

Characteristics of Whey from Dangke Cow Milk Waste with Coagulant Lime Extract

Dhany Bandrio¹ & Ludfia Windyasmara^{1*}

¹Program Studi Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Veteran Bangun Nusantara, Sukoharjo, Indonesia;

Article History

Received : May 27th, 2025

Revised : June 02th, 2025

Accepted : July 04th, 2025

*Corresponding Author: **Ludfia**

Windyasmara, Program Studi Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Veteran Bangun Nusantara, Sukoharjo, Indonesia;

Email:

windyasmaraudfia@gmail.com

Abstract: Local dairy products are one of Indonesia's traditional food assets that can still be developed in terms of economy, culture, and nutritional value. This coagulation process is usually carried out by adding natural coagulants such as acetic acid or papaya latex, and in this study lime extract acts as a differentiator that will induce milk protein to coagulate into a liquid called whey and a solid mass (curd) called dangke. The materials used include 500ml of cow's milk, and 15g of coarse salt. The experimental method used using a completely randomized design (CRD) is a research methodology used with P0 treatment without the addition of lime extract, P1 0.5ml, P2 1ml, P3 1.5ml, and P4 2ml. The dangke cheese treatment was determined randomly, and each treatment had 3 replications so that there were 15 experimental units. The study found that although soluble protein had no significant effect, pH, total acid, and viscosity of dangke whey of cow's milk produced with a coagulant made from lime extract. have a very significant effect. The use of whey can reduce the possibility of environmental pollution by reducing liquid waste from the dairy processing sector, such as dangke.

Keywords: Completely randomized design (CRD), dangke, lime extract, natural coagulants, whey.

Pendahuluan

Produk olahan susu lokal salah satu aset pangan tradisional Indonesia yang masih bisa dikembangkan dari segi ekonomi, budaya, dan nilai gizi (Nur'aini & Saputra, 2018). Dangke, sajian tradisional dari Enrekang, Sulawesi Selatan, adalah salah satunya. Dangke dibuat dengan cara menggumpalkan susu sapi. Proses penggumpalan ini biasanya dilakukan dengan menambahkan zat koagulan alami seperti asam asetat atau getah pepaya, yang akan menginduksi protein susu menggumpal menjadi cairan yang disebut *whey* dan massa padat (dadih) yang disebut dangke (Nugraha *et al.*, 2025).

Meskipun mengandung unsur-unsur penting seperti protein *whey*, laktosa, vitamin, dan mineral, *whey* ini selama ini hanya dianggap sebagai limbah dan belum dimanfaatkan secara maksimal, *whey* yang biasanya dibuang sebagai produk sampingan (Sa'pang *et al.*, 2023). Karena kadar Chemical Oxygen Demand (COD) dan

Biochemical Oxygen Demand (BOD)-nya yang tinggi, limbah *whey* dari industri pengolahan susu UMKM dan rumah tangga terkadang dibuang begitu saja ke lingkungan, yang berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan, jika tidak ditangani dengan tepat, hal ini berubah menjadi masalah lingkungan yang serius (Poništ *et al.*, 2021).

Whey dangke susu sapi memiliki sifat fisikokimia yang sangat dipengaruhi oleh jenis susu dan koagulan yang digunakan dalam proses pembuatannya, harus diselidiki terlebih dahulu sebelum dapat dimanfaatkan lebih lanjut (Kailasapathy & Kasipathy 2015). Dari segi kualitas organoleptik dan gizi, sebagian besar penelitian sebelumnya terkonsentrasi pada produk utama dangke, khususnya yang menggunakan getah pepaya sebagai koagulan (Rana *et al.*, 2017).

Sementara itu, penelitian yang komprehensif tentang profil *whey* sebagai produk sampingan dangke yang dihasilkan dari koagulan

ekstrak jeruk nipis masih kurang dalam literatur ilmiah, yang menunjukkan bahwa penelitian ini merupakan penelitian baru karena mengevaluasi karakteristik *whey* limbah dangke yang dihasilkan dengan menggunakan koagulan alami dari ekstrak jeruk nipis, yang dapat menjadi dasar untuk penggunaan *whey* di masa mendatang sebagai produk turunan yang bernilai ekonomis dan ramah lingkungan (Setiarto *et al.*, 2025).

Karakterisasi *whey* sangat penting untuk mengetahui komposisi kimianya (pH, total asam, viskositas, dan kadar protein terlarut). Dengan memahami sifat-sifat *whey* berdasarkan jenis koagulan, pelaku industri rumahan dapat memaksimalkan pemanfaatan limbah dan meminimalkan pencemaran lingkungan (Delgado-Macuil *et al.*, 2025). Selain itu, temuan penelitian ini dapat menjadi panduan untuk pengembangan produk turunan berbasis *whey* dari proses pengolahan dangke dengan pendekatan yang lebih berkelanjutan (Fahrullah *et al.*, 2022). Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik *whey* limbah dangke susu sapi yang menggunakan ekstrak jeruk nipis sebagai koagulan, mencakup analisis fisik dan kimia yang dapat menjadi landasan ilmiah dalam pemanfaatan *whey* sebagai produk bernilai tambah (Tița *et al.*,

2024). Penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi terhadap pengembangan pangan lokal sekaligus pengelolaan limbah pangan yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

Bahan dan Metode

Bahan

Bahan yang digunakan meliputi 500 ml susu sapi, dan 15g garam kasar. Perlakuan yang berbeda adalah jeruk nipis digunakan sebagai koagulan alami.

Rancangan percobaan

Metode yang digunakan eksperimental menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) merupakan metodologi penelitian yang digunakan dengan perlakuan P0 tanpa penambahan ekstrak jeruk nipis, P1 0,5 ml, P2 1ml, P3 1,5 ml, dan P4 2 ml. Perlakuan keju dangke ditetapkan secara acak, dan setiap perlakuan memiliki 3 kali ulangan sehingga terdapat 15 unit percobaan. Data variabel pengamatan di analisis menggunakan Uji Analisis Varian (ANOVA) pola searah dan dilanjutkan dengan uji Duncan untuk melihat perbedaan signifikan antar perlakuan. Komposisi bahan yang digunakan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi bahan pengolahan *whey* susu sapi dengan ekstrak jeruk nipis

No	Bahan	Komposisi Bahan (g)				
		Tingkat Penambahan				
		P0	P1	P2	P3	P4
1	Garam (15 gr)	15	15	15	15	15
2	Getah Pepaya (0,5 ml)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
3	Jeruk Nipis (ml)	-	0,5	1	1,5	2
	Susu Sapi			500		

Sumber : Data Primer, 2024

Variabel / Parameter

Total Asam

Metode titrasi digunakan untuk melakukan uji total asam. Kertas saring digunakan setelah sampel dilarutkan dalam 50 ml air suling. Dua tetes indikator PP ditambahkan ke 20 ml filtrat, dan campuran dititrasi dengan larutan NaOH 0,1 N hingga terjadi perubahan warna.

Viskositas

Uji viskositas adalah proses untuk mengukur kekentalan atau resistensi cairan terhadap aliran. Pengujian kekentalan dilakukan

dengan menggunakan alat *viskometer Ostwald*, dimana sampel dimasukkan kedalam alat kemudian menghitung berapa lama laju larutan yang didapatkan dengan menggunakan stopwatch kemudian data yang didapatkan dimasukkan dalam persamaan 1.

$$\text{Viskositas (cP)} \propto \frac{(\rho \text{ susu}) (t \text{ susu})}{(\rho \text{ air}) (t \text{ air})} \propto \pi \text{ Air} \quad (1)$$

$$\rho = \frac{m' - m}{v} \quad (2)$$

Keterangan :

P= berat jenis

T= waktu

m' = Massa pikno berisi

m = Massa pikno kosong

v = volume

pH

Alat ukur pH meter digunakan untuk mengukur pH. Gunakan larutan penyangga pH 4 untuk menstandarisasi alat ukur pH, diikuti dengan larutan penyangga pH 7. Elektroda dimasukkan ke dalam larutan sampel setelah dibersihkan dengan air akuades. pH sampel ditunjukkan dengan angka pada alat ukur pH. Proses pengukuran alat ukur pH adalah sebagai berikut :

- a. Dalam gelas kimia, timbang 100 gram sampel dan larutkan dalam 50 mililiter air akuades.
- b. Aduk hingga tercampur rata setelah menambahkan 100 ml air akuades.
- c. Alat ukur pH standar digunakan untuk mengukur pH larutan. Larutan penyangga pH 4 dan penyangga pH 7 digunakan untuk menstandarisasi alat ukur pH. Setelah dibersihkan dengan air murni, elektroda direndam dalam larutan sampel.
- d. Angka yang tertera pada alat ukur pH dicatat.

Protein terlarut

Pembuatan larutan standar konsentrasi, lalu dibuat secara berturut-berturut dengan memipet. Larutan Standar Protein 1000 $\mu\text{g}/\text{m}$, kemudian masing-masing diencerkan setelah ditambahkan ke dalam labu ukur 10 ml hingga garis batas. menggunakan air akuades. Kemudian dihomogenkan. Selain itu, sampel pembuatan *whey* yang dihomogenkan sebanyak mungkin 50 gram, kalibrasi hingga tanda batas, dan encerkan ke dalam labu ukur 10 ml.

Reagen B ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0,5% dalam kalium atau natrium tartrat 1%) ditambahkan ke dalam 50 ml reagen A (Na_2CO_3 2% dan NaOH 0,1 ml) untuk membuat reagen. Setelah itu, absorbansi diukur antara 450 dan 610 nm. Setelah itu, ambil 1 ml larutan standar yang telah disiapkan, masukkan ke dalam tabung reaksi, tambahkan 5 ml reagen C, aduk, dan biarkan pada suhu kamar selama 15 menit. Selanjutnya, tambahkan 3 tetes reagen E (*Folin Ciocalteau*), homogenkan dengan *vortex*, Lalu diamkan pada suhu ruangan selama setengah jam. Terakhir, sampel yang telah disiapkan, larutan standar, dan

blanko yang berisi air akuades diambil dalam jumlah yang sama, masing-masing 1 ml dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi. Setelah itu, didiamkan selama 15 menit pada suhu kamar setelah menambahkan 5 ml reagen C dan diaduk.. Selanjutnya, 3 tetes reagen E (*Folin Ciocalteau*) ditambahkan, dihomogenkan dengan pengaduk, dan didiamkan pada suhu ruangan selama 30 menit. Terakhir, absorbansi pada panjang gelombang maksimum diukur.

Prosedur penelitian

Beberapa langkah dalam proses penelitian ini, termasuk pengujian dan persiapan.

1. Tahap persiapan: Penyiapan susu sapi.
2. Tahap pelaksanaan: Panci diisi dengan susu sapi dan dipanaskan dengan suhu 60-70°C. Koagulan berupa getah pepaya (enzim papain) dan air jeruk nipis (asam sitrat) kemudian ditambahkan untuk mengentalkannya. Cairan yang telah mengental dipisahkan dengan cara disaring dan diperas. Setelah itu, cairan tersebut di pisahkan dan di masukan kedalam botol lalu di timbang untuk mengetahui berat cairan yang didapat. Terdapat lima perlakuan dengan menggunakan konsentrat (papain + air) dan sari jeruk nipis. P0 berarti tanpa ekstrak jeruk nipis, P1 0,5 ml, P2 1 ml, P3 1,5 ml, dan P4 2 ml.
3. Melakukan pengujian pH, Total Asam, Viskositas, dan Protein Terlarut

Analisis data

Uji Analisis Varians (ANOVA) atau *Analysis of Variance* sebuah teknik statistik yang digunakan untuk menganalisis bagaimana rata-rata tiga atau lebih set data terpisah dibandingkan., akan digunakan untuk menilai data yang dikumpulkan dari temuan penelitian. Untuk mengidentifikasi variasi penting yang umumnya muncul di antara kelompok-kelompok ini adalah tujuan utama dari uji ANOVA.

Hasil dan Pembahasan

Kadar pH *whey* dangke susu sapi

Kadar pH memiliki peran penting dalam menentukan kualitas susu (Adiba *et al.*, 2024). Berdasarkan hasil penelitian Pada suhu pemanasan 75°C, pH rata-rata dangke adalah 6,0. Kemudian pH meningkat seiring dengan suhu

pemanasan, mencapai 6,71 pada suhu 100°C, yang merupakan pH yang sama dengan susu segar. Tingkat pH *whey* dangke sangat dipengaruhi oleh penambahan sari jeruk nipis. Menurut penelitian (Setiarto *et al.*, 2025), saat membuat keju dangke dari susu sapi,

penambahan sari jeruk nipis akan mengubah sifat fisik dan kimia produk, termasuk pH. Menurut hasil penelitian (Musra *et al.*, 2021), nilai pH keju dipengaruhi oleh lama penyimpanan. Tabel 2 menampilkan hasil analisis pH *Whey* Dangke Susu Sapi dengan Koagulan Sari Jeruk Nipis.

Tabel 2. Rerata pH *Whey* Dangke Susu Sapi Dengan Koagulan Ekstrak Jeruk Nipis (%)

Ulangan	Perlakuan				
	P0	P1	P2	P3	P4
1	5,79	5,92	5,60	5,56	5,63
2	5,79	5,84	5,55	5,52	5,59
3	5,77	5,81	5,54	5,45	5,63
Rerata	5,85±0,10^{bc}	5,85±0,19^c	5,56±0,05^a	5,51±0,11^a	5,62±0,06^{ab}

Keterangan : huruf berbeda menunjukkan pengaruh berbeda sangat nyata pada signifikan ($p < 0,05$)

Hasil uji anova rerata pH menunjukkan pengaruh berbeda sangat nyata pada signifikan $P < 0,05$. Kadar pH berkisar antara 5,51% - 5,85%. Hasil pengukuran pH pada minuman fermentasi *whey* dangke menunjukkan, semakin tinggi penambahan ekstrak jeruk nipis pada minuman fermentasi *whey* dangke maka, semakin rendah nilai pH. Hasil ini ditunjukkan pada perlakuan P1 menghasilkan nilai pH tertinggi (P2, P3, dan P4), mengalami penurunan.

Nilai total asam

Total asam adalah jumlah keseluruhan senyawa asam yang terdapat dalam suatu bahan cairan atau padatan, Total asam dalam *whey* dangke susu sapi umumnya dinyatakan dalam bentuk kadar asam laktat. Karena total asam menunjukkan derajat keasaman yang mempengaruhi rasa, stabilitas, dan potensi fermentasi *whey*, maka total asam merupakan

metrik penting untuk mengevaluasi kualitas *whey* (Okoń *et al.*, 2021). Hasil analisis total asam *whey* dangke susu sapi dengan koagulan ekstrak jeruk nipis disajikan pada tabel 3.

Hasil uji anova rerata Total Asam menunjukkan pengaruh berbeda sangat nyata pada signifikan $P < 0,05$. Menurut hasil, perlakuan P1 (20,3%) dan P4 (18,35%) memiliki total asam tertinggi, sedangkan P2 (9,2%) memiliki yang terendah. Nilai untuk perlakuan P3 dan kontrol (P0) masing-masing adalah 13,1% dan 13,3%. Peningkatan total asam pada P1 dan P4 menunjukkan bahwa lebih banyak asam yang diproduksi dalam *whey* pada peningkatan konsentrasi ekstrak jeruk nipis. Hal ini sejalan dengan temuan penelitian lain yang menyatakan kandungan asam sitrat yang tinggi dari ekstrak jeruk nipis (*Citrus aurantifolia*) secara langsung meningkatkan keasaman sistem koloid susu (Iqbal *et al.*, 2025).

Tabel 3. Rerata Total Asam *Whey* Dangke Susu Sapi Dengan Koagulan Ekstrak Jeruk Nipis (%)

Ulangan	Perlakuan				
	P0	P1	P2	P3	P4
1	15,1	17,9	11,1	9,10	15,3
2	11,7	23,2	8,80	14,0	18,5
3	12,4	19,9	7,65	17,0	21,2
Rerata	13,1±1,74^{ab}	20,3±6,93^c	9,20±1,90^a	13,3±4,65^{ab}	18,3±2,75^{bc}

Keterangan : huruf berbeda menunjukkan pengaruh berbeda sangat nyata pada signifikan ($p < 0,05$)

Asam organik yang disebut asam sitrat dapat membantu mengentalkan protein susu dan menurunkan pH, tetapi juga meningkatkan keasaman secara keseluruhan (Li *et al.*, 2017). Konsentrasi ekstrak jeruk nipis yang rendah

mungkin menjadi alasan rendahnya nilai total asam dalam P2, karena tidak tersedia cukup asam sitrat untuk secara efektif mengurangi pH dan menciptakan *whey* yang sangat asam. Fakta bahwa total asam P3 hanya sedikit lebih besar

daripada kontrol (P0) menunjukkan bahwa konsentrasi koagulan dalam perawatan ini mulai bekerja, tetapi belum mencapai potensi sepenuhnya.

Viskositas

Viskositas merupakan karakteristik fisik yang penting dalam karakterisasi cairan seperti *whey* Karena berkorelasi dengan jumlah partikel terlarut (seperti protein, lemak, dan laktosa) dan struktur molekul dalam larutan. Hasil pengujian viskositas *whey* dangke susu sapi dengan koagulan ekstrak jeruk nipis disajikan pada tabel

4.

Hasil uji anova rerata nilai Viskositas menunjukkan pengaruh berbeda yang signifikan ($P < 0,05$). Nilai Viskositas berkisar antara 7,58 cP – 14,42 cP. Ketika kuantitas koagulan ekstrak jeruk nipis meningkat, ada penurunan viskositas yang stabil. Menurut (Malaka *et al.*, 2024) penurunan viskositas ini menunjukkan bahwa semakin banyak protein yang terkoagulasi dan terbagi menjadi dadih (dangke), semakin sedikit fraksi padat terutama protein terlarut yang tersisa di dalam *whey*, yang menyebabkan viskositasnya menurun.

Tabel 4. Rerata Viskositas *Whey* Dangke Susu Sapi Dengan Koagulan Ekstrak Jeruk Nipis (cP)

Ulangan	Perlakuan				
	P0	P1	P2	P3	P4
1	11,48	10,25	11,85	6,36	3,98
2	15,04	10,25	12,3	10,8	9,75
3	16,75	13,70	7,6	9,20	9,0
Rerata	14,42±4,75^b	11,44±2,38^{ab}	10,60±3,44^{ab}	8,78±3,32^{ab}	7,58±3,98^a

Keterangan : huruf berbeda menunjukkan pengaruh berbeda sangat nyata pada signifikan ($p < 0,05$).

Konsentrasi protein dan laktosa dalam *whey* memiliki dampak yang signifikan terhadap viskositasnya. Karakteristik koloid protein, khususnya protein *whey*, meningkatkan hambatan aliran. Akibatnya, protein terdenaturasi dan mengendap untuk membuat dangke ketika proses koagulasi berhasil dilakukan dengan menambahkan asam dari ekstrak jeruk nipis, yang mengencerkan fraksi cair (*whey*) (de Castro *et al.*, 2017).

Viskositas terbesar pada P0 (tanpa penambahan koagulan) adalah 14,42 cP, yang menunjukkan bahwa masih ada sejumlah besar protein terlarut dan zat lain yang terkoagulasi sebagian. Sebaliknya, P4 (7,58 cP) memiliki viskositas terendah, menunjukkan efisiensi koagulasi pada konsentrasi ekstrak jeruk nipis maksimum yang digunakan dalam penelitian ini. Hasil ini sejalan dengan nilai kadar protein terlarut, yang menunjukkan bahwa P4 memiliki jumlah terendah.

Penurunan pH yang disebabkan oleh peningkatan konsentrasi asam ekstrak jeruk nipis juga dapat dikaitkan dengan penurunan viskositas. Asam mengurangi viskositas larutan dengan melemahkan stabilitas emulsi protein dalam *whey* (Nooshkam & Varidi, 2021). Lebih jauh, viskositas yang berkurang menunjukkan potensi peningkatan aliran *whey*, yang mungkin

merupakan faktor penting dalam perencanaan pengolahan air limbah atau penggunaan *whey* tambahan.

Pola ini menyiratkan bahwa penggunaan ekstrak jeruk nipis sebagai koagulan berdampak pada karakteristik fisik *whey* selain perannya dalam pemisahan protein. Karena cairan lebih mudah dipompa dan ditangani secara teknis, viskositas rendah *whey* yang dikoagulasi secara optimal dapat memberikan manfaat dalam langkah-langkah pemrosesan berikutnya seperti ultrafiltrasi atau fermentasi *whey* (Buchanan *et al.*, 2023).

Protein terlarut

Protein terlarut dalam *whey* adalah salah satu metrik utama untuk menilai efektivitas proses koagulasi dan mutu limbah cair dari produksi dangke agar dapat diolah menjadi produk yang memiliki nilai ekonomis. Menurut temuan penelitian, kadar protein terlarut setiap perlakuan disajikan pada tabel 5.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah protein yang tertinggal dalam *whey* dipengaruhi oleh konsentrasi ekstrak jeruk nipis yang digunakan sebagai koagulan.. P3 memiliki kadar protein terlarut tertinggi (1,33%), sedangkan P4 memiliki kadar protein terlarut terendah (0,82%). Proses koagulasi lebih efektif

ketika terjadi penurunan jumlah protein terlarut karena lebih banyak protein yang mengendap untuk menghasilkan dangke, sehingga lebih

sedikit protein yang tertinggal dalam *whey* (Mukhlisah *et al.*, 2017).

Table 5. Rerata Protein Terlarut *Whey* Dangke Susu Sapi Dengan Koagulan Ekstrak Jeruk Nipis (%)

Ulangan	Perlakuan				
	P0	P1	P2	P3	P4
1	1,65	1,12	0,84	1,05	0,56
2	1,62	1,38	1,42	1,52	0,58
3	0,56	1,01	0,78	1,42	1,30
Rerata	1,27±0,60 ^a	1,17±0,65 ^a	1,01±0,34 ^a	1,33±0,30 ^a	0,82±0,19 ^a

Keterangan : huruf berbeda menunjukkan pengaruh berbeda sangat nyata pada tidak signifikan ($p < 0,05$).

Kadar pH susu dapat diturunkan oleh asam sitrat dan asam askorbat yang ditemukan dalam ekstrak jeruk nipis (Mkadem *et al.*, 2025). Protein kehilangan stabilitasnya dan menggumpal menjadi dadih sebagai akibat dari penurunan pH ini, khususnya kasein. Pemisahan komponen cair dan padat susu dibantu oleh teknik ini. Protein menjadi terdenaturasi dan mengendap ketika pH mendekati titik isoelektrik kasein, yaitu sekitar 4,6 (Malaka *et al.*, 2024). Menarik untuk dicatat bahwa setelah menurun pada P2 (1,01%), konsentrasi protein terlarut naik sekali lagi pada P3 (1,33%). Hal ini mungkin disebabkan oleh penggunaan konsentrasi ekstrak jeruk nipis yang terlalu tinggi, yang dapat menyebabkan fraksi protein larut kembali ke dalam *whey* atau menyebabkan denaturasi protein yang kurang ideal (Finnegan *et al.*, 2024). Tidak semua fraksi dapat mengendap dengan sempurna karena terlalu banyak asam dapat merusak struktur agregat protein.

Persentase protein terlarut terendah (0,82%) pada Perlakuan P4 menunjukkan bahwa konsentrasi ekstrak jeruk nipis dalam perlakuan ini berada dalam kisaran ideal untuk mengoptimalkan presipitasi protein. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan keseimbangan antara konsentrasi asam dan stabilitas protein mempengaruhi efektivitas presipitasi protein (Kern *et al.*, 2020). Dengan demikian, penggunaan ekstrak jeruk nipis sebagai koagulan membantu mengendalikan efektivitas pemisahan protein dalam proses pembuatan dangke selain berfungsi sebagai produk alami yang ramah lingkungan (Sitanggang *et al.*, 2020). Karena kandungan protein yang tinggi dalam air limbah susu dapat meningkatkan beban polutan, mengurangi

jumlah protein terlarut dalam *whey* sangatlah penting dari sudut pandang lingkungan (El-Aidie & Khalifa, 2024).

Kesimpulan

Penelitian tersebut menemukan bahwa meskipun protein terlarut tidak memiliki pengaruh yang nyata, pH, total asam, dan viskositas *whey* dangke susu sapi yang diproduksi dengan koagulan yang dibuat dari ekstrak jeruk nipis. memiliki pengaruh yang sangat nyata. Pemanfaatan *whey* dapat mengurangi kemungkinan pencemaran lingkungan dengan mengurangi limbah cair dari sektor pengolahan susu, seperti dangke. *Whey* memiliki kandungan gizi yang relatif tinggi meskipun dianggap sebagai limbah. Pemanfaatan limbah *whey* dangke tidak hanya membantu lingkungan tetapi juga menambah nilai ekonomis dan mempromosikan pendekatan keberlanjutan industri makanan.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Laboratorium Teknologi Hasil Ternak, Fakultas Pertanian Universitas Veteran Bangun Nusantara, atas fasilitas dan dukungan yang diberikan selama proses penelitian. Terimakasih juga kepada Dosen Pembimbing, Ibu Ludfia Windyasmara, S. Pt., M. Sc. atas bimbingan, arahan, dan motivasi yang sangat berarti dalam penyusunan jurnal ini. Terimakasih juga saya ucapkan kepada seluruh pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung, hingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Referensi

- Adiba, F., Risal, A. A. N., & Tahir, M. (2024). Implementasi Algoritma Backpropagation untuk Klasifikasi Kualitas Susu Sapi. *Jurnal MediaTIK*, 1–4. <https://doi.org/10.59562/mediatik.v6i2.1395>
- Buchanan, D., Martindale, W., Romeih, E., & Hebishy, E. (2023). Recent advances in whey processing and valorisation: Technological and environmental perspectives. *International Journal of Dairy Technology*, 76(2), 291–312. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12935>
- de Castro, R. J. S., Domingues, M. A. F., Ohara, A., Okuro, P. K., dos Santos, J. G., Brexó, R. P., & Sato, H. H. (2017). Whey protein as a key component in food systems: Physicochemical properties, production technologies and applications. *Food Structure*, 14, 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2017.05.004>
- Delgado-Macuil, R. J., Perez-Armendariz, B., Cardoso-Ugarte, G. A., Tolibia, S. E. M., & Benítez-Rojas, A. C. (2025). Recent Biotechnological Applications of Whey: Review and Perspectives. *Fermentation*, 11(4), 217. <https://doi.org/10.3390/fermentation11040217>
- El-Aidie, S. A. M., & Khalifa, G. S. A. (2024). Innovative applications of whey protein for sustainable dairy industry: Environmental and technological perspectives—A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23(2). <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13319>
- Fahrullah, F., Noersidiq, A., & Maruddin, F. (2022). Effects of Glycerol Plasticizer on Physical Characteristic of Whey-Konjac Films Enriched with Clove Essential Oil. *Journal of Food Quality and Hazards Control*. <https://doi.org/10.18502/jfqhc.9.4.11377>
- Finnegan, E. W., Goulding, D. A., O’Callaghan, T. F., & O’Mahony, J. A. (2024). From lab-based to in-line: Analytical tools for the characterization of whey protein denaturation and aggregation—A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23(2). <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13289>
- Iqbal, M. A., Akram, S., Khalid, S., Amin, L., Ahmad, F., Malhat, F., Muhammad, G., Ashraf, R., & Mushtaq, M. (2025). Citric Acid-Assisted Extraction of High Methoxy Pectin from Grapefruit Peel and Its Application as Milk Stabilizer. *Food and Bioprocess Technology*. <https://doi.org/10.1007/s11947-025-03813-w>
- Kailasapathy, K. (2015). Chemical Composition, Physical, and Functional Properties of Milk and Milk Ingredients. In *Dairy Processing and Quality Assurance* (pp. 77–105). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118810279.ch04>
- Kern, L., Fabre, O., Scher, J., & Petit, J. (2020). Chemical fractionation of caseins by differential precipitation: influence of pH, calcium addition, protein concentration and temperature on the depletion in α - and β -caseins. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(2), 542–552. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14283>
- Li, C., Rui, X., Zhang, Y., Cai, F., Chen, X., & Jiang, M. (2017). Production of tofu by lactic acid bacteria isolated from naturally fermented soy whey and evaluation of its quality. *LWT - Food Science and Technology*, 82, 227–234. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.054>
- Malaka, R., Maruddin, F., Arief, F. A., Hakim, W., Irwansyah, Kasmianti, Putranto, W. S., Astawan, M., & Kadir, R. W. (2024). Evaluation Dangke Cheese Processing by Edible Film Coating Made from Whey Combined with Konjac Flour. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2024, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2024/4676923>
- Malaka, R., Prahesti, K. I., Mahendradatta, M., Astawan, M., Putranto, W. S., Arief, F. A., Waqiah, S. N., & Kadir, R. W. (2024). Physicochemical Properties of Dangke-cheese by Different Temperature Processing and Papaya-latex as Coagulant. *Indian Journal Of Agricultural Research, Of*. <https://doi.org/10.18805/IJARE.AF-882>

- Mkadem, W., Belguith, K., Indio, V., Oussaief, O., Guluzade, G., ElHatmi, H., Serraino, A., De Cesare, A., & Boudhrioua, N. (2025). Assessment of the Anti-Listeria Effect of Citrus limon Peel Extract In Silico, In Vitro, and in Fermented Cow Milk During Cold Storage. *Foods*, 14(4), 661.
<https://doi.org/10.3390/foods14040661>
- Mukhlisah, A. N., Arief, I. I., & Taufik, E. (2017). Physical, Microbial, and Chemical Qualities of Dangke Produced by Different Temperatures and Papain Concentrations. *Media Peternakan*, 40(1), 63–70.
<https://doi.org/10.5398/medpet.2017.40.1.63>
- Nooshkam, M., & Varidi, M. (2021). Physicochemical stability and gastrointestinal fate of β -carotene-loaded oil-in-water emulsions stabilized by whey protein isolate-low acyl gellan gum conjugates. *Food Chemistry*, 347, 129079.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129079>
- Nugraha, W. T., Murti, T. W., Erwanto, Y., Nurliyani, Suranindyah, Y. Y., Muhlisin, & Fibri, D. L. N. (2025). Chemical composition of goat cheese with different types of coagulants, types and doses of calcium compounds. *BIO Web of Conferences*, 167, 04001.
<https://doi.org/10.1051/bioconf/202516704001>
- Nur'aini, H., & Saputra, A. (2018). Karakterisasi Sumberdaya Pangan Lokal Spesifik Daerah di Kabupaten Muko-muko Provinsi Bengkulu. *AGRITEPA: Jurnal Ilmu Dan Teknologi Pertanian*, 5(2), 32–48.
<https://doi.org/10.37676/agritepa.v5i2.777>
- Okoń, A., Szymański, P., Zielińska, D., Szydłowska, A., Siekierko, U., Kołożyn-Krajewska, D., & Dolatowski, Z. J. (2021). The Influence of Acid Whey on the Lipid Composition and Oxidative Stability of Organic Uncured Fermented Bacon after Production and during Chilling Storage. *Antioxidants*, 10(11), 1711.
<https://doi.org/10.3390/antiox10111711>
- Poništ, J., Dubšíková, V., Schwarz, M., & Samešová, D. (2021). Methods of processing whey waste from dairies. A review. *Environment Protection Engineering*, 47(4).
<https://doi.org/10.37190/epe210405>
- Rana, M., Hoque, M., Rahman, M., Habib, R., & Siddiki, M. (2017). Papaya (Carica papaya) latex- an alternative to rennet for cottage cheese preparation. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 4(3), 249.
<https://doi.org/10.5455/javar.2017.d218>
- Sa'pang, M., Salam, A., Harna, H., Rahmayanti R, A., Seprianto, S., Nurmallasari, M., Ruhmayanti, N. A., & Swamilaksita, P. D. (2023). An Explorative Study of Indonesian Traditional Cheese “Dangke” as High Protein Food from Enrekang, South Sulawesi. *Poltekita: Jurnal Ilmu Kesehatan*, 17(3), 955–965.
<https://doi.org/10.33860/jik.v17i3.3345>
- Setiarto, R. H. B., Nur, N., Romulo, A., & Herlina, V. T. (2025). Dangke: unveiling Indonesian traditional fermented cheese from Enrekang, South Sulawesi. *Journal of Ethnic Foods*, 12(1), 16.
<https://doi.org/10.1186/s42779-025-00279-1>
- Sitanggang, A. B., Alexander, R., & Budijanto, S. (2020). The utilization of bilimbi (Averrhoa bilimbi) and lime (Citrus aurantifolia) juices as natural acid coagulants for tofu production. *Journal of Food Science and Technology*, 57(12), 4660–4670.
<https://doi.org/10.1007/s13197-020-04503-5>
- Țița, M. A., Moga, V.-M., Constantinescu, M. A., Bătușaru, C. M., & Țița, O. (2024). Harnessing the Potential of Whey in the Creation of Innovative Food Products: Contributions to the Circular Economy. *Recycling*, 9(5), 79.
<https://doi.org/10.3390/recycling9050079>