

**KARAKTERISASI FISIK DAN KIMIA *GHEE* DARI SUSU BERBAGAI
RAS KAMBING PERAH DENGAN PERLAKUAN INTERESTERIFIKASI
DAN PENAMBAHAN ASAM STEARAT**

SKRIPSI

Oleh

GABRIELLA DARAESTU



**PROGRAM STUDI S-1 TEKNOLOGI PANGAN
FAKULTAS PETERNAKAN DAN PERTANIAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2026**

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Susu kambing merupakan komoditas produk hewani dengan jumlah konsumsi yang meningkat dalam beberapa dekade terakhir. Susu kambing dapat menjadi produk susu alternatif bagi orang yang susah mencerna susu sapi. Susu kambing memiliki ukuran globula yang lebih kecil dibanding susu sapi sehingga lebih mudah dicerna oleh tubuh manusia (Zhang *et al.*, 2024). Peningkatan minat akan susu kambing mendorong pengembangan produk lanjutan dari susu kambing seperti produk olahan berbasis lemak seperti *ghee*. *Ghee* merupakan lemak murni yang dimurnikan dari susu hewani seperti susu kambing (Elemanova *et al.*, 2026). *Ghee* dapat digunakan untuk berbagai macam olahan makanan seperti dimanfaatkan untuk menumis dan memanggang makanan, serta dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam produk kue, pastry, dan makanan tradisional contohnya Kheer dan Burfi yang berasal dari India.

Lemak susu kambing memiliki komposisi yang khas jika dibandingkan dengan lemak susu sapi. Lemak susu kambing mengandung lebih banyak asam lemak rantai sedang meskipun asam lemak rantai panjang masih mendominasi dari komposisi lemak susu (Mollica *et al.*, 2021). Hal ini menjadi salah satu faktor pendukung bahwa susu kambing lebih mudah dicerna dibanding susu sapi. Asam lemak rantai sedang lebih mudah dicerna oleh tubuh karena dapat langsung diserap

hati melalui vena porta dan masuk ke mitokondria tanpa melalui sistem *shuttle karnitin* (Yuan *et al.*, 2022). Asam lemak rantai sedang memiliki titik leleh yang lebih rendah jika dibandingkan asam lemak rantai panjang. Panjang rantai karbon pada asam lemak mempengaruhi titik leleh karena semakin panjang rantai karbon maka gaya tarik antarmolekul akan menjadi lebih kuat, sehingga membutuhkan suhu yang lebih tinggi untuk mengubah fase lemak dari padat menjadi cair (Sun *et al.*, 2026).

Di Indonesia, susu kambing diproduksi oleh beberapa ras kambing yang dimanfaatkan sebagai kambing perah. Beberapa ras kambing yang dimanfaatkan yaitu kambing Anglo Nubian, kambing Etawa, kambing Jawa Randu, dan kambing Sapera. Perbedaan ras pada susu kambing berpotensi untuk menghasilkan susu kambing dengan karakteristik fisik dan kimiawi lemak yang berbeda. Selain dari ras kambing, perbedaan juga dapat dihasilkan dari perbedaan pakan, lingkungan tinggal, dan fase laktasinya (Sedewo *et al.*, 2026). Lemak susu kambing secara umum memiliki karakteristik yang jauh berbeda dari susu sapi dan memiliki struktur lemak yang stabil dibanding susu sapi. Struktur lemak yang lebih stabil pada susu kambing menyebabkan mentega sulit terpisah pada saat proses *churning* (Akshit *et al.*, 2024). Selain itu lemak dari susu kambing memiliki titik leleh yang rendah sehingga masih jarang dimanfaatkan menjadi produk komersial seperti mentega sapi. Titik leleh *ghee* susu kambing memiliki nilai sekitar 28,1-30,2°C sedangkan pada *ghee* sapi nilainya 32,7-35,8°C (Dhiman *et al.*, 2022). Titik leleh yang tinggi berpengaruh pada kestabilan fisik *ghee* di suhu ruang dan menghindari

terjadinya proses *freeze-thaw cycle* atau pembekuan dan pencairan berulang pada lemak.

Karakteristik lemak yang belum optimal dari lemak susu kambing membutuhkan beberapa perbaikan. Lemak susu kambing dapat melalui proses interesterifikasi yaitu proses mengatur ulang komposisi asam lemak pada ikatan trigliserol untuk menghasilkan lemak dengan karakteristik yang lebih baik dibanding sebelumnya (Yıldız *et al.*, 2025). Selain itu, proses interesterifikasi dapat dilakukan bersamaan dengan penambahan asam lemak rantai panjang seperti asam stearat untuk menghasilkan lemak dengan karakteristik titik leleh yang lebih tinggi sehingga membentuk struktur kristal lemak yang lebih stabil. Asam lemak rantai panjang memiliki titik leleh yang lebih tinggi dibandingkan dengan asam lemak rantai sedang dan pendek (Nelson *et al.*, 2025).

Penelitian mengenai lemak susu kambing sudah beberapa kali dilakukan seperti pada penelitian Murti *et al.* (2020) yang membandingkan mentega kambing dan mentega sapi, mentega kambing lebih cepat meleleh dibandingkan mentega sapi dan daya terima panelis lebih besar untuk mentega sapi dibandingkan mentega kambing. Penelitian lainnya mengenai lemak susu kambing dilakukan oleh Korma *et al.* (2022) yang membandingkan profil asam lemak dari dua ras kambing lokal China yaitu kambing Guanzhong dan kambing Xinong Saanen, hasil yang didapat terdapat perbedaan profil asam lemak dari kedua ras kambing tersebut tetapi keduanya memiliki *melting point* yang rendah yaitu dibawah 30°C. Kedua penelitian tersebut membuktikan bahwa nilai *melting point* dari lemak susu kambing masih rendah sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk

memperbaiki profil asam lemak dari mentega kambing. Penelitian ini dilakukan untuk memperbaiki profil lemak dari susu empat ras kambing dengan memodifikasi lemak murni atau *ghee* susu kambing melalui penambahan asam stearat dan interesterifikasi.

1.2. Tujuan dan Manfaat

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik fisik dan kimia dari 4 ras *ghee* susu kambing. Selain itu, penelitian ini juga ditujukan untuk mengetahui karakteristik fisik dan kimia dari *ghee* susu kambing yang diinteresterifikasi dengan penambahan asam stearat dan sejauh mana proses interesterifikasi dapat memperbaiki profil lemak *ghee* susu kambing. Parameter yang dianalisis pada penelitian ini meliputi mikrostuktur lemak, *slip melting point*, kadar FFA, dan bilangan peroksida. Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan pemanfaatan *ghee* susu kambing sebagai substitusi produk *ghee* dalam industri pangan, serta sebagai referensi penelitian lanjutan mengenai pengembangan produk berbasis *ghee* susu kambing dengan kualitas yang stabil, dengan karakteristik fisik dan kimia yang konsisten.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Susu Kambing

Kambing adalah salah satu jenis hewan ternak yang dimanfaatkan daging serta susunya. Susu kambing merupakan salah satu hasil dari produk ternak yang sudah dimanfaatkan oleh manusia sejak lama dan sering dikonsumsi oleh sebagian masyarakat Indonesia. Susu kambing dihasilkan dari kelenjar mammae kambing betina yang meningkat setelah melahirkan dengan puncak produksi yaitu dua bulan setelah melahirkan dan masa laktasi optimal selama 305 hari (Prayitno *et al.*, 2023). Perbedaan utama pada susu kambing dan susu sapi terletak pada ukuran globula lemaknya. Ukuran globula lemak susu kambing lebih kecil yaitu sekitar 2-3 μm sedangkan ukuran globula lemak susu sapi yaitu sekitar 4-5 μm (Wei *et al.*, 2022). Ukuran globula lemak yang lebih kecil ini membuat susu kambing lebih mudah untuk dicerna oleh tubuh manusia. Karena lebih mudah dicerna, susu kambing aman untuk dikonsumsi oleh orang yang alergi terhadap susu sapi atau orang yang sedang mengalami gangguan pencernaan (Mumpuni *et al.*, 2020).

Berdasarkan komposisi kimianya, susu kambing memiliki berbagai nutrisi yang dibutuhkan tubuh seperti lemak, protein, laktosa, vitamin, dan mineral. Komposisi utama dari susu kambing yaitu air sekitar 87% dari total komposisinya, lalu diikuti lemak sekitar 3-5%, protein sekitar 3-4%, serta laktosa sekitar 4-5% (Christi dan Rohayati, 2018). Secara visual susu kambing berwarna lebih putih dibandingkan susu sapi yang putih kekuningan. Menurut Prayitno *et al.* (2023), hal

ini terjadi karena kandungan karoten dalam susu kambing sangat sedikit, karoten pada susu sapi memberikan warna kekuningan sedangkan karoten pada susu kambing diubah menjadi vitamin A. Komposisi kimia pada susu kambing beragam tergantung pada ras kambing, pakan, kondisi lingkungan, serta fase laktasinya.

Tabel 1. Perbandingan Komposisi Kimia Susu Kambing dan Susu Sapi

Komponen	Persentase (%)	
	Susu Kambing	Susu Sapi
Air	±87% ¹⁾	±88% ³⁾
Lemak	3-5% ¹⁾	3-4% ²⁾
Protein	3-4% ¹⁾	2-3% ²⁾
Laktosa	4-5% ¹⁾	4-5% ³⁾

¹⁾Christi dan Rohayati (2018); ²⁾Sudrajat *et al.* (2021); ³⁾Wahyuningsih dan Pazra (2022)

Perbedaan utama komposisi kimia susu kambing dengan susu sapi terletak pada jumlah asam lemak rantai sedangnya. Susu kambing memiliki asam lemak rantai sedang yang lebih banyak dibandingkan susu sapi (Nayik *et al.*, 2021). Susu kambing mengandung asam lemak rantai sedang yaitu asam kaproat (C6:0), asam kaprilat (C8:0), dan asam kaprat (C10:0) dengan kandungan sebanyak 15-18% dari total asam lemak yang ada pada susu kambing, sedangkan pada susu sapi hanya mengandung 5-9% asam lemak rantai sedang (Mollica *et al.*, 2021). Ketiga jenis asam lemak rantai sedang ini berasal dari bahasa latin yaitu *capra* yang berarti “kambing” yang mencerminkan asam lemak tersebut sangat dominan pada susu kambing. Persentase asam lemak rantai panjang pada lemak susu sapi lebih banyak sehingga lemak susu sapi lebih stabil ketika di suhu ruang dibanding dengan lemak susu kambing. Titik leleh lemak murni susu kambing memiliki nilai sekitar 28,1-30,2°C sedangkan pada lemak murni susu sapi nilainya 32,7-35,8°C (Dhiman *et al.*, 2022).

Tabel 2. Perbandingan Komposisi Asam Lemak Susu Kambing dan Susu Sapi

Asam lemak	Persentase (%)	
	Susu Kambing	Susu Sapi
C4:0	2,4	4,2
C6:0	2,8	2,6
C8:0	3,3	1,4
C10:0	11,5	2,8
C12:0	4,6	3,1
C14:0	10,0	11,2
C16:0	25,7	29,3
C18:0	9,7	9,9

Nayik *et al.* (2021)

Di Indonesia pemanfaatan susu kambing masih terbatas pada susu saja karena dipercaya memiliki khasiat kesehatan yang lebih dibandingkan susu sapi. Masyarakat Indonesia percaya bahwa susu kambing memiliki fungsi sebagai obat dan dapat menyembuhkan penyakit tertentu (Pradini *et al.*, 2021). Pemanfaatan susu kambing pada wilayah lain seperti India telah mengalami perkembangan yang lebih dibanding Indonesia, susu kambing dimanfaatkan bagian lemaknya untuk dijadikan mentega dan *ghee* (Hariyani *et al.*, 2025).

2.1.1. Perbandingan Ras Kambing

Komposisi kimia pada susu kambing bergantung pada banyak faktor salah satunya yaitu ras kambing. Perbedaan ras kambing pada penelitian ini sangat penting terutama pada hasil susu setiap ras-nya. Penelitian ini menggunakan kambing ras Anglo-Nubian, Etawa, Jawa Randu, dan Sapera.

a. Anglo-Nubian

Anglo Nubian merupakan kambing ras domestik Inggris yang berasal dari persilangan antara kambing asli Inggris dan kambing campuran bertelinga besar yang berasal dari India, Timur Tengah, dan Afrika Tengah. Kambing jenis ini

dikenal dengan sebutan “Nubian” dengan postur badan yang besar dibanding kambing lainnya dan memiliki kaki yang panjang (Prayitno *et al.*, 2023). Kambing ras Anglo Nubian memiliki fungsi ganda yaitu dapat menjadi kambing penghasil daging dan kambing penghasil susu. Kambing Anglo Nubian juga merupakan kambing adaptif sehingga dapat dikembangkan di lingkungan tropis seperti Indonesia (Ningsih *et al.*, 2022).



Ilustrasi 1. Kambing Anglo Nubian

Sebagai kambing penghasil susu, Anglo Nubian dapat menghasilkan susu dalam jumlah yang cukup banyak. Hasil susu kambing ras Anglo Nubian dapat mencapai 3-4 liter per harinya (Prayitno *et al.*, 2023). Kandungan lemak pada susu kambing ras Anglo Nubian sekitar 4-6% dari jumlah susu secara keseluruhan (Nicory *et al.*, 2023).

b. Etawa

Etawa merupakan ras kambing yang berasal dari persilangan antara kambing Etawa yang berasal dari India dengan kambing lokal kambing kacang. Kambing Etawa sering juga disebut kambing Peranakan Etawa (PE). Kambing Etawa

merupakan kambing perah yang umum digunakan di Indonesia dengan bobot sekitar 32-37 kg per ekornya (Nazifah *et al.*, 2026). Persilangan kambing Etawa dilakukan untuk menghasilkan jenis kambing perah yang menghasilkan susu dengan optimal. Hasil persilangan kambing Etawa ini mampu memproduksi susu sebanyak 1,5-3 liter per hari (Laya dan Ilham, 2019).



Ilustrasi 2. Kambing Etawa

Kambing Etawa merupakan kambing yang sangat potensial untuk dikembangkan. Kambing Etawa merupakan kambing dwiguna yang memiliki fungsi ganda yaitu sebagai kambing penghasil daging dan juga penghasil susu (Nazifah *et al.*, 2026). Menurut penelitian Rokhayati *et al.* (2022), susu kambing Etawa memiliki kandungan lemak sekitar 6-8% dari jumlah susu secara keseluruhan. Jumlah lemak susu kambing Etawa bergantung pada setiap fase laktasinya.

c. Jawa Randu

Jawa Randu adalah salah satu ras kambing lokal yang banyak dibudidayakan oleh peternak lokal Indonesia. Jawa randu merupakan kambing hasil dari

persilangan antara kambing Peranakan Etawa dengan kambing Kacang (Warman *et al.*, 2021). Kambing Jawa Randu awalnya dikembangkan sebagai kambing penghasil daging. Namun, kambing betina hasil persilangan ini memiliki potensi sebagai kambing penghasil susu sehingga banyak peternak mulai memanfaatkan kambing Jawa Randu sebagai kambing penghasil susu (Syamsi *et al.*, 2023).



Ilustrasi 3. Kambing Jawa Randu

Kambing Jawa Randu merupakan kambing lokal dengan hasil susu lebih rendah dibandingkan kambing perah yang berasal dari luar negeri. Jawa Randu yang biasa disebut kambing Bligon menghasilkan 225 liter pada setiap masa laktasinya (Karni *et al.*, 2025). Kadar lemak susu kambing Jawa Randu tidak berbeda jauh dibandingkan dengan jenis kambing lainnya. Kadar lemak susu kambing Jawa Randu berkisar antara 6-7% dari jumlah keseluruhan susu (Arisani *et al.*, 2022).

d. Sapera

Kambing ras Sapera merupakan jenis kambing yang dapat menghasilkan susu. Sapera merupakan jenis kambing ras yang berasal dari persilangan kambing

Peranakan Etawa (PE) dari Indonesia dan kambing Saanen yang berasal dari Swiss (Saputro *et al.*, 2018). Kambing sapera disilangkan untuk menghasilkan kambing penghasil susu dengan genetik Saanen namun memiliki ketahanan di lingkungan tropis seperti Indonesia (Setiawan *et al.*, 2021).



Ilustrasi 4. Kambing Sapera

Hasil susu yang dapat dihasilkan oleh setiap ekornya berkisar antara 1,5 hingga 2 liter per hari (Christi *et al.*, 2022). Kambing ras Sapera banyak dibudidayakan oleh peternak lokal Indonesia sebagai kambing perah untuk dimanfaatkan susunya. Kadar lemak dari susu kambing Sapera berkisar antara 4-5% tergantung pada masa laktasinya (Christi dan Rohayati, 2018).

2.2. *Ghee* Susu Kambing

Ghee merupakan mentega yang telah mengalami proses pemurnian hingga kadar air habis dan padatan mentega dipisahkan. *Ghee* berasal dari bahasa India yaitu ghī yang merujuk pada *clarified butter* atau mentega yang telah dimurnikan (Hariyani *et al.*, 2025). *Butter* atau mentega merupakan hasil pemisahan lemak dari krim susu hewan yang menghasilkan susu seperti pada hewan ruminansia. Secara

kimiawi, *ghee* merupakan matriks lipid kompleks yang terdiri dari triasilgliserol, asam lemak bebas, bersamaan dengan fosfolipid, sterol, tokoferol, karbonil, hidrokarbon, vitamin, dan sedikit kasein serta mineral sisa seperti fosfor, kalsium, dan zat besi (Ali *et al.*, 2025). Perbedaan *ghee* dengan mentega terletak pada kandungan lemak yang mendominasi serta memiliki kandungan residu yang sangat rendah (Elemanova *et al.*, 2026). Sifat fisikokimia dan sensoris *ghee* yang berbeda dengan mentega menjadikan *ghee* memiliki masa simpan yang relatif lebih lama dibandingkan mentega biasa.

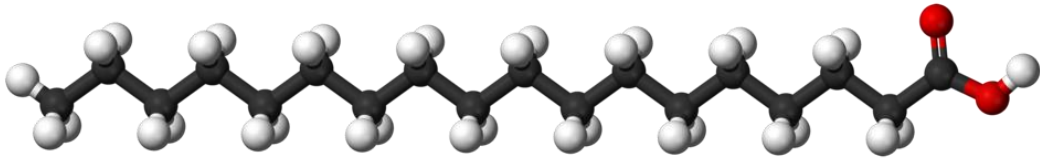
Ghee biasa digunakan sebagai minyak untuk menumis atau menggoreng makanan. Selain itu, *ghee* juga dapat dimanfaatkan sebagai lemak tambahan pada berbagai makanan olahan seperti makanan olahan khas India yaitu *ladoo*, *mysore pak*, dan *halwa* (Kataria dan Singh, 2024). India merupakan konsumen terbesar dari *ghee*, namun *ghee* juga dimanfaatkan di beberapa wilayah dengan sebutan yang berbeda seperti *Masle* dan *Samna* di Timur Tengah, *Roghan* di Iran, *Meshho* di Aramea, *Samin* di Sudan, dan *Samuli* di Uganda (Kumbhare *et al.*, 2023).

Ghee dapat dibuat dengan beberapa metode seperti metode tradisional, metode *creamery-butter*, metode prestratifikasi, dan metode *direct cream* (Ali *et al.*, 2025). Metode-metode ini berbeda dari sisi pemisahan lemak susu sebelum melalui proses pemanasan untuk menjadi *ghee*. Metode tradisional memanfaatkan mikroba untuk memisahkan mentega dari krim, kemudian mentega dipanaskan hingga kadar air habis. Metode *creamery-butter* yaitu krim susu yang telah dipisahkan dibuat menjadi mentega lalu kemudian diubah menjadi *ghee* dengan menggunakan proses pemanasan. Mentega dipanaskan hingga mencapai suhu 110-

120°C dan kadar air habis (Kataria dan Singh, 2025). Metode prestratifikasi merupakan metode pemisahan *ghee* dengan melakukan pemanasan awal pada mentega dengan suhu rendah 80°C lalu dilakukan penyimpanan hingga fraksi lemak, emulsi, dan air serta protein terpisah menjadi 3 lapisan lalu kemudian dilakukan proses pemurnian dengan suhu 110-120°C (Kumbhare *et al.*, 2023). Metode *direct-cream* pemisahan *ghee* dilakukan tanpa membuat fraksi mentega sebelum proses pemanasan sehingga pemanasan dilakukan pada krim yang telah dipisahkan dari susu dengan suhu 105-120°C dan terus diaduk hingga kadar air habis (Ahmad dan Saleem, 2019).

2.3. Asam Stearat

Asam stearat merupakan asam lemak jenuh rantai panjang yang banyak ditemukan pada asam lemak nabati maupun hewani. Asam stearat memiliki rumus kimia yaitu $C_{18}H_{36}O_2$ dan termasuk dalam golongan asam lemak dengan 18 atom karbon tanpa ikatan rangkap. Asam stearat dalam bentuk murni berbentuk padatan yang memiliki titik leleh 69,6 °C (Aspadih *et al.*, 2020). Berat molekul dari asam stearat adalah 284,48g/mol dan memiliki karakteristik berbentuk padatan putih yang berbentuk bubuk atau butiran. Asam stearat umum digunakan sebagai senyawa tambahan pada olahan pangan sebagai emulsifier dan stabilizer serta dapat dimanfaatkan sebagai oleogelator yang dapat memperbaiki tekstur produk pangan dan mengontrol kestabilan lemak (Gaudino *et al.*, 2019).



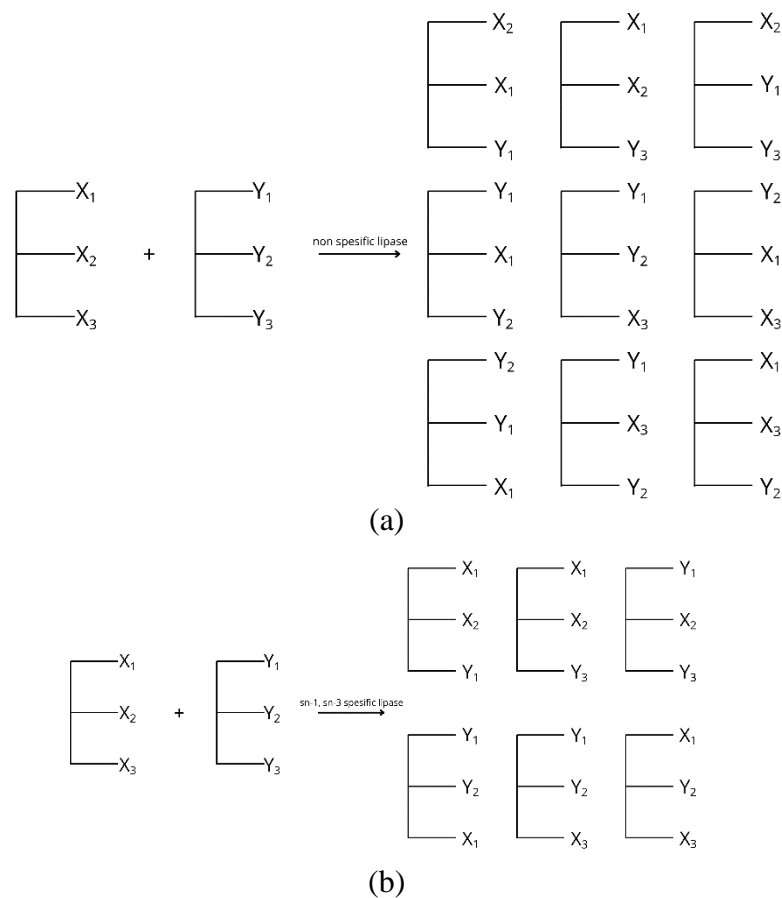
Ilustrasi 5. Model 3D dari struktur asam stearat (PubChem)

Titik leleh yang tinggi dapat menjadikan asam stearat menjadi substrat untuk meningkatkan titik leleh dari suatu campuran lemak. Asam stearat akan berperan sebagai *crystallization promoter* karena titik lelehnya yang tinggi sehingga dapat mempercepat proses kristalisasi pada lemak (Müller dan Careglio, 2018). Peningkatan titik leleh ini berfungsi untuk mencegah lemak mencair dan menjaga lemak tetap padat ketika berada di suhu ruang. Pada proses interesterifikasi, asam stearat akan menggantikan asam lemak yang terikat pada ikatan trigliserida dan membentuk ikatan trigliserida baru yang memiliki titik leleh yang lebih tinggi. Menurut penelitian Huang *et al.* (2021), asam stearat yang ditambahkan pada proses interesterifikasi enzimatis akan membuat asam stearat menempati posisi sn-1 dan sn-3 dan akan terbentuk TAG baru yang memiliki titik leleh yang lebih tinggi.

2.4. Interesterifikasi Enzimatis

Interesterifikasi merupakan proses pertukaran asam lemak pada molekul trigliserida untuk mengatur ulang atau memodifikasi struktur asam lemak pada ikatan molekul trigliserida. Proses interesterifikasi berfungsi untuk meningkatkan kualitas dari lemak seperti meningkatkan titik leleh dan membentuk jaringan kristal lemak sehingga menjaga lemak tetap padat di suhu ruang. Terdapat dua metode interesterifikasi yaitu interesterifikasi secara kimiawi dan interesterifikasi

enzimatis. Interesterifikasi kimia menggunakan katalis kimia (seperti natrium alkoksida) dalam prosesnya dengan reaksi pertukaran asam lemak yang bersifat acak (Yıldız *et al.*, 2025). Interesterifikasi enzimatis menggunakan enzim (biasanya enzim lipase) dalam prosesnya dan reaksi pertukaran asam lemak spesifik pada ikatan sn-1 dan sn-3 (Sivakanthan dan Madhujith, 2020).



Ilustrasi 6. Mekanisme interesterifikasi enzimatis (Sivakanthan dan Madhujith, 2020). (a) interesterifikasi dengan katalis non spesifik, (b) interesterifikasi dengan katalis spesifik.

Interesterifikasi enzimatis menggunakan enzim lipase sebagai katalis biologis yang mempercepat reaksi interesterifikasi. Berdasarkan metode kerjanya, lipase dibagi menjadi non-spesifik dan spesifik lipase (Sitanggang *et al.*, 2019). Non-spesifik lipase memiliki hasil yang mirip dengan interesterifikasi kimia yaitu posisi

asam lemak sn-1, sn-2 dan sn-3 dapat berubah. Lipase spesifik diklasifikasikan menjadi yaitu *regeospesific (positional)*, *stereospesific*, dan *substrate spesific* yang masing-masing berfungsi untuk menentukan posisi, jenis, dan konfigurasi asam lemak yang akan bereaksi (Sitanggang *et al.*, 2019). Secara umum, reaksi pertukaran asam lemak lipase spesifik terjadi pada posisi sn-1 dan sn-3 pada molekul triasilgliserol (TAG) dan asam lemak pada posisi sn-2 cenderung tidak mengalami perubahan. Asam lemak pada posisi sn-2 tidak mengalami perubahan karena enzim lipase mengalami hambatan sterik sehingga tidak dapat mengubah asam lemak pada posisi tersebut (Sivakanthan dan Madhujith, 2020).

Penambahan asam stearat pada interesterifikasi enzimatis berfungsi untuk meningkatkan kandungan asam lemak jenuh rantai panjang pada lemak yang diinteresterifikasi. Asam stearat akan menggantikan asam lemak lain pada molekul triasilgliserol sehingga menghasilkan stuktur lipid yang memiliki kestabilan oksidatif lebih tinggi dibandingkan lemak awal (Sivakanthan dan Madhujith, 2020). Selain itu, sifat fisik lemak akan mengalami peningkatan seperti peningkatan titik leleh dan memberikan karakteristik yang lebih sesuai untuk aplikasi pangan (da Silva *et al.*, 2025).

2.5. Mikrostruktur Lemak

Mikrostruktur lemak adalah pengamatan mengenai mikrostruktur lemak untuk mengetahui perubahan struktur lemak yang diteliti sebelum dan setelah diberi perlakuan. Proses interesterifikasi dapat menyebabkan perubahan pada struktur kristal lemak karena pada proses interesterifikasi terjadi modifikasi morfologi dan jaringan kristal lemak (de Paula *et al.*, 2018). Kristalisasi pada lemak terjadi akibat

adanya dua tahapan pembentukan kristal yaitu nukleasi dan *crystal growth* (Yang *et al.*, 2024). Nukleasi merupakan proses pembentukan inti kristal yang dibedakan menjadi nukleasi primer dan nukleasi sekunder. Nukleasi primer dibedakan menjadi nukleasi homogen dan nukleasi heterogen, nukleasi homogen yaitu nukleasi yang terjadi ketika sistem lemak tidak mengandung partikel lain dan hanya lemak itu sendiri sedangkan nukleasi heterogen terjadi karena adanya partikel eksternal yang membantu proses nukleasi sehingga mengurangi gaya pendorong (*driving force*) pada prosesnya. Nukleasi sekunder terjadi karena adanya kristal awal yang memicu terbentuknya inti kristal baru. *Crystal growth* merupakan fase pertumbuhan inti kristal menjadi kristal lemak yang melibatkan perpindahan molekul ke permukaan, penempelan pada bagian tertentu di permukaan kristal (*kink site*), dan pelepasan *latent heat* yang akan menentukan struktur pada skala mikro dan sifat fisik dari sistem lemak. Semakin banyak inti kristal yang terbentuk maka semakin kecil kristal lemak yang dihasilkan (Wang *et al.*, 2022).

Pengamatan mikrostruktur lemak dapat dilakukan menggunakan mikroskop cahaya dengan perbesaran 10x, 40x, atau 100x tergantung pada tingkat detail struktur lemak yang akan diamati. Untuk memperoleh hasil pengamatan struktur lemak yang lebih jelas, pengamatan dapat dilakukan dengan menggunakan tambahan lensa polarisasi. Lensa polarisasi merupakan lensa optik yang berfungsi untuk menyaring cahaya sehingga cahaya dengan arah tertentu yang dapat melewatinya. Pada pengamatan skala mikroskopis, lensa ini digunakan untuk menghasilkan cahaya terpolarisasi sehingga dapat berinteraksi dengan lemak yang bersifat anisotropi (Rajabalaya *et al.*, 2017). Kristal lemak bersifat anisotropi

sehingga menunjukkan fenomena *birefringence* yaitu memiliki kemampuan untuk membiaskan cahaya terpolarisasi menjadi dua arah yang berbeda sehingga karakteristik material yang tidak terlihat pada cahaya biasa bisa terlihat lebih jelas (Pedrosa *et al.*, 2025). Kristal lemak akan terlihat terang karena fenomena *birefringence* dan fase non-lemak akan terlihat gelap.

2.6. *Slip Melting Point*

Melting point merupakan suhu dari suatu zat ketika terjadi perubahan dari fase padat menjadi fase cair. Titik leleh pada zat seperti lemak bergantung pada jenis asam lemak yang terkandung didalamnya. Lemak yang telah mengalami proses seperti interesterifikasi dapat mengalami perubahan titik leleh karena terjadi perubahan susunan asam lemak pada ikatan triasilgliserolnya (Suzuki-Iwashima *et al.*, 2024). *Slip melting point* (SMP) merupakan salah satu parameter pengukuran lemak yang menggambarkan sifat pelelehan lemak. SMP dapat didefinisikan sebagai suhu ketika lemak berubah dari fase padat ke fase cair di dalam tabung kapiler yang ditandai dengan naiknya kolom lemak pada tabung kapiler (Shin dan Lee, 2021).

Melting point asam lemak meningkat seiring dengan bertambah panjang rantai karbonnya seperti asam lemak dengan rantai karbon C4:0, 6:0, 8:0, 10:0, 12:0,14:0 memiliki *melting point* masing-masing -5.1, -3, 16.5, 31.4, 43.8, dan 54.2°C (Nelson *et al.*, 2025). Pengukuran *slip melting point* dapat dilakukan dengan metode standar yang ditetapkan oleh American Oil Chemist Society melalui metode Cc 3-25 2009. Interesterifikasi dapat mengubah komposisi triasilgriserol lemak

sehingga nilai *slip melting point* lemak ikut berubah (Li *et al.*, 2023). Proses interesterifikasi dapat dilakukan untuk meningkatkan atau menurunkan titik leleh dari suatu lemak. Titik leleh yang berubah dapat memperbaiki tekstur, stabilitas oksidatif, serta kenampakan dari produk lemak dan menghasilkan produk lemak yang sesuai dengan karakteristik fisik dan fungsional yang diinginkan.

2.7. Kadar FFA

FFA atau *free fatty acid* merupakan jumlah asam lemak bebas yang terkandung dalam suatu lemak atau minyak. Asam lemak bebas merupakan asam lemak yang tidak terikat sebagai triasilgliserol (TAG). Asam lemak bebas dapat terbentuk melalui pemecahan enzimatik triasilgliserol oleh aktivitas enzim lipase menjadi asam lemak bebas dan tidak terikat (Amores dan Virto, 2019). Selain dari aktivitas enzimatik, FFA dapat terbentuk dari proses non-enzimatik seperti pemanasan tinggi dan dari proses oksidasi selama penyimpanan sehingga dapat terjadi pelepasan asam lemak bebas tanpa bantuan enzim. Kadar FFA merupakan salah satu parameter uji dalam penilaian mutu dan kesegaran produk lemak seperti *ghee*. Kadar asam lemak dapat memberikan rasa yang tidak enak, menurunkan stabilitas oksidatif, menyebabkan adanya pembusaan, serta menurunkan *smoke point* pada lemak (Dhiman *et al.*, 2022).

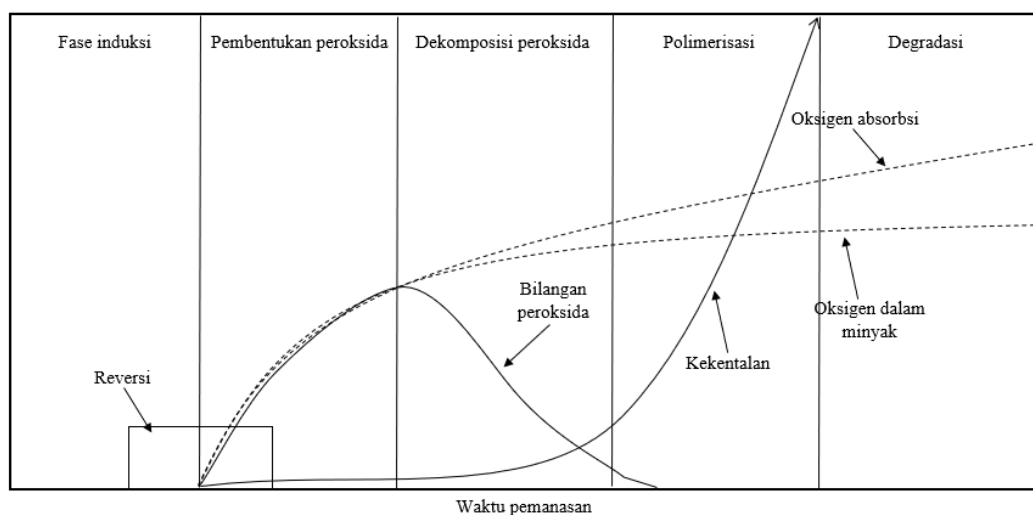
Metode penghitungan kadar FFA dapat dilakukan menggunakan metode titrasi asam-basa berdasarkan metode AOAC (2000). FFA dalam sampel dinetralkan menggunakan larutan basa kuat (NaOH atau KOH). Perhitungan kadar FFA ditandai dengan perubahan warna larutan menjadi warna soft-pink akibat

interaksi basa dengan indikator fenolftalein (Mardiana *et al.*, 2020). Perhitungan kadar FFA pada lemak susu kambing dinyatakan sebagai persen asam palmitat karena susu kambing memiliki asam lemak jenuh sebagai asam lemak dominan sehingga kadar FFA dihitung berdasarkan persen asam palmitat. Asam palmitat merupakan asam lemak jenuh dominan yang menyusun lemak susu kambing (Marcinkoniene dan Ciprova, 2023).

2.8. Bilangan Peroksida

Bilangan peroksida merupakan salah satu parameter yang mengukur penurunan mutu suatu lemak atau minyak. Bilangan peroksida menghitung jumlah lemak yang telah teroksidasi setelah lemak terkena suhu tinggi, cahaya, oksigen, dan ion logam. Proses yang menyebabkan terjadinya oksidasi disebut dengan autooksidasi, yaitu rantai reaksi yang terdiri dari tahap inisiasi, propagasi dan terminasi (Zhang *et al.*, 2021). Tahap inisiasi merupakan tahapan awal pembentukan radikal bebas yang dipicu oleh panas, cahaya, maupun katalis logam, lalu tahap propagasi adalah reaksi lanjutan yaitu ketika radikal bebas bereaksi dengan oksigen dan lipid lain sehingga membentuk hidroperoksida. Kemudian pada tahap terminasi, hidroperoksida yang terbentuk akan terdekomposisi menjadi molekul non-radikal yang akan berubah menjadi senyawa sekunder (Durand *et al.*, 2025). Semakin tinggi nilai bilangan peroksida yang dihasilkan semakin besar tingkat kerusakan oksidatif primer dari lemak. Bilangan peroksida menghitung kerusakan oksidatif primer pada lemak karena bilangan peroksida menghitung hidroperoksida yang terbentuk sebagai produk awal dari proses oksidasi. Hidroperoksida yang terdekomposisi pada tahap terminasi akan menurunkan nilai

bilangan peroksida karena hasil dekomposisi bilangan peroksida akan berubah menjadi senyawa sekunder dan tidak dapat diukur menggunakan metode bilangan peroksida. Ilustrasi jumlah bilangan peroksida selama proses oksidasi dapat dilihat pada ilustrasi 7 di bawah ini.



Ilustrasi 7. Ilustrasi bilangan peroksida selama oksidasi (List *et al.*, 2005)

Pengukuran bilangan peroksida dapat menggunakan metode titrasi iodometri dengan titran natrium tiosulfat. Metode pengukuran bilangan peroksida berdasarkan titrasi yang mengukur jumlah iodin yang dilepaskan oleh kalium iodida akibat reaksi dengan hidropersida yang terdapat dalam lemak (Anconi *et al.*, 2022). Iodin pada pengukuran bilangan peroksida terbentuk akibat adanya reaksi redoks antara hidropersida dengan KI yang ditambahkan sebelum proses titrasi. Iodin yang terbentuk kemudian akan bereaksi dengan pati dan menghasilkan warna biru-ungu sebelum proses titrasi. Ketika di titrasi oleh natrium tiosulfat iodin akan direduksi oleh natrium tiosulfat yang ditandai perubahan warna larutan menjadi bening (Ivanova *et al.*, 2025). Satuan dari bilangan peroksida adalah miliekuivalen oksigen aktif per kilogram minyak (meq O_2/kg).

BAB III

MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia dan Gizi Pangan serta Laboratorium Rekayasa Pangan dan Hasil Pertanian Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro, Semarang. Penelitian ini berlangsung dari bulan Agustus 2025 - Februari 2026.

3.1. Materi Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Ghee* dari susu kambing ras Anglo Nubian, Etawa, Jawa Randu, dan Sapera yang berasal dari peternakan kambing lokal (Niofarm, Semarang). Susu segar dibawa ke laboratorium dengan mempertahankan prinsip rantai dingin. Susu segar dikemas dalam botol dan dibawa menggunakan coolbox yang diisi *icegel* dengan mempertahankan suhu sekitar 15°C selama transportasi ± 20 menit ke laboratorium program studi Teknologi Pangan, Universitas Diponegoro. Setelah tiba di laboratorium, susu disimpan di *chiller* dengan suhu 10°C sebelum di proses lebih lanjut.

Bahan lainnya yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah asam stearat, enzim lipozyme TL-IM dari Strem Chemicals, Inc. (Amerika), gliserin dari toko kimia Indrasari, ethanol 99% dari toko kimia lokal, indikator *phenolphthalein*, NaOH 0,1N, asam asetat glasial dari toko kimia lokal, kloroform dari toko kimia lokal, KI jenuh, akuades, amilum 1%, Natrium Tiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0,005 N dan pipa kapiler dari toko kimia Indrasari.

3.2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini meliputi prosedur penelitian, pengujian parameter, dan analisis data. Percobaan pada penelitian ini berfokus pada modifikasi susunan asam lemak *ghee* susu kambing dari empat jenis yang berbeda yaitu Anglo Nubian, Etawa, Jawa, dan Sapera dengan penambahan asam stearat dan penambahan asam stearat dengan penambahan perlakuan interesterifikasi enzimatis selama 24 jam menggunakan enzim lipozyme TL-IM dari Strem Chemicals, Inc. Terdapat 12 sampel pada penelitian ini yaitu empat sampel *ghee*, empat sampel *ghee* dengan penambahan asam stearat, serta empat *ghee* dengan penambahan asam stearat dengan penambahan perlakuan interesterifikasi enzimatis.

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode deskriptif yaitu penelitian yang dilakukan untuk mendapat gambaran mengenai karakteristik fisik dan kimiawi dari *ghee* yang dihasilkan dari susu kambing. Pengujian parameter yang dilakukan meliputi *slip melting point* untuk sampel *ghee*, *ghee* dengan penambahan asam stearat, dan *ghee* interesterifikasi serta pengujian mikrostruktur lemak, kadar FFA, dan bilangan peroksida untuk sampel *ghee* dan *ghee* interesterifikasi. Setiap sampel dilakukan 3 kali pengulangan untuk setiap parameter.

Tabel 3. Rancangan Pengujian Parameter

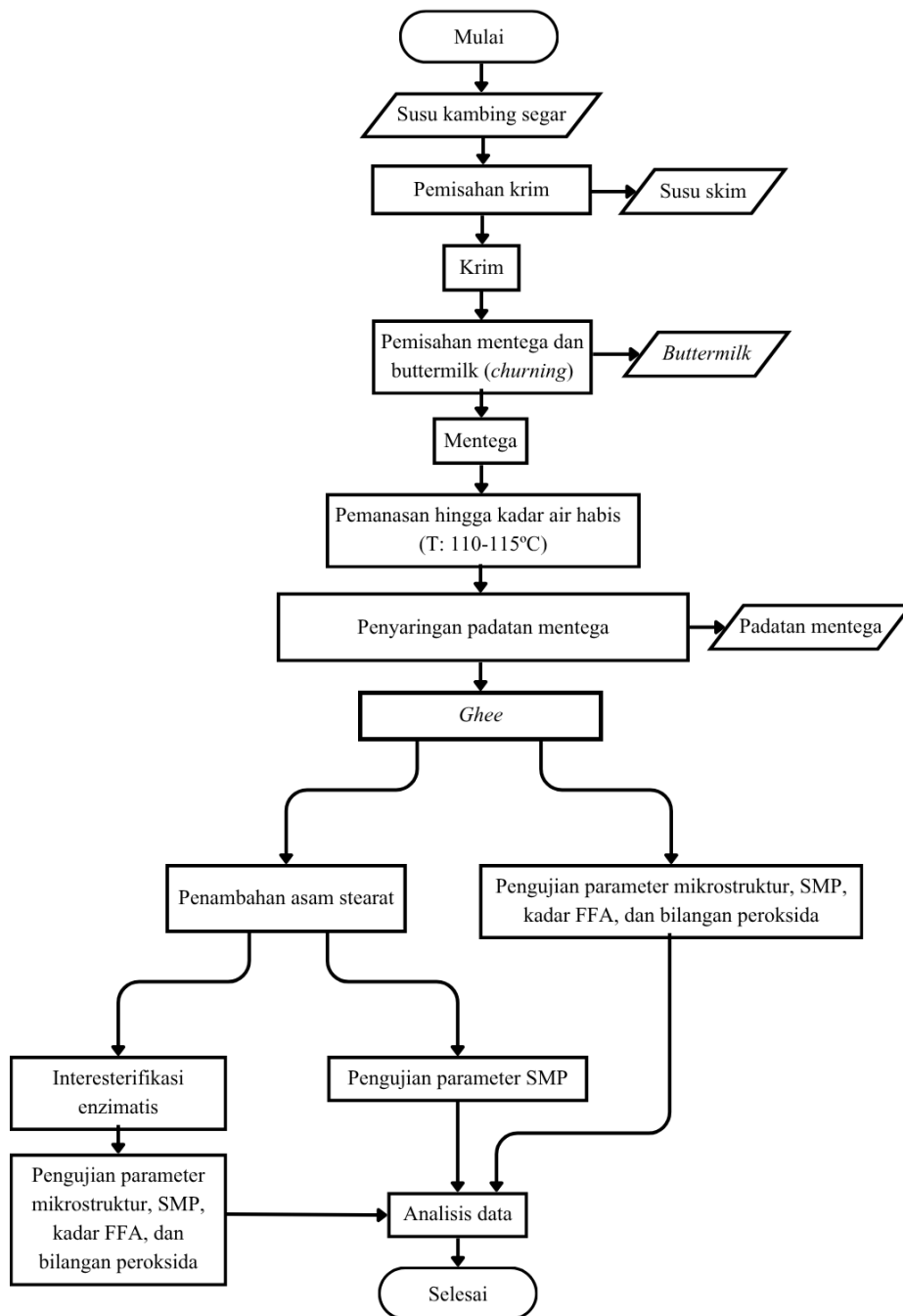
No	Analisa Parameter	<i>Ghee</i>	<i>Ghee SA</i>	<i>Ghee SA I</i>
1.	Mikrostruktur lemak	✓		✓
2.	<i>Slip melting point</i>	✓	✓	✓
3.	Kadar FFA	✓		✓
4.	Bilangan peroksida	✓		✓

Keterangan:

- SA : *Stearic acid* (asam stearat)
- SA I : *Stearic acid* (asam stearat) dengan perlakuan interesterifikasi

3.2.1. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan dalam 5 tahapan, yaitu preparasi sampel *ghee*, penambahan asam stearat, interesterifikasi *ghee* dengan penambahan asam stearat dan menggunakan enzim lipozyme TL-IM dari Strem Chemicals, Inc. (Amerika), pengujian parameter, serta analisis data.



Ilustrasi 8. Diagram Alir Prosedur Penelitian

a. Preparasi Sampel *Ghee*

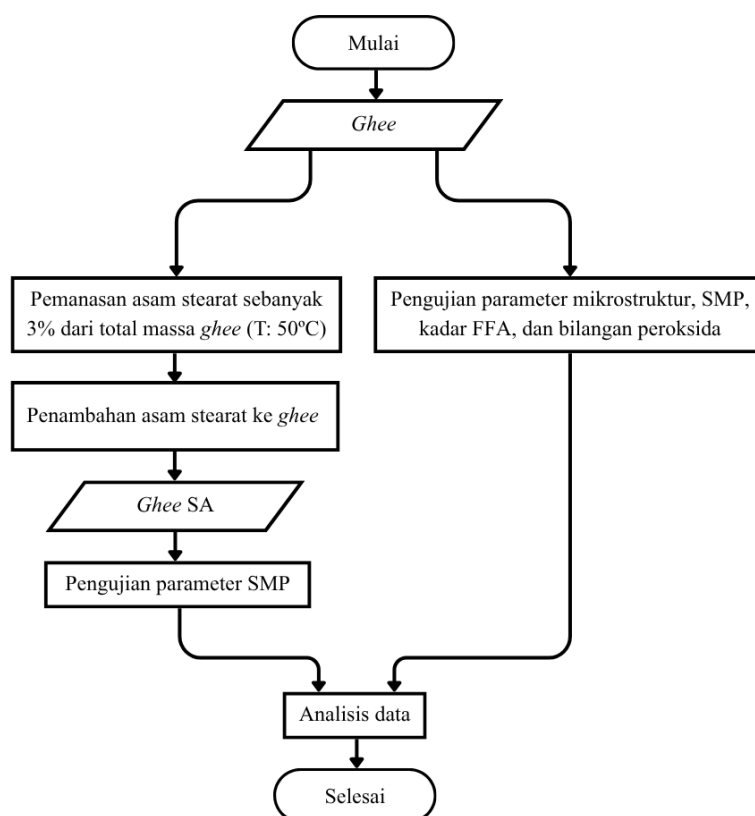
Preparasi sampel *ghee* diawali dengan pembuatan mentega yang dilakukan berdasarkan penelitian Mohammadi-Nasrabadi *et al.* (2024) dengan modifikasi.

Susu kambing segar yang digunakan berasal dari 4 jenis kambing yang berbeda yaitu Anglo Nubian, Etawa, Jawa Randu, dan Sapera. Susu kambing segar yang digunakan dibeli dari peternakan lokal Niofarm di Pedurungan, Semarang. Susu kambing segar dipisahkan bagian skim dan krim nya menggunakan *cream separator* (Langrui, China). Bagian yang digunakan untuk pembuatan mentega adalah krim yang kemudian di pisahkan bagian lemaknya menggunakan mixer (PHILIPS, Belanda) dengan kecepatan sedang ke cepat. Pemisahan mentega menggunakan mixer dilakukan kurang lebih selama 20-25 menit hingga mentega terpisah dari *buttermilk* nya. Mentega yang sudah terpisah kemudian dicuci menggunakan air dingin untuk membersihkan mentega dari *buttermilk* yang masih menempel. Mentega kemudian disimpan di dalam *chiller* untuk kemudian diolah menjadi *ghee*.

Mentega yang sudah terpisah dari bagian krim kemudian di murnikan hingga terbentuk *ghee*. Proses pemurnian mentega dilakukan berdasarkan penelitian Pratama *et al.* (2021) dengan modifikasi. Mentega dimasukkan kedalam gelas beker dan dipanaskan menggunakan *hotplate* (IKA, Jerman). Proses pemanasan dilakukan hingga suhu mentega mencapai 110-115°C lalu suhu tersebut ditahan selama 10-15 menit hingga kadar air berkurang hingga kadar air habis yang ditandai dengan tidak ada lagi gelembung udara. Setelah proses pemanasan, padatan yang tersisa di dalam *ghee* dipisahkan menggunakan saringan vakum Buchner. Minyak yang tersaring itu adalah *ghee* murni. *Ghee* murni yang didapat dari masing-masing jenis kambing disisihkan setengahnya untuk dilakukan perlakuan penambahan

asam stearat dan interesterifikasi. *Ghee* yang tidak diinteresterifikasi, disimpan di jar kaca dan diletakkan di *chiller* dengan suhu 10°C sebelum di uji parameter.

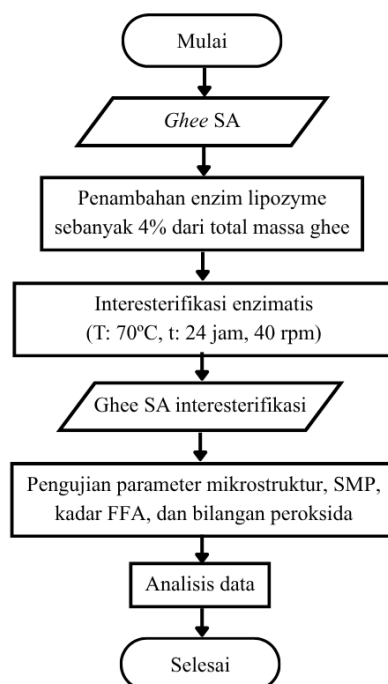
Ghee murni kemudian ditambahkan asam stearat dengan jumlah penambahan sebanyak 3% dari massa total *ghee* yang digunakan. Asam stearat ditimbang sebanyak 3% dari massa total *ghee*. Asam stearat kemudian dipanaskan menggunakan *hotplate* (IKA, Jerman) dengan suhu 50°C hingga mencair kemudian dicampurkan ke dalam *ghee* yang masih hangat. *Ghee* yang telah ditambahkan asam stearat kemudian disisihkan sebanyak 5 ml untuk pengujian parameter *slip melting point* dan disimpan di *chiller* dengan suhu 10°C sebelum di uji parameter.



Ilustrasi 9. Diagram Alir Preparasi Sampel

b. Interesterifikasi Enzimatis

Perlakuan interesterifikasi enzimatis dilakukan berdasarkan metode Witasari *et al.* (2025) dengan sedikit modifikasi. *Ghee* yang sudah ditambahkan asam stearat kemudian ditambahkan enzim lipozyme TL-IM dari Strem Chemicals, Inc. sebanyak 4% dari massa total *ghee*. Enzim yang digunakan yaitu enzim berbentuk butiran. Proses interesterifikasi dilakukan menggunakan *rotary evaporator* (BIOBASE, China) dengan kecepatan 40 rpm selama 24 jam dengan suhu *waterbath* 70°C. *Ghee* yang sudah diinteresterifikasi disaring menggunakan saringan vakum Buchner untuk memisahkan padatan enzim lipozyme dengan *ghee* interesterifikasi murni. *Ghee* SA interesterifikasi disimpan di jar kaca dan dimasukkan ke *chiller* dengan suhu 10°C sebelum di uji parameter. *Ghee* SA interesterifikasi digunakan untuk parameter pengujian mikrostruktur lemak, *slip melting point*, kadar FFA, dan bilangan peroksida.



Ilustrasi 10. Diagram Alir Interesterifikasi Enzimatis

3.2.2. Pengujian Parameter

Pengujian parameter yang dilakukan yaitu pengujian *slip melting point* dari *ghee*, *ghee* dengan penambahan asam stearat, dan *ghee* interesterifikasi, serta pengamatan mikrostruktur, pengujian FFA, dan bilangan peroksida dari *ghee* dan *ghee* interesterifikasi.

a. Pengamatan Mikrostruktur

Pengamatan mikrostruktur *ghee* dilakukan dengan perlakuan penyimpanan sampel pada kaca preparat (ONEMED, Indonesia) di suhu AC selama 3 hari dan diuji menggunakan mikroskop Olympus CX-23 (OLYMPUS, Jepang) dengan perbesaran 40x pada masing-masing sampel dan tambahan lensa polarisasi. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan aplikasi MicroCam. Hasil pengamatan dianalisis menggunakan perangkat lunak imageJ versi 64-bit Java 8 (NIH, Amerika) untuk mengatur keseragaman rasio dan warna serta memberikan skala pengamatan. Skala pada mikrograf dibuat berdasarkan *graticule standard* 1 mm yang diambil pada perbesaran mikroskop dan resolusi foto yang sama.

b. Pengujian *Slip melting point*

Pengujian *slip melting point* dilakukan berdasarkan metode American Oil Chemists Society Official (AOCS) Cc 3-25 2009 dengan modifikasi. Sampel *ghee* dicairkan menggunakan *hotplate* (IKA, Jerman) pada suhu 40-50°C. Sampel kemudian dimasukkan ke dalam *capillary tube* sepanjang 1 cm lalu disimpan pada suhu 4-10°C selama minimal 16 jam. Kemudian disiapkan juga gliserin yang berfungsi sebagai media penghantar panas pada sampel. Gliserin disimpan di lemari es bersamaan dengan penyimpanan sampel.

Sampel *ghee* yang sudah mengkristal kemudian direkatkan menggunakan isolasi bening pada termometer batang sejajar dengan bagian pangkal atau reservoir dari termometer. Masukkan gliserin dingin kedalam gelas beaker berukuran 5 mL. Panaskan gliserin bersamaan dengan sampel. Pemanasan dilakukan diatas *hotplate* (IKA, Jerman) dengan suhu awal 10°C dan suhu dinaikan bertahap 5°C setiap menit. Pencatatan suhu *slip melting point* dilakukan ketika sampel dalam pipa kapiler tepat bergerak naik.

c. Metode Pengujian Kadar FFA

Pengujian kadar FFA dilakukan berdasarkan metode AOAC 2000. Sebanyak 1,25 g sampel ditimbang dengan timbangan analitik (SHIMADZU, Jepang) di dalam labu erlenmeyer 50 mL. Etanol panas (99%) ditambahkan sebanyak 12,5 mL kemudian ditambahkan 0,25 mL indikator pp. Campuran kemudian dididihkan selama 5 menit menggunakan *hotplate* (IKA, Jerman) lalu di titrasi dengan larutan NaOH 0,1N hingga berwarna merah muda samar yang bertahan selama 15 detik. Persentase FFA dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\%FFA = \frac{V \times N \times BM}{W \times 1000} \times 100\%$$

V = Volume titran NaOH 0,1N

N = Normalitas NaOH (0,1)

BM = Berat molekul asam lemak dominan (Asam palmitat = 256,43)

W = Massa sampel

d. Metode Pengujian Bilangan Peroksida

Pengujian bilangan peroksida dilakukan berdasarkan metode Malaysian Palm Oil Board (MPOB) *test method* P2.3:2004. Sampel *ghee* ditimbang sebanyak 0,5 g

dengan timbangan analitik (SHIMADZU, Jepang) dan dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer 50 mL. Larutan asam asetat:kloroform (3:2) ditambahkan sebanyak 3 mL, lalu dikocok hingga tercampur. Larutan kalium iodida (KI) jenuh ditambahkan sebanyak 0,1 mL, lalu dikocok dan didiamkan selama ± 5 menit. Tambahkan akuades sebanyak 3 ml dan 1 ml larutan pati 1% sebagai indikator hingga berwarna kebiruan. Sampel kemudian dititrasi dengan natrium tiosulfat 0,005N. Bilangan peroksida dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Bilangan Peroksida} = \frac{(V_2 - V_1) \times N \times 1000}{W} \text{ Meq O}_2/\text{Kg}$$

V_2 = Jumlah titran $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ yang digunakan untuk sampel (mL)

V_1 = Jumlah titran $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ yang digunakan untuk blanko (mL)

N = Normalitas $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

M = Massa sampel

3.2.3. Analisis Data

Data yang diperoleh dari pengujian parameter mikrostruktur, *slip melting point*, kadar FFA, dan bilangan peroksida dianalisis menggunakan metode deskriptif serta diolah menggunakan ImageJ versi 64-bit Java 8 (NIH, Amerika) dan Microsoft Excel tahun 2021 (MICROSOFT, Amerika) untuk mengetahui jenis kambing dengan karakteristik fisik dan kimiawi *ghee* serta perbedaan karakteristik fisik dan kimiawi setelah proses interesterifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, N., and Saleem, M. 2019. Characterization of desi ghee obtained from different extraction methods using Raman spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 223: 117311.
- Akshith, F.N.U., Deshwal, G.K., Sharma, H., Kumar, P., Maddipatla, D.K., Singh, M.P., and Goksen, G. 2024. Technological challenges in production of goat milk products and strategies to overcome them: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 59(1): 6–16.
- Ali, A.H., Hachem, M., Banat, F., and Ayyash, M. 2025. Effect of bovine and buffalo ghee fractionation on triacylglycerol profile, lipid nutritional quality indices, thermal behavior, and tocopherol content: A comparative analysis with 2 categories of infant formula fat. *Journal of Dairy Science*, 108(4): 3181–3198.
- Amores, G., and Virto, M. 2019. Total and free fatty acids analysis in milk and dairy fat. *Separations*, 6(1): 14.
- Anconi, A.C.S.A., Brito, N.C.S., and Nunes, C.A. 2022. Determination of peroxide value in edible oils based on Digital Image Colorimetry. *Journal of Food Composition and Analysis*, 113: 104724.
- Arisani, N., Wulandari, S., Nurkholis, N., and Syahniar, T.M. 2022. Perbandingan produktivitas kambing Peranakan Etawa dan kambing Senduro. *Conference of Applied Animal Science Proceeding Series*, 3: 53–61.
- Aspadih, V., Fristiohady, A., and Wahyuningrum, S.N. 2020. Review artikel: penggunaan lipid asam stearat dalam sistem penghantaran obat berbasis nanopartikel. *Media Farmasi*, 16(2): 141.
- Christi, R.F., and Rohayati, T. 2018. Kadar protein, laktosa, dan bahan kering tanpa lemak susu kambing peranakan etawa yang diberi konsentrat terfermentasi (protein levels, lactose, and solid non fat of pe goat milk which are given fermented concentrate). *JANHUS Jurnal Ilmu Peternakan Journal of Animal Husbandry Science*, 1(2): 19.
- Christi, R.F., Salman, L.B., Ismiraj, M.R., and Prasetya, A.F. 2022. Tampilan sifat kimia susu kambing sapera di peternakan alam farm kabupaten bandung. *Jurnal Sumber Daya Hewan*, 3(2): 19.
- da Silva, T.T., Stahl, M.A., Grimaldi, R., and Ribeiro, A.P.B. 2025. Enzymatic interesterification of palm olein and hydrogenated palm oil: Effects on physicochemical properties. *Food Research International*, 221: 117369.
- de Paula, A. V., Nunes, G.F.M., de Castro, H.F., and dos Santos, J.C. 2018. Performance of packed bed reactor on the enzymatic interesterification of milk fat with soybean oil to yield structure lipids. *International Dairy Journal*, 86:

1–8.

- Dhiman, A., Suhag, R., Verma, K., Thakur, D., Kumar, A., Upadhyay, A., and Singh, A. 2022. Influence of microfluidization on physico-chemical, rheological, thermal properties and cholesterol level of cow ghee. *LWT*, 160: 113281.
- Durand, E., Laguerre, M., Bourlieu-Lacanal, C., Lecomte, J., and Villeneuve, P. 2025. Navigating the complexity of lipid oxidation and antioxidation: A review of evaluation methods and emerging approaches. *Progress in Lipid Research*, 97: 101317.
- Elemanova, R., Serniene, L., Usubalieva, A., Tayeva, A., Baikhozhaeva, B., and Musulmanova, M. 2026. Physicochemical characteristics of Kyrgyz khainak milk for ghee production. *Food and Humanity*, 6: 100990.
- Gaudino, N., Ghazani, S.M., Clark, S., Marangoni, A.G., and Acevedo, N.C. 2019. Development of lecithin and stearic acid based oleogels and oleogel emulsions for edible semisolid applications. *Food Research International*, 116: 79–89.
- Hariyani, A.S., Hazra, T., Thesiya, A.J., and Ahuja, K.K. 2025. Comparative appraisal of antioxidant profile & Shelf life of ghee obtained from cow, goat & buffalo milk. *Indian Journal of Dairy Science*, 78(3): .
- Huang, Z., Guo, Z., Xie, D., Cao, Z., Chen, L., Wang, H., Jiang, L., and Shen, Q. 2021. *Rhizomucor miehei* lipase-catalysed synthesis of cocoa butter equivalent from palm mid-fraction and stearic acid: Characteristics and feasibility as cocoa butter alternative. *Food Chemistry*, 343: 128407.
- Ivanova, V., Pimpilova, M., Stoyanova, M., and Dimcheva, N. 2025. Electrochemical Method for the Assay of Organic Peroxides Directly in Acetonitrile. *Molecules*, 30(2): 374.
- Karni, I., Amalyadi, R., Ayu Wandira, I., Al Gifari, Z., Gede Nano Septian, I., and Anwar, K. 2025. Buletin Peternakan Tropis Integrasi Faktor Genetik Dan Nutrisi Dalam Produksi Dan Kualitas Susu Kambing Perah : Review (Integration Of Genetic And Nutritional Factors In The Production And Quality Of Dairy Goat Milk: A Review). *Bul. Pet. Trop*, 6(1): 57–71.
- Kataria, D., and Singh, G. 2025. Effect of processing methods on fatty acid composition and flavour profile of clarified butter (ghee) obtained from Deoni and Holstein Friesian cow breeds. *Food Chemistry: X*, 27: 102489.
- Kataria, D., and Singh, G. 2024. Health benefits of ghee: Review of Ayurveda and modern science perspectives. *Journal of Ayurveda and Integrative Medicine*, 15(1): 100819.
- Korma, S.A., Li, L., Wei, W., Liu, P., Zhang, X., Bakry, I.A., An, P., Abdrabo, K.A.E., Manzoor, M.F., Umair, M., Cacciotti, I., Lorenzo, J.M., and Conte-Junior, C.A. 2022. A Comparative Study of Milk Fat Extracted from the Milk of Different Goat Breeds in China: Fatty Acids, Triacylglycerols and Thermal

- and Spectroscopic Characterization. *Biomolecules*, 12(5): 730.
- Kumbhare, S., Prasad, W., Khamrui, K., Wani, A.D., and Sahu, J. 2023. Recent innovations in functionality and shelf life enhancement of ghee, clarified butter fat. *Journal of Food Science and Technology*, 60(1): 11–23.
- Laya, N.K., and Ilham, F. 2019. hubungan bobot badan dan produksi susu kammbig peranakan etawa (pe). *Jambura Journal of Animal Science*, 1(1): 13–17.
- Li, J., Yang, G., Meng, P., Hu, J., and Liu, W. 2023. Effect of interesterification catalyzed by glycerol-K₂CO₃ deep eutectic solvents on the physicochemical properties of lard. *LWT*, 183: 114928.
- List, G.R., Wang, T., and Shukla, V.K.S. 2005. Storage, Handling, and Transport of Oils and Fats, in: *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. Wiley.
- Marcinkoniene, L., and Ciprovica, I. 2023. Fatty acid composition of different breed goat milk. *Rural Sustainability Research*, 49(344): 35–39.
- Mardiana, R., Adriani, A., and Ridha, F. 2020. Analisa Kadar Asam Lemak Bebas Dalam Minyak Goreng Curah Secara Alkalimetri. *Journal of Pharmaceutical and Health Research*, 1(1): 11–13.
- Mohammadi-Nasrabadi, F., Rashidimehr, A., Khoshtinat, K., Alhouei, B., Massomian, A., Rashidian, M., and Esfarjani, F. 2024. A Comparative Analysis of Butter, Ghee, and Margarine and Its Implications for Healthier Fat and Oil Group Choices: SWOT Analysis. *Food Science and Nutrition*, 12(12): 10123–10135.
- Mollica, M.P., Trinchese, G., Cimmino, F., Penna, E., Cavaliere, G., Tudisco, R., Musco, N., Manca, C., Catapano, A., Monda, M., Bergamo, P., Banni, S., Infascelli, F., Lombardi, P., and Crispino, M. 2021. Milk fatty acid profiles in different animal species: focus on the potential effect of selected PUFAs on metabolism and brain functions. *Nutrients*, 13(4): 1111.
- Müller, M., and Careglio, E. 2018. Influence of Free Fatty Acids as Additives on the Crystallization Kinetics of Cocoa Butter. *Journal of Food Research*, 7(5): 86.
- Mumpuni, O.F., Maulana, R.A., Ayustaningwarno, F., Panunggal, B., and Anjani, G. 2020. pengaruh waktu fortifikasi vitamin b12 (sianokobalamin) dan vitamin d3 (kalsiferol) terhadap mutu gizi kefir susu kambing. *Journal of Nutrition College*, 9(2): 147–153.
- Murti, T.W., Pradana, M.W.E., Nurasri, A.D., and Arlinda, M. 2020. Study of physic and organoleptic of butter developed using milk from cow and goat reared in Sleman Regency, Yogyakarta, Indonesia. *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture*, 45(4): 338–347.
- Nayik, G.A., Jagdale, Y.D., Gaikwad, S.A., Devkate, A.N., Dar, A.H., Dezmirean, D.S., Bobis, O., Ranjha, M.M.A.N., Ansari, M.J., Hemeg, H.A., and Alotaibi,

- S.S. 2021. Recent Insights Into Processing Approaches and Potential Health Benefits of Goat Milk and Its Products: A Review. *Frontiers in Nutrition*, 8: .
- Nazifah, I.S., Wanniatie, V., Muhtarudin, and Qisthon, A. 2026. Pengaruh Imbangan Hijauan dan Konsentrat terhadap Kadar Protein dan Laktosa Susu Kambing Peranakan Etawa 10(1): 97–106.
- Nelson, C., Barbano, D.M., and Drake, M. 2025. Interaction of fatty acid composition and temperature cycling on melting properties of milk fat. *Journal of Dairy Science*, 108(9): 9129–9143.
- Nicory, I.M.C., de Carvalho Rodrigues, T.C.G., Tosto, M.S.L., Bittencourt, R.F., Mariz, L.D.S., Gomes Azevedo, J.A., de Carvalho, G.G.P., and Santos, S.A. 2023. Nutritional attributes of goat milk obtained from Anglo Nubian, Moxoto, and Saanen breeds in different lactation phases. *International Dairy Journal*, 145: 105720.
- Ningsih, A.P., Hidayat, and Akbarillah, T. 2022. Buletin Peternakan Tropis Performa Kambing AngloNubian Jantan Muda Yang Diberi Pakan Mengandung Lumpur Minyak Sawit (solid material ex decanter) (Performance of Anglo Nubian Buckling Fed Diet Containing Solid Material ex decanter of Palm Oil Mill). *Buletin Peternakan Tropis*, 3(2): 121–128.
- Pedrosa, T. de L., de Araujo, R.E., and Wachsmann-Hogiu, S. 2025. On-Chip polarization light microscopy. *Biosensors*, 15(2): 79.
- Pradini, G.W., Fauziah, N., Widyastuti, R., and Syamsunarno, M.R.A.A. 2021. KUALITAS MIKROBIOLOGI SUSU KAMBING SEGAR DARI SEBUAH PETERNAKAN KAMBING PERAH SKALA KECIL DI DESA CIMALAKA, SUMEDANG. *Dharmakarya*, 10(2): 110.
- Pratama, Y., Simone, E., and Rappolt, M. 2021. The Unique Crystallization Behavior of Buffalo Milk Fat. *Crystal Growth & Design*, 21(4): 2113–2127.
- Prayitno, E., Hartanto, R., Harjanti, D.W., and Prima, A. 2023. *Budidaya kambing perah di daerah tropis*, I. ed. Deepublish Publisher, Sleman.
- Rajabalaya, R., Musa, M.N., Kifli, N., and David, S.R. 2017. Oral and transdermal drug delivery systems: role of lipid-based lyotropic liquid crystals. *Drug Design, Development and Therapy*, Volume11: 393–406.
- Rokhayati, U.A., Gubali, S.I., and Dako, S. 2022. Uji kadar lemak dan protein air susu kambing etawa dengan pemeliharaan secara tradisional. *Gorontalo Journal of Equatorial Animals*, 1(2): 66–72.
- Saputro, A.L., Hamid, I.S., Prastiya, R.A., and Purnama, M.T.E. 2018. HIDROPONIK FODDER JAGUNG SEBAGAI SUBSTITUSI HIJAUAN PAKAN TERNAK DITINJAU DARI PRODUKTIVITAS SUSU KAMBING SAPERA Hydroponic. *Jurnal Medik Veteriner*, 1(2): 48–51.
- Sedewo, A., Wanniatie, V., Muhtarudin, M., and Qisthon, A. 2026. Kualitas Susu

- Kambing: Studi Kasus di Telaga Rizky (Kota Metro) dan Kelompok Ternak Marga Rini IV (Kabupaten Pesawaran). *Jurnal Riset dan Inovasi Peternakan*, 10(1): 28–35.
- Setiawan, A.A., Erwanto, E., Hartono, M., and Qisthon, A. 2021. PENGARUH MANIPULASI IKLIM KANDANG MELALUI PENGKABUTAN TERHADAP RESPON FISIOLOGIS DAN KETAHANAN PANAS KAMBING SAPERA DAN PERANAKAN ETTAWA. *Jurnal Riset dan Inovasi Peternakan (Journal of Research and Innovation of Animals)*, 5(1): 64–69.
- Shin, K.-S., and Lee, J.-H. 2021. Melting, Crystallization, and In Vitro Digestion Properties of Fats Containing Stearoyl-Rich Triacylglycerols. *Molecules*, 27(1): 191.
- Sitanggang, A.B., Adawiyah, D.R., Hariyadi, P., and Utama, Q.D. 2019. Lipase-catalyzed interesterification for the synthesis of medium-long-medium (MLM) structured lipids. *Food technology and biotechnology*, 57(3): 305–318.
- Sivakanthan, S., and Madhujith, T. 2020. Current trends in applications of enzymatic interesterification of fats and oils: A review. *LWT*, 132: 109880.
- Sudrajat, A., Saleh, D.M., Rimbawanto, E.A., and Christi, R.F. 2021. Produksi dan Kualitas Susu Sapi Friesian Holstein (FH) di Kpbs Pangalengan Kabupaten Bandung. *TERNAK TROPIKA Journal of Tropical Animal Production*, 22(1): 42–51.
- Sun, W.-H., Liu, S., Dai, W., Tan, C.-P., and Xu, Y.-J. 2026. The effect of alkyl chain length on biofunction of dietary lipid. *Molecules*, 31(5): 841.
- Suzuki-Iwashima, A., Tsukagoshi, S., Wakui, R., Ito, Y., and Tanaka, L. 2024. Effect of Linoleic and Linolenic Acid Contents on the Oxidation Stability of Interesterified Fats under Rancimat Test Conditions. *Journal of Oleo Science*, 73(9): 1135–1147.
- Syamsi, A.N., Ifani, M., Widodo, S.H., and Subagyo, Y. 2023. Performa Kambing Perah Lokal Hasil Persilangan Etawa: Studi Literatur. *Journal Animal Science and Technology*, 5(3): 388–397.
- Wahyuningsih, and Pazra, D.F. 2022. Physical quality, chemical, and microbiology on cow's milkin dairy farm in caringin district, bogor. *Jurnal Agroekoteknologi dan Agribisnis*, 6(1): 1–16.
- Wang, X., Li, K., Qin, X., Li, M., Liu, Y., An, Y., Yang, W., Chen, M., Ouyang, J., and Gong, J. 2022. Research on Mesoscale Nucleation and Growth Processes in Solution Crystallization: A Review. *Crystals*, 12(9): 1234.
- Warman, A.T., Sari, R.W., Atmoko, B.A., and Budisatria, I.G.S. 2021. Kinerja Induk Kambing Peranakan Etawah dan Bligon Masa Laktasi. *Jurnal Peternakan Indonesia (Indonesian Journal of Animal Science)*, 23(3): 219.

- Wei, W., Li, D., Jiang, C., Zhang, Xinghe, Zhang, Xue, Jin, Q., Zhang, Xi, and Wang, X. 2022. Phospholipid composition and fat globule structure II: Comparison of mammalian milk from five different species. *Food Chemistry*, 388: 132939.
- Witasari, L.D., Salim, J.S., Jason, B., Kurniawan, E.W., Pratama, Y., and Nusantoro, B.P. 2025. Physicochemical properties of enzymatically interesterified red palm oil. *Journal of Food Composition and Analysis*, 146: 107860.
- Yang, D., Lee, Y.-Y., Lu, Y., Wang, Y., and Zhang, Z. 2024. Internal Factors Affecting the Crystallization of the Lipid System: Triacylglycerol Structure, Composition, and Minor Components. *Molecules*, 29(8): 1847.
- Yıldız, K., Özdikicierler, O., and Günc Ergönül, P. 2025. Investigating the role of adsorbent type and ratio in mitigating 3-MCPD and GE formation during the inhibition of palm oil chemical interesterification via earth treatment. *Food Chemistry*, 476: 143395.
- Yuan, T., Wang, L., Jin, J., Mi, L., Pang, J., Liu, Z., Gong, J., Sun, C., Li, J., Wei, W., Jin, Q., and Wang, X. 2022. Role medium-chain fatty acids in the lipid metabolism of infants. *Frontiers in Nutrition*, 9: 804880.
- Zhang, M., Liu, Z., Kang, F., Wu, K., Ni, H., Han, Y., Yang, Y., Fu, T., Yang, G., Gao, T., and Han, L. 2024. Is milk fat globule size correlated with milk fat content in Ruminants? *Food Chemistry*, 439: 138101.
- Zhang, N., Li, Y., Wen, S., Sun, Y., Chen, J., Gao, Y., Sagymbek, A., and Yu, X. 2021. Analytical methods for determining the peroxide value of edible oils: A mini-review. *Food Chemistry*, 358: 129834.