

PENGARUH WAKTU DAN SUHU PENYIMPANAN VIRGIN COCONUT OIL (VCO) DALAM KEMASAN BOTOL KACA GELAP TERHADAP ASAM LEMAK BEBAS

Takdir Syarif¹, Andi Muhammad Ilham Ramadhan², Andi Muhamad Afriansah³
takdir_syarif@umi.ac.id¹, ilhamramadhan3879@gmail.com², afriansyahanca11@gmail.com³
Universitas Muslim Indonesia

ABSTRAK

Indonesia memiliki wilayah pertanian yang menjadikannya sebagai salah satu pilar penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi nasional khususnya pada sektor perkebunan Kelapa (*Cocos nucifera*). Minyak kelapa murni atau lebih dikenal sebagai Virgin Coconut Oil (VCO) merupakan hasil minyak yang diperoleh dari bahan daging kelapa segar melalui berbagai macam proses, seperti proses ekstraksi, baik dengan pemanasan yang terkontrol maupun tanpa pemanasan sama sekali. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi suhu penyimpanan terhadap kualitas dan lama waktu penyimpanan Virgin Coconut Oil (VCO) berdasarkan jumlah kadar asam lemak bebas yang terkandung dalam VCO melalui hasil pengujian dan standar internasional. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah VCO pada wadah botol kaca berwarna gelap dengan kondisi terbuka pada suhu ruangan 28°C dan suhu tinggi pada 40°C dan 50°C. Penelitian ini menggunakan analisa Asam Lemak Bebas (ALB) untuk mengetahui kadar asam lemak bebas yang terkandung didalam VCO dan Analisa masa penyimpanan untuk mengetahui dugaan waktu masa simpan VCO dalam kemasan botol kaca gelap tertutup. Waktu dan suhu penyimpanan mempunyai pengaruh besar terhadap VCO dimana, semakin tinggi suhu yang diberikan maka semakin cepat peningkatan kadar asam lemak bebas. Berdasarkan hasil tetapan SNI dan APCC. VCO memiliki daya tahan yang baik selama disimpan dalam kemasan botol kaca gelap. Pada suhu 28°C memiliki daya tahan selama 4,23 tahun, namun kualitas dan masa kadaluarsanya dapat berkurang dengan kondisi penyimpanan berada pada suhu tinggi dan ekstrem, dengan variasi suhu 40°C hingga 50°C.
Kata Kunci: Masa penyimpanan, VCO, Asam Lemak Bebas.

ABSTRACT

*Indonesia possesses extensive agricultural regions, establishing it as a vital pillar in supporting national economic growth, particularly within the coconut (*Cocos nucifera*) plantation sector. Virgin Coconut Oil (VCO) is a high-quality oil extracted from fresh coconut meat through various methods, such as extraction processes with either controlled heating or no heat at all. The objective of this study is to determine the influence of storage temperature variations on the quality and shelf life of Virgin Coconut Oil (VCO) based on the concentration of Free Fatty Acids (FFA), assessed through experimental testing and international standards. The method employed in this research involved storing VCO in open dark-colored glass bottles at a room temperature of 28°C and elevated temperatures of 40°C and 50°C. This study utilized Free Fatty Acid (FFA) analysis to determine the levels of fatty acids contained within the VCO and shelf-life analysis to estimate the expiration period of VCO when stored in closed dark glass packaging. The results indicate that storage time and temperature have a significant impact on VCO, where higher temperatures lead to a more rapid increase in free fatty acid levels. Based on the standards set by SNI (Indonesian National Standard) and APCC (Asian and Pacific Coconut Community), VCO exhibits excellent durability when stored in dark glass bottles. At a temperature of 28°C, the oil has a shelf life of 4.23 years; however, its quality and expiration period decrease significantly under high and extreme storage temperatures, specifically within the range of 40°C to 50°C.*

Keywords: Shelf life, VCO, Free Fatty Acids (FFA).

PENDAHULUAN

Kelapa merupakan tanaman yang memiliki nama ilmiah *Cocos nucifera* L. dan termasuk dalam genus *Cocos* dari famili *Arecaceae*, merupakan tanaman yang umum tumbuh di daerah tropis, termasuk Indonesia. Buah kelapa mengandung berbagai komponen, antara lain sabut sekitar 33%, tempurung 12%, daging buah 28% dan air sebanyak 25%. Hampir semua bagian dari kelapa dapat dimanfaatkan untuk memenuhi berbagai kebutuhan manusia. Kandungan minyak dalam buah kelapa berkisar antara 30 hingga 50%. Ketika dikeringkan, kelapa segar dapat menghasilkan minyak sebanyak 63–65%. Semakin tua usia buah kelapa, maka kandungan minyak di dalamnya juga akan semakin tinggi (Taufiq A.R., 2023).

Kelapa merupakan salah satu tanaman yang memiliki potensi besar untuk dibudidayakan karena dapat menghasilkan berbagai produk olahan. Buah ini dikenal memiliki nilai ekonomi yang tinggi. Beragam bagian dari kelapa dapat dimanfaatkan, seperti sabut kelapa yang dapat diolah menjadi sapu, daging buahnya yang digunakan untuk produksi minyak kelapa dan Virgin Coconut Oil (VCO). Selain itu, tempurung kelapa juga berguna sebagai bahan bakar tradisional maupun sebagai bahan baku arang aktif untuk adsorben. (Taufiq A.R., 2023).

Indonesia memiliki wilayah pertanian yang sangat luas, menjadikannya sebagai salah satu pilar penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi nasional. Salah satu subsektor pertanian yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan adalah perkebunan. Di antara berbagai komoditas perkebunan kelapa (*Cocos nucifera*) menjadi salah satu tanaman unggulan yang banyak dibudidayakan di berbagai daerah di Indonesia (BPS Riau, 2015). Salah satu wilayah yang dikenal memiliki jumlah pohon kelapa yang melimpah adalah Desa Gunung Megang. Pengembangan usaha tani kelapa di Desa Gunung Megang memberikan kontribusi besar bagi masyarakat sebagai sumber penghasilan. Untuk mendorong peningkatan pendapatan dari usaha tani kelapa, dibutuhkan pengelolaan yang efektif agar produk yang dihasilkan memiliki nilai tambah dan daya saing yang lebih tinggi Provinsi Riau dikenal sebagai salah satu daerah penghasil kelapa terbesar di Indonesia, dengan luas lahan perkebunan kelapa mencapai sekitar 418.270 hektar pada tahun 2020. Berdasarkan data produksi perkebunan per komoditas, jumlah produksi buah kelapa di Riau diperkirakan mencapai sekitar 1.190 ton pada tahun 2025 (Emilia dkk., 2021).

Virgin coconut oil (VCO) merupakan minyak kelapa yang diperoleh dari daging kelapa segar melalui proses tanpa pemanasan dan tanpa tambahan bahan kimia, sehingga kandungan alaminya tetap terjaga. VCO mengandung asam lemak tak jenuh seperti asam oleat dan asam linoleat, serta senyawa flavonoid yang berperan sebagai agen anti inflamasi. Asam lemak tak jenuh yang termasuk dalam kelompok asam lemak tak jenuh ganda (Polyunsaturated Fatty Acids/PUFA), memiliki mekanisme kerja dalam mengurangi peradangan dengan cara menekan produksi eicosanoid, sitokin, serta Reactive Oxygen Species (ROS) yang berperan dalam proses inflamasi. Sementara itu, flavonoid bekerja dengan menghambat aktivitas enzim yang berperan dalam sintesis eicosanoid, seperti fosfolipase A2, siklooksigenase (COX) dan lipooksigenase (LOX). Selain manfaat anti inflamasinya, VCO juga diketahui dapat membantu mempercepat sebuah proses regenerasi dan penyembuhan terhadap kulit yang rusak. Penggunaan VCO dalam perawatan luka terbukti dapat mempercepat proses pemulihan serta mencegah infeksi (Simbuang S.P. and Yuliaswati E., 2023).

Virgin coconut oil (VCO) juga dikenal sebagai produk kelapa unggulan karena beragam khasiat kesehatannya, seperti mencegah oksidasi lipoprotein densitas rendah (LDL) dan meningkatkan aktivitas enzim antioksidan. VCO juga memiliki kemampuan untuk memperkuat sistem imun, mencegah terjadinya aterosklerosis, obesitas, dan penyakit jantung, serta membantu mempercepat metabolisme tubuh. Selain itu, VCO bermanfaat dalam aromaterapi, sebagai minyak pijat, bahan dalam berbagai produk kosmetik dan perawatan kulit. Hasil penelitian klinis menunjukkan bahwa VCO mampu membantu meredakan dan melembapkan kulit, sehingga berpotensi memperbaiki gejala gangguan kulit tertentu (Jasman dkk., 2025).

Pemilihan jenis kemasan sangat penting untuk menjaga kualitas dan keamanan produk pangan selama penyimpanan dalam periode tertentu, termasuk pada minyak kelapa murni (VCO). Salah satu kemasan yang sering digunakan adalah botol kaca karena sifatnya yang tidak reaktif terhadap bahan kimia serta kemampuannya melindungi produk dari kontaminasi luar. Kaca juga memiliki tingkat permeabilitas yang sangat rendah terhadap gas dan uap air, sehingga dapat menghambat masuknya oksigen dan kelembaban yang dapat memicu pertumbuhan mikroorganisme. Dalam penelitian yang dilakukan oleh, penggunaan botol kaca terbukti memberikan perlakuan terbaik dalam menjaga kualitas minuman fermentasi jika dibandingkan dengan kemasan plastik PP dan PET. Hal ini disebabkan oleh kemampuan botol kaca untuk mencegah terjadinya perubahan kimia dan fisik produk, seperti oksidasi dan kontaminasi mikroba

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji dan meneliti terkait dugaan masa simpan pada Produk Virgin coconut oil (VCO). Salah satunya, yaitu prediksi masa simpan pada VCO dalam kemasan botol kaca bening terhadap bilangan peroksida. Pada penelitian tersebut, menunjukkan bahwa Setelah 43 hari penyimpanan dalam kondisi tutup terbuka pada suhu 40°C, bilangan peroksida meningkat menjadi 3,2133 meq/kg dari bilangan awal masa simpan yang tercatat sebesar bilangan peroksida VCO tercatat sebesar 1,19 meq/kg. Penelitian ini membuktikan bahwa pengaruh waktu dan suhu pada kondisi masa simpan mempengaruhi VCO secara kimiawi (Fitrian dkk., 2025).

VCO dapat dibuat dengan mudah di tingkat rumah tangga, baik untuk konsumsi pribadi maupun untuk dijual, karena proses pembuatannya relatif sederhana dan tidak memerlukan peralatan atau bahan yang kompleks. Di sejumlah daerah di Indonesia, ketersediaan kelapa segar sebagai bahan baku sangat melimpah. Namun, jika produksi ditujukan untuk keperluan komersial dengan jangkauan pasar yang lebih luas, diperlukan peningkatan teknologi agar kualitas VCO yang dihasilkan menjadi lebih optimal. Ekstraksi VCO dari kelapa tanpa menggunakan banyak bahan kimia sintetis tambahan, sehingga VCO yang dihasilkan berpenampilan bening seperti air dan memiliki aroma kelapa segar. Proses ini menjadikan kandungan vitamin E dan asam laurat dapat bertahan dengan baik. Oleh karena itu, asam laurat VCO lebih unggul dibandingkan dengan minyak kelapa (Mela and Bintang, 2021).

Virgin Coconut Oil (VCO) dapat diproduksi melalui berbagai metode, di antaranya metode fermentasi alami dan metode enzimatik. Dalam proses pembuatan VCO secara enzimatik, digunakan enzim bromelain dalam bentuk serbuk. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kualitas fisikokimia VCO yang dihasilkan melalui fermentasi alami dengan VCO yang diproduksi menggunakan metode enzimatik dengan penambahan 10% enzim bromelain. Penelitian ini merupakan studi eksperimental yang dilakukan di

laboratorium. Selanjutnya, hasil VCO yang diperoleh dianalisis untuk mengevaluasi mutu fisikokimianya.

Pengujian parameter fisikokimia meliputi analisis kadar air menggunakan metode gravimetri serta analisis kadar asam lemak bebas dengan metode titrimetri. FFA adalah istilah untuk asam lemak yang tidak terikat dalam struktur trigliserida. Kadar asam lemak bebas (Free Fatty Acid/FFA) secara alami terkandung dalam minyak kelapa dan memiliki hubungan yang erat dengan jumlah air yang ada dalam minyak tersebut. Kehadiran FFA dalam minyak merupakan salah satu indikator kerusakan minyak yang disebabkan oleh reaksi hidrolisis. Analisis FFsA dalam pembuatan VCO bertujuan untuk mengetahui dan menilai kualitasnya, karena semakin tinggi kandungan asam lemak bebas yang terkandung dalam minyak murni, semakin rendah penjernihan terhadap kualitas VCO (Indah Sari D.M., dkk., 2024).

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh suhu dan waktu penyimpanan Virgin coconut oil dalam kemasan botol kaca terhadap asam lemak bebas (ALB) dengan menentukan variasi suhu dan parameter yang terdapat pada kandungan Asam Lemak Bebas (ALB) sehingga menjamin kualitas dan keamanan produk sesuai dengan mutu standar SNI 7381:2008.

METODE PENELITIAN

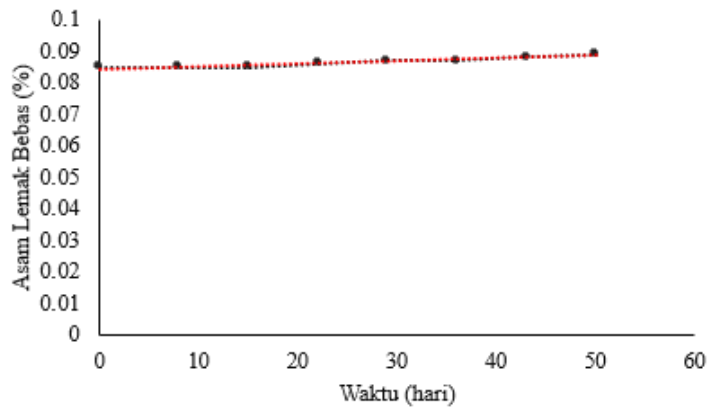
Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Operasi Teknik Kimia Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia, untuk proses uji pengaruh suhu pada VCO. Bermitra dengan PT. AVCOL Makassar dalam memproduksi sampel minyak kelapa murni dan Balai Besar Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri, untuk menganalisa kadar asam lemak bebas (*Free Fatty Acid/FFA*). Penelitian ini akan direncanakan selama 4 bulan dimulai dari identifikasi masalah, sampai pada pelaporan dari hasil penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengaruh Waktu Penyimpanan terhadap Kadar Asam Lemak Bebas pada VCO

Peningkatan kadar asam lemak bebas (ALB) merupakan indikator fundamental kerusakan hidrolitik pada Virgin Coconut Oil (VCO). Secara struktural, trigliserida dalam minyak terdiri dari molekul gliserol yang mengikat tiga molekul asam lemak melalui ikatan ester. Selama masa penyimpanan, durasi kontak antara molekul air residu dan trigliserida berbanding lurus dengan akumulasi ALB. Durasi penyimpanan yang semakin lama memberikan kesempatan bagi pertumbuhan ALB untuk berlangsung secara kontinyu yang mengakibatkan pemutusan ikatan ester dan pelepasan asam lemak dari struktur gliserolnya. Fenomena ini menyebabkan penurunan stabilitas kimia minyak secara bertahap seiring bertambahnya waktu simpan.

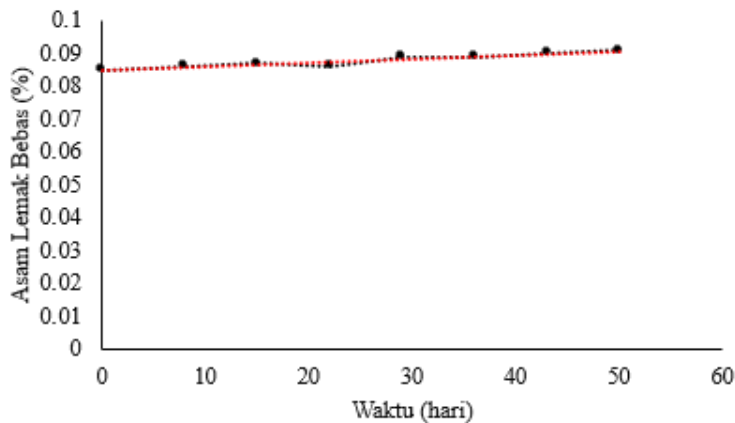
a) Pengaruh Waktu Penyimpanan terhadap Peningkatan Asam Lemak Bebas pada perlakuan suhu 28 °C



Gambar 1 Grafik Linear Kadar ALB dalam VCO pada Suhu 28 °C

Pada Gambar 1, pengaruh waktu penyimpanan pada suhu 28°C menunjukkan tren peningkatan yang bersifat bertahap. Selama 15 hari pertama, tidak ditemukan perubahan kadar ALB dengan data stagnan pada 0,085% yang mengindikasikan bahwa pada fase ini, sistem ikatan kimia VCO masih mampu mempertahankan stabilitasnya terhadap gangguan hidrolitik. Namun, masuk pada hari ke-22 hingga hari ke-50, terjadi kenaikan gradual dengan akumulasi akhir sebesar 0,089%. Penetrasi waktu dalam jangka panjang menyebabkan molekul air residu meskipun dalam jumlah kecil secara perlahan memutus ikatan ester gliserol. Hal ini menunjukkan bahwa faktor waktu dapat memberikan pengaruh terhadap penurunan kualitas VCO meskipun disimpan pada suhu ruang yang relatif stabil.

b) Pengaruh Waktu Penyimpanan terhadap Peningkatan Asam Lemak Bebas pada perlakuan suhu 40 °C

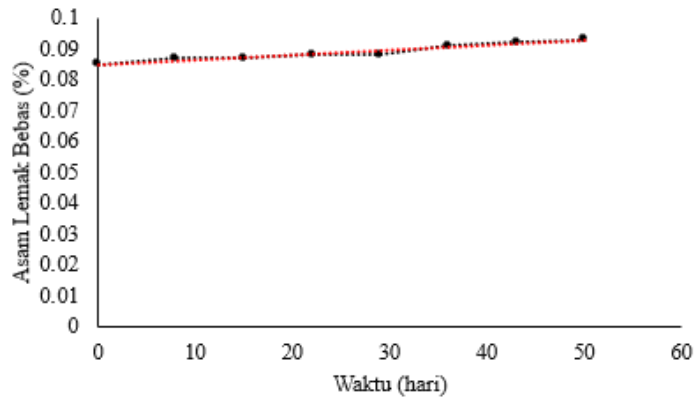


Gambar 2 Grafik Linear Kadar ALB dalam VCO pada Suhu 40 °C

Pada Gambar 2, menunjukkan bahwa pengaruh waktu menjadi lebih signifikan ketika didukung oleh kondisi termal yang lebih tinggi. Berbeda dengan suhu 28°C, pengaruh waktu pada suhu 40°C sudah terdeteksi sejak hari ke-8 dengan nilai 0,086% dan terus meningkat hingga 0,091% pada hari ke-50. Pola ini menunjukkan bahwa seiring bertambahnya waktu simpan, laju pertumbuhan kadar ALB mengalami akselerasi yang lebih konsisten. Waktu penyimpanan yang panjang pada suhu 40°C memperpanjang fase paparan energi kinetik terhadap molekul minyak, sehingga pelepasan asam lemak bebas dari rantai trigliserida terjadi lebih masif per satuan waktu. Data pengamatan tersebut

mempertegas bahwa waktu penyimpanan merupakan variabel penting yang dapat digunakan dalam menentukan batas stabilitas kimia pada VCO, di mana semakin lama waktu simpan, semakin besar risiko kerusakan hidrolitik yang terjadi.

c) Pengaruh Waktu Penyimpanan terhadap Peningkatan Asam Lemak Bebas pada perlakuan suhu 50 °C



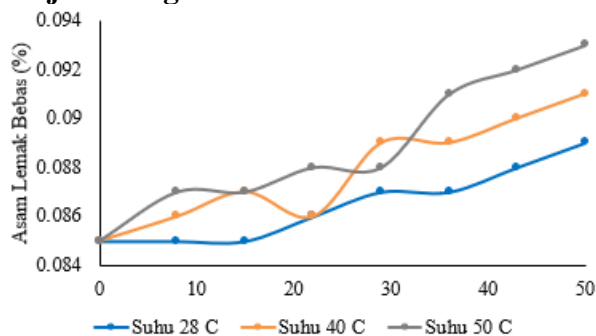
Gambar 3 Grafik Linear Kadar ALB dalam VCO pada Suhu 50 °C

Pada gambar 3, Peningkatan yang terjadi terhadap penyimpanan dengan kondisi suhu 50°C menunjukkan akumulasi ALB yang paling progresif seiring bertambahnya waktu penyimpanan dibandingkan kondisi suhu lainnya. Berdasarkan data pengamatan, pengaruh waktu penyimpanan langsung memicu kenaikan kadar ALB sejak periode awal, yaitu hari ke-8 yang menunjukkan kadar ALB sebesar 0,087%. Berbeda dengan suhu 28°C yang memiliki fase stabil cukup lama, pada suhu 50°C, peningkatan terjadi secara bertahap namun konsisten hingga mencapai nilai tertinggi sebesar 0,093% pada hari ke-50.

2. Pengaruh Suhu Penyimpanan terhadap Laju Peningkatan Asam Lemak Bebas pada VCO

Kondisi termal penyimpanan secara signifikan memengaruhi mekanisme kinetika kimia pada VCO. Peningkatan suhu penyimpanan menyebabkan kenaikan energi kinetik molekul-molekul reaktan yang memicu percepatan reaksi hidrolisis. Berdasarkan prinsip termodinamika, suhu yang lebih tinggi menurunkan hambatan energi aktivasi sehingga interaksi antara air dan trigliserida menjadi lebih reaktif. Akibatnya, laju pemisahan asam lemak bebas dari tulang punggung gliserol meningkat secara signifikan pada lingkungan yang panas. Pengendalian parameter suhu menjadi faktor penting dalam menghambat degradasi yang mempengaruhi peningkatan kadar ALB untuk menjaga kualitas dan kemurnian VCO sesuai standar mutu.

a) Perbandingan Laju Peningkatan ALB Berdasarkan Kondisi Perlakuan Suhu

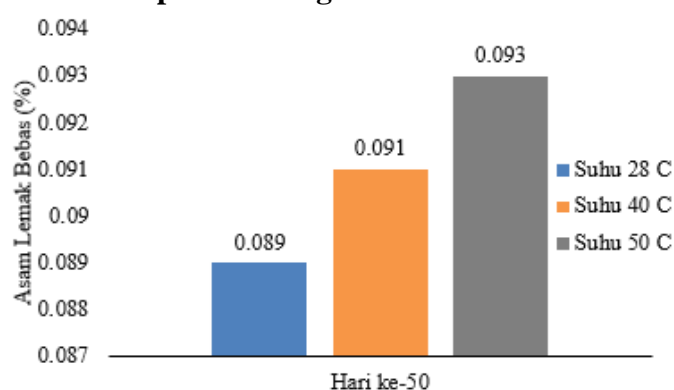


Gambar 4 Grafik Perbandingan Laju Peningkatan Kadar ALB pada Berbagai Perlakuan Suhu Penyimpanan

Pada Gambar 4, terlihat adanya korelasi positif yang signifikan antara peningkatan suhu penyimpanan dengan laju peningkatan kadar ALB pada VCO. Perbedaan gradien atau kemiringan grafik menunjukkan bahwa intensitas panas yang diberikan berbanding lurus dengan kecepatan pembentukan asam lemak bebas.

Pada suhu rendah atau suhu ruang di 28 °C, laju peningkatan kadar ALB berlangsung secara minimum yang direpresentasikan oleh kemiringan grafik yang cenderung stabil. Sebaliknya, pada suhu 40 °C dan 50 °C, terjadi peningkatan kemiringan grafik yang lebih curam atau slope yang lebih tajam. Hal ini menunjukkan secara empiris bahwa suhu bertindak sebagai akselerator dalam reaksi pemutusan ikatan ester. Secara termodinamika, peningkatan suhu memberikan energi yang cukup bagi molekul air untuk melampaui hambatan energi aktivasi, sehingga reaksi antara molekul air residu dengan trigliserida terjadi lebih frekuentif dan energetik. Fenomena ini menunjukkan bahwa variasi suhu yang lebih tinggi secara sistematis memperpendek fase induksi dan mempercepat laju degradasi kimia minyak per satuan waktu.

b) Analisis Stabilitas VCO pada Berbagai Kondisi Suhu



Gambar 5 Akumulasi Maksimum ALB dalam VCO Berdasarkan Perbedaan pada Perlakuan Suhu

Pada Gambar 5, terlihat profil stabilitas akhir VCO yang bervariasi secara signifikan sebagai dampak terhadap perlakuan suhu yang berbeda. Grafik batang tersebut membandingkan akumulasi maksimum asam lemak bebas pada titik akhir observasi di hari ke-50, di mana terjadi tren peningkatan nilai ALB seiring dengan kenaikan variasi suhu penyimpanan. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa sampel dengan suhu penyimpanan 28 °C memiliki tingkat stabilitas tertinggi dengan kadar ALB akhir sebesar 0,089%. Sebaliknya, sampel yang dipaparkan pada suhu ekstrem 50 °C menunjukkan penurunan stabilitas yang paling tajam dengan nilai ALB mencapai 0,093%. Fenomena ini menunjukkan bahwa energi termal yang lebih tinggi memicu eksitasi molekul air residu untuk menyerang ikatan ester trigliserida secara lebih agresif.

3. Evaluasi Parameter Kinetika dan Konstanta Laju Perubahan Mutu

Karakteristik peningkatan kadar asam lemak bebas (ALB) pada Virgin Coconut Oil (VCO) selama masa penyimpanan dievaluasi menggunakan pendekatan kinetika kimia. Berdasarkan profil data yang diperoleh, kecenderungan akumulasi ALB menunjukkan kesesuaian dengan hukum laju reaksi orde nol. Model ini mengasumsikan bahwa laju perubahan mutu berlangsung secara konstan dan tidak dipengaruhi oleh konsentrasi reaktan

pada tahap tertentu. Secara matematis, rumus laju reaksi awal (initial rate) untuk reaksi orde nol dinyatakan sebagai:

$$\frac{dC_A}{dt} = k \dots\dots\dots(4.1)$$

Dimana:

- dCA = Perubahan pada konsentrasi
- dt = Perubahan pada waktu
- k = Konstanta laju reaksi

Melalui pemisahan variabel untuk mencari hubungan antara peningkatan kadar ALB terhadap waktu, persamaan tersebut diintegrasikan menjadi:

$$dC_A = k \cdot dt \dots\dots\dots(4.2)$$

Persamaan (4.2), kemudian diselesaikan untuk mendapatkan hubungan CA pada berbagai waktu. Dimana:

$$\int_{C_{A0}}^{C_A} dC_A = \int_0^t k \cdot dt \dots\dots\dots(4.3)$$

$$(C_A - C_{A0}) = k (t - 0) \dots\dots\dots(4.4)$$

$$C_A = k t + C_{A0} \dots\dots\dots(4.5)$$

atau

$$[A]_t = [A]_0 + k \cdot t \dots\dots\dots(4.6)$$

Dimana:

- [A]_t = Kadar ALB akhir
- [A]₀ = Kadar ALB mula-mula
- k = Laju perubahan mutu
- t = waktu

Berdasarkan analisis regresi linear terhadap data pengamatan, diperoleh parameter kinetika untuk masing-masing perlakuan berbagai suhu sebagai berikut:

1) Parameter Kinetika pada perlakuan suhu 28 °C

Pada perlakuan suhu 28 °C, Diperoleh koefisien determinasi (R²) sebesar 0,9237 yang menunjukkan tingkat linearitas sangat baik. Nilai intersep [A]₀ sebesar 0,0844 dengan konstanta laju peningkatan ALB (k) sebesar 0,00008 hari-1. Hal ini mengindikasikan bahwa laju degradasi berlangsung sangat lambat, di mana setiap pertambahan satu hari penyimpanan, kadar ALB hanya mengalami peningkatan sebesar 0,00008%.

Parameter Kinetika pada perlakuan suhu 40 °C

Analisis Regresi pada perlakuan suhu 40 °C menunjukkan nilai R² sebesar 0,9119 dengan nilai [A]₀ sebesar 0,0848. Konstanta laju (k) meningkat menjadi 0,00010 hari-1 yang berarti setiap pertambahan satu hari penyimpanan, kadar ALB meningkat sebesar 0,0001%. Peningkatan nilai k ini membuktikan adanya akselerasi laju peningkatan kadar ALB seiring dengan kenaikan suhu lingkungan.

2) Parameter Kinetika pada perlakuan suhu 50 °C

Pada kondisi suhu ekstrem di suhu 50 °C, diperoleh R² tertinggi sebesar 0,9379 dengan nilai [A]₀ sebesar 0,0849. Nilai konstanta laju (k) mencapai 0,00017 hari-1 yang mengindikasikan laju perubahan mutu paling cepat di antara ketiga variasi suhu. Secara

kuantitatif, setiap satu hari penyimpanan pada suhu 50 °C memicu peningkatan kadar ALB sebesar 0,00017%.

Secara keseluruhan, hasil evaluasi parameter kinetika ini membuktikan bahwa mekanisme peningkatan kadar ALB pada VCO dalam kemasan botol kaca gelap mengikuti model orde nol dengan konsistensi yang tinggi ($R^2 > 0,9$). Peningkatan nilai k yang bersifat linier terhadap suhu mengonfirmasi teori kinetika kimia bahwa energi termal merupakan faktor akselerasi utama dalam pemutusan ikatan ester trigliserida. Nilai konstanta laju yang tetap berada pada orde 10^{-4} hingga 10^{-5} menunjukkan bahwa meskipun suhu dan waktu berpengaruh signifikan, laju degradasi VCO dalam sistem ini tetap terkendali dalam batas stabilitas yang terkendali.

4. Penentuan Energi Aktivasi dan Faktor Eksponensial

Energi aktivasi (E_a) merupakan parameter termodinamika yang menunjukkan hambatan energi minimum bagi molekul air residu dan trigliserida untuk memulai reaksi kerusakan hidrolitik. Faktor pre-eksponensial (k_0) merepresentasikan frekuensi tumbukan serta orientasi antarpartikel yang bereaksi dalam sistem. Ketergantungan konstanta laju kinetika reaksi (k) terhadap suhu mutlak yang dievaluasi menggunakan persamaan Arrhenius:

$$k = k_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{R \cdot T}\right) \dots \dots \dots (4.7)$$

Dimana:

- k = Konstanta laju perubahan mutu (hari⁻¹)
- k_0 = Faktor pre-eksponensial (hari⁻¹)
- E_a = Energi aktivasi (J/mol)
- R = Konstanta gas ideal
- T = Suhu mutlak penyimpanan (°K)

Dari persamaan (4.7) diubah kedalam fungsi logaritma natural atau linear (ln), menghasilkan persamaan garis lurus sebagai berikut:

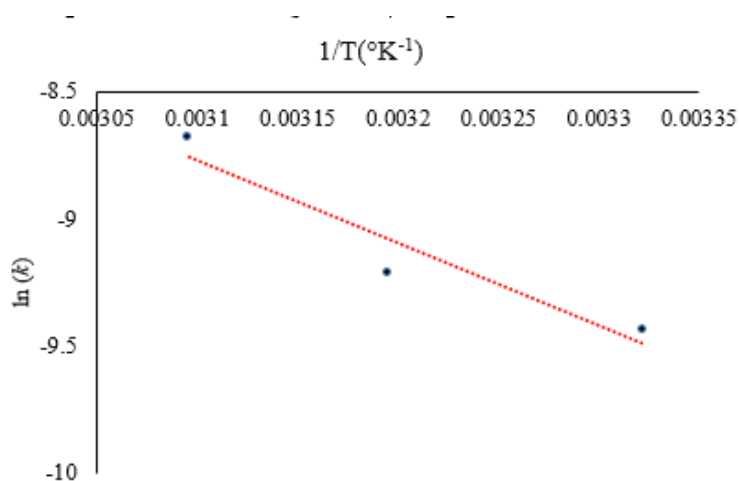
$$\ln(k) = \ln(k_0) - \left(\frac{E_a}{R}\right)\left(\frac{1}{T}\right) \dots \dots \dots (4.8)$$

Nilai konstanta laju peningkatan kadar asam lemak bebas (ALB) hasil analisis kinetika orde nol pada berbagai perlakuan suhu penyimpanan diperlihatkan pada Tabel berikut:

Tabel 1 Nilai Konstanta Kinetika Laju Peningkatan ALB VCO pada Variasi Suhu

Suhu (°K)	Nilai k (Hari ⁻¹)	Plot 1/T (K ⁻¹)	ln(k)
301	0,00008	0,0033	-9,4335
313	0,00010	0,0032	-9,2103
323	0,00017	0,0031	-8,6797

Pada Tabel 1, plot nilai 1/T sebagai sumbu x dan ln(k) sebagai sumbu y membentuk grafik linear Arrhenius ($y = mx + c$) sebagai berikut:



Gambar 6 Grafik Data Persamaan Arrhenius pada Peningkatan ALB VCO

Pada gambar 6, diperoleh persamaan garis lurus $y = -3257x + 1,3287$ dengan koefisien determinasi (R²) sebesar 0,9105. Nilai R² yang mendekati angka 1 menunjukkan tingkat linearitas data yang tinggi, sehingga model Arrhenius sesuai untuk menggambarkan pengaruh variasi suhu terhadap laju peningkatan ALB pada VCO dalam kemasan botol kaca gelap.

Berdasarkan kemiringan garis (gradien $m = -E_a/R = -3257 \text{ K}$), menghasilkan nilai energi aktivasi (E_a) yang menandakan besarnya hambatan energi kinetik minimum yang harus dipenuhi untuk reaksi pemutusan ikatan ester trigliserida oleh molekul air dapat terjadi. Nilai intersep grafik ($c = \ln(k_0) = 1,3287$) menghasilkan nilai faktor pre-eksponensial (k_0) sebesar 3,7761 hari⁻¹.

5. Prediksi Masa Kedaluwarsa VCO Berdasarkan Parameter Asam Lemak Bebas

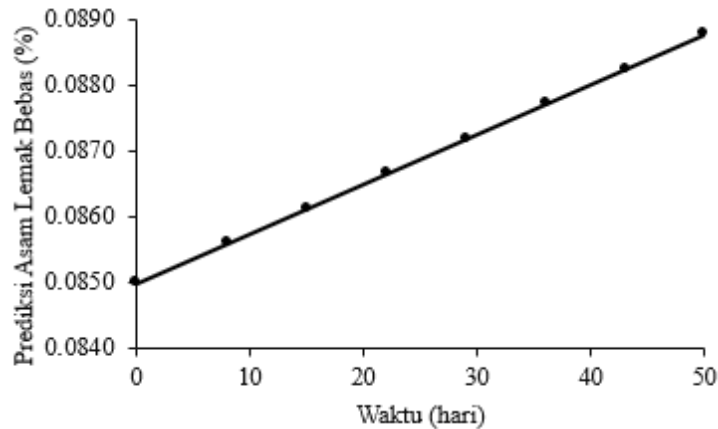
Masa simpan (shelf-life) Virgin Coconut Oil (VCO) ditentukan berdasarkan integrasi nilai konstanta kinetika yang diperoleh dari hasil persamaan Arrhenius. Konstanta laju perubahan mutu prediktif (k) pada suhu penyimpanan tertentu dihitung menggunakan persamaan pada (4.9):

$$k = k_0 \cdot \text{Exp}\left(\frac{-E_a}{T^{\circ}\text{K}}\right) \dots\dots\dots(4.9)$$

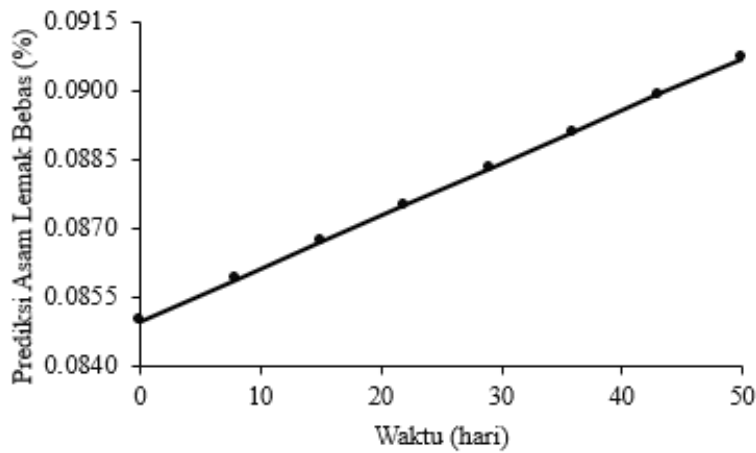
Dimana:

- k = Konstanta laju perubahan mutu (hari⁻¹)
- k₀ = Faktor pre-eksponensial (hari⁻¹)
- E_a = Energi aktivasi
- T = Suhu mutlak penyimpanan (°K)

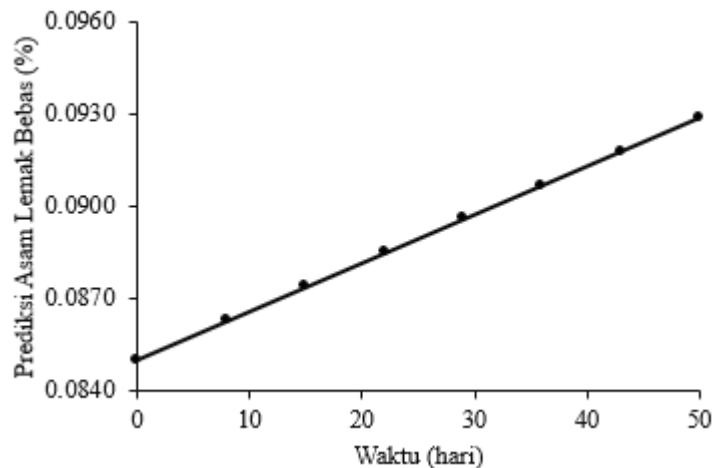
Nilai k prediktif tersebut disubstitusikan ke dalam persamaan kinetika orde nol untuk menghitung akumulasi kadar asam lemak bebas (ALB) pada interval waktu tertentu menggunakan persamaan pada (4.6):



Gambar 7 Grafik Prediksi Peningkatan Kadar ALB VCO pada Suhu Penyimpanan 28 °C



Gambar 8 Grafik Prediksi Peningkatan Kadar ALB VCO pada Suhu Penyimpanan 40 °C



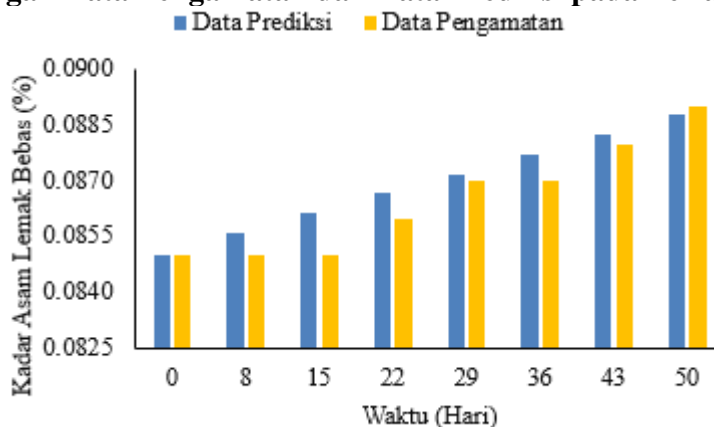
Gambar 9 Grafik Prediksi Peningkatan Kadar ALB VCO pada Suhu Penyimpanan 50 °C

6. Perbandingan Data Hasil Pengamatan dan Data Hasil Model Prediksi

Validasi model kinetika Arrhenius dilakukan dengan membandingkan nilai kadar asam lemak bebas (ALB) hasil uji pengamatan laboratorium terhadap nilai hasil perhitungan prediksi. Evaluasi ini bertujuan untuk menguji tingkat akurasi dan kesesuaian (goodness of

fit) model matematis yang telah disusun terhadap fenomena degradasi peningkatan ALB secara aktual pada produk VCO selama 50 hari masa observasi.

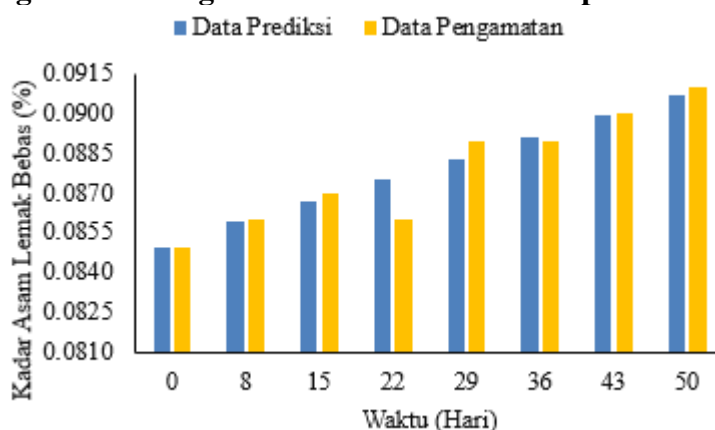
a) Perbandingan Data Pengamatan dan Data Prediksi pada Perlakuan Suhu 28 °C



Gambar 10 Grafik Perbandingan Data Hasil Pengamatan dan Data Hasil Prediksi pada suhu 28 °C

Perbandingan antara data aktual hasil pengujian laboratorium dan data proyeksi matematis pada suhu penyimpanan ruang 28 °C menunjukkan tingkat kecocokan yang sangat tinggi. Kesesuaian ini dikonfirmasi oleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9273. Data pengamatan aktual menunjukkan fase stagnan kadar ALB sebesar 0,085% dari hari ke-0 hingga hari ke-15, sedangkan model prediksi menunjukkan kenaikan bertahap sebesar 0,00008% setiap harinya. Deviasi minor yang terjadi pada fase awal penyimpanan ini disebabkan oleh adanya fase induksi (induction period) pada sistem minyak aktual, di mana energi kinetik molekul air residu pada suhu ruang memerlukan waktu lebih lama untuk memutus ikatan ester trigliserida. Meskipun terdapat perbedaan pola pada 15 hari pertama, nilai akhir ALB pada hari ke-50 menunjukkan konvergensi yang sangat dekat, yaitu sebesar 0,089% pada data eksperimen dan 0,0888% pada data prediksi.

b) Perbandingan Data Pengamatan dan Data Prediksi pada Perlakuan Suhu 40 °C

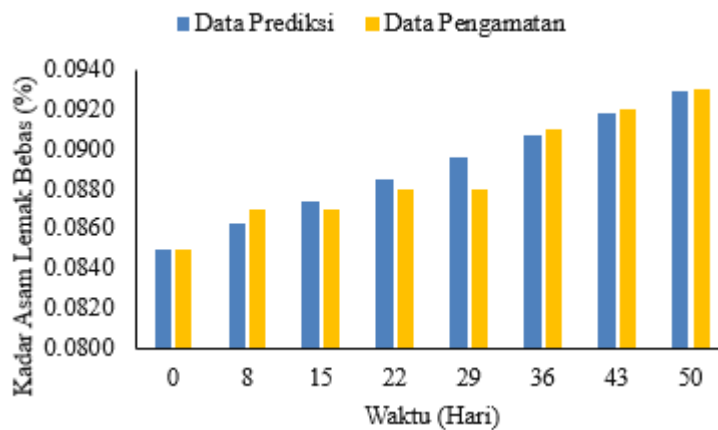


Gambar 11 Grafik Perbandingan Data Hasil Pengamatan dan Data Hasil Prediksi pada suhu 40 °C

Analisis perbandingan pada perlakuan suhu 40 °C menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9119. Berbeda dengan kondisi suhu ruang, plot data aktual pada suhu 40 °C menunjukkan tren kenaikan yang lebih konsisten sejak awal periode penyimpanan yang sejalan dengan karakteristik garis linear model prediksi. Energi termal

yang lebih tinggi pada suhu 40 °C mengeliminasi fase induksi yang panjang, sehingga laju peningkatan kadar ALB aktual berjalan stabil mendekati konstanta laju prediksi ($k = 0,00010$ hari-1). Kelainan kecil terdeteksi saat masuk hari ke-22, di mana data eksperimen menunjukkan sedikit penurunan menjadi 0,086% sebelum kembali naik pada hari ke-29. Deviasi ini dikategorikan sebagai kesalahan acak eksperimental (random experimental error) saat melakukan titrasi di laboratorium, namun secara keseluruhan tren data aktual tetap berada pada koridor garis linieritas prediksi dengan nilai akhir hari ke-50 yang sangat presisi, dimana (aktual 0,091% dan prediksi 0,0907%).

c) Perbandingan Data Pengamatan dan Data Prediksi pada Perlakuan Suhu 50 °C



Gambar 12 Grafik Perbandingan Data Hasil Pengamatan dan Data Hasil Prediksi pada suhu 50 °C
 Perlakuan suhu ekstrim 50 °C menghasilkan tingkat kesesuaian tertinggi di antara ketiga variasi perlakuan, ditunjukkan oleh nilai (R^2) sebesar 0,9379. Tingginya nilai ini membuktikan bahwa pada suhu tinggi, mekanisme kerusakan minyak didominasi secara mutlak oleh reaksi hidrolisis murni yang mengikuti kinetika orde nol, sehingga polanya sangat sesuai dengan asumsi persamaan Arrhenius. Stimulasi panas yang masif meningkatkan frekuensi tumbukan antarmolekul secara konstan, menyebabkan data eksperimen bergerak linear tanpa fluktuasi acak yang berarti dari hari ke-0 hingga hari ke-50. Nilai akumulasi ALB akhir pada hari ke-50 menunjukkan tingkat akurasi model yang sangat kuat, dengan nilai aktual sebesar 0,093% dan nilai prediksi sebesar 0,0929%.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, evaluasi kinetika Arrhenius dan pembahasan yang telah disusun, diperoleh poin kesimpulan sebagai berikut:

1. Suhu penyimpanan terbukti berpengaruh signifikan terhadap penurunan kualitas Virgin Coconut Oil (VCO) berdasarkan parameter kadar Asam Lemak Bebas (ALB). Kenaikan suhu operasional penyimpanan berbanding lurus dengan akselerasi laju reaksi hidrolisis minyak. Kondisi ini dikonfirmasi oleh peningkatan nilai konstanta laju reaksi orde nol (k), yaitu sebesar 0,00008 hari-1 pada suhu 28 °C, 0,00010 hari-1 pada suhu 40 °C dan mencapai nilai tertinggi sebesar 0,00017 hari-1 pada suhu 50 °C. Fenomena tersebut didukung oleh nilai energi aktivasi (E_a) dan Faktor pre-eksponensial (k_0) yang menunjukkan ketergantungan kuat laju degradasi hidrolitik trigliserida terhadap stimulasi energi termal.
2. Lama waktu penyimpanan (masa simpan aman) VCO dalam kemasan botol kaca gelap

kondisi tertutup hingga mencapai ambang batas kedaluwarsa maksimal 0,2% sesuai standar SNI dan APCC bervariasi tergantung pada suhu lingkungan. Berdasarkan model prediksi kinetika Arrhenius yang telah divalidasi dengan tingkat akurasi koefisien determinasi ($R^2 > 0,91$), estimasi masa simpan komersial produk VCO adalah selama 4,23 tahun pada kondisi suhu ruang (28 °C), 2,80 tahun pada kondisi suhu 40 °C dan mengalami penurunan drastis mencapai 2,03 tahun apabila terpapar kondisi suhu tinggi yaitu 50 °C.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, beberapa saran yang dapat direkomendasikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian lanjutan perlu melakukan pemetaan terhadap parameter kerusakan kimiawi pendukung lainnya, untuk memperoleh pemodelan masa simpan produk VCO yang lebih komprehensif melalui pendekatan kerusakan integratif.
2. Pengujian validasi model kinetika disarankan untuk memperluas variasi material kemasan komersial, untuk membandingkan efektivitas sifat hambatan mekanis kemasan dalam menghambat penetrasi faktor eksternal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd Rohman Taufiq (2023) 'An Nahl Group's Honey Sales Assistance Through E-Commerce Shopee', *Jurnal Pengabdian dan Peningkatan Mutu Masyarakat (Janayu)*, 4(1), pp. 126–133. Available at: <https://doi.org/10.22219/janayu.v4i1.22199>.
- Aladin, A. (2020) 'Produksi Virgin Coconut Oil (VCO) Zero Limbah', *Pidato Produksi Virgin Coconut Oil (VCO) Zero Limbah [Preprint]*, (November). Available at: <https://www.researchgate.net/profile/Andi-Aladin->
- Azra, J.M., Setiawan, B., Nasution, Z., Sulaeman, A. and Estuningsih, S. (2023) 'Kandungan Gizi dan Manfaat Air Kelapa terhadap Metabolisme Diabetes: Kajian Naratif', *Amerta Nutrition*, 7(2), pp. 317–325. Available at: <https://doi.org/10.20473/amnt.v7i2.2023.311-319>.
- Darussalam, M.M., Amalia, M.V., Octaria, P. and Puspasari, S. (2024) 'Perbandingan Metode Ekstrapolasi Polinomial dan Ekstrapolasi Chebyshev pada Prediksi Total Ekspor Migas Tahun 2022', *Jurnal Ilmiah Informatika Global*, 15(1), pp. 30–37. Available at: <https://doi.org/10.36982/jiig.v15i1.3624>.
- Dayrit, F.M., Tantengco, G.B. and Opao, P.G.M. (2022) 'Proposed Physicochemical Standards for the Identity and Quality Characteristics of Philippine Virgin Coconut Oil', *Philippine Journal of Science*, 151(4), pp. 1301–1311. Available at: <https://doi.org/10.56899/151.04.01>.
- Dewi Maharani Indah Sari, N.K. et al. (2024) 'Perbandingan Mutu Fisikokimia Virgin Coconut Oil (VCO) dengan Metode Enzimatis dan Fermentasi Alami', *Usadha*, 3(3), pp. 15–20. Available at: <https://doi.org/10.36733/usadha.v3i3.7498>.
- Emilia, I. Panca Putri Y., Novianti, D. and Niarti, M. (2021) 'Pembuatan Virgin Coconut Oil (VCO) dengan Cara Fermentasi di Desa Gunung Megang Kecamatan Gunung Megang Muara Enim', *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 18(1), p. 88. Available at: <https://doi.org/10.31851/sainmatika.v17i3.5679>.
- Febryanti, F. and Nadia, N. (2020) 'Fermentasi Jerami Sebagai Pakan Tambahan Ternak Ruminansia', *Jurnal Fluida*, 13(1), pp. 24–29. Available at: <https://doi.org/10.35329/sipissangngi.v2i2.2956>.
- Fitrian, N., Aladin, A. and Kalsum, U. (2025) 'Laju penurunan kualitas virgin coconut oil (vco) dalam wadah botol kaca bening dengan metode Accelerated Shelf Life Testing (ASLT)', *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 8(1), pp. 1151–1160. Available at:

- <https://doi.org/10.31004/jutin.v8i1.41594>.
- Gondokesumo, M.E., Sapei, L., Wahjudi, M. and Suseno, N. (2023) 'Virgin Coconut Oil', Penerbit Deepublish.
- Harimurti, S. and Rumagesan, R.M. (2020) 'Environmentally friendly production method of virgin coconut oil using enzymatic reaction', *Materials Science and Engineering*, pp. 1–7. Available at: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/874/1/012004>.
- Ika, L., Indahsari, N. and Ramadhani, A.N. (2024) 'Quality of virgin coconut oil production using pineapple flesh and skin based on chemical parameters', 30(2), pp. 96–99.
- Jannah, N. and La Daiba, Y. (2024) 'Analisis Perbandingan Kualitas Minyak Goreng Berdasarkan Parameter Asam Lemak Bebas', *Indonesian Journal of Pharmacy and Natural Product*, 7(01), pp. 16–21. Available at: <https://doi.org/10.35473/ijpnp.v7i01.2655>.
- Jasman, J. Norceb, I., Amtahanb, A. and Lawab, Y. (2025) 'The Relationship Between Growing Altitude and Oil Yield and Fatty Acid Composition of VCO from Coconuts in West Timor', *International Journal of Mathematics and Science Education*, 2(2).
- Kedang, Y. I., Gelyaman, G. D., Limatahu, N. A., Arifuddin, W., Ismail, D., Batu, M. S., & Nazhifah, S. (2025). *Kimia Katalis. Kamiya Jaya Aquatic*.
- Lantemona, H. (2023) 'A Comparative Analysis of Phenolic Compound Quality in Virgin Coconut Oil', *Demeter: Journal of Farming and Agriculture*, 1(2), pp. 42–50. Available at: <https://doi.org/10.58905/demeter.v1i2.209>.
- Lubis, N. (2025) 'Analisis Perbandingan Produktivitas Komoditi Kelapa Di Indonesia Dan Malaysia', *Jurnal Agristan*, 7(1), pp. 96–105. Available at: <https://doi.org/10.37058/agristan.v7i1.14080>.
- Maini, Z.A. and Lopez, C.M. (2022) 'Transitions in bacterial communities across two fermentation-based virgin coconut oil (VCO) production processes', *Heliyon*, 8(8), pp. 2405–8440. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10154>.
- Mela, E. and Bintang, D.S. (2021) 'Virgin coconut oil (VCO):pembuatan, keunggulan, pemasaran dan potensi pemanfaatan pada berbagai produk pangan', *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 40(2), pp. 103–110.
- Muhammad Julian, Lukita Ambarwati and Yudi Mahatma (2022) 'Penentuan Derajat Optimum Interpolasi pada Metode Lagrange dan Metode Newton Gregory dalam Mengestimasi Kasus Pasien Sembuh dari Covid-19 di Indonesia', *JMT : Jurnal Matematika dan Terapan*, 4(1), pp. 11–18. Available at: <https://doi.org/10.21009/jmt.4.1.2>.
- Mutsyahidan, A.M.A., Liputo, S.A., Une, S., Isima, R., Podungge, F.F., Nurdin, D., Djama, A. dan Nurdin, A. (2024) "Effect Of Storage Temperature On Low-Colesterol Mayonnaise Based On Canola Oil (Co) With Virgin Coconut Oil (Vco)", 3(1), pp. 85–95.
- Nurmiah, M., Lubis, L, M. and Munthe, R, M. (2023) 'Comparison of Virgin Coconut Oil (VCO) quality with fermentation and centrifugation methods from genjah and hybrid variety of coconut based on Indonesian local environment resources', *Earth and Environmental Science*, pp. 1–8. Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1241/1/012090>.
- Oktaviani, H.K. and Lusiani, C.E. (2023) 'Pengaruh Waktu Fermentasi Terhadap Virgin Coconut Oil (Vco) Dari Kelapa Daerah Probolinggo Menggunakan Ragi Tempe 2% B/V', *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 7(2), pp. 282–288. Available at: <https://doi.org/10.33795/distilat.v7i2.241>.
- Rindawati and Wibowo Kurniawan, E. (2020) 'Studi Perbandingan Pembuatan VCO (Virgin Coconut Oil) Sistem Enzimatis dan Pancingan Terhadap Karakteristik', *Indonesian Journal of Laboratory*, 2(2), pp. 1–8.
- Sundrasegaran, S. and Mah, S.H. (2020) 'Extraction Methods of Virgin Coconut Oil and Palm-pressed Mesocarp Oil and their Phytonutrients', *International Association of Dietetic Nutrition*, 1(6), pp. 381–391. Available at: <https://doi.org/10.2991/efood.k.201106.001>.

- Surahman, D.N. Ekafitri, R., Miranda, J., Cahyadi, W., Desnilasari, D., Ratnawati, L. dan Indriati, A. (2020) 'Pendugaan Umur Simpan Snack Bar Pisang Dengan Metode Arrhenius Pada Suhu Penyimpanan Yang Berbeda', *Biopropal Industri*, 11(2), p. 127.
- Suryani, S. Sariyani, S., Earnestly, F. dan Marganof, M. (2020) 'A comparative study of virgin coconut oil, coconut oil and palm oil in terms of their active ingredients', *Processes*, 8(4), pp. 1–11. Available at: <https://doi.org/10.3390/PR8040402>.
- Sutrisna Pratiwi Simbuang and Enny Yuliaswati (2023) 'Pengaruh Pemberian VCO Terhadap Penyembuhan Luka Perineum Pada Ibu Nifas Di Rumah Sakit Ibu Dan Anak Kasih Fatimah Kotamobagu', *Detector: Jurnal Inovasi Riset Ilmu Kesehatan*, 1(4), pp. 195–206. Available at: <https://doi.org/10.55606/detector.v1i4.2539>.
- Widari, N.S., Saraswati, R. and Sutejo, B. (2021) 'Optimization of Virgin Coconut Oil (VCO) Production with Diffuser Type Aeration Method', *European Journal of Engineering and Technology Research*, 6(4), pp. 139–143. Available at: <https://doi.org/10.24018/ejers.2021.6.4.2471>.