

ARTIKEL

Optimasi Waktu dan Suhu Pemeraman untuk Meningkatkan Kualitas Analog Keju secara Mikrobiologis, Fisiko-Kimia, dan Sensori

Optimization of Ripening Time and Temperature to Improve the Microbiological, Physico-Chemical, and Sensory Quality of Cheese Analogues

Muhammad Fajrul Arief ¹, Lia Agustin ², Agnesia Bunga Nurhayati ³¹Fakultas Peternakan, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia²Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia³Program Studi Sarjana Terapan Gizi dan Dietetika, Politeknik Kesehatan Kemenkes Malang, Malang, Indonesia OPEN ACCESS

KORESPONDENSI

Muhammad Fajrul Arief

 thtarief@gmail.com

RIWAYAT ARTIKEL

Diterima: 21 Agustus 2025

Direvisi: 17 Januari 2026

Disetujui: 17 Maret 2026

Dipublikasikan: 29 April 2026

HAK CIPTA

© 2026 Penulis.

Artikel ini merupakan artikel akses terbuka yang didistribusikan di bawah lisensi [CC BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

ABSTRAK

Latar belakang: Meningkatnya tren gaya hidup vegan dan pola makan berbasis nabati telah memicu permintaan industri pangan untuk memproduksi analog keju. Tantangan utama dalam penelitian ini adalah menghasilkan produk yang menyerupai keju konvensional.

Tujuan: Kebaharuan dari penelitian ini adalah penggunaan *Geotrichum candidum* yang dikombinasikan dengan waktu dan suhu pemeraman untuk meningkatkan kualitas keju nabati secara mikrobiologis, fisiko-kimia, dan sensorial.

Metode: Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap dengan dua faktor, yaitu waktu dan suhu. Data penelitian diolah menggunakan ANOVA dan DMRT.

Hasil dan Pembahasan: Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu pemeraman berpengaruh ($p < 0,01$) terhadap viabilitas, nilai pH, proteolisis, lipolisis, kadar air, *moisture-free-fat-basis* (MFFB), *flavor*, dan tekstur serta berpengaruh ($p < 0,05$) terhadap *fat-in-dry-matter* (FDM) dan kadar abu. Suhu pemeraman sebanding dengan viabilitas, proteolisis, lipolisis, FDM, *flavor*, tekstur, kadar lemak, protein, dan abu meski berbanding terbalik terhadap nilai pH, kadar air, dan MFFB ($p < 0,01$). Interaksi antara waktu dan suhu terjadi pada viabilitas, proteolisis, lipolisis, *flavor*, dan tekstur ($p < 0,05$).

Kesimpulan: Teknik pemeraman yang direkomendasikan adalah D4T3 yaitu 15 °C selama 90 hari. Strategi tersebut mampu menghasilkan analog keju dengan kualitas mikrobiologis (viabilitas, proteolisis dan lipolisis masing-masing sebesar 5,54 log CFU/mL, 3,55 mM Gly/L, dan 24,21 mol oleat/jam), fisiko-kimia (MFFB, kadar air, kadar protein, FDM, kadar abu, dan kadar lemak masing-masing sebesar 59%, 55%, 21%, 17%, 13% dan 10% serta kualitas sensorial (*flavor* dan tekstur) yang paling disukai panelis.

KATA KUNCI

Geotrichum candidum; Katabolisme; Keju Nabati; Keju Vegan; Sari Kedelai.

ABSTRACT

Background: The increasing popularity of vegan lifestyles and plant-based diets has driven the food industry to seek cheese alternatives. Consequently, this research aimed to develop a product comparable to conventional cheese.

Objectives: Notably, the novelty of this study lies in combining *Geotrichum candidum* with varying ripening times and temperatures to improve the microbiological, physicochemical, and sensory qualities of vegan cheese.

Methods: To achieve this, a completely randomized design was used to test two factors: time and temperature. Additionally, data were analyzed using ANOVA and DMRT.

Results and Discussion: The results indicated that ripening time significantly influenced viability, pH, proteolysis, lipolysis, water content, moisture-free-fat-basis (MFFB), flavor, and texture ($p < 0.01$), as well as fat-in-dry-matter (FDM) and ash content ($p < 0.05$). Furthermore, ripening temperature was directly proportional to viability, proteolysis, lipolysis, FDM, flavor, texture, fat, protein, and ash content, but inversely proportional to pH, water content, and MFFB ($p < 0.01$). Importantly, interaction effects between time and temperature were seen in viability, proteolysis, lipolysis, flavor, and texture ($p < 0.05$).

Conclusion: Based on these findings, the recommended ripening method is D4T3, at 15 °C for 90 days. This approach, therefore, resulted in cheese analogues with optimal microbiological (viability, proteolysis, and lipolysis of 5.54 log CFU/mL, 3.55 mM Gly/L, and 24.21 μ mol oleate/hour, respectively), physicochemical (MFFB 59%, water content 55%, protein 21%, FDM 17%, ash 13%, fat 10%), and sensory (flavor and texture preferred by panelists) qualities under the experimental conditions.

KEYWORDS

Geotrichum candidum; Catabolism; Plant-based Cheese; Vegan Cheese; Soymilk.

1. Pendahuluan

Inovasi produk pangan terus mengalami perubahan, salah satunya adalah makin banyak produk pangan nabati yang menyerupai produk hewani dalam hal cita rasa, tekstur, dan nilai gizi. Inovasi tersebut sejalan dengan kebutuhan konsumen di Indonesia. [Wicaksono dkk. \(2022\)](#) melaporkan bahwa penderita defisiensi laktase mengalami peningkatan sebesar 80–100% mulai dari anak-anak hingga orang dewasa di Indonesia. Sari kedelai mengandung protein dan lemak masing-masing sebanyak 33,8 gram dan 18,9 gram per 100 gramnya ([Tan dkk., 2023](#)). Sari kedelai mengandung protein lengkap yang kaya akan asam amino esensial untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan konsumen ([Duitama dkk., 2018](#)). Kecernaan protein dalam sari kedelai hampir menyerupai susu konvensional ([Qin dkk., 2022](#)). Selain itu, kandungan nilai gizi di dalam sari kedelai dilaporkan berpotensi menurunkan risiko terjadinya hipertensi ([Sacks dkk., 2006](#)), kanker ([Rayaprolu dkk., 2017](#)), diabetes mellitus tipe II ([Tang dkk., 2020](#)), dan osteoporosis ([Cui dkk., 2024](#)). Oleh karena itu, sari kedelai beserta produk turunannya dapat dioptimalkan untuk menjadi pangan fungsional yang menjanjikan di masa depan. Salah satu pangan yang dapat diproduksi dari sari kedelai adalah analog keju.

Modifikasi khusus diperlukan untuk memproduksi analog keju dari sari kedelai. Ketiadaan laktosa dalam sari kedelai menyebabkan perlu adanya *fermentor* pengganti untuk memproduksi analog keju ([Arief & Manab, 2024](#)). Sari kedelai tidak mengandung laktosa sehingga dapat dikonsumsi oleh penderita defisiensi laktase. Kombinasi antara sari kedelai, *Geotrichum candidum*, *glucono delta lactone* (GDL), dan enzim bromelin merupakan solusi bagi penderita intoleransi laktosa yang ingin menikmati keju ([Arief dkk., 2025](#)). Meski begitu, mereka menjelaskan bahwa *flavor* dan tekstur produk analog tersebut masih belum menyerupai keju konvensional. Oleh karena itu, dibutuhkan penelitian lebih lanjut untuk memperbaiki kualitas sensori analog keju.

Diketahui bahwa *flavor* dan tekstur keju konvensional dapat diatur menggunakan teknik pemeraman. Pemeraman pada waktu dan suhu tertentu dilaporkan mampu memperbaiki kualitas sensori keju. Teknik pemeraman yang umum digunakan dalam produksi keju dengan *G. candidum* adalah 10–15 °C selama 21–70 hari. Di sisi lain, suhu pemeraman berkisar antara 7 °C hingga 13 °C justru dilaporkan cenderung menghambat proses pematangan keju oleh *G. candidum* ([Aragão dkk., 2025](#)). Meski begitu, [Rosenberg dan Altemueller \(2001\)](#) melaporkan bahwa penghambatan aktivitas *G. candidum* selama pemeraman bertujuan untuk meningkatkan kompleksitas *flavor* pada keju. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa keju keras, semi keras, dan lunak masing-masing diperam selama 3–12 bulan, 2–3 bulan, dan kurang dari 1 bulan ([Estikomah, 2012](#)). Suhu ideal yang digunakan untuk pemeraman keju susu pasteurisasi sekitar 10 °C–20 °C ([Flores, 2022](#)). Belum banyak diketahui informasi terkait waktu dan suhu yang ideal untuk pemeraman analog keju. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperbaiki kualitas analog keju dari segi mikrobiologis, fisiko-kimia, dan sensori melalui pemeraman dengan suhu dan waktu terukur guna mengetahui titik optimumnya.

2. Metode

2.1. Pembuatan Analog Keju

Analog keju dibuat menggunakan metode dari [Arief dkk. \(2025\)](#) dengan modifikasi pada sari kedelai, waktu, dan suhu pemeraman untuk tiap perlakuan. Sari kedelai (1.000 mL) dipasteurisasi pada suhu 62 °C selama 30 menit. Langkah selanjutnya adalah menambahkan GDL sebanyak 0,25% (v/v) hingga mencapai nilai pH 5,9–6,0. Campuran dipanaskan kembali pada suhu 25 °C sambil diaduk perlahan hingga terbentuk dadih. Dadih kemudian dicampur dengan garam kalium klorida, natrium trifosfat, trisodium

trifosfat, dan natrium sitrat masing-masing sebanyak 0,30%, 0,10%, 0,10%, dan 0,05% (v/v) menggunakan blender dengan kecepatan 1.500 rpm selama 25 menit. *G. candidum* (2.371990694 log CFU/mL) ditambahkan menggunakan metode semprot pada permukaan campuran tersebut, lalu diperam sesuai perlakuan (Tabel 1). Hasil pemeraman merupakan analog keju yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 1. Perlakuan pada Analog Keju

Faktor 1 (waktu)	Faktor 2 (suhu)		
	T1	T2	T3
D1	D1T1	D1T2	D1T3
D2	D2T1	D2T2	D2T3
D3	D3T1	D3T2	D3T3
D4	D4T1	D4T2	D4T3

Keterangan:

D1: Perlakuan kontrol (1 hari)

D2: Pemeraman analog keju 30 hari

D3: Pemeraman analog keju 60 hari

D4: Pemeraman analog keju 90 hari

T1: Perlakuan kontrol (5 °C)

T2: Pemeraman analog keju suhu 10 °C

T3: Pemeraman analog keju suhu 15 °C

2.2. Enumerasi Viabilitas *G. candidum*

Enumerasi viabilitas *G. candidum* dilakukan sesuai metode Arief dkk. (2024). Sampel, larutan NaCl 0,9%, dan natrium sitrat steril masing-masing sebanyak 1 cm³, 5 cm³, dan 54 cm³ dihomogenisasi. Campuran tersebut diencerkan mulai dari 10⁻¹ sampai 10⁻⁷ kemudian disentrifugasi menggunakan vortex (D-LAB MX-S, China). Supernatan sebanyak 1 µL dioleskan ke permukaan yeast potato dextrose (YPD) agarose untuk diinkubasi pada suhu 37°C selama 48 jam. Jumlah *G. candidum* yang tumbuh pada YPD agarose dihitung menggunakan penghitung koloni (Tipe J-2, China). Enumerasi *G. candidum* dikerjakan menggunakan Persamaan 1.

$$Viabilitas = \frac{a}{[(1 \times b) + (0.1 \times c) \times d]} \tag{1}$$

Keterangan:

a: Jumlah koloni *G. candidum* terhitung

b: Jumlah petridish pada pengenceran pertama

c: Jumlah petridish pada pengenceran selanjutnya

d: Pengenceran pertama

2.3. Pengamatan Proteolisis dan Lipolisis

Aktivitas proteolisis dan lipolisis diamati menggunakan metode dari Sacristán dkk. (2012) dengan sedikit modifikasi pada keju yang digunakan. Aktivitas proteolisis di dalam analog keju diamati menggunakan spektrofotometri dengan panjang gelombang 340 nm. Analog keju perlakuan diinkubasi menggunakan larutan β-mercaptoethanol (BME) 30 µL dan O-ftalaldehid 3 mL pada suhu 25°C selama 48 jam untuk melepaskan gugus amino (-NH₂) secara hidrolisis. Hasil pembacaan spektrofotometer dibandingkan dengan kurva standar yang dibuat dari larutan glisin.

Ekstrak bebas sel (EBS), emulsi, dan titrasi asam lemak bebas (FFA) diproduksi untuk mengamati aktivitas lipolisis. Pepton, glukosa, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, NaNO_3 dan keju nabati setelah diperam masing-masing dibutuhkan sebanyak 50 g/L, 10 g/L, 1 g/L, 1 g/L dan 10 g/L sebagai sampel. Sebanyak 25 mL sampel diinkubasi dalam 100 mL labu goyang yang dipasang pada *rotary shaker* pada suhu 30°C selama 48 jam dengan kecepatan 120 rpm. Sampel disentrifugasi dengan kecepatan 4.000 g selama 30 menit. Pelet hasil sentrifugasi pertama disuspensi menggunakan larutan penyangga 50 mM Tris-HCl (pH 8,2). Supernatan disaring menggunakan penyaring *Millipore* berukuran 0,22 μm (Millipore Corporation, USA) untuk mendapatkan EBS yang dilengkapi dengan enzim lipase. Kedua fraksi tersebut disimpan ke dalam *refrigerator* dan dibekukan sampai akan digunakan untuk pengamatan aktivitas lipolisis. Analog keju tanpa penambahan *G. candidum* yang belum diperam dihomogenisasi dengan larutan penyangga masing-masing sebanyak 20 g dan 80 mL untuk membentuk emulsi pada kecepatan 500 rpm selama 5 menit. Emulsi (40 mL) dan EBS (8 mL) tersebut diinkubasi menggunakan *orbital shaker* pada suhu 30°C selama 90 menit dengan kecepatan 120 rpm untuk menghasilkan suspensi. Suspensi dicampur dengan larutan etanol 95% masing-masing sebanyak 12 mL dan 20 mL. Campuran tersebut dititrasi menggunakan NaOH 0,05 N hingga menyentuh pH 9,5 selama 30 hingga 90 menit untuk menghasilkan asam oleat.

2.4. Perhitungan Kualitas Fisiko-Kimia

Perhitungan nilai pH, kadar air, abu, lemak, dan protein masing-masing menggunakan metode potensiometrik, AOAC, gravimetri, Babcock, dan Kjeldahl (Arief & Manab, 2024). Perhitungan *moisture fat-free basis* (MFFB) dan *fat in dry matter* (FDM) dilakukan sesuai metode B. Hamzah dkk. (2022) yang masing-masing menggunakan persamaan 2 dan 3.

$$MFFB = \frac{\text{kadar air}}{(a - b)} \times 100 \quad (2)$$

$$FDB = \frac{\text{kadar lemak}}{(a - c)} \times 100 \quad (3)$$

Keterangan:

a: Total berat analog keju

b: Kadar lemak dalam analog keju

c: Kadar air dalam analog keju

2.5. Pengamatan Kualitas Sensori

Kualitas sensori analog keju diamati menggunakan uji hedonik sesuai dengan metode dari Arief dkk. (2023). Jumlah panelis yang diikutsertakan dalam uji hedonik analog keju adalah 30 panelis tak terlatih. Skala hedonik yang digunakan adalah 1: sangat tidak suka, 2: tidak suka, 3: cukup suka, 4: suka, dan 5: sangat suka. Pertemuan teknis dilakukan selama 2 jam untuk pembekalan materi uji hedonik analog keju. Penggunaan panelis disesuaikan dengan protokol Panduan Kode Etik Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Brawijaya.

2.6. Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap dengan dua faktor, yaitu waktu dan suhu pemeraman. Data diolah menggunakan analisis varians (ANOVA) dan uji lanjut

Duncan (DMRT). Perlakuan penelitian dapat dilihat pada **Tabel 1**, yang mana masing-masing diulang sebanyak empat kali.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kualitas Mikrobiologis Analog Keju

Perlakuan kontrol memiliki viabilitas *G. candidum* yang berbeda secara signifikan dari perlakuan lainnya. Selain itu, viabilitas *G. candidum* juga ditemukan berbeda untuk setiap suhu pemeramannya ($p < 0,05$). **Tabel 2** menunjukkan bahwa terdapat interaksi ($p < 0,01$) antara waktu dengan suhu pemeraman terhadap viabilitas *G. candidum* pada analog keju. Secara umum, *G. candidum* pada fase inokulum awal hingga fase stasioner memiliki kisaran viabilitas sebesar 104 sampai 105 dan 106 sampai 108 CFU/g (Greenberg & Ledford, 1979). Meski demikian, Direktorat Standardisasi Pangan Olahan belum menyebutkan standardisasi viabilitas *G. candidum* sebagai kultur *starter* pembuatan keju di Indonesia.

Tabel 2. Pengaruh Waktu dan Suhu Pemeraman terhadap Kualitas Mikrobiologis dan Fisiko-kimia Analog Keju

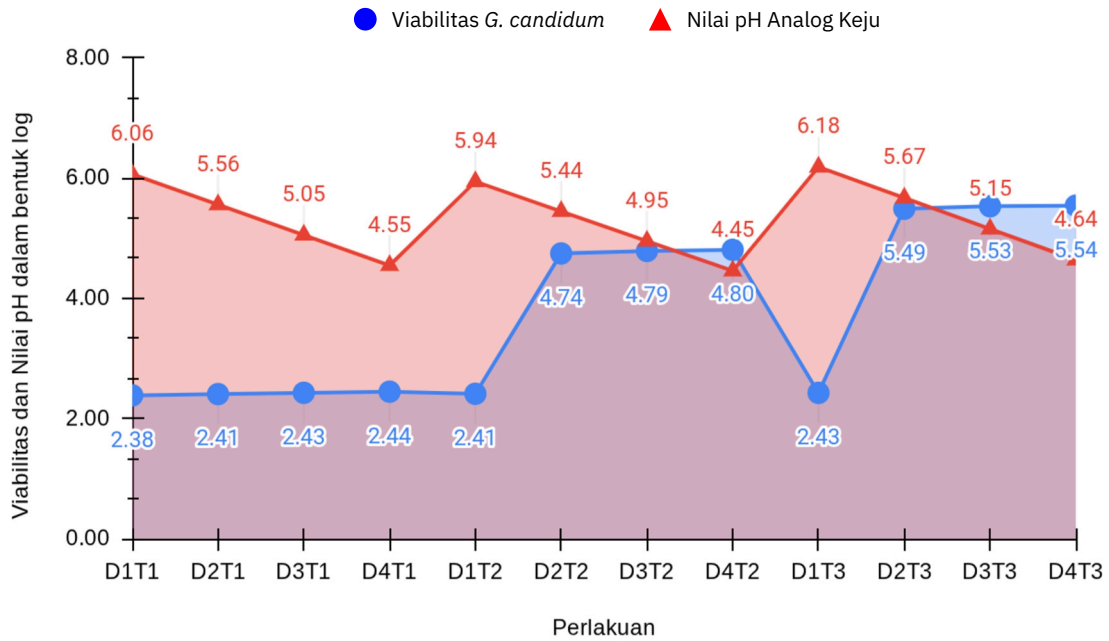
	Nilai pH	Viabilitas	Proteolisis	Lipolisis	Protein	Lemak
D1T1	6.1±0.15 ^{db}	2.38±0.0305 ^{aAa}	0.38±0.020 ^{aAa}	0.02±0.00080 ^{aAa}	18±8.85 ^{aA}	9±4.36 ^{aA}
D2T1	5.6±0.14 ^{cB}	2.41±0.0308 ^{bAa}	0.40±0.021 ^{bAa}	0.02±0.00084 ^{bAa}	18±8.56 ^{aA}	9±4.21 ^{aA}
D3T1	5.1±0.12 ^{bB}	2.43±0.0310 ^{bAb}	0.42±0.022 ^{bAa}	0.02±0.00088 ^{bAa}	19±7.98 ^{aA}	9±3.93 ^{aA}
D4T1	4.6±0.11 ^{aB}	2.44±0.0313 ^{bAb}	0.44±0.023 ^{bAa}	0.02±0.00092 ^{bAa}	19±7.80 ^{aA}	9±3.84 ^{aA}
D1T2	5.9±0.15 ^{dA}	2.41±0.0308 ^{aBa}	0.40±0.021 ^{aBa}	0.02±0.00085 ^{aBa}	20±7.64 ^{aA}	10±3.76 ^{aA}
D2T2	5.4±0.13 ^{cA}	4.74±0.0607 ^{bBc}	2.75±0.149 ^{bBb}	3.92±0.17899 ^{bBb}	19±6.82 ^{aA}	9±3.36 ^{aA}
D3T2	5.0±0.12 ^{bA}	4.79±0.0612 ^{bBd}	2.80±0.151 ^{bBb}	4.31±0.19689 ^{bBb}	20±6.74 ^{aA}	10±3.31 ^{aA}
D4T2	4.5±0.11 ^{aA}	4.80±0.0615 ^{bBd}	2.82±0.152 ^{bBb}	4.51±0.20584 ^{bBb}	20±6.58 ^{aA}	10±3.24 ^{aA}
D1T3	6.2±0.15 ^{dC}	2.43±0.0310 ^{aCb}	0.42±0.022 ^{aCa}	0.02±0.00088 ^{aCa}	20±6.54 ^{aA}	10±3.22 ^{aA}
D2T3	5.7±0.14 ^{cC}	5.49±0.0702 ^{bCe}	3.50±0.190 ^{bCc}	21.52±0.9827 ^{bCc}	20±6.33 ^{aA}	10±3.11 ^{aA}
D3T3	5.2±0.13 ^{bC}	5.53±0.0708 ^{bCf}	3.54±0.192 ^{bCc}	23.68±1.0809 ^{bCd}	21±6.25 ^{aA}	10±3.07 ^{aA}
D4T3	4.6±0.11 ^{aC}	5.54±0.0709 ^{bCf}	3.55±0.193 ^{bCc}	24.21±1.1055 ^{bCd}	21±6.06 ^{aA}	10±2.98 ^{aA}

Keterangan: Superskrip secara berurutan menunjukkan adanya perbedaan antar perlakuan yang dipengaruhi oleh faktor waktu, suhu, dan interaksi waktu-suhu pemeraman ($p < 0,05$)

Sumber: Data diolah, 2025

Viabilitas *G. candidum* mengalami peningkatan seiring dengan pemeraman keju nabati. Hal tersebut menunjukkan bahwa *G. candidum* membutuhkan waktu untuk memasuki tahap *lag*, *log*, *stationary*, hingga *dead phase* (Luo dkk., 2025). Muniz de Souza dkk. (2021) melaporkan bahwa *G. candidum* pada analog keju mencapai viabilitas sebesar 108 CFU/g setelah 21 hari pemeraman pada suhu 10 °C. Ma dkk. (2025) melaporkan bahwa viabilitas *G. candidum* cenderung tetap mulai dari fase awal inokulum hingga hari ke-28 pemeraman.

Gambar 1 menunjukkan bahwa pemeraman pada suhu 5 °C mampu memperpanjang fase *lag* *G. candidum* selama 90 hari. Hal tersebut karena *G. candidum* bukan termasuk golongan psikrofil, sehingga aktivitasnya terhambat pada suhu 5 °C. *G. candidum* tumbuh optimal pada nilai pH 4–6 dan suhu 25 °C (Boutrou & Guéguen, 2005). **Gambar 1** juga menunjukkan bahwa pemeraman pada suhu 10 °C–15 °C mampu mempersingkat waktu pembelahan sehingga fase *lag* *G. candidum* dapat diselesaikan dalam 30 hari pemeraman analog keju. Dilaporkan bahwa *G. candidum* memiliki waktu pembelahan sekitar 1,1 jam pada suhu 30 °C dalam medium berbentuk cair (Han dkk., 2025). *G. candidum* dengan kemampuan waktu

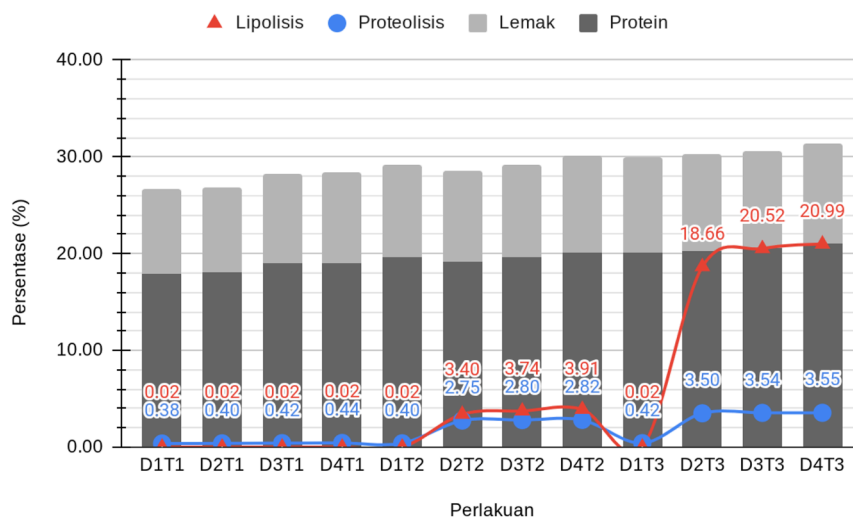


Gambar 1. Dampak interaksi antara waktu dan suhu pemeraman analog keju terhadap viabilitas *G. candidum* dan nilai pH. Data penelitian disajikan dalam bentuk log.

Sumber: Data diolah, 2025

pembelahan 3,6 jam membutuhkan 10 jam untuk menyelesaikan fase *lag*-nya pada suhu 30 °C (Aragão dkk., 2025).

Gambar 2 menunjukkan adanya peningkatan aktivitas katabolisme yang mengindikasikan bahwa *G. candidum* tetap aktif meski dihambat oleh suhu pemeraman. Viabilitas *G. candidum* cenderung dominan dan mencapai 20% dari total probiotik yang digunakan dalam produksi keju. Secara berurutan dibutuhkan waktu pemeraman selama 7 hari dan 35 hari (Bamba dkk., 2024). Hal tersebut terjadi karena *G. candidum* lebih toleran terhadap kadar



Gambar 2. Dampak interaksi antara waktu dan suhu pemeraman analog keju terhadap aktivitas katabolisme (proteolisis dan lipolisis) dan kualitas fisiko-kimia (kadar protein dan lemak). Data penelitian disajikan dalam bentuk persentase.

Sumber: Data diolah, 2025

garam sekitar 1–2% dibandingkan dengan mikroorganismenya lainnya selama pemeraman analog keju. Dilaporkan bahwa *G. candidum* mampu bertahan hidup pada lingkungan dengan kadar NaCl sebesar 5% (Nurliyani dkk., 2020).

Pemeraman dengan waktu dan suhu yang berbeda berpengaruh terhadap nilai pH ($p < 0,05$). Meski demikian, Tabel 2 menunjukkan bahwa tidak ditemukan adanya interaksi antara waktu dengan suhu pemeraman terhadap nilai pH analog keju ($p > 0,05$). Diketahui bahwa penurunan nilai pH disebabkan oleh mekanisme hidrolisis GDL menjadi asam glukonat. Asam tersebut dibentuk ketika GDL dicampur dengan air dalam sari kedelai. Penurunan nilai pH diakibatkan oleh peningkatan konsentrasi H^+ (Wulandari dkk., 2024). *G. candidum* tidak menghasilkan asam laktat sehingga tidak menurunkan nilai pH (Ma dkk., 2025). Penambahan GDL menyebabkan peningkatan ion H^+ sehingga diduga memberikan suasana asam yang ideal bagi *G. candidum* untuk mengonsumsi nitrogen sebagai sumber pepton akibat ketiadaan asam laktat dalam rangka melakukan biosintesis seluler.

Lama pemeraman menurunkan nilai pH analog keju ($p < 0,01$). Nilai pH keju yang telah diperam selama 30 hari memiliki angka yang lebih rendah dibandingkan dengan keju yang tidak diperam (Nurliyani dkk., 2020). Keasaman analog keju disebabkan oleh residu asam dan asam laktat (Indrianti, 2012). Asam sitrat dilaporkan lebih cepat menurunkan nilai pH dibandingkan dengan GDL (Komansilan dkk., 2020). Meski begitu, penurunan pH yang terjadi secara perlahan dan terkontrol lebih disukai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses hidrolisis GDL berjalan lambat dan bertahap sehingga penurunan nilai pH berjalan dalam beberapa hari selama pemeraman. Penurunan nilai pH yang bertahap sangat dikehendaki dalam produksi tahu, roti, sosis dan keju karena koagulasi cenderung terjadi secara optimal (Santos dkk., 2025). Peningkatan suhu selama pemeraman menyebabkan penurunan nilai pH. Diketahui bahwa suhu, konsentrasi, dan nilai pH awal larutan berpengaruh terhadap kecepatan hidrolisis GDL menjadi asam glukonat.

G. candidum dapat hidup pada suhu 15 °C selama 90 hari dengan nilai pH lingkungan 6,18–4,84. Hal ini tidak sejalan dengan Boutrou dan Guéguen (2005) yang melaporkan bahwa nilai pH di bawah 4,4 mampu memperpanjang fase lag *G. candidum*. *G. candidum* diketahui dapat tumbuh pada suhu kisaran 3–38 °C dengan nilai pH lingkungan 5,0–5,5 (Han dkk., 2025). Secara umum, nilai pH lingkungan yang sering digunakan dalam produksi keju berbasis *G. candidum* adalah 4,4–6,7 (Aragão dkk., 2025). Peningkatan suhu selama pemeraman sesuai dengan kebutuhan metabolit *G. candidum*. Gambar 1 menunjukkan pola pertumbuhan viabilitas *G. candidum* yang diwakili oleh garis berwarna biru yang mengikuti kurva sigmoidal sejak awal hingga akhir perlakuan. Pola adaptasi (*lag phase*) pada perlakuan-perlakuan awal di mana garis biru cenderung mendatar pada angka $\approx 2,4$ log. Pola eksponensial (*log phase*) terjadi pada perlakuan D1T3 hingga D2T3, di mana terdapat lonjakan tajam antara 2,43 log dan 5,49 log. Pola stabil (*stationary phase*) terlihat pada D2T3, D3T3, dan D4T3 secara berurutan masing-masing mempunyai rentang nilai 5,49 log, 5,53 log, dan 5,54 log. Pada tahap tersebut, garis biru konstan karena laju pertumbuhan mulai seimbang dengan laju kematian maupun keterbatasan nutrisi. Meski begitu, perkembangan *G. candidum* dilaporkan masih belum maksimal akibat suhu yang digunakan di bawah 25–30 °C (Bamba dkk., 2024).

Perlakuan kontrol memiliki aktivitas proteolisis yang berbeda secara signifikan dari perlakuan lainnya. Selain itu, aktivitas proteolisis juga berbeda untuk setiap suhu pemeraman ($p < 0,05$). Tabel 2 menunjukkan bahwa terdapat interaksi antara waktu dengan suhu pemeraman terhadap aktivitas proteolisis ($p < 0,01$). *G. candidum* mampu melakukan proteolisis menggunakan protease selama proses pemeramannya. Diketahui bahwa BME dan protease merupakan agen pereduksi dan pemecah protein. BME mengandung gugus -SH sehingga mampu meminimalkan terbentuknya agregasi protein akibat ikatan -SH mengalami reduksi. Yilmaz dkk. (2025) berpendapat bahwa protease melakukan hidrolisis

ikatan peptida dan menghasilkan asam amino pada keju. Protease dapat diperoleh dari penambahan renet, bakteri asam laktat (BAL) dan/atau mikroorganisme lain yang digunakan dalam pemeraman keju (Syamsu & Elshahida, 2018).

Gambar 2 menunjukkan bahwa persentase kejadian proteolisis lebih rendah dibandingkan dengan lipolisis karena kebutuhan nilai pH yang tidak dipenuhi selama pemeraman. *G. candidum* optimal melakukan proteolisis pada pembuatan keju dengan suhu dan nilai pH masing-masing sekitar 20–30 dan pH 5,0–5,5 (Han dkk., 2025). Lipolisis *G. candidum* optimal pada nilai pH 7,0–8,3 (Boutrou & Guéguen, 2005). Proteolisis melambat pada lingkungan dengan nilai pH 4,0 (Komansilan dkk., 2020).

Proteolisis optimal dicapai saat *G. candidum* memasuki fase stasioner. *G. candidum* mengubah kasein menjadi asam amino via proteolisis tanpa meningkatkan maupun menurunkan kadar proteinnya secara signifikan (Aragão dkk., 2025). *G. candidum* juga mampu menggunakan nitrogen sebagai pengganti kasein untuk menghasilkan glisin selama proses proteolisis. Asam amino cenderung berubah menjadi aldehid via deaminasi oksidatif selama proses proteolisis (Ma dkk., 2025). Aldehid kemudian direduksi menjadi alkohol primer oleh jamur *G. candidum* menggunakan *decarboxylase*. Hal tersebut berpotensi memengaruhi *flavor* keju.

Perlakuan kontrol memiliki lipolisis yang berbeda jika dibandingkan dengan yang lainnya ($p < 0,01$). Tabel 2 menunjukkan bahwa lipolisis juga ditemukan berbeda untuk setiap suhu pemeraman ($p < 0,05$). Tabel 2 juga menunjukkan bahwa terdapat interaksi antara waktu dengan suhu pemeraman terhadap lipolisis ($p < 0,01$). Lipolisis merupakan proses dihidrolisis lemak menjadi FFA oleh enzim lipase. Sacristán dkk. (2012) melaporkan bahwa *G. candidum* memiliki struktur 3D lipase (60 kDa) yang mirip dengan *acetylcholinesterases*. Induksi *G. candidum* menggunakan minyak zaitun cenderung berhasil menghasilkan proteolisis dan lipolisis masing-masing sebesar 2,086 sampai 4,685 mM Gly/L keju dan 32,5 sampai 42,5 μ -mol asam oleat mL/jam (Aragão dkk., 2025).

Lipolisis yang terjadi selama pemeraman mampu melepaskan asam oleat dari lemak analog keju dengan berbagai konsentrasi. Penurunan kadar air cenderung menyebabkan peningkatan kadar lemak analog keju meskipun terjadi lipolisis seiring dengan peningkatan suhu dan lama waktu pemeraman. Gambar 2 menunjukkan bahwa pemeraman dengan suhu 5 °C mampu menghambat *G. candidum* untuk melakukan lipolisis sehingga asam oleat yang dihasilkan masih belum optimal. Hal tersebut terjadi karena suhu optimal enzim lipase *G. candidum* adalah sekitar 30–40 °C dengan nilai pH 5,5–7,5 (Ma dkk., 2025).

Gambar 2 menunjukkan bahwa suhu dan lama pemeraman sebanding dengan lipolisis dalam menghasilkan asam oleat. Dilaporkan bahwa kehadiran asam oleat mulai terdeteksi setelah 7 hari lipolisis oleh *G. candidum* (Gottardi dkk., 2025). Jamur *G. candidum* menggunakan lipase I untuk memecah lemak menjadi asam oleat (Han dkk., 2025). Selain itu, jamur *G. candidum* juga menghasilkan lipase minor (II, III, dan IV) dan isoenzim (Bamba dkk., 2024). Masing-masing lipase dapat digunakan untuk memecah lemak menjadi FFA dengan tujuan spesifik dalam industri pangan.

Tabel 3. Pengaruh Waktu dan Suhu Pemeraman terhadap Kualitas Fisiko-Kimia dan Sensori Analog Keju

	Kadar Air	Kadar Abu	MFFB	FDM	Flavor	Tekstur
D1T1	61.55±15.1 ^{aB}	8.62±2.29 ^{aA}	70.71±14.6 ^{bB}	22.42±8.63 ^{aA}	2.1±0.1 ^{aAa}	1.9±0.1 ^{aAa}
D2T1	61.48±14.9 ^{aB}	9.42±2.81 ^{aA}	69.40±14.3 ^{bB}	21.57±8.30 ^{aA}	3.1±0.1 ^{bAc}	2.9±0.1 ^{bAb}
D3T1	61.35±14.4 ^{aB}	10.34±2.8 ^{aA}	66.43±13.6 ^{aB}	20.04±7.71 ^{aA}	4.2±0.1 ^{cAd}	3.9±0.1 ^{cAd}
D4T1	60.90±14.2 ^{aB}	10.64±2.9 ^{aA}	65.69±13.4 ^{aB}	19.16±7.37 ^{aA}	4.4±0.1 ^{dAf}	3.9±0.1 ^{dAd}
D1T2	60.08±14.1 ^{aB}	10.71±2.9 ^{aA}	65.38±13.5 ^{bA}	18.07±9.73 ^{aA}	2.6±0.1 ^{aBb}	2.9±0.1 ^{aBb}
D2T2	59.63±13.9 ^{aB}	11.80±3.8 ^{aA}	64.73±13.3 ^{bA}	17.57±9.46 ^{aA}	3.1±0.1 ^{bBc}	3.4±0.1 ^{bBc}
D3T2	58.48±13.7 ^{aB}	12.28±3.6 ^{aA}	62.75±12.7 ^{bA}	15.33±8.25 ^{aA}	4.2±0.1 ^{cBe}	4.4±0.1 ^{cBe}
D4T2	57.46±13.4 ^{aB}	12.43±3.7 ^{aA}	61.52±12.5 ^{aA}	14.92±8.03 ^{aA}	4.7±0.2 ^{dBg}	4.6±0.1 ^{dBf}
D1T3	57.38±13.4 ^{aA}	12.69±3.7 ^{aB}	62.61±12.9 ^{bA}	18.84±9.10 ^{aA}	3.1±0.1 ^{cCc}	3.9±0.1 ^{aCd}
D2T3	56.70±13.3 ^{aA}	12.99±3.9 ^{aB}	61.69±12.7 ^{bA}	18.27±8.83 ^{aA}	4.1±0.1 ^{bCd}	3.9±0.1 ^{bCd}
D3T3	56.21±13.1 ^{aA}	13.14±3.9 ^{aB}	60.69±12.4 ^{aA}	16.73±8.08 ^{aA}	4.3±0.1 ^{cCf}	4.6±0.1 ^{cCd}
D4T3	55.13±12.9 ^{aA}	13.46±3.9 ^{aB}	59.63±12.2 ^{aA}	17.09±8.26 ^{aA}	4.7±0.1 ^{dCg}	4.7±0.1 ^{dCf}

Keterangan: MFFB dan FDM merupakan singkatan untuk *moisture free fat basis*, dan *fat in dry matter*. Kualitas fisiko-kimia (kadar air, abu, MFFB, dan FDM) dan sensori (*flavor* dan *tekstur*) masing-masing disajikan dalam satuan persen dan skala hedonik. Superskrip secara berurutan menunjukkan adanya perbedaan antarpelakuan yang dipengaruhi oleh faktor waktu, suhu, dan interaksi waktu-suhu pemeraman ($p < 0,05$).

Sumber: Data diolah, 2025

Tabel 3 menunjukkan bahwa modifikasi teknik pemeraman sebagai strategi peningkatan kualitas fisiko-kimia analog keju berpengaruh sangat signifikan terhadap pengembangan *flavor* dan *tekstur* sebagai karakter kualitas sensori dari sebuah produk pangan. Kehadiran asam oleat dalam analog keju cenderung menjadikannya lebih lembut dan memiliki aroma khas keju konvensional pada umumnya. Berdasarkan hasil tersebut, aktivitas lipolisis diketahui telah mampu memengaruhi *flavor* dan *tekstur* analog keju.

Tingginya kadar asam oleat yang dihasilkan oleh *G. candidum* mampu mempertajam aroma keju (Merchán dkk., 2025). *Tekstur permukaan keju juga menjadi agak licin akibat lipolisis G. candidum. Oksidasi FFA selama lipolisis menghasilkan methyl ketones yang berperan sebagai peningkat intensitas flavor (Shoukat dkk., 2025). Flavor keju kambing dan keju biru masing-masing dihasilkan oleh nonan-2-one dan heptan-2-one (Boutrou & Guéguen, 2005). Selain itu, pentan-2-one, undecan-2-one, dan pentan-3-one juga menghasilkan flavor buah-buahan, bunga, dan herbal (Greenberg & Ledford, 1979). Lipolisis juga menghasilkan oct-1-en-3-ol sehingga memberikan flavor jamur yang tidak diinginkan (Gripon, 1997).*

3.2. Kualitas Fisiko-Kimia Analog Keju

Pemeraman analog keju dengan waktu dan suhu yang berbeda berpengaruh terhadap *moisture free fat basis* (MFFB), *fat in dry matter* (FDM), dan kadar airnya ($p < 0,01$). Tabel 3 menunjukkan bahwa pemeraman analog keju dengan suhu yang berbeda berpengaruh terhadap kadar abu, lemak, dan proteinnya ($p < 0,05$).

Tabel 3 menunjukkan bahwa pemeraman analog keju dengan waktu yang berbeda berpengaruh terhadap kadar abunya ($p < 0,01$). Meski begitu, tidak ditemukan adanya interaksi ($p > 0,05$) antara waktu dengan suhu pemeraman terhadap semua parameter kualitas fisiko-kimia yang diamati. Kadar air dan MFFB berbanding terbalik dengan waktu dan suhu pemeraman analog keju. Hal tersebut terjadi karena keju mengalami dehidrasi selama pemeraman (Nurliyani dkk., 2020).

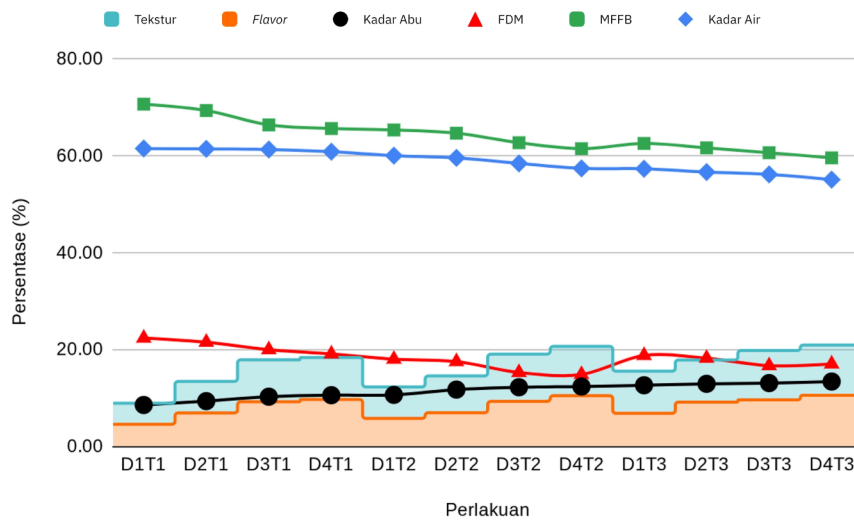
Dehidrasi yang terjadi cenderung meningkatkan kadar lemak, protein, abu dan tekstur keju nabati. MFFB merupakan persentase kadar air yang bebas dari kandungan lemak analog keju. **Tabel 3** menunjukkan bahwa analog keju memiliki MFFB berkisar antara 59,63–70,71%. Fluktuasi nilai MFFB tersebut menjelaskan bahwa keju nabati mengalami perubahan tekstur mulai dari cair hingga menjadi padat selama pemeraman. **Food and Agriculture Organization (2024)** menjelaskan bahwa nilai MFFB di atas 67% dan di bawah 51% masing-masing menunjukkan tekstur keju yang lembut dan sangat keras. Kualitas kadar air menentukan tekstur keju karena terdapat ikatan antara air dengan matriks-matriks gel untuk memperkuat struktur keju (**Luo dkk., 2025**).

Tabel 2 menunjukkan bahwa proteolisis dan kadar protein sebanding dengan suhu dan waktu pemeraman analog keju. Hal tersebut terjadi akibat adanya proteolisis dan dehidrasi pada awal dan akhir pemeraman analog keju. Proteolisis merupakan katabolisme yang mengubah protein menjadi asam amino (**Hafiz dkk., 2025**). Katabolisme protein tidak menghilangkan nitrogen sebagai penyusun molekul utamanya, sedangkan dehidrasi menyebabkan pemekatan kadar protein dan abu akibat kehilangan kadar air (**Komansilan dkk., 2020**). Peningkatan ion H^+ sebanding dengan kadar protein keju selama pemeraman karena pemisahan koloid Ca-fosfat (**Indrianti, 2012**). Penggunaan protein kedelai dilaporkan mampu mengurangi kekerasan pada keju konvensional karena minimnya terbentuknya koagulasi akibat deklinasi kasein dalam formula (**Luo dkk., 2025**).

Lipolisis mampu memecah lemak menjadi asam oleat, sedangkan dehidrasi memusatkan kadar lemak. Meski mengalami katabolisme, asam oleat tetap dihitung sebagai komposisi lemak analog keju yang digunakan dalam penelitian ini. Hal tersebut terjadi karena kadar lemak diukur secara persentase dari total berat analog keju. FDM merupakan gambaran tentang komposisi lemak tanpa pengaruh kadar air (**Santos dkk., 2025**). Analog keju memiliki nilai FDM berkisar antara 17,09–22,42%. **Food and Agriculture Organization (2024)** menjelaskan bahwa nilai FDM mulai dari 25% hingga 60%, dan 60% ke atas masing-masing merupakan keju *medium-full* dan *high fat*.

3.3. Kualitas Sensori Analog Keju

Waktu dan suhu pemeraman berpengaruh terhadap *flavor* dan tekstur analog keju ($p < 0,01$). **Tabel 3** menunjukkan bahwa terdapat interaksi antara waktu dengan suhu pemeraman analog keju terhadap *flavor* dan teksturnya pada setiap perlakuan yang berbeda ($p < 0,05$). **Gambar 3** menunjukkan bahwa lama waktu dan suhu pemeraman yang digunakan sebanding dengan peningkatan penerimaan *flavor* dan tekstur analog keju. Hal tersebut menunjukkan bahwa makin lama waktu dan tinggi suhu yang digunakan untuk pemeraman, akan menghasilkan analog keju dengan *flavor* dan tekstur terbaik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *flavor* dan tekstur analog keju yang dihasilkan menyerupai keju konvensional akibat aktivitas *G. candidum* dalam melakukan proteolisis dan lipolisis.



Gambar 3. Dampak interaksi antara waktu dan suhu pemeraman terhadap kualitas fisiko-kimia (kadar air, abu, MFFB, dan FDM) dan sensori (*flavor* dan *tekstur*) analog keju. Data penelitian disajikan dalam bentuk persentase.

Sumber: Data diolah, 2025

Flavor pahit dihindari karena cenderung tidak disukai oleh panelis (Santos dkk., 2025). Penambahan minyak dedak padi ditujukan untuk meminimalisir *flavor* pahit pada keju (Nurliyani dkk., 2020). Tabel 2 menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh terhadap nilai pH ($p < 0,01$). Penurunan nilai pH secara bertahap diketahui mampu memengaruhi *flavor* analog keju. Pada penelitian ini, ditambahkan GDL untuk menghasilkan asam glukonat. Hal tersebut mampu memberikan *flavor* asam yang lembut terhadap analog keju. Proteolisis berkontribusi dalam pembentukan asam amino bebas seperti glutamat, leusin, dan alanin yang menghasilkan rasa gurih, pahit dan manis sebagai *flavor* primer secara berurutan (Yilmaz dkk., 2025).

Sari kedelai dilaporkan memiliki *beany* dan *grassy flavor* yang cenderung tidak disukai oleh konsumen analog keju (Luo dkk., 2025). Meski demikian, bau langu dari sari kedelai cenderung hilang seiring proses inkubasi (Indrianti, 2012). Dilaporkan bahwa *G. candidum* menghasilkan keju yang memiliki *flavor* umami, manis, dan masam (Ma dkk., 2025). Hal tersebut terjadi karena *G. candidum* mampu menghasilkan aroma khas susu kambing berkat senyawa belerang sebagai *flavor* sekunder. Selain itu, FFA hasil lipolisis mampu mempertajam *flavor* keju (Merchán dkk., 2025). *Flavor* asam khas keju muncul setelah 7 hari pemeraman *G. candidum* (Gottardi dkk., 2025). Shoukat dkk. (2025) melaporkan bahwa *G. candidum* berkontribusi pada penurunan produksi *diacetyl* sehingga keju hasil pemeraman memiliki *flavor* yang tidak terlalu tajam (*mild*). Penggunaan *G. candidum* juga mampu menurunkan rasa pahit melalui aminopeptidase yang menghidrolisis β -kasein menjadi peptida hidrofobik organik tanpa mengubah penampilan keju tersebut.

Gambar 3 menunjukkan bahwa *flavor* analog keju meningkat seiring dengan waktu pemeraman. Hal tersebut terjadi akibat katabolisme asam amino. *G. candidum* menghasilkan asam amino bebas via proteolisis pada 7 hari pertama pemeraman keju sebagai prekursor *flavor*. Dilaporkan bahwa *G. candidum* mampu memproduksi 2-methylpropanol, 3-methylbutanol, 2-methylbutanol, dan phenylethanol yang secara berurutan menghasilkan *flavor* alkohol, buah-buahan, bunga mawar, dan tumbuh-tumbuhan (Aragão dkk., 2025). *G. candidum* juga mampu menghambat produksi *biogenic amines* selama proteolisis terjadi (Han dkk., 2025). Selain itu, *G. candidum* juga mampu mengubah

metionin menjadi *methathiol* dan *dimethyl sulphide* yang masing-masing memberikan cita rasa keju hewani dan nabati (Sacristán dkk., 2012).

Tabel 3 menunjukkan bahwa waktu dan suhu pemeraman memengaruhi kualitas sensori analog keju. Hal tersebut diduga diakibatkan oleh kualitas mikrobiologi dan fisiko-kimia dari analog keju. Proteolisis oleh *G. candidum* secara sensori berkontribusi pada kualitas tekstur analog keju meskipun belum optimal akibat batasan suhu perlakuan selama pemeramannya. Tekstur keju ditentukan oleh susu, fermentasi dan pemeraman (Luo dkk., 2025). Kekenyalan (*chewiness*) keju sebanding dengan kadar lemak, namun berbanding terbalik dengan kadar air, sedangkan elastisitas (*gumminess*) berbanding terbalik dengan kekenyalannya (Indrianti, 2012).

4. Kesimpulan

Optimasi waktu dan suhu pemeraman memiliki pengaruh signifikan terhadap kualitas analog keju yang dibuat dari sari kedelai. Faktor waktu dan suhu pemeraman tidak hanya memengaruhi viabilitas *G. candidum*, tetapi juga membentuk karakteristik analog keju yang khas meliputi nilai pH, kandungan air (kadar air dan MFFB), kandungan lemak (kadar lemak dan FDM), kadar protein, dan kadar abu. Kombinasi faktor-faktor tersebut berperan dalam proses katabolik (proteolisis dan lipolisis) yang mampu meningkatkan kualitas analog keju melalui pembentukan flavor dan tekstur khas yang menyerupai keju konvensional. Optimalisasi suhu dan lama waktu pemeraman berhasil membentuk karakter khas analog keju yang tidak hanya aman dikonsumsi, tetapi juga memiliki kualitas mikrobiologis, fisiko-kimia, dan sensori yang dapat diterima sehingga menjadikannya sebagai produk pangan alternatif yang menjanjikan bagi penderita defisiensi laktase maupun konsumen vegetarian.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada PT Nutrifood Indonesia atas dana penelitian melalui program Nutrifood Research Center Fellowship 2022 untuk riset dan inovasi pangan rendah gula, garam, dan lemak.

Tentang Penulis

Muhammad Fajrul Arief, dilahirkan di Tuban, 20 Februari 1995. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 Jurusan Peternakan Universitas Brawijaya tahun 2018, S2 jurusan Ilmu Ternak Universitas Brawijaya tahun 2023.

Lia Agustin, dilahirkan di Nganjuk, 22 Agustus 1998. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 jurusan Matematika Universitas Airlangga tahun 2020.

Agnesia Bunga Nurhayati, dilahirkan di Ponorogo, 18 Agustus 1999. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 jurusan Gizi dan Dietetik Universitas Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan tahun 2021.

Referensi

Aragão, M. de O. P., Lima, F. R., Passamani, F. R. F., Santos, M. A. de A., Rezende, J. de P., & Batista, L. R. (2025). Fungal and Bacterial Diversity Present on the Rind and Core of Natural Bloomy Rind Artisanal Minas Cheese From the Canastra Region, Brazil. *Food Research International (Ottawa, Ont)*, 202, 115724. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.115724>

-
- Arief, M. F., & Manab, A. (2024). The Effect of Various Spices on Functional Properties of Plant-Based Cheese Analogue. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1292(1), 1–10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1292/1/012023>
- Arief, M. F., Manab, A., & Agustin, L. (2025). Evaluation of Spreadable Cheese Made with Goat's Milk and Soymilk in Various Rations. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 13(1), 26–39. <https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2025.013.01.03>
- Arief, M. F., Radiati, L. E., Andriani, R. D., Fardiaz, D., & Sari, L. R. H. (2024). Physico-Chemical, Culture Viability, and Sensory Features of Kefir Ice Cream As Affected by Various *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 36858 Concentrations. *INMATEH: Agricultural Engineering*, 73(2), 162–175. <https://doi.org/10.35633/inmateh-73-14>
- Arief, M. F., Radiati, L. E., & Rosyidi, D. (2023). Pengaruh Konsentrasi Kefir Susu Kambing terhadap Kualitas Es Krim Probiotik dengan Emulsifier Mono Acyl Glycerol [Universitas Brawijaya]. <https://repository.ub.ac.id/id/eprint/233857>
- Bamba, T., Hori, Y., Umabayashi, K., Soh, C., Hakozaiki, T., Toyama, K., Osumi, M., Kondo, A., & Hasunuma, T. (2024). Comprehensive Metabolic Profiling of *Geotrichum candidum* and Comparison With *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 137(1), 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2023.10.004>
- Boutrou, R., & Guéguen, M. (2005). Interests in *Geotrichum candidum* for Cheese Technology. *International Journal of Food Microbiology*, 102(1), 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.12.028>
- Cui, H., Yang, Y., Aziz, T., Al-Asmari, F., Sameeh, M. Y., & Lin, L. (2024). Exploring the Potential of Chlorogenic Acid/Chitosan Nanoparticle-Loaded Edible Films With Photodynamic Technology for Mongolian Cheese Application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 279, 135091. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.135091>
- Duitama, S. M., Zurita, J., Cordoba, D., Duran, P., Ilag, L., & Mejia, W. (2018). Soy Protein Supplement Intake for 12 Months Has No Effect on Sexual Maturation and May Improve Nutritional Status in Pre-pubertal Children. *Journal of Paediatrics and Child Health*, 54(9), 997–1004. <https://doi.org/10.1111/jpc.13934>
- Estikomah, S. A. (2012). Pemeraman untuk Meningkatkan Kualitas Keju yang Diinokulasi *Rhizopus oryzae* sebagai Salah Satu Sumber Belajar Biologi. *Bioedukasi: Jurnal Pendidikan Biologi*, 3(1), 1–14. <https://doi.org/10.24127/bioedukasi.v3i1.205>
- Flores, N. C. (2022). *Making Homemade Cheese*. https://pubs.nmsu.edu/_e/E216/
- Food and Agriculture Organization. (2024). *Codex General Standard for Cheese*.
- Gottardi, D., Siroli, L., Braschi, G., D'Alessandro, M., Vannini, L., Patrignani, F., & Lanciotti, R. (2025). Surface Application and Impact of *Yarrowia lipolytica* Grown in Cheese Whey As Adjunct Culture for Innovative and Fast-Ripening Caciotta-Like Cheeses. *International Journal of Food Microbiology*, 432, 111112. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2025.111112>
- Greenberg, R. S., & Ledford, R. A. (1979). Deamination of Glutamic and Aspartic Acids by *Geotrichum candidum*. *Journal of Dairy Science*, 62(3), 368–372. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(79\)83253-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(79)83253-1)
- Gripon, J.-C. (1997). 5 Flavour and Texture in Soft Cheese. Dalam *Microbiology and Biochemistry of Cheese and Fermented Milk* (hlm. 193–206). Springer Nature. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4613-1121-8_5
-

- Hafiz, S., Sadeghizadeh-Yazdi, J., Eskandari, S., Morokian, R., Akramzade, N., & Madadzadeh, F. (2025). Physicochemical, Rheological, Sensory Properties and Shelf Life of Processed Cheese Analogue Prepared With Oleogel Sesame Oil and Mono- and Di-Glyceride (E471). *Food Chemistry*, 470, 142467. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.142467>
- Hamzah, B., Wijaya, A., & Widowati, T. W. (2022). *Teknologi Fermentasi pada Industri Pengolahan Keju* (R. S. Hamzah & D. Almalik, Ed.). Universitas Sriwijaya. <https://repository.unsri.ac.id/70064/>
- Han, X.-Y., Hu, J.-Y., Luo, X.-C., Wang, Z.-L., Li, J.-Z., Li, S., & Deng, J.-J. (2025). *Geotrichum candidum* AGRC-CG1 Prevented the Decay of Pulp From Citri Reticulatae Pericarpium Production by Inhibiting the Growth of Spoilage Microorganisms. *Food Bioscience*, 63, 105794. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.105794>
- Indrianti, N. (2012). Pengaruh Penambahan berbagai Jenis Gula terhadap Kualitas Keju Analog dari Campuran Susu dan Sari Kedelai. *Pangan*, 21(4), 355–362. <https://doi.org/https://doi.org/10.33964/jp.v21i4.199>
- Komansilan, S., Rosyidi, D., Radiati, L. E., & Purwadi, P. (2020). The Effect of Ananas comucus Extracted Bromelain Enzyme Addition Under Different pH on the Physicochemical Properties of Cottage Cheese. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak*, 15(1), 38–45. <https://doi.org/10.21776/ub.jitek.2020.015.01.5>
- Luo, J., Liu, S., Wang, Y., Chen, Q., & Shi, Y. (2025). Improvement of Compositional, Textural, and Rheological Characteristics in Plant-Based Cheese Analogs Fermented by Kefir Grain. *Food Chemistry*, 477, 143519. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143519>
- Ma, Q., Xu, X., An, K., Cai, J., & Meng, L. (2025). Sensory Quality and Metabolite Dynamics in an Organic Selenium-Enriched Milk Fermented by *Geotrichum candidum*. *Food Research International*, 202, 115672. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.115672>
- Merchán, A. V., Román, Á. C., Ruiz-Moyano, S., Vázquez-Hernández, M., Cabañas, C. M., & Benito, M. J. (2025). Mycobiota Composition Through the Ripening of Artisanal Soft Cheeses ‘Torta Del Casar’ and ‘Queso de la Serena’ Monitored by High-Throughput Sequencing. *Applied Food Research*, 5(1), 100711. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.100711>
- Muniz de Souza, M. Y., Cavalcanti, F. B., Pereira, E. V. dos S., Alonso Buriti, F. C., & Florentino, E. R. (2021). Ricotta Cream: Classification Based on Moisture and Fat Content Considering General Standards for Cheeses and Cream Cheeses. *Heliyon*, 7(11), e08408. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08408>
- Nurliyani, N., Indratiningsih, I., Widodo, W., & Wahyuni, E. (2020). Quality of Goat Milk Cheese with Addition of Rice Bran oil Ripened Using *Lactobacillus casei* and *Streptococcus thermophilus*. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak*, 15(1), 1–12. <https://doi.org/10.21776/ub.jitek.2020.015.01.1>
- Qin, P., Wang, T., & Luo, Y. (2022). A Review on Plant-Based Proteins From Soybean: Health Benefits and Soy Product Development. *Journal of Agriculture and Food Research*, 7, 100265. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100265>
- Rayaprolu, S. J., Hettiarachchy, N. S., Horax, R., Phillips, G. K., Mahendran, M., & Chen, P. (2017). Soybean Peptide Fractions Inhibit Human Blood, Breast and Prostate Cancer Cell Proliferation. *Journal of Food Science and Technology*, 54(1), 38–44. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2426-2>
-

- Rosenberg, M., & Altemueller, A. (2001). Accumulation of Free L-Glutamic Acid in Full- and Reduced-fat Cheddar Cheese Ripened at Different Time/temperature Conditions. *LWT - Food Science and Technology*, 34(5), 279–287. <https://doi.org/10.1006/fstl.2001.0754>
- Sacks, F. M., Lichtenstein, A., Van Horn, L., Harris, W., Kris-Etherton, P., & Winston, M. (2006). Soy Protein, Isoflavones, and Cardiovascular Health. *Circulation*, 113(7), 1034–1044. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.171052>
- Sacristán, N., González, L., Castro, J. M., Fresno, J. M., & Tornadijo, M. E. (2012). Technological Characterization of *Geotrichum candidum* Strains Isolated From a Traditional Spanish Goats' Milk Cheese. *Food Microbiology*, 30(1), 260–266. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2011.10.003>
- Santos, A. R. A., Freitas, C. F. de, Camargo, A. C., Bombachi, R., Menezes, L. D. M., Carvalho, A. F. de, Azevedo, S. S. de, Caggia, C., Barros, R. A., & Nero, L. A. (2025). Associations Among Production Systems, Identity Aspects, Microbiological Results and Physical-Chemical Traits As Revealed by Official Analyses of Minas Artisanal Cheese (QMA, Queijo Minas Artesanal). *Food Control*, 171, 111112. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.111112>
- Shoukat, M., Hervé, V., Sarthou, A.-S., Peron, A.-C., Danel, A., Swennen, D., Bonnarme, P., & Dugat-Bony, E. (2025). Iron Fortification Modifies the Microbial Community Structure and Metabolome of a Model Surface-Ripened Cheese. *International Journal of Food Microbiology*, 427, 110971. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2024.110971>
- Syamsu, K., & Elshahida, K. (2018). Pembuatan Keju Nabati dari Kedelai Menggunakan Bakteri Asam Laktat yang Diisolasi dari Dadih. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 28(2), 154–161. <https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2018.28.2.154>
- Tan, S. T., Tan, S. S., & Tan, C. X. (2023). Soy Protein, Bioactive Peptides, and Isoflavones: A Review of Their Safety and Health Benefits. *PharmaNutrition*, 25, 100352. <https://doi.org/10.1016/j.phanu.2023.100352>
- Tang, J., Wan, Y., Zhao, M., Zhong, H., Zheng, J.-S., & Feng, F. (2020). Legume and Soy Intake and Risk of Type 2 Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis of Prospective Cohort Studies. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 111(3), 677–688. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqz338>
- Wicaksono, Y., Fanani, M. Z., & Jumiono, A. (2022). Potensi Pengembangan Produk Susu Bebas Laktosa bagi Penderita Lactose Intolerance. *Jurnal Ilmiah Pangan Halal*, 4(1), 16–24. <https://doi.org/10.30997/jiph.v4i1.9826>
- Wulandari, A., Juliyarsi, I., & Melia, S. (2024). Improvement of Physicochemical Properties of Cheese Whey Edible Film through Egg White Addition. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak*, 19(2), 139–148. <https://doi.org/10.21776/ub.jitek.2024.019.02.7>
- Yilmaz, F., Dağdemir, E., & Hayaloğlu, A. A. (2025). Incorporation of Ultrasound-Assisted Treatment in Cheese to Accelerate Ripening of Kaşar Cheese: Changes in Cheese Microbiota, Proteolysis, Enzyme Activities and Volatile Profiles. *Food Chemistry*, 481, 144090. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.144090>
-