



Volatile Fatty Acids (VFA) Sebagai Mediator Metabolisme Energi dan Lipid Pada Sapi Perah Laktasi

Mutiara Rahma¹, Flora Amanda Usmany², Daffa Pradita Ardhi³, Muhammad Zaidan Barlian⁴, Ainun Nafisah⁵, Ulfa Nurrofingah⁶

^{1,2,3,4,5,6} Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Fakultas Pertanian, Program Studi Peternakan

Email: ulfa.nurrofingah@untirta.ac.id¹, ainunnfsh@untirta.ac.id²

Article Info

Article history:

Received November 14, 2025

Revised November 22, 2025

Accepted December 04, 2025

Keywords:

Acetate, Rumen Fermentation, Milk Fat, Energy Metabolism, VFA

ABSTRACT

Volatile fatty acids (VFA) are the main product of rumen fermentation and play a major role in supporting the energy requirements and lipid metabolism of lactating dairy cows. During lactation, VFA is the largest source of energy for ruminants and contributes directly to milk fat formation through lipogenesis. This study was conducted using a literature review method that examined various studies related to rumen fermentation conditions, VFA production, and their relationship with energy metabolism and milk fat synthesis. Various dietary treatments such as the addition of molasses and buffers, acetate infusion, fermented soybean meal (FSM) administration, branched-chain VFA supplementation, and rumen microbiome analysis were reported to affect rumen pH, microbial composition, and the acetate:propionate ratio. These changes in fermentation conditions determine the stability of VFA production and the direction of energy metabolism, especially in the gluconeogenesis pathway and de novo fatty acid formation in mammary tissue. Acetate and butyrate act as the main precursors for the formation of short- and medium-chain fatty acids, while propionate is used for glucose synthesis that supports lactose production. In addition, feed balance, fermentation substrate type, and specific microbial populations such as Firmicutes and Bacteroidetes influence fermentation quality and milk fatty acid profile. This study provides a comprehensive overview of the relationship between rumen fermentation, VFA production, and metabolic processes in lactating dairy cows, which can serve as a basis for developing more efficient nutritional strategies that support milk production performance.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Article Info

Article history:

Received November 14, 2025

Revised November 22, 2025

Accepted December 04, 2025

Kata Kunci:

Asetat, Fermentasi Rumen, Lemak Susu, Metabolisme Energi, VFA

ABSTRAK

Volatil Fatty Acids (VFA) merupakan hasil utama fermentasi rumen yang berperan besar dalam mendukung kebutuhan energi dan metabolisme lipid pada sapi perah laktasi. Pada masa laktasi, VFA menjadi sumber energi terbesar bagi ruminansia dan berkontribusi langsung terhadap pembentukan lemak susu melalui jalur lipogenesis. Studi ini dilakukan dengan menggunakan metode studi literatur yang mengkaji berbagai penelitian terkait kondisi fermentasi rumen, produksi VFA, serta hubungannya dengan metabolisme energi dan sintesis lemak susu. Berbagai perlakuan pakan seperti penambahan molases dan buffer, infus asetat, pemberian *fermented soybean meal* (FSM), suplementasi *branched-chain VFA*, serta analisis mikrobioma rumen dilaporkan memengaruhi pH rumen, komposisi mikroba, dan rasio asetat:propionat. Perubahan kondisi fermentasi tersebut menentukan kestabilan produksi VFA serta arah metabolisme energi,



terutama pada jalur glukoneogenesis dan pembentukan asam lemak de novo di jaringan ambing. Asetat dan butirat berperan sebagai prekursor utama pembentukan asam lemak rantai pendek dan menengah, sedangkan propionat digunakan untuk sintesis glukosa yang mendukung produksi laktosa. Selain itu, keseimbangan pakan, jenis substrat fermentasi, dan populasi mikroba tertentu seperti Firmicutes dan Bacteroidetes berpengaruh terhadap kualitas fermentasi dan profil asam lemak susu. Kajian ini memberikan gambaran komprehensif mengenai hubungan antara fermentasi rumen, produksi VFA, dan proses metabolik pada sapi perah laktasi sehingga dapat menjadi dasar dalam pengembangan strategi nutrisi yang lebih efisien dan mendukung performa produksi susu.

This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license.



Corresponding Author:

Ulfa Nurrofingah

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Email: ulfa.nurrofingah@untirta.ac.id

PENDAHULUAN

Sumber energi utama sapi perah laktasi adalah asam lemak volatil (VFA) seperti butirat, asetat, dan propionat yang dihasilkan oleh fermentasi rumen. Ketiga VFA tersebut bertanggung jawab atas glukoneogenesis, lipogenesis, dan pembentukan bagian susu, sehingga kestabilan fermentasi sangat penting selama laktasi. pH stabil, keseimbangan populasi mikroba, dan ketersediaan substrat yang memadai adalah semua faktor yang diperlukan untuk kondisi rumen yang ideal. Ketidakseimbangan dalam proses ini dapat berdampak pada kualitas susu, terutama kadar lemaknya, dan menurunkan efisiensi pemanfaatan energi. Rasio VFA dapat berubah karena perubahan fermentasi yang disebabkan oleh komposisi pakan, yang berdampak pada proses metabolik tubuh sapi (Hackmann dan Firkins, 2023).

Perubahan rasio asetat:propionat, penurunan pH rumen, dan perubahan populasi mikroba dapat mengganggu lipogenesis dan sintesis energi. Fermentasi rumen dan biohidrogenasi asam lemak juga dipengaruhi oleh perubahan pakan, seperti peningkatan konsentrat, sumber lemak tertentu, dan kualitas protein. Meskipun beberapa penelitian menunjukkan reaksi rumen terhadap perawatan tersebut, banyak informasi masih disajikan secara terpisah untuk variabel tersebut. Salah satu masalah yang muncul dalam situasi ini adalah kurangnya pemahaman integratif tentang bagaimana fermentasi rumen, komposisi VFA, metabolisme energi, dan lipid sapi perah berhubungan satu sama lain. Gambaran menyeluruh sangat penting untuk memahami hubungan antarproses biokimia secara sistematis (Zhang *et al.*, 2024).

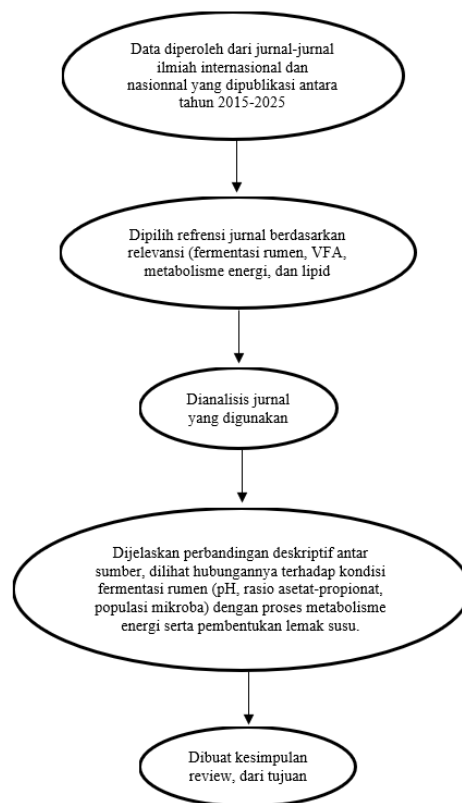
Studi ini menggabungkan penemuan terbaru tentang fermentasi rumen, pembuatan VFA, dan dampaknya terhadap metabolisme energi dan lemak. Agar analisis sesuai dengan kemajuan nutrisi kontemporer, sumber yang digunakan berasal dari publikasi sepuluh tahun terakhir. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menemukan pola umum yang muncul pada berbagai kondisi rumen dan perlakuan pakan yang memengaruhi komposisi VFA. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk membangun pemahaman integratif tentang peran VFA



sebagai mediator utama antara fermentasi rumen dan metabolisme tubuh sapi perah. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar untuk mengembangkan strategi nutrisi yang lebih efisien yang meningkatkan efisiensi metabolisme dan meningkatkan kualitas produksi sapi perah laktasi.

METODE PENELITIAN

Penulisan dalam artikel ini dilakukan dengan metode studi literatur yang berfokus pada hasil-hasil penelitian terkait peran *Volatile Fatty Acids* (VFA) dalam metabolisme energi dan lipid pada sapi perah laktasi.



HASIL DAN PEMBAHASAN

1) Metabolisme energi dan lipid pada sapi perah

Metabolisme energi dan lipid pada sapi perah sangat penting dalam mendukung produksi susu dan menjaga kesehatan sapi. Proses hidrolisis dan biohidrogenasi terjadi pada lemak dalam pakan ternak oleh mikroba di rumen, menghasilkan asam lemak bebas yang diserap dan digunakan sebagai energi. Dalam darah, lipid muncul sebagai lipoprotein yang tidak larut, termasuk VLDL, LDL, dan HDL, yang berperan dalam distribusi kolesterol dan lemak tubuh. Menurut Faza et al. (2017), penambahan baking soda dalam pakan sampai 1% tidak memiliki dampak signifikan pada metabolisme lipid, seperti kadar kolesterol, trigliserida, LDL, dan HDL pada sapi perah. Oleh karena itu, pengelolaan nutrisi yang baik



sangat penting untuk menjaga keseimbangan metabolisme lipid dan energi sehingga sapi perah bisa memproduksi susu dengan optimal dan sehat.

Tabel 1. Hubungan VFA dengan Metabolisme Energi dan Lipid pada Sapi Perah

Jurnal	Kaitan dengan VFA (Volatile Fatty Acids)	Kaitan dengan Metabolisme Energi
Kuhla <i>et al.</i> (2016)	Fermentasi di dalam rumen menghasilkan VFA yang menjadi sumber energi utama, khususnya asetat dan propionat.	Keseimbangan energi dipengaruhi oleh lipid (NEFA) melalui pengurangan asupan makanan serta perubahan penggunaan glukosa menjadi asam lemak; peningkatan kadar NEFA dapat menyebabkan ketosis dan masalah metabolik.
Tessari <i>et al.</i> , 2020	NEFA meningkat ketika lipomobilisasi tinggi; fluktuasi VFA mempengaruhi keseimbangan energi dan pembentukan β -hydroxybutyrate (BHB).	NEFA berperan sebagai tanda penting kekurangan energi dan dipakai untuk meramalkan ketosis; proses metabolisme energi beralih dari anabolik ke katabolik.
Mlynek <i>et al.</i> (2021)	Saat energi negatif, produksi NEFA dan BHBA meningkat; VFA dari rumen menjadi sumber energi utama susu.	Energi negatif menyebabkan lipolisis dan meningkatkan NEFA. Leptin dan glukosa berkontribusi pada regulasi energi dan produksi susu.
Cui <i>et al.</i> (2023)	Diet tinggi bijian menyebabkan fermentasi lebih cepat, yang menyebabkan peningkatan VFA (asetat dan propionat), yang pada gilirannya meningkatkan risiko asidosis rumen.	VFA berlebih juga menurunkan pH rumen dan mengganggu keseimbangan energi dan metabolisme lipid (TG meningkat di jaringan otot dan adiposa).
Suwandyastuti dan Rimbawanto (2015)	Dengan meningkatkan aktivitas mikroba rumen, asetat meningkatkan produksi total VFA (96,86 mM/L), dan rasio asetat-propionat meningkat (C2/C3 = 3,08).	VFA menjadi sumber utama energi mikroba rumen dan sapi; peningkatan proporsi asetat menunjukkan efisiensi fermentasi meningkat.

Produksi dan keseimbangan VFA dalam sapi perah laktasi sangat penting untuk meningkatkan efisiensi energi dengan mendukung reproduksi, produksi susu, dan kesehatan metabolik. Suplementasi ragi *Saccharomyces cerevisiae* adalah salah satu metode untuk mengoptimalkan proses fermentasi rumen. Studi Suwandyastuti dan Rimbawanto (2015) menyelidiki pengaruh ragi terhadap total VFA, fraksi asetat-propionat-butirat, rasio C2:C3, dan kadar amonia dalam rumen. Dalam penelitian ini, rancangan Latin Square digunakan, di mana empat sapi diberi laktasi dan diberi empat dosis ragi (0, 5, 10, 15 g/ekor/hari). Sehingga efek perlakuan dapat diamati dengan lebih jelas, rancangan membantu mengontrol variabilitas individu dan periode.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa suplementasi hingga 15 g per hari tidak secara signifikan mengubah total VFA. Produksi VFA tertinggi dicapai pada dosis 5 g/hari, yang menunjukkan reaksi positif pada aktivitas fermentasi. Produksi berada pada kisaran normal 83,25-106,88 mM/L dengan rata-rata $96,86 \pm 9,94$ mM/L. Namun, VFA tidak meningkat



ketika dosis ditingkatkan ke 15 g, yang menunjukkan adanya titik jenuh atau persaingan antar mikroba. Hal ini menunjukkan bahwa dosis probiotik dan kondisi nutrisi pakan sangat memengaruhi kinerjanya.

Mayoritas fraksi VFA terdiri dari asetat, diikuti oleh propionat dan butirat, dengan rasio C2:C3 sekitar 3,08:1. Rasio ini menunjukkan fermentasi serat yang stabil yang tidak banyak berubah ketika ragi ditambahkan. *S. Cerevisiae* membantu menjaga kondisi rumen yang ideal, tetapi tidak mengubah jalur fermentasi dari asetat ke propionat. Kadar N-NH₃ tetap tinggi (12,85 ± 2,72 mM/L), menunjukkan bahwa aktivitas deaminasi terus berlanjut. Ketidakseimbangan energi-nitrogen ini menunjukkan bahwa mikroba tidak memanfaatkan semua amonia.

Ragi secara fisiologis berfungsi untuk menstabilkan pH rumen, mengurangi jumlah oksigen bebas, dan mendukung pertumbuhan bakteri anaerob utama. Ragi membantu menjaga kestabilan fermentasi, yang sangat penting bagi sapi laktasi, meskipun sebenarnya tidak meningkatkan total VFA. Gangguan seperti asidosis dapat dihindari dengan kestabilan ini, terutama pada sapi yang mengonsumsi konsentrat tinggi. Penelitian ini menunjukkan bahwa peran penting *S. Cerevisiae* tidak meningkatkan VFA secara langsung, tetapi mereka menjaga lingkungan rumen tetap ideal. Untuk tujuan meningkatkan efisiensi metabolik, penelitian lanjutan disarankan untuk menggabungkan ragi dengan sumber energi fermentabel atau buffer pH.

2) Fermentasi rumen dan sintesis lemak susu

Fermentasi rumen merupakan pusat metabolisme yang sangat penting bagi sapi perah, terutama selama masa laktasi ketika kebutuhan energi dan bahan pembentuk lemak susu meningkat tajam. *Volatile Fatty Acids* (VFA) adalah hasil utama fermentasi karbohidrat oleh mikroorganisme rumen. VFA terdiri dari asetat, propionat, dan butirat, dan berfungsi sebagai mediator utama antara proses pencernaan di rumen dan metabolisme energi dan lipid di jaringan tubuh sapi. VFA juga berfungsi sebagai sumber energi utama sapi perah, membantu dalam sintesis lemak susu (lipogenesis), dan mengontrol metabolisme glukosa serat. Lima jurnal yang direview secara bersamaan memberikan pemahaman yang luas tentang bagaimana VFA berfungsi sebagai penghubung penting antara fermentasi rumen dan metabolisme lipid pada sapi perah yang menerima laktasi.

Tabel 2. Perlakuan, fermentasi rumen dan sintesis lemak susu

Jurnal	Perlakuan / Variabel Utama	Fermentasi Rumen	Sintesis Lemak Susu
Razzaghi <i>et al.</i> (2020)	Ada empat pilihan perawatan: tanpa molases atau buffer, molases saja, buffer saja, dan kombinasi molases dan buffer. pH, VFA (asetat, propionat, dan butirat)	pH, VFA (asetat, propionat, dan butirat), dan rasio asetat-propionat digunakan untuk mengukur fermentasi rumen. Molases dan buffer menstabilkan pH rumen dan mengurangi waktu hingga pH <5,8.	Molases dan buffer meningkatkan kadar dan produksi lemak susu, terutama asam lemak rantai pendek-menengah. Jumlah trans-FA (trans-10 18:1) berkurang. Kandungan trans-FA (trans-10 18:1) menurun.



Urrutia dan Harvatine (2017)	Infus asetat langsung ke rumen sebanyak 0, 5, 10, dan 15 mol/hari selama 4 hari.	Asetat diinfus mewakili hasil fermentasi rumen.	Asetat meningkatkan kadar lemak susu (6–11%) dan yield (7–16%). Terutama menstimulasi pembentukan asam lemak de novo (<C16).
Buitenhuis <i>et al.</i> (2019)	Analisis DNA mikrobioma rumen (16S rRNA) dari 339 sapi Holstein dan kaitannya dengan kadar asam lemak dalam susu.	Mempelajari jenis mikroba dalam rumen (seperti Firmicutes, Bacteroidetes, dan lainnya) yang membantu proses fermentasi dan biohidrogenasi.	Mikrobioma di dalam rumen memengaruhi jumlah C15:0, C17:0, C18:2, C18:3, dan CLA yang ada di susu.
Zhang <i>et al.</i> (2024)	Pemberian <i>Fermented Soybean Meal (FSM)</i> 0, 200, 400, dan 600 g/ekor/hari selama 5 minggu.	FSM tidak mengubah total VFA dan rasio asetat:propionat secara signifikan, tetapi meningkatkan <i>Firmicutes</i> dan menurunkan <i>Bacteroidota</i> . pH rumen relatif stabil.	FSM tidak mengubah kadar lemak susu, tetapi meningkatkan hormon prolaktin dalam darah yang berkaitan dengan produksi susu.
Sadeghi <i>et al.</i> (2019)	Kombinasi 2 faktor: rasio hijauan (Alfalfa hay : Corn silage = 70:30 vs. 30:70) dan sumber lemak (Ca-salt of palm FA vs. C16:0 palm fat).	Mengukur pH rumen dan VFA. Rasio alfalfa tinggi meningkatkan proporsi asetat dan stabilitas rumen.	Sumber lemak dan rasio hijauan memengaruhi profil asam lemak susu (de novo, campuran, dan preformed). Lemak C16:0 meningkatkan lemak susu, sedangkan Ca-salt meningkatkan CLA.

Tabel diatas menunjukkan bahwa kelima jurnal yang telah direview memiliki tujuan utama yang sama yaitu untuk memahami pengaruh perlakuan pakan dan kondisi rumen terhadap fermentasi serta pembentukan lemak susu pada sapi perah. Variasi perlakuan seperti molases, buffer, infus asetat, fermentasi protein, dan rasio hijauan bertujuan menstabilkan pH serta memodulasi mikroba rumen. Penambahan molases dan buffer menjaga pH agar tidak turun di bawah 5,8 sehingga fermentasi tetap efisien. Infus asetat digunakan untuk melihat hubungan langsung antara hasil fermentasi dan lipogenesis di kelenjar mammae. Analisis mikrobioma menegaskan bahwa jenis mikroba sangat menentukan arah fermentasi dan ketersediaan substrat energi.

Firmicutes, *Bacteroidetes*, dan *Butyrivibrio* memainkan peran utama dalam menghasilkan asam lemak volatil yang berbeda. Perlakuan FSM meningkatkan populasi *Firmicutes* yang mendukung produksi asetat, sedangkan rasio hijauan tinggi menjaga kestabilan rumen. Proporsi asetat, propionat, dan butirrat yang dihasilkan menentukan arah metabolisme energi. Asetat menjadi prekursor utama pembentukan acetyl-CoA, sedangkan propionat diarahkan ke glukoneogenesis. Kestabilan pH dan mikroba rumen menjadi faktor kunci tercapainya fermentasi optimal.

Fermentasi ideal menghasilkan sekitar 60–70% asetat, 15–20% propionat, dan 10–15% butirrat untuk mendukung lipogenesis. Rasio hijauan yang tinggi meningkatkan produksi asetat dan stabilitas pH, sedangkan konsentrat tinggi cenderung meningkatkan propionat dan menurunkan lemak susu. Kondisi rumen juga memengaruhi proses biohidrogenasi oleh mikroba seperti *Butyrivibrio fibrisolvens*. pH rendah menyebabkan terbentuknya intermediat



trans-10 C18:1 yang menghambat sintesis lemak susu. Fermentasi yang stabil menekan pembentukan isomer tersebut dan mendukung jalur bihidrogenasi normal.

Asetat dan butirat yang dihasilkan dari fermentasi dikonversi menjadi acetyl-CoA di jaringan mammae untuk sintesis asam lemak melalui enzim ACC dan FAS. Penambahan molases, buffer, dan perlakuan yang meningkatkan asetat terbukti meningkatkan kadar lemak susu. Infus asetat bahkan dapat meningkatkan total lemak hingga 11% dan produksi susu hingga 16%. FSM turut meningkatkan hormon prolaktin yang dapat mendukung aktivitas enzim lipogenik. Ketika fermentasi rumen stabil, ekspresi gen lipogenik terjaga dan proses lipogenesis berlangsung maksimal.

3) Hubungan pembentukan VFA pada metabolisme energi sapi erah

Pembentukan VFA dalam rumen berkaitan erat dengan metabolisme energi sapi perah karena asetat, propionat, dan butirat menjadi sumber energi utama bagi glukoneogenesis, lipogenesis, dan produksi ATP. Variasi pakan, tingkat konsentrat, dan kondisi fermentasi dapat mengubah proporsi ketiga VFA sehingga memengaruhi keseimbangan energi, terutama pada periode transisi dan awal laktasi (Dieho et al., 2016). Faktor seperti pH rumen, jenis substrat, dan aktivitas mikroba juga menentukan apakah fermentasi lebih mengarah pada asetat atau propionat, yang memiliki peran metabolik berbeda dalam produksi susu (Li et al., 2022; Beckett et al., 2021). Profil VFA bahkan dapat menjadi indikator efisiensi rumen, prediksi metana, dan status metabolik sapi perah (Williams et al., 2019). Karena itu, membandingkan berbagai kajian mengenai VFA dan metabolisme energi penting untuk mengoptimalkan nutrisi dan kondisi rumen pada sapi laktasi.

Tabel 3. Perbandingan Hubungan Pembentukan VFA Pada Metabolisme Energi Sapi Perah

No	Jurnal	Hubungan Pembentukan VFA Pada Metabolisme Energi Sapi Perah
1.	K. Dieho, Jan Dijkstra, J.T. Schonewille, dan A. Bannink. and 2016	Peningkatan pakan konsentrat selama masa kering dan awal laktasi memengaruhi pembentukan dan penyerapan VFA, yang berperan penting dalam menyediakan energi utama bagi sapi perah serta mendukung efisiensi metabolisme dan produksi susu.
2.	L. Beckett, C. B. Gleason, A. Bedford, D. Liebe; T. T. Yohe, M. B. Hall, K. M. Daniels, R. R. White, and 2021	Menunjukkan bahwa variasi pati dan serat terdegradasi di rumen memengaruhi pembentukan VFA, yang menjadi sumber utama energi metabolik sapi perah, terutama melalui peran asetat, propionat, dan butirat dalam sintesis lemak, glukosa, dan energi jaringan.
3.	Massimo Bionaz, Einar Vargas-Bello-Pérez, dan Sebastiano Busato and 2020	Asam lemak memengaruhi mikroba rumen yang menghasilkan VFA, sehingga mengubah profil dan ketersediaan energi bagi sapi perah melalui fermentasi dan regulasi metabolisme sel.
4.	Meng M. Li, S. Ghimire, B. A. Wenner, R. A. Kohn, J. L. Firkins, B. Gill, M. D. Hanigan and 2022	Perubahan kadar asetat, propionat, dan pH dalam rumen memengaruhi keseimbangan pembentukan VFA, di mana penurunan pH meningkatkan propionat dan menurunkan asetat, sehingga mengoptimalkan efisiensi metabolisme energi pada sapi perah melalui peningkatan ketersediaan energi untuk



		sintesis glukosa dan produksi susu.
5.	Williams, S. R. O. Hannah, M. C. Jacobs, J. L. Wales, W. J. Moate, P. J. and 2019	Komposisi VFA (asetat, propionat, butirrat) di rumen mencerminkan efisiensi fermentasi energi pada sapi perah, di mana perubahan VFA memengaruhi pembentukan metana dan ketersediaan energi bersih bagi metabolisme sapi perah.

Variasi sumber pati dan serat dalam pakan mengubah proporsi molar VFA dalam rumen dan menimbulkan perbedaan ekspresi gen epitel rumen. Pati barley meningkatkan propionat dan menurunkan asetat sehingga meningkatkan efisiensi konversi energi melalui glukoneogenesis. Sebaliknya, serat seperti jerami timothy menghasilkan lebih banyak asetat yang mendukung lipogenesis. Perbedaan ini menunjukkan bahwa jenis substrat fermentasi menentukan arah metabolisme energi tubuh sapi. Dengan demikian, komposisi karbohidrat pakan menjadi faktor utama dalam regulasi metabolisme energi melalui jalur VFA.

VFA merupakan produk fermentasi mikroba yang menyediakan sekitar 70–80% energi bersih pada sapi perah. Propionat menjadi prekursor utama glukosa, sedangkan asetat dan butirrat berperan sebagai sumber energi serta substrat lipogenik. Keseimbangan antara pasokan VFA dan asam lemak rantai panjang dari pakan menentukan efisiensi penggunaan energi di tingkat jaringan. Koordinasi pasokan metabolit ini juga memengaruhi performa laktasi dan keseimbangan energi selama produksi susu tinggi. Dengan demikian, aliran VFA sangat penting dalam mengatur pemanfaatan energi di tingkat sel.

Sistem kultur rumen kontinu menunjukkan bahwa pH rendah meningkatkan produksi propionat dan menurunkan asetat. Kondisi ini mengurangi ketersediaan hidrogen bebas sehingga menekan pembentukan metana. Perubahan arah aliran hidrogen meningkatkan efisiensi energi karena lebih banyak diarahkan ke sintesis propionat yang bersifat glukogenik. Hal ini menegaskan bahwa pH dan keseimbangan redoks rumen sangat menentukan efisiensi fermentasi energi. Dengan demikian, perubahan kecil dalam kondisi rumen dapat menggeser keseimbangan energi secara signifikan.

Profil VFA dapat menjadi indikator prediksi produksi metana pada sapi perah. Propionat berkorelasi negatif dengan produksi metana, sedangkan asetat dan butirrat berkorelasi positif. Karena metana mewakili kehilangan energi, profil VFA yang lebih tinggi propionatnya mencerminkan efisiensi energi yang lebih baik. Rasio asetat:propionat:butirat menentukan apakah energi diarahkan ke glukoneogenesis, lipogenesis, atau produksi ATP langsung. Secara keseluruhan, pembentukan VFA merupakan pusat regulasi metabolisme energi yang terintegrasi dari mikroba rumen hingga respon fisiologis tubuh hewan.

4) Hubungan pembentukan VFA pada metabolisme lipid

Pembentukan VFA di rumen tidak hanya menyediakan energi, tetapi juga berhubungan langsung dengan metabolisme lipid pada sapi perah melalui perannya sebagai prekursor utama sintesis asam lemak *de novo* di jaringan ambing dan adiposa. Asetat dan butirrat menjadi donor karbon penting untuk pembentukan acetyl-CoA dan β -hidroksibutirat yang mendukung lipogenesis, sementara perubahan rasio VFA akibat perlakuan pakan atau aktivitas mikroba dapat memengaruhi bihidrogenasi dan komposisi asam lemak susu (Bionaz et al., 2020; Liu et al., 2018). Imbuhan seperti branched-chain VFA, lipid terproteksi,



atau pakan kaya UFA juga mampu menggeser fermentasi serta memodulasi produksi lipid melalui regulasi ekspresi gen lipogenik (Wang et al., 2019). Hal ini menegaskan bahwa fermentasi rumen dan metabolisme lipid merupakan sistem yang saling terintegrasi sehingga perubahan pada satu jalur memengaruhi jalur lainnya. Dengan demikian, membandingkan berbagai kajian tentang keterkaitan VFA dan metabolisme lipid menjadi penting untuk memahami mekanisme nutrisi yang menentukan kualitas dan komposisi lemak susu pada sapi perah laktasi.

Tabel 4. Perbandingan Hubungan Pembentukan VFA Pada Metabolisme Lipid Sapi Perah.

No	Jurnal	Hubungan dengan pembentukan VFA pada metabolisme lipid sapi perah
1.	Q. Liu, C. Wang, G. Guo, W. J. Huo, S. L. Zhang, C. X. Pei, Y. L. Zhang, dan H. Wang, <i>and</i> 2018	Suplementasi branched-chain VFA (BCVFA) pada sapi perah meningkatkan total VFA, terutama asetat dan butirir sebagai prekursor utama sintesis asam lemak di ambing. Kenaikan kedua VFA tersebut memperkuat pembentukan β -hidroksibutirat dan asetil-CoA yang penting bagi metabolisme lipid dan produksi lemak susu. BCVFA juga menstimulasi ekspresi gen lipogenik seperti ACACA, FASN, dan PPAR γ . Aktivasi gen tersebut mempercepat sintesis asam lemak de novo. Dengan demikian, pembentukan VFA di rumen berperan langsung dalam peningkatan metabolisme lipid dan produksi lemak susu.
2.	Wang C., Liu Q., Guo G., Huo W. J., Zhang Y. L., Pei C. X., Zhang S. L., <i>and</i> 2019.	Suplementasi rumen-protected folat bersama branched-chain volatile fatty acids (BCVFA; isobutirat, isovalerat, 2-methylbutirat) meningkatkan fermentasi ruminal, pencernaan nutrisi dan kinerja laktasi pada sapi perah; mekanismenya terkait peran BCVFA sebagai substrat penting bagi mikroba rumen, mendukung pertumbuhan mikroba selulolitik dan sintesis protein mikroba sehingga mengubah proporsi VFA yang dihasilkan (termasuk peningkatan iso-asam) dan ketersediaan prekursor untuk sintesis asam lemak de-novo di kelenjar ambing, sehingga memengaruhi metabolisme lipid dan komposisi lemak susu
3.	Bionaz, Einar Vargas-Bello-Pérez, dan Sebastiano Busato <i>and</i>	VFA, terutama asetat dan butirir, berperan sebagai prekursor utama sintesis asam lemak di jaringan lemak dan kelenjar susu. Asetat mendukung lipogenesis, sedangkan butirir dikonversi menjadi BHBA yang juga menunjang pembentukan lipid. Karena itu, pembentukan VFA secara langsung memengaruhi metabolisme lipid melalui penyediaan substrat energi dan pengaturan aktivitas enzim serta gen yang terlibat dalam sintesis dan mobilisasi lemak.
4.	S. Richard O. Williams, Murray C. Hannah, Joe L. Jacobs, William J. Wales, dan Peter J. Moate <i>and</i> 2019	Lipid dalam pakan dapat memengaruhi fermentasi rumen dengan mengubah aktivitas mikroba, sehingga menggeser rasio asetat, propionat, dan butirir. Perubahan ini memengaruhi pembentukan VFA sebagai hasil akhir metabolisme lipid tidak langsung, di mana peningkatan lipid menekan pembentukan asetat dan meningkatkan propionat, yang berperan dalam efisiensi energi serta menurunkan produksi metana pada sapi perah.
5.	S. van Gastelen, E. C. Antunes-Fernandes, K. A. Hettinga <i>and</i> J. Dijkstra <i>and</i> 2017.	Komposisi asam lemak susu (milk fatty acids, MFA) mencerminkan proses fermentasi rumen karena asam lemak yang disintesis de-novo di kelenjar susu berasal terutama dari VFA ruminal (terutama asetat dan β -hidroksibutirat yang berasal dari asetat/butirat), sehingga perubahan proporsi VFA (mis. pergeseran acetate \leftrightarrow propionate) langsung memengaruhi profil lipid susu; selain itu, keberadaan asam lemak odd-



dan branched-chain serta isomer C18 (produk biohidrogenasi asam lemak tak jenuh) berfungsi sebagai penanda aktivitas mikroba dan jalur biohidrogenasi di rumen yang mengubah pembentukan VFA dan selanjutnya memodulasi sintesis lipid (de-novo dan pengambilan dari sirkulasi) di jaringan mamaria.

Williams *et al.* (2019) mengembangkan dan memvalidasi persamaan untuk memprediksi hasil metana ($\text{g CH}_4/\text{kg AKG}$) berdasarkan proporsi VFA rumen seperti A/P, (A+B)/P, atau 1/P. Studi ini menekankan dasar stoikiometri yang menghubungkan produksi CH_4 dengan mol asetat, propionat, dan butirat. Perubahan proporsi VFA mencerminkan alokasi hidrogen mikroba dan menentukan aliran elektron menuju metanogenesis atau jalur metabolit lain. Hal ini secara langsung menghubungkan profil VFA dengan metabolisme lipid karena asetat dan butirat merupakan prekursor lipogenesis de-novo, sedangkan propionat bersifat glukoneogenik. Peneliti juga menyoroti keterbatasan bahwa agen pereduksi metana dapat menurunkan CH_4 tanpa perubahan VFA sehingga model berbasis VFA tidak selalu akurat.

Suplementasi *branched-chain* VFA (*isobutyrate*, *isovalerate*, *2-methylbutyrate*) meningkatkan total VFA dan menaikkan fraksi asetat serta butirat. Perubahan ini memperbesar rasio acetate:propionate dan meningkatkan digestibilitas, produksi susu, serta kadar lemak susu. Dari sudut metabolisme lipid, peningkatan VFA lipogenik ini mengaktifkan jalur lipogenesis di ambing. Hal tersebut ditunjukkan oleh kenaikan ekspresi mRNA gen lipogenesis seperti PPAR γ , SREBP1, ACACA, FASN, dan FABP3. Temuan ini mendukung hubungan kausal antara perubahan fermentasi rumen, pasokan *acetyl-CoA/BHBA*, dan regulasi genetik lipogenesis pada sapi laktasi.

Review terkait metabolisme lipid menempatkan VFA sebagai pusat interaksi antara fermentasi rumen dan proses metabolisme tubuh. Acetate dan butyrate (melalui BHBA) merupakan sumber utama karbon untuk lipogenesis jaringan dan ambing. Variasi produksi VFA yang dipengaruhi jenis pakan, tingkat UFA, dan biohidrogenasi akan mengubah ketersediaan prekursor asam lemak de-novo. Lipid diet dapat memengaruhi mikrobiota rumen karena UFA bersifat toksik bagi bakteri tertentu dan dapat mengubah fermentasi VFA. Selain itu, review tersebut membahas regulasi nutrigenomik di mana asam lemak memodulasi PPAR dan SREBP sehingga menghubungkan sinyal lipid dengan ekspresi gen lipogenesis.

Analisis metabolomik susu menunjukkan bahwa komposisi asam lemak susu (MFA) terkait erat dengan emisi metana melalui hubungan biokimia antara profil VFA dan asal usul asam lemak di susu. MFA berasal dari dua jalur yaitu lipogenesis de-novo dari acetate/BHBA dan uptake LCFA yang lolos dari rumen. Perubahan komposisi VFA yang meningkatkan asetat dan butirat akan menaikkan kontribusi de-novo sehingga meningkatkan proporsi SFA rantai pendek-menengah. Model prediksi CH_4 menjadi lebih akurat ketika MFA digunakan bersama metabolit volatil dan non-volatil susu. Hubungan ini penting karena strategi mitigasi metana sering mengubah fermentasi rumen, metabolisme lipid, dan kualitas susu secara bersamaan.



KESIMPULAN

Kajian ini menunjukkan bahwa fermentasi rumen merupakan sumber energi utama bagi sapi perah laktasi melalui produksi VFA yang terdiri dari asetat, propionat, dan butirat. Ketiga VFA tersebut berperan sebagai mediator penting yang menghubungkan proses fermentasi dengan metabolisme energi dan lipid, terutama melalui glukoneogenesis dan lipogenesis. Berbagai perlakuan pakan dan kondisi rumen terbukti memengaruhi pH, komposisi mikroba, dan rasio VFA, sehingga menentukan efisiensi pemanfaatan energi serta pembentukan lemak susu. Integrasi temuan dari literatur menunjukkan bahwa kestabilan fermentasi rumen, keseimbangan antara asetat dan propionat, serta kualitas populasi mikroba merupakan faktor kunci dalam mendukung performa metabolik sapi perah laktasi. Secara keseluruhan, pemahaman menyeluruh tentang dinamika produksi VFA dapat menjadi dasar dalam perumusan strategi nutrisi yang lebih efektif untuk meningkatkan efisiensi metabolisme dan hasil produksi susu.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, M. R., Chen, L., Li, W., and Zhao, Y. 2023. *Rumen fermentation dynamics and milk fatty acid profile in dairy cows fed functional feed additives*. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 116395.
- Anonim. (2021). Peran asetat dan β -hidroksibutirat dalam pembentukan asam lemak susu. *Jurnal Green Swarnadwipa*, 10(2), 201–204.
- Beckett, S., F. W. Ouellet, and D. P. Casper. 2020. Rumen volatile fatty acid molar proportions, rumen epithelial gene expression, and blood metabolite concentration responses to ruminally degradable starch and fiber supplies. *Journal of Dairy Science*, 103(12), 11358–11374.
- Bionaz M., Vargas-Bello-Pérez E., Busato S. 2020. Advances in fatty acids nutrition in dairy cows: from gut to cells and effects on performance. *Journal of Animal Science and Biotechnology* (2020) 11:110.
- Bionaz, M., Vargas-Bello-Pérez, E., and Busato, S. 2020. Advances in fatty acids nutrition in dairy cows: from gut to cells and effects on performance. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 11(110).
- Bionaz, M., Vargas-Bello-Pérez, E., and Busato, S. 2020. *Regulation of lipid metabolism in dairy cows: A molecular perspective to improve milk fat synthesis*. *Journal of Dairy Research*, 87(S1), 19–28.
- Buitenhuis, B., Poulsen, N. A., Larsen, L. B., and Sørensen, P. 2019. *Estimation of genetic parameters for the bovine milk fatty acid composition and association with rumen microbiota composition*. *Journal of Dairy Science*, 102(6), 5244–5255.
- Dai, X., Tian, J., and Zhang, R. 2023. *pH modulation and microbial adaptation in the rumen of lactating dairy cows under different feeding systems*. *Animals*, 13(4), 755.



- Dewanckele, L., Vlaeminck, B., Fievez, V., and Gervais, R. 2020. *Biohydrogenation and milk fat depression: An updated review on mechanisms and feeding strategies*. Journal of Dairy Science, 103(10), 8611–8624.
- Faza, A.F., Soejono, C.B., Sayuthi, S.M., & Santoso, S.A.B. (2017). Profil Lemak Darah Sapi Perah Laktasi Akibat Suplementasi Baking Soda. Jurnal Sain Peternakan Indonesia, 12(4), 353-359.
- Hackmann, T. J., and Firkins, J. L. 2023. *Volatile fatty acids and energy metabolism in ruminants: Integration of microbial fermentation and host biochemistry*. Frontiers in Microbiology, 14, 1136212.
- Hambakodu, M., Pangestu, E., & Achmadi, J. (2019). Substitusi rumput gajah dengan rumput laut coklat (*Sargassum polycystum*) terhadap produk metabolisme rumen dan pencernaan nutrisi secara in vitro. Jurnal Ilmu-Ilmu Peternakan, 29(1), 37–45.
- Hapsari, N. S., Harjanti, D. W., & Muktiani, A. (2018). Fermentabilitas pakan dengan imbuhan ekstrak daun babadotan (*Ageratum conyzoides*) dan jahe (*Zingiber officinale*) pada sapi perah secara in vitro. Jurnal Agripet, 18(1), 1–9.
- Li, M. M., Bannink, A., and Dijkstra, J. 2022. Effects of acetate, propionate, and pH on volatile fatty acid thermodynamics in continuous cultures of ruminal contents. Journal of Dairy Science, 105(7), 6012–6024.
- Li, S., Xu, T., Wang, L., and Zhang, X. 2023. *Acetate-driven lipogenesis and metabolic signaling in bovine mammary epithelial cells*. Animal Nutrition, 12, 179–189.
- Liu Q., Wang C., Guo G., Huo W.J., Zhang S.L., Pei C.X., Zhang Y.L., Wang H. 2018. Effects of branched-chain volatile fatty acids on lactation performance and mRNA expression of genes related to fatty acid synthesis in mammary gland of dairy cows. Animal (2018) 12:2071–2079.
- Muhammad, A. (2023). Kualitas kimia susu sapi perah/kambing Sapera pada waktu pemerahan yang berbeda. Jurnal Penelitian Peternakan Lahan Basah, 3(2), 12–17.
- Niu, M., Harvatine, K. J., and Erdman, R. A. 2022. *Dietary manipulation and rumen fermentation balance in Holstein cows during early lactation*. Animal Feed Science and Technology, 288, 115334.
- Razzaghi, A., Andersen, J. B., Larsen, M., and Weisbjerg, M. R. 2020. *Effect of liquid molasses and buffer addition on rumen fermentation, milk composition, and feed efficiency in dairy cows*. Journal of Dairy Science, 103(7), 6191–6203.
- Sadeghi, A., Tabeidian, S. A., and Pourhossein, J. (2019). *Effect of forage-to-concentrate ratio and dietary fat source on rumen fermentation and milk fatty acid composition in dairy cows*. Livestock Science, 229, 86–94.
- Shafura, P. O., Zain, M., Elihasridas, Bagaskara, B., Amanah, U., Sucitra, L. S., Utami, B. V., Pazla, R., Erpomen, Putri, E. M., Ningrat, R. W. S., Purba, R. D., Gopar, R. A., & Negoro, P. S. (2024). *Effectiveness of Saccharomyces cerevisiae and Sulfur as Supplements in Ammoniated Citronella Waste Basal Rations on the Nutrient*



Digestibility, Rumen Fluid Characteristics, and Methane Production. Advances in Animal and Veterinary Sciences, 12(5), 887–894.

Suharti, S., Aliyah, D. N., & Suryahadi, S. (2018). Karakteristik fermentasi rumen in vitro dengan penambahan sabun kalsium minyak nabati pada buffer yang berbeda. *Jurnal Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan, 16(3), 56–64.*

Urrutia, N. L., and Harvatine, K. J. 2017. *Acetate infusion increases milk fat synthesis and alters mammary expression of lipogenic genes in dairy cows.* *Journal of Dairy Science, 100(5), 3961–3972.*

Van Gastelen S., Antunes-Fernandes E.C., Hettinga K.A., Dijkstra J. 2017. Relationships between methane emission of Holstein Friesian dairy cows and fatty acids, volatile metabolites and non-volatile metabolites in milk. *Animal (2017) 11:1539–1548.*

Wang, Y., Xu, T., and Li, Q. 2022. *Effects of acetate-to-propionate ratio on milk fat synthesis and rumen microbial composition in dairy cows.* *Animals, 12(18), 2301.*

Williams S.R.O., Hannah M.C., Jacobs J.L., Wales W.J., Moate P.J. 2019. Volatile Fatty Acids in Ruminal Fluid Can Be Used to Predict Methane Yield of Dairy Cows. *Animals 2019, 9, 1006.*

Williams, S. R. O., Moate, P. J., Deighton, M. H., Hannah, M. C., and Jacobs, J. L. 2019. Volatile Fatty Acids in Ruminal Fluid Can Be Used to Predict Methane Yield of Dairy Cows. *Animals, 9(12), 1006.*

Xu, T., Zhang, L., and Zhang, X. 2021. *Microbial biohydrogenation and its impact on fatty acid synthesis in ruminant milk fat.* *Frontiers in Microbiology, 12, 698554.*

Yuniarti, E., Mutaqin, B, K. & Tasripin, D., S. (2025). Karakteristik fermentasi rumen in vitro dengan penambahan sabun kalsium minyak nabati pada buffer yang berbeda. *Jurnal Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan, 16(3), 56–64.*

Zhang, C., Zhou, J., and Wu, P. 2023. *Impact of dietary fermented soybean meal on rumen microbiota and milk composition in Holstein cows.* *Animal Feed Science and Technology, 298, 115607.*

Zhang, Y., Liu, H., and Chen, S. 2024. *Modulation of rumen microbiota and fermentation characteristics by functional feeds in dairy cattle.* *Frontiers in Animal Science, 5, 1498639.*