

## ANALISIS PENGARUH WAKTU DAN SUHU PENYIMPANAN TERHADAP KESTABILAN MIKROBIOLOGIS VIRGIN COCONUT OIL (VCO) DALAM KEMASAN BOTOL KACA BERDASARKAN TOTAL PLATE COUNT (TPC)

Andi Aladin<sup>1</sup>, Putri Permata Pertiwi<sup>2</sup>, Yusnimel<sup>3</sup>

[andi.aladin@umi.ac.id](mailto:andi.aladin@umi.ac.id)<sup>1</sup>, [putripermatapertiwi@gmail.com](mailto:putripermatapertiwi@gmail.com)<sup>2</sup>, [yusnimelimel@gmail.com](mailto:yusnimelimel@gmail.com)<sup>3</sup>

Universitas Muslim Indonesia

### ABSTRACT

Indonesia is one of the world's largest coconut producers, with production reaching 49.7 million tons in 2021, where coconut meat is widely used as a raw material for virgin coconut oil (VCO). The total plate count (TPC) method is used to determine the number of microorganisms as an indicator of food hygiene, quality, and safety. This study aims to determine the effect of storage temperature variations on the microbiological stability of VCO based on TPC values and to determine the storage time limit that still meets microbiological standards. The method used in this study was to treat VCO in dark glass bottles under closed conditions at storage temperatures of 28°C, 40°C, and 50°C. TPC analysis was performed to measure the number of bacterial colonies growing in the samples and was used to assess freshness and potential microbial contamination. Increased storage temperature causes the rate of TPC increase to slow down, thereby inhibiting the growth of microorganisms in VCO and improving its microbiological stability at high temperatures. VCO in sealed dark glass bottles still meets the maximum TPC limit according to SNI and APCC standards for up to 9.35 years at 28°C, 16.24 years at 40°C, and 24.93 years at 50°C, with differences in shelf life influenced by the slower rate of TPC increase at high temperatures.

**Keywords:** Vco Storage, Vco Stability, Vco Total Plate Count, Vco Microbiological Stability, Vco Packaging Type.

### PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai negara yang kaya akan sumber daya alam, salah satunya adalah kelapa (*Cocos nucifera*). Pada tahun 2021, Indonesia tercatat sebagai produsen kelapa terbesar di dunia dengan total produksi mencapai 49,7 juta ton. Hampir seluruh bagian dari kelapa dapat dimanfaatkan dan diolah menjadi berbagai produk bernilai guna yang mendukung kebutuhan sehari-hari. Kelapa yang dipanen saat berumur 11–12 bulan mengandung minyak sekitar 30–50%. Setelah melalui proses pengeringan menjadi kopra, kandungan minyaknya dapat meningkat hingga 63–65%. Bagian kelapa yang paling banyak dimanfaatkan adalah daging buahnya, yang dapat diolah menjadi minyak kelapa murni atau *virgin coconut oil* (VCO) (Indahsari dan Lusiani, 2023).

Kelapa memiliki peranan penting dalam kehidupan masyarakat Indonesia. Seluruh bagian tanaman kelapa, mulai dari akar, batang, daun, hingga buahnya, dapat dimanfaatkan untuk menunjang kebutuhan di bidang ekonomi, sosial dan budaya. *Virgin coconut oil* (VCO) merupakan produk olahan dari daging kelapa segar yang tidak melalui proses pembuatan kopra. Proses pembuatannya dilakukan tanpa menggunakan bahan kimia maupun pemanasan tinggi, sehingga menghasilkan minyak yang jernih dan memiliki aroma alami khas kelapa. Kandungan utama dalam VCO adalah asam laurat, yaitu jenis asam lemak yang berperan penting dalam memberikan nutrisi serta membantu melindungi tubuh dari infeksi dan penyakit degeneratif (Rindawati, Perasulmi dan Kurniawan, 2020).

*Virgin coconut oil* (VCO) digolongkan sebagai *functional food* atau pangan fungsional karena memiliki berbagai manfaat kesehatan. Minyak kelapa memiliki nilai medis tinggi dan digunakan untuk perawatan kulit, baik terapeutik maupun estetik. Saat ini, kelapa juga

dipandang sebagai sumber gizi yang lengkap dan berpotensi membantu mengatasi penyakit serta malnutrisi. Kandungan *medium-chain triglycerides* (MCT) dan asam laurat dalam minyak kelapa memberikan manfaat gizi dan pengobatan yang signifikan. VCO kini semakin banyak digunakan dalam industri makanan, baik sebagai minyak goreng, pengganti keju dan es krim, maupun alternatif buttermilk pada produk modern. Minyak kelapa, khususnya VCO, memiliki karakteristik khas yang membedakannya dari minyak kelapa lainnya. Dibandingkan dengan jenis *refined, bleached, and deodorized* (RBD) maupun *cold-pressed coconut oil* (CPO), VCO mengandung lebih banyak asam lemak rantai pendek (Sinaga dkk., 2024).

Pemilihan jenis kemasan berperan penting dalam menjaga mutu dan keamanan produk pangan selama penyimpanan. Salah satu kemasan yang umum digunakan adalah botol kaca karena bersifat inert, tidak bereaksi dengan bahan kimia, serta mampu melindungi produk dari kontaminasi lingkungan. Kaca juga memiliki permeabilitas sangat rendah terhadap gas dan uap air, sehingga menghambat masuknya oksigen dan kelembapan yang memicu pertumbuhan mikroorganisme. Dalam penelitian Rosmawati dkk. (2021), penggunaan botol kaca terbukti memberikan hasil terbaik dalam menjaga kualitas minuman Ires dibandingkan kemasan plastik PP dan PET. Hal ini karena kemasan kaca mencegah terjadinya perubahan kimia dan fisik seperti oksidasi maupun kontaminasi mikroba. Oleh karena itu, penelitian Rosmawati dkk. memilih kemasan botol kaca untuk menilai pengaruh jenis kemasan dan lama penyimpanan terhadap kandungan etanol, protein, glukosa, serta karakteristik organoleptik (rasa, warna, dan aroma) pada minuman fermentasi khas Sinjai tersebut (Rosmawati, Syam dan Sukainah, 2021).

Salah satu parameter penting dalam menilai mutu dan keamanan produk pangan olahan seperti VCO adalah parameter mikrobiologis, yakni *Total Plate Count* (TPC). TPC merupakan indikator jumlah koloni bakteri yang tumbuh dalam sampel dan digunakan untuk menilai kesegaran serta potensi kontaminasi mikroba. Nilai TPC yang tinggi menunjukkan aktivitas mikroba yang dapat mempercepat kerusakan dan menurunkan kualitas produk selama penyimpanan. Penelitian Sari dkk. (2022) mengenai minyak balur kombinasi VCO dan cabai jawa pada suhu 40°C, 50°C, dan 60°C menunjukkan nilai TPC masing-masing 3, 0, dan 6 CFU/mL, seluruhnya masih di bawah batas maksimum cemaran mikroba menurut BPOM RI ( $\leq 10^7$  koloni/mL). Hasil ini menegaskan bahwa suhu pemrosesan dan penyimpanan berpengaruh terhadap jumlah mikroba meskipun produk tetap aman. Temuan tersebut memperkuat pentingnya evaluasi suhu dan waktu penyimpanan terhadap kualitas mikrobiologis VCO dalam kemasan botol kaca untuk menjamin keamanan dan mutu produk hingga akhir masa simpannya (Sari, Pramitha dan Wardani, 2022).

Kualitas VCO dipengaruhi oleh berbagai faktor internal dan eksternal. Faktor internal meliputi kualitas dan jenis bahan baku kelapa yang digunakan, sedangkan faktor eksternal meliputi jenis kemasan dan suhu penyimpanan. Jenis wadah yang digunakan dapat berupa botol kaca atau botol plastik, dengan kondisi penyimpanan terbuka maupun tertutup, serta menggunakan botol transparan atau berwarna gelap.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini dipilih kemasan botol kaca berwarna gelap untuk mengetahui sejauh mana pengaruh waktu dan suhu penyimpanan terhadap jumlah total bakteri (*Total Plate Count*) pada VCO yang dikemas secara higienis.

## **METODE PENELITIAN**

### **Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian akan 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

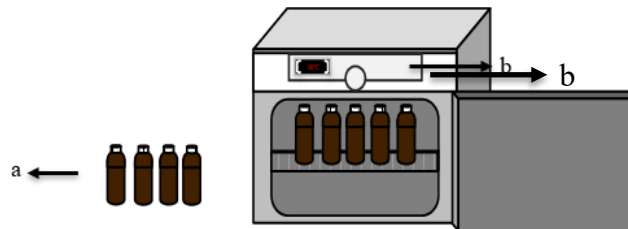
sampel *virgin coconut oil* (VCO) dan Balai Besar Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri untuk menganalisa *total plate count* (TPC). Penelitian ini direncanakan selama 4 bulan dimulai dari identifikasi masalah hingga pelaporan hasil penelitian.

### Alat dan Bahan

#### A. Alat

Alat utama dan alat pendukung yang digunakan pada penelitian ini, yakni:

1. *Oven* sebagai alat utama yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan VCO pada suhu 40°C dan 50 °C.



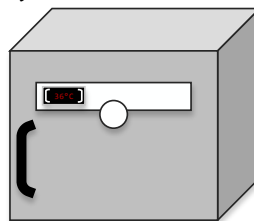
Gambar 1 Alat Penyimpanan VCO.

Keterangan:

- a. Botol kaca gelap sebagai wadah penyimpanan VCO.
  - b. *Oven*.
2. Alat analisa *Total Plate Count* (TPC) yaitu *colony counter* yang berfungsi untuk mengetahui jumlah mikroba pada *Virgin Coconut Oil* (VCO) serta inkubator yang digunakan sebagai tempat inkubasi media. Alat ini merupakan alat pendukung.



Gambar 2 *Colony Counter Total Plate Count* (TPC).



Gambar 3 Inkubator.

#### B. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

1. *Virgin Coconut Oil* (VCO) sebagai bahan baku utama.
2. Kertas saring.

### Variabel Penelitian

#### A. Variabel Tidak Bebas

1. Wadah penyimpanan yaitu botol kaca warna gelap kondisi tertutup.
2. Parameter kualitas VCO: *Total Plate Count* (TPC).

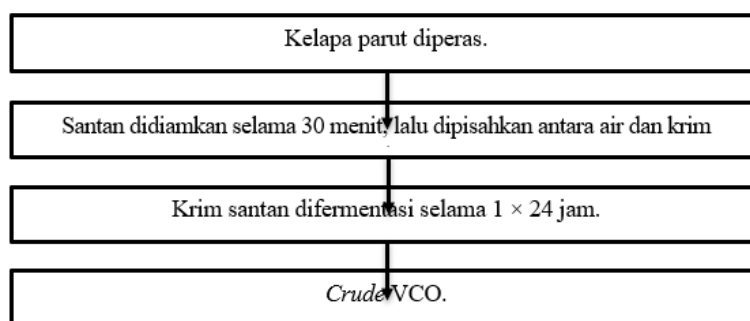
#### B. Variabel Bebas

1. Waktu masa simpan (8 pekan dengan interval setiap 7 hari).
2. Suhu penyimpanan 28°C, 40°C dan 50°C.

## Prosedur Penelitian

### A. Pembuatan *Virgin Coconut Oil* (VCO)

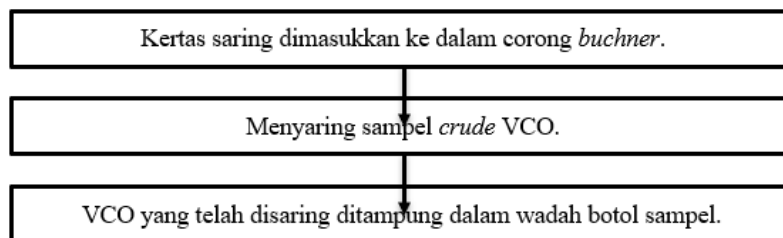
Pertama, kelapa tua berumur 10-12 bulan yang masih segar disiapkan sebagai bahan baku. Kelapa diparut sesaat sebelum diperas secara manual dengan tangan. Parutan kelapa kemudian dicampur dengan air kelapa pada perbandingan 1:1 sesuai kebutuhan penelitian dan disimpan dalam wadah. Santan diperoleh melalui dua kali proses perasan menggunakan air kelapa agar hasilnya maksimal. Santan yang terkumpul didiamkan selama  $\pm 30$  menit di dalam wadah pemisah hingga terbentuk lapisan air dan santan murni. Santan murni yang diperoleh dipisahkan dan difermentasi secara alami selama 24 jam. Proses fermentasi ini menghasilkan tiga lapisan, yaitu lapisan pertama berupa *crude* VCO, lapisan kedua berupa blondo, dan lapisan ketiga berupa air. *Crude* VCO yang terbentuk kemudian diambil dan dimasukkan ke dalam botol sampel sebagai *Virgin Coconut Oil* (VCO). Diagram alir proses pembuatan VCO ditunjukkan pada Gambar 4 berikut ini:



Gambar 4 Diagram Alir Pembuatan *Virgin Coconut Oil* (VCO).

### B. Penyaringan *Virgin Coconut Oil* (VCO)

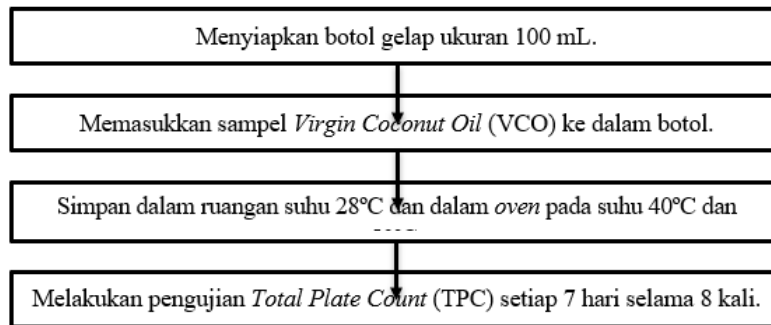
Sampel VCO disaring menggunakan kertas saring sebanyak lima lapis yang diletakkan pada corong *buchner*. Proses penyaringan ini bertujuan untuk memisahkan partikel halus yang masih terbawa dalam minyak. Hasil penyaringan kemudian ditampung ke dalam botol sampel. Diagram alir proses penyaringan *Virgin Coconut Oil* (VCO) ditunjukkan pada Gambar 5 berikut ini:



Gambar 5 Diagram Alir Penyaringan *Virgin Coconut Oil* (VCO).

### C. Penyimpanan *Virgin Coconut Oil* (VCO)

*Virgin Coconut Oil* (VCO) yang telah melalui proses penyaringan selanjutnya dimasukkan ke dalam wadah berupa botol kaca yang berwarna gelap berukuran 100 mL. Sampel tersebut kemudian disimpan untuk dianalisis kualitasnya dengan tujuan mengetahui ketahanan VCO pada kondisi penyimpanan berbeda, yaitu perbandingan botol kaca gelap tertutup pada suhu ruang 28°C, 40°C, serta 50°C. Selanjutnya dilakukan pengujian *Total Plate Count* (TPC). Diagram alir proses penyimpanan VCO ditunjukkan pada Gambar 6 berikut ini:



Gambar 6 Diagram Alir Penyimpanan *Virgin Coconut Oil* (VCO).

### Analisis Hasil

Uji TPC dilakukan berdasarkan metode yang tercantum dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 7381:2008. Proses perbanyakan bakteri dimulai dengan mengencerkan 1 mL sampel VCO menggunakan *buffer phosphat water* (BPW) hingga mencapai tingkat pengenceran  $10^{-5}$ . Dari hasil pengenceran  $10^{-4}$  dan  $10^{-5}$ , masing-masing sebanyak 1 mL dimasukkan ke dalam cawan petri steril, kemudian ditambahkan 15-20 mL media *plate count* agar (PCA) pada suhu 45-55°C. Campuran tersebut diratakan hingga homogen, lalu dibiarkan mengeras. Selanjutnya, cawan petri diinkubasi dalam posisi terbalik pada suhu 37°C selama 24-48 jam. Jumlah koloni bakteri yang tumbuh pada media PCA kemudian dihitung menggunakan *colony counter* (Prihanani dkk., 2024).

Berdasarkan data hasil penelitian yang diperoleh dari pengujian kualitas VCO selama penyimpanan, khususnya parameter TPC, dilakukan analisis untuk memprediksi umur simpan produk. Perhitungan dilakukan menggunakan pendekatan interpolasi polinomial sebagaimana tercantum pada Persamaan (2.1) serta pendekatan kinetika orde nol menggunakan persamaan regresi linier  $TPC = TPC_0 + kt$  pada Persamaan (2.2) untuk menentukan konstanta laju peningkatan TPC ( $k$ ). Selanjutnya, pengaruh suhu terhadap laju penurunan mutu dianalisis menggunakan Persamaan Arrhenius pada Persamaan (2.3) dan bentuk linearnya pada Persamaan (2.4). Melalui penerapan persamaan-persamaan tersebut, diperoleh estimasi umur simpan VCO berdasarkan batas maksimum mutu yang telah ditetapkan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Penentuan Orde Polinomial (P), Orde Kinetika (N), Laju Perubahan Mutu Total Plate Count (TPC) Dan Nilai Konstanta (K)

Pertumbuhan *Total Plate Count* (TPC) merupakan indikator utama mutu mikrobiologis pada *Virgin Coconut Oil* (VCO). Nilai TPC merepresentasikan jumlah total mikroorganisme yang berkembang selama penyimpanan, yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan variasi suhu penyimpanan. Hal ini berkaitan dengan pengaruh waktu dan suhu terhadap peningkatan nilai TPC, yang dapat dijelaskan melalui pendekatan kinetika pertumbuhan mikroorganisme yang dipengaruhi oleh parameter lingkungan.

Berdasarkan teori tersebut, dilakukan pengujian nilai TPC VCO terhadap variabel waktu dan kondisi penyimpanan pada berbagai suhu. Selanjutnya, data hasil pengujian diolah untuk memperoleh model kinetika dan memprediksi masa simpan VCO menggunakan pendekatan regresi linier (polinomial orde satu) dengan rumus sebagai berikut:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x + \dots + a_px^p$$

Dimana:

y = Variabel Dependen

x = Variabel Independen

a = Koefisien

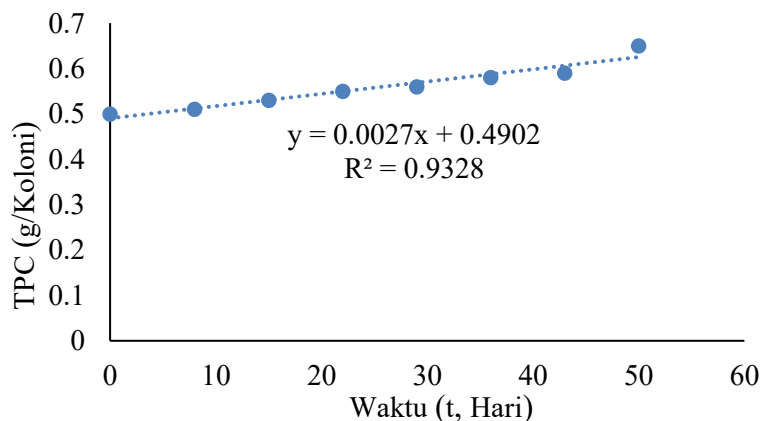
p = Derajat (linear atau kuadratik)

Telah diperoleh data hasil nilai *Total Plate Count* (TPC) berdasarkan variasi waktu penyimpanan *Virgin Coconut Oil* (VCO) pada kemasan botol kaca gelap kondisi tertutup pada suhu 28°C, 40°C dan 50°C. Hasil data yang diperoleh kemudian diolah menggunakan model regresi polinomial.

A. Total Plate Count (TPC) Virgin Coconut Oil pada Suhu 28°C

Tabel 1 Hasil Pengamatan TPC VCO pada Suhu Penyimpanan 28°C

No	Waktu (Hari)	TPC (g/koloni)
1	0	0.5
2	8	0.51
3	15	0.53
4	22	0.55
5	29	0.56
6	36	0.58
7	43	0.59
8	50	0.65



Gambar 1 Grafik Hubungan antara Waktu Simpan dengan Nilai TPC dalam VCO pada Suhu 28°C

Berdasarkan Tabel 1 hasil pengamatan, variasi suhu penyimpanan memberikan pengaruh terhadap kestabilan mikrobiologis *virgin coconut oil* yang ditunjukkan melalui parameter TPC. Pada suhu 28°C, nilai TPC meningkat dari 0,50 g/koloni pada hari ke-0 menjadi 0,65 g/koloni setelah 50 hari penyimpanan. Peningkatan ini menunjukkan bahwa pada suhu tersebut masih terjadi pertumbuhan mikroorganisme selama penyimpanan. Dengan demikian, semakin tinggi atau kurang ter kendalinya suhu penyimpanan, maka kestabilan mikrobiologis VCO cenderung menurun, yang ditandai dengan meningkatnya nilai TPC seiring bertambahnya waktu simpan (Sari, Pramitha dan Wardani, 2022).

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu penyimpanan VCO maka nilai TPC cenderung meningkat. Peningkatan nilai TPC ini menunjukkan adanya pertumbuhan mikroorganisme selama penyimpanan. Hubungan antara waktu simpan dan nilai TPC dianalisis menggunakan pendekatan kinetika orde nol, dengan asumsi bahwa laju peningkatan jumlah mikroorganisme berlangsung secara konstan terhadap waktu pada

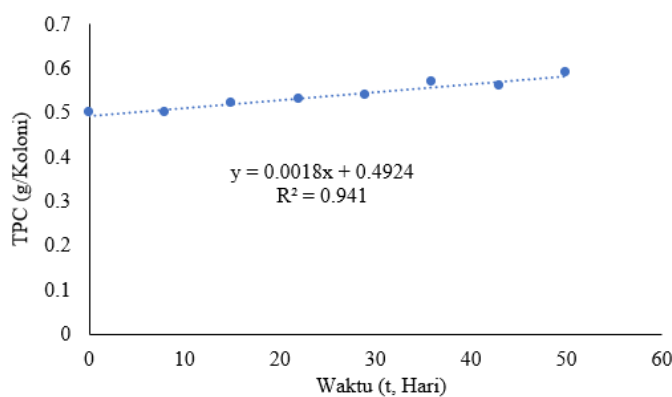
kondisi penyimpanan yang stabil.

Model kinetika orde nol dinyatakan dengan persamaan  $TPC = TPC_0 + kt$ , di mana  $k$  merupakan konstanta laju peningkatan TPC. Berdasarkan hasil analisis regresi linier antara waktu simpan dan nilai TPC diperoleh persamaan  $y = 0,0027x + 0,4902$  dengan nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) sebesar 0,9328. Nilai  $R^2$  yang mendekati 1 menunjukkan bahwa model kinetika orde nol cukup baik dalam menggambarkan perubahan nilai TPC selama penyimpanan VCO pada suhu 28°C. Oleh karena itu, nilai kemiringan garis regresi sebesar 0,0027 dapat dinyatakan sebagai konstanta kinetika yang menunjukkan laju peningkatan *Total Plate Count* per hari.

B. Total Plate Count (TPC) Virgin Coconut Oil pada Suhu 40°C

Tabel 2 Hasil Pengamatan TPC VCO pada Suhu Penyimpanan 40°C

No	Waktu (Hari)	TPC (g/koloni)
1	0	0.50
2	8	0.50
3	15	0.52
4	22	0.53
5	29	0.54
6	36	0.57
7	43	0.56
8	50	0.59



Gambar 2 Grafik Hubungan antara Waktu Simpan dengan Nilai TPC dalam VCO pada Suhu 40°C

Berdasarkan Tabel 2, pada penyimpanan suhu 40°C, nilai TPC dari hari ke-0 hingga hari ke-8 tetap sebesar 0,50 g/koloni, kemudian meningkat secara bertahap hingga mencapai 0,59 g/koloni pada hari ke-50. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi suhu penyimpanan berpengaruh terhadap kestabilan mikrobiologis VCO. Meskipun pada suhu 40°C masih terjadi peningkatan jumlah mikroorganisme selama penyimpanan, kenaikannya relatif lebih lambat dibandingkan suhu 28°C. Hal ini menegaskan bahwa perbedaan suhu penyimpanan memengaruhi aktivitas dan pertumbuhan mikroorganisme, yang tercermin dari perubahan nilai TPC sebagai indikator kestabilan mikrobiologis *virgin coconut oil* (Sari, Pramitha dan Wardani, 2022).

Pada Gambar 2, nilai TPC pada VCO menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya waktu penyimpanan pada suhu 40°C. Namun, laju peningkatan TPC pada suhu ini lebih rendah dibandingkan suhu 28°C, yang mengindikasikan adanya pengaruh suhu terhadap aktivitas pertumbuhan mikroorganisme.

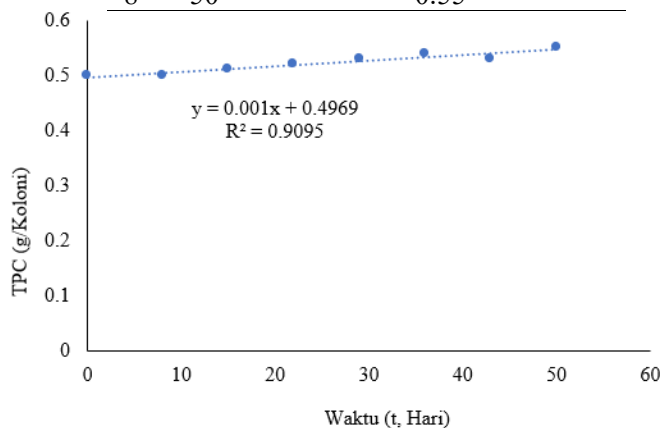
Hubungan antara waktu penyimpanan dan nilai TPC dianalisis menggunakan regresi linier, yang menghasilkan nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) sebesar 0,941. Nilai tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara waktu dan peningkatan nilai TPC dapat

direpresentasikan dengan baik oleh model linier. Dengan demikian, kemiringan garis regresi sebesar 0,0018 dapat diinterpretasikan sebagai konstanta kinetika yang menggambarkan laju peningkatan *Total Plate Count* selama penyimpanan pada suhu 40°C.

C. Total Plate Count (TPC) Virgin Coconut Oil pada Suhu 50°C

Tabel 3 Hasil Pengamatan TPC VCO pada Suhu Penyimpanan 50°C.

No	Waktu (Hari)	TPC (g/koloni)
1	0	0.5
2	8	0.5
3	15	0.51
4	22	0.52
5	29	0.53
6	36	0.54
7	43	0.53
8	50	0.55



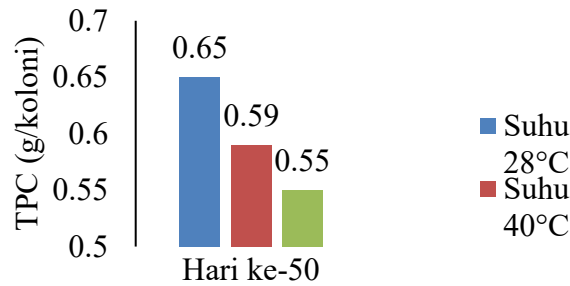
Gambar 3 Grafik Hubungan antara Waktu Simpan dengan Nilai TPC dalam VCO pada Suhu 50°C

Berdasarkan data hasil pengujian *Total Plate Count* (TPC) pada penyimpanan suhu 50 °C, nilai TPC pada awal pengamatan (hari ke-0) tercatat sebesar 0,50 g/koloni dan relatif stabil hingga hari ke-8. Selanjutnya, nilai TPC mengalami peningkatan secara bertahap dan mencapai 0,55 g/koloni pada hari ke-50. Hasil ini menunjukkan bahwa selama penyimpanan pada suhu 50 °C tetap terjadi pertumbuhan mikroorganisme, namun dengan laju peningkatan yang lebih lambat dibandingkan suhu penyimpanan yang lebih rendah. Pola peningkatan nilai TPC yang relatif kecil mengindikasikan bahwa suhu penyimpanan yang lebih tinggi dapat menghambat aktivitas dan pertumbuhan mikroorganisme dalam VCO. Meskipun pada beberapa waktu pengamatan terjadi fluktuasi nilai TPC, secara umum jumlah mikroba tetap menunjukkan kecenderungan meningkat hingga akhir masa penyimpanan. Kondisi ini menunjukkan bahwa suhu tinggi berperan dalam menekan laju pertumbuhan mikroorganisme, sehingga dapat membantu mempertahankan mutu mikrobiologi pada VCO selama penyimpanan.

Berdasarkan Gambar 3, nilai TPC dalam VCO cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya waktu penyimpanan pada suhu 50°C. Pola peningkatan nilai TPC terhadap waktu menunjukkan hubungan yang mendekati linier, sehingga perubahan nilai TPC dapat dijelaskan menggunakan pendekatan regresi linier.

Hasil regresi linier menghasilkan nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) sebesar 0,9095 yang menunjukkan bahwa model linier cukup baik dalam merepresentasikan hubungan antara waktu penyimpanan dan peningkatan nilai TPC. Oleh karena itu, nilai kemiringan garis regresi sebesar 0,001 dinyatakan sebagai konstanta kinetika yang menunjukkan laju peningkatan TPC selama penyimpanan pada suhu 50°C.

Berdasarkan data pada masing-masing tabel untuk setiap variasi suhu, terlihat bahwa nilai *Total Plate Count* (TPC) mengalami peningkatan pada kondisi pengujian yang seragam, mulai dari hari ke-0 hingga hari ke-50. Meskipun terjadi kenaikan selama periode penyimpanan, nilai TPC pada ketiga sampel VCO tersebut masih berada di bawah batas maksimum yang ditetapkan oleh standar APCC dan SNI, yaitu sebesar 10 g/koloni. Untuk memperoleh perkiraan waktu simpan (hari) ketika nilai TPC mencapai batas tersebut, dilakukan perhitungan menggunakan metode ekstrapolasi dengan pendekatan persamaan polinomial orde satu.



Gambar 4 Perbandingan TPC *Virgin Coconut Oil* Penyimpanan Hari ke-50.

Berdasarkan grafik TPC hari ke-50, suhu penyimpanan memengaruhi kestabilan mikrobiologis VCO. Nilai TPC tertinggi terdapat pada 28°C (0,65), diikuti 40°C (0,59), dan terendah 50°C (0,55). Semakin lama penyimpanan, kualitas mikrobiologis cenderung menurun yang ditandai dengan peningkatan jumlah koloni. Suhu yang lebih tinggi menunjukkan jumlah mikroba lebih rendah dibanding suhu ruang. Hingga hari ke-50, VCO pada ketiga suhu masih memenuhi standar mikrobiologis.

## 2. Penentuan Konstanta Arrhenius

Pendekatan Arrhenius merupakan dasar dalam metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT) yang digunakan untuk memperkirakan umur simpan suatu produk. Konstanta Arrhenius ( $k$ ) merupakan parameter yang menggambarkan laju terjadinya suatu reaksi, yang dalam penelitian ini digunakan untuk merepresentasikan kecepatan peningkatan nilai *Total Plate Count* (TPC) pada VCO. Hubungan antara konstanta laju reaksi ( $k$ ) dan suhu mutlak ( $T$ ) dinyatakan dengan Persamaan Arrhenius sebagai berikut:

$$k = k' \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$$

Dimana:

- $k$  = Konstanta Kinetik
- $k'$  = Konstanta Arrhenius
- $E_a$  = Energi Aktivasi
- $R$  = Konstanta Gas Ideal
- $T$  = Suhu Mutlak (K)

Untuk mempermudah analisis, persamaan Arrhenius dapat ditulis dalam bentuk logaritmik:

$$\ln(k) = \ln(k') - \left(\frac{E_a}{R}\right)\left(\frac{1}{T}\right)$$

Persamaan tersebut diperoleh dari penerapan logaritma natural pada persamaan Arrhenius, yang bertujuan untuk mengubah hubungan berbentuk eksponensial menjadi hubungan linier, sehingga lebih mudah dianalisis secara statistik dengan mengikuti bentuk umum  $y = mx + c$ .

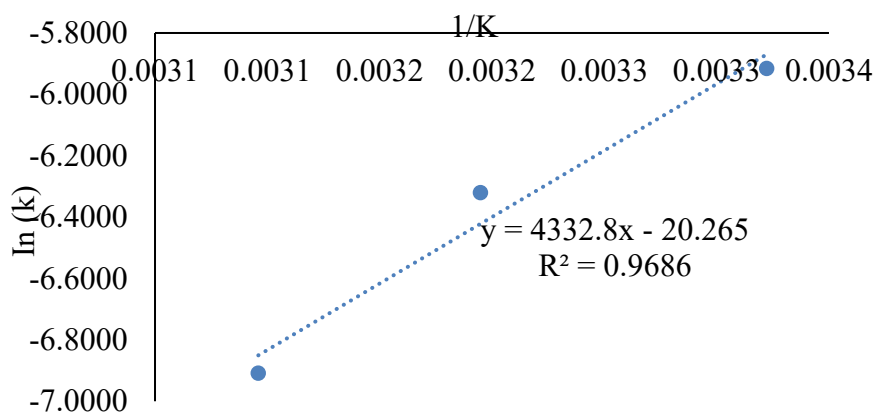
### A. Hasil Perhitungan dari Persamaan Arrhenius

Tabel 4 Data Hasil Perhitungan Persamaan Arrhenius

Parameter	28°C	40°C	50°C
T (K)	301	313	323
k (Konstanta Kinetika)	0,0027	0,0018	0,001
$\frac{1}{T}$	0,0033	0,0032	0,0031
ln (k)	-5,9145	-6,3200	-6,9078
$\frac{E_a}{R}$	-4332,8	-4332,8	-4332,8

B. Menentukan nilai ln(k') dan k'(eksponen)

Untuk mempermudah penentuan nilai ln(k'), dilakukan proses linierisasi, yaitu dengan mengubah hubungan matematis yang kompleks menjadi bentuk garis lurus sehingga parameter kinetika dapat dihitung dengan lebih mudah. Proses ini dilakukan dengan menyusun grafik hubungan antara ln(k) dan 1/T pada suhu 28°C, 40°C, dan 50°C.



Gambar 5 Grafik data Persamaan Arrhenius dengan Data Keseluruhan Suhu

Berdasarkan Gambar 4, terlihat bahwa hubungan antara ln(k) dan 1/K dari seluruh variasi suhu penyimpanan (28 °C, 40 °C, dan 50 °C) membentuk pola linier yang jelas. Pola ini menunjukkan bahwa data laju peningkatan *Total Plate Count* (TPC) pada VCO mengikuti model Arrhenius, di mana kenaikan suhu berpengaruh terhadap nilai konstanta laju reaksi (k).

Terbentuknya garis lurus pada grafik ln(k) terhadap 1/K menandakan bahwa persamaan Arrhenius dapat digunakan untuk menggambarkan pengaruh suhu terhadap laju pertumbuhan mikroorganisme dalam VCO. Semakin tinggi suhu penyimpanan, nilai ln(k) cenderung meningkat, yang menunjukkan bahwa suhu memiliki peranan penting dalam mempercepat atau memperlambat laju peningkatan TPC. Hal ini sesuai dengan prinsip kinetika reaksi yang menyatakan bahwa suhu memengaruhi energi kinetik molekul sehingga berdampak pada kecepatan reaksi atau aktivitas mikroorganisme.

Kesesuaian data terhadap model Arrhenius juga menunjukkan bahwa pendekatan *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT) dapat diterapkan untuk memperkirakan umur simpan VCO berdasarkan parameter TPC. Dengan adanya hubungan linier ini, parameter kinetika seperti energi aktivasi ( $E_a$ ) dan konstanta Arrhenius dapat dihitung, yang selanjutnya dapat digunakan untuk memprediksi laju peningkatan TPC pada suhu penyimpanan yang berbeda.

3. Prediksi Masa Kedaluwarsa VCO Berdasarkan Parameter TPC

Dalam melakukan simulasi prediksi TPC, langkah awal yang dilakukan adalah menentukan nilai konstanta laju reaksi (k), yang diperoleh dari hasil perkalian k' dengan

fungsi eksponensial Arrhenius, yaitu  $k = k' \times \exp(-E_a/RT)$ . Nilai  $k$  tersebut kemudian digunakan untuk menghitung perubahan parameter mutu berdasarkan persamaan kinetika orde nol, yaitu  $TPC = TPC_0 + k.t$ , di mana  $TPC_0$  merupakan nilai awal TPC,  $k$  adalah konstanta laju, dan  $t$  adalah waktu penyimpanan (hari). Melalui persamaan ini dapat diprediksi peningkatan nilai TPC selama penyimpanan sehingga diperoleh estimasi masa kedaluwarsa pada masing-masing suhu penyimpanan.

Tabel 5 Hasil Simulasi Prediksi Masa Kedaluwarsa VCO pada suhu 28°C

T (K)	t (hari)	k	TPC	SSE
301	0	0.002821983	0.5000	0.000000
	8		0.5226	0.000158
	15		0.5423	0.000152
	22		0.5621	0.000146
	29		0.5818	0.000477
	36		0.6016	0.000466
	43		0.6213	0.000983
	50		0.6411	0.000079
Kedaluwarsa			3366.43	Hari
			112.21	Bulan
			9.35	Tahun

Tabel 6 Hasil Simulasi Prediksi Masa Kedaluwarsa VCO pada suhu 40°C

T (K)	t (hari)	k	TPC	SSE
313	0	0.001625	0.5000	0.000000
	8		0.5130	0.000169
	15		0.5244	0.000019
	22		0.5358	0.000033
	29		0.5471	0.000051
	36		0.5585	0.000132
	43		0.5699	0.000098
	50		0.5813	0.000076
Kedaluwarsa			5845.81	Hari
			194.86	Bulan
			16.24	Tahun

Tabel 7 Hasil Simulasi Prediksi Masa Kedaluwarsa VCO pada suhu 50°C

T (K)	t (hari)	k	TPC	SSE
323	0	0.001059	0.5000	0.000000
	8		0.5085	0.000072
	15		0.5159	0.000035
	22		0.5233	0.000011
	29		0.5307	0.000000
	36		0.5381	0.000004
	43		0.5455	0.000241
	50		0.5529	0.000009
Kedaluwarsa			8973.67	Hari
			299.12	Bulan
			24.93	Tahun

Berdasarkan hasil simulasi prediksi pada tiga variasi suhu penyimpanan, terlihat bahwa nilai TPC meningkat secara bertahap seiring bertambahnya waktu, mengikuti model kinetika yang digunakan. Nilai konstanta laju reaksi ( $k$ ) yang diperoleh dari persamaan Arrhenius menunjukkan adanya pengaruh suhu terhadap kecepatan peningkatan TPC, dimana suhu yang lebih tinggi menghasilkan nilai  $k$  yang lebih besar sehingga laju

pertumbuhan mikroorganisme menjadi lebih cepat dan masa simpan menjadi lebih pendek. Sebaliknya, pada suhu yang lebih rendah, peningkatan TPC berlangsung lebih lambat sehingga estimasi masa kedaluwarsa menjadi lebih panjang. Nilai SSE yang relatif kecil pada seluruh suhu menunjukkan bahwa model memiliki tingkat kesesuaian yang baik terhadap data aktual, sehingga dapat digunakan untuk memprediksi masa simpan VCO berdasarkan parameter TPC secara cukup akurat.

Berdasarkan data pada masing-masing tabel, diketahui bahwa batas mutu kedaluwarsa yang ditetapkan oleh APCC dan standar SNI adalah nilai *Total Plate Count* maksimum sebesar 10 g/koloni. Dengan mengacu pada batas tersebut, dapat ditentukan batas maksimum masa penyimpanan VCO berdasarkan parameter *Total Plate Count* dalam kemasan botol kaca gelap dengan kondisi tertutup, yaitu pada suhu 28°C selama 9,35 tahun, suhu 40 °C selama 16,24 tahun dan suhu 50 °C selama 24,93 tahun.

#### 4. Perbandingan Prediksi Masa Kedaluwarsa VCO Berdasarkan Variasi Suhu

Berdasarkan data pada masing-masing tabel untuk setiap variasi suhu, terlihat bahwa nilai (TPC) mengalami peningkatan pada kondisi pengujian yang seragam, mulai dari hari ke-0 hingga hari ke-50. Meskipun terjadi kenaikan selama periode penyimpanan, nilai TPC pada ketiga sampel VCO tersebut masih berada di bawah batas maksimum yang ditetapkan oleh standar APCC dan SNI, yaitu sebesar 10 g/koloni. Untuk memperoleh perkiraan waktu simpan (hari) ketika nilai TPC mencapai batas tersebut, dilakukan perhitungan menggunakan metode ekstrapolasi dengan pendekatan persamaan polinomial orde satu.

Tabel 8 Perbandingan Nilai TPC dalam VCO terhadap Variasi Suhu

No.	t (hari)	TPC (g/ Koloni)		
		Penyimpanan 28°C	Penyimpanan 40°C	Penyimpanan 50°C
1	0	0.5	0.5	0.5
2	8	0.51	0.5	0.5
3	15	0.53	0.52	0.51
4	22	0.55	0.53	0.52
5	29	0.56	0.54	0.53
6	36	0.58	0.57	0.54
7	43	0.59	0.56	0.53
8	50	0.65	0.59	0.55
Hasil prediksi masa simpan (tahun)		9.35	16.24	24.93

Berdasarkan Tabel 8, peningkatan nilai TPC pada VCO selama penyimpanan disebabkan oleh aktivitas dan pertumbuhan mikroorganisme yang masih bertahan dalam minyak. Mikroorganisme memanfaatkan sisa nutrisi dan senyawa organik minor untuk metabolisme dan reproduksi, sehingga jumlah koloni meningkat seiring waktu penyimpanan.

Ditinjau dari kinetika pertumbuhan mikroba, kenaikan suhu penyimpanan meningkatkan energi kinetik dan aktivitas enzim mikroorganisme. Hal ini mempercepat reaksi biokimia dalam sel sehingga frekuensi pembelahan meningkat dan nilai TPC bertambah. Secara termodinamika, suhu yang lebih tinggi membantu sistem melampaui energi aktivasi ( $E_a$ ), sehingga proses metabolisme dan pertumbuhan mikroorganisme berlangsung lebih cepat.

Suhu penyimpanan yang lebih tinggi mempercepat laju peningkatan TPC, sehingga jumlah mikroorganisme dalam VCO lebih cepat mendekati batas maksimum standar keamanan pangan (APCC dan SNI) yaitu 10 koloni/gram. Akibatnya, umur simpan mikrobiologis VCO menjadi lebih pendek pada suhu yang lebih tinggi karena pertumbuhan

mikroorganisme berlangsung lebih cepat menuju batas cemaran yang diizinkan (Pramono dkk, 2024).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh waktu dan suhu penyimpanan terhadap kestabilan mikrobiologis *Virgin Coconut Oil* (VCO) dalam kemasan botol kaca gelap tertutup berdasarkan parameter *Total Plate Count* (TPC), maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Peningkatan suhu penyimpanan menyebabkan laju peningkatan nilai TPC menjadi lebih lambat, sehingga pertumbuhan mikroorganisme dalam VCO cenderung terhambat dan kestabilan mikrobiologis VCO lebih baik pada suhu tinggi dibandingkan suhu rendah dalam kemasan botol kaca gelap tertutup.
2. VCO yang disimpan dalam botol kaca gelap tertutup masih memenuhi batas maksimum TPC sesuai standar SNI dan APCC hingga 9,35 tahun pada suhu 28°C, 16,24 tahun pada suhu 40°C, dan 24,93 tahun pada suhu 50°C, dengan perbedaan waktu simpan dipengaruhi oleh laju peningkatan TPC yang lebih lambat pada suhu tinggi.

## Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, *Virgin Coconut Oil* (VCO) sebaiknya disimpan dalam kemasan botol kaca gelap tertutup untuk menjaga kestabilan mikrobiologis selama penyimpanan. Selain itu, penyimpanan VCO pada suhu yang relatif tinggi namun stabil dapat dipertimbangkan, karena berdasarkan parameter *Total Plate Count* (TPC) terbukti mampu menghambat laju pertumbuhan mikroorganisme dibandingkan penyimpanan pada suhu yang lebih rendah. Penentuan masa simpan VCO hendaknya mengacu pada hasil prediksi berbasis parameter mikrobiologis agar produk yang beredar tetap memenuhi standar keamanan pangan sesuai SNI dan APCC hingga akhir masa simpannya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aladin, A. (2020) 'Produksi *Virgin Coconut Oil* (VCO) Zero Limbah', Makassar.
- APCC standard (2009) '*Apcc standards for virgin coconut oil*', APCC standard.
- Badan Standardisasi Nasional (2008) 'Minyak Kelapa Virgin (VCO)', SNI 7381:2008.
- Fitriani, N., Aladin, A. dan 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*, Vol. 8(1), pp. 1151–1160.
- Gondokesumo, M.E., Sapei, L., Wahjudi, M. dan Suseno, N. (2018) '*Virgin Coconut Oil*'. Yogyakarta.
- Harimurti, S., Rumagesan, R.M. dan Susanawati (2020) '*Environmentally Friendly Production Method of Virgin Coconut Oil Using Enzymatic Reaction*', *Materials Science and Engineering*, Vol. 874(1), pp. 1–7.
- Indahsari, A.P. dan Lusiani, C.E. (2023) 'Efek Lama Waktu Fermentasi Selama Kurang dari 24 Jam terhadap Karakteristik VCO menggunakan Ragi Tempe dengan Konsentrasi Nutrisi Ragi 2% B/V', *Jurnal Teknologi Separasi*, Vol. 9(1), pp. 120–129.
- Irfan, M. dan Jufri, I. (2021) '*Total Plate Count* (TPC) Dangke yang Dibuat dengan Berbagai Level Getah Pepaya Kering dan Suhu Pemanasan', *Jurnal Sains dan Teknologi Industri Peternakan*, Vol. 1(2), pp. 22–23.
- Javed, M.S., Nawaz, H., Filza, F., Anwar, M.J., Hassan Shah, F.U., Ali, U., Tariq, M.R., Hafeez, H., Alsulami, T., Jagdale, Y.D., Mugabi, R. dan Nayik, G.A. (2025) '*Optimization of Calcium Chloride and Ultrasonication Pre-treatment to Mitigate the Microbial Load on Fresh Carrots Using Response Surface Methodology*', *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol. 16(1), pp. 1–9.
- Jusman, J. dan Syamsuddin, S. (2025) '*Oxidative Stability and Shelf-Life Estimation of Virgin and*

- Refined Coconut Oils during Storage: A Comparative Approach*, *International Journal of Science, Architecture, Technology and Environment*, Vol. 02(04), pp. 745–759.
- Maini, Z.A. dan Lopez, C.M. (2022) ‘*Transitions in Bacterial Communities Across Two Fermentation-Based Virgin Coconut Oil (VCO) Production Processes*’, *Heliyon*, Vol. 8(8), pp. 1–13.
- Nurminah, M., Lubis, L.M. dan 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*, Vol. 12(1), pp. 1–8.
- Rachmawati, D.O., Suswandi, I. dan Yasmini, L.P.B. (2022) ‘*Pendampingan Uji Kadar Air Kualitas VCO Berdasarkan Standar Nasional Indonesia Produksi Kwt Tunas Amerta*’, *Jurnal Widya Laksana*, Vol. 11(1), pp. 158–164.
- Rahakbauw, S.N., Saleh, M., Rusliana, E. dan Ibrahim, A.B. (2024) ‘*Pendugaan Umur Simpan VCO (Virgin Coconut Oil) Desa Moiso menggunakan Metode ASLT (Accelerated Shelf Life Testing) dengan Pendekatan Arrhenius*’, *Seminar Nasional Teknologi Pertanian Indonesia*, Vol. 1(2), pp. 127–139.
- Rangana, W.M.D. dan Wickramasinghe, I. (2023) ‘*Comparison of Physicochemical Characteristics of Virgin Coconut Oils from Traditional and Hybrid Coconut Varieties*’, *Journal of Agriculture and Food Research*, Vol. 12(2), pp. 1–7.
- Rizki, Z., Fitriana, F. dan Jumadewi, A. (2022) ‘*Identifikasi Jumlah Angka Kuman pada Dispenser Metode TPC (Total Plate Count)*’, *Jurnal SAGO Gizi dan Kesehatan*, Vol. 4(1), pp. 38–43.
- Rosmawati, R., Syam, H. dan Sukainah, A. (2021) ‘*Pengaruh Jenis Kemasan dan Lama Penyimpanan terhadap Kualitas Minuman Khas Sinjai (Ires)*’, *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, Vol. 2(4), pp. 79–92.
- Rozali, Z.F. (2024) ‘*Proses Ekstraksi dan Karakteristik Fisiko-Kimia Virgin Coconut Oil*’, *Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, Vol. 2(4), pp. 622–629.
- Said, M.A., Utami, R.W. dan Khumaira, A. (2023) ‘*Uji Angka Lempeng Total (ALT) dan Angka Kapang Khamir (AKK) Simplisia Kunyit (Curcuma Domestica)*’, *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, Vol. 1(2), pp. 513–528.
- Sari, L.D.C.K., Pramitha, D.A.I. dan Wardani, I.G.A.A.K. (2022) ‘*Analisis Angka Lempeng Total Minyak Balur Kombinasi VCO dan Cabai Jawa (Piper retrofractum Vahl) dengan Variasi Suhu Pemanasan*’, *Jurnal Intergrasi Obat Tradisional*, Vol. 2(1), pp. 14–20.
- Sarkar, M.A.A.S.U., Saha, B.K., Kabir, M.A., Islam, M.T., Khatun, M.M. dan Siddik, M.N.A. (2025) ‘*Fatty Acid Profile, Antioxidant Capabilities and Physico-Chemical Assessment of Functional Oils from Safflower Seeds: A Potential Source in Bangladesh*’, *Results in Chemistry*, Vol. 15(1), pp. 1–8.
- Seru, F. (2021) ‘*Metode Pembagian Sintetik untuk Menghitung Invers Matriks Vandermonde dan Aplikasinya dalam Memprediksi Harga Saham*’, *Jurnal Matematika UNAND*, Vol. 10(4), pp. 519–526.
- Sinaga, A.M.T., Permadi, A., Sofiana, N., Firdaus, S.M., Wilson Putri, M., Nazzal, S. dan Mohamed, F. (2024) ‘*Analysis of Virgin Coconut Oil and Its Potential in Food, Nutrition, and Health*’, *Jurnal Teknik Kimia*, Vol. 11(3), pp. 124–131.
- Sundrasegaran, S. dan Mah, S.H. (2020) ‘*Extraction Methods of Virgin Coconut Oil and Palm-pressed Mesocarp Oil and their Phytonutrients*’, *eFood*, Vol. 1(6), pp. 381–391.
- Suryani, S., Sariani, S., Earnestly, F., Marganof, M., Rahmawati, R., Sevindrajuta, S., Indra Mahlia, T.M. dan Fudholi, A. (2020) ‘*A Comparative Study of Virgin Coconut Oil, Coconut Oil and Palm Oil in Terms of Their Active Ingredients*’, *Processes*, Vol. 8(4), pp. 1–11.
- Ungphai boon, S., Ardhanwanich, S., Maneenuan, D., Pinsuwan, S. dan Mahasawat, P. (2025) ‘*Evaluation of Nano-Sized Virgin Coconut Oil (VCO)-Loaded Liposomes for Enhancing Mushroom and B16-F10 Tyrosinase Activity*’, *OpenNano*, Vol. 22(2), pp. 1–13.