

pengaruh kecepatan dan waktu sentrifugasi terhadap viskositas susu kedelai menggunakan alat sentrifugal skala labolatorium

Faiz sahrullah maulana¹, Arya Mahendra Sakti², Nurul Ainu softi³, Dyah Riandadari⁴

^{1,2,3,4}Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia 60231

E-mail: faizsahrullah.22006@mhs.unesa.ac.id

Abstrak: Susu kedelai merupakan minuman nabati yang mutu fisiknya sangat dipengaruhi oleh viskositas, terutama akibat keberadaan partikel padat halus (*okara*) yang tersuspensi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kecepatan dan lama waktu putaran alat sentrifugal terhadap viskositas susu kedelai. Penelitian dilakukan secara eksperimental menggunakan rancangan faktorial 3×3 dengan dua faktor, yaitu kecepatan putaran sentrifugal (700, 900, dan 1100 rpm) dan lama waktu sentrifugasi (15, 20, dan 25 menit). Setiap kombinasi perlakuan dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan ($n = 3$). Pengujian viskositas dilakukan menggunakan viskometer rotasional pada suhu terkontrol 25 ± 1 °C. Data dianalisis menggunakan analisis varians dua arah (ANOVA) pada taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan putaran, lama waktu sentrifugasi, serta interaksi antara kedua faktor tersebut berpengaruh signifikan terhadap viskositas susu kedelai ($p < 0,05$). Nilai viskositas berada pada rentang 14,531–44,194 cP, dengan kecenderungan peningkatan viskositas pada kecepatan putaran yang lebih tinggi akibat efek gaya geser dan perubahan struktur koloid sistem susu kedelai. Kombinasi kecepatan 900 rpm dan lama waktu sentrifugasi 20 menit menghasilkan viskositas yang paling stabil dan mendekati karakteristik susu kedelai komersial pada kondisi pengujian ini. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar rekomendasi teknis dalam pengendalian parameter operasi sentrifugasi untuk menghasilkan viskositas susu kedelai yang stabil.

Kata kunci: sentrifugasi, kecepatan putaran, waktu sentrifugasi, viskositas, susu kedelai.

Abstract: Soy milk is a plant-based beverage whose physical quality is strongly influenced by viscosity, particularly due to the presence of finely suspended solid particles (*okara*). This study aimed to analyze the effects of centrifugal rotation speed and centrifugation time on the viscosity of soy milk. The experiment was conducted using a 3×3 factorial design with two factors: centrifugal rotation speed (700, 900, and 1100 rpm) and centrifugation time (15, 20, and 25 minutes). Each treatment combination was replicated three times ($n = 3$). Viscosity measurements were performed using a rotational viscometer at a controlled temperature of 25 ± 1 °C. The data were analyzed using two-way analysis of variance (ANOVA) at a significance level of 5% ($\alpha = 0.05$). The results showed that rotation speed, centrifugation time, and their interaction had a significant effect on the viscosity of soy milk ($p < 0.05$). The viscosity values ranged from 14.531 to 44.194 cP, with a tendency for viscosity to increase at higher rotation speeds due to shear effects and changes in the colloidal structure of the soy milk system. A combination of 900 rpm rotation speed and 20 minutes of centrifugation time produced the most stable viscosity and was closest to the characteristics of commercial soy milk under the experimental conditions. These findings are expected to serve as a technical basis for controlling centrifugation operating parameters to obtain stable soy milk viscosity.

Keywords: centrifugation, rotation speed, centrifugation time, viscosity, soy milk

© 2026, JRM (Jurnal Rekayasa Mesin) dipublikasikan oleh ejournal Teknik Mesin Fakultas Vokasi UNESA.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi pangan berbasis nabati menuntut produk minuman yang memiliki mutu fisik stabil dan konsisten, khususnya pada parameter viskositas. Susu kedelai merupakan salah satu minuman nabati yang banyak dikonsumsi karena

kandungan protein nabati dan manfaat kesehatannya sebagai alternatif susu hewani. Namun, dalam proses produksinya, susu kedelai masih sering mengalami ketidakstabilan viskositas akibat keberadaan partikel padat halus (*okara*) yang tidak terpisah secara sempurna. Partikel tersuspensi tersebut meningkatkan

hambatan alir sehingga menyebabkan viskositas susu kedelai lebih tinggi dari nilai yang diharapkan, yang pada akhirnya menurunkan kualitas sensori dan kestabilan produk selama penyimpanan.[1]

Pada praktik pengolahan konvensional, pemisahan fase cair dan padat umumnya dilakukan melalui pengendapan alami atau penyaringan manual. Metode tersebut memerlukan waktu proses yang lama dan belum mampu menghilangkan partikel okara berukuran halus secara efektif. Akibatnya, viskositas susu kedelai yang dihasilkan menjadi tidak seragam dan sulit dikendalikan. Dalam pengembangan produk minuman nabati, viskositas merupakan parameter mutu penting yang perlu dijaga pada rentang tertentu agar sesuai dengan karakteristik produk cair yang mudah diminum dan diterima oleh.[2]

Sentrifugasi merupakan metode pemisahan yang memanfaatkan gaya sentrifugal untuk mempercepat pengendapan partikel berdasarkan perbedaan massa jenis. Penerapan sentrifugasi pada sistem cair-padat dilaporkan mampu menurunkan jumlah partikel tersuspensi secara signifikan, sehingga berpotensi menurunkan viskositas fluida. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan putaran sentrifugal dapat mempercepat laju sedimentasi partikel halus dan memperbaiki kestabilan sifat fisik suspensi [3]. Namun, kecepatan putaran yang terlalu tinggi dapat menimbulkan gesekan mekanis yang berpotensi meningkatkan suhu dan memengaruhi struktur protein terlarut.

Kecepatan putaran sentrifugal merupakan parameter utama yang menentukan besar gaya sentrifugal yang bekerja pada partikel. Peningkatan kecepatan akan meningkatkan gaya sentrifugal sehingga mempercepat pemisahan partikel padat dari fase cair, yang berdampak pada penurunan viskositas susu kedelai. Di sisi lain, lama waktu sentrifugasi juga berpengaruh terhadap efektivitas pemisahan. Waktu putaran yang lebih lama memungkinkan partikel halus mengendap secara lebih sempurna, namun setelah mencapai kondisi tertentu, penambahan waktu tidak lagi memberikan perubahan viskositas yang signifikan dan berpotensi menurunkan efisiensi proses.

Secara teoritis, hubungan antara viskositas dan proses pemisahan partikel dapat dijelaskan melalui pendekatan hukum Stokes, di mana laju sedimentasi partikel berbanding terbalik dengan viskositas fluida. Semakin rendah viskositas, semakin mudah partikel bergerak dan mengendap dari medium cair. Oleh karena itu, pengendalian viskositas susu kedelai melalui pengaturan kondisi sentrifugasi menjadi aspek penting dalam pengolahan minuman nabati yang berkualitas [4]

Meskipun sejumlah penelitian telah mengkaji pengaruh sentrifugasi terhadap karakteristik suspensi,

kajian yang secara khusus menganalisis pengaruh kombinasi variasi kecepatan dan lama waktu putaran sentrifugal terhadap viskositas susu kedelai masih terbatas. Sebagian besar penelitian hanya memfokuskan pada satu parameter operasi atau membahas karakteristik fisik secara umum tanpa analisis mendalam terhadap perubahan viskositas. Hal ini menunjukkan adanya celah penelitian terkait penentuan kondisi operasi sentrifugasi yang paling efektif dalam mengendalikan viskositas susu kedelai.

Secara praktis, viskositas susu kedelai yang dapat diterima sebagai minuman cair umumnya berada pada rentang 35–40 cP, di mana nilai tersebut dianggap mampu memberikan tekstur yang cukup kental namun tetap mudah diminum dan stabil selama penyimpanan. Viskositas yang terlalu rendah menyebabkan susu kedelai terasa encer dan mudah mengalami pemisahan fase, sedangkan viskositas yang terlalu tinggi dapat menurunkan tingkat penerimaan konsumen. Pada proses pengolahan konvensional menggunakan filtrasi gravitasi atau penyaringan manual, pengendalian viskositas masih sulit dicapai karena proses pemisahan partikel padat halus (okara) berlangsung lambat dan tidak konsisten, sehingga mutu produk yang dihasilkan cenderung bervariasi.

Beberapa penelitian sebelumnya melaporkan bahwa sentrifugasi mampu mempercepat pemisahan partikel tersuspensi dan meningkatkan kestabilan sifat fisik susu kedelai. Namun, sebagian besar penelitian tersebut hanya mengkaji satu parameter operasi, seperti kecepatan putaran atau waktu sentrifugasi secara terpisah, serta belum banyak membahas kombinasi pengaruh kecepatan dan lama waktu putaran terhadap perubahan viskositas secara kuantitatif. Selain itu, pelaporan parameter sentrifugasi pada beberapa studi masih terbatas pada nilai RPM tanpa mempertimbangkan besarnya gaya sentrifugal relatif (RCF), sehingga hasil penelitian sulit dibandingkan secara teknis.

Oleh karena itu, kebaruan (novelty) dari penelitian ini terletak pada analisis pengaruh kombinasi variasi kecepatan dan lama waktu putaran alat sentrifugal terhadap viskositas susu kedelai, dengan pendekatan berbasis prinsip gaya sentrifugal dan teori sedimentasi partikel. Penelitian ini tidak hanya membandingkan hasil perlakuan dengan produk susu kedelai komersial sebagai pembanding mutu, tetapi juga bertujuan untuk menentukan kondisi operasi sentrifugasi yang paling efektif dalam menghasilkan viskositas susu kedelai yang stabil dan sesuai dengan karakteristik minuman cair. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar rekomendasi teknis dalam pengendalian parameter proses sentrifugasi, khususnya untuk aplikasi pada skala laboratorium hingga industri kecil dan menengah.

Berdasarkan latar belakang, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kecepatan dan lama waktu putaran alat sentrifugal terhadap viskositas susu kedelai. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan parameter operasi sentrifugasi yang optimum untuk menghasilkan viskositas susu kedelai yang stabil dan sesuai karakteristik produk minuman. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan model hubungan statistik antara kecepatan dan waktu sentrifugasi terhadap viskositas, serta menjadi dasar rekomendasi pengoperasian alat sentrifugal yang efisien dan aplikatif, khususnya pada skala industri kecil dan menengah.

DASAR TEORI

Sentrifugasi

Sentrifugasi merupakan metode pemisahan komponen campuran berdasarkan perbedaan densitas dengan memanfaatkan gaya sentrifugal. Pada proses ini, sampel cair atau suspensi diputar dengan kecepatan tertentu sehingga partikel dengan massa jenis lebih besar terdorong menjauhi pusat putaran dan mengendap di dinding tabung, sedangkan partikel dengan massa jenis lebih kecil tetap berada pada fase cair. [2], dan [5], teknik sentrifugasi banyak digunakan dalam bidang biologi, kimia, dan industri pangan karena mampu mempercepat proses pemisahan yang tidak efektif apabila hanya mengandalkan gaya gravitasi. Dengan demikian, alat sentrifugal berfungsi sebagai pengganda gaya gravitasi yang mempercepat sedimentasi partikel di dalam fluida.

Gaya sentrifugal dan Relative Centrifugal Force (RCF)

Secara fisika, gaya sentrifugal yang bekerja pada suatu partikel di dalam rotor dinyatakan dengan persamaan:

$$F = m \cdot \omega^2 \cdot r \quad (1)$$

Sumber: [6]

Dimana:

F = gaya sentrifugal (N)

m = massa partikel (kg)

ω = kecepatan sudut (rad s^{-1})

r = jarak partikel dari pusat putaran (m)

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa besar gaya sentrifugal dipengaruhi oleh massa partikel, kecepatan sudut, dan jari-jari putaran. Dalam praktik laboratorium, gaya sentrifugal umumnya dinyatakan dalam bentuk Relative Centrifugal Force (RCF) atau *g-force*, yang menunjukkan berapa kali percepatan gravitasi bekerja pada partikel. Nilai RCF dirumuskan sebagai:

$$RCF = 1,118 \times 10^{-5} \cdot r \cdot (Rpm)^2 \quad (2)$$

Sumber: [7]

Dimana:

RCF = Relative Centrifugal Force ($\times g$)

r = jari-jari rotor (cm),

rpm = kecepatan putaran (putaran per menit).

Persamaan ini menunjukkan bahwa nilai RCF tidak hanya ditentukan oleh kecepatan putaran, tetapi juga oleh radius rotor. Oleh karena itu, pelaporan RPM tanpa mencantumkan radius rotor tidak cukup untuk membandingkan hasil sentrifugasi antar penelitian.

Sumber: Dokumen pribadi

Kecepatan (rpm)	Radius rotor (cm)	RCF (g)
700	10	55 g
900	10	91 g
1100	10	135 g

Pada penelitian ini digunakan radius rotor sebesar 10 cm. Berdasarkan persamaan (2), nilai RCF yang dihasilkan pada variasi kecepatan putaran 700, 900, dan 1100 rpm masing-masing sebesar 55 g, 91 g, dan 135 g. Peningkatan kecepatan putaran menyebabkan peningkatan nilai RCF secara signifikan, sehingga gaya sentrifugal yang bekerja pada partikel tersuspensi menjadi semakin besar.

Teori Sedimentasi Partikel dan Hubungannya dengan Viskositas

Proses sedimentasi partikel dalam medium cair dapat dijelaskan menggunakan Hukum Stokes, yang menyatakan bahwa kecepatan pengendapan partikel berbentuk bola dinyatakan sebagai:

$$v = \frac{d^3(p_p - p_f)a}{18\mu} \quad (3)$$

Sumber: [8]

Dimana:

v = kecepatan sedimentasi (m s^{-1})

d = diameter partikel (m)

p_p = densitas partikel (kg m^{-3})

p_f = densitas fluida (kg m^{-3})

a = percepatan (m s^{-2}) baik gravitasi maupun sentrifugal,

μ = viskositas fluida ($\text{Pa} \cdot \text{s}$).

Berdasarkan persamaan tersebut, laju sedimentasi meningkat dengan bertambahnya ukuran partikel, perbedaan densitas antara partikel dan fluida, serta percepatan yang bekerja. Sebaliknya, viskositas fluida berbanding terbalik dengan kecepatan sedimentasi. Fluida dengan viskositas tinggi memberikan hambatan alir yang lebih besar terhadap pergerakan partikel, sehingga memperlambat proses pengendapan dan memerlukan gaya sentrifugal yang lebih besar atau waktu putaran yang lebih lama.

Dalam sistem susu kedelai, viskositas dipengaruhi oleh fraksi padatan tersuspensi, ukuran partikel okara, suhu, serta gaya geser (*shear*) selama proses pemisahan. Peningkatan kecepatan dan lama waktu sentrifugasi akan meningkatkan gaya sentrifugal dan durasi kerja gaya tersebut, sehingga jumlah partikel tersuspensi halus berkurang. Penurunan fraksi padatan tersuspensi ini menyebabkan viskositas susu kedelai menurun dan menjadi lebih

stabil. Oleh karena itu, pengaturan kecepatan dan lama waktu putaran sentrifugal merupakan faktor penting dalam pengendalian viskositas susu kedelai sesuai dengan karakteristik produk minuman cair.

Namun demikian, pada sistem koloid seperti susu kedelai, peningkatan kecepatan dan lama waktu sentrifugasi tidak hanya berperan dalam pemisahan partikel padat, tetapi juga dapat memicu redistribusi protein dan lemak serta peningkatan gaya geser. Kondisi ini pada batas tertentu justru dapat meningkatkan viskositas fluida akibat terbentuknya struktur koloid yang lebih rapat dan stabil.

METODE

Jenis dan Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan pendekatan kuantitatif. Rancangan percobaan yang digunakan adalah faktorial 3×3 dengan dua variabel bebas, yaitu kecepatan putaran sentrifugal dan lama waktu sentrifugasi. Variasi kecepatan putaran yang digunakan meliputi 700 rpm, 900 rpm, dan 1100 rpm, sedangkan variasi lama waktu sentrifugasi adalah 15 menit, 20 menit, dan 25 menit.

Setiap kombinasi perlakuan dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan ($n = 3$) untuk meningkatkan reliabilitas data dan mengurangi kesalahan eksperimental. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah viskositas susu kedelai.

Alat dan bahan

Bahan utama yang digunakan adalah susu kedelai segar yang diproduksi secara homogen dari bahan baku kedelai yang sama untuk seluruh perlakuan. Susu kedelai komersial digunakan sebagai pembanding karakteristik viskositas.

Peralatan yang digunakan meliputi alat sentrifugal skala laboratorium dengan jari-jari rotor 10 cm, viskometer rotasional, tabung sentrifugal, gelas ukur, termometer digital, dan tachometer untuk verifikasi kecepatan putaran.

Prosedur pengujian

Susu kedelai dimasukkan ke dalam tabung sentrifugal dengan volume yang sama untuk setiap perlakuan. Proses sentrifugasi dilakukan sesuai dengan kombinasi kecepatan dan lama waktu yang telah ditentukan. Kecepatan putaran diverifikasi menggunakan tachometer untuk memastikan kestabilan selama proses. Setelah proses sentrifugasi selesai, sampel fase cair diambil secara hati-hati untuk pengujian viskositas.

Pengujian Viskositas

Pengujian viskositas dilakukan menggunakan viskometer rotasional pada suhu 25 ± 1 °C. Nilai viskositas dinyatakan dalam satuan centipoise (cP).

Setiap pengukuran dilakukan setelah alat mencapai kondisi stabil untuk meminimalkan kesalahan pembacaan. Nilai viskositas yang digunakan dalam analisis merupakan nilai rata-rata dari tiga kali pengulangan.

Analisis Data

Data viskositas dianalisis secara deskriptif dan inferensial. Penyajian data dilakukan dalam bentuk tabel dan grafik untuk menunjukkan kecenderungan pengaruh kecepatan dan lama waktu sentrifugasi terhadap viskositas susu kedelai. Analisis inferensial dilakukan menggunakan analisis varians dua arah (ANOVA) untuk menguji pengaruh faktor kecepatan, faktor waktu, serta interaksi kecepatan \times waktu terhadap viskositas.

Sebelum dilakukan ANOVA, data diuji asumsi homogenitas varians menggunakan uji Levene. Seluruh pengujian statistik dilakukan pada taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan pada penelitian ini disusun berdasarkan data hasil pengujian viskositas yang telah direvisi, disajikan sebagai nilai rata-rata dari tiga kali pengulangan ($n = 3$) pada setiap kombinasi perlakuan kecepatan dan lama waktu sentrifugasi. Seluruh interpretasi hasil merujuk langsung pada kecenderungan data eksperimen serta hasil analisis statistik, sehingga pembahasan yang disampaikan konsisten dengan data dan tidak bersifat spekulatif.

Hasil pengujian viskositas (mPa.s)

Kecepatan (rpm)	Waktu (menit)	Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3	Rata rata
700	15	14280 mPa.s	14531 mPa.s	14710 mPa.s	14507 mPa.s
700	20	15020 mPa.s	15310 mPa.s	15190 mPa.s	15173 mPa.s
700	25	15840 mPa.s	16090 mPa.s	15960 mPa.s	15963 mPa.s
900	15	36520 mPa.s	37210 mPa.s	36980 mPa.s	36903 mPa.s
900	20	37540 mPa.s	37975 mPa.s	38210 mPa.s	37908 mPa.s
900	25	38820 mPa.s	39210 mPa.s	38950 mPa.s	38993 mPa.s
1100	15	43210 mPa.s	43890 mPa.s	43540 mPa.s	43547 mPa.s
1100	20	44010 mPa.s	44194 mPa.s	44530 mPa.s	44245 mPa.s
1100	25	45210 mPa.s	45840 mPa.s	45590 mPa.s	45547 mPa.s

Tabel pengujian viskositas menunjukkan nilai viskositas susu kedelai pada berbagai kombinasi kecepatan putaran dan lama waktu sentrifugasi. Nilai viskositas berada pada rentang 14,531–44,194 cP, dengan nilai terendah diperoleh pada kecepatan 700 rpm dan nilai tertinggi pada kecepatan 1100 rpm. Seluruh nilai yang ditampilkan merupakan hasil rata-rata dari tiga kali pengulangan ($n = 3$) pada suhu pengujian 25 ± 1 °C.

Kecepatan dengan Viskositas

Faktor A

Berdasarkan grafik hubungan kecepatan putaran sentrifugal terhadap viskositas, terlihat bahwa peningkatan kecepatan dari 700 rpm hingga 1100 rpm menunjukkan kecenderungan peningkatan viskositas susu kedelai. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan putaran tidak hanya berpengaruh pada pemisahan partikel padat, tetapi juga memengaruhi sifat reologi sistem susu kedelai secara keseluruhan.

Pada sistem koloid seperti susu kedelai, peningkatan kecepatan putaran dapat meningkatkan gaya geser dan redistribusi protein terlarut serta fraksi lemak, sehingga membentuk struktur koloid yang lebih rapat dan stabil. Kondisi ini meningkatkan hambatan alir fluida dan tercermin sebagai peningkatan viskositas terukur, sebagaimana juga dilaporkan oleh [4] dan [9]

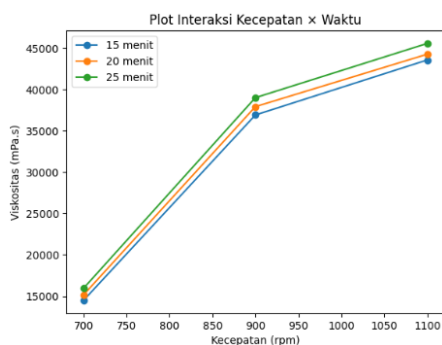
Waktu dengan viskositas

Faktor B

Grafik hubungan lama waktu sentrifugasi terhadap viskositas menunjukkan bahwa waktu putaran memberikan pengaruh terhadap stabilitas viskositas susu kedelai. Pada waktu sentrifugasi yang terlalu singkat, proses pemisahan partikel belum berlangsung optimal, sedangkan pada waktu yang terlalu lama terjadi kecenderungan peningkatan viskositas akibat akumulasi efek gaya geser dan perubahan struktur fluida selama proses pemutaran.”

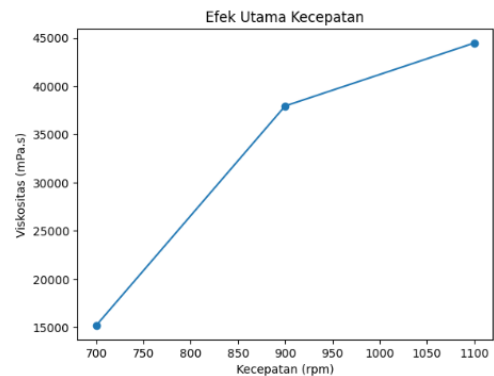
Berdasarkan data, waktu sentrifugasi 20 menit menunjukkan nilai viskositas yang relatif lebih stabil dibandingkan 15 dan 25 menit, yang mengindikasikan tercapainya keseimbangan antara efektivitas pemisahan partikel dan stabilitas struktur koloid susu kedelai.

Plot interaksi kecepatan dengan waktu



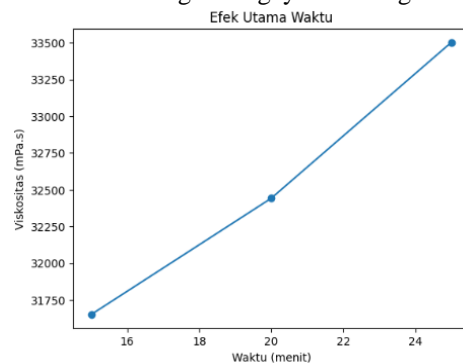
Hasil penelitian juga menunjukkan adanya interaksi antara kecepatan putaran dan lama waktu sentrifugasi terhadap viskositas susu kedelai. Peningkatan kecepatan putaran pada waktu sentrifugasi yang sama tidak selalu menghasilkan perubahan viskositas yang linier, yang mengindikasikan bahwa efek gaya sentrifugal bergantung pada durasi kerja gaya tersebut. Dengan demikian, pengendalian viskositas tidak dapat ditentukan hanya oleh satu parameter operasi,

melainkan oleh kombinasi kecepatan dan waktu



sentrifugasi.

Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan[4] dan [10] yang melaporkan bahwa perubahan parameter proses pada pengolahan susu kedelai tidak hanya memengaruhi laju sedimentasi partikel, tetapi juga berdampak pada sifat reologi sistem secara keseluruhan. Peningkatan gaya sentrifugal dan durasi



proses dapat memicu perubahan distribusi partikel dan interaksi protein–air, yang pada kondisi tertentu justru meningkatkan viskositas fluida.

Kondisi kecepatan 900 rpm dengan lama waktu sentrifugasi 20 menit direkomendasikan sebagai kondisi operasi yang paling mendekati karakteristik viskositas susu kedelai komersial dalam penelitian ini. Namun, rekomendasi ini dibatasi pada parameter viskositas dan kondisi pengujian yang digunakan, sehingga diperlukan kajian lanjutan dengan parameter mutu tambahan untuk menentukan kondisi optimum secara komprehensif. Signifikannya interaksi antara kecepatan dan lama waktu sentrifugasi menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan putaran tidak memberikan efek yang sama pada setiap durasi waktu sentrifugasi. Pada durasi tertentu, peningkatan kecepatan memperkuat efek gaya geser dan redistribusi protein serta partikel koloid, sehingga meningkatkan hambatan alir fluida dan menyebabkan kenaikan nilai kekentalan.

Fenomena ini sejalan dengan karakteristik sistem koloid susu kedelai, di mana perubahan kondisi mekanis tidak hanya memengaruhi pemisahan partikel padat, tetapi juga struktur mikro dan interaksi antar komponen terlarut, sebagaimana dilaporkan oleh [3] Arfina et al. (2023) dan Fujii et al. (2017).[9]

Uji anova

Descriptive Statistics

Dependent Variable: kekentalan

kecepatan putaran (rpm)	lama waktu (menit)	Mean	Std. Deviation	N
700.00	15.00	14507.0000	216.00231	3
	20.00	15173.3333	145.71662	3
	25.00	15963.3333	125.03333	3
	Total	15214.5556	647.69343	9
900.00	15.00	36903.3333	351.33080	3
	20.00	37908.3333	339.93872	3
	25.00	38993.3333	198.57828	3
	Total	37935.0000	942.88122	9
1100.00	15.00	43546.6667	340.04902	3
	20.00	44244.6667	263.67657	3
	25.00	45546.6667	317.22757	3
	Total	44446.0000	918.83023	9
Total	15.00	31652.3333	13179.54529	9
	20.00	32442.1111	13240.96107	9
	25.00	33501.1111	13457.39615	9
	Total	32531.8519	12794.96510	27

Tabel hasil uji anova menyajikan statistik deskriptif nilai kekentalan susu kedelai pada setiap kombinasi kecepatan putaran dan lama waktu sentrifugasi. Data menunjukkan bahwa nilai kekentalan meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan putaran, dengan nilai rata-rata terendah diperoleh pada kecepatan 700 rpm dan nilai tertinggi pada kecepatan 1100 rpm. Variasi lama waktu sentrifugasi juga menunjukkan perbedaan nilai kekentalan, khususnya pada kombinasi kecepatan menengah dan tinggi. Seluruh nilai yang disajikan merupakan hasil rata-rata dari tiga kali pengulangan ($n = 3$) pada setiap kombinasi perlakuan.

Analisis varians dua arah (ANOVA) dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh kecepatan putaran, lama waktu sentrifugasi, serta interaksi antara kedua faktor tersebut terhadap kekentalan susu kedelai. Model analisis yang digunakan meliputi faktor kecepatan, faktor waktu, dan interaksi kecepatan \times waktu. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa kecepatan putaran memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekentalan susu kedelai ($p < 0,05$). Lama waktu sentrifugasi juga menunjukkan pengaruh yang signifikan ($p < 0,05$). Selain itu, interaksi antara kecepatan putaran dan lama waktu sentrifugasi berpengaruh signifikan terhadap kekentalan ($p < 0,05$), yang menunjukkan bahwa efek kecepatan terhadap kekentalan bergantung pada lama waktu sentrifugasi yang diterapkan.

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

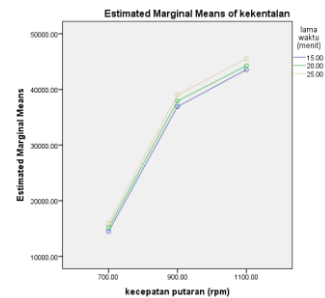
Dependent Variable: kekentalan

F	df1	df2	Sig.
.674	8	18	.708

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + Kecepatan + Waktu + Kecepatan * Waktu

Sebelum dilakukan analisis varians, data kekentalan diuji terlebih dahulu terhadap asumsi homogenitas varians menggunakan uji Levene. Hasil uji Levene menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,708 ($p > 0,05$), yang mengindikasikan bahwa varians antar kelompok perlakuan bersifat homogen. Dengan demikian, data memenuhi asumsi dasar untuk dilakukan analisis varians (ANOVA) dua arah.



Berdasarkan hasil analisis deskriptif, grafik, dan ANOVA dua arah, kombinasi kecepatan 900 rpm dan lama waktu sentrifugasi 20 menit direkomendasikan sebagai kondisi operasi yang menghasilkan kekentalan paling stabil dan mendekati karakteristik susu kedelai komersial pada kondisi pengujian ini. Namun demikian, rekomendasi ini masih terbatas pada parameter kekentalan, sehingga diperlukan evaluasi lanjutan dengan parameter mutu tambahan untuk penentuan kondisi optimum secara menyeluruh.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis statistik yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa variasi kecepatan putaran dan lama waktu sentrifugasi berpengaruh signifikan terhadap viskositas susu kedelai. Peningkatan kecepatan putaran dari 700 rpm hingga 1100 rpm cenderung meningkatkan nilai viskositas, yang menunjukkan bahwa efek gaya geser dan redistribusi struktur koloid turut berperan selain proses pemisahan partikel padat. Lama waktu sentrifugasi juga memengaruhi stabilitas viskositas, di mana waktu 20 menit menunjukkan kecenderungan nilai viskositas yang lebih stabil dibandingkan waktu 15 dan 25 menit.

Hasil analisis varians dua arah menunjukkan bahwa faktor kecepatan, faktor waktu, serta interaksi antara keduanya berpengaruh signifikan terhadap viskositas susu kedelai ($p < 0,05$), dengan asumsi homogenitas varians terpenuhi. Berdasarkan hasil tersebut, kombinasi kecepatan putaran 900 rpm dan lama waktu sentrifugasi 20 menit direkomendasikan sebagai kondisi operasi yang menghasilkan viskositas paling stabil dan mendekati karakteristik susu kedelai komersial pada kondisi pengujian ini. Namun demikian, rekomendasi ini masih terbatas pada parameter viskositas dan skala laboratorium.

Saran

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan evaluasi parameter mutu tambahan seperti rendemen

cair, total padatan tersuspensi, pH, dan stabilitas emulsi guna memperoleh gambaran kualitas susu kedelai secara lebih komprehensif. Selain itu, pengaruh suhu selama proses sentrifugasi serta pengujian pada variasi nilai Relative Centrifugal Force (RCF) yang lebih luas perlu dikaji untuk memperkuat analisis mekanisme perubahan viskositas. Pengembangan dan pengujian alat sentrifugal pada skala yang lebih besar juga disarankan agar hasil penelitian dapat diaplikasikan secara lebih luas pada industri kecil dan menengah.

Kedelai Detam 1 Dan Wilis Serta Potensinya Dalam Menurunkan Berat Badan,” *J. Ilmu-ilmu Hayati dan Fis.*, vol. 12, no. 1, pp. 5–13, 2010.

REFERENSI

- [1] K. S. Ato, S. I. Dogawa, and T. F. Ujii, “Influence of Acidity Regulators on the Stability of a Soymilk Colloidal Dispersion System,” vol. 18, no. 4, pp. 177–184, 2017.
- [2] L. Fan *et al.*, “Storage stability and shelf- - life of soymilk obtained via repeated boiling and filtering : A predictive model,” no. November 2023, pp. 1973–1982, 2024, doi: 10.1002/fsn3.3893.
- [3] P. Picauly, J. Talahatu, and M. Mailoa, “Pengaruh Penambahan Air pada Pengolahan Susu Kedelai,” *AGRITEKNO J. Teknol. Pertan.*, vol. 4, no. 1, pp. 8–13, 2015, doi: 10.30598/jagritekno.2015.4.1.8.
- [4] A. Sukmawati Arifin, “Efek Perkecambahan Biji Kedelai Terhadap Viskositas, Ph, Total Padatan Terlarut, Protein Terlarut, Dan Gugus Fungsi Pada Susu Kedelai,” *J. Agritechno*, vol. 16, no. 1, pp. 47–54, 2023, doi: 10.70124/at.v16i1.1183.
- [5] S. Kedelai *et al.*, “Optimasi Penambahan Alginat Sebagai Emulsifier Pada,” pp. 1–5.
- [6] P. Lumbantoruan and E. Yulianti, “Pengaruh Suhu terhadap Viskositas Minyak Pelumas (Oli),” *J. Sainmatika*, vol. 13, no. 2, pp. 26–34, 2016, [Online]. Available: <https://jurnal.univpgri-palembang.ac.id/index.php/sainmatika/article/view/993>
- [7] U. Patil, S. Benjakul, T. Prodpran, T. Senphan, and N. Cheetangdee, “Characteristics and quality of virgin coconut oil as influenced by maturity stages,” *Carpathian J. Food Sci. Technol.*, vol. 8, no. 4, pp. 103–115, 2016.
- [8] L. C. Hawa, A. Lastriyanto, and A. A. Ervantri, “Analisa Sifat Fisik Dan Kandungan Gizi Produk Krim Susu Menggunakan Teknologi Sentrifugasi,” *J. Ilm. Rekayasa Pertan. dan Biosist.*, vol. 7, no. 2, pp. 196–206, 2019, doi: 10.29303/jrpb.v7i2.130.
- [9] F. Wahyuni, “1333-4579-1-Pb-2,” vol. 10, no. 2, pp. 118–123, 2017.
- [10] M. Hidayat, D. Kurnia, M. Sujatno, N. Sutadipura, and Setiawan, “Perbandingan Kandungan Makronutrisi Dan Isoflavon Dari