

Analisis Fisik Madu Akasia Setelah diproses dengan Mesin Evaporator *Vacuum Cooling Four in One* Skala Industri

Physical Analysis of Honey After Processed with Vacuum Cooling Four in One Evaporator Machine on Industrial Scale

M. Amin Muzaki¹, Anang Latriyanto^{1*}, Moch. Bagus Hermanto¹, Sandra Malin Sutan¹, Ary Mustofa Ahmad¹, Sasongko Aji Wibowo^{1,2}, Vincentia Veni Vera¹, Khoiril Anam¹

¹Departemen Teknik Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, Jalan Veteran No.1, Malang 65145, Indonesia

²Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1, Gedong Meneng, Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Lampung
Email^{*)}: anangl@ub.ac.id

Received:
16 December 2024

Revised:
25 March 2025

Accepted:
25 March 2025

Published:
29 March 2025

DOI:
10.29303/jrpb.v13i1.1153

ISSN 2301-8119, e-ISSN
2443-1354

Available at
<http://jrpb.unram.ac.id/>

Abstract: Honey has significant health benefits due to its rich content of nutrients, enzymes, and bioactive compounds. However, conventional processing methods such as pasteurization can potentially degrade the physical and chemical quality of honey, including moisture content, density, total soluble solids, viscosity, and color stability. This study examines the effectiveness of the Evaporator Vacuum Cooling Four in One technology in maintaining the quality of Acacia honey compared to various pasteurization durations. The results show that vacuum cooling technology significantly preserves honey quality in terms of moisture content, density, and total soluble solids at a better level than conventional methods. Additionally, vacuum cooling optimally maintains honey's viscosity and color, demonstrating its superiority in reducing damage to bioactive components. This study is expected to contribute to the development of more efficient honey processing technology in the industry, aiming to provide high-quality honey that meets consumer health standards.

Keywords: honey; pasteurization; vacuum evaporator; vacuum cooling.

Abstrak: Madu memiliki manfaat kesehatan yang tinggi berkat kandungan nutrisi, enzim, dan senyawa bioaktifnya. Namun, metode pengolahan konvensional seperti pasteurisasi berpotensi menurunkan kualitas fisik dan kimia madu, termasuk kadar air, densitas, total padatan terlarut, viskositas, dan stabilitas warna. Penelitian ini menguji efektivitas teknologi *Evaporator Vacuum Cooling Four in One* dalam mempertahankan kualitas madu Akasia, dibandingkan dengan berbagai durasi pasteurisasi. Hasil menunjukkan bahwa teknologi pendinginan vakum secara signifikan menjaga kualitas madu berdasarkan kadar air, densitas, dan total padatan terlarut madu pada tingkat yang lebih baik dibandingkan metode konvensional. Selain itu, pendinginan vakum juga mempertahankan viskositas dan warna madu secara optimal, menunjukkan keunggulannya dalam mengurangi kerusakan komponen bioaktif. Studi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi pengolahan madu yang lebih efisien di industri, guna menyediakan madu dengan kualitas tinggi yang memenuhi standar kesehatan konsumen.

Kata kunci: evaporator vakum; madu; pasteurisasi; pendingin vakum.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Madu merupakan produk alami yang kaya akan nutrisi, antioksidan, enzim, serta senyawa bioaktif lain yang bermanfaat bagi kesehatan. Pengolahan dan penyimpanan madu yang kurang tepat dapat mengakibatkan penurunan kualitas fisik dan kimianya, yang pada gilirannya dapat mengurangi efektivitas manfaat kesehatan yang dikandungnya (Machado, 2022). Salah satu tantangan utama dalam pengolahan madu skala industri adalah mempertahankan komposisi nutrisi dan bioaktif selama proses pemanasan dan pendinginan, terutama karena suhu tinggi dan waktu pemanasan yang lama dapat merusak kandungan enzim dan senyawa bermanfaat lainnya dalam madu (Manickavasagam *et al.*, 2024). Maka dari itu, diperlukan metode yang efektif untuk mengurangi kadar air dan menjaga kualitas madu, salah satunya dengan teknologi pendinginan vakum yang lebih canggih. Pada penelitian Wibowo, (2022) menunjukkan perbandingan pendinginan konvensional dengan *vacuum cooling* setelah pasteurisasi, dimana pendinginan *vacuum cooling* menunjukkan nilai yang lebih baik dibandingkan dengan pendinginan konvensional, seperti pada hasil viskositas pendinginan konvensional menghasilkan nilai 5,921 Poise *vacuum cooling* menghasilkan nilai 9,506 Poise, begitu juga pada hasil kadar air, dimana kadar air dengan metode *vacuum cooling* lebih rendah daripada pendinginan konvensional. Nilai kadar air dengan metode *vacuum cooling* adalah sebesar 14,1% sedangkan pendinginan dengan metode konvensional sebesar 16,4%.

Pada pengolahan konvensional, madu biasanya dipanaskan dengan metode pasteurisasi untuk mencegah fermentasi dan dapat mengurangi kadar air. Namun, proses pasteurisasi pada suhu tinggi ini dapat menurunkan aktivitas enzim seperti diastase dan invertase, yang berperan dalam mempertahankan nilai gizi dan kualitas madu (Hegazi *et al.*, 2022). Studi menunjukkan bahwa metode pengolahan konvensional sering kali menghasilkan perubahan warna, viskositas, dan kandungan nutrisi pada madu (Perri *et al.*, 2021). Selain itu, proses pasteurisasi dengan pendinginan konvensional yang lambat berpotensi meningkatkan risiko kontaminasi, karena madu terpapar suhu ruang dalam waktu yang lama (Iftikhar *et al.*, 2023). Oleh karena itu, terdapat kebutuhan untuk mengeksplorasi metode baru yang dapat mengoptimalkan proses pendinginan sekaligus mempertahankan komponen bioaktif madu.

Teknologi *Evaporator Vacuum Cooling Four in One* yang dikembangkan untuk skala industri diusulkan sebagai solusi inovatif dalam pengolahan madu. Teknologi ini bekerja dengan mengurangi tekanan dalam ruang pemrosesan, sehingga suhu penguapan air berkurang dan proses pendinginan menjadi lebih cepat (Yu *et al.*, 2022). Metode ini telah diuji pada berbagai produk pangan yang rentan terhadap kerusakan nutrisi akibat suhu tinggi, dan hasilnya menunjukkan bahwa proses ini mampu mempertahankan komponen bioaktif secara lebih efektif dibandingkan metode konvensional (Zhu *et al.*, 2021). Dengan demikian, penggunaan mesin ini berpotensi mempertahankan kualitas fisik, kimia, dan nutrisi madu, serta meningkatkan umur simpannya secara signifikan.

Penggunaan teknologi *vacuum cooling* pada madu belum banyak diterapkan, terutama dalam skala industri di Indonesia. Penelitian ini akan mengkaji efektivitas mesin *Evaporator Vacuum Cooling Four in One* dalam menjaga kualitas madu Akasia melalui pendekatan komparatif dengan metode konvensional seperti pasteurisasi per jam dan pendinginan konvensional. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi pengolahan madu yang lebih efisien dan berkualitas tinggi (Tarapoulouzi *et al.*, 2023), sehingga dapat mendukung industri madu dalam menyediakan produk yang memenuhi standar mutu dan kesehatan konsumen (Park *et al.*, 2021). Pada penelitian Cahyani *et al.* (2021) teknologi *vakum cooling* dapat menghasilkan madu dengan aktivitas enzim lebih tinggi dibandingkan dengan madu dengan pendinginan konvensional.

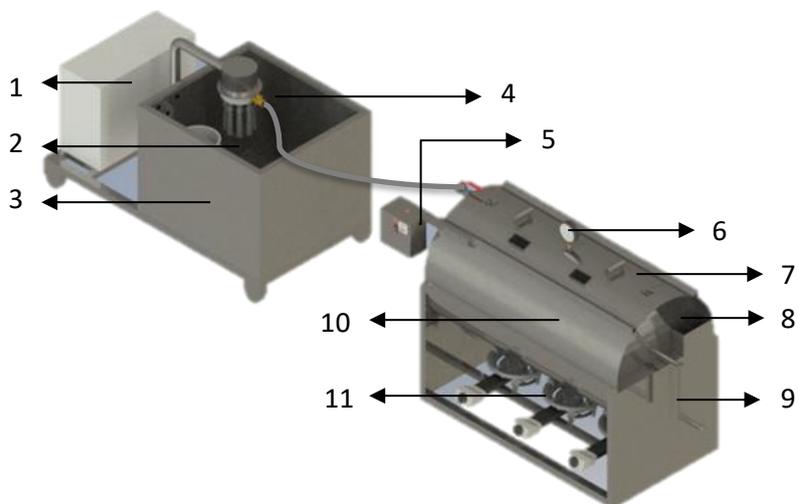
Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas teknologi *Evaporator Vacuum Cooling Four in One* dalam mempertahankan kualitas fisik madu Akasia pada skala industri. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk membandingkan hasil kualitas madu yang diproses menggunakan metode pendinginan vakum dengan metode konvensional, termasuk pasteurisasi per jam dan pendinginan biasa.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah mesin *evaporator vacuum cooling four in one* rancangan Bapak Anang Lastriyanto di Kota Malang (Gambar 1), *moisture analyzer* KETT FD-720 di produksi oleh Jepang, *midi logger* gl200a diproduksi oleh perusahaan Graphtec di Jepang, Refraktometer model REF 113 total padatan terlarut dengan skala 0-32 di buat oleh Jepang, Viscometer NDJ-1S di buat oleh China, Colorimeter Amt567 di produksi oleh Amerika, *vacuum meter digital* dengan merk Omron, thermocouple type K, kuvet quartz, timbangan Digital kapasitas 500 gram dengan ketelitian 0,01 gram, Gelas Ukur merk pyrex, Pignometer merk pyrex, Labu Ukur 50 ml dan 100 ml merk pyrex, gelas beaker 100 ml merk pyrex, pipet ukur 1 ml dan 10 ml merk pyrex, spatula.

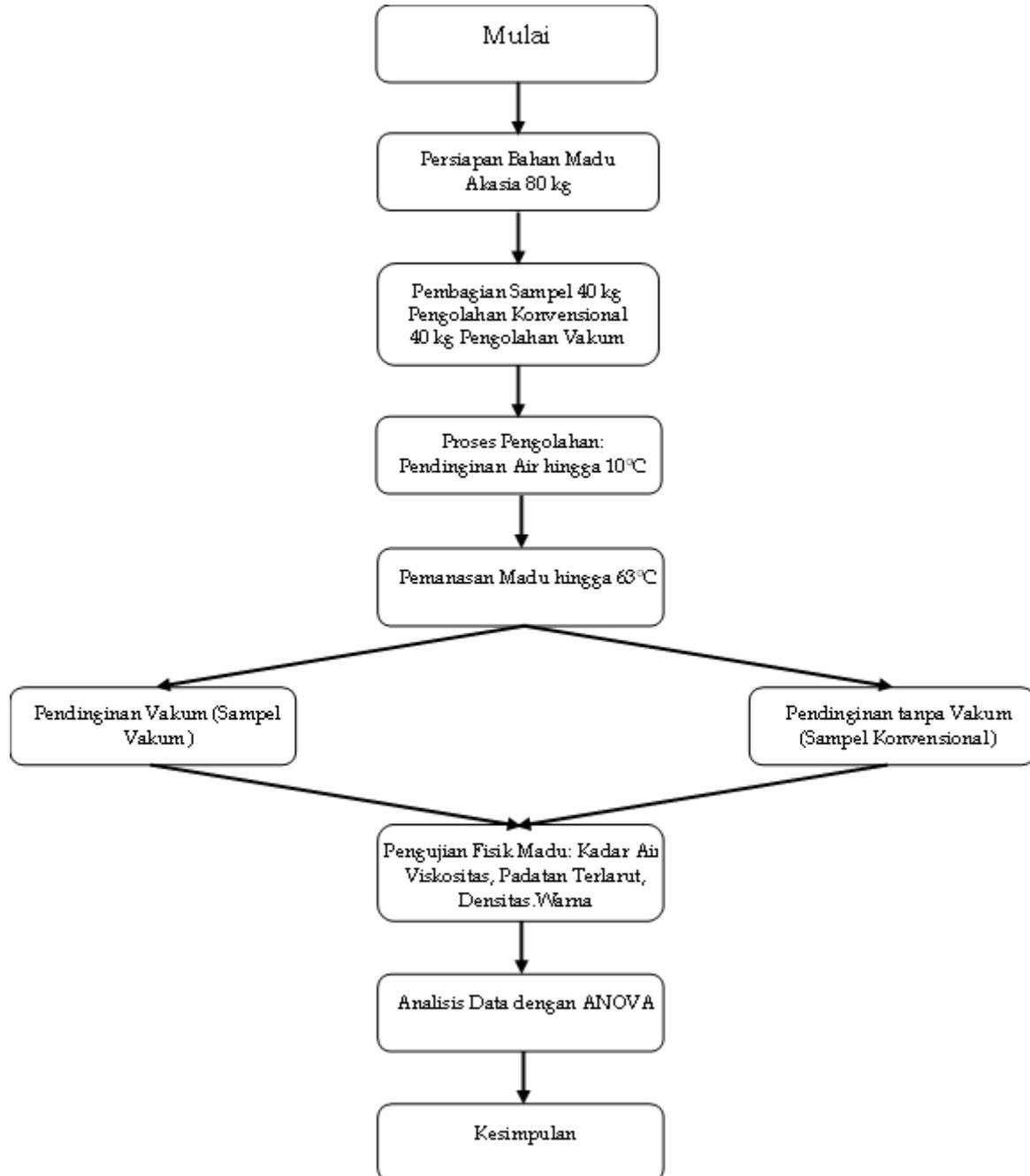


Gambar 1. Mesin Evaporator Vacuum Cooling. (1) AC, (2) Kondensor, (3) Bak Air Pendingin, (4) Jet Vakum dan Pompa Vakum, (5) Panel Kontrol, (6) Vakum Meter, (7) Tutup Tabung Evaporator, (8) Kotak Kontrol Air Pemanas, (9) Pegangan Pengaduk, (10) Tabung Evaporator, (11) Kompor

Bahan yang digunakan madu akasia Riau yang dibeli melalui *marketpalce*, alkohol 96%, dan aquades.

Metode

Penelitian ini menggunakan madu Akasia sebanyak 80 kg, yang dibagi menjadi dua kelompok pengolahan: 40 kg untuk proses konvensional dan 40 kg untuk proses terintegrasi dengan menggunakan teknologi *Evaporator Vacuum Cooling Four in One*. Metode ini bertujuan untuk membandingkan perubahan kualitas fisik madu yang diolah dengan kedua metode tersebut, mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 8664:2018 sebagai acuan parameter kualitas madu. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Tahap pertama dalam proses pengolahan madu adalah mendinginkan air pendingin pada bak air pendingin hingga suhu $\pm 10^{\circ}\text{C}$ sebagai persiapan untuk pendinginan vakum. Pada tahap kedua, madu yang telah dibagi menjadi dua sampel, masing-masing sampel akan dipasteurisasi dengan metode yang sama yaitu dipanaskan dengan memanaskan air pemanas yang berada disekeliling tabung evaporator menggunakan kompor, setelah mencapai suhu 63°C , kompor dimatikan. Pada proses pengolahan madu dengan metode *vacuum cooling*, madu diproses dengan cara divakum hingga buih yang terdapat pada madu berkurang atau hilang, dan sampel diambil setelah proses vakum selesai. Proses ini memungkinkan komponen bioaktif dalam madu terjaga lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional (Zhu *et al.*, 2021). Selanjutnya, pada tahap ketiga, madu yang diolah secara konvensional dipanaskan hingga mencapai suhu 63°C tanpa pendingin vakum, dengan

pemanasan berkelanjutan selama lima jam, dan sampel diambil setiap satu jam untuk pengujian.

Pengujian kualitas madu Akasia dilakukan dengan mengukur beberapa parameter fisik, yaitu kadar air, viskositas, total padatan terlarut, warna, dan densitas. Parameter ini sesuai dengan standar kualitas madu pada SNI 8664:2018. Pengukuran kadar air dilakukan untuk menentukan kestabilan madu terhadap fermentasi, sedangkan viskositas dan total padatan terlarut berkaitan dengan kekentalan dan kemurnian madu (Luo *et al.*, 2021). Warna madu diuji untuk mengidentifikasi pengaruh suhu terhadap degradasi komponen bioaktif, dan densitas dihitung untuk mengukur kadar zat terlarut dalam madu.

Setelah pengujian, data yang diperoleh dianalisis menggunakan uji Anova (Analisis Varian) untuk menentukan apakah terdapat perbedaan signifikan pada parameter fisik dan kimia antara madu yang diproses dengan metode konvensional dan metode pendinginan vakum (Kang *et al.*, 2020). Uji Anova ini memungkinkan identifikasi pengaruh perlakuan terhadap kualitas akhir madu secara statistik.

Parameter Penelitian

a. Laju Perubahan Suhu

Pengukuran laju perubahan suhu menggunakan sensor suhu digital yang terhubung ke data logger. Perubahan suhu pada madu dipantau untuk memastikan bahwa suhu pasteurisasi mencapai dan mempertahankan tingkat yang diperlukan untuk membunuh mikroorganisme patogen tanpa merusak kualitas madu. Proses ini dilakukan dengan memanaskan madu secara perlahan hingga mencapai suhu antara 63°C. Sensor suhu ditempatkan dalam madu untuk mencatat suhu secara kontinu selama proses pemanasan.

b. Laju Perubahan Tekanan Vakum

Pengukuran laju perubahan tekanan vakum pada proses pendinginan madu menggunakan *vacuum gauge* yang terhubung ke data logger. Perubahan tekanan dalam ruang vakum mempengaruhi laju penguapan air dari madu dan laju pendinginan. Proses ini dilakukan dengan menempatkan madu dalam ruang vakum, lalu menurunkan tekanan untuk mengurangi titik didih air, sehingga madu bisa didinginkan. Sensor tekanan dipasang dalam ruang vakum untuk mencatat perubahan tekanan secara kontinu selama proses pendinginan.

c. Kadar Air

Pengujian kadar air madu pada penelitian ini menggunakan alat *moisture analyzer* KETT FD-720. Alat *moisture analyzer* KETT FD-720 menerapkan metode termogravimetri (Pérez-Rosas *et al.*, 2024) yang dilengkapi dengan timbangan. Alat ini menggunakan pemanas inframerah sebagai pengering sampel. Alat ini memanaskan sampel madu pada suhu tertentu hingga air dalam sampel menguap, sehingga massa sampel akan berkurang. Sampel madu ditimbang sebelum dan setelah pemanasan, perbedaan massa yang tercatat digunakan untuk menentukan kadar air.

d. Viskositas

Pengujian viskositas madu menggunakan alat Viscometer NDJ-1S. Pengukuran resistensi cairan terhadap aliran atau deformasi di bawah pengaruh gaya. Viscometer NDJ-1S menggunakan spindle yang berputar pada kecepatan tertentu di dalam sampel madu (Nintyas & Caesaron, 2015). Gaya torsi yang dibutuhkan untuk memutar spindle tersebut berbanding lurus dengan viskositas cairan. Saat spindle berputar, gaya resistensi dari madu diukur, dan viskositas dihitung berdasarkan kecepatan putaran serta gaya torsi yang terdeteksi.

e. Total Padatan Terlarut

Pengujian total padatan terlarut dalam madu menggunakan alat refraktometer. Refraktometer bekerja dengan cara memancarkan cahaya melalui sampel madu dan mengukur sudut refraksi yang dihasilkan. Nilai indeks cahaya yang dihasilkan bersifat linier dengan kandungan total padatan terlarut dalam sampel. Pengukuran dimulai dengan meneteskan 4 tetes sampel madu pada prisma refraktometer, kemudian hasil pembacaan indeks bias langsung menunjukkan kandungan total padatan terlarut.

f. Warna

Pengujian warna madu menggunakan alat colorimeter. Colorimeter bekerja dengan memancarkan cahaya pada madu, kemudian mengukur jumlah cahaya yang dipantulkan atau diteruskan oleh sampel. Intensitas cahaya yang terdeteksi dibandingkan dengan standar warna yang telah ditetapkan, menghasilkan nilai yang menunjukkan warna madu dalam skala standar seperti Pfund atau CIE. Proses pengukuran dimulai dengan menempatkan sampel madu raw sebagai standar warna awal madu pada tempat khusus di colorimeter, lalu alat akan memberikan hasil pengukuran berupa nilai L, a dan b. Selanjutnya sampel madu dengan perlakuan di tempatkan pada tempat khusus di colorimeter, lalu alat akan memberikan hasil pengukuran warna berupa nilai L, a dan b yang langsung di ubah secara otomatis ke ΔL , Δa , Δb dan ΔE . Nilai ΔE adalah nilai perubahan warna yang akan digunakan dalam analisis warna madu.

g. Densitas

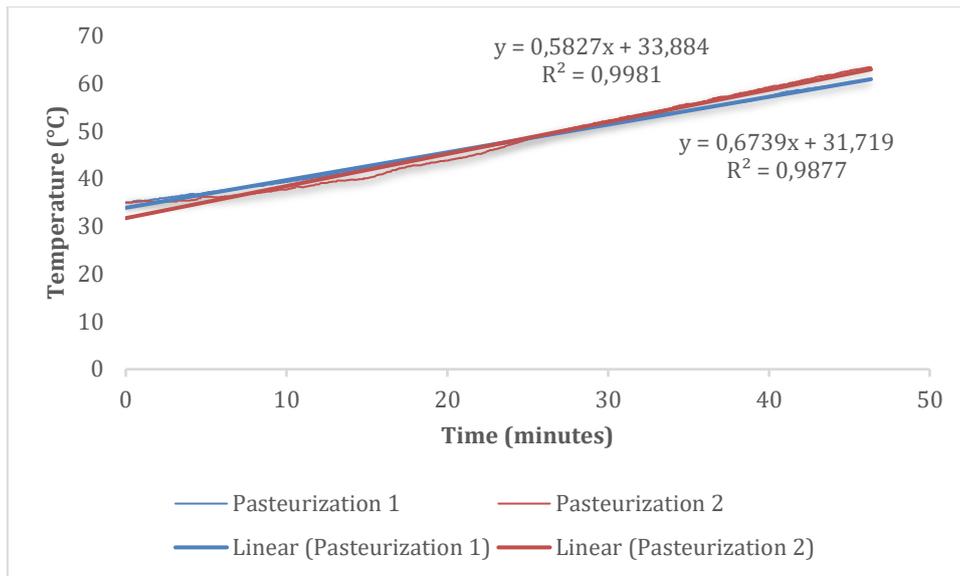
Pengujian densitas madu menggunakan alat piknometer. Proses pengukuran dimulai dengan menimbang piknometer kosong, kemudian mengisi piknometer dengan air aquades dan menimbanginya kembali untuk mendapatkan massa air yang digunakan. Setelah itu, piknometer dikosongkan dan dikeringkan, lalu diisi dengan sampel madu dan ditimbang lagi untuk mendapatkan massa madu. Densitas madu dihitung dengan membagi massa madu dengan volume piknometer, yang sebelumnya sudah dihitung menggunakan massa air dan densitas air pada suhu yang sama. Pengukuran kerapatan massa jenis mengacu pada penelitian (Anwariyah *et al.*, 2018).

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Laju Perubahan Suhu

Suhu pemanasan konvensional dan vakum

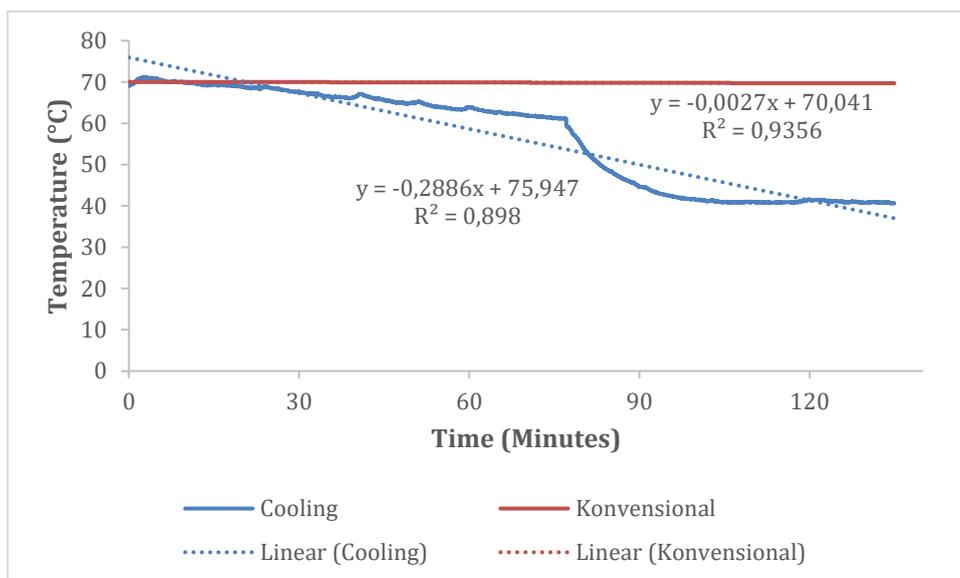
Dua sampel madu yang dipasteurisasi untuk proses konvensional ditunjukkan oleh keterangan pasteurisasi 1 dan sampel madu yang dipasteurisasi untuk proses menggunakan teknologi *Evaporator Vacuum Cooling Four in One* ditunjukkan oleh keterangan pasteurisasi 2. Perubahan suhu selama proses pasteurisasi madu (Pasteurisasi 1 dan Pasteurisasi 2) ditunjukkan pada Gambar 3. Suhu awal kedua metode pasteurisasi ini sekitar 30 derajat Celcius, meningkat secara bertahap hingga mendekati 63°C. Kedua kurva memiliki perbedaan kecil, tetapi pola kenaikan suhu cenderung sama. Pasteurisasi madu tidak merusak nutrisi utamanya tetapi menonaktifkan enzim dan mengurangi risiko kontaminasi mikroba.



Gambar 3. Perubahan suhu madu pasteurisasi

Suhu pendinginan konvensional dan vakum

Penurunan suhu madu proses pendinginan menggunakan metode *vacuum cooling* dan dengan metode konvensional ditampilkan pada Gambar 4. Metode *vacuum cooling* yang ditunjukkan dengan garis biru memiliki nilai R^2 lebih rendah daripada metode konvensional, persamaan regresi untuk metode vakum menunjukkan gradien sebesar -0.2886 , dengan nilai $R^2=0.898$, yang mengindikasikan bahwa suhu madu mengalami penurunan signifikan dalam waktu sekitar 120 menit. Dibandingkan dengan metode konvensional memiliki gradien yang jauh lebih kecil, yaitu -0.0027 , dengan nilai $R^2=0.9356$, menunjukkan bahwa suhu madu hampir tetap stabil dan mengalami penurunan yang sangat lambat. Perbedaan kemiringan garis ini menunjukkan bahwa mesin pendingin vakum lebih efektif dalam mempercepat penurunan suhu dibandingkan metode konvensional. Perubahan suhu terjadi dimulai pada suhu 70°C hingga sekitar 35°C . Metode konvensional tidak mengalami penurunan suhu yang signifikan selama pengamatan, membuat suhu madu tetap stabil.



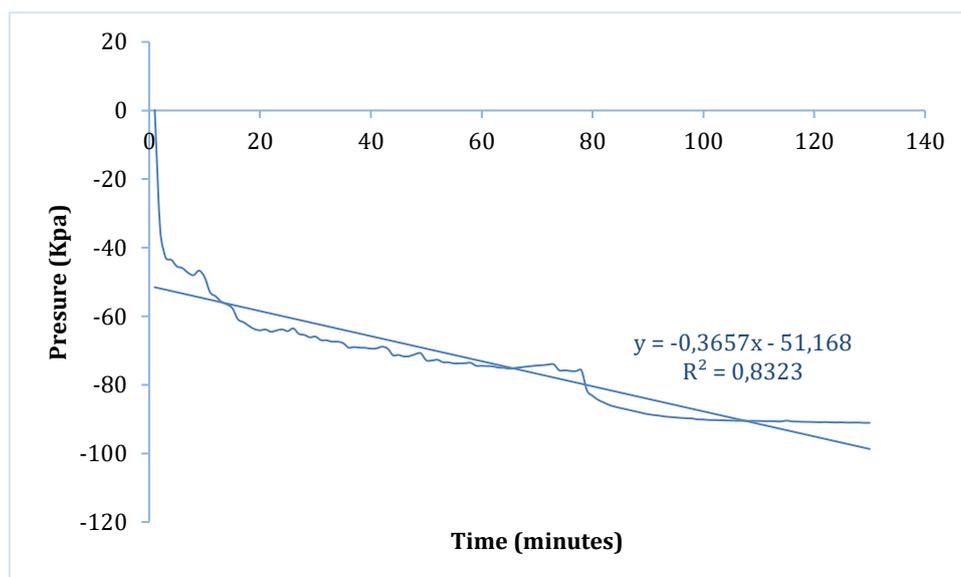
Gambar 4 Perubahan suhu madu pendinginan

Grafik ini membandingkan dua metode pendinginan madu pasca-pasteurisasi. Proses pendinginan konvensional menunjukkan nilai R^2 lebih besar dibandingkan dengan pendinginan menggunakan mesin pendingin vakum, yang menunjukkan bahwa data pada metode ini mengikuti pola penurunan suhu yang lebih stabil dan dapat diprediksi. Garis konvensional juga memiliki gradien yang lebih datar, menunjukkan bahwa suhu madu menurun lebih lambat dibandingkan dengan mesin pendingin vakum. Pada proses pendinginan penggunaan mesin vakum memiliki nilai R^2 yang sedikit lebih rendah, menandakan bahwa meskipun ada sedikit variasi, model linier tetap cukup sesuai dengan data. Gradien yang lebih curam pada metode vakum menunjukkan bahwa penurunan suhu terjadi lebih cepat, mencerminkan efisiensi mesin pendingin vakum dalam menurunkan suhu madu dalam waktu yang lebih singkat. Meskipun proses konvensional lebih stabil dan dapat diprediksi, mesin pendingin vakum lebih efisien dalam hal waktu pendinginan, meskipun memiliki kecocokan model yang sedikit lebih rendah.

Vacuum cooling bekerja dengan prinsip pengurangan tekanan udara di sekitar madu, yang menyebabkan penguapan air pada suhu yang lebih rendah dan mempercepat penurunan suhu. Metode ini dianggap lebih baik untuk menjaga kualitas madu karena penurunan suhu yang cepat dapat mengurangi risiko kerusakan nutrisi dan enzim alami pada madu (Cahyani *et al.*, 2021). Sementara itu, metode konvensional yang hanya mengandalkan pendinginan alami tidak cukup efisien dalam menurunkan suhu, sehingga berpotensi mempertahankan suhu tinggi lebih lama dan mengakibatkan kerusakan komponen bioaktif dalam madu. Proses pendinginan madu pasca pasteurisasi dilakukan pada penelitian Wibowo *et al.* (2024) menunjukkan bahwa pendinginan madu dengan mesin pendingin vakum lebih cepat dibandingkan dengan metode pendinginan konvensional.

Perubahan Tekanan Vakum

Proses pendinginan madu dilakukan bersama dengan pengurangan tekanan pada pendinginan madu menyebabkan volume uap air dalam madu meningkat dan menguap lebih cepat. Pengurangan tekanan menyebabkan penurunan titik didih, sehingga air dalam madu dapat menguap lebih cepat dan efisien pada suhu yang lebih rendah, membantu mempertahankan kualitas dan kandungan nutrisi madu.



Gambar 5. Perubahan tekanan vakum

Penurunan tekanan pada proses pendinginan terjadi hingga mencapai tekanan vakum -91 kPa. Penurunan signifikan terjadi pada menit ke 80, hal ini dikarenakan terjadi proses pecah buih saat proses pendinginan madu. Saat air dalam madu mendidih, uap air yang terbentuk menyebabkan terbentuknya gelembung-gelembung udara atau buih. Ketika tekanan terus berkurang, gelembung-gelembung ini pecah dan mengeluarkan uap air, sehingga mempercepat proses penguapan dan membantu menghilangkan kelembaban dari madu. Pecahnya buih juga membantu menghilangkan udara terperangkap dan meningkatkan kehalusan serta kualitas akhir madu. Dengan cara ini, madu bisa kental secara efektif tanpa perlu menggunakan suhu tinggi.

b. Perubahan berat pada bahan

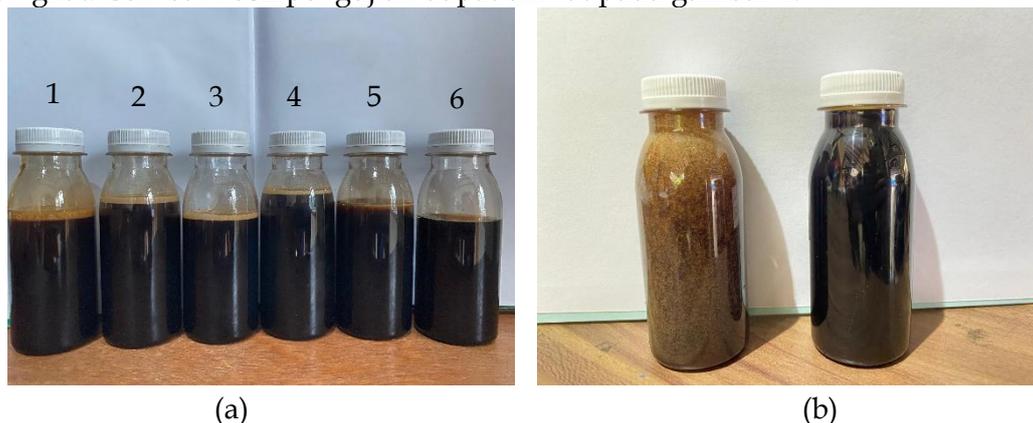
Berdasarkan data yang diperoleh pada tabel 1, terlihat adanya perbedaan dalam persentase berat madu yang tersisa setelah dilakukan berbagai metode pemrosesan. Pada metode pasteurisasi, semakin lama durasi pemrosesan, semakin besar penurunan berat yang terjadi. Hal ini mengindikasikan bahwa durasi pemanasan yang lebih panjang menyebabkan hilangnya kandungan air atau senyawa volatil pada madu, yang berkontribusi pada penurunan berat. Sementara itu, metode pendinginan vakum menghasilkan penurunan berat yang paling besar, dengan nilai 83% dari berat awal yang tersisa. Penurunan berat yang signifikan pada pendinginan vakum disebabkan oleh tekanan rendah yang mempercepat penguapan komponen cair, terutama air, dalam madu. Presentase penurunan berat madu ini lebih rendah dibandingkan dengan penelitian Wibowo *et al.* (2021).

Hasil pengukuran berat pada sampel dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Perubahan berat pada sampel

No	Sampel	Awal (gram)	Akhir (gram)	Presentase (%)
1	Pasteusisasi 5 jam	40.000	36.090	90,225%
2	<i>Vacuum cooling</i>	40.000	33.070	82,675%

Penurunan berat yang lebih besar pada pendinginan vakum dibandingkan pasteurisasi menunjukkan bahwa metode ini lebih efektif dalam mengurangi kadar air dalam waktu yang lebih singkat. Gambar hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.

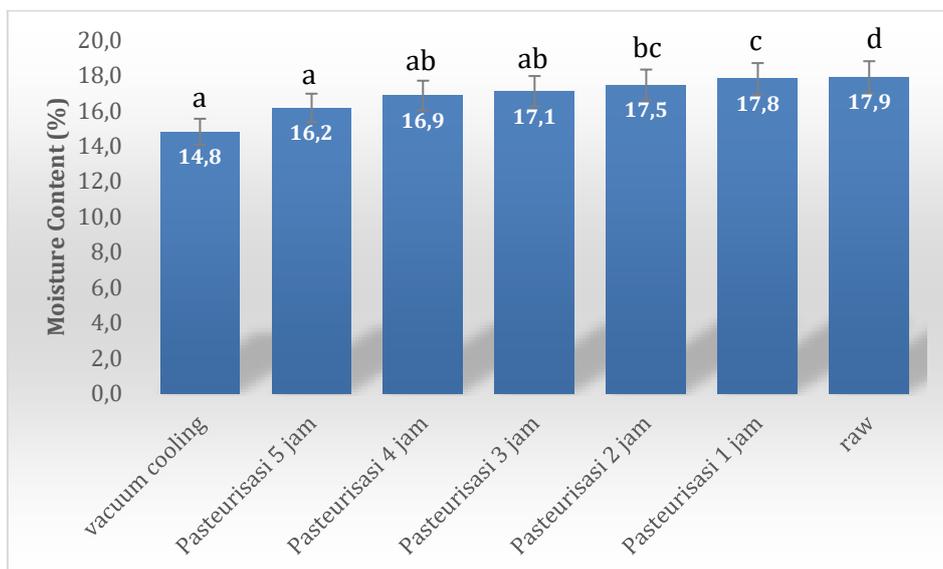


Gambar 6. Sampel madu. (a) madu pasteurisasi (1) 1 jam, (2) 2 jam, (3) 3 jam, (4) 4 jam, (5) 5 jam, (6) *vacuum cooling* (dari kiri ke kanan); (b) madu *raw material* (kiri) dan *vacuum cooling* (kanan).

c. Kadar Air

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada Gambar 7, kadar air madu yang diolah dengan berbagai metode, terlihat bahwa metode *vacuum cooling* memiliki kadar air paling rendah dibandingkan dengan metode pasteurisasi dan madu mentah (*raw*). Metode *vacuum cooling* menunjukkan kadar air sekitar 14%, yang lebih rendah daripada metode pasteurisasi

selama 5 jam, 4 jam, dan 3 jam. Hasil ini menunjukkan bahwa pendinginan vakum mampu menurunkan kadar air dengan lebih efektif dibandingkan pemanasan pada metode pasteurisasi, selaras dengan penelitian Lastryanto *et al.* (2023) terutama dengan durasi yang lebih panjang. Sebaliknya, kadar air tertinggi terdapat pada madu mentah (*raw*), yang tidak mengalami proses pengolahan termal, menunjukkan bahwa pemanasan dan pendinginan dapat membantu menurunkan kadar air madu, yang penting untuk stabilitas dan kualitas penyimpanan. Kadar air yang dihasilkan dengan metode *vacuum cooling* juga lebih rendah dari SNI madu nomor 8664 tahun 2018 yaitu maksimum 22% (Nasional, 2018). Nilai kadar air *raw* madu dalam penelitian ini sudah menunjukkan dibawah standar maksimum, hal tersebut dapat terjadi karena beberapa factor antara lain umur madu dalam sarang lebih lama, waktu pemanenan madu terjadi dimusim kemarau dan kelembaban lingkungan madu rendah (Wulandari, 2017). Madu tersebut masih terdapat ragi alami sehingga masih berpotensi mengalami fermentasi, sehingga perlu dilakukan penurunan kadar air.



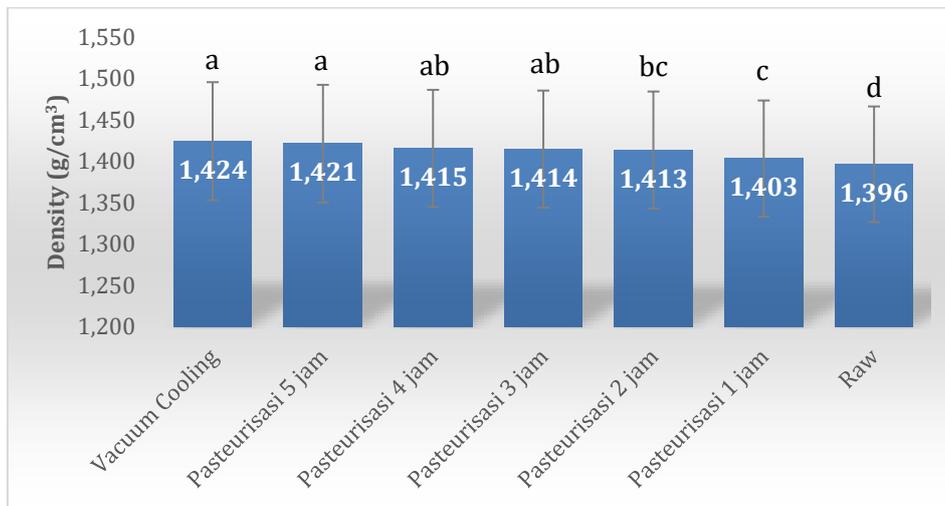
Gambar 7. Grafik uji anova berdasarkan kadar air madu

Dalam penelitian madu, kadar air merupakan salah satu parameter penting yang mempengaruhi kualitas dan umur simpan madu. Tingginya kadar air dalam madu dapat menyebabkan fermentasi dan menurunkan kualitas madu (Ávila *et al.*, 2018). Penurunan kadar air pada metode *vacuum cooling* lebih signifikan karena metode ini menggunakan penguapan di bawah tekanan rendah, yang mempercepat proses penghilangan air tanpa merusak komponen bioaktif di dalam madu (Zhu *et al.*, 2021). Berbeda dengan pasteurisasi, yang memerlukan pemanasan pada suhu tinggi dan waktu yang lama, *vacuum cooling* lebih efisien dalam menjaga kualitas madu dengan mempertahankan kandungan enzim dan senyawa bioaktif lainnya (Lin *et al.*, 2022).

Uji statistik menggunakan Anova menunjukkan perbedaan signifikan antar metode pengolahan terhadap kadar air madu, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 dengan notasi huruf di atas batang. Huruf yang berbeda menunjukkan adanya perbedaan signifikan pada hasil kadar air antara metode pengolahan yang diuji, yang mengindikasikan bahwa proses pengolahan mempengaruhi kadar air secara nyata. Hal ini mendukung teori bahwa metode pengolahan memiliki dampak terhadap komposisi fisik dan kimia madu, dan pemilihan metode yang tepat seperti *vacuum cooling* dapat meningkatkan kualitas akhir madu secara signifikan (Luo *et al.*, 2021).

d. Densitas

Densitas madu umumnya lebih tinggi sekitar 50% dari densitas air (0.99821 g/cm^3). Hal tersebut terjadi karena zat terlarut dalam air lebih sedikit dari zat terlarut madu (Saputri *et al.*, 2023). Berdasarkan hasil pengujian densitas madu yang diolah dengan berbagai metode, terlihat bahwa metode *vacuum cooling* menghasilkan nilai densitas tertinggi diantara metode lainnya, sedangkan madu mentah (*raw*) menunjukkan densitas terendah. Pada metode pasteurisasi selama 5 jam densitas madu mendekati densitas metode *vacuum cooling* karena lamanya proses pemanasan mengakibatkan madu mengalami penguapan air yang cukup banyak. Hal ini menunjukkan bahwa metode *vacuum cooling* mampu mempertahankan komposisi zat terlarut dalam madu lebih baik dibandingkan dengan metode pasteurisasi, yang cenderung mengalami penurunan densitas seiring dengan durasi pemanasan yang lebih singkat. Semakin tinggi densitas, maka kandungan zat terlarut seperti gula alami dalam madu tetap terjaga, sehingga madu memiliki tekstur dan kualitas yang lebih baik (Cornara *et al.*, 2017).



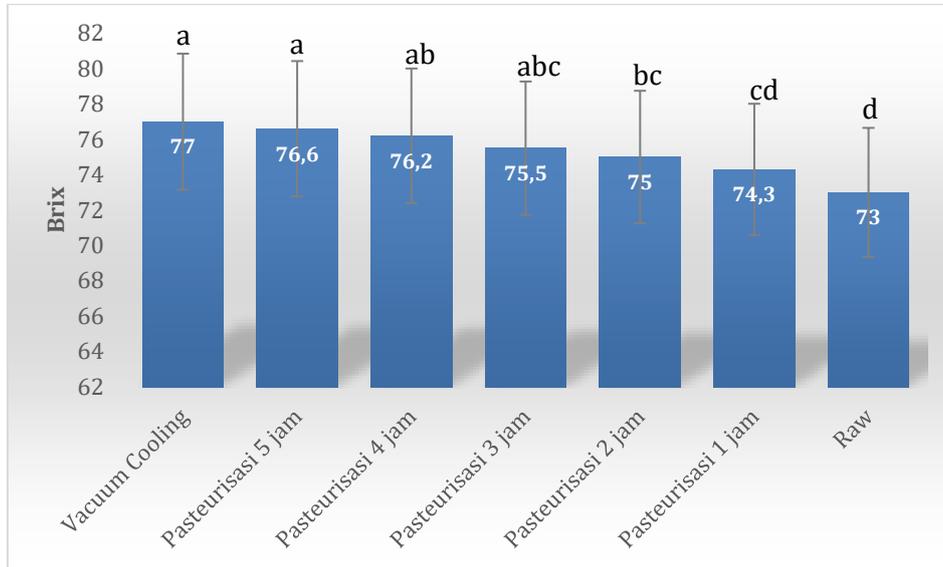
Gambar 8. Grafik uji anova berdasarkan densitas madu

Densitas madu berkaitan erat dengan kadar air dan komposisi zat terlarut, terutama gula, yang merupakan komponen utama madu. Nilai densitas yang lebih tinggi pada metode *vacuum cooling* menunjukkan bahwa teknik ini efektif dalam menjaga zat terlarut tetap stabil, karena proses pendinginan dilakukan di bawah tekanan rendah, sehingga mengurangi kehilangan komponen bioaktif dan zat terlarut (Zhu *et al.*, 2021). Berbeda dengan metode pasteurisasi yang menggunakan panas lebih lama, *vacuum cooling* lebih efektif dalam mempertahankan karakteristik fisik madu seperti densitas dan viskositas (Saputri *et al.*, 2023). Uji statistik menggunakan Anova menunjukkan adanya perbedaan signifikan pada densitas madu di antara berbagai metode pengolahan, yang ditandai dengan notasi huruf di atas batang pada grafik. Pengolahan madu dengan *vacuum cooling* dapat menjadi alternatif yang lebih unggul dalam menjaga densitas madu yang sesuai dengan standar kualitas, dibandingkan dengan metode pasteurisasi (Habibi *et al.*, 2020).

e. Total Padatan Terlarut

Dalam Sarig, (2011) U.S Patent Application Publication menyebutkan bahwa standar mutu gula yang baik pada madu berada di antara 76%-82%. Pada Gambar 9 hasil uji Anova terlihat adanya perbedaan signifikan dalam nilai total padatan terlarut madu antara berbagai metode pengolahan. Metode *vacuum cooling* dan pasteurisasi dengan waktu 5 jam menunjukkan nilai total padatan terlarut yang lebih tinggi yaitu 77% dan 76,6% dibandingkan dengan metode pasteurisasi yang dilakukan dengan durasi lebih singkat, serta dibandingkan

dengan madu mentah (*raw*). Hal tersebut menunjukkan bahwa madu yang diproses menggunakan alat evaporator *vacuum cooling for in one* sudah memenuhi standar dalam total padatan terlarut. Hal ini menunjukkan bahwa metode pengolahan yang lebih lembut, seperti *vacuum cooling*, mampu mempertahankan total padatan terlarut madu yang lebih tinggi, yang dapat diartikan sebagai kualitas nutrisi dan kekentalan madu yang lebih baik (Sobulska & Zbicinski, 2021).



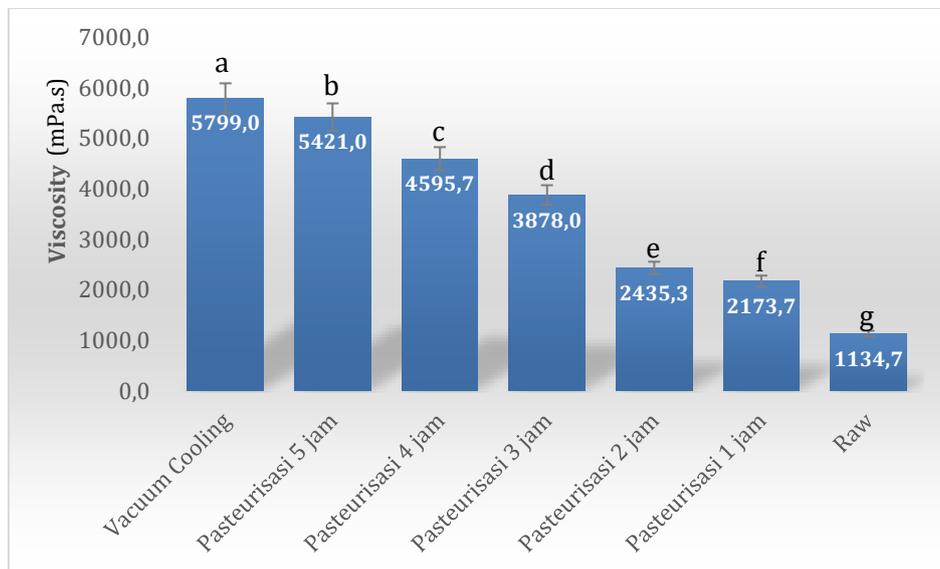
Gambar 9. Hasil uji anova berdasarkan total padatan terlarut madu

Metode pemanasan dapat menyebabkan penguapan air, yang akan meningkatkan konsentrasi gula dalam madu, namun juga berpotensi merusak senyawa-senyawa sensitif panas (Wibowo *et al.*, 2022). Metode *vacuum cooling*, yang bekerja pada tekanan rendah, memungkinkan penguapan air tanpa memerlukan suhu tinggi, sehingga komponen nutrisi yang sensitif terhadap panas dapat lebih terjaga (Zarei *et al.*, 2019). Penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh temperatur dan tekanan dalam proses pengolahan madu juga mendukung temuan ini, bahwa metode pemanasan berlebih pada madu cenderung mengurangi kandungan enzim dan antioksidan (White Jr, 1978). Dengan demikian, *vacuum cooling* dapat menjadi alternatif yang lebih baik dalam mempertahankan kualitas madu yang diolah.

f. Viskositas

Pada penelitian ini nilai viskositas madu sangat berbeda antara berbagai metode pengolahan. Metode *vacuum cooling* menghasilkan viskositas madu tertinggi, diikuti oleh pasteurisasi dengan waktu yang lebih lama (5 jam hingga 1 jam), sementara madu mentah (*raw*) memiliki viskositas terendah. Nilai viskositas sejalan dengan nilai kadar air, dimana semakin rendah kadar air maka semakin tinggi nilai viskositas madu. Pada hasil penelitian (Sari, 2023), tentang karakteristik madu daerah Sulawesi Tenggara menunjukkan viskositas madu belum diolah (*raw*) bernilai 10,26 poise atau 1026 mPa.s pada kadar air 21%. Hasil tersebut menunjukkan hal yang sama dengan nilai viskositas madu *raw* akasia yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 1134,7 mPa.s. Viskositas yang tinggi pada madu yang diproses dengan *vacuum cooling* menunjukkan bahwa metode ini dapat mempertahankan struktur madu dengan lebih baik, karena penurunan tekanan pada *vacuum cooling* memungkinkan penguapan air pada suhu rendah tanpa merusak struktur gula dan enzim dalam madu (Zarei *et al.*, 2019). Sebaliknya, penurunan viskositas pada madu yang dipasteurisasi dengan suhu tinggi dalam waktu singkat menunjukkan bahwa panas berlebih

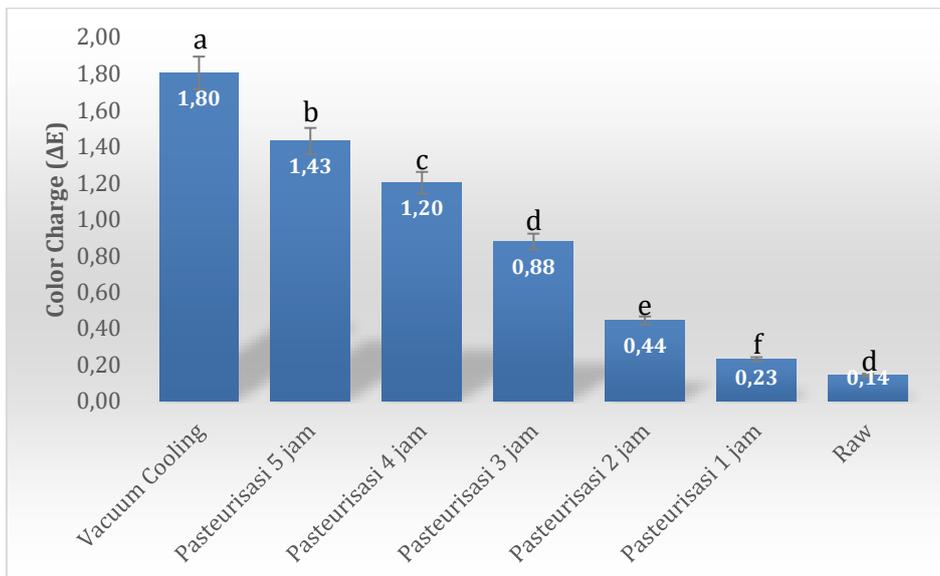
dapat mengurangi ikatan molekuler dalam madu, sehingga mengurangi kekentalannya (Ahmed *et al.*, 2007). Viskositas madu yang lebih tinggi sering kali diasosiasikan dengan kualitas madu yang lebih baik dalam hal tekstur dan kandungan nutrisi (Dissanayake, 2023).



Gambar 10. Hasil uji anova berdasarkan viskositas madu

g. Warna

Ada perbedaan signifikan dalam perubahan warna (ΔE) madu antara berbagai teknik pengolahan, seperti yang ditunjukkan oleh hasil uji Anova yang ditunjukkan pada Gambar 11. Pendinginan vakum menghasilkan perubahan warna terbesar; metode pasteurisasi memerlukan waktu yang lebih lama, seperti lima atau empat jam. Madu mentah (*raw*) memiliki perubahan warna paling kecil, yang menunjukkan bahwa tanpa pemanasan atau dengan pemanasan singkat, warna asli madu dapat lebih terjaga.



Gambar 11. Hasil uji anova berdasarkan warna madu

Perubahan warna madu selama pemanasan sebagian besar disebabkan oleh reaksi Maillard dan karamelisasi. Pada perlakuan *vacuum cooling* perubahan warna terjadi akibat kadar air yang rendah mencapai $<17\%$, sehingga menyebabkan reaksi maillard yaitu reaksi

antara asam amino dan gula reduksi dalam madu, menghasilkan pigmen coklat yang meningkatkan nilai ΔE . Sedangkan pada perlakuan pasteurisasi tanpa pendinginan vakum perubahan warna terjadi akibat pemanasan yang berlebihan karena panjangnya durasi pemanasan, sehingga mengakibatkan proses karameliasi yaitu gula sederhana terurai menjadi komponen warna gelap (Hasam *et al.*, 2020).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penerapan teknologi *evaporator vacuum cooler Four in One* pada skala industri dapat menghasilkan kualitas fisik madu akasia sesuai dengan standart yang berlaku. Penggunaan teknologi vakum ini menghasilkan madu dengan kadar air jauh di bawah batas maksimum SNI kadar air madu, densitas madu menunjukkan telah memenuhi standar densitas madu pada umumnya, total padatan terlarut madu menjadi memenuhi standart yang berlaku, viskositas madu menunjukkan kenaikan yang signifikan yang menandakan madu memiliki kualitas yang bagus, dan warna yang lebih pekat menandakan kadar air yang rendah dibandingkan metode pasteurisasi dengan pendinginan konvensional, hal tersebut menunjukkan penggunaan teknologi *evaporator vacuum cooling four in one* dapat menjadi metode yang baik dalam pengolahan madu dibandingkan dengan metode konvensional berdasarkan kualitas fisik madu.

Saran

Penelitian lebih lanjut disarankan untuk mengeksplorasi efektivitas teknologi *Evaporator Vacuum Cooling Four in One* pada jenis madu lainnya untuk memastikan konsistensi hasil pada berbagai varietas. Selain itu, uji stabilitas kualitas madu dalam jangka waktu penyimpanan yang lebih panjang juga perlu dilakukan untuk memastikan ketahanan produk dalam distribusi

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Lastrindo Engineering yang telah memberikan kontribusi berupa teknis dan dukungan materi, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik

DAFTAR REFERENSI

- Ahmed, J., Ramaswamy, H. S., Ayad, A., Alli, I., & Alvarez, P. (2007). Effect of high-pressure treatment on rheological, thermal and structural changes in Basmati rice flour slurry. *Journal of Cereal Science*, 46(2), 148-156.
- Anwariyah, R., Lastriyanto, A., & Sumarlan, S. H. (2018). Efek penggorengan berulang menggunakan vacuum frying terhadap kualitas fisik dan kimia minyak goreng pada penggorengan ikan lele (*Clarias Gariepinus B.*). *Journal of Tropical Agricultural Engineering Biosystems-Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 6(2), 172-178.
- Ávila, S., Beux, M. R., Ribani, R. H., & Zambiasi, R. C. (2018). Stingless bee honey: Quality parameters, bioactive compounds, health-promotion properties and modification detection strategies. *Trends in Food Science Technology*, 81, 37-50.
- Cahyani, S. A., Lastriyanto, A., Sutan, S. M., & Sumardi, S. (2021). The effects of vacuum cooling to post-pasteurized honey on diastase enzyme activity and physical properties of Riau Forest Honey. *Canrea Journal: Food Technology, Nutritions, Culinary Journal*, 114-122.
- Cornara, L., Biagi, M., Xiao, J., & Burlando, B. (2017). Therapeutic properties of bioactive compounds from different honeybee products. *Frontiers in pharmacology*, 8, 412.
- Dissanayake, M. (2023). Abstract book of Undergraduate Research Symposium. *Faculty of Agricultural Sciences, Sabaragamuwa University of Sri Lanka*.

- Habibi, N. A., Palupi, N. H. S., & Sitanggang, A. B. (2020). Stabilitas madu herbal dengan penambahan emulsifier dan antioksidan menggunakan metode spontan. *Indonesian Journal of Industrial Research*, 10(2), 111-120.
- Hasam, S., Qarizada, D., & Azizi, M. (2020). A review: honey and its nutritional composition. *Asian Journal of Research in Biochemistry*, 7(3), 34-43.
- Hegazi, N. M., Elghani, G. E. A., & Farag, M. A. (2022). The super-food Manuka honey, a comprehensive review of its analysis and authenticity approaches. *Journal of Food Science Technology*, 59(7), 2527-2534.
- Iftikhar, A., Nausheen, R., Mukhtar, I., Iqbal, R. K., Raza, A., Yasin, A., & Anwar, H. (2023). The regenerative potential of honey: A comprehensive literature review. *Journal of Apicultural Research*, 62(1), 97-112.
- Kang, T., You, Y., & Jun, S. (2020). Supercooling preservation technology in food and biological samples: A review focused on electric and magnetic field applications. *Food science biotechnology*, 29, 303-321.
- Lastriyanto, A., Wibowo, S. A., Anam, K., Muzaki, M. A., Vera, V. V., & Prayogi, I. Y. (2023). Uji Fungsional Metode Ohmic Heating Terhadap Perubahan Mutu Madu Karet Pada Proses Pasteurisasi. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 11(2), 314-324.
- Lin, H., Zhao, S., Han, X., Guan, W., Liu, B., Chen, A., . . . Wang, J. (2022). Effect of static magnetic field extended supercooling preservation on beef quality. *Food Chemistry*, 370, 131264.
- Luo, X., Dong, Y., Gu, C., Zhang, X., & Ma, H. (2021). Processing technologies for bee products: An overview of recent developments and perspectives. *Frontiers in Nutrition*, 8, 727181.
- Machado, A. (2022). Volatile chemical characterization and biological activity assessment of Portuguese honey types: importance of botanical origin.
- 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.
- Nasional, B. S. (2018). Standar Nasional Indonesia SNI 8664: 2018 Madu. In.
- Nintyas, S., & Caesaron, D. (2015). Pengaruh Kecepatan Putar Spindel Dalam Dengan Metode Anova. *Journal of Industrial Engineering Management System*, 8(1), 70-78.
- Park, D. H., Lee, S., Lee, J., Kim, E. J., Jo, Y.-J., Kim, H., . . . Hong, G.-P. (2021). Stepwise cooling mediated feasible supercooling preservation to extend freshness of mackerel fillets. *LWT*, 152, 112389.
- Pérez-Rosas, M. A., García-Guevara, Y. N., Fuentes-Rubio, Y. A., Domínguez-Cruz, R. F., Baldovino-Pantaleón, O., & Romero-Galván, G. J. A. S. (2024). Multimodal Interference-Based Fiber Optic Sensors for Glucose and Moisture Content Detection in Honey. *14(17)*, 7914.
- Perri, G., Coda, R., Rizzello, C. G., Celano, G., Ampollini, M., Gobbetti, M., . . . Calasso, M. (2021). Sourdough fermentation of whole and sprouted lentil flours: In situ formation of dextran and effects on the nutritional, texture and sensory characteristics of white bread. *Food Chemistry*, 355, 129638.
- Saputri, N. A., Pathiassana, M. T., Gaibi, N., Septiani, A. D., & Pathiussina, R. T. (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.
- Sari, D. N. (2023). Karakteristik Madu Hutan Lebah Apis Dorsata Daerah Sulawesi Tenggara Ditinjau Dari Sifat Fisika-Kimia. *Cokroaminoto Journal of Chemical Science*, 5(2), 42-46.
- Sarig, Y., O. Sarig, & E. Siegler. 2011. U.S. Patent Application Publication: Semi-Solid Honey-Based Products. United States. Diakses dari <https://patents.google.com/patent/WO2010052703A1>

- Sobulska, M., & Zbicinski, I. (2021). Advances in spray drying of sugar-rich products. *Drying Technology*, 39(12), 1774-1799.
- Tarapoulouzi, M., Mironescu, M., Drouza, C., Mironescu, I. D., & Agriopoulou, S. (2023). Insight into the recent application of Chemometrics in quality analysis and characterization of bee honey during processing and storage. *Foods*, 12(3), 473.
- White Jr, J. W. (1978). Honey. *Advances in food research*, 24, 287-374.
- Wibowo, S. A., Lastriyanto, A., Hawa, L. C., Erwan, E., Junus, M., Jaya, F., . . . Lamerkabel, J. (2021). Unjuk Kinerja Alat Pasteurisasi pada Proses Pasteurisasi Madu: Studi Kasus PT Kembang Joyo Sriwijaya. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 9(1), 11-21.
- Wibowo, S. A., Lastriyanto, A., Sumarlan, S., Susilo, B., Prayogi, I., Muzaki, M., . . . Anam, K. (2024). Water Jet Vacuum Cooling System For Improving The Quality Of Multiflora Honey From Bee (*Apis Dorsata Fabricus*) In Indonesia. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition Development*, 24(4).
- Wibowo, S. A., Lastriyanto, A., Vera, V. V., Susilo, B., Sumarlan, S. H., Hawa, L. C., & Zubaidah, E. (2022). Analisis Mutu Madu Setelah Proses Pasteurisasi dan Pendinginan Cepat. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 10(2), 203-212.
- Wulandari, D. D. J. J. K. R. (2017). Analisa kualitas madu (keasaman, kadar air, dan kadar gula pereduksi) berdasarkan perbedaan suhu penyimpanan. 2(1), 16-22.
- Yu, H., Mei, J., & Xie, J. (2022). New ultrasonic assisted technology of freezing, cooling and thawing in solid food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 90, 106185.
- Zarei, M., Fazlara, A., & Tulabifard, N. (2019). Effect of thermal treatment on physicochemical and antioxidant properties of honey. *Heliyon*, 5(6).
- Zhu, Z., Li, T., & Sun, D.-W. (2021). Pressure-related cooling and freezing techniques for the food industry: fundamentals and applications. *Critical Reviews in Food Science Nutrition*, 61(17), 2793-2808.