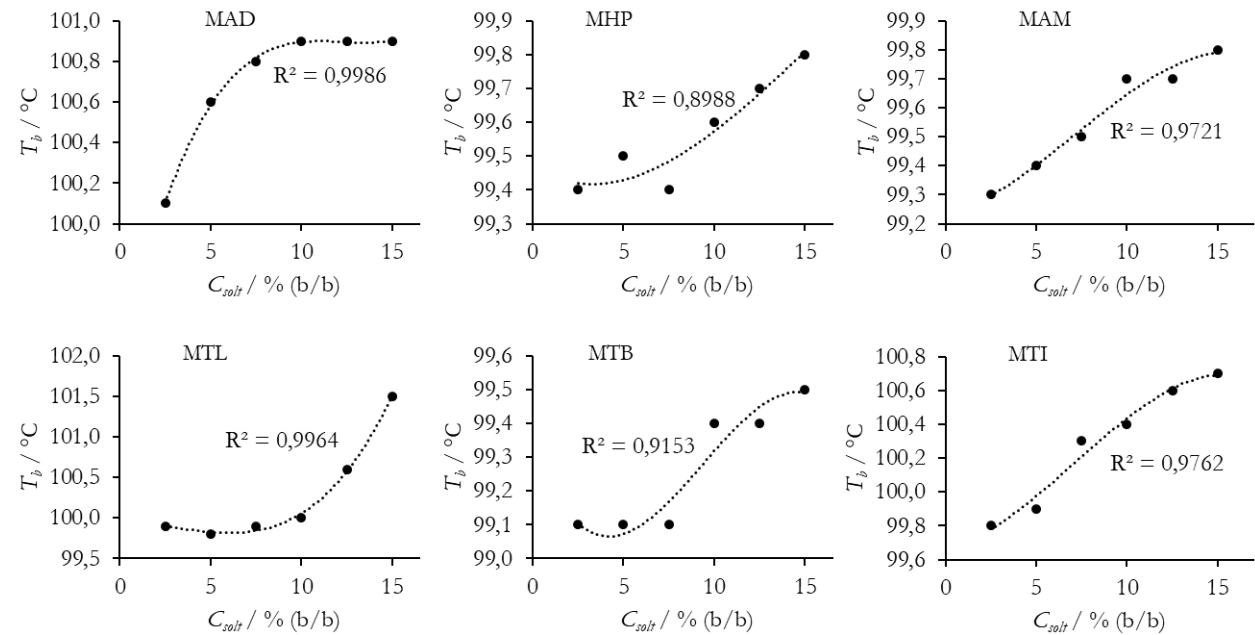
Dalam penelitian ini, Pers. (7) akan dimanfaatkan untuk mencari hubungan antara kenaikan titik didih

dengan pengenceran dari larutan madu alami yang belum mengalami pengolahan lebih lanjut seperti halnya madu komersial, kemudian hasilnya akan dibandingkan dengan sampel-sampel madu komersial.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hubungan Titik Didih Madu terhadap Persentase Hasil Pelarutan dengan Air

Madu merupakan larutan super jenuh karena tingginya kadar monosakarida yang terlarut yang menyisakan air sangat sedikit (Amarieci et al., 2020). Dengan menggunakan Pers. (7) sebagai dasar adanya sifat koligatif kenaikan titik didih, titik didih larutan madu alami diprediksi akan naik seiring dengan naiknya konsentrasi. Karena penggunaan titik didih (T_b) lebih mudah pemakaiannya daripada kenaikan titik didih (ΔT_b), sementara kenaikan titik didih akan sebanding dengan titik didih, kami menggunakan hubungan T_b ($^{\circ}\text{C}$) terhadap persentase berat madu terlarut, C_{solt} (%(b/b)) pada larutan madu alami yang menghasilkan pola-pola kurva regresi seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan antara titik didih, T_b ($^{\circ}\text{C}$), dengan konsentrasi, C_{solt} (%(b/b)), melalui regresi polinomial berderajat 3 dari sampel-sampel madu alami Apis dorsata (MAD), hitam pahit (MHP), Apis mellifera (MAM), Trigona lepiset (MTL), Trigona biroi (MTB), dan Trigona itama (MTI).

Figure 1. The relationship between boiling point, T_b ($^{\circ}\text{C}$), and concentration, C_{solt} (%(w/w)), through polynomial regression with degree 3 of natural honey samples Apis dorsata (MAD), bitter black (MHP), Apis mellifera (MAM), Trigona lepiset (MTL), Trigona biroi (MTB), and Trigona itama (MTI).

Berdasarkan kurva-kurva yang ditampilkan pada Gambar 1, larutan madu alami memiliki hubungan T_b terhadap C_{solt} (2,5–15,0 %(b/b)) melalui regresi terbaik berupa polinom berderajat 3 yang juga mirip dengan pola logaritmik (MAD), eksponensial (MTL), dan sigmoid atau linear (MHP, MTB, MAM, dan MTT). Secara umum pola regresi kesebandingan tersebut, yakni kenaikan T_b seiring dengan kenaikan C_{solt} , tak nampak pada sampel-sampel madu komersial, kecuali sampel MK1 dan relatif pada MK2, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Dari perbandingan pola-pola yang ada, sampel-sampel madu alami cukup konsisten dengan sifat koligatif, yakni kenaikan titik didih relatif sebanding dengan kuantitas molekul kandungan madu yang terlarut, kontras dengan sebagian besar sampel-sampel madu komersial. Berbeda dengan sampel-sampel madu alami, sampel-sampel larutan madu komersial memiliki hubungan yang fluktuatif (MK4, MK5, dan MK6) atau memiliki korelasi rendah (MK3 dan MK6).

B. Hubungan Berat Jenis dengan Persentase Madu Terlarut

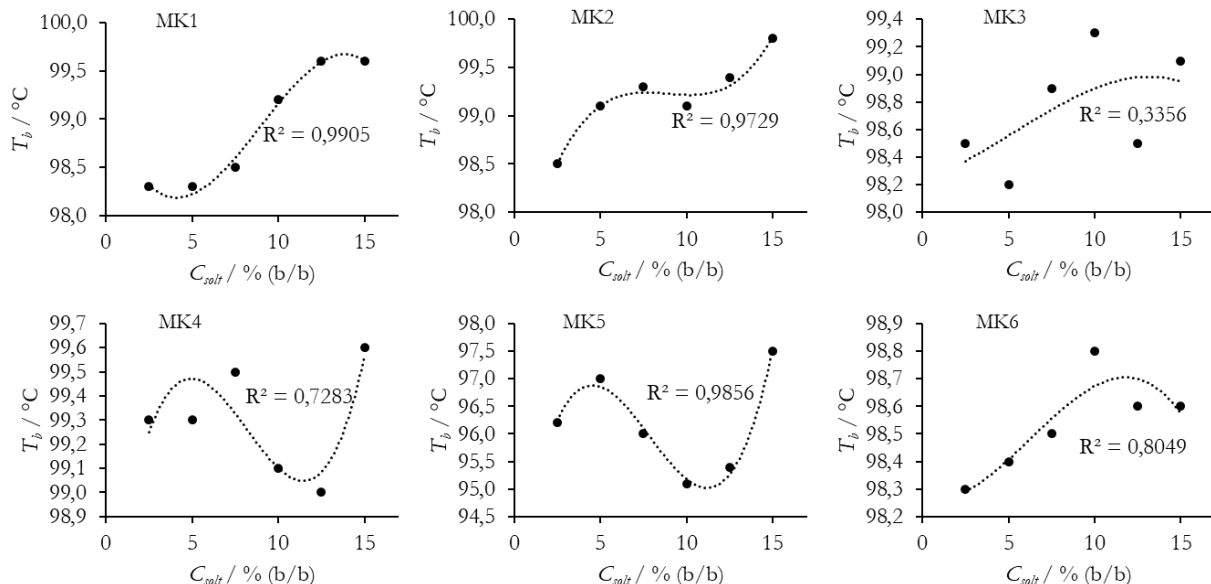
Memperoleh data variasi konsentrasi C_{solt} mudah dilakukan, hanya menimbang sampel madu kemudian ditambah air sambil ditimbang dalam wadah yang sama sampai memperoleh berat totalnya mencapai nilai %(b/b) yang diinginkan. Adapun jika terdapat

wadah yang dapat difungsikan sebagai piknometer untuk memperoleh data berat jenis larutan madu, maka data tersebut dapat digunakan pula untuk mengganti data konsentrasi %(b/b). Penggunaan berat jenis, ρ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$), dari variasi pengenceran suatu sampel madu tidak akan mengubah pola-pola hubungan yang ada seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1 dan 2 karena konsentrasi C_{solt} memiliki hubungan yang linear dengan berat jenis ρ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Korelasi linear antara ρ dengan C_{solt} pada madu terjadi karena rentang konsentrasi yang dipakai masih cukup sempit yang sejalan dengan literatur (Oroian, 2013). Jika melibatkan rentang konsentrasi yang lebih lebar, korelasinya mungkin bukan linear lagi. Kecenderungan regresi tak linear pada kasus-kasus yang melibatkan rentang konsentrasi yang lebar terjadi seperti pada kasus larutan tunggal garam-garam klorida yang membentuk kurva melengkung membentuk regresi persamaan kuadrat (polinom berderajat 2) (Nguyen et al., 2016).

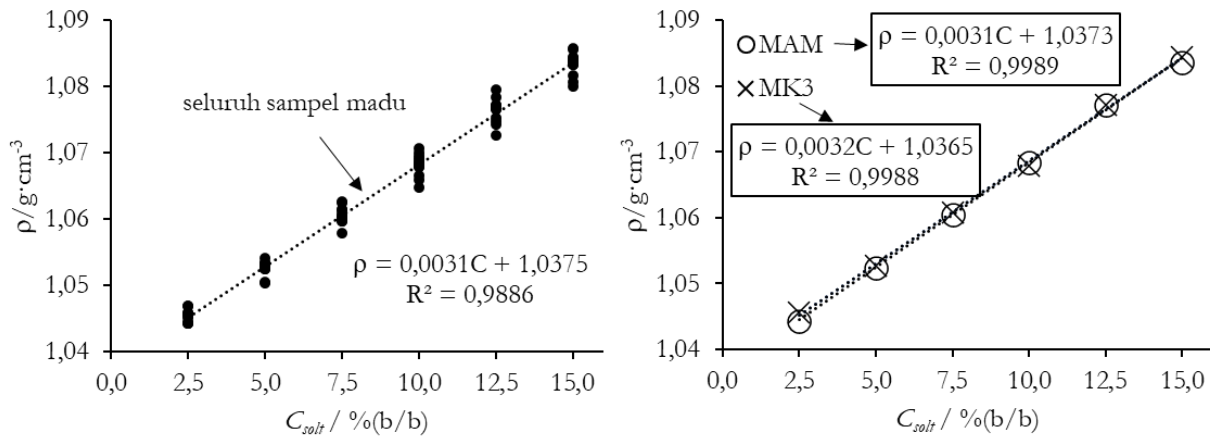
C. Analisis Sifat Koligatif pada Larutan Madu

Walaupun mekanisme larutan madu sebagai antibakteri adalah tekanan osmosis, namun tak dapat secara langsung dihubungkan dengan sifat koligatif kenaikan titik didih seperti pada Pers. (1). Sifat koligatif kenaikan titik didih pada persamaan tersebut masih terbatas berlakunya, yakni hanya pada zat terlarut tunggal dengan konsentrasi yang sangat encer,



Gambar 2. Hubungan antara titik didih, T_b (°C), terhadap konsentrasi, C_{solt} (%(b/b)) melalui regresi polinom berderajat 3 dari sampel-sampel madu komersial (MK1 sampai MK6)

Figure 2. The relationship between boiling point, T_b (°C), and concentration, C_{solt} (%(w/w)) through polynomial regression with degree 3 of commercial honey samples (MK1 to MK6)



Gambar 3. Hubungan berat jenis larutan madu terhadap konsentrasinya (% (b/b)) dari seluruh sampel madu (gambar kiri) dan dua contoh sampel yang secara berturut-turut mewakili madu alami (MAM) dan komersial (MK3) (gambar kanan)

Figure 3. The relationship of the specific gravity of the honey solution to its concentration (% (w/w)) of all honey samples (left image) and two samples representing natural (MAM) and commercial (MK3) honey, respectively (right image)

< 0,2 M (Chang & Overby, 2008). Persamaan sifat koligatif semestinya menghasilkan kurva yang linear, sementara pada rentang pengenceran madu dari 2,5–15,0 % (b/b) dalam penelitian ini tidak terdapat fakta tersebut. Jika kita mempertimbangkan sifat koligatif madu didominasi oleh kandungan glukosa, fruktosa, sukrosa, dan air, serta mengabaikan kandungan runutan zat-zat lain, maka persamaan sifat koligatif pada Pers. (1) dalam penelitian ini hanya berlaku sampai kira-kira pada C_{solt} 5,0% (0,205 M). Perkiraan ini dapat dilihat pada tabulasi perhitungan konversi persentase berat menjadi molar seperti yang disajikan pada Tabel 1, dengan mengambil data berat jenis dan kandungan gula dari sampel madu dari lebah Apis mellifera yang ada dalam literatur.

Berdasarkan Gambar 1 dan 2, terdapat perbedaan yang cukup mencolok dalam hubungan titik didih dengan kepekatan larutan antara madu alami dengan madu komersial. Pada madu alami cenderung mengalami kenaikan titik didih seiring dengan makin pekatnya larutan madu, sementara pada madu komersial gejala tersebut hanya terdapat pada sampel MK1 dan MK2, sisanya fluktuatif (MK4, MK5, dan MK6) atau memiliki koefisien korelasi sangat rendah (MK3).

Bagaimanapun juga, sejauh penelusuran literatur yang kami lakukan, pola sifat koligatif kenaikan titik didih dalam larutan madu belum pernah dilakukan.

Beberapa contoh hasil penelitian yang sejalan dengan gejala larutan madu alami tersebut adalah seperti yang terjadi pada jus buah-buahan dalam penurunan titik beku (Crapiste & Lozano, 1988) dan kenaikan titik didihnya (Chen et al., 1990), kenaikan titik didih ekstrak kopi (Khomyakov et al., 2020), dan ekstrak daging (Polachini et al., 2017). Kenaikan titik didih pada jus buah cenderung mengikuti regresi polinomial berderajat 3 (Chen et al., 1990), sementara pada ekstrak daging mengikuti regresi eksponensial (Polachini et al., 2017), paling mirip dengan sampel MTL pada penelitian ini.

Fenomena kenaikan titik didih madu seiring dengan kenaikan kepekatan larutannya perlu dibuatkan persamaannya. Merujuk pada hasil penelitian titik didih larutan dekstroza yang berlaku hubungan regresi polinomial berderajat 3 (Torgesen et al., 1950) dan pada ekstrak kopi berderajat 2 (Khomyakov et al., 2020), maka berdasarkan hasil penelitian ini pada larutan madu alami berlaku hubungan polinomial berderajat 3 sebagai berikut:

$$T_b = \alpha + \beta C_{solt} + \gamma C_{solt}^2 + \delta C_{solt}^3 \dots\dots\dots (7)$$

Pers. (7) merupakan persamaan dari Torgesen dkk. (1950), dengan α , β , γ , dan δ sebagai konstanta-konstanta hasil regresi. Dalam penelitian ini, nilai-nilai konstanta tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Perhitungan konversi konsentrasi dari % (b/b) ke molaritas gabungan kandungan gula pada madu alami

Table 1. Calculation of concentration conversion from % (w/w) to the combined molarity of sugar content in natural honey*

Kandungan (Contents)	Larutan madu 100 g dengan variasi kandungan madu dalam pelarut air (% b/b) (100 g honey solution with variation of honey content in water solvent, % w/w)					
	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0
	Volume madu, air, dan larutan, mL (Volume of honey, water, and solution, mL)					
Madu murni (Pure honey)	1,76	3,51	5,27	7,02	8,78	10,53
Air (Water)	97,50	95,00	92,50	90,00	87,50	85,00
Larutan (Solution)	99,26	98,51	97,77	97,02	96,28	95,53
	Massa karbohidrat, g (Mass of carbohydrates, g)					
Glukosa (Glucose)	0,88	1,76	2,64	3,52	4,41	5,29
Fruktosa (Fructose)	0,84	1,69	2,53	3,37	4,21	5,06
Sukrosa (Sucrose)	0,18	0,37	0,55	0,73	0,92	1,10
	Konsentrasi karbohidrat, M** (Concentration of carbohydrates, M**)					
Glukosa (Glucose)	0,049	0,099	0,150	0,202	0,254	0,307
Fruktosa (Fructose)	0,047	0,095	0,143	0,193	0,243	0,294
Sukrosa (Sucrose)	0,005	0,011	0,016	0,022	0,028	0,034
	Konsentrasi gabungan karbohidrat, M (Total concentration of all carbohydrates, M)					
	0,102	0,205	0,310	0,416	0,525	0,634

Keterangan (Remarks): *Rekapitulasi perhitungan di atas menggunakan data berat jenis madu alami dari lebah *Apis mellifera*, yakni sebesar 1,424 mg/L (The recapitulation of the above calculations uses data on the specific gravity of natural honey from *Apis mellifera* bees, which is 1.424 mg/L) (Abdulkhaliq & Swaileh, 2017), dengan persentase kandungan glukosa, fruktosa, sukrosa dan airnya secara berturut-turut 35,24, 33,70, 7,32, dan 18,5% (with the percentages of glucose, fructose, sucrose and water content respectively 35.24, 33.70, 7.32, and 18.5%) (Al-Ghamdi et al., 2019). **Perhitungan mol dan molar memakai berat molekul glukosa, fruktosa, dan sukrosa secara berturut-turut 180,16, 180,16, dan 342,3 g/mol (Mole and molar calculations used the molecular weights of glucose, fructose, and sucrose, respectively, 180,16, 180,16, and 342.3 g/mol).

D. Prediksi Penyebab Ketidakteraturan Pola Hubungan Titik Didih terhadap Konsentrasi Larutan Madu pada Sampel-sampel Madu Komersial

Belum dapat ditentukan secara pasti penyebab perbedaan pola hubungan titik didih terhadap konsentrasi madu seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1 dan 2. Pola regresi kenaikan titik didih pada yang paling cocok dari penelitian ini dengan hasil penelitian sebelumnya adalah sampel MTL, salah satu sampel madu alami. Belum terdapatnya pembandingan dari pola-pola regresi sampel-sampel madu alami lainnya, apalagi sampel madu komersial, menyebabkan tidak mudahnya menelusuri dan mempelajari perbedaan pola-pola regresi yang dihasilkannya, kecuali dengan memprediksi penyebabnya.

Seperti dalam perumusan sifat koligatif titik didih larutan pada Pers. (1) atau Pers. (7), nilai kenaikan titik didih dipengaruhi langsung oleh kuantitas zat-zat terlarut. Pada pemanasan larutan madu sampai mendidih dalam tekanan udara terbuka tidak dapat dijamin tidak adanya perubahan kuantitas zat-zat terlarut di dalamnya. Pemanasan sampai mendidih dengan laju dan lamanya yang tidak terlalu terkontrol dapat mengubah rasio kuantitas antar zat-zat terlarutnya sehingga dapat perbedaan titik didihnya. Dalam madu terdapat fakta bahwa perubahan suhu dan waktu penyimpanan dapat mengubah rasio gula (terutama glukosa, fruktosa, dan sukrosa) terhadap hidroksimetilfurfural (HMF) (Al-Ghamdi et al., 2019).

HMF dalam tiap madu memiliki kadar yang berbeda, kadarnya bertambah seiring waktu

Tabel 2. Konstanta-konstanta hasil regresi polinomial berderajat 3 beserta koefisien korelasinya (R_2) pada hubungan kenaikan titik didih dengan persentase larutan madu dari sampel-sampel madu alami dan komersial

Table 2. The constants resulting from the 3rd degree polynomial regression and their correlation coefficient (R^2) on the relationship between boiling point elevation and the percentage of honey solution from natural and commercial honey samples

Sampel larutan (<i>Solution sample</i>)	α	β	γ	δ	R^2
<i>Madu alami (Natural honeys)</i>					
MAD	99,300	0,3983	0,0328	0,0009	0,9986
MHP	99,467	-0,0315	0,0054	-0,0001	0,8988
MAM	99,233	0,0142	0,0051	-0,0002	0,9721
MTL	99,933	0,0048	-0,0111	0,0012	0,9964
MTB	99,333	-0,1411	0,0217	-0,0008	0,9153
MTI	99,667	0,0226	0,0102	-0,0005	0,9762
<i>Madu komersial (Commercial honeys)</i>					
MK1	99,200	-0,5471	0,0863	-0,0032	0,9905
MK2	97,167	0,7228	-0,0826	0,0031	0,9729
MK3	98,233	0,0420	0,0066	-0,0004	0,3356
MK4	98,367	0,5228	-0,0757	0,0031	0,7283
MK5	93,100	1,9249	-0,2979	0,0126	0,9856
MK6	98,267	-0,0167	0,0123	-0,0007	0,8049

penyimpanan. Peningkatan suhu, pH asam dan mineral dapat menambah kadar HMF hasil konversi dari glukosa dan fruktosa (Shapla et al., 2018). Berdasarkan rute sintesis, HMF dalam madu masih merupakan produk antara dari sekian banyak tahap kesetimbangan, baik sebelum maupun setelah terbentuknya HMF (Yang et al., 2019). Perbedaan sedikit suhu pemanasan pada sekitar 100°C dalam kisaran 1 menit saja menghasilkan perbedaan kadar HMF yang dihasilkan dengan pola yang tidak teratur (Tosi et al., 2004). Dengan pemanasan yang tidak terlalu terkontrol seperti pada penelitian ini, terdapat kemungkinan terjadi variasi rasio antar gula, antara gula dan HMF, maupun antara HMF dengan produk-produk samping.

Seperti dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2, ketidakteraturan titik didih ini sangat jelas terlihat pada mayoritas sampel madu komersial. Madu komersial dapat mengalami pemanasan awal dan penyimpanan, baik di gudang penyimpanan sebelum distribusi, selama distribusi, dan selama produk belum terjual di tingkat penjual ritel. Dengan demikian terdapat kecenderungan bahwa pada madu yang sama, rasio gula: HMF pada madu alami, khususnya yang segar langsung dari sarang lebahnya, akan lebih kecil daripada yang telah diproses dengan pemanasan atau disimpan lama seperti pada madu komersial. Dengan keberadaan HMF yang lebih besar dan kandungan gula yang lebih kecil pada madu komersial daripada madu alami, laju dan lamanya pemanasan

yang tidak dikontrol pada larutan madu komersial akan memberikan efek mengganggu laju kesetimbangan yang lebih besar daripada efek pada madu alami yang masih segar.

Berdasarkan penjelasan di atas, penyebab utama perbedaan pola keteraturan kenaikan titik didih antar madu diduga berasal dari adanya perbedaan dinamika sistem kesetimbangan kimia karena antar madu memiliki rasio antar kandungan zat-zat terlarutnya. Semenitara itu, penyebab lebih teraturnya pola-pola regresi pada sampel-sampel larutan madu alami diduga berasal dari belum banyaknya kandungan utama madu, yakni glukosa dan fruktosa, yang terkonversi menjadi zat-zat lain dalam kesetimbangan, salah satunya HMF, sehingga kuantitas kandungan keduanya masih mendominasi sifat koligatif kenaikan titik didih larutan madu. Terakhir, laju dan lamanya pemanasan yang tidak terkontrol diprediksi merupakan penyebab utama sensitifnya terhadap perubahan laju kesetimbangan sehingga menyebabkan rasio antar kandungan zat-zat terlarut dalam madu tidak teratur.

E. Dari Kompleksitas Produk Madu Menuju Metode Pengujian Sederhana Kealamian Madu

Metode-metode pengujian keaslian madu yang telah berkembang di masyarakat awam belum dapat menjangkau aspek-aspek ilmiah. Metode-metode pengujian tersebut seperti tidak ada endapan atau busa, aliran madu tidak terganggu, tidak

menyebabkan kertas menjadi tembus cahaya, tidak menghasilkan gelembung jika dipanaskan, tidak mudah mengering jika dijemur, menyebabkan irisan roti mengeras, dan tidak cepat larut dalam air ketika ditetaskan. Karena madu merupakan campuran homogen yang kompleks, baik kandungannya (Ajibola et al., 2012) maupun dinamika reaksi yang terjadi di dalamnya (Al-Ghamdi et al., 2019; Dzugan et al., 2018), metode-metode di atas belum dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah yang dikaitkan dengan kekompleksan yang menyertai madu.

Walaupun telah terdapat badan-badan standarisasi yang membuat standar keaslian madu, baik badan nasional (SNI 8664:2018) (Badan Standardisasi Nasional, 2018) maupun badan kerjasama kawasan yang dirujuk dalam beberapa penelitian madu (Al-Farsi et al., 2018; Belay et al., 2013), sampai saat ini belum ada konsensus yang ketat untuk membedakan batasan-batasan antara madu asli dengan madu palsu (Quevedo, 2022). Uji-uji yang ada tidak memungkinkan dilakukan masyarakat awam, terutama yang masih mempercayakan produk madu yang dikonsumsi masih alami, bukan produk komersial walaupun telah tersertifikasi badan standarisasi nasional. Uji-uji yang mudah dan murah berdasarkan standar, seperti uji organoleptik, tentu saja masih jauh dari kesimpulan kealamiah madu karena hasilnya masih mudah ditiru. Uji-uji fisik menawarkan cara yang lebih murah daripada uji kimia karena minim menggunakan bahan kimia, namun hasil-hasil penggunaan uji-uji fisik masih memerlukan peralatan dan instrumen yang tak mudah diakses atau dimiliki masyarakat awam.

Berdasarkan perolehan hasil penelitian ini, kami mengajukan metode yang sederhana dalam penentuan kualitas madu berdasarkan kealamiah madu daripada keaslian madu, yakni dengan memanfaatkan sifat koligatif larutan yang disederhanakan dalam pemahaman dan praktiknya, namun diperluas jangkauannya dalam konsentrasi maupun kompleksitas zat terlarutnya. Metode yang sederhana tersebut dapat dilakukan oleh kalangan awam, terdiri atas tahapan-tahapan: (1) sampel madu dibuat larutannya dengan air untuk memperoleh larutan madu sekurang-kurangnya 6 variasi kepekatannya dalam rentang 2,5–12,5% berat madu per beratnya bersama air, (2) satu per satu larutan dipanaskan dalam wadah terbuka dan diukur suhunya ketika terjadi pertama kali gelembung mendidihnya larutan, (3) menentukan keaslian madu melalui pengurutan larutan berdasarkan kepekatan dan titik didihnya, jika kenaikan titik didih seiring dengan kenaikan kepekatan larutannya, sampel madu tersebut berasal dari madu alami langsung dari sarang lebahnya

(belum diolah lebih lanjut), namun dalam madu komersial tidak dijamin demikian. Keberlakuan hubungan sejalannya kenaikan titik didih madu seiring dengan kenaikan kepekatan larutannya sesuai dengan yang terjadi pada penelitian sebelumnya pada sampel-sampel multizat alami, seperti pada jus buah-buahan (Chen et al., 1990), ekstrak kopi (Khomyakov et al., 2020), dan ekstrak daging (Polachini et al., 2017).

Dari nilai-nilai konstanta dan koefisien korelasi pada Tabel 2, terdapat perbedaan yang mencolok antara madu alami dengan madu komersial, terutama pada sampel-sampel MK3, MK4, MK5, dan MK6, dibandingkan dengan sampel-sampel lainnya. Nilai-nilai ini dapat membantu membedakan antar sampel berdasarkan regresi. Berdasarkan nilai R^2 , madu alami berada dalam rentang nilai 0,8988–0,9986, hal ini tidak terjangkau oleh MK3, MK4, MK6, yang berada di bawah rentang ini. Perbedaan berikutnya terdapat pada konstanta β , madu alami memiliki rentang -0,1411–0,3983, sementara MK4 dan MK5 lebih besar daripada rentang tersebut. Perbedaan-perbedaan rentang R^2 dan β ini menyisakan sampel-sampel MK1 dan MK2 sehingga keduanya diperkirakan memiliki kedekatan kualitas dengan sampel-sampel madu alami.

III. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa enam sampel madu alami dengan masing-masing dibuat larutannya dalam persentase sebagai larutannya dalam air 2,5–15,0 % (b/b) memiliki kesebandingan dengan kenaikan titik didih namun dengan pola kenaikan yang berbeda. Berbeda halnya dengan yang terjadi pada larutan madu komersial, dari enam hanya dua sampel yang memiliki kenaikan titik didih seiring dengan kepekatan larutan madu. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa sampel-sampel madu alami memiliki peluang lebih besar daripada sampel-sampel madu komersial dalam hal terdapatnya hubungan titik didih dengan kenaikan kepekatan larutan madu. Dengan demikian, metode sifat koligatif kenaikan titik didih dapat menjadi metode alternatif yang mudah dan murah diterapkan bagi kalangan awam dalam uji pendahuluan keaslian madu alami dengan syarat belum mengalami pengolahan dan modifikasi bahan.

B. Saran

Penelitian ini masih memerlukan penelitian lanjutan dengan melibatkan lebih banyak lagi sampel madu alami (yang belum mengalami pengolahan dan modifikasi bahan) dari berbagai spesies lebah dan kawasan untuk menguji keberlakuan hubungan

kesebandingan antara titik didih dengan konsentrasi larutan madu. Dengan terbuktinya hubungan kesebandingan hubungan titik didih dengan pengenceran madu alami akan memudahkan sebagian masyarakat awam yang masih mempercayakan konsumsi produk madunya pada madu yang belum mengalami pengolahan atau modifikasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

DS, AT, AS, dan YR mengucapkan terimakasih kepada KTH Banyu Metu, Pangandaran, Jawa Barat atas bantuan mengadakan sampel-sampel madu alami dari enam jenis lebah yang diperoleh langsung dari sarangnya.

KONTRIBUSI PENULIS

Ide, desain, dan rancangan percobaan dilakukan oleh DS, AS, dan AT; percobaan dan perlakuan pengujian oleh AT dan YR; pengumpulan data dan analisis data oleh DS dan AT; penulisan manuskrip oleh DS; perbaikan dan finalisasi oleh DS, AT, dan AS.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulkhalik, A., & Swaileh, K. M. (2017). Physico-chemical properties of multi-floral honey from the West Bank, Palestine. *International Journal of Food Properties*, 20(2), 447–454. doi: 10.1080/10942912.2016.1166128
- Adalina, Y., Kusmiati, E., & Pudjiani, M. (2020). Phytochemical test and physical chemical properties of rubber honey from three types of bees (*Apis mellifera*, *Apis dorsata* and *Trigona Itama*). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 935(1). doi: 10.1088/1757-899X/935/1/012007
- Ajibola, A., Chamunorwa, J. P., & Erlwanger, K. H. (2012). Nutraceutical values of natural honey and its contribution to human health and wealth. *Nutrition and Metabolism*, 9, 1–12. doi: 1186/1743-7075-9-61
- Al-Farsi, M., Al-Belushi, S., Al-Amri, A., Al-Hadhrani, A., Al-Rusheidi, M., & Al-Alawi, A. (2018). Quality evaluation of Omani honey. *Food Chemistry*, 262(April), 162–167. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.04.104
- Al-Ghamdi, A., Mohammed, S. E. A., Ansari, M. J., & Adgaba, N. (2019). Comparison of physicochemical properties and effects of heating regimes on stored *Apis mellifera* and *Apis florea* honey. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(4), 845–848. doi: 10.1016/j.sjbs.2017.06.002
- Aljohar, H. I., Maher, H. M., Albaqami, J., Al-Mehaizie, M., Orfali, R., Orfali, R., & Alrubia,

- S. (2018). Physical and chemical screening of honey samples available in the Saudi market: An important aspect in the authentication process and quality assessment. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 26(7), 932–942. doi: 10.1016/j.jsps.2018.04.013
- Almasaudi, S. (2021). Saudi Journal of Biological Sciences The antibacterial activities of honey. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(4), 2188–2196. doi: 10.1016/j.sjbs.2020.10.017
- Amariei, S., Norocel, L., & Scripcă, L. A. (2020). An innovative method for preventing honey crystallization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 66(August). doi: 10.1016/j.ifset.2020.102481
- Ardiansyah, Syaury, D., & Tibyani. (2019). Implementasi metode klasifikasi Bayes untuk penentuan keaslian madu lebah berbasis embedded system. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 3(Vol 3 No 2 (2019)), 1693–1700. <http://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/4550>
- Azonwade, F. E., Paraiso, A., Agbangnan Dossa, C. P., Dougnon, V. T., N'Tcha, C., Mousse, W., & Baba-Moussa, L. (2018). Physicochemical characteristics and microbiological quality of honey produced in Benin. *Journal of Food Quality*, 2018. doi: 10.1155/2018/1896057
- Belay, A., Solomon, W. K., Bultossa, G., Adgaba, N., & Melaku, S. (2013). Physicochemical properties of the Harenna forest honey, Bale, Ethiopia. *Food Chemistry*, 141(4), 3386–3392. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.06.035
- Badan Standardisasi Nasional (SNI). (2018). Madu (SNI 8664:2018). Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Chang, R., & Overby, J. (2008). Physical properties of solutions. Dalam *General chemistry - The essential concepts* (6 ed., hal. 436–447). New York: McGraw-Hill.
- Chayati, I. (2008). Sifat fisikokimia madu monoflora dari Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah. *Agritech*, 28(1), 9–14. doi: 10.22146/agritech.9779
- Chen, C. S., Nguyen, T. K., & Braddock, R. J. (1990). Relationship between freezing point depression and solute composition of fruit juice systems. *Journal of Food Science*, 55(2), 566–567.
- Chirsanova, A., Capcanari, T., Boistean, A., & Siminiuc, R. (2021). Physico-chemical profile of four types of honey from the south of the Republic of Moldova. *Food and Nutrition Sciences*, 12(09), 874–888. doi: 10.4236/fns.2021.129065

- Costa, P. A., Moraes, I. C. F., Sobral, J. A., Gomide, C. A., & Carrer, C. C. (2013). Physical properties of honeys produced in the Northeast of Brazil. *International Journal of Food Studies*, 2(April), 118–125. doi: 10.7455/ijfs/2.1.2013.a9
- Crapiste, G. H., & Lozano, J. E. (1988). Effect of concentration and pressure on the boiling point rise of apple juice and related sugar solutions. *Journal of Food Science*, 53(3), 865–868. doi: 10.1111/j.1365-2621.1988.tb08973.x
- Dzugan, M., Tomczyk, M., Sowa, P., & Grabek-Lejko, D. (2018). Antioxidant activity as biomarker of honey variety. *Molecules*, 23(8), 1–14. doi: 10.3390/molecules23082069
- El Sohaimy, S. A., Masry, S. H. D., & Shehata, M. G. (2015). Physicochemical characteristics of honey from different origins. *Annals of Agricultural Sciences*, 60(2), 279–287. doi: 10.1016/j.aosas.2015.10.015
- Esmaili, M., Mehryar, L., & Hassanzadeh, A. (2013). Evaluation of some physicochemical and rheological properties of Iranian Honeys and the effect of temperature on its viscosity. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, 13(6), 807–819. doi: 10.5829/idosi.ajeaes.2013.13.06.1971
- Evahelda, E., Pratama, F., Malahayati, N., & Santoso, B. (2017). Sifat fisik dan kimia madu dari nektar pohon karet di Kabupaten Bangka Tengah, Indonesia. *Agritech*, 37(4), 363–368. doi: 10.22146/agritech.16424
- Hailu, D., & Belay, A. (2020). Melissopalynology and antioxidant properties used to differentiate *Schefflera abyssinica* and polyfloral honey. *PLoS ONE*, 15(10 October), 1–22. doi: 10.1371/journal.pone.0240868
- Julika, W. N., Ajit, A., Sulaiman, A. Z., & Naila, A. (2019). Physicochemical and microbiological analysis of stingless bees honey collected from local market in Malaysia. *Indonesian Journal of Chemistry*, 19(2), 522–530. doi: 10.22146/ijc.40869
- Karimah, U., Melati, R., & Anita Sari Ratna Saputri, A. (2020). Physical and chemical properties of local honey from East Kalimantan. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 38(2), 119–128. doi: 10.20886/jphh.2020.38.2.119-128
- Khomyakova, A. P., Mordanov, S. V., & Khomyakova, T. V. (2020). The experimental data on the density, viscosity, and boiling temperature of the coffee extract. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 548(2). doi: 10.1088/1755-1315/548/2/022040
- Kukurová, K., Karovičová, J., Kohajdová, Z., & Bíliková, K. (2008). Authentication of honey by multivariate analysis of its physico-chemical parameters. *Journal of Food and Nutrition Research*, 47(4), 170–180.
- Mandal, M. D., & Mandal, S. (2011). Honey: Its medicinal property and antibacterial activity. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 1(2), 154–160. doi: 10.1016/S2221-1691(11)60016-6
- Mardatila, A. (2020). *Ciri-ciri madu asli dan perbedaannya dengan yang palsu, mudah dikenali*. <https://www.merdeka.com/sumut/ciri-ciri-madu-asli-dan-perbedaannya-dengan-yang-palsu-kln.html>
- Mesele, T. L. (2021). Review on physico-chemical properties of honey in Eastern Africa. *Journal of Apicultural Research*, 60(1), 33–45. doi: 10.1080/00218839.2020.1754566
- Naila, A., Flint, S. H., Sulaiman, A. Z., Ajit, A., & Weeds, Z. (2018). Classical and novel approaches to the analysis of honey and detection of adulterants. *Food Control*, 90, 152–165. doi: 10.1016/j.foodcont.2018.02.027
- Nguyen, N. H., Hussain, F., & Chen, C. C. (2016). Correlations for densities of aqueous electrolyte solutions. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 61(2), 740–747. doi: 10.1021/acs.jced.5b00491
- Olaitan, P. B., Adeleke, O. E., & Ola, I. O. (2007). Honey: A reservoir for microorganisms and an inhibitory agent for microbes. *African Health Sciences*, 7(3), 159–165. doi: 10.5555/afhs.2007.7.3.159
- Oroian, M. (2013). Measurement, prediction and correlation of density, viscosity, surface tension and ultrasonic velocity of different honey types at different temperatures. *Journal of Food Engineering*, 119(1), 167–172. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.05.029
- Oroian, M., Ropciuc, S., & Paduret, S. (2018). Honey authentication using rheological and physicochemical properties. *Journal of Food Science and Technology*, 55(12), 4711–4718. doi: 10.1007/s13197-018-3415-4
- Polachini, T. C., Betiol, L. F. L., Bastos, M. G., Telis, V. R. N., & Telis-Romero, J. (2017). Boiling point and specific heat of meat extract. *International Journal of Food Properties*, 20(2), 1392–1402. doi: 10.1080/10942912.2017.1343350
- Prayitno, Y. A., Emmawati, A., Prabowo, S., Candra, K. P., & Rahmadi, A. (2021). Autentikasi cepat madu hutan Kalimantan Timur dengan ATR-FTIR spektroskopi kombinasi analisis kemometrika. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 32(1), 181–189. doi: 10.6066/jtip.2021.32.2.181

- Quevedo, M. F. (2022). Stingless bees honeys : physical-chemical characterization , difficulties and challenges. *Research, Society and Development*, 11(6), e25411628996. doi:10.33448/rsd-v11i6.28996
- Radam, R., Rezekiah, A. A., & Prihatiningtyas, E. (2016). Kualitas madu hutan Kecamatan Tabukan Barito Kuala dan kemungkinan pengembangannya. *Jurnal Hutan Tropis*, 4(2), 180–186. <http://ppjp.unlam.ac.id/journal/index.php/jht/article/view/3605/3118%0A>
- Rahayu, I. E., Kurnyawaty, N., Wijayanti, A., & Bastomy, I. (2021). Pengujian mutu madu Kawasan Tahura Lati Petangis sebagai upaya peningkatan nilai pasar. *Community Empowerment*, 6(9), 1701–1708.
- Riswahyuli, Y., Rohman, A., Setyabudi, F. M. C. S., & Raharjo, S. (2020). Characterization of Indonesia wild honey and its potential for authentication and origin distinction. *Food Research*, 4(5), 1670–1680. doi: 10.26656/FR.2017.4(5).105
- Samarghandian, S., Farkhondeh, T., & Samini, F. (2017). Honey and health: A review of recent clinical research. *Pharmacognosy Research*, 9(2), 121–127. doi: 10.4103/0974-8490.204647
- Se, K. W., Wahab, R. A., Syed Yaacob, S. N., & Ghoshal, S. K. (2019). Detection techniques for adulterants in honey: Challenges and recent trends. *Journal of Food Composition and Analysis*, 80(February), 16–32. doi: 10.1016/j.jfca.2019.04.001
- Seraglio, S. K. T., Silva, B., Bergamo, G., Brugnerotto, P., Gonzaga, L. V., Fett, R., & Costa, A. C. O. (2019). An overview of physicochemical characteristics and health-promoting properties of honeydew honey. *Food Research International*, 119(January), 44–66. doi: 10.1016/j.foodres.2019.01.028
- Shapla, U. M., Solayman, M., Alam, N., Khalil, M. I., & Gan, S. H. (2018). 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) levels in honey and other food products: effects on bees and human health. *Chemistry Central Journal*, 12(35). doi: 10.1186/s13065-018-0408-3
- Silitonga, A. O. T. (2011). *Identifikasi dan karakterisasi sifat kimia dan sifat fisika dari madu asli dengan madu yang dijual di pasaran Medan*. (Tesis). Universitas Sumatera Utara.
- Tariq, K., Iqbal, S., & Ali, M. F. (2022). Quantifying physicochemical properties of honey collected from different floral sources of Islamabad and Mardan regions. *Agrinula: Jurnal Agroteknologi dan Perkebunan*, 5(1), 10–19. doi: 10.36490/agri.v5i1.195
- Torgesen, J. L., Bower, V. E., & Smith, E. R. (1950). Boiling points of aqueous solutions of dextrose within the pressure range of 200 to 1,500 millimeters. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, 45(6), 458–462. doi: 10.6028/jres.045.051
- Tosi, E. A., Ré, E., Lucero, H., & Bulacio, L. (2004). Effect of honey high-temperature short-time heating on parameters related to quality, crystallisation phenomena and fungal inhibition. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 37(6), 669–678. doi: 10.1016/j.lwt.2004.02.005
- Yang, W., Zhang, C., Li, C., Huang, Z. Y., & Miao, X. (2019). Pathway of 5-hydroxymethyl-2-furaldehyde formation in honey. *Journal of Food Science and Technology*, 56(5), 2417–2425. doi:10.1007/s13197-019-03708-7