

Pembuatan Alat Ukur Kekentalan Madu Lebah *Trigona* (*Trigona Sp.*) Berbasis Arduino dengan Metode Bola Jatuh

Daniel Saputra¹, Suhendra^{2*}, Feby Nopriandy³, Rahmadanti⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sambas
Jl. Raya Sejangkung, Desa Sebyan, Sambas, Kalimantan Barat

*Korespondensi: aka.suhendra@yahoo.com

(Diterima 15 Januari 2024; Disetujui 26 Januari 2024; Dipublikasi 30 Januari 2024)

Abstrak

Kualitas madu sangat dipengaruhi oleh tingkat kekentalan madu. Semakin tinggi nilai kekentalan madu maka semakin baik kualitas madu tersebut. Nilai kekentalan madu dipengaruhi oleh kandungan air yang terdapat pada madu. Kadar air yang rendah membuat madu bisa bertahan lama karena tidak mudah terfermentasi dan sebaliknya. Upaya untuk mengatasi permasalahan ini, perlu dilakukan penelitian yang bertujuan merekayasa dan melakukan uji fungsional terhadap alat yang dapat mengukur tingkat kekentalan madu lebah *Trigona*. Metode yang diterapkan pada alat ukur adalah menggunakan metode bola jatuh dengan sensor cahaya. Tahapan pelaksanaan penelitian meliputi tahapan desain alat, pembuatan dan perakitan komponen, pembuatan program, kalibrasi, pengujian dan analisis data. Nilai kekentalan madu diperoleh dari perhitungan viskositas dinamik. Pembacaan kekentalan diperoleh ketika bola logam dijatuhkan dalam tabung berisi cairan yang diukur waktu tempuhnya dari titik awal ke titik akhir. Data tersebut akan dicatat melalui program Arduino Uno dan ditampilkan pada LCD sebagai nilai kekentalan. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Uno R3 yang dibantu oleh dua sensor cahaya yang berjarak 120 mm sebagai pendeteksi bola logam yang jatuh. Hasil rata – rata pengukuran kekentalan madu menggunakan alat ukur kekentalan madu hasil rekayasa sebesar $0,28 \text{ Ns/m}^2$ dengan rata-rata tingkat akurasi alat 82,35%.

Kata kunci: alat ukur, bola jatuh, kekentalan madu, lebah *Trigona*

Abstract

The quality of honey was greatly influenced by the level of honey viscosity. The higher the honey viscosity value, the better the quality of the honey. The viscosity value of honey was influenced by the water content in the honey. Low water content makes honey last a long time because it does not ferment easily and vice versa. It was necessary to carry out research aimed at constructing and carrying out functional tests on tools that can measure the viscosity level of Trigona bee honey. The method applied to the measuring instrument was using the falling ball method with a light sensor. The research implementation stages include tool design, component manufacturing and assembly, program creation, calibration, testing and data analysis. The viscosity value of honey was obtained from dynamic viscosity calculations. Viscosity readings are obtained when a metal ball was dropped in a tube containing a liquid and the travel time from the start point to the end point was measured. This data will be recorded via the Arduino Uno program and displayed on the LCD as a viscosity value. The microcontroller used was an Arduino Uno R3 which is assisted by two light sensors located 120 mm apart to detect falling metal balls. The average result of measuring honey viscosity using an engineered honey viscosity measuring instrument was 0.28 Ns/m^2 with an average level of instrument accuracy of 82.35%.

Keywords: falling balls, honey viscosity, measuring instruments, Trigona bees

1. PENDAHULUAN

Madu adalah zat yang diperoleh dari serangga penghasil madu seperti lebah. Madu berbentuk cairan dihasilkan dari sari bunga yang dikumpulkan dan disimpan dalam kantong-kantong madu yang terdapat pada sarang lebah tersebut. Kandungan mineral yang terdapat dalam madu antara lain natrium, kalsium, magnesium, aluminium, besi, fosfor, dan kalium. Pemanfaatan madu selain untuk konsumsi, juga digunakan untuk produk kesehatan, produk kecantikan, dan lain-lain. Madu dihasilkan oleh jenis lebah hutan (*apis dorasta*), lebah Australia (*apis mellifera*), dan lebah lokal (*apis indica*) [1]. Jenis lebah lain yang cukup populer adalah lebah tanpa sengat yang termasuk dalam genus *Trigona* dan *melipona* yang biasa disebut gala-gala, klanceng, tewel, atau kelulut [2].

Lebah *Trigona* atau kelulut merupakan jenis serangga sosial yang membentuk koloni dengan jumlah 300-80.000 ekor lebah. Lebah ini terkenal ramah pada manusia, tidak memiliki sengat dan mudah beradaptasi pada lingkungan baru [3]. Koloni lebah dalam satu sarang dibedakan menjadi lebah pekerja, lebah jantan dan ratu lebah. Setiap golongan memiliki tugas dan bentuk fisik yang berbeda-beda namun memiliki hubungan yang saling ketergantungan [2]. Produk yang dihasilkan oleh lebah ini selain madu adalah propolis dan pollen yang banyak dimanfaatkan dalam dunia kesehatan.

Madu asli sangat digemari karena diyakini memiliki khasiat yang lebih baik dibanding dengan madu kemasan. Madu berkualitas ditentukan oleh berbagai hal seperti konduktivitas listrik, pH, rotasi optik, dan viskositas madu [4]. Madu yang kental atau memiliki viskositas tinggi menunjukkan bahwa madu tersebut memiliki kualitas yang baik. Tingkat viskositas madu dipengaruhi oleh kandungan air yang terdapat pada madu tersebut. Menurut SNI kadar air maksimal

pada madu adalah kurang dari 22% yang diukur menggunakan refraktometer, dan tingkat kekentalan pada madu minimal 10 Poise.

Berdasarkan kondisi tersebut perlu direkayasa alat yang dapat mengukur tingkat kekentalan madu sehingga kualitas madu bisa diketahui. Selama ini penelitian yang khusus membahas tentang alat ukur kekentalan madu masih belum dilakukan. Konsep pengukuran kekentalan madu dapat dilakukan menggunakan pendekatan terhadap alat ukur kekentalan yang telah dibuat atau diteliti.

Beberapa penelitian tentang alat ukur kekentalan yang telah dilakukan diantaranya pembuatan alat ukur kekentalan minyak goreng menggunakan metode viskositas stokes dengan sensor cahaya [5]. Dari penelitian tersebut dapat diketahui nilai viskositas yang tinggi menunjukkan minyak goreng berkualitas baik. Penelitian lain berupa pembuatan alat pengukuran viskositas digital menggunakan sensor efek *hall* berbasis Arduino [6]. Ketepatan alat ukur viskositas ini cukup tinggi dengan ketepatan rata-rata dari alat ini adalah 95,8%. Rancang bangun alat uji kekentalan oli dengan metode bola jatuh dan sensor cahaya [7] memiliki nilai regresi 0,991 pada saat temperatur oli naik dengan kesalahan rata-rata sebesar 1,17%. Nilai regresi 0,977 dengan kesalahan rata-rata sebesar 2,94% diperoleh ketika temperatur oli turun. Alat uji viscometer sistem bola jatuh berbasis digital menggunakan sensor cahaya [8]. Hasil pengukuran terhadap oli Mesran Super SAE 20 W-50 pada suhu $\pm 40^{\circ}\text{C}$ pada jarak 40-55 cm didapatkan waktu jatuh bola untuk oli Mesran Super selama 1077 ms dengan viskositas 0,13 kg/m.s.

Berdasarkan kondisi tersebut, metode bola jatuh banyak digunakan untuk mengukur kekentalan cairan karena memiliki sistem yang sederhana dan hasil pembacaan yang baik. Oleh karena itu, pada penelitian ini metode

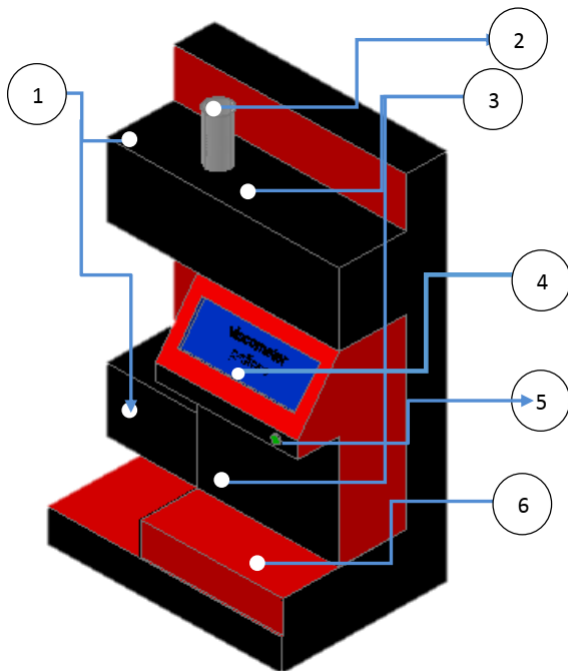
yang digunakan untuk mengukur kekentalan madu kelulut adalah metode bola jatuh dengan bantuan sensor cahaya.

Tujuan penelitian ini adalah membuat alat ukur kekentalan madu *Trigona* menggunakan sensor cahaya dengan metode bola jatuh serta melakukan uji kinerja alat ukur kekentalan madu yang telah dibuat.

2. METODOLOGI

Tahapan umum pelaksanaan penelitian meliputi desain alat, pembuatan dan perakitan komponen, pembuatan program, kalibrasi, pengujian dan analisis data.

Desain alat ukur kekentalan madu dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain alat ukur kekentalan madu

Keterangan Gambar :

1. Laser
2. Tabung ukur
3. Sensor cahaya
4. Display LCD
5. Tombol reset
6. Arduino uno

Pengaturan sistem pada alat menggunakan Arduino UNO dengan Mikrokontroler berupa Atmega 328. Jenis ini dipilih karena memiliki, konsumsi daya kecil dan kemampuan proses cepat [9]. Pembacaan data pada alat ukur kekentalan madu menggunakan sensor cahaya. Sensor bekerja berdasarkan bola logam yang dijatuhkan dalam tabung cairan untuk melewati sensor, ketika cahaya dari laser diode terhalang oleh bola yang dijatuhkan, sensor akan mulai bekerja menghitung waktu jatuh bola tersebut dari sensor 1 dan berakhir pada sensor 2. Kemudian data waktu tersebut diolah secara otomatis dan hasil akhirnya berupa nilai viskositas yang ditampilkan pada layar LCD 16x2.

Alat dan bahan yang akan digunakan dalam pengujian alat ukur kekentalan madu yaitu alat ukur kekentalan, bola logam dan madu lebah *Trigona*. Data yang diambil dalam pengujian adalah data massa jenis madu dan viskositas dinamik madu.

1. Massa jenis madu.

Massa jenis madu diperoleh dari perbandingan massa dengan volume madu. Massa jenis madu dapat dihitung dengan persamaan 1 [10]:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

Keterangan :

ρ : massa jenis (kg/m^3)

m : massa (kg)

v : volume (m^3)

2. Viskositas dinamik

Viskositas dinamik madu dapat dihitung menggunakan persamaan 2 [11].

$$\mu = \frac{2 \cdot g \cdot r^2 (\rho_{bola} - \rho_{fluida})}{9 \cdot v} \quad (2)$$

Keterangan :

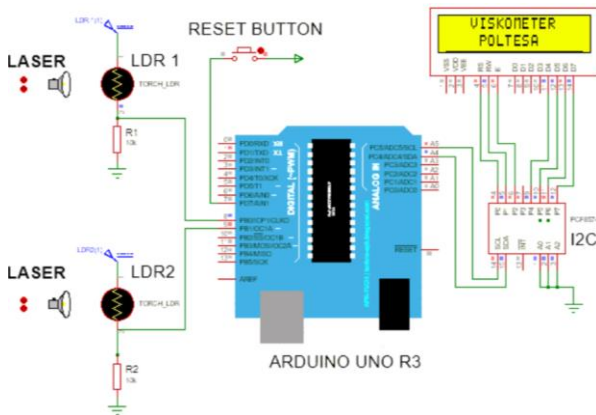
μ : viskositas dinamik fluida (Pa.s)

g : percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

ρ_{bola} : massa jenis bola (kg/m^3)

ρ_{fluida} : massa jenis cairan (kg/m^3)

v : kecepatan jatuh bola (m/s)



Gambar 2. Skema rangkaian alat ukur kekentalan madu

Nilai kekentalan madu diperoleh dari perhitungan viskositas dinamik menggunakan persamaan 2. Program yang dibuat selanjutnya menampilkan nilai kekentalan madu berdasarkan hasil perhitungan pada display LCD alat ukur kekentalan madu.

Alat ukur kekentalan madu perlu dikalibrasi terlebih dahulu sebelum dilakukan uji keakurasian alat. Kalibrasi merupakan tindakan pemeriksaan terhadap tingkat akurasi alat dengan memadankan suatu standar yang sudah memiliki nilai tetap dan bisa dijadikan sebagai acuan untuk mengkoreksi tingkat akurasi alat ukur kekentalan madu. Bahan yang digunakan untuk kalibrasi adalah oli Mesran SAE 20w-50.

Tabel 1. Spesifikasi oli Mesran super SAE 20W-50[12]

TYPICAL CHARACTERISTICS	
	MESRAN SUPER
No. SAE	20W-50
Specific density, 15°C	0.8873
Viscosity kinematic, at 40°C, cSt	172.57
100°C, cSt	18.81
Apperant Viscosity, at - 15°C, cP	7500
Viscosity index,	122
Colour, ASTM	3.0
Flash point, °C	225
Pour point, °C	-27
API SF, TBN, mg KOH/gr	5.66
API SG, TBN, mg KOH/gr	6.40

Kalibrasi dilakukan dengan cara mengukur tingkat kekentalan cairan yang sudah diketahui nilai kekentalannya yaitu oli Mesran SAE 20W-50. Pengukuran bertujuan untuk mendapatkan nilai faktor koreksi. Faktor koreksi didapatkan dengan cara membagi nilai yang didapatkan secara teori dan nilai yang didapatkan dari hasil pengukuran. Setelah mendapatkan faktor koreksi selanjutnya angka tersebut akan diinput ke dalam program Arduino.

Pengukuran menggunakan alat hasil rekayasa selanjutnya dibandingkan dengan nilai standar yang telah diperoleh untuk mengetahui nilai akurasi pengukuran. Nilai akurasi pengukuran dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$NA = \frac{\text{Nilai pengukuran}}{\text{Nilai standar}} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan :

NA : nilai akurasi (%)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengukuran Massa Jenis Madu

Pengukuran massa jenis diperlukan untuk mengetahui massa jenis madu lebah *Trigona* yang akan diukur kekentalannya. Rata-rata hasil pengukuran diperoleh massa jenis madu adalah $1,23 \text{ kg/m}^3$. Data hasil pengukuran dimasukkan ke dalam persamaan 1 yang digunakan untuk mengukur tingkat kekentalan madu. Hasil perhitungan dari persamaan 1, selanjutnya di masukkan ke dalam persamaan pada program Arduino Uno.

3.2. Hasil Pembuatan Alat Ukur

Alat ukur kekentalan madu dibuat menggunakan metode bola jatuh berbasis Arduino Uno menggunakan sumber tegangan 5 volt yang berasal dari *power supply*. Bentuk alat ukur kekentalan madu yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Alat ukur kekentalan madu hasil rekayasa

Alat ukur kekentalan madu ini memiliki *input* dan *output*. Sistem input berupa *push button* untuk mereset angka yang telah ditampilkan ke kondisi awal, sedangkan untuk sistem *output* berupa LCD berfungsi untuk menampilkan waktu tempuh, dan hasil perhitungan viskositas. Spesifikasi alat ukur kekentalan madu dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi alat ukur kekentalan madu

Spesifikasi	Dimensi
Dimensi P x L x T	140 x 100 x 230 mm
Bobot alat	756 g
Diameter bola	12,20mm
Diameter tabung	15 mm
Panjang tabung	230 mm
Tegangan input	5 volt DC
Microcontroller	Arduino uno R3
Sensor	LDR
Pencahayaannya	Laser
Jarak sensor	150 mm
Display	LCD 16x2

3.3. Pengukuran Akurasi Alat

Pengukuran akurasi alat ukur kekentalan madu digunakan untuk mengetahui tingkat akurasi alat untuk mengetahui nilai kekentalan madu lebah *Trigona*. Data hasil pengukuran nilai kekentalan madu lebah *Trigona* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data hasil pengujian alat kekentalan madu

Pengujian	Kekentalan hasil pengukuran		Kekentalan standar (Ns/m ²)	Akurasi pengukuran
	poise	Ns/m ²		
Bahan madu 1	2,9	0,29	0,34	85,29%
Bahan madu 2	3,2	0,32	0,34	94,12%
Bahan madu 3	2,6	0,26	0,34	76,47%
Bahan madu 4	2,8	0,28	0,34	82,35%
Bahan madu 5	2,8	0,28	0,34	82,35%
Bahan madu 6	2,5	0,25	0,34	73,53%
Bahan madu 7	3,0	0,30	0,34	88,24%
Bahan madu 8	2,6	0,26	0,34	76,47%
Bahan madu 9	2,7	0,27	0,34	79,41%
Bahan madu 10	2,9	0,29	0,34	85,29%
Nilai rata-rata	2,8	0,28	0,34	82,35%

Berdasarkan hasil pengujian, rata-rata nilai kekentalan madu lebah *Trigona* hasil pengukuran sebesar 0,28 Ns/m² dengan nilai kekentalan madu standar 0,34 Ns/m². Hasil analisis menunjukkan bahwa alat ukur kekentalan madu kelulut hasil rekayasa memiliki tingkat akurasi 82,35%.

Dibandingkan dengan alat yang telah ada menggunakan metode yang sama yaitu bola jatuh, alat ini masih kurang akurasinya. Hasil pengujian kekentalan madu menggunakan alat ukur kekentalan madu tersebut memperoleh akurasi pengukuran 95,8% [6].

Tingkat akurasi alat ukur kekentalan yang dibuat sangat dipengaruhi oleh kondisi intensitas cahaya, disamping itu akurasi alat juga dipengaruhi oleh gesekan antara bola dan dinding tabung. Kondisi tersebut dapat diatasi dengan melakukan pengukuran pada kondisi ruangan dengan intensitas cahaya yang rendah, gesekan antara bola dan dinding tabung dapat diatasi dengan memperbesar ukuran diameter tabung, serta mengganti tabung dengan bentuk persegi panjang. Alat ukur ini secara keseluruhan sudah dapat digunakan. Akan tetapi, masih perlu dilakukan kalibrasi lebih lanjut untuk meningkatkan tingkat akurasi alat ukur ini.

4. KESIMPULAN

Alat ukur kekentalan madu hasil rekayasa memiliki dimensi panjang 140 mm, lebar 100 mm dan tinggi 230 mm dengan panjang tabung ukur 210 mm. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Uno R3 yang dibantu oleh dua sensor cahaya yang berjarak 120 mm sebagai pendeteksi bola logam yang jatuh. Display tampilan informasi pada alat ukur menggunakan LCD 16x2.

Hasil rata – rata pengukuran kekentalan madu menggunakan alat ukur kekentalan madu hasil rekayasa sebesar $0,28 \text{ Ns/m}^2$ dengan rata-rata tingkat akurasi alat 82,35%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Suranto, *Khasiat dan Manfaat Madu Herbal*. Jakarta: AgroMedia Pustaka, 2005.
- [2] Suhendra and F. Nopriandy, *Lebah Trigona, Petunjuk Budidaya dan Teknis Panen Madu*, Pertama. Solok: Insan Cendekia Mandiri, 2021.
- [3] BPPTHHBK, “Panduan Singkat Budidaya Breeding Lebah Trigona sp,” Lombok Barat, NTB, 2018. [Online]. Available: www.mataram.litbang.menklhk.go.id
- [4] D. Apriani, Gusnedi, and Y. Darvina, “Studi Tentang Nilai Viskositas Madu Hutan dari Beberapa Daerah di Sumatera Barat untuk Mengetahui Kualitas Madu,” *Pillar Of Physics*, vol. 2, pp. 91–98, 2013.
- [5] A. Sudarmanto, “Pembuatan Alat Uji Kekentalan Minyak Goreng dengan Menggunakan Metode Viskositas Stokes untuk Praktikum Fisika Dasar 1 Jurusan Tadris Fisika Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan IAIN Walisongo,” *Phenomenon*, vol. 4, no. 2, pp. 51–62, Oct. 2014.
- [6] P. N. Tissos, Kamus, and Z. Kamus, “Pembuatan Sistem Pengukuran Viskositas Fluida Secara Digital Menggunakan Sensor Efek Hall UGN3503 Berbasis Arduino UNO328,” *Saintek*, vol. 6, no. 1, pp. 71–83, 2014.
- [7] N. A. Arsis, D. Dahlan, Harmadi, and M. Suari, “Rancang Bangun Alat Ukur Kekentalan Oli Sae 10-30 Menggunakan Metode Falling Ball Viscosimeter (FBV) Small Tube,” *Jurnal Ilmu Fisika*, vol. 9, no. 2, pp. 76–86, 2017.
- [8] R. A. Wibowo, “Pembuatan Alat Uji Viskometer Sistem Bola Jatuh Berbasis Digital,” Universitas Lampung, Bandar Lampung, 2018.
- [9] F. Nopriandy, S. Suhendra, and L. Dedy Anjiu, “Kajian Eksperimental Mesin Sangrai Kopi Semi Otomatis Tipe Drum Rotari,” *TURBO*, vol. 12, no. 2, pp. 161–168, 2023, doi: 10.24127/trb.v12i2.2313.
- [10] Suhendra, *Konsep Dasar dan Aplikasi Mekanika Fluida Bidang Teknik Mesin*, vol. 1. Ponorogo: Uwais Inspirasi Indonesia, 2019.
- [11] Warsito, S. W. Suciayati, and D. Isworo, “Desain dan Analisis Pengukuran Viskositas dengan Metode Bola Jatuh

Berbasis Sensor Optocoupler dan Sistem Akuisisinya pada Komputer,” *Jurnal Natur Indonesia*, vol. 14, no. 3, pp. 230–235, 2012.

- [12] Pertamina, “Pertamina Mesran Super 20W-5 Car Oil,” <https://m.en.indotrading.com>. Accessed: Nov. 12, 2023. [Online]. Available: <https://m.en.indotrading.com/nusaindah-internasional/mesran-super-20w-p441296.aspx>