

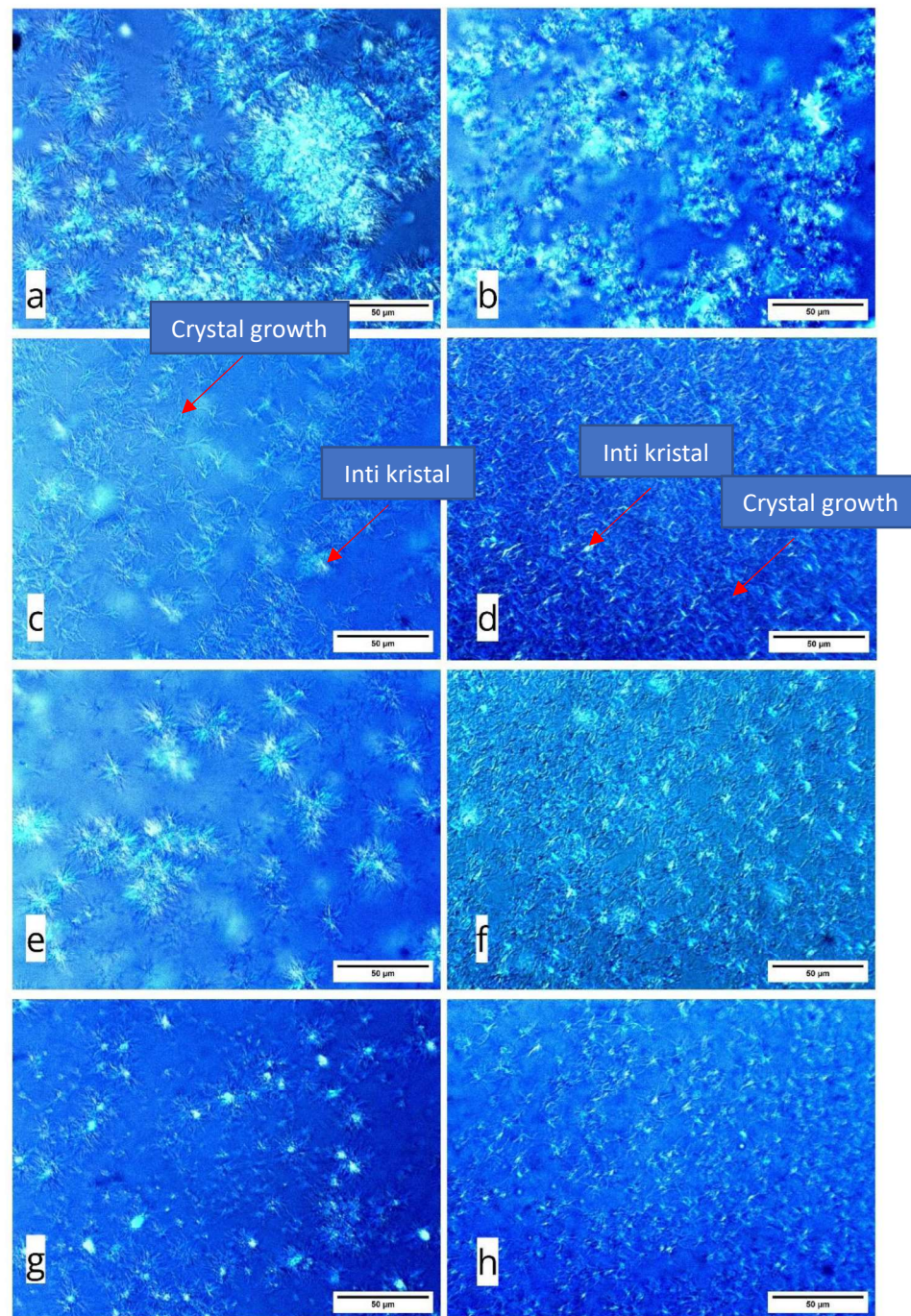
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan penelitian ini menyajikan data yang diperoleh dari pengujian sampel *ghee* susu kambing dengan tanpa perlakuan, perlakuan pemberian asam stearat, dan perlakuan pemberian asam stearat dengan interesterifikasi terhadap parameter mikrostruktur lemak, *slip melting point*, kadar FFA, dan bilangan peroksida. Pembahasan hasil penelitian dilakukan secara sistematis dan diuraikan secara lengkap.

4.1. Mikrostruktur Lemak

Analisis mikrostruktur lemak dilakukan untuk mendapatkan visualisasi kristal lemak *ghee* susu kambing pada perlakuan penyimpanan selama 3 hari di ruangan ber-AC. Analisis dilakukan dengan memanaskan sampel di atas *hotplate* pada suhu 50°C hingga *ghee* berubah menjadi fase cair. Sampel *ghee* kemudian diteteskan ke atas kaca preparat dan ditutup menggunakan kaca tip penutup preparat. Lalu sampel disimpan di ruang ber-AC selama 3 hari untuk melihat kristal lemak yang terbentuk selama masa penyimpanan. Hasil dari pengamatan mikrostruktur lemak *ghee* dapat dilihat pada ilustrasi 11.



Ilustrasi 11. Hasil pengamatan mikrostruktur lemak sampel *ghee* susu kambing. Keterangan: a) *ghee* Anglo Nubian, b) *ghee* interesterifikasi Anglo Nubian, c) *ghee* Etawa, d) *ghee* interesterifikasi Etawa, e) *ghee* Jawa Randu, f) *ghee* interesterifikasi Jawa Randu, g) *ghee* Sapera, h) *ghee* interesterifikasi Sapera.

Hasil pengamatan mikrostruktur lemak pada ilustrasi 11 memiliki pola yang mirip pada setiap jenis ras kambingnya, tetapi pada ras Anglo Nubian kristal lemak yang terbentuk lebih besar dibanding ras kambing lainnya. *Ghee* Anglo Nubian memiliki kristal lemak yang paling besar dibandingkan ras lainnya, begitu juga pada *ghee* yang telah diinteresterifikasi. Hal ini disebabkan oleh perbedaan ras kambing akan menghasilkan susu dengan karakteristik lemak yang berbeda satu sama lain. Meskipun berada di lingkungan hidup dan pakan yang sama, lemak susu kambing akan memiliki karakteristik profil asam lemak yang berbeda karena perbedaan ras kambing mempengaruhi profil asam lemak susu yang dihasilkan (Korma *et al.*, 2022).

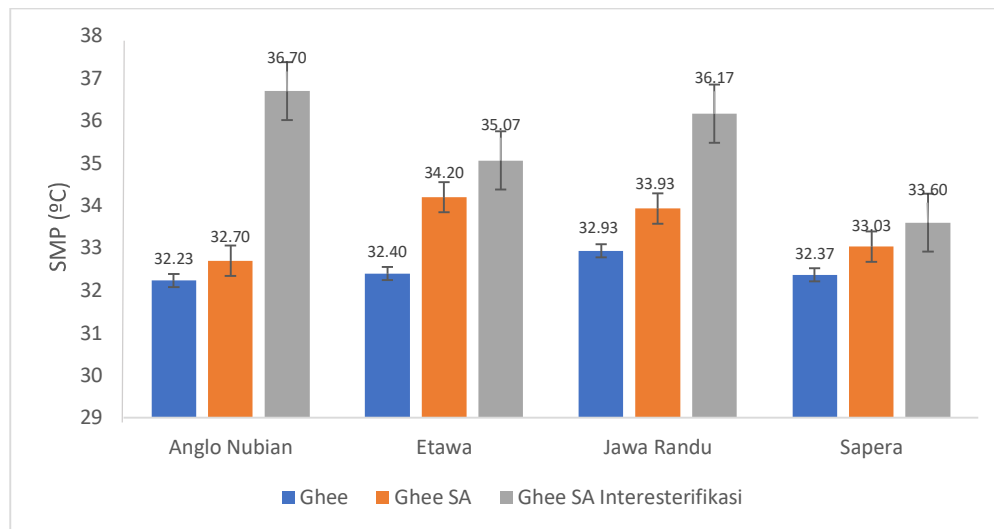
Secara umum, perbedaan kristal lemak sebelum proses interesterifikasi lemak (a, c, e, g) memiliki bentuk kristal yang tidak seragam dan memiliki ukuran yang lebih besar serta tidak beraturan sedangkan setelah proses interesterifikasi (b, d, f, h) kristal lemak memiliki bentuk yang lebih seragam dan memiliki ukuran yang lebih kecil serta beraturan. Pada *ghee* sebelum interesterifikasi kristal lemak cenderung terbentuk pada sisi tertentu dan tidak homogen serta memiliki bentuk menyerupai bunga atau *spherulitic* dan bentuk menyerupai jarum atau *needle-like*. Hal ini sejalan dengan penelitian Zhu *et al.* (2017), yang meneliti bahwa minyak kedelai yang belum melalui proses interesterifikasi memiliki kristal yang kasar, berukuran besar dan memiliki bentuk *spherulitic*. Nukleasi yang terjadi pada *ghee* sebelum proses interesterifikasi terjadi secara lambat yang diindikasikan oleh pembentukan kristal lemak yang besar. Nukleasi yang terjadi secara lambat diakibatkan oleh titik leleh yang rendah sehingga selisih suhu leleh dan suhu

penyimpanan (*supercooling*) rendah yang mengakibatkan rendahnya energi aktivasi kristal lemak dan memperlambat proses pembentukan kristal lemak (da Silva dan Martini, 2024). Kristal lemak yang terbentuk secara lambat memiliki karakteristik kristal yang besar karena proses nukleasi yang terjadi sedikit dan membuat proses pertumbuhan kristal (*crystal growth*) menjadi lebih dominan.

Ghee yang telah mengalami proses interesterifikasi membentuk kristal lemak yang lebih kecil dengan distribusi lemak yang homogen dan merata di berbagai sisi serta memiliki ukuran yang seragam. Hal ini sejalan dengan penelitian Liu *et al.* (2024) bahwa lemak yang diinteresterifikasi menghasilkan lemak dengan ukuran kristal yang lebih kecil dan seragam dibandingkan lemak yang tidak diinteresterifikasi. Kristal lemak yang terbentuk cenderung berbentuk jarum kecil (*needles*) dan merata pada setiap bagian lemak. Kristal lemak kecil terbentuk akibat proses nukleasi yang berjalan lebih cepat yang diindikasikan oleh selisih suhu leleh dan suhu penyimpanan lemak (*supercooling*) yang lebih besar sehingga meningkatkan energi aktivasi (*driving force*) pembentukan kristal (Yang *et al.*, 2024). Karena nukleasi yang terjadi cepat, inti kristal yang terbentuk menjadi banyak dan mengurangi proses pertumbuhan kristal (*crystal growth*) yang menyebabkan ukuran kristal menjadi kecil. Proses nukleasi yang berjalan lebih cepat diakibatkan adanya perubahan susunan asam lemak setelah proses interesterifikasi. Interesterifikasi dapat menghasilkan TAG dengan titik leleh tinggi yang mudah terkristalisasi sehingga waktu induksi (*induction time*) untuk terjadi nukleasi lebih pendek dan mempercepat terbentuknya kristal lemak (Ai *et al.*, 2023).

4.2. Analisis *Slip melting point*

Analisis *slip melting point* adalah analisis yang dilakukan untuk menemukan perbedaan titik leleh dari sampel *ghee*, *ghee* dengan penambahan asam stearat, serta *ghee* dengan penambahan asam stearat dan perlakuan interesterifikasi. Data hasil pengujian *slip melting point* disajikan pada ilustrasi 12 dan disusun berdasarkan ras kambing yang diuji.



Ilustrasi 12. *Slip melting point* pada sampel *ghee*, *ghee* dengan penambahan asam stearat, serta *ghee* dengan penambahan asam stearat dan interesterifikasi.

Hasil data pengujian *slip melting point* pada ilustrasi 12 memiliki pola hasil yang serupa untuk setiap jenis ras kambingnya. Titik leleh *ghee* cenderung mengalami peningkatan pada sampel dengan penambahan asam stearat dan meningkat lagi setelah proses interesterifikasi. Pada sampel *ghee* Anglo Nubian nilai *slip melting point* meningkat dari 32,23°C pada *ghee* menjadi 32,70°C pada *ghee* SA dan mencapai 36,70°C pada *ghee* SA interesterifikasi. Hal ini juga terjadi pada sampel lainnya yaitu pada sampel Etawa nilai *slip melting point*-nya yaitu

32,40°C pada *ghee*, 34,20°C pada *ghee* SA, dan 35,07°C pada *ghee* SA interesterifikasi, sampel Jawa Randu yaitu 32,93°C pada *ghee*, 33,93°C pada *ghee* SA, dan 36,17°C pada *ghee* SA interesterifikasi, serta sampel sapera yaitu 32,37°C pada *ghee*, 33,03°C pada *ghee* SA, dan 33,60°C pada *ghee* SA. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan penambahan asam stearat dan perlakuan interesterifikasi mempengaruhi peningkatan titik leleh lemak.

Sampel *ghee* Anglo Nubian dan *ghee* Jawa Randu mengalami peningkatan titik leleh yang tinggi setelah proses interesterifikasi dibandingkan sampel *ghee* Etawa dan *ghee* Sapera yang peningkatan titik leleh setelah proses interesterifikasi tidak terlalu tinggi. Hal ini mungkin disebabkan oleh perbedaan komposisi asam lemak yang terkandung dalam lemak susu tergantung pada ras kambingnya. Menurut Korma *et al.* (2022), ras kambing yang berbeda dapat menghasilkan komposisi asam lemak yang sedikit berbeda juga. Asam lemak rantai panjang yang terkandung secara alami pada *ghee* mempengaruhi titik leleh dari *ghee*. Oleh karena itu, ketika dilakukan penambahan asam stearat dan proses interesterifikasi asam lemak rantai panjang yang lebih banyak akan membantu meningkatkan titik leleh dari *ghee* yang telah dimodifikasi. Pada ras Anglo Nubian lemak susu nya mengandung asam lemak rantai panjang seperti asam palmitat dan asam stearat sebanyak 26,86% dan 11,94% yang lebih banyak jika dibandingkan dengan ras Etawa yang asam lemak rantai panjang seperti asam palmitat dan asam stearat sebanyak 15,71% dan 12,14% (Nicory *et al.*, 2023; Sumarmono, 2022). Hal ini mendukung hasil dari titik leleh Anglo Nubian yang lebih tinggi setelah proses interesterifikasi dibandingkan ras Etawa.

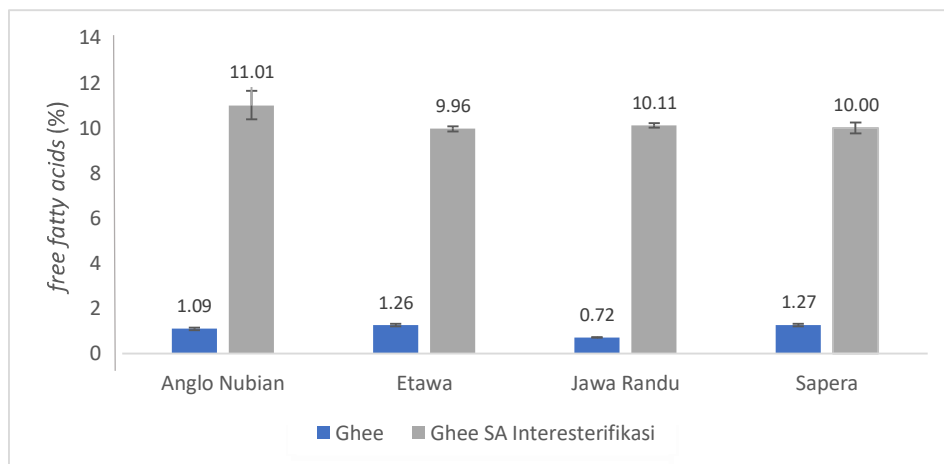
Peningkatan titik leleh lemak yang disebabkan oleh penambahan asam stearat (SA) menunjukkan bahwa interaksi fisik antara *ghee* dan asam stearat dapat menyebabkan terbentuknya sistem kristal campuran yang lebih stabil. Interaksi fisik antara dua lemak yang berbeda akan menyebabkan terjadinya nukleasi heterogen yang terjadi akibat adanya komponen berbeda dalam sistem sehingga dapat menyebabkan pembentukan kristal dan memberikan struktur kristal yang lebih stabil (Yang *et al.*, 2024). Selain itu asam stearat merupakan asam lemak jenuh rantai panjang (C18:0) dengan *melting point* tinggi dan struktur kristal yang padat sehingga saat dicampurkan ke dalam *ghee* sistem lemak akan lebih stabil dan nilai *melting point* meningkat. Menurut Müller dan Careglio (2018), asam stearat berperan sebagai *crystallization promoter* yang dapat menyebabkan terjadinya pembentukan kristal dan mempercepat terbentuknya kristal lemak pada sistem lemak.

Perlakuan interesterifikasi menyebabkan peningkatan titik leleh pada *ghee* dari semua ras kambing. Hal ini dikarenakan perlakuan interesterifikasi akan membuat susunan trigliserida baru yang homogen dan lebih stabil dengan kristal lemak yang lebih rapat sehingga meningkatkan titik leleh pada lemak (Berry *et al.*, 2019). Berdasarkan hasil pengujian mikrostrukturnya kristal lemak yang terbentuk lebih kecil, padat, dan seragam. Hal ini disebabkan oleh terjadinya banyak pembentukan *nuclei* pada proses nukleasi sehingga proses nukleasi berjalan lebih cepat tetapi proses pertumbuhan kristal lebih sedikit sehingga menghasilkan kristal lemak yang kecil, seragam, dan padat (Yang *et al.*, 2024). Dengan struktur yang lebih padat, interaksi antar molekul menjadi lebih kuat sehingga kebutuhan energi

untuk proses pelelehan lemak meningkat yang akhirnya juga akan meningkatkan nilai *slip melting point* (Read *et al.*, 2024). Jika dihubungkan dengan hasil pengamatan mikrostruktur, perubahan struktur TAG akibat proses interesterifikasi akan mempengaruhi proses nuklesi dan pertumbuhan kristal lemak. Perubahan ini akan mempengaruhi keteraturan struktur lemak. Semakin stabil struktur kristal lemak yang terbentuk maka akan semakin besar energi yang dibutuhkan untuk melelehkannya, yang ditunjukkan dari peningkatan nilai *slip melting point* dari *ghee*.

4.3. Analisis Kadar FFA

Analisis kadar FFA dilakukan untuk mengetahui perbedaan antara kadar FFA *ghee* dengan kadar FFA *ghee* dengan penambahan asam stearat dan perlakuan interesterifikasi. Analisis ini juga dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan dari empat ras kambing yang diujikan. Hasil pengujian kadar FFA terdapat pada ilustrasi 13 dan disusun berdasarkan ras kambing yang diujikan.



Ilustrasi 13. Kadar FFA pada sampel *ghee* dan *ghee* dengan penambahan asam stearat dan interesterifikasi.

Hasil data pengujian kadar FFA pada ilustrasi 13 memiliki hasil yang meningkat pada perlakuan penambahan asam stearat dan interesterifikasi. Nilai interesterifikasi pada sampel *ghee* berkisar antara 0,72%-1,27% sedangkan pada sampel interesterifikasi kadar FFA mengalami peningkatan tajam yang memiliki nilai berkisar antara 9,96%-11,01%. Peningkatan kadar FFA yang terjadi pada penelitian ini sejalan dengan penelitian (Alan *et al.*, 2019) yang melakukan interesterifikasi campuran minyak bunga matahari dan *palm stearin* dan hasil yang diberikan yaitu terjadi peningkatan kadar FFA pada sampel yang belum diinteresterifikasi dan sampel yang telah diinteresterifikasi. Perhitungan kadar FFA pada penelitian ini dinyatakan sebagai asam palmitat. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Liao *et al.* (2024) bahwa asam lemak dominan pada susu kambing adalah asam lemak jenuh dengan asam palmitat sebagai komponen utamanya. Karena keberadaanya yang melimpah asam palmitat dapat merepresentasikan kadar FFA pada lemak susu kambing. Berdasarkan SNI 3744:2018 yang mengatur standar nasional pada mentega komersial, kadar FFA maksimal yaitu 0,5% dan jika dibandingkan dari hasil pengujian kadar FFA dalam penelitian ini tidak ada hasil yang memenuhi SNI.

Pada sampel Anglo Nubian yang diinteresterifikasi kadar FFA yang terukur lebih tinggi dibandingkan sampel lainnya. Hal ini juga sejalan dengan hasil pengujian *slip melting point* pada sampel Anglo Nubian diinteresterifikasi juga memiliki nilai yang lebih tinggi dibanding sampel lainnya. Kedua hasil tersebut mengindikasikan bahwa proses interesterifikasi pada sampel Anglo Nubian terjadi lebih besar. Proses interesterifikasi dapat terjadi lebih besar atau lebih kecil

tergantung pada komposisi asam lemak dari lemak yang diuji. Hal ini mungkin dapat disebabkan oleh perbedaan komposisi asam lemak antar ras kambing karena ras kambing yang berbeda dapat memberikan komposisi asam lemak yang sedikit berbeda (Korma *et al.*, 2022).

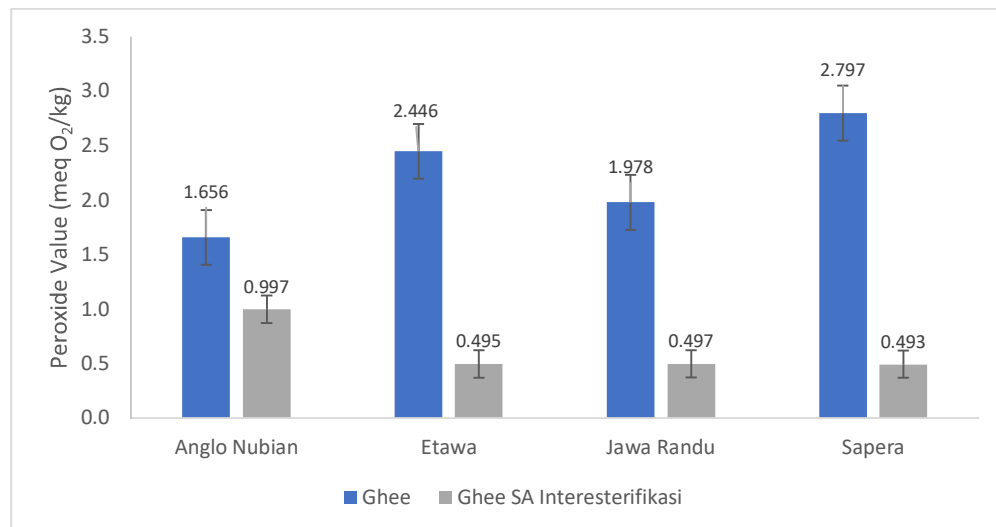
Kadar FFA *ghee* sebelum interesterifikasi menunjukkan jumlah asam lemak yang terdapat pada *ghee* yang berasal dari mentega sebagai bahan baku awal dan terbentuk pada proses pembuatan *ghee*. FFA pada mentega terbentuk akibat adanya enzim lipoprotein lipase yang menghidrolisis trigliserida menjadi gliserol dan FFA (Inglingstad *et al.*, 2017). Globula lemak yang pecah pada proses *churning* memudahkan kerja enzim lipoprotein lipase menghasilkan FFA. Proses pembuatan *ghee* juga menambah adanya kandungan FFA akibat perlakuan panas selama prosesnya. Menurut Whitfield dan Mottram (1992) yang dikutip dalam Kumbhare *et al.* (2023), menyatakan bahwa pemanasan lemak akan menghasilkan senyawa volatil seperti asam lemak bebas (FFA).

Kadar FFA yang melonjak naik tinggi disebabkan oleh proses interesterifikasi sebagai faktor utama. Enzim lipase yang digunakan untuk proses interesterifikasi akan berperan sebagai katalis reaksi hidrolisis pada lemak sehingga melepaskan asam lemak dari ikatan trigliserida dan membentuk asam lemak bebas (Sivakanthan dan Madhujith, 2020). Perlakuan interesterifikasi tidak hanya merubah susunan trigliserida lemak tetapi juga dapat memecah trigliserida menjadi monoasilgliserol, diasilgliserol, gliserol, dan asam lemak bebas sehingga dapat meningkatkan kadar asam lemak bebas pada *ghee*. Selain itu, proses interesterifikasi melibatkan panas menggunakan *rotary evaporator* dengan suhu waterbath 70°C. Perlakuan panas

dapat meningkatkan asam lemak bebas pada *ghee* karena panas dapat memutus ikatan ester pada triasilgliserol sehingga meningkatkan kadar FFA pada *ghee* (Baig *et al.*, 2022).

4.4. Analisis Bilangan Peroksida

Analisis bilangan peroksida merupakan analisis yang dilakukan untuk mengetahui perbedaan bilangan peroksida antara *ghee* dengan *ghee* dengan penambahan asam stearat dan perlakuan interesterifikasi. Hasil pengujian bilangan terdapat pada ilustrasi 14 dan disusun berdasarkan ras kambing yang diujikan.



Ilustrasi 14. Bilangan peroksida pada sampel *ghee* dan *ghee* dengan penambahan asam stearat dan interesterifikasi.

Berdasarkan hasil pada ilustrasi 14, nilai bilangan peroksida mengalami penurunan yaitu dari sebelum proses interesterifikasi berkisar antara 1,656-2,797 meq O₂/kg kemudian setelah penambahan asam stearat dan proses interesterifikasi nilai bilangan peroksida mengalami penurunan yang berkisar antara 0,493-0,997 meq O₂/kg. Nilai peroksida mengalami penurunan yang mengindikasikan adanya

penurunan hidroperoksida sebagai produk oksidasi primer. Berdasarkan nilai SNI 3741-2013 untuk minyak goreng angka peroksida yang baik dan diterima yaitu kurang dari 10 meq O₂/kg. Hasil *ghee* dan *ghee* interesterifikasi berada pada batas aman karena berada dibawah nilai 10 meq O₂/kg.

Semua ras kambing memberikan pola hasil yang serupa yaitu memiliki nilai peroksida yang tinggi sebelum interesterifikasi dan menurun setelah proses interesterifikasi. Tetapi pada *ghee* yang berasal dari ras Anglo Nubian memiliki penurunan bilangan peroksida yang lebih sedikit dibandingkan ras lainnya. Perbedaan ini berkaitan dengan perbedaan ras kambing yang memiliki komposisi asam lemak yang sedikit berbeda (Korma *et al.*, 2022). Hal tersebut mempengaruhi proses oksidasi yang terjadi pada *ghee* dari masing-masing ras. Penurunan bilangan peroksida yang lebih sedikit pada ras Anglo Nubian mungkin mengindikasikan *ghee* Anglo Nubian masih berada pada tahap awal oksidasi. Menurut Domínguez *et al.* (2019), pada tahap awal oksidasi laju pembentukan hidroperoksida lebih besar dibandingkan laju dekomposisinya. Berdasarkan pendapat tersebut, *ghee* Anglo Nubian pada saat interesterifikasi berlangsung mungkin masih aktif membentuk hidroperoksida dan dekomposisi yang terjadi laju nya lebih kecil dibandingkan ras lainnya.

Angka peroksida yang lebih tinggi sebelum proses interesterifikasi disebabkan oleh perlakuan panas dalam pembuatan *ghee*. *Ghee* dibuat dengan cara memanaskan mentega hingga suhu 110-115°C dan ditahan selama 10 menit hingga kadar air pada mentega habis. Perlakuan panas dalam waktu yang lama dapat meningkatkan laju oksidasi termal yang menyebabkan terbentuknya hidroperoksida

sebagai produk oksidasi primer. Hal ini sejalan dengan penelitian Liu *et al.* (2022), yang melakukan pemanasan pada sampel minyak hazelnut selama 10 menit pada suhu 120°C menyebabkan terjadinya oksidasi primer yang dapat meningkatkan angka peroksida.

Perlakuan interesterifikasi menurunkan angka peroksida dari *ghee*. Perubahan ini dapat disebabkan oleh beberapa mekanisme. Pertama, proses interesterifikasi secara enzimatik dapat mengurangi angka peroksida. Hal ini disebabkan oleh hidroperoksida yang terbentuk terikat pada protein enzim yang digunakan sebagai katalis proses interesterifikasi (Bandara *et al.*, 2024). Kedua, *ghee* yang telah diinteresterifikasi mengalami dekomposisi hidroperoksida pada fase terminasi. Dekomposisi hidroperoksida merupakan proses penguraian hidroperoksida yang bersifat non radikal menjadi produk radikal bebas seperti peroksil, alkoksil, dan hidroksil (Durand *et al.*, 2025). Hidroperoksida yang dipanaskan selama proses interesterifikasi mengalami dekomposisi sehingga menurunkan angka peroksida yang terukur. Bilangan peroksida mengukur hidroperoksida yang terbentuk sebagai produk primer sedangkan produk sekunder yang dihasilkan pada proses dekomposisi hidroperoksida tidak dapat diukur menggunakan metode bilangan peroksida. Kedua mekanisme ini dapat terjadi salah satunya atau secara bersamaan.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa karakteristik fisik dan kimia *ghee* susu kambing dari empat ras kambing yang berbeda tidak memiliki pola hasil yang berbeda. Penambahan asam stearat dan interesterifikasi enzimatis adalah metode yang cocok untuk memberikan mikrostruktur lemak yang lebih cepat mengkristal dan memiliki ukuran kristal lemak yang lebih kecil serta meningkatkan titik leleh dari *ghee* susu kambing. Secara kimiawi, *ghee* yang mengalami proses interesterifikasi mengalami peningkatan kadar FFA karena prosesnya melepaskan asam lemak ke dalam sistem lemak sehingga banyak asam lemak bebas yang terdapat pada sistem lemak tersebut tetapi angka peroksidanya menurun karena produk primer dari proses oksidasi yaitu hidroperoksida mengalami dekomposisi dan berubah menjadi produk sekunder yang tidak dapat diidentifikasi menggunakan metode bilangan peroksida.

5.2. Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai perubahan struktur TAG sebelum dan sesudah proses interesterifikasi untuk mengetahui dan memahami perubahan struktur TAG yang terjadi. Dapat dilakukan variasi suhu dan waktu interesterifikasi untuk mendapatkan hasil yang paling optimal dari proses interesterifikasi *ghee*. Perlu dilakukan netralisasi kadar FFA supaya memenuhi

standar SNI dan aman untuk dikonsumsi. Perlu dilakukan uji stabilitas oksidatif lanjutan untuk mengetahui tingkat kerusakan oksidatif yang terjadi setelah *ghee* mengalami proses interesterifikasi seperti uji *Anisidine Value* dan *TOTOX Value* untuk menghitung hasil oksidasi sekunder setelah terjadi dekomposisi hidroperoksida. Dapat dilakukan pengujian sensoris *butter* untuk mendukung hasil dari pengujian fisikokimia yang sudah dilakukan.

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.
- Ai, H., Lee, Y.-Y., Xie, X., Tan, C.P., Ming Lai, O., Li, A., Wang, Y., and Zhang, Z. 2023. Structured lipids produced from palm-olein oil by interesterification: a controllable lipase-catalyzed approach in a solvent-free system. *Food Chemistry*, 412: 135558.
- Akshita, 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.
- Alan, D.F., Naeli, M.H., Naderi, M., Jafari, S.M., and Tavakoli, H.R. 2019. Production of trans-free fats by chemical interesterified blends of palm stearin and sunflower oil. *Food Science & Nutrition*, 7(11): 3722–3730.
- 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.
- Baig, A., Zubair, M., Sumrra, S.H., Nazar, M.F., Zafar, M.N., Jabeen, K., Hassan, M.B., and Rashid, U. 2022. Heating effect on quality characteristics of mixed canola cooking oils. *BMC Chemistry*, 16(1): 1–11.
- Bandara, R.R., Louis-Gavet, C., Bryś, J., Mańko-Jurkowska, D., Górska, A., Brzezińska, R., Siol, M., Makouie, S., Palani, B.K., Obranović, M., and Koczoń, P. 2024. Enzymatic interesterification of coconut and hemp oil mixtures to obtain modified structured lipids. *Foods*, 13(17): 2722.

- Berry, S.E., Bruce, J.H., Steenson, S., Stanner, S., Buttriss, J.L., Spiro, A., and Gibson, P.S. 2019. Interesterified fats : what are they and why are they used ? A briefing report from the Roundtable on Interesterified Fats in Foods 44: 363–380.
- 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.L.T., and Martini, S. 2024. Recent advances in lipid crystallization in the food industry. *Annual Review of Food Science and Technology*, 15(1): 355–379.
- 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.
- Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F.J., Zhang, W., and Lorenzo, J.M. 2019. A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. *Antioxidants*, 8(10): 429.
- 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.
- Inglingstad, R.A., Skeie, S., Vegarud, G.E., Devold, T.G., Chilliard, Y., and Eknæs, M. 2017. Feeding a concentrate rich in rapeseed oil improves fatty acid composition and flavor in Norwegian goat milk. *Journal of Dairy Science*, 100(9): 7088–7105.
- 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. Integrasi faktor genetik dan nutrisi dalam produksi dan kualitas susu kambing perah : 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 kambing 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.
- Liao, G., Han, H., Wang, T., Li, H., Qian, Y., Zhu, M., Jia, Q., and Qiu, J. 2024. Comparative analysis of the fatty acid profiles in goat milk during different lactation periods and their interactions with volatile compounds and metabolites. *Food Chemistry*, 460: 140427.

- 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.
- Liu, J., Meng, P., Yang, G., Yang, R., Chen, J., Sun, C., and Liu, W. 2024. Effects of interesterification with solid base catalyst on physicochemical properties of lard and high-oleic sunflower oil blends. *LWT*, 211: 116915.
- Liu, Z., Liu, M., Lyu, C., Li, B., Meng, X., Si, X., and Shu, C. 2022. Effect of heat treatment on oxidation of hazelnut oil. *Journal of Oleo Science*, 71(12): 1711–1723.
- 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., Devkatte, 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*, 8:789117.

- Nazifah, I.S., Wanniatie, V., Muhtarudin, and Qisthon, A. 2026. Pengaruh imbalanced hijauan dan konsentrat terhadap kadar protein dan laktosa susu kambing peranakan etawa. *Jurnal Riset dan Inovasi Peternakan*, 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): 110–114.
- 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*, 11: 393–406.
- Read, H., Benaglia, S., and Fumagalli, L. 2024. Soft Matter membranes on hydrophobic van der Waals surfaces. *Royal Society of Chemistry*, 20: 5724–5732.
- 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. *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 stearyl-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.
- Sumarmono, J. 2022. Current goat milk production, characteristics, and utilization in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1041(1): 012082.
- 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 Nusantara, 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 Günç 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.
- Zhu, T., Zhao, Y., Zong, M., Li, B., Zhang, X., and Wu, H. 2017. Improvement of physical properties of palm stearin and soybean oil blends by enzymatic interesterification and their application in fast frozen food. *RSC Advances*, 7(55): 34435–34441.