

Utilization of Natural Milk Coagulant in The Processing of Indigenous Dairy Product (*Palopo*)

Alwi Agil¹, Bulkaini^{1*}, Baiq Rani Dewi Wulandani¹, Djoko Kisworo¹, Fahrullah Fahrullah¹

¹Program Studi Manajemen Sumberdaya Peternakan, Fakultas Peternakan, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia;

Article History

Received : October 06th, 2025

Revised : October 20th, 2025

Accepted : October 29th, 2025

*Corresponding Author:

Bulkaini, Program Studi
Manajemen Sumberdaya
Peternakan, Fakultas
Peternakan, Universitas
Mataram, Mataram, Indonesia;
Email: b_kaini@yahoo.com

Abstract: The objective of this study is to ascertain the impact of employing natural coagulants, namely eggplant para (*Solanum indicum*), biduri sap (*Calotropis gigantea*), and papaya sap (*Carica papaya* L.), on the chemical properties, antioxidant levels, and organoleptic properties of palopo. The present study employed a Completely Randomized Design (CRD), utilizing three natural coagulant treatments (eggplant, biduri sap, and papaya sap) each at 0.2% of the sample weight, with five replicates. The research variables encompassed pH, water content, ash, crude protein, crude fat (utilizing the proximate analysis method), antioxidant content (employing the DPPH method), and organoleptic values (aroma, taste, colour, texture, and overall acceptance) (using the hedonic method). The findings indicated that the type of coagulant employed exerted a highly significant effect ($P < 0.01$) on the water content, protein and antioxidant levels of palopo, while no significant effect ($P > 0.05$) was observed on pH, fat content, and ash content. The utilization of eggplant (*Solanum indicum*) as a natural coagulant resulted in a high level of protein in palopo (7.33%), while the application of papaya latex (*Carica papaya* L.) led to a higher level of antioxidants in palopo (80.05%) compared to other types of coagulants. The incorporation of natural coagulant eggplant parboil can yield palopo that is particularly prized for its optimal texture and palatability. Conclusion: The incorporation of natural coagulant Eggplant (*Solanum indicum*) in the manufacturing process of palopo ensures optimal chemical quality and acceptance, while papaya latex (*Carica papaya* L.) contributes the highest antioxidant content, thereby possessing the potential to enhance the functional value of the product.

Keywords: Biduri sap, eggplant para, palopo coagulant, papaya sap.

Pendahuluan

Potensi produksi susu kerbau di Indonesia mencapai 0,5 – 2,25 liter/ekor/hari pada kondisi pemeliharaan suboptimal, dengan populasi kerbau di NTB pada tahun 2023 adalah sebanyak 105.660 ekor (Dinas Peternakan dan Kesehatan Hewan Provinsi NTB, 2024). Susu kerbau memiliki kandungan mineral penting, yaitu Ca 92%, Fe 38%, dan P 118%, kandungan kolesterol lebih rendah (0,65 mg/g) daripada susu sapi (3,14 mg/g) serta kandungan vitamin A lebih tinggi (Febrina, 2010). Susu kerbau merupakan minuman sehat karena mengandung

zat bioprotektif antara lain imunoglobulin, laktoferin, lisozim, laktoperoksidase, dan bifidogenik (Matondang *et al.*, 2015). Kerbau adalah ternak penghasil susu paling penting kedua di dunia setelah sapi perah dan menghasilkan susu berkualitas tinggi (Coroian *et al.*, 2013).

Secara umum kandungan susu kerbau sama dengan susu sapi dan ruminan lainnya yakni air, protein, lemak, laktosa, vitamin, dan mineral hanya saja dengan proporsi yang berbeda-beda. Susu kerbau umumnya lebih kaya lemak daripada susu sapi, sedangkan komponen gizi lainnya relatif sama. Meskipun demikian,

susu kerbau memiliki ciri khas seperti tidak adanya kandungan karoten yang membuat warna susu lebih putih daripada susu sapi dan relatif tidak mengandung kasein bebas, mengandung lebih sedikit nitrogen dan asam sialat tapi lebih banyak mengandung mineral Ca dan P (Murti, 2002). Di Indonesia, susu kerbau biasanya dikonsumsi dalam bentuk produk olahan seperti keju mozarella, dadih dari Sumatra Barat, dangke dari Sulawesi Selatan dan produk lainnya. Salah satu produk olahan susu kerbau di Nusa Tenggara Barat adalah palopo yang berasal dari Kabupaten Sumbawa Barat.

Palopo terbuat dari susu kerbau murni yang ditambahkan larutan gula merah dan terong para (*Solanum indicum*) sebagai koagulan susu (Kisworo, 2022). Terong para (*Solanum indicum*) berperan penting dalam mengkoagulasi susu, sehingga membentuk tekstur dan konsistensi khas palopo. Para produsen palopo telah terbiasa menggunakan terong para (*Solanum indicum*) sebagai koagulan alami. Namun seiring dengan perkembangan zaman, terong para (*Solanum indicum*) semakin sulit ditemukan. Akibatnya dapat menghambat proses pembuatan palopo sehingga merugikan produsen palopo.

Sebagai solusi untuk mengatasi kekurangan terong para (*Solanum indicum*), penting untuk mencari alternatif koagulan alami yang dapat menggantikan peran terong para (*Solanum indicum*) dalam pembuatan palopo. Dua kandidat koagulan alami yang potensial adalah getah biduri (*Calotropis gigantea*) dan getah pepaya (*Carica papaya* L.). Kedua bahan ini dikenal memiliki sifat koagulan yang baik dan dapat menjadi alternatif yang efektif (Rajagopalan *et al.*, 2019; Ardat *et al.*, 2022). Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk membandingkan nilai kimia, nilai hedonik dan kadar antioksidan palopo yang dibuat dengan menggunakan alternatif koagulan alami tersebut. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang bermanfaat mengenai efektivitas dan kelayakan penggunaan getah biduri (*Calotropis gigantea*) dan getah pepaya (*Carica papaya* L.) sebagai koagulan alami palopo, serta memberikan wawasan mengenai dampaknya terhadap kualitas dan penerimaan palopo. Dengan demikian, diharapkan penelitian ini dapat membantu

produsen palopo dalam menghadapi tantangan terkait ketersediaan bahan baku serta meningkatkan keberagaman produk olahan susu kerbau.

Bahan dan Metode

Lokasi dan waktu

Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Mei – Juni 2025 di tiga laboratorium yang berada di Universitas Mataram yaitu Laboratorium Bioteknologi dan Hasil Ternak Fakultas Peternakan untuk pembuatan palopo, pengukuran pH serta uji Hedonik, Laboratorium Ilmu Nutrisi dan Makanan Ternak Fakultas Peternakan untuk analisis proksimat dan Laboratorium Analisis Fakultas MIPA untuk analisis antioksidan.

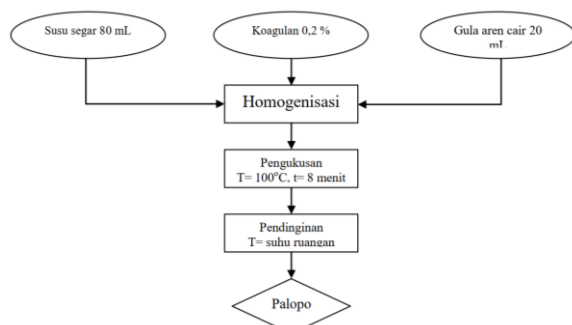
Metode penelitian

Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 3 perlakuan penambahan koagulan alami (terong para, getah biduri dan getah pepaya), masing-masing sebanyak 0,2% dari berat sampel dengan 5 kali ulangan. Alat yang digunakan dalam pembuatan palopo yaitu panci stainless, sendok kayu, kompor, thermometer batang, gelas ukur 100 mL, kertas label, dan gelas plastik. Bahan yang digunakan dalam pembuatan palopo yaitu susu kerbau 800 mL, gula aren cair 200 mL, jus terong para (*Solanum indicum*) 2 mL, getah biduri (*Calotropis gigantea*) 2mL, getah pepaya (*Carica papaya* L.) 2 mL, aquadest, dan **tissue**

Pembuatan palopo

Pembuatan palopo berdasarkan Kisworo (2022) dengan modifikasi koagulan sebanyak 0,2% berdasarkan pra penelitian yang telah dilakukan. Susu kerbau murni sebanyak 80 mL dicampur dengan gula aren cair sebanyak 20 mL dan masing – masing koagulan sebanyak 0,2% untuk perlakuan palopo dengan penambahan jus terong para (*Solanum indicum*), palopo dengan penambahan getah biduri (*Calotropis gigantea*) dan palopo dengan penambahan getah pepaya (*Carica papaya* L.) pada gelas plastik (berat sampel), kemudian diaduk hingga homogen. Setelah semua bahan tercampur, dilakukan proses pengukusan pada suhu 100 °C selama 8 menit. Setelah itu dilakukan proses pendinginan

sampai mengikuti suhu ruangan. Diagram alir pembuatan palopo disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Pembuatan Palopo

Analisis Data

Data dianalisis menggunakan Analisis of varian (ANOVA) menggunakan program SPSS software versi 25 dan dilanjutkan dengan uji jarak berganda Duncan untuk setiap perlakuan. Data uji hedonik menggunakan skala rounding disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Skala Rounding Uji Hedonik

Rentang nilai asli	Skala 1-5	Keterangan
0,51 - 1,50	1	Sangat tidak suka
1,51 - 2,50	2	Tidak suka
2,51 - 3,50	3	Agak suka
3,51 - 4,50	4	Suka
4,51 - 5,00	5	Sangat suka

Hasil dan Pembahasan

Rata-rata komposisi kimia dan kadar antioksidan palapo berdasarkan jenis koagulan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rata – Rata Nilai Kimia dan kadar Antioksidan Palapo Berdasarkan Jenis Koagulan Alami

Parameter	Terong Para 0,2%	Getah Biduri 0,2%	Getah Pepaya 0,2%	Sig.
Nilai pH	6,64±0,16	6,64±0,12	6,69±0,13	0,856
Kadar Air (%)	67,59±0,23 ^{ab}	68,43±0,25 ^b	66,98±0,80 ^a	0,00
Kadar Abu (%)	1,32±0,09	1,12±0,25	1,08±0,28	0,231
Protein Kasar (%)	7,33±0,2 ^b	6,45±0,16 ^a	6,57±0,23 ^a	0,00
Lemak Kasar (%)	5,07±0,45	4,45±0,30	4,72±0,63	0,168
Antioksidan (%)	73,01±0,76 ^a	74,05±0,83 ^a	80,05±0,85 ^b	0,00

Keterangan: Superskrip ^(a,b) yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan perbedaan yang sangat nyata ($P < 0,01$), sig=signifikansi.

Nilai pH

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa penambahan koagulan alami yang berbeda tidak berpengaruh nyata ($P > 0,05$) terhadap pH palopo. Nilai pH pada penelitian ini berkisar antara 6,48 hingga 6,86, dengan rata-rata 6,64 untuk palopo dengan penambahan terong para (*Solanum indicum*), 6,64 untuk palopo dengan penambahan getah biduri (*Calotropis gigantea*), dan 6,69 untuk palopo dengan penambahan getah pepaya (*Carica papaya* L.). Nilai pH yang relatif seragam ini menunjukkan bahwa jenis koagulan yang digunakan tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap tingkat keasaman produk akhir. Hal ini dapat disebabkan karena jumlah koagulan yang digunakan relatif kecil (0,2%) dan seluruh proses pembuatan palopo dilakukan pada kondisi pemanasan dan formulasi yang sama, sehingga perubahan pH lebih dipengaruhi oleh sifat dasar susu kerbau dan proses pemanasan dibandingkan oleh perbedaan jenis enzim koagulan.

pH palopo yang berada pada kisaran netral hingga sedikit asam (6,6–6,7) sejalan dengan pH alami susu kerbau segar yang umumnya berkisar 6,57–6,84 (Minieri *et al.*, 1965). Tidak adanya penurunan pH yang signifikan mengindikasikan bahwa koagulasi yang terjadi bersifat enzimatis, bukan akibat fermentasi asam laktat seperti pada pembuatan yoghurt atau dadih. Meskipun protease yang terkandung dalam terong para (*Solanum indicum*), getah biduri (*Calotropis gigantea*), maupun getah pepaya (*Carica papaya* L.) berperan dalam memecah protein kasein, mekanisme kerjanya tidak secara langsung menghasilkan asam organik yang dapat menurunkan pH secara drastis. Proses koagulasi terjadi melalui pemutusan ikatan peptida spesifik pada κ -kasein sehingga micelle kasein menjadi tidak stabil dan mengendap, tanpa menghasilkan senyawa asam dalam jumlah berarti (Fox *et al.*, 2017).

Kondisi pH yang stabil ini penting karena pH terlalu rendah dapat menghasilkan tekstur yang terlalu keras dan rasa yang asam, sedangkan pH terlalu tinggi dapat mengurangi daya simpan produk. Dengan demikian, hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan ketiga koagulan alami dapat mempertahankan pH palopo pada kisaran ideal yang mendukung kualitas sensori dan keamanan produk.

Kadar air

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa penambahan koagulan alami yang berbeda berpengaruh sangat nyata ($P \leq 0,01$) terhadap kadar air palopo. Nilai rata – rata kadar air yang diperoleh menunjukkan bahwa palopo dengan penambahan getah biduri (*Calotropis gigantea*) memiliki kadar air tertinggi ($68,43\% \pm 0,25$), diikuti oleh palopo dengan penambahan terong para (*Solanum indicum*) ($67,59\% \pm 0,23$), dan yang terendah adalah palopo dengan penambahan getah pepaya (*Carica papaya* L.) ($66,98\% \pm 0,80$).

Tingginya kadar air pada palopo dengan penambahan getah biduri (*Calotropis gigantea*) diduga disebabkan oleh struktur koagulan yang kurang kompak, sehingga air tidak sepenuhnya terperangkap dalam matriks protein dan sebagian besar tetap berada dalam fase bebas. Getah biduri (*Calotropis gigantea*) mengandung peptidase sistein dan saponin yang mampu memecah protein susu, namun tidak selalu menghasilkan pengendapan kasein yang kuat (Ramos *et al.*, 2013), (Noviyanty *et al.*, 2021). Saponin dalam jumlah tinggi juga dapat membentuk busa dan meningkatkan viskositas larutan, namun tidak efektif dalam pembentukan gel padat yang mampu menahan air secara optimal (Tsibranska *et al.*, 2020). Sebaliknya, palopo dengan penambahan getah pepaya (*Carica papaya* L.) memiliki kadar air paling rendah. Ini dapat dijelaskan oleh kehadiran enzim papain, yang walaupun memiliki aktivitas proteolitik tinggi, dalam konsentrasi rendah justru menghasilkan koagulan yang sedikit padat karena memecah kasein secara spesifik tanpa mengganggu integritas struktural produk (Ardat *et al.*, 2022). Selain itu, proses koagulasi oleh papain cenderung lebih efisien dalam mengikat air di dalam jaringan protein, menghasilkan tekstur yang lebih padat dan kadar air yang lebih rendah (Sulistyo *et al.*, 2018).

Palopo dengan penambahan terong para (*Solanum indicum*) menunjukkan kadar air menengah, karena enzim tripsin dari terong para (*Solanum indicum*) mampu menggumpalkan susu secara optimal (Nogueira *et al.*, 2021). Hal ini juga sejalan dengan hasil uji hedonik pada tekstur, dimana palopo dengan penambahan terong para (*Solanum indicum*) mendapatkan nilai tertinggi, menunjukkan konsistensi antara

kadar air yang sedang dan tekstur yang paling disukai. Hasil penelitian menunjukkan kadar air pada palopo dengan penambahan berbagai koagulan dianggap sudah memenuhi standar kadar air keju lunak yaitu $\leq 80\%$ (USDA, 2001). Secara keseluruhan, kadar air yang berbeda pada tiap perlakuan mengindikasikan kemampuan koagulan dalam mempertahankan kelembapan dan membentuk jaringan protein yang efektif. Kadar air yang terlalu tinggi dapat menyebabkan tekstur terlalu lembek dan memperpendek umur simpan, sedangkan kadar air yang terlalu rendah dapat mengakibatkan produk menjadi keras dan kurang menarik secara sensori.

Kadar abu

Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa penambahan jenis koagulan alami yang berbeda tidak berpengaruh nyata ($P > 0,05$) terhadap kadar abu palopo. Kadar abu tertinggi diperoleh pada perlakuan palopo dengan penambahan terong para (*Solanum indicum*) (1,32%), diikuti oleh palopo dengan penambahan getah biduri (*Calotropis gigantea*) (1,12%) dan palopo dengan penambahan getah pepaya (*Carica papaya* L.) (1,08%). Tingginya kadar abu pada palopo dengan penambahan terong para (*Solanum indicum*) dapat dikaitkan dengan keberadaan senyawa fitokimia dalam buah tersebut, seperti flavonoid, glikosida steroid, dan senyawa mineral alami yang tidak terdegradasi dalam proses pemanasan (Lin *et al.*, 2023). Sifat koagulannya yang berasal dari enzim tripsin juga diperkirakan tidak mengganggu keseimbangan mineral dalam produk akhir, karena tidak menimbulkan dekomposisi termal atau reaksi kimia dengan komponen anorganik (Schlueter *et al.*, 2010).

Palopo dengan penambahan getah biduri (*Calotropis gigantea*) menunjukkan kadar abu yang lebih rendah dibandingkan palopo dengan penambahan terong para (*Solanum indicum*), yang kemungkinan berkaitan dengan karakteristik kimia dari saponin dalam getah tanaman tersebut. Getah biduri (*Calotropis gigantea*) mengandung senyawa saponin, yaitu surfaktan alami yang dapat membentuk kompleks dengan ion mineral seperti kalsium (Ca^{2+}) dan magnesium (Mg^{2+}), sehingga meningkatkan kelarutan mineral ke dalam fase cair atau whey selama proses pemanasan dan pendinginan susu (Zhang *et al.*, 2022). Efek

surfaktan ini juga memengaruhi stabilitas antarmuka antara protein dan lemak, yang pada akhirnya menyebabkan lebih banyak mineral terdistribusi ke whey dibandingkan tertahan di dalam curd (gumpalan protein). Palopo dengan penambahan getah pepaya (*Carica papaya* L.) menunjukkan kadar abu paling rendah. Hal ini diduga terjadi karena proses koagulasi oleh papain, selain memecah protein, juga memfasilitasi migrasi senyawa larut mineral ke fase cair (whey), sehingga jumlahnya yang tertahan di dalam fase koagulan menjadi lebih kecil (Hamid *et al.*, 2016). Selain itu, kandungan mineral asli dalam pepaya (*Carica papaya* L.), meskipun cukup tinggi, mungkin tidak cukup tahan terhadap proses termal yang dilakukan selama pembuatan palopo.

Meskipun secara statistik tidak signifikan, variasi kadar abu ini mengindikasikan bahwa jenis koagulan dapat memengaruhi kandungan mineral akhir produk. Produk dengan kadar abu lebih tinggi bisa dianggap memiliki nilai gizi mineral lebih baik, tetapi tetap perlu dikaji ulang dari segi bioavailabilitas dan jenis mineral dominan yang terkandung. Hal ini penting karena tingginya kadar abu belum tentu selalu berbanding lurus dengan manfaat fisiologis jika mineral tersebut tidak tersedia secara biologis dalam tubuh.

Protein kasar

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa penambahan jenis koagulan alami yang berbeda tidak berpengaruh sangat nyata ($P>0,01$) terhadap kadar protein palopo. Nilai rata-rata kadar protein kasar tertinggi ditemukan pada palopo dengan penambahan terong para (*Solanum indicum*) (7,33%) dibandingkan dengan palopo penambahan getah biduri (*Calotropis gigantea*) (6,45%) dan palopo penambahan getah pepaya (*Carica papaya* L.) (6,57%) yang tidak berpengaruh nyata satu sama lain ($P>0,05$). Tingginya kandungan protein pada palopo dengan penambahan terong para (*Solanum indicum*) dapat dikaitkan dengan kemampuan enzim tripsin yang terkandung dalam buah terong para (*Solanum indicum*) untuk mengkoagulasi kasein protein utama dalam susu tanpa banyak menghancurkan atau menghidrolisisnya (Tauber dan Kleiner, 1934). Enzim ini secara spesifik menyebabkan agregasi protein, membentuk jaringan padat yang

mempertahankan protein dalam bentuk koagulan, bukan dalam bentuk terhidrolisis yang dapat terbawa ke fase whey (Kisworo, 2022). Efektivitas koagulasi ini menghasilkan retensi protein yang tinggi, sekaligus menciptakan tekstur palopo yang padat dan elastis, sebagaimana didukung pula oleh hasil uji hedonik yang menempatkan tekstur palopo terong para sebagai paling disukai.

Sebaliknya, palopo dengan penambahan getah biduri (*Calotropis gigantea*) dan getah pepaya (*Carica papaya* L.) menunjukkan kadar protein kasar yang lebih rendah. Keduanya diketahui mengandung enzim protease aktif (biduri: peptidase sistein; pepaya: papain) (Ramos *et al.*, 2013), (Babalola *et al.*, 2024). Penelitian yang dilakukan oleh Jamdar *et al.*, (2025) mengkaji struktur kristal dari enzim calotropain FI, yaitu sejenis enzim protease sistein yang mirip dengan papain. Enzim ini dikristalkan dalam kondisi pH 6 dan 9, dengan bantuan inhibitor E64 untuk menstabilkannya, dan berhasil diperoleh resolusi tinggi hingga 1,25–1,4 Å. Hasil analisis menunjukkan bahwa calotropain FI memiliki kemiripan struktur dengan enzim papain dan ervatamin B. Selain itu, penelitian ini juga berhasil mengidentifikasi urutan primer dari enzim calotropain FI yang berasal dari tanaman *Calotropis gigantea*.

Sifatnya yang mirip dengan papain, koagulasi menggunakan kedua enzim tersebut cenderung menghasilkan gumpalan lunak atau tidak terlalu keras, karena enzim ini terus memecah protein setelah koagulasi terjadi (Islam *et al.*, 2021). Protease tersebut tidak hanya berperan dalam koagulasi protein, tetapi juga dapat menyebabkan hidrolisis berlebihan, menghasilkan fragmen protein kecil seperti peptida dan asam amino yang lebih mudah larut dalam air. Akibatnya, sebagian protein dari susu tidak terperangkap dalam jaringan koagulan dan hilang bersama whey selama proses pemanasan dan pengendapan. Kondisi ini dapat menjelaskan mengapa kadar protein pada palopo dengan penambahan getah biduri (*Calotropis gigantea*) dan palopo dengan penambahan getah pepaya (*Carica papaya* L.) cenderung lebih rendah.

Hasil penelitian menggambarkan bahwa semakin baik koagulan dalam menggumpalkan kasein, maka semakin banyak protein yang tertahan dalam produk akhir. Dari segi nilai gizi,

kadar protein tinggi pada palopo dengan penambahan terong para (*Solanum indicum*) menjadikannya sebagai sumber protein fungsional yang lebih baik, terutama bagi konsumen yang mencari alternatif pangan berbasis susu kerbau dengan kandungan nutrisi tinggi.

Lemak kasar

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa penambahan jenis koagulan alami yang berbeda tidak berpengaruh tidak berpengaruh nyata ($P>0,05$) terhadap kadar lemak kasar palopo. Dalam penelitian ini, kadar lemak kasar tertinggi ditemukan pada palopo dengan penambahan terong para (*Solanum indicum*) (5,07%), diikuti oleh palopo dengan penambahan getah pepaya (*Carica papaya* L.) (4,72%), dan terendah pada palopo dengan penambahan getah biduri (*Calotropis gigantea*) (4,45%). Tingginya kadar lemak kasar pada palopo dengan penambahan terong para (*Solanum indicum*) kemungkinan besar disebabkan oleh efektivitas enzim tripsin pada terong para (*Solanum indicum*) dalam menggumpalkan susu secara optimal tanpa merusak emulsi lemak (Joye dan McClements, 2014). Enzim ini membantu pengendapan protein dan lemak secara bersamaan, sehingga lemak tidak banyak hilang ke fase whey saat pemanasan. Hal ini menunjukkan bahwa struktur koagulan yang terbentuk cukup padat dan mampu menahan lemak dengan baik, yang juga tercermin dalam skor hedonik untuk tekstur dan rasa yang relatif tinggi.

Pada perlakuan palopo dengan penambahan getah pepaya (*Carica papaya* L.), kadar lemak sedikit lebih rendah dibandingkan terong para yaitu 4,72%, sedangkan palopo dengan penambahan getah biduri (*Calotropis gigantea*) menghasilkan kadar lemak paling rendah (4,45%). Hal ini bisa dikaitkan dengan sifat protease sistein yaitu enzim papain pada getah pepaya dan enzim calotropain FI pada getah biduri dalam memecah protein susu dan melemahkan struktur koagulan. Protease sistein seperti papain memecah peptide di antara fenilalanin dan metionin dalam κ -casein, membentuk para- κ -casein dan membuka residu hidrofobik. Hal ini mengganggu struktur micelle sehingga struktur koagulan menjadi kurang stabil, yang memungkinkan lemak dan protein

larut terlepas ke whey (Malaka *et al.*, 2024). Namun, kadar lemak yang tetap cukup tinggi (4,72%) menunjukkan bahwa papain masih mampu membentuk jaringan protein yang relatif baik, walaupun tidak seoptimal tripsin dalam mempertahankan kandungan lemak.

Secara keseluruhan, hasil kadar lemak ini berkorelasi positif dengan tingkat kepadatan koagulan dan retensi bahan kering dalam produk akhir. Koagulan yang mampu mempertahankan lemak biasanya juga lebih baik dalam mempertahankan protein dan memberikan tekstur yang lebih padat, yang pada gilirannya memengaruhi penerimaan sensori oleh konsumen (Khan *et al.*, 2014). Oleh karena itu, penggunaan terong para (*Solanum indicum*) dapat dianggap unggul tidak hanya dari aspek protein, tetapi juga dalam mempertahankan komponen lemak secara optimal.

Antioksidan

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa penambahan jenis koagulan alami yang berbeda tidak berpengaruh nyata ($P<0,01$) terhadap kadar kadar antioksidan palopo. Kadar antioksidan tertinggi yaitu 80,05% dengan penambahan getah pepaya (*Carica papaya* L.), baru diikuti penambahan getah biduri (*Calotropis gigantea*) sebesar 74,05%, dan palopo penambahan terong para (*Solanum indicum*) sebesar 73,01%.

Palopo dengan penambahan getah biduri (*Calotropis gigantea*) menunjukkan kadar antioksidan yang cukup tinggi, yaitu sebesar 74,05%. Getah biduri (*Calotropis gigantea*) diketahui mengandung beberapa kelas senyawa fitokimia penting, termasuk glikosida, flavonoid, asam lemak, dan triterpenoid (Srivastava *et al.*, 2015). Namun, kadar antioksidannya tidak berpengaruh nyata ($P>0,05$) dengan palopo yang ditambahkan terong para (*Solanum indicum*) yang memiliki nilai kadar antioksidan paling rendah sebesar 73,01%. Buah terong para (*Solanum indicum*) mengandung berbagai fitokonstituen aktif seperti fitosterol, glikosida steroid, flavonoid, dan asam lemak, yang diketahui memiliki aktivitas biologis (Iqbal *et al.*, 2022). Rendahnya kadar antioksidan pada formulasi terong para (*Solanum indicum*) disebabkan oleh tingginya sensitivitas beberapa senyawa aktif terhadap suhu tinggi selama proses pengukusan.

Meskipun masih menunjukkan efek antioksidan yang moderat, tidak terdapat keunggulan khusus dari penggunaan buah terong para (*Solanum indicum*) pada aspek ini. Kekuatan utamanya tetap terletak pada kemampuan koagulasi dan retensi protein.

Tingginya kadar antioksidan pada palopo dengan penambahan getah pepaya (*Carica papaya* L.) (80,05%) tidak terlepas dari kandungan senyawa bioaktif yang terkandung di dalamnya, seperti vitamin C, flavonoid, asam fenolat, karotenoid, dan alkaloid, serta enzim papain yang tidak hanya berfungsi sebagai koagulan, tetapi juga berkontribusi terhadap kestabilan senyawa fenolik selama pemrosesan (Kumarasinghe *et al.*, 2024). Senyawa-senyawa tersebut bekerja sebagai scavenger terhadap radikal bebas seperti DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), sehingga meningkatkan kapasitas antioksidan produk akhir. Studi oleh (Canini *et al.*, 2007) mengisolasi senyawa dari ekstrak daun pepaya (*Carica papaya* L.) seperti asam protokatekuat, asam p-kumarat, asam kafeat, asam klorogenat, kaempferol, dan quercetin. Meskipun fokusnya bukan lateks, senyawa yang sama bisa jadi juga ada dalam getah karena saling terkait metabolit tanaman keseluruhannya. Selain itu, beberapa senyawa polifenol seperti asam kafeat dan asam p-kumarat stabil pada suhu diatas 100°C (Kumar *et al.*, 2015), (Nastasiienko *et al.*, 2021). Steaming seperti dalam proses pembuatan palopo juga dapat meningkatkan total antioksidan dibandingkan bentuk mentah. (Dolinsky *et al.*, 2015), (Murador *et al.*, 2017).

Penelitian ini menunjukkan bahwa pemilihan koagulan tidak hanya berdampak pada fisik dan tekstur produk, tetapi juga sangat mempengaruhi nilai fungsional dari sisi antioksidan. Palopo dengan penambahan getah pepaya (*Carica papaya* L.) dapat dipertimbangkan sebagai produk alternatif yang tidak hanya memiliki fungsi gizi dasar dari susu kerbau, tetapi juga berpotensi sebagai pangan fungsional untuk meningkatkan status kesehatan masyarakat. Penggabungan antara kemampuan koagulasi dan efek bioaktif menjadi kunci dalam pengembangan inovasi produk olahan susu ke depan.

Nilai Organoleptik

Rata-rata komposisi nilai organoleptik palapo berdasarkan jenis koagulan alama disajikan pada Tabel 3. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa penambahan koagulan alami berbeda berpengaruh sangat nyata ($P < 0.05$) terhadap terstur dan penerimaan palopo, sedangkan terhadap aroma, warna dan rasa tidak berpengaruh nyata ($P > 0.05$). Dari segi warna, palopo dengan penambahan terong para (*Solanum indicum*) juga paling disukai. Hasil penelitian ini memberikan Gambaran bahwa koagulasi dari terong para (*Solanum indicum*) memberikan warna yang lebih natural dan gelap dibandingkan palopo dengan penambahan getah pepaya (*Carica papaya* L.) dan palopo dengan penambahan getah biduri (*Calotropis gigantea*). Palopo dengan penambahan terong para (*Solanum indicum*) tampak lebih gelap, yang berasal dari perpaduan warna gula merah dengan susu yang terkoagulasi ditengah dan dikelilingi gula merah cair. Palopo dengan penambahan getah pepaya (*Carica papaya* L.) dan dengan penambahan getah biduri (*Calotropis gigantea*) menunjukkan koagulasi yang merata, sehingga hampir tidak terlihat gula merah cair di sekelilingnya dan warnanya tampak lebih cerah.

Tabel 3. Nilai Organoleptik Palopo Berdasar-kan Jenis Koagulan Alami

Parameter	Terong Para 0,2%	Getah Biduri 0,2%	Getah Pepaya 0,2%	Sig.
Aroma	4 ± 0,69	4 ± 0,75	4 ± 0,73	0,759
Warna	4 ± 0,96	4 ± 0,86	4 ± 0,76	0,084
Rasa	4 ± 0,97	3 ± 1,07	3 ± 0,97	0,371
Tekstur	4 ± 0,98 ^b	3 ± 0,97 ^a	3 ± 0,80 ^a	0,007
Penerimaan	4 ± 0,61 ^b	3 ± 0,80 ^a	4 ± 0,73 ^{ab}	0,046

Keterangan: Superskrip ^(a,b) yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan perbedaan yang sangat nyata ($P < 0,01$) dan nyata ($P < 0,05$), sig=signifikansi.

Penilaian rasa, palopo dengan penambahan terong para (*Solanum indicum*) memberikan skor 5 (paling disukai), sedangkan palopo dengan penambahan getah biduri (*Calotropis gigantea*) mendapat skor 3 (agak disukai). Hal ini disebabkan karena rasa getir dan pahit khas dari saponin dan alkaloid biduri yang masih tertinggal dalam produk akhir (Karolkowski *et al.*, 2023). Palopo dengan penambahan getah pepaya (*Carica papaya* L.) juga mendapat skor 3 (agak disukai).

Pembuatan palopo dengan penambahan terong para (*Solanum indicum*) memiliki nilai tekstur tertinggi yaitu 4 (disukai), penambahan getah pepaya (*Carica papaya* L.) dan getah biduri (*Calotropis gigantea*) memiliki skor 3 (agak disukai). Palopo dengan penambahan terong para (*Solanum indicum*) mendapat nilai terbaik menandakan bahwa produk dengan koagulan ini memiliki kekenyalan dan kepadatan yang sesuai dengan ekspektasi konsumen terhadap palopo. Palopo dengan penambahan getah biduri (*Calotropis gigantea*) menghasilkan tekstur yang lebih padat sedangkan palopo dengan penambahan getah pepaya (*Carica papaya* L.) menghasilkan tekstur yang lembek dan tidak sekompak palopo dengan penambahan terong para (*Solanum indicum*), sehingga mendapatkan skor lebih rendah.

Palopo dengan penambahan getah biduri (*Calotropis gigantea*) memiliki nilai penerimaan dengan skor 3 (agak diterima), palopo yang ditambahkan getah pepaya (*Carica papaya* L.) dan penambahan terong para (*Solanum indicum*) memiliki skor 4 (sangat diterima). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa meskipun palopo dengan penambahan getah pepaya (*Carica papaya* L.) unggul dalam kadar antioksidan, sedangkan dari segi kesukaan konsumen palopo dengan penambahan terong para (*Solanum indicum*) tetap menjadi koagulan terbaik secara sensoris. Hal ini penting sebagai pertimbangan dalam pengembangan produk palopo inovatif yang tidak hanya unggul secara nutrisi, tetapi juga diterima pasar.

Kesimpulan

Penambahan koagulan alami Terong para (*Solanum indicum*) dalam pembuatan palopo memberikan kualitas kimia dan penerimaan terbaik, sedangkan getah pepaya (*Carica papaya* L.) memberikan kadar antioksidan tertinggi, sehingga berpotensi untuk meningkatkan nilai fungsional produk.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti menyampaikan terima kasih kepada Ketua Laboran Laboratorium Ilmu Nutrisi dan Makanan Ternak Fakultas Peternakan, Ketua Laboran Laboratorium

Analisis Fakultas MIPA UNRAM yang telah berperan serta dalam penelitian ini.

Referensi

- Ardat, M.A., Wulandari Z., & Arief, I.I. (2022). Efektivitas Konsentrat Papain Bubuk, Getah Pepaya Segar, dan Papain Komersial sebagai Koagulan dalam Pembuatan Dangke. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*, 27 (4): 620–626. DOI: 10.18343/jipi.27.4.620.
- Babalola, B.A., Akinwande, A.I., Otunba, A.A., Adebami, G.E., Babalola, O., & Nwifo C. (2024). Therapeutic benefits of *Carica papaya*: A review on its pharmacological activities and characterization of papain. *Arabian Journal of Chemistry*, 17(1): 1-11.
<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.105369>
- Canini, A., Alesiani D., D'Arcangelo G., & Tagliatesta P. (2007). Gas chromatography–mass spectrometry analysis of phenolic compounds from *Carica papaya* L. leaf. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20 (7) : 584-590.
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2007.03.009>
- Coroian, A., Erler S., & Matea C.T. (2013). Seasonal changes of buffalo colostrum: physicochemical parameters, fatty acids and cholesterol variation. *Chemistry Central Journal*, 7 (40).
<https://doi.org/10.1186/1752-153X-7-40>
- Dinas Peternakan dan Kesehatan Hewan Provinsi NTB. (2024). Populasi Hewan Ternak di Provinsi NTB. Mataram, Nusa Tenggara Barat.
- Dolinsky, M., Agostinho C., Ribeiro, D., Rocha G.D.S., Barroso S.G., Ferreira, D., & Fialho, E. (2015). Effect of different cooking methods on the polyphenol concentration and antioxidant capacity of selected vegetables. *Journal of Culinary Science & Technology*, 14 (1) :1–12.
<https://doi.org/10.1080/15428052.2015.1058203>
- Febрина, L. (2010). Analisis usaha ternak kerbau pada ketinggian tempat yang berbeda di Provinsi Sumatera Barat. Tesis Program

- Pascasarjana Universitas Andalas, Padang.
- Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan, T.M., & McSweeney, P.L.H. (2017). Enzymatic Coagulation of Milk In *Fundamentals of Cheese Science*. Springer. Boston. 185–229.
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4899-7681-9>
- Hamid, M.A., Goda, H.A., Gobba, C.D., Jenssen, H., & Osman, A. (2016). Antibacterial activity of papain hydrolysed camel whey and its fractions. *International Dairy Journal*, 61:91-98.
<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.04.004>
- Iqubal, M., Sharma S.K., Mujahid, M., & Hussain, M.S.(2022). An updated ethnobotany, phytochemical and pharmacological potential of *Solanum indicum* L. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 12 (2):160-172.
<http://dx.doi.org/10.22270/jddt.v12i2.5385>
- Islam, M.A., Basunia, M.H.K., Rahman, A., Bari, M.S., Rahman M.F., Mannan M.A. & Datta, T.K. (2021). Effect of coagulants on the chemical and microbial quality of fresh cheese. *Bangladesh Journal of Animal Science*, 50(2):73-79.
<https://doi.org/10.3329/bjas.v50i2.58024>
- Jamdar, S.N., Kumar, A., Srivastava G., & Makde, R.D. (2025). Crystal Structure of Papain-Like Cysteine Protease, Calotropain FI, Purified from the Latex of *Calotropis gigantea*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 73 (15).
<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jafc.4c10898>.
- Jost, R. & Monti J.C. (1977). Partial Enzymatic Hydrolysis of Whey Protein by Trypsin. *Journal of Dairy Science*, 60 (9): 1387-1393. <https://bit.ly/4pbIwAr>
- Joye, I.J. & McClements, D.J. (2014). Emulsifying and Emulsion-Stabilizing Properties of Gluten Hydrolysates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62 (12).
<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf5001343>
- Karolkowski, A., Belloir, C., Lucchi, G., Martin, C., Bouzidi, E., Levavasseur, L., Salles, C., & Briand, L. (2023). Activation of Bitter Taste Receptors by Saponins and Alkaloids Identified in Faba Beans (*Vicia faba* L. *minor*). *Food Chemistry*, 426.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136548>
- Khan, S.U., Pal M.A., Wani, S.A., & Salahudin, M.(2014). Effect of different coagulants at varying strengths on the quality of paneer made from reconstituted milk. *J Food Sci Technol*, 51: 565–570.
<https://doi.org/10.1007/s13197-011-0525-7>
- Kisworo, D. (2022). Chemical and Organoleptic Properties of Palopo (Local Soft Cheese) Produced Using Natural Additive as Milk Coagulant. *Asian Journal of Applied Research for Community Development and Empowerment*, 6 (2): 9-14.
<https://doi.org/10.29165/ajarcde.v6i2.93>
- Kumar, N., Pruthi, V., & Goel, N. (2015). Structural, thermal and quantum chemical studies of *p*-coumaric and caffeic acids. *Journal of Molecular Structure*, 1085 : 242-248.
<https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2014.12.064>
- Kumarasinghe, H.S., Kim, J.H., Kim, S.L., Kim K.C., Perera R.M.T.D., Kim S.C., Lee D.S. (2024). Bioactive constituents from *Carica papaya* fruit: implications for drug discovery and pharmacological applications. *Applied Biological Chemistry*, 67 (103).
<https://doi.org/10.1186/s13765-024-00962-y>
- Lin, S., Gandara, J.S., Cao, H., & Xiao, J. (2023). The stability and degradation products of polyhydroxy flavonols in boiling water. *Current Research in Food Science*, 6.
<https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100509>
- 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, 58 (5): 911-916.
<https://arccjournals.com/journal/indian-journal-of-agricultural-research/AF-882?utm>
- Matondang, R.H. & Chalid, T. (2015). Pemanfaatan Ternak Kerbau Untuk Mendukung Peningkatan Produksi Susu. *Jurnal Litbang Peternakan*, 34 (1) :41-49.
<https://repository.pertanian.go.id/handle/123456789/1217>
- Minieri, L., Franciscis, G.D., & Intrieri, F. (1965). On behavior of pH value in relation to acidity and chemical constituents of milk: research in Bubalus buffalus. *Acta medica Veterinaria-Journal*, 11(1): 107-114.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/5849085/>
- Murador, D., Braga, A.R., Da Cunha, D., & De Rosso V. (2017). Alterations in phenolic compound levels and antioxidant activity in response to cooking technique effects: A meta-analytic investigation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58 (2): 169–177.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1140121>
- Murti, TW. (2002). Ilmu Ternak Kerbau. Penerbit Kasinus. Yogyakarta.
- Nastasiienko, N., Kulik, T., Palianytsia, B., Larsson M., Cherniavska, T., & Kartel, M. (2021). Decarboxylation of *p*-Coumaric Acid during Pyrolysis on the Nanoceria Surface. *Colloids Interfaces*, 5(4):1-11
<https://doi.org/10.3390/colloids5040048>
- Nogueira, L.S., Tavares, I.M.C., Santana, N.B., Ferrão, S.P.B., Teixeira, J.M., Costa, F.S., Silva, T.P., Pereira, H.J.V., Irfan, M., Bilal M., Oliveira, J.R., & Franco, M. (2021). Thermostable trypsin-like protease by *Penicillium roqueforti* secreted in cocoa shell fermentation: Production optimization, characterization, and application in milk clotting. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 69(5):1-12
<https://doi.org/10.1002/bab.2268>
- Noviyanty, Y., Mulyani, E., & Ramdani, I.A. (2021). Identifikasi dan Penetapan Kadar Senyawa Saponin Dari Ekstrak Etanol Bunga Biduri (*Calotropis gigantea* L) dengan Metode Gravimetri. *Jurnal Ilmiah Pharmacy*, 8 (1): 136-147.
<https://bit.ly/3K8QPwP>
- Rajagopalan, A., Soundararajan, M., & Sukumaran, B.O. (2019). Proteases from *Calotropis gigantea* stem, leaf and calli as milk coagulant source. *Turk J Biochem*, 44(3):240–247.
<https://doi.org/10.1515/tjb-2017-0268>
- Ramos, M.V., Araujoa, E.S., Jucaa, T.L., Moreira A.C.O.M., Vasconcelos I.M., Moreira R.A., Vianaa C.A., Beltramini L.M., Pereiraa D.A., Moreno, F.B. (2013). New insights into the complex mixture of latex cysteine peptidases in *Calotropis procera*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 58:211-219.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.04.001>
- Schlueter, N., Hardt, M., Klimek, J., & Ganss, C. (2010). Influence of the digestive enzymes trypsin and pepsin in vitro on the progression of erosion in dentine. *Archives of Oral Biology*, 55 (4): 294-299.
<https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2010.02.003>
- Srivastava, S., Singh, A.P., & Rawat, A.K.S. (2015). Comparative Botanical and Phytochemical Evaluation of *Calotropis Procera* Linn. and *Calotropis Gigantea* Linn. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 5 (7): 041–047. DOI: 10.7324/JAPS.2015.50707
- Sulistyo, B., Chairunnisa H., & Wulandari, E. (2018). Pengaruh Penggunaan Kombinasi Enzim Papain Dan Jus Lemon Sebagai Koagulan Terhadap Kadar Air, Berat Rendemen, dan Nilai Kesukaan Fresh Cheese. *Jurnal Ilmu Ternak*, 18(1):8-15. DOI: 10.24198/jit.v18i1.15299
- Tauber, H. and Kleiner, I.S. (1934). Some Enzymes Of *Solanum Indicum*. *Journal Of Biological Chemistry*, 105 (4) : 679-682. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)75503-8](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)75503-8)
- Tsibranska, S., Tcholakova, S., Golemanov, K., Denkov, N., Pelan, E., Stoyanov, S.D. (2020). Role of Interfacial Elasticity For The Rheological Properties of Saponin-Stabilized Emulsions. *Journal of Colloid*

-
- and Interface Science*, 564 : 264-275
<https://doi.org/10.1016/j.jcis.2019.12.108>
- United States Department of Agriculture (USDA). (2001). Specification for Cottage Cheese and Dry Curd Cottage Cheese. Agricultural Marketing Service USDA. <https://bit.ly/4629QZi>
- Zhang, H., Zhao, X., Chen, X., & Xu, X. (2022). Thoroughly review the recent progresses in improving O/W interfacial properties of proteins through various strategies. *Frontiers in Nutrition*, 9:1-21. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1043809>