



**KARAKTERISTIK FISIKOKIMIA DAN BIOAKTIF MINUMAN
FUNGSIONAL BERBASIS GULA KELAPA DENGAN PENAMBAHAN
EKSTRAK SERBUK RIMPANG SELAMA PENYIMPANAN**

***PHYSICOCHEMICAL AND BIOACTIVE CHARACTERISTICS OF
COCONUT SUGAR-BASED FUNCTIONAL BEVERAGE WITH THE
ADDITION OF RHIZOME POWDER EXTRACT DURING STORAGE***

Achmad Wildan^{1*}, Hidayah Dwiyantri¹

¹Program Studi Teknologi Pangan, Jurusan Teknologi Pertanian,
Universitas Jenderal Soedirman
Jl. Dr. Soeparno No. 61, Kelurahan Karangwangkal, Purwokerto Utara, Kabupaten
Banyumas, Jawa Tengah 53123

*Korespondensi : achmad.wildan@unsoed.ac.id

Received March 18, 2026; Revised May 30, 2026; Accepted May 31, 2026

ABSTRAK

Di tengah meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap gaya hidup sehat, permintaan akan minuman fungsional yang tidak hanya menyegarkan tetapi juga memberikan manfaat kesehatan terus bertumbuh pesat. Gula kelapa sebagai pemanis alami berindeks glikemik rendah berpotensi dikombinasikan dengan ekstrak rimpang tropis seperti jahe, kencur, dan kunyit yang kaya senyawa fenolik dan antioksidan, namun pengaruh jenis rimpang terhadap stabilitas produk selama penyimpanan masih perlu dikaji. Minuman fungsional diformulasikan menggunakan gula kelapa sebagai pemanis dasar dengan penambahan ekstrak serbuk jahe, kencur, dan kunyit, kemudian dianalisis kadar air, total fenol, gula reduksi, dan asam lemak bebas pada tiga titik waktu penyimpanan (0, 1, dan 2 bulan). Data dianalisis menggunakan ANOVA dan uji lanjut pada taraf kepercayaan 95%. Jenis rimpang dan lama penyimpanan berpengaruh nyata terhadap karakteristik fisikokimia dan bioaktif minuman fungsional berbasis gula kelapa, dengan pola pengaruh yang bervariasi antar parameter dan jenis rimpang. Selama dua bulan penyimpanan, kadar air seluruh formula meningkat (2,30 – 3,69%), dengan kunyit menunjukkan absorpsi tertinggi akibat kandungan pati dan seratnya. Kadar total fenol menurun signifikan pada semua rimpang, dari kisaran 10,63–11,47 mg TAE/g menjadi 6,68–7,09 mg TAE/g, akibat oksidasi dan reaksi *browning* non-enzimatik. Kadar gula reduksi menurun paling cepat pada jahe (80,00% → 62,59%) melalui reaksi Maillard, sementara kencur menunjukkan penurunan paling stabil. Kadar asam lemak bebas meningkat pada seluruh perlakuan, dengan jahe dan kencur lebih tinggi dibanding kunyit. Jenis rimpang dan lama penyimpanan secara nyata memengaruhi stabilitas fisikokimia dan bioaktif minuman fungsional berbasis gula kelapa, sehingga pengemasan kedap udara pada kelembapan rendah sangat dianjurkan untuk mempertahankan mutu produk.

Kata kunci: Gula Kelapa, Ekstrak Rimpang, Total Fenol, Minuman Fungsional, Stabilitas penyimpanan

ABSTRACT

The growing demand for functional beverages has driven interest in natural, low-glycemic sweeteners combined with bioactive ingredients. This study developed a functional beverage using coconut sugar as the base sweetener with the addition of ginger, galanga, and turmeric rhizome extracts, and evaluated their physicochemical and bioactive stability over two months of storage. Parameters analyzed included moisture content, total phenolic content, reducing sugar, and free fatty acids at 0, 1, and 2 months of storage. Data were analyzed using ANOVA with further testing at a 95% confidence level. The physicochemical and bioactive properties of functional beverages formulated with coconut sugar are significantly influenced by both rhizome variety and storage period, exhibiting distinct patterns of effect depending on the specific parameter and rhizome type evaluated. Results showed that moisture content increased across all formulas (2.30–3.69%), with turmeric exhibiting the highest absorption. Total phenolic content declined significantly in all treatments, from 10.63–11.47 mg TAE/g to 6.68–7.09 mg TAE/g, due to oxidation and non-enzymatic browning. Reducing sugar decreased most rapidly in ginger (80.00% → 62.59%) via Maillard reaction, while galanga showed the most stable decline. Free fatty acids increased in all treatments, with ginger and galanga showing higher increments than turmeric. These findings indicate that rhizome type and storage duration significantly affect the physicochemical and bioactive stability of coconut sugar-based functional beverages, and airtight packaging under low humidity is recommended to preserve product quality.

Key words : Coconut Sugar, Rhizome Extract, Total Phenolic, Functional Beverage, Storage Stability

PENDAHULUAN

Permintaan global terhadap minuman fungsional terus meningkat pesat seiring tumbuhnya kesadaran konsumen akan hubungan antara pola konsumsi dan kesehatan jangka panjang. Pasar minuman fungsional diproyeksikan tumbuh hingga \$208.13 miliar pada tahun 2024, dengan laju pertumbuhan tahunan sebesar 7.5% untuk periode 2022-2027. Tren ini mendorong industri pangan untuk mengembangkan formulasi minuman yang tidak hanya menyegarkan, tetapi juga memberikan manfaat fisiologis nyata bagi konsumen, termasuk aktivitas antioksidan dan pengendalian kadar gula darah (Gupta *et al.*, 2023).

Salah satu tantangan utama dalam pengembangan minuman fungsional adalah pemilihan pemanis yang aman bagi kesehatan tanpa mengorbankan cita

rasa. Gula pasir (sukrosa) dengan indeks glikemik (IG) sekitar 70 diketahui berkontribusi terhadap lonjakan glukosa darah yang berisiko bagi penderita diabetes dan individu dengan sindrom metabolik. Gula kelapa hadir sebagai alternatif yang menjanjikan; gula kelapa dikenal memiliki nilai glikemik rendah, mengandung mineral penting seperti besi, seng, dan kalium, serta senyawa antioksidan yang tidak ditemukan pada gula tebu biasa. Selain itu, nira kelapa terbukti memiliki aktivitas antioksidan yang lebih tinggi dibandingkan nira aren dan tebu, dengan kandungan vitamin C dan mineral yang lebih kaya, menjadikannya kandidat unggul sebagai bahan dasar minimal fungsional (Asghar *et al.*, 2019).

Upaya peningkatan nilai fungsional minuman berbasis gula kelapa dapat

dilakukan melalui penambahan ekstrak rimpang yang telah lama dikenal dalam tradisi pengobatan Asia sebagai sumber senyawa bioaktif. Jahe (*Zingiber officinale*) mengandung senyawa fenolik aktif seperti *gingerol*, *shogaol*, dan *zingerone* yang berkontribusi signifikan terhadap aktivitas antioksidan dan anti-inflamasi. Kunyit (*Curcuma longa*) kaya akan kurkuminoid, sementara kencur (*Kaempferia galanga*) mengandung minyak atsiri dan senyawa fenolik unik yang turut berperan sebagai antioksidan alami. Kombinasi rimpang seperti jahe dan kunyit terbukti menghasilkan kandungan total fenol dan aktivitas antioksidan yang lebih tinggi dibandingkan penggunaan masing-masing rimpang secara terpisah (Ajanaku *et al.*, 2023).

Meskipun potensi masing-masing bahan telah banyak diteliti, kajian mengenai pengaruh jenis rimpang terhadap stabilitas fisikokimia dan bioaktif minuman fungsional berbasis gula kelapa selama penyimpanan masih sangat terbatas. Stabilitas selama penyimpanan merupakan aspek kritis dalam pengembangan produk, mengingat perubahan kadar air, senyawa fenolik, gula reduksi, dan asam lemak bebas dapat secara langsung memengaruhi mutu dan umur simpan produk. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan ekstrak serbuk jahe, kencur dan kunyit terhadap karakteristik fisikokimia dan bioaktif minuman fungsional berbasis gula kelapa selama penyimpanan dua bulan, meliputi kadar air, total fenol, kadar gula reduksi, dan kadar asam lemak bebas (FFA).

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pangan dan Gizi, Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman. Bahan utama yang digunakan meliputi gula kelapa yang masing-masing dicampurkan dengan ekstrak bubuk rimpang berbeda, yaitu serbuk rimpang jahe (*Zingiber officinale*), kencur (*Kaempferia galanga*), dan kunyit (*Curcuma longa*). Nira kelapa segar disaring dan dipadatkan dengan pemanasan pada suhu 110-120°C sambil diaduk secara kontinyu hingga mencapai konsistensi semi padat. Serbuk rimpang ditambahkan ke dalam adonan gula kelapa pada suhu 80°C dengan konsentrasi 5% (b/b), kemudian diaduk homogen selama ± 10 menit. Adonan dituang ke dalam cetakan dan dibiarkan mengeras pada suhu ruang ($28 \pm 2^\circ\text{C}$) selama 30 menit hingga diperoleh produk berbentuk padat. Produk yang telah mengeras kemudian dihancurkan dan diayak hingga berbentuk granul atau serbuk siap seduh. Adapun bahan kimia analisis yang digunakan antara lain adalah etanol 70%, reagen Folin-Ciocalteu, asam tanat, Na HCO₃, NaOH 0.1 N, indikator fenolflatin, reagen Nelson, reagen arsenomolibdat dan akuades. Peralatan yang digunakan meliputi oven, desikator, timbangan analitik, spektrofotometer UV-Vis, *shaker*, sentrifuge, dan peralatan titrasi standar.

Penelitian dirancang menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dengan dua faktor, yaitu jenis rimpang (jahe, kencur, kunyit) dan lama penyimpanan (0, 1, dan 2 bulan) masing-masing dengan tiga kali ulangan.

Analisis kadar air dilakukan menggunakan metode pengeringan oven pada suhu 105° C hingga bobot konstan sesuai prosedur AOAC dalam Sudarmadji *et al.* (2010), dengan rumus: kadar air (%bb) = $[(b-a)-(c-a)]/(b-a) \times 100\%$, di mana a = bobot cawan, b=bobot cawan + sampel awal, dan c = bobot cawan + sampel kering.

Kadar asam lemak bebas (FFA) ditentukan melalui titrasi alkalimetri menggunakan NaOH 0.1 N dengan indikator fenolftalein dan dihitung berdasarkan berat molekul asam lemak dominan sesuai Sudarmadji *et al.*, (2010). Metode titrasi dengan NaOH menggunakan fenolftalein sebagai indikator merupakan prosedur standar yang telah ditetapkan oleh AOAC International (2019) dan AOCS untuk penentuan kadar FFA pada bahan pangan.

Total fenol dianalisis dengan mengacu pada analisis total fenolik yang dimodifikasi yang telah dilakukan sebelumnya oleh Andarwulan & Shetty (1999) dengan menggunakan metode *Folin-Ciocalteu* dipilih karena keandalannya yang telah teruji secara luas, relative terjangkau dan mampu mengukur berbagai senyawa fenolik dalam matriks pangan yang kompleks, dengan hasil yang berkolerasi kuat dengan metode antioksidan seperti DPPH dan ABTS.

Kadar gula reduksi ditetapkan menggunakan metode Nelson-Somogyi (dalam Sudarmadji *et al.*, 2010) dengan

glukosa anhidrat sebagai standar dan absorbansi diukur pada panjang gelombang 540 nm.

Sebelum analisis varians, dilakukan uji normalitas Shapiro-Wilk dan uji homogenitas varians Levene's Test. Apabila asumsi homogenitas terpenuhi, analisis varians menggunakan One-Way

ANOVA dilanjutkan uji lanjut Tukey HSD; apabila asumsi homogenitas tidak terpenuhi, digunakan Welch's ANOVA dilanjutkan uji lanjut Games-Howell. Seluruh analisis dilakukan pada taraf kepercayaan 95% ($\alpha=0.05$).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis varians menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan jenis rimpang dan lama penyimpanan berpengaruh sangat nyata ($p<0.001$) terhadap seluruh parameter yang diuji, meliputi kadar air, kadar gula reduksi, total fenol, dan kadar asam lemak bebas minuman fungsional berbasis gula kelapa.

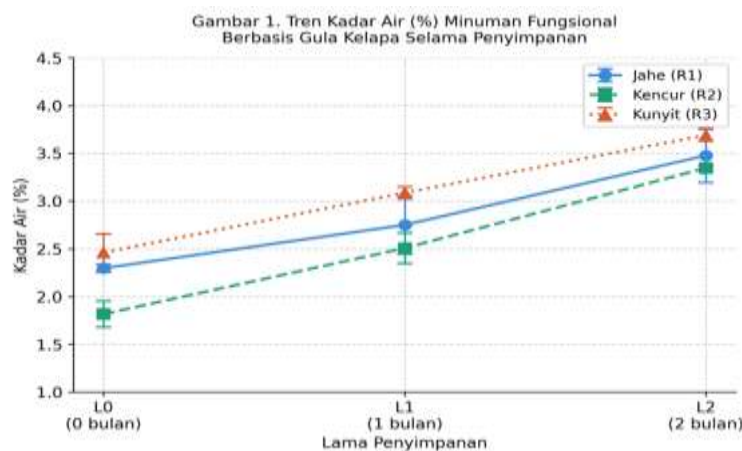
Kadar Air

Kadar air minuman fungsional berbasis gula kelapa dengan penambahan serbuk rimpang jahe, kencur, dan kunyit menunjukkan tren peningkatan selama dua bulan secara konsisten selama dua bulan penyimpanan. Peningkatan signifikan teramati pada kencur (Tabel 1).

Tabel 1. Kadar Air Minuman Fungsional Serbuk Berbasis Gula Kelapa dengan Penambahan Ekstrak Serbuk Rimpang yang Berbeda Selama Penyimpanan

Jenis rimpang	Kadar air (%)		
	Bulan 0 (L0)	Bulan 1 (L1)	Bulan 2 (L2)
Jahe	2.30 ± 0.21a ^A	2.97 ± 0.30a ^A	3.48 ± 0.191a ^{AB}
Kencur	1.82 ± 0.11a ^A	2.50 ± 0.09b ^A	3.35 ± 0.02c ^B
Kunyit	2.46 ± 0.14a ^A	3.09 ± 0.21ab ^A	3.69 ± 0.13b ^A

± = standar deviasi. Huruf kecil (a,b,c) = perbandingan antar waktu dalam satu jenis rimpang (kolom). Huruf kapital (A,B) = perbandingan antar jenis rimpang dalam waktu yang sama (baris)



Hasil uji lanjut Games-Howell menunjukkan bahwa peningkatan kadar air yang signifikan secara statistik

Kadar air minuman fungsional (serbuk) yang ditambahkan kencur meningkat dari 1.82% pada bulan ke-0 menjadi 3.35% pada bulan ke-2, sedangkan yang ditambahkan kunyit dari 2.46% menjadi 3.69% dan jahe dari 2.30% menjadi 3.48%. Peningkatan ini diduga disebabkan oleh sifat higroskopis serbuk rimpang yang menyerap uap air dari lingkungan selama penyimpanan (Sharma & Thakur, 2021).

Perbedaan ini dipengaruhi oleh komposisi kimia masing-masing rimpang, di mana kunyit memiliki kandungan pati dan serat yang lebih tinggi sehingga kapasitas penyerapan airnya lebih besar (Ravindran & Babu, 2007).

Peningkatan kadar air selama penyimpanan menjadi faktor krisis karena secara langsung meningkatkan aktivitas air (*aw*) produk yang selanjutnya mempercepat berbagai reaksi degradasi kimia meliputi reaksi Maillard oksidasi senyawa fenolik, dan hidrolisis lipid (Hodge, 1953; Nguyen *et al.*, 2025). Oleh karena itu, pengemasan kedap udara pada kondisi kelembapan rendah sangat dianjurkan untuk mempertahankan stabilitas produk selama penyimpanan.

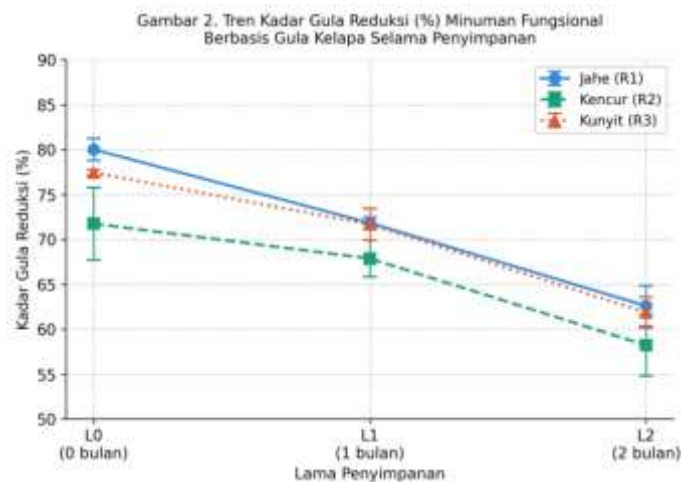
Kadar Gula Reduksi

Kadar gula reduksi pada seluruh formulasi minuman fungsional mengalami penurunan selama penyimpanan, namun dengan pola yang berbeda antar jenis rimpang (Tabel 2).

Tabel 2. Kadar Gula Reduksi Minuman Fungsional Serbuk Berbasis Gula Kelapa dengan Penambahan Ekstrak Serbuk Rimpang yang Berbeda Selama Penyimpanan

Jenis rimpang	Kadar gula reduksi (%)		
	Bulan 0 (L0)	Bulan 1 (L1)	Bulan 2 (L2)
Jahe	80.00 ± 1.24 ^{aA}	71.82 ± 2.11 ^{bA}	62.59 ± 1.88 ^{cA}
Kencur	71.74 ± 4.03 ^{aA}	67.45 ± 2.56 ^{aA}	58.21 ± 3.41 ^{aA}
Kunyit	77.42 ± 0.31 ^{aA}	71.66 ± 1.45 ^{abA}	61.87 ± 2.03 ^{bA}

± = standar deviasi. Huruf kecil (a,b,c) = perbandingan antar waktu dalam satu jenis rimpang (kolom). Huruf kapital (A,B) = perbandingan antar jenis rimpang dalam waktu yang sama (baris)



Hasil uji lanjut Games-Howell menunjukkan bahwa penurunan kadar gula reduksi yang signifikan secara statistik. Pada formulasi dengan jahe, penurunan terjadi secara signifikan setiap bulan, dari 80.00% pada bulan ke-0 menjadi 71.82% pada bulan ke-1 dan 62.59% pada bulan ke-2. Penurunan yang cepat dan konsisten ini kemungkinan besar disebabkan oleh reaksi Maillard antara gula reduksi dan gugus amino bebas dalam matriks jahe yang dapat berlangsung pada suhu ruang dan dipercepat oleh peningkatan kadar air selama penyimpanan (Lund & Ray, 2017).

Pada formulasi kunyit, kadar gula reduksi relatif stabil hingga bulan ke-1 (77.42% menjadi 71.66%), kemudian menurun secara nyata pada bulan ke-2 menjadi 61.87%, sejalan dengan lonjakan

kadar air yang lebih besar pada kunyit di akhir periode penyimpanan yang mana kondisi ini mempercepat reaksi hidrolisis dan browning non-enzimatik pada serbuk (Taghavi *et al.*, 2022).

Stabilitas relatif ini diduga dipengaruhi oleh kandungan senyawa fenolik dan minyak atsiri kencur yang

memiliki aktivitas antioksidan dan antiglikasi, sehingga mampu menghambat reaksi oksidasi dan browning non-enzimatik yang melibatkan gula reduksi (Favre *et al.*, 2022). Analisis antar jenis rimpang tidak menunjukkan perbedaan signifikan pada setiap titik pengamatan ($p > 0.05$), meskipun kencur menunjukkan stabilitas gula reduksi yang relatif lebih baik dibandingkan jahe dan

kunyit yang mengalami penurunan nyata selama penyimpanan.

Kadar Total Fenol

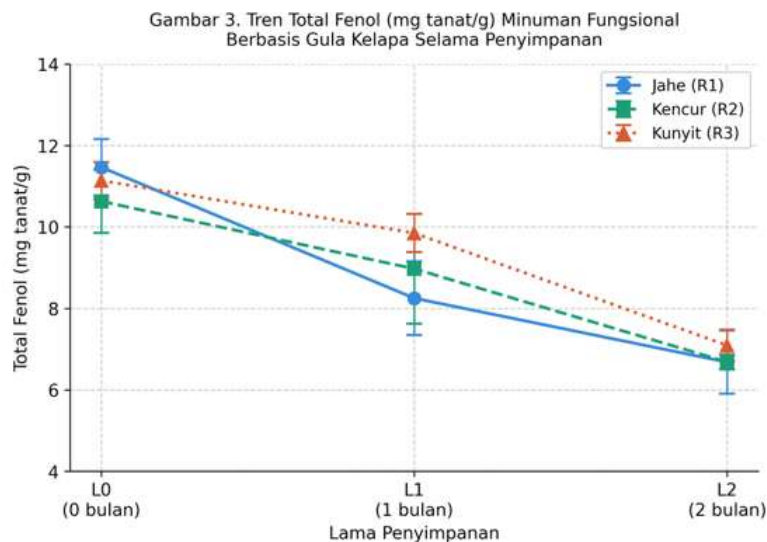
Kadar total fenol pada ketiga formulasi minuman fungsional mengalami penurunan yang signifikan selama penyimpanan dua bulan (Tabel 3).

Senyawa fenolik merupakan kelompok metabolit sekunder yang berperan penting sebagai antioksidan alami dalam bahan pangan fungsional, sehingga stabilitasnya selama penyimpanan menjadi indikator kunci dalam menentukan umur simpan dan nilai fungsional produk.

Tabel 3. Kadar Total Fenol Minuman Fungsional Serbuk Berbasis Gula Kelapa dengan Penambahan Ekstrak Serbuk Rimpang yang Berbeda Selama Penyimpanan

Jenis rimpang	Kadar Total Fenol (mg TAE/g)		
	Bulan 0 (L0)	Bulan 1 (L1)	Bulan 2 (L2)
Jahe (R1)	11.47 ± 0.54a ^A	8.25 ± 0.91b ^A	6.68 ± 0.78b ^A
Kencur (R2)	10.63 ± 0.77a ^A	8.97 ± 1.34ab ^A	6.68 ± 0.18b ^A
Kunyit (R3)	11.14 ± 0.45a ^A	9.85 ± 0.475ab ^A	7.09 ± 0.39b ^A

± = standar deviasi. Huruf kecil (a,b,c) = perbandingan antar waktu dalam satu jenis rimpang (kolom). Huruf kapital (A,B) = perbandingan antar jenis rimpang dalam waktu yang sama (baris)



Hasil uji One-Way ANOVA menunjukkan pengaruh yang sangat nyata ($F(8.18) = 19.88; p < 0.001$), dengan uji lanjut Tukey HSD (Tabel 3), mengkonfirmasi bahwa penurunan signifikan pada jahe terjadi pada bulan pertama penyimpanan, sementara pada

kencur dan kunyit penurunan signifikan baru terdeteksi pada bulan kedua. Tidak ditemukan perbedaan nyata antar jenis rimpang pada setiap titik waktu pengamatan ($p > 0.05$).

Pada jahe, total fenol turun dari 11.47 mg TAE/g pada bulan ke-0 menjadi 8.25 mg TAE/g pada bulan ke-1 dan 6.68 mg TAE/g pada bulan ke-2. Tren yang sama

pun terjadi pada kencur (10.63 turun ke 8.97 di bulan pertama dan turun lagi sampai 6.68 mg TAE/g di bulan ke-2 penyimpanan), sedangkan kunyit (11.14 ke 9.85 sampai ke 7.09 mg TAE/g), dengan penurunan nyata yang secara umum terjadi pada bulan ke-2 untuk semua rimpang. Penurunan total fenol ini diduga disebabkan oleh oksidasi dan degradasi senyawa fenolik akibat paparan oksigen dan peningkatan aktivitas air selama penyimpanan, di mana senyawa fenolik yang bersifat tidak stabil mudah teroksidasi menjadi kuinon yang tidak aktif secara biologis (Favre *et al.*, 2022). Peningkatan kadar air juga mempercepat reaksi browning non-enzimatik yang mengikat senyawa fenolik ke dalam kompleks makromolekul, sehingga kadar

fenol terlarut yang terukur menurun (Hodge, 1953). Hasil ini sejalan dengan Lund & Ray (2017) yang mengaitkan penurunan fenol pada kunyit dengan perubahan kimia kurkuminoid selama penyimpanan. Meskipun demikian, tidak terdapat perbedaan signifikan antar jenis rimpang pada setiap titik pengamatan, menunjukkan bahwa ketiga rimpang mengalami laju degradasi fenolik yang relatif setara dalam kondisi penyimpanan yang sama.

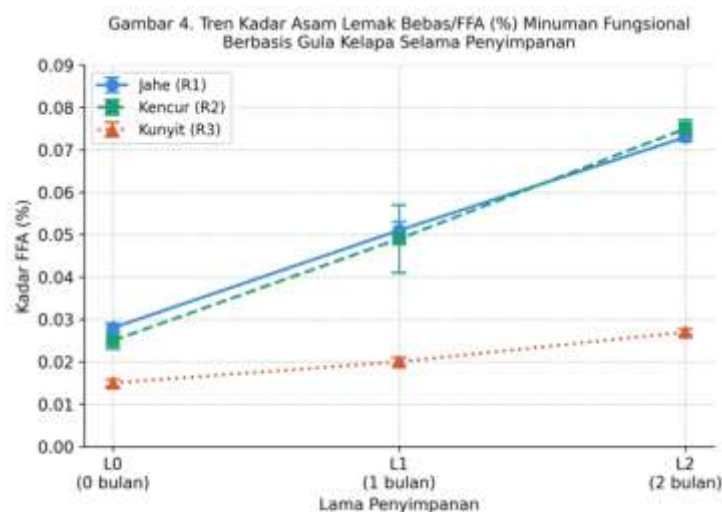
Kadar Asam Lemak Bebas

Kadar asam lemak bebas (FFA) pada seluruh formulasi meningkat secara signifikan selama penyimpanan dua bulan (Tabel 4).

Tabel 4. Kadar Asam Lemak Bebas (FFA) Minuman Fungsional Berbasis Gula Kelapa dengan Penambahan Ekstrak Serbuk Rimpang yang Berbeda Selama Penyimpanan

Jenis rimpang	Asam Lemak Bebas (FFA) (%)		
	Bulan 0 (L0)	Bulan 1 (L1)	Bulan 2 (L2)
Jahe (R1)	0.03 ± 0.003a ^B	0.05 ± 0.004b ^B	0.07 ± 0.005c ^A
Kencur (R2)	0.02 ± 0.002a ^B	0.05 ± 0.008ab ^B	0.07 ± 0.006 ^A
Kunyit (R3)	0.01 ± 0.002a ^A	0.02 ± 0.003b ^A	0.02 ± 0.002c ^A

± = standar deviasi. Huruf kecil (a,b,c) = perbandingan antar waktu dalam satu jenis rimpang (kolom). Huruf kapital (A,B) = perbandingan antar jenis rimpang dalam waktu yang sama (baris)



Hasil uji lanjut Games-Howell menunjukkan pola yang berbeda nyata antar jenis rimpang. Kadar FFA kunyit secara signifikan lebih rendah dibandingkan jahe dan kencur pada seluruh titik waktu pengamatan, dengan perbedaan yang semakin nyata pada bulan ke-2 ($p < 0.001$). Sebaliknya, kadar FFA jahe dan kencur tidak berbeda nyata satu sama lain ($p = 0.895$) pada akhir penyimpanan, menunjukkan laju hidrolisis lipid yang sebanding pada kedua rimpang tersebut.

Pada formulasi jahe, FFA meningkat dari 0.03% pada bulan ke-0 menjadi 0.05% pada bulan ke-1 dan 0.07% pada bulan ke-2; sementara kencur menunjukkan tren yang mirip dengan peningkatan dari 0.02% menjadi 0.07%, dan kunyit mengalami peningkatan yang lebih rendah, yaitu 0.01% menjadi 0.02% selama periode yang sama. Peningkatan FFA ini mengindikasikan terjadinya hidrolisis lipid oleh enzim lipase maupun secara non-enzimatik selama penyimpanan yang dipercepat oleh meningkatnya kadar air dan aktivitas air dalam bahan (Baliga *et al.*, 2012).

Tingginya stabilitas FFA pada minuman fungsional berbasis kunyit dibandingkan jahe dan kencur selama penyimpanan diduga disebabkan oleh beberapa mekanisme yang saling mendukung. Pertama, kurkuminoid sebagai senyawa aktif dominan pada kunyit memiliki sifat sangat lipofilik dengan nilai logD sekitar 4.12 pada kondisi netral, jauh lebih tinggi dibandingkan gingerol pada jahe ($\log P \approx 3.13$) maupun ethyl p-methoxycinnamate pada kencur, sehingga kurkuminoid memiliki afinitas lebih kuat terhadap matriks lemak dalam gula kelapa (Luo *et al.*, 2021). Kedua,

sifat lipofilik tersebut memungkinkan kurkuminoid untuk terdispersi dan terinsersi ke dalam fraksi lipid produk, membentuk penghalang sterik di sekitar molekul air maupun enzim lipase terhadap ikatan ester (Subczynski *et al.*, 2020). Ketiga, pada level enzimatik, kurkumin telah terbukti berperan sebagai inhibitor kompetitif reversibel terhadap lipase pancreas dengan nilai IC50 sebesar 0.52 mg/mL (He *et al.*, 2024). Meskipun kadar air pada minuman berbasis kunyit tercatat lebih tinggi selama penyimpanan, hal ini menunjukkan bahwa inhibisi hidrolisis oleh kurkuminoid bersifat independent dari faktor kadar air, yakni bekerja langsung pada level molekuler melalui penghambatan aktivitas enzim lipase, sehingga laju pembentukan FFA tetap dapat ditekan meskipun kondisi lingkungan berpotensi mendorong terjadinya hidrolisis.

Peningkatan FFA yang lebih tinggi pada jahe dan kencur dibandingkan kunyit diduga berkaitan dengan perbedaan kandungan lemak awal dan aktivitas enzim lipase antar rimpang. Hal ini sejalan dengan temuan Abushal *et al.* (2024) yang melaporkan bahwa kondisi penyimpanan secara signifikan mempercepat hidrolisis trigliserida menjadi asam lemak bebas pada minyak jahe. Rendahnya kadar FFA pada minuman fungsional berbasis kunyit selama penyimpanan diduga berkaitan erat dengan aktivitas inhibisi kurkuminoid terhadap enzim lipase. Reaksi hidrolisis trigliserida umumnya dipercepat oleh aktivitas mikroorganisme atau sisa enzim lipase alami yang aktif akibat peningkatan kelembapan selama penyimpanan. Namun, senyawa kurkuminoid pada kunyit dilaporkan berperan sebagai inhibitor kompetitif

terhadap enzim lipase, sehingga mampu menekan laju hidrolisis lemak dan menghambat akumulasi asam lemak bebas selama penyimpanan (He *et al.*, 2024). Akumulasi FFA yang berlebihan berpotensi menyebabkan perubahan cita rasa tengik dan menurunkan mutu sensoris produk secara keseluruhan, sehingga pengendalian kelembapan dan penggunaan kemasan kedap udara menjadi krusial untuk menekan laju hidrolisis lipid selama penyimpanan.

SIMPULAN

Jenis ekstrak serbuk rimpang dan lama penyimpanan secara nyata memengaruhi karakteristik fisikokimia dan bioaktif minuman fungsional berbasis gula kelapa. Kadar air meningkat selama penyimpanan pada seluruh formulasi, dengan kunyit menunjukkan absorpsi tertinggi. Peningkatan kadar air memicu penurunan kadar gula reduksi dan total fenol serta peningkatan asam lemak bebas (FFA) pada seluruh formulasi. Kencur menunjukkan stabilitas gula total yang relatif lebih baik dibandingkan jahe dan kunyit, sedangkan kunyit menunjukkan stabilitas hidrolitik terbaik dengan kadar asam lemak bebas terendah selama penyimpanan. Produk ini berpotensi sebagai minuman fungsional rendah glikemik, namun memerlukan pengemasan kedap udara pada kelembapan rendah untuk mempertahankan stabilitasnya selama penyimpanan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Universitas Jenderal Soedirman

yang telah memfasilitasi pelaksanaan penelitian ini melalui penyediaan sarana dan prasarana laboratorium di Fakultas Pertanian, jurusan Teknologi Pertanian, sehingga seluruh rangkaian analisis dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abushal, S. A., Uguru, H., Akpomedaye, O., Kuzmin, A., Sami, R., Helal, M., Alsanei, W., Almeahdi, A. M., & Almasoudi, A. G. (2024). Effect of storage conditions on the dietary and pharmaceutical values of ginger oil, and modeling its dielectric properties. *Grasas y Aceites*, 75, 2207. <https://doi.org/10.3989/gya.120023.2.2207>
- Ajanaku, C. O., Ademosun, O. T., Atohengbe, P. O., Ajayi, S. O., Obafemi, Y. D., Owolabi, O. A., Akinduti, P. A., & Ajanaku, K. O. (2022). Functional bioactive compounds in ginger, turmeric, and garlic. *Frontiers in Nutrition*, 9, Article 1012023. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1012023>
- Andarwulan, N., & Shetty, K. (1999). Phenolic content in differentiated tissue cultures of transformed roots of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(4), 1776–1780. <https://doi.org/10.1021/jf980564c>
- AOAC International. (2019). *Official methods of analysis of AOAC International* (21st ed.). AOAC International.
- Asghar, M. T., Yusoff, M. M., Cob, Z. C., Manaf, Y. N., Shafie, N. H., Islam, Md. A., & Hadi, H. (2020).

- Coconut (*Cocos nucifera* L.) sap as a potential source of sugar: Antioxidant and nutritional properties. *Food Science & Nutrition*, 8(4), 1777–1787. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1191>
- Baliga, M. S., Haniadka, R., Pereira, M. M., D'Souza, J. J., Pallaty, P. L., Bhat, H. P., & Popuri, S. (2012). Update on the chemopreventive effects of ginger and its phytochemicals. In R. R. Watson & V. R. Preedy (Eds.), *Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention* (pp. 557–563). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375688-6.10067-1>
- Favre, L. C., López-Fernández, M. P., Dos Santos Ferreira, C., Mazzobre, M. F., Mshicileli, N., van Wyk, J., & Buera, M. D. P. (2022). The antioxidant and antiglycation activities of selected spices and other edible plant materials and their decay in sugar-protein system under thermal stress. *Food Chemistry*, 371, 131199. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131199>
- Gupta, A., Sanwal, N., Baren, M. A., Barua, S., Sharma, N., Joshua Olatunji, O., Prakash Nirmal, N., & Sahu, J. K. (2023). Trends in functional beverages: Functional ingredients, processing technologies, stability, health benefits, and consumer perspective. *Food Research International*, 170, Article 113046. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113046>
- He, X-Q., Zou, H.-D., Liu, Y., chen, X.-J., Atanasov, A.G., Wang, X.-L., Xia, Y., Ng, S. B., Matin, M., Wu, D.-T., Liu, H. -Y., & Gan, R.-Y (2024). Discovery of curcuminoids as pancreatic lipase inhibitors from medicine and food homology plants. *Nutrients*, 16(15), 2566. <https://doi.org/10.3390/nu16152566>
- Hodge, J. E. (1953). Chemistry of browning reactions in model systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1(15), 928–943. <https://doi.org/10.1021/jf60015a004>
- Lund, M. N., & Ray, C. A. (2017). Control of Maillard reactions in foods: Strategies and chemical mechanisms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(23), 4537–4552. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00882>
- Luo, Z., Murray, B. S., Ross, A.L., Povey, M. J. W., & Pinelo, M. (2021). In vitro gastrointestinal stability of lipophilic polyphenol is dependent on their oil-water partitioning in emulsions: Studies on curcumin, resveratrol, and quercetin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c07578>.
- Ravindran, P. N., Babu, K. N., & Sivaraman, K. (Eds.). (2007). *Turmeric: The genus Curcuma* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420006322>
- Sharma, V., & Thakur, M. (2021). Gamma irradiations induced morphological and biochemical variations in *in vitro* regenerated ginger (*Zingiber officinale* Rosc.). *International Journal of Radiation Biology*, 97(12), 1696–1704. <https://doi.org/10.1080/09553002.2021.1987565>

Siddiqui, M. Z. et al. (2024). Gingerol: extraction methods, health implications, bioavailability and signaling pathways. *Sustainable Food Technology*.
<https://doi.org/10.1039/D4FB00135D>

Subczynski, W.K., Pasenkiewicz-Gierula, M., Widomska, J., Mainali, L., & Raguz, M. (2017). High cholesterol/low cholesterol: Effects in biological membranes: A review. *Cell Biochemistry and Biophysics*, 75 (3-4), 369-385.
<https://doi.org/10.1007/s12013-017-0792-7>

Sudarmadji, S., Haryono, B., & Suhardi. (2010). *Analisis bahan makanan dan pertanian*. Liberty

Taghavi, T., Bell, M., Opoku, M., James, C., Siddiqui, R., & Rafie, R. (2022). Quality and shelf life of ginger (*Zingiber officinale*) and turmeric (*Curcuma longa*) as affected by temperature and packaging. *Acta Horticulturae*, 1340, 205–210.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1340.32>