

**PENGARUH VARIASI LAMA PENYIMPANAN DALAM RUANGAN DAN
FREKUENSI PENYIRAMAN TERHADAP AKTIVITAS EKSTRAK
KASAR ENZIM LIPASE BUAH SAWIT (*Elaeis guineensis*) *OVERRIPE***

(SKRIPSI)

Oleh

**Merlina Febri Anggraini
2114051047**



**JURUSAN TEKNOLOGI HASIL PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI LAMA PENYIMPANAN DALAM RUANGAN DAN FREKUENSI PENYIRAMAN TERHADAP AKTIVITAS EKSTRAK KASAR ENZIM LIPASE BUAH SAWIT (*Elaeis guineensis*) *OVERRIPE*

Oleh

MERLINA FEBRI ANGGRAINI

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lama penyimpanan dalam ruangan dan frekuensi penyiraman terhadap aktivitas ekstrak kasar enzim lipase dari buah sawit *overripe*. Penelitian dilakukan dengan Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) dua faktor: lama penyimpanan (0, 24, 48, dan 72 jam) dan penyiraman (tanpa penyiraman dan penyiraman tiap 12 jam). Aktivitas enzim diukur menggunakan metode titrasi dengan NaOH setelah inkubasi enzim dan minyak sawit. Analisis data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan analisis ragam dan Orthogonal Polynomial (OP). Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa buah sawit *overripe*, lama penyimpanan, penyiraman, dan inkubasi keduanya berpengaruh terhadap aktivitas enzim. Analisis lebih lanjut dilakukan dengan Orthogonal Polinomial, menunjukkan bahwa perlakuan penyiraman (A) memiliki nilai F hitung sebesar 73, 124 yang jauh lebih besar dari F tabel pada taraf 5% (4,600) dan 1% (8,862) dengan tingkat signifikansi sangat nyata (**).

Kata kunci: buah sawit *overripe*, enzim lipase, penyimpanan, penyiraman, aktivitas enzim.

ABSTRACT

THE EFFECT OF INDOOR STORAGE TIME AND WATERING FREQUENCY ON THE ACTIVITY OF LIPASE ENZYME CRUDE EXTRACT OF OVERRIPE PALM FRUIT (*Elaeis guineensis*)

By

MERLINA FEBRI ANGGRAINI

This study aimed to determine the effect of storage indoor conditions and watering frequency on the activity of crude lipase enzyme extract from *overripe* oil palm fruit. The research was conducted factorially using a Complete Randomized Block Design (CRBD) with two factors: indoor storage time (0, 24, 48, and 72 hours) and watering (without watering and watering every 12 hours). Enzyme activity was measured using the titration method with NaOH after incubation of enzyme and palm oil. The data analysis used in this study was Analysis of Variance and Orthogonal Polynomial (OP). The results of the variance analysis showed that overripe palm fruit, storage time, watering, and incubation all affected enzyme activity. Further analysis was carried out with Orthogonal Polynomial, showing that the watering treatment (A) had a calculated F value of 73.124 which was much greater than the table F at the level of 5% (4.600) and 1% (8.862) with a very significant level (**).

Keywords: *overripe* oil palm fruit, lipase enzyme, storage, irrigation, enzyme activity.

**PENGARUH VARIASI LAMA PENYIMPANAN DALAM RUANG DAN
FREKUENSI PENYIRAMAN TERHADAP AKTIVITAS EKSTRAK
KASAR ENZIM LIPASE BUAH SAWIT (*Elaeis guineensis*) *OVERRIPE***

Oleh

Merlina Febri Anggraini

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN**

Pada

**Jurusan Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**Fakultas Pertanian
Universitas Lampung
Bandar Lampung
2025**

Judul Skripsi

: **PENGARUH VARIASI LAMA
PENYIMPANAN DALAM RUANG DAN
FREKUENSI PENYIRAMAN
TERHADAP AKTIVITAS EKSTRAK
KASAR ENZIM LIPASE BUAH SAWIT
(*Elaeis guineensis*) OVERRIPE**

Nama Mahasiswa

: **Merlina Febri Anggraini**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2114051047

Program Studi

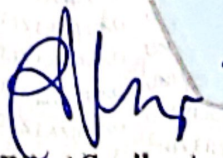
: **Teknologi Hasil Pertanian**

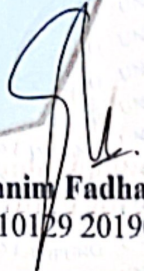
Fakultas

: **Pertanian**

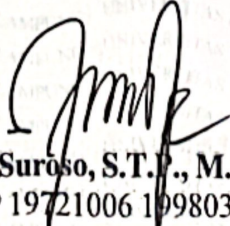


1. **Komisi Pembimbing**


Dr. Ir. Ribut Sugiharto, M. Sc
NIP 19660314 199003 1009


Esa Ghanim Fadhallah, S.Pi., M.Si.
NIP 19910129 201903 1014

2. **Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian**


Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A. C.EIA
NIP 19721006 199803 1 005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Ir. Ribut Sugiharto, M. Sc.

.....

Sekretaris : Esa Ghanim Fadhallah, S.Pi., M.Si.

.....

Penguji
Bukan Pembimbing : Prof. Dr. Sri Hidayati, S.T.P., M.P.

.....

2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kusyanta Futas Hidayat, M.P.

NIP. 19641118 198902 1 002

.....

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 26 Juni 2025

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Merlina Febri Anggraini

NPM : 2114051047

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil kerja saya sendiri berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini tidak berisi material yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukan hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila terdapat kecurangan dikemudian hari dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 13 Agustus 2025
Pembuat pernyataan



Merlina Febri Anggraini
NPM 2114051047

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Desa Yukum Jaya, Kecamatan Terbanggi Besar, Kabupaten Lampung Tengah, Provinsi Lampung pada tanggal 02 Februari 2003 sebagai anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Jumingan dan Ibu Astri Sawiyati. Penulis menyelesaikan pendidikan di Taman Kanak-Kanak (TK) IT Bustanul Ulum pada tahun 2008, Sekolah Dasar di SD IT Bustanul Ulum pada tahun 2015, Sekolah Menengah Pertama di SMP IT Bustanul Ulum Terbanggi Besar pada tahun 2018, dan Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Terbanggi Besar pada tahun 2021. Penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada tahun 2021 melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Pada bulan Januari-Februari 2024, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Tanjung Kurung Lama, Kecamatan Kasui, Kabupaten Way Kanan, Provinsi Lampung. Pada bulan Juli-Agustus 2024, penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di PT. Great Giant Pineapple, Kabupaten Lampung Tengah dengan judul “Penerapan Sanitasi dalam Proses Labelling & Packaging untuk Mencegah Kontaminasi dan Menjaga Kualitas Produk Kaleng Nanas di PT. Great Giant Pineapple”.

SANWACANA

Puji dan syukur penulis haturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi Lama Penyimpanan dan Frekuensi Penyiraman Terhadap Aktivitas Ekstrak Kasar Enzim Lipase Buah Sawit (*Elaeis Guineensis* *Override*)” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pertanian di Universitas Lampung ini dengan baik. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini telah banyak mendapatkan arahan, bimbingan, bantuan, nasihat, serta dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh sebab itu, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A. C. EIA., selaku Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Samsul Rizal, M.Si., selaku Koordinator Program Studi Teknologi Hasil pertanian, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Ir. Ribut Sugiharto, M. Sc., selaku Dosen Pembimbing Akademik sekaligus Dosen Pembimbing Pertama yang telah memberikan bimbingan, bantuan, kritik, saran, arahan dan nasihat kepada penulis selama menjalani perkuliahan hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak Esa Ghanim Fadhallah, S.Pi., M.Si., selaku Dosen Pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, bantuan kritik, saran arahan dan nasihat kepada penulis selama menjalani perkuliahan hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

6. Ibu Prof. Dr. Sri Hidayati, S.T.P., M.P., selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan saran, masukan, dan evaluasi dalam perbaikan dan penyelesaian skripsi ini.
7. Bapak dan Ibu Dosen Pengajar, Staf dan Karyawan di Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung yang telah mengajari, membimbing, membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, serta memberikan banyak ilmu dan wawasan kepada penulis.
8. Superhero dan panutanku tercinta Bapak Jumingan serta Pintu surgaku Ibu Astri Sawiyati, terimakasih selalu berjuang untuk kehidupan penulis, atas segala kasih sayang, dukungan, motivasi, semangat, nasihat, fasilitas, serta doa yang sangat luar biasa yang selalu menyertai penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan studinya hingga meraih gelar sarjana.
9. Kakakku tersayang, Meilan Anggraini yang telah memberikan dukungan, motivasi dan doa kepada penulis.
10. Sahabat penulis Aisah Putri Muslimah, Neni Rahma Agustin, Devi Paramita, Novenda Abelia, Sarah Insani Daetalova dan Yoan Astrid Putri yang selalu memberikan semangat dan dukungan kepada penulis.
11. Teman-teman grup Teman Naufal (Juliandro Ragil, M Alfian, Naufal Bintang), Teman kecil saya Bertha Pramuditya Setya N, Kiky Margawati dan beberapa teman lain yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang senantiasa membantu penulis secara mental maupun fisik dan menjadi teman menghilangkan lelah, jenuh selama perkuliahan hingga penyelesaian skripsi ini.
12. Teman-teman jurusan THP FP Unila angkatan 2021 atas pengalaman, dukungan, motivasi, dan kebersamaannya.
13. Terimakasih kepada mas-mas inisial R, yang tidak bisa saya sebutkan nama lengkapnya karena telah menjadi salah satu bagian menyenangkan dalam perjalanan penulis. Terimakasih atas dukungan, semangat serta telah menjadi tempat berkeluh kesah selama proses penyusunan skripsi ini.
14. Semua pihak yang telah berperan dalam penyusunan dan penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

15. Terakhir kepada diri saya sendiri Merlina Febri Anggraini, terimakasih telah berada di posisi ini, terimakasih sudah menyelesaikan tulisan panjang ini, terimakasih atas kerja keras dan semangat untuk tidak menyerah walaupun sesulit apa pun rintangan kuliah ataupun proses penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan saran dan kritik dari berbagai pihak demi perbaikan karya di masa yang akan datang. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 13 Agustus 2025

Merlina Febri Anggraini

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	14
DAFTAR GAMBAR	15
I. PENDAHULUAN	16
1.1 Latar Belakang dan Masalah	16
1.2 Tujuan	20
1.3 Kerangka Pemikiran.....	20
1.4 Hipotesis	22
II. TINJAUAN PUSTAKA	23
2.1 Tanaman dan Buah Sawit	23
2.2 Minyak Sawit	30
2.3 Asam Lemak Bebas (ALB).....	34
2.4 Enzim	36
2.5 Mekanisme Enzim	36
2.6 Enzim Lipase.....	38
2.7 Kadar Air	39
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	41
3.1 Tempat dan Waktu	41
3.2 Bahan dan Alat	41
3.3 Metode Penelitian	41
3.4 Pelaksanaan Penelitian	42
3.4.1 Perlakuan Terhadap Buah Kelapa Sawit <i>Overripe</i>	42
3.4.2 Proses Karakteristik Minyak Sawit	43
3.4.3 Isolasi Ekstrak Kasar Enzim Lipase	45
3.4.4 Analisis Aktivitas Ekstrak Kasar Enzim Lipase.....	46

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	48
4.1 Karakteristik Minyak Sawit	48
4.2 Aktivitas Enzim Lipase	51
V. KESIMPULAN DAN SARAN	58
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA.....	59
LAMPIRAN	67

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi tingkat kematangan buah kelapa sawit berdasarkan buah yang terlepas dan perubahan warna	25
2. Komposisi asam lemak pada minyak sebelum dan setelah penggorengan	31
3. Syarat mutu minyak goreng kelapa sawit	35
4. Kombinasi perlakuan	42
5. Karakteristik substrat minyak goreng sawit.....	50
6. Rata-rata hasil uji aktivitas ekstrak kasar enzim lipase buah sawit <i>overripe</i>	51
7. Aktivitas Enzyme Lipase	67
8. Uji homogenitas (<i>Barletts</i>).....	67
9. Analisis ragam	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Tanaman Kelapa Sawit	24
2. Tingkatan warna pada buah sawit.....	25
3. Bagian-bagian buah sawit	26
4. <i>Eksocarp</i> buah sawit	27
5. Daging buah sawit	28
6. <i>Mesocarp</i> dan kernel sawit.....	32
7. Teori Gembok kunci dan kecocokan terinduksi	37
8. <i>Lock and keys Theory</i>	38
9. Pemisahan lemak dengan lipase.....	39
10. Diagram alir proses isolasi ekstraksi kasar enzim lipase.....	46
11. Diagram alir prosedur kerja analisis aktivitas <i>crude</i> enzim lipase	47
12. Grafik respon aktivitas enzim lipase terhadap lama waktu penyimpanan disetiap level penyiraman.....	55
13. Pengujian kadar air	72
14. Pengujian kadar ALB.....	72
15. Penyaringan sampel	72
16. Proses sentrifugasi.....	72
17. Menimbang hasil enzim yang diperoleh.....	72
18. Inkubasi <i>waterbath shake</i>	72
19. Titrasi.....	72
20. Hasil Titrasi	72
21. Grafik Aktivitas Enzim Lipase.....	73

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Industri kelapa sawit di Indonesia telah mengalami pertumbuhan yang pesat, sehingga Indonesia merupakan salah satu pilar ekonomi nasional dan penyumbang utama dalam sektor pertanian. Menurut Gunarso *et al.* (2013), Indonesia merupakan negara penghasil minyak sawit terbesar di dunia, dengan luas lahan yang terus meningkat dan produksi yang signifikan. Sektor perkebunan di Indonesia memiliki kontribusi mencapai 96,68% dari total ekspor pertanian dan kontribusi dari perkebunan kelapa sawit sendiri sebanyak 73,83%. Berdasarkan data yang diperoleh dari Direktorat Jendral Perkebunan (2025), total produksi kelapa sawit di Indonesia mencapai 48,112 juta ton dalam bentuk minyak sawit. Sedangkan luas lahan mencapai 16,883 juta ha, yang terdiri dari areal perkebunan rakyat sebesar 36,59% (9,160 juta ha), perkebunan besar swasta sebesar 49,1% (6,900 juta ha) dan perkebunan besar negara sebesar 10,98% (600 ribu ha) pada tahun 2025. Besarnya perkebunan sawit di Indonesia ini dapat menyebabkan terjadinya penumpukan buah sawit, apalagi pada saat panen raya.

Tanaman kelapa sawit mulai berproduksi pada umur 3-4 tahun dan mencapai puncak produksi pada umur 8-15 tahun dengan siklus panen setiap 7-10 hari sekali. Buah sawit yang telah dipanen kemudian diangkut menggunakan truk atau sistem transportasi lainnya menuju pabrik kelapa sawit (PKS) untuk diolah menjadi *crude palm oil* (CPO) dan *palm kernel oil* (PKO) melalui proses sterilisasi, *threshing*, *digesting*, *pressing*, dan *clarification* (Baldani *et al.*, 2020). Kualitas buah sawit menjadi faktor kritis yang menentukan rendemen dan kualitas minyak yang dihasilkan dalam industri pengolahan kelapa sawit. Buah sawit dengan tingkat kematangan optimal memiliki karakteristik warna jingga dan

kemerahan, daging buah yang kompak, kadar minyak maksimal mencapai 22-26%, dan kandungan asam lemak bebas (*free fatty acid*) yang rendah di bawah 3% (Artha *et al.*, 2023). Namun, kondisi ideal ini sering terganggu oleh berbagai faktor operasional, terutama saat terjadi panen raya. Panen raya merupakan periode dimana produksi buah sawit mencapai puncaknya, biasanya terjadi pada bulan-bulan tertentu tergantung pola curah hujan dan siklus reproduksi tanaman. Selama panen raya, volume buah sawit yang masuk ke pabrik dapat meningkat hingga 150-200% dari kapasitas normal, sehingga menyebabkan *bottleneck* dalam sistem pengolahan (Gabriel *et al.*, 2023). Keterbatasan kapasitas *sterilizer*, *thresher*, dan peralatan pengolahan lainnya mengakibatkan perlunya sistem antrian atau penginapan buah sawit dalam *loading ramp* atau *fruit yard* (Anugrah dan Wachjar, 2018). Buah sawit yang diinapkan ini tidak dapat dihindari karena pabrik harus mengoperasikan mesin secara berkelanjutan untuk menjaga efisiensi, sementara pasokan buah terus berdatangan dari kebun-kebun plasma dan inti.

Buah sawit yang diinapkan tersebut selama panen raya menimbulkan berbagai konsekuensi yang signifikan terhadap kualitas buah dan efisiensi produksi. Buah sawit yang menginap lebih dari 24 jam akan mengalami proses penurunan kualitas yang ditandai dengan peningkatan kadar asam lemak bebas akibat aktivitas enzim lipase, penurunan rendemen minyak, dan perubahan karakteristik fisik buah (Lukito dan Sudrajat, 2017). Menurut Hasibuan (2020), buah yang terlambat diolah akibat terlambat pengangkutan (*restan*) dapat meningkatkan kandungan Asam Lemak Bebas (ALB), selain itu penanganan yang kasar juga dapat meningkatkan laju ALB. Kenaikan kandungan ALB saat pengolahan di PKS hanya 0,1 persen atau paling tinggi yaitu sekitar 0,3 – 0,5 % pada pabrik yang pengawasannya masih kurang, akan tetapi menurut penelitian Mahfudz *et al.* (2025), jika TBS yang diinapkan selama 48 jam dapat mengalami peningkatan kadar ALB hingga 5,14 %, yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan peningkatan ALB saat pengolahan di PKS, bahkan TBS yang mengalami kerusakan dan disimpan lebih lama, kadar ALB dapat mencapai 9,47 %.

Proses fermentasi anaerob yang terjadi selama penumpukan buah dalam kondisi tertutup menyebabkan peningkatan suhu internal tandan buah hingga 45-50°C, dapat mempercepat hidrolisis trigliserida dan produksi senyawa volatil yang dapat mempengaruhi kualitas organoleptik minyak (Maulinda *et al.*, 2017). Selain itu, kondisi kelembaban tinggi dan suhu elevasi menciptakan lingkungan yang kondusif untuk pertumbuhan mikroorganisme seperti bakteri asam laktat, *yeast*, dan jamur yang dapat mempercepat proses pembusukan dan degradasi kualitas buah. Fenomena ini mengakibatkan buah sawit berubah status dari *fresh fruit bunch* (FFB) menjadi *overripe fruit bunch* yang ditandai dengan warna yang lebih gelap, tekstur daging buah yang lunak, aroma fermentasi yang kuat, dan peningkatan kadar air (Saraswati, 2012).

Kadar FFA yang tinggi ini menurunkan kualitas CPO dan memerlukan proses refining yang lebih intensif serta biaya produksi yang lebih mahal. Buah *overripe* mengalami penurunan rendemen minyak hingga 15-20% karena sebagian minyak telah mengalami oksidasi dan degradasi, serta terjadi kehilangan minyak melalui proses fermentasi (Agung, 2019). Karakteristik fisik buah *overripe* yang lunak dan berair menyebabkan kesulitan dalam proses *mechanical processing*, terutama pada tahap *threshing* dan *pressing*, dimana buah dapat menyumbat *conveyor* dan mengurangi efisiensi separasi (Hasibuan, 2020). Buah sawit *overripe* rentan mengalami kontaminasi mikrobiologis yang dapat menghasilkan *off-flavor*, *off-odor*, dan senyawa toksik yang menurunkan kualitas sensori minyak sawit. Pengolahan buah *overripe* memerlukan penyesuaian parameter operasional seperti waktu sterilisasi yang lebih lama dan tekanan yang lebih tinggi, sehingga meningkatkan konsumsi energi dan biaya operasional (Asyifaa, 2023).

Meskipun buah sawit *overripe* dianggap sebagai bahan baku berkualitas rendah dalam industri minyak sawit, buah ini memiliki potensi besar sebagai sumber enzim lipase alami yang bernilai ekonomis tinggi. Proses *over-ripening* pada buah sawit menginduksi aktivasi dan akumulasi enzim lipase (*triacylglycerolacyl hydrolase*, EC 3.1.1.3) sebagai respons adaptif terhadap perubahan fisiologis dan biokimia dalam jaringan buah. Enzim lipase berfungsi sebagai biokatalisator yang

menghidrolisis ikatan ester dalam molekul trigliserida, menghasilkan gliserol dan asam lemak bebas melalui mekanisme katalisis yang melibatkan nukleofilia dari residu sering aktif dalam situs katalitik enzim (Rofiqotus dan Rudiana, 2021). Pembentukan enzim lipase pada buah sawit *overripe* terjadi melalui proses induksi transkripsi gen lipase yang dipicu oleh stress oksidatif, perubahan pH seluler, dan akumulasi metabolit sekunder. Aktivitas enzim lipase pada buah *overripe* dapat mencapai 2-5 kali lebih tinggi dibandingkan buah segar, dengan karakteristik enzim yang memiliki pH optimum 8.0-8.5, suhu optimum 40-45°C, dan stabilitas yang baik dalam kondisi penyimpanan tertentu (Aisyah, 2024). Enzim lipase dari buah sawit *overripe* menunjukkan spesifitas substrat yang luas terhadap berbagai jenis trigliserida dan memiliki potensi aplikasi yang sangat luas dalam industri bioteknologi.

Potensi pemanfaatan buah sawit *overripe* sebagai sumber enzim lipase sangat menjanjikan, namun terdapat beberapa permasalahan yang perlu dipecahkan untuk mengoptimalkan ekstraksi dan aktivitas enzim tersebut. Permasalahan utama yang dihadapi adalah belum adanya standar protokol penyimpanan buah sawit *overripe* yang dapat memaksimalkan aktivitas enzim lipase. Kondisi penyimpanan yang tidak terkontrol dapat menyebabkan fluktuasi aktivitas enzim yang signifikan, mulai dari penurunan aktivitas akibat denaturasi protein hingga kehilangan total aktivitas enzim akibat degradasi mikrobiologis (Maulinda *et al.*, 2017). Variabilitas aktivitas enzim lipase antar *batch* buah sawit *overripe* juga menjadi kendala dalam standarisasi proses ekstraksi, dimana faktor-faktor seperti tingkat kematangan awal, kondisi lingkungan selama penyimpanan, dan durasi penyimpanan dapat memberikan hasil yang tidak konsisten. Permasalahan teknis lainnya adalah optimasi kondisi ekstraksi enzim kasar yang dapat mempertahankan stabilitas dan aktivitas maksimal enzim lipase, mengingat enzim ini sensitif terhadap perubahan pH, suhu, dan kekuatan ionik selama proses ekstraksi (Maulinda *et al.*, 2017). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut dengan mengidentifikasi kondisi penyimpanan dan frekuensi penyiraman yang optimal untuk mempertahankan aktivitas enzim lipase.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh lama penyimpanan dan penyiraman dalam ruangan terhadap aktivitas ekstrak kasar enzim lipase dari buah sawit *overripe*
2. Mengetahui interaksi lama perendaman dan frekuensi penyiraman dalam ruangan terhadap aktivitas ekstrak kasar enzim lipase buah sawit *overripe*.

1.3 Kerangka Pemikiran

Enzim lipase, yang berfungsi untuk menghidrolisis ikatan ester dalam lemak dan minyak, memiliki aplikasi yang luas dalam industri pangan, kosmetik, farmasi, dan pengolahan minyak. Salah satu sumber potensial enzim lipase adalah buah sawit (*Elaeis guineensis*), yang mengandung berbagai senyawa bioaktif, termasuk enzim-lipase yang berperan dalam proses pemecahan trigliserida. Ekstraksi enzim lipase dari sumber alami, seperti buah sawit, merupakan proses penting untuk mendapatkan enzim yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi industri, termasuk dalam produksi biodiesel dan pengolahan makanan. Proses ekstraksi ini melibatkan beberapa langkah, seperti penggilingan bahan baku, penambahan pelarut, dan pemisahan enzim dari komponen lainnya. Beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi ekstraksi lipase meliputi pH, suhu, dan jenis pelarut yang digunakan. Ketidaksesuaian pH dapat mengurangi aktivitas enzim, sementara suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan denaturasi enzim. Selain itu, pemilihan pelarut yang tepat sangat penting, karena pelarut yang tidak sesuai dapat mengakibatkan kehilangan aktivitas enzim atau bahkan kerusakan struktur enzim (Simamora dan Sukmawati, 2020).

Pengoptimalan kondisi ekstraksi sangat diperlukan untuk memastikan bahwa lipase yang dihasilkan memiliki aktivitas dan stabilitas yang tinggi. Buah sawit yang *overripe* memiliki potensi tinggi sebagai sumber enzim lipase, yang berperan penting dalam proses hidrolisis trigliserida. Aktivitas enzim lipase dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk kondisi penyimpanan dan kelembapan. Penelitian sebelumnya, seperti yang dilakukan oleh Siregar *et al.*

(2018), menyatakan bahwa suhu, pH, konsentrasi substrat, inhibitor, dan waktu penyimpanan dapat mempengaruhi aktivitas enzim. Selain itu, penelitian oleh Fahisyah (2019), menyatakan enzim tidak aktif jika disimpan pada suhu rendah karena tidak terdapat tumbukan antar substrat dan molekul, serta mengindikasikan bahwa frekuensi penyiraman yang optimal dapat meningkatkan kelembaban dan mempertahankan aktivitas enzim, dengan memahami interaksi antara lama penyimpanan dan frekuensi penyiraman.

Terdapat beberapa faktor yang perlu diperhatikan untuk mempertahankan agar aktivitas enzim lipase tetap tinggi yaitu dengan memperhatikan suhu, pH dan kondisi penyimpanan (Suryadi *et al.*, 2013). Suhu optimal untuk aktivitas enzim lipase biasanya berkisar antara 30-40°C. Selain itu, pH yang optimal untuk enzim lipase yaitu sekitar 7-8. Penelitian Siregar *et al.* (2018), menunjukkan bahwa perubahan pH dapat mempengaruhi struktur dan fungsi enzim, sehingga mempengaruhi efisiensinya dalam proses hidrolisis. Selain itu, kondisi penyimpanan yang tepat, seperti kelembapan dan waktu penyimpanan, juga sangat berpengaruh. Penelitian Rafika *et al.* (2019), menyatakan bahwa penyimpanan lipase pada suhu rendah, seperti 4°C dapat mempertahankan aktivitas enzim lebih lama dibandingkan dengan penyimpanan pada suhu ruang.

Penurunan tersebut terjadi akibat dari denaturasi protein yang akan mendegradasi struktur enzim, sehingga menjadi tidak aktif (Murray, 2014). Hal ini menunjukkan bahwa suhu dan lama penyimpanan yang tepat sangat penting untuk menjaga stabilitas enzim. Penelitian-penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pH, suhu, penyimpanan dan waktu dapat berpengaruh terhadap aktivitas enzim lipase yang dihasilkan. Akan tetapi penelitian sebelumnya belum dilakukan pada buah sawit *overripe*. Oleh karena itu, penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dijadikan acuan untuk mengetahui pengaruh lama penyimpanan dan penyiraman serta mengetahui aktivitas terbaik ekstrak kasar enzim lipase dari buah sawit *overripe*.

1.4 Hipotesis

Hipotesis penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Terdapat pengaruh lama penyimpanan dan frekuensi penyiraman buah sawit *overripe* dalam ruangan terhadap aktivitas ekstrak kasar enzim lipase yang ditandai dengan peningkatan ALB (Asam Lemak Bebas) pada buah sawit *overripe*.
2. Terdapat interaksi antara lama perendaman dalam ruangan dan frekuensi penyiraman terhadap aktivitas ekstrak kasar enzim lipase dari buah sawit *overripe*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman dan Buah Sawit

Indonesia menempati posisi teratas sebagai produsen kelapa sawit global dengan ekspansi industri perkebunan yang berkelanjutan, menjadikan komoditas ini pilar fundamental ekonomi perkebunan nasional. Kelapa sawit merupakan tanaman perkebunan strategis yang memiliki peranan krusial pada sektor pertanian secara umum dan sub sektor perkebunan secara khusus. Spesies kelapa sawit (*Elaeis guineensis* dan *Elaeis oleifera*) merupakan vegetasi tropis asal Afrika Barat serta Amerika Tengah dan Selatan yang memiliki morfologi batang tegak tinggi dengan struktur daun memanjang. Sistem perakaran kelapa sawit yang dangkal (akar serabut) menyebabkan tanaman ini mudah mengalami stress akibat kekeringan (Sahputra *et al.*, 2016).

Kelapa sawit berfungsi sebagai tanaman industri primer penghasil minyak nabati dan bahan bakar, dimana produk minyak sawitnya dapat diolah menjadi berbagai turunan bernilai ekonomi tinggi untuk industri pangan, farmasi, dan kosmetik. Produktivitas minyak tanaman kelapa sawit ditentukan oleh dimensi daging buah (*mesocarp*) dan ketebalan kulit inti buah (*endocarp*). Menurut Fauzi (2012), variasi ketebalan *mesocarp* dan *endocarp* dipengaruhi oleh jenis varietas sawit yang dibudidayakan, sedangkan pigmentasi buah bergantung pada varietas dan tingkat maturitas tanaman kelapa sawit. Selain faktor genetik, kondisi lingkungan seperti kelembaban, suhu, dan ketersediaan air juga berperan penting dalam menentukan kualitas dan kandungan minyak buah sawit. Proses pematangan buah sawit yang optimal memerlukan waktu sekitar 5-6 bulan setelah penyerbukan, dimana buah yang lewat matang (*overripe*) akan mengalami perubahan warna dari

hijau menjadi jingga kemerahan. Pemahaman terhadap karakteristik morfologi dan fisiologi buah sawit ini menjadi dasar penting dalam optimalisasi produksi minyak sawit serta pemanfaatan limbah buah untuk aplikasi bioteknologi. Tanaman kelapa sawit, disajikan pada Gambar 1.

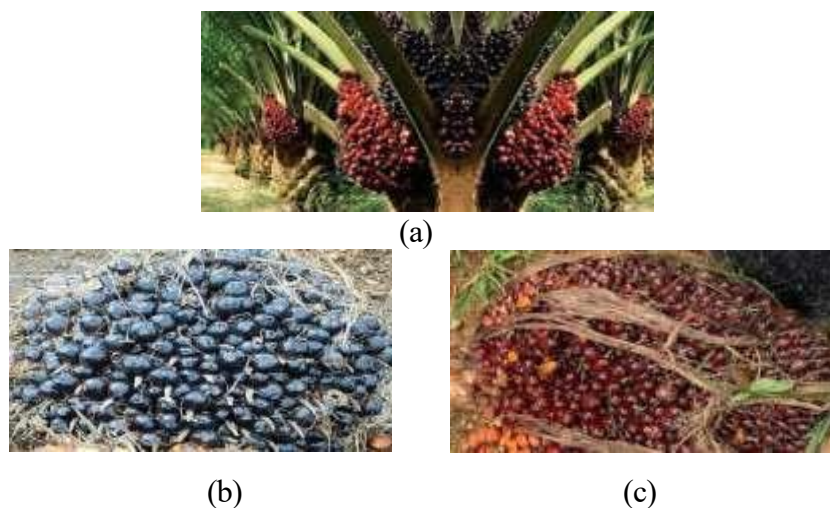


Gambar 1. Tanaman Kelapa Sawit
Sumber: Dokumentasi pribadi (2025)

Buah kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) memiliki struktur yang terdiri dari daging buah (*mesocarp*) dan inti (*endosperm*) yang keduanya berperan penting dalam produksi minyak sawit. Buah-buah kecil berukuran 2-3 cm ini tumbuh dalam tandan yang berisi ratusan buah, dengan lapisan luar berwarna oranye kemerahan yang melindungi bagian dalam. Menurut Al Haji (2023), kandungan minyak terkonsentrasi tinggi di dalam *mesocarp*, sedangkan inti buah mengandung minyak lebih sedikit namun kaya asam lemak. Pembentukan tandan buah yang optimal sangat bergantung pada kondisi lingkungan dan varietas unggul, dengan laju kematangan yang tidak bersamaan, biasanya dimulai dari bagian atas ke bawah dan dari luar ke dalam tandan (Rizal *et al.*, 2012).

Tingkat kematangan buah sawit menjadi faktor kunci yang menentukan kualitas tandan buah segar (TBS), yang dibagi menjadi tiga fase: mentah, matang, dan lewat matang. Buah matang dapat diidentifikasi dari perubahan warna kulit dari hitam, kuning hingga kemerahan, serta mudahnya brondolan terlepas dari tandan. Kriteria pemanenan yang tepat sangat penting, dimana buah matang idealnya memiliki ≥ 10 butir brondolan per janjang, sedangkan buah lewat matang dapat

memiliki lebih dari 50% brondolan. Tingkatan warna pada buah sawit yang sudah matang tersebut disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tingkatan warna pada buah sawit.
Sumber: Rizky (2024).

Keterangan : (a) Buah sawit dipohon
(b) Buah sawit mentah
(c) Buah sawit matang

Menurut Pahan dan Iyung (2015), pemanenan pada waktu yang tepat dapat meningkatkan rendemen minyak dan kualitasnya, karena buah yang belum matang memiliki kadar asam lemak bebas yang lebih rendah. Oleh karena itu, penentuan tingkat kematangan berdasarkan jumlah buah lepas dan perubahan warna menjadi krusial untuk menghindari pemanenan buah mentah atau lewat matang yang dapat menurunkan rendemen minyak TBS. Tingkat kematangan tersebut dapat dibedakan atas beberapa fraksi, disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi tingkat kematangan buah kelapa sawit berdasarkan buah yang terlepas dan perubahan warna

Fraksi	Jumlah Berondolan	Keterangan
00	Tidak ada, buah berwarna hitam	Sangat mentah
0	1-12,5% buah luar membrondol	Mentah
1	12,5 - 25% buah luar membrondol	Kurang matang
2	25 - 50% buah luar membrondol	Matang I
3	50 - 75% buah luar membrondol	Matang II
4	75 - 100% buah luar membrondol	Lewat matang I
5	Buah dalam juga membrondol, ada yang busuk	Lewat matang II

Sumber: Sari *et al.* (2019)

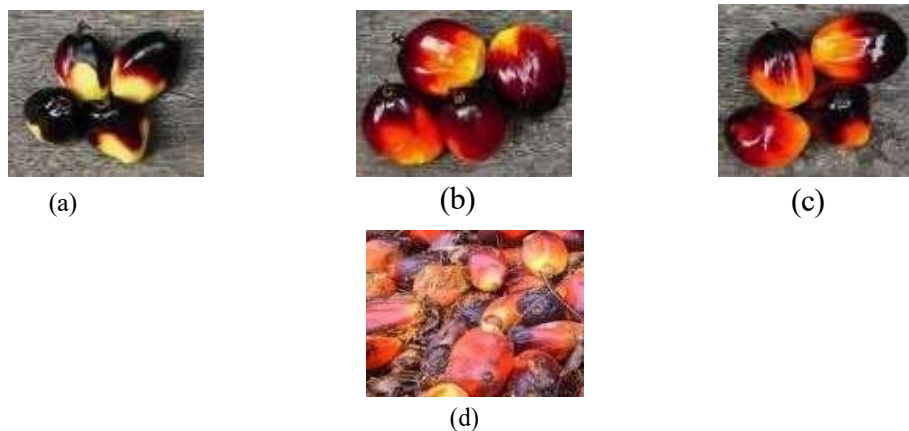
Buah kelapa sawit memiliki struktur berlapis yang terdiri dari empat bagian utama dengan karakteristik dan fungsi yang berbeda. Bagian terluar adalah *eksocarp* (kulit buah) yang berfungsi sebagai pelindung dan mengalami perubahan warna dari hijau hingga merah berkilat sebagai indikator kematangan buah. Bagian bawah dari *eksocarp* terdapat *mesocarp* (daging buah) yang merupakan bagian terpenting secara ekonomis karena mengandung minyak sawit (CPO) dengan kadar sekitar 45-50% dari total berat buah (Maimun *et al.*, 2017), bagian inilah yang diekstrak untuk menghasilkan minyak sawit komersial. Lapisan selanjutnya adalah *endocarp* (tempurung) yang berupa cangkang keras berwarna hitam dengan ketebalan 2-8 mm, berfungsi melindungi bagian dalam buah dan memiliki nilai ekonomis sebagai bahan bakar biomassa atau arang aktif (Rantawi *et al.*, 2017). Bagian paling dalam adalah *endosperm* (inti sawit atau kernel) yang mengandung minyak inti sawit (PKO) dengan komposisi asam lemak yang berbeda dari CPO, lebih kaya akan asam laurat dan asam miristat sehingga banyak digunakan dalam industri kosmetik, sabun, dan oleokimia (Sujadi *et al.*, 2017). Keempat bagian ini membentuk struktur buah sawit yang kompak dan masing-masing memiliki peran penting dalam industri kelapa sawit modern. Bagian buah sawit disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Bagian-bagian buah sawit
Sumber: Agung (2019)

1. *Eksocarp* (Kulit buah)

Kulit buah kelapa sawit (*eksocarp*) mengalami perubahan warna yang signifikan sebagai indikator tingkat kematangan buah. Kulit buah sawit yang belum matang, memiliki warna hijau tua atau kehitaman dengan permukaan yang kusam, menunjukkan bahwa buah belum siap untuk dipanen karena kandungan minyak masih rendah. Seiring dengan proses pematangan, warna *eksocarp* mulai berubah menjadi kuning kehijauan, kemudian berkembang menjadi kombinasi kuning dan merah (Fauzi, 2012). Kulit buah kelapa sawit (*eksocarp*) yang sudah siap panen berwarna merah hati dengan sedikit kuning dan tampak berkilat, menandakan kandungan minyak yang optimal dan kualitas terbaik untuk pengolahan. Namun, jika dibiarkan terlalu lama, *eksocarp* akan berubah menjadi merah tua hingga coklat kehitaman dengan permukaan yang mulai mengkerut dan kehilangan kilau, menunjukkan buah yang sudah lewat matang. Buah yang lewat matang ini memiliki kadar asam lemak bebas yang tinggi akibat aktivitas enzim lipase, sehingga kualitas minyak yang dihasilkan akan menurun dan tidak sesuai dengan standar industri yang diinginkan (Maimun *et al.*, 2017). Gambar *eksocarp* buah sawit disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. *Eksocarp* buah sawit.
Sumber: Agung (2019)

Keterangan: (a). Buah belum matang
(b). Buah kurang matang
(c). Buah matang
(d). Buah lewat matang.

2. *Mesocarp* (Daging buah)

Mesocarp merupakan daging buah yang berserabut dan mengalami perubahan karakteristik fisik dan kimia yang signifikan selama proses pematangan buah kelapa sawit. Tahap belum matang menunjukkan *mesocarp* memiliki tekstur yang keras dan padat dengan warna putih kekuningan, kandungan minyak masih rendah sekitar 20-30%, dan serabut-serabut daging buah masih sangat kencang dan sulit dipisahkan (Santoso, 2018). Seiring dengan proses pematangan, *mesocarp* mulai melunak dan berwarna kuning kemerahan, kandungan minyak meningkat secara bertahap hingga mencapai kondisi optimal. Fase matang yang ideal untuk panen menunjukkan *mesocarp* memiliki tekstur yang relatif lunak namun tidak terlalu lembek, berwarna kuning cerah hingga jingga, dan kandungan minyak mencapai puncaknya sekitar 45-50% dengan kualitas minyak terbaik (Susilo, 2017). Namun, jika buah dibiarkan hingga lewat matang, *mesocarp* menjadi sangat lembek dan mudah hancur, warna berubah menjadi coklat kemerahan, dan meskipun kandungan minyak masih tinggi, kualitasnya menurun drastis karena peningkatan kadar asam lemak bebas akibat aktivitas enzim lipase yang tidak terkendali, sehingga menghasilkan minyak dengan aroma tengik dan nilai ekonomis yang rendah. Bagian daging buah sawit disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Daging buah sawit.
Sumber: Agung (2019)

3. *Endocarp* (Tempurung buah)

Endocarp merupakan lapisan keras yang mengelilingi inti sawit, berupa tempurung atau cangkang berwarna hitam pekat dengan ketebalan bervariasi antara 2-8 mm tergantung pada varietas kelapa sawit. Struktur

endocarp sangat keras dan kompak karena terbentuk dari selulosa dan lignin yang mengalami proses lignifikasi, sehingga berfungsi sebagai pelindung alami bagi *endosperm* (inti sawit) dari kerusakan fisik, serangan hama, dan kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan (Idris *et al.*, 2020). *Endocarp* memiliki bentuk yang tidak beraturan dengan permukaan yang kasar dan berlekuk-lekuk, serta memiliki tiga pori germinasi yang memungkinkan perkecambahan biji dalam kondisi alami. Meskipun tidak mengandung minyak, *endocarp* memiliki nilai ekonomis yang cukup signifikan dalam industri kelapa sawit karena dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar biomassa dengan nilai kalor sekitar 4.000-4.500 kkal/kg, bahan baku pembuatan arang aktif, atau sebagai agregat dalam campuran beton ringan (Dinata *et al.*, 2019). Proses pemisahan *endocarp* dari *endosperm* dilakukan melalui *cracking station* menggunakan mesin pemecah khusus yang dapat memisahkan cangkang tanpa merusak inti sawit di dalamnya.

4. *Endosperm* (Inti sawit)

Endosperm atau yang dikenal sebagai inti sawit (kernel) merupakan bagian paling dalam dari buah kelapa sawit yang dilindungi oleh *endocarp*, berbentuk *oval* dengan ukuran sekitar 8-25 mm dan berwarna putih kekuningan hingga coklat muda. Bagian ini mengandung minyak inti sawit (*Palm Kernel Oil*/PKO) dengan kadar sekitar 45-50% dari berat kering inti, yang memiliki komposisi asam lemak yang berbeda dari minyak sawit karena lebih kaya akan asam lemak jenuh rantai sedang seperti asam laurat (45-52%) dan asam miristat (14-18%) (Fernandez *et al.*, 2023).

Endosperm memiliki tekstur yang keras dan padat ketika kering, namun dapat diekstrak minyaknya melalui proses pengepresan atau ekstraksi pelarut setelah melalui tahap pengeringan dan pemecahan cangkang. Minyak inti sawit yang dihasilkan memiliki titik leleh yang relatif tinggi (24-26°C) dan karakteristik yang sangat cocok untuk industri kosmetik, sabun, deterjen, dan oleokimia karena sifatnya yang mudah berbusa dan stabil (Bareta *et al.*, 2021). *Endosperm* juga menghasilkan produk sampingan berupa bungkil inti

sawit yang kaya protein dan serat, yang dimanfaatkan sebagai pakan ternak berkualitas tinggi (Mirnawati, 2022).

2.2 Minyak Sawit

Minyak sawit menempati posisi strategis di antara 17 jenis minyak dan lemak global dengan sebaran mencapai 27,8% (Nyoman, 2014). Indonesia berperan penting dalam mengisi kebutuhan minyak sawit dunia melalui posisinya sebagai produsen minyak sawit terbesar secara global. Aplikasi minyak sawit telah meluas untuk berbagai keperluan bahan baku produk pangan dan non pangan. Transformasi minyak sawit menjadi beragam produk memerlukan standar mutu yang baik sesuai karakteristik yang diinginkan. Zulkurnain *et al.* (2012) menyatakan bahwa minyak konsumsi (*edible oil*) banyak dimanfaatkan industri karena nilai nutrisinya serta pengaruhnya terhadap cita rasa dan aroma produk makanan.

Minyak sawit menjadi salah satu minyak nabati yang populer untuk proses pengolahan makanan. Popularitas minyak sawit disebabkan oleh harga yang ekonomis, ketersediaan yang melimpah, dan stabilitas oksidasi yang tinggi. Menurut Yustina dan Rahayu (2014), terdapat beberapa parameter untuk mengevaluasi mutu minyak, meliputi asam lemak bebas, bilangan peroksida, warna minyak, bilangan asap, dan komposisi asam lemak. Struktur minyak atau lemak tersusun dari dua komponen utama yaitu asam lemak dan gliserol. Setiap jenis minyak memiliki komposisi asam lemak yang khas dan berbeda. Komposisi asam lemak ini sangat mempengaruhi sifat fisik dan kimia minyak, termasuk titik leleh, stabilitas termal, dan daya tahan terhadap oksidasi. Taufik dan Seftiono (2018) mengatakan bahwa terdapat tiga kandungan minyak dominan yaitu asam palmitat (C16:0), oleat (C18:1), dan linoleat (C18:2). Asam palmitat adalah asam lemak jenuh yang bersifat padat pada suhu ruang, sedangkan asam oleat dan linoleat adalah asam lemak tidak jenuh yang memberikan sifat cair. Keseimbangan antara asam lemak jenuh dan tidak jenuh dalam minyak sawit menjadikannya ideal untuk berbagai aplikasi industri makanan, seperti margarin dan minyak goreng. Komposisi asam lemak pada minyak sebelum dan sesudah penggorengan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi asam lemak pada minyak sebelum dan setelah penggorengan

Jenis- jenis Asam Lemak	Konsentrasi asam lemak (g/100g)	
	Sebelum penggorengan	Setelah penggorengan
Asam lemak jenuh		
1. Kaplirat (C8:0)	0,02	0,00
2. Laurat (C12:0)	0,17	0,14
3. Miristat (C14:0)	0,92	0,82
4. Palmitat (C16:0)	37,71	38,46
5. Stearat (C18:0)	3,79	4,00
6. Arakidat (C20:0)	0,31	0,39
Asam lemak tidak jenuh		
1. Palmitoleinat (C16:1)	0,14	0,12
2. Oleat (C18:2)	42,56	39,15
3. Linoleat (C18:2)	13,59	11,04
4. α -linolenat (C18:3)	0,27	0,25
5. Eikosenat (C20:1)	0,00	0,14

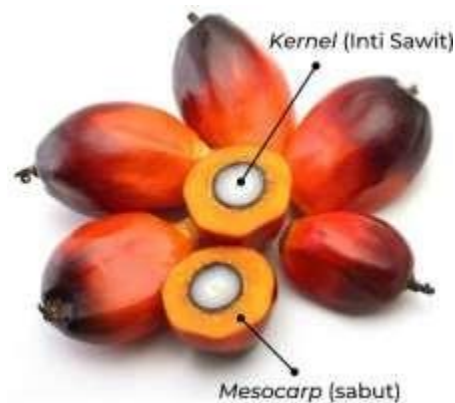
Sumber: Taufik dan Seftiono (2018)

2.2.1 Jenis Minyak Sawit

Industri kelapa sawit menghasilkan 2 jenis minyak nabati yakni CPO (*Crude Palm Oil*) dan PKO (*Palm Kernel Oil*) yang memiliki karakteristik dan aplikasi yang berbeda dalam industri. PKO (*Palm Kernel Oil*) adalah minyak inti sawit yang mengandung komponen-komponen seperti asam lemak, kotoran dan air yang dapat mempengaruhi mutu minyak (Saragih *et al.*, 2018). Kedua jenis minyak ini diperoleh dari bagian buah sawit yang berbeda, dimana CPO diekstrak dari *mesokarp* (daging buah) sedangkan PKO diperoleh dari *endosperm* (inti sawit), sehingga menghasilkan profil asam lemak dan sifat fisiko-kimia yang berbeda. Perbedaan komposisi ini juga mempengaruhi titik leleh kedua minyak, dimana PKO memiliki titik leleh yang lebih tinggi dibandingkan CPO karena kandungan asam lemak jenuhnya yang lebih tinggi (Hasrini *et al.*, 2014).

Produksi PKO hanya sekitar 2-4% dari total berat tandan buah segar, jauh lebih rendah dibandingkan CPO yang mencapai 20-24%. Aplikasi industri keduanya pun berbeda, dimana CPO lebih banyak digunakan untuk minyak goreng dan produk pangan, sedangkan PKO lebih cocok untuk industri oleokimia, kosmetik,

dan sabun. Perbedaan mendasar antara keduanya terletak pada komposisi asam lemak, dimana CPO didominasi oleh asam palmitat dan asam oleat, sedangkan PKO kaya akan asam lemak rantai sedang seperti asam laurat dan asam miristat (Hasrini *et al.*, 2014). Kedua Minyak ini memerlukan pengolahan lanjutan untuk menghilangkan komponen- komponen yang dapat menurunkan kualitas seperti asam lemak bebas, kotoran, dan air agar dapat memenuhi standar industri dan aplikasi komersial yang diinginkan (Saragih *et al.*, 2018). Bagian inti buah sawit dan daging buah sawit disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. *Mesocarp* dan kernel sawit
Sumber: Agung (2019)

1. *Crude palm oil* (CPO)

CPO (*Crude Palm Oil*) merupakan minyak sawit mentah yang diekstrak dari mesokarp buah kelapa sawit dengan kandungan minyak sekitar 45- 50% dari total berat buah. Minyak ini memiliki warna merah jingga yang khas karena mengandung beta-karoten dan tokoferol yang tinggi, dengan komposisi asam lemak didominasi oleh asam palmitat (40-48%) dan asam oleat (36-44%) (Wiyono, 2013). CPO memiliki titik leleh sekitar 35-40°C dan viskositas yang relatif rendah pada suhu kamar, sehingga cocok untuk aplikasi industri makanan seperti minyak goreng, margarin, dan *shortening* setelah melalui proses pemurnian. Kandungan antioksidan alami yang tinggi membuat CPO memiliki stabilitas oksidatif yang baik, namun untuk aplikasi komersial masih memerlukan proses *refining* untuk menghilangkan asam lemak bebas, gum, warna, dan bau yang tidak diinginkan (Lukito dan

Sudrajat, 2017). CPO juga banyak digunakan sebagai bahan baku industri non-makanan seperti sabun, deterjen, dan biodiesel karena ketersediaannya yang melimpah dan harga yang kompetitif.

2. *Palm karnel oil (PKO)*

PKO (*Palm Kernel Oil*) adalah minyak yang diperoleh dari *endosperm* buah kelapa sawit dengan kandungan minyak sekitar 45-50% dari berat kering inti sawit. Minyak ini memiliki warna putih hingga kuning pucat dengan karakteristik yang berbeda dari CPO, yaitu didominasi oleh asam lemak jenuh rantai sedang seperti asam laurat (45-52%) dan asam miristat (14-18%) yang memberikan sifat mudah berbusa dan titik leleh yang tinggi (24-26°C) (Putri *et al.*, 2019). PKO memiliki stabilitas yang sangat baik terhadap oksidasi dan ketengikan, sehingga cocok untuk aplikasi industri kosmetik, sabun, dan deterjen karena kemampuannya menghasilkan busa yang stabil dan lembut di kulit. PKO dalam industri makanan sering digunakan sebagai pengganti minyak kelapa untuk pembuatan krim, es krim, dan produk *confectionery* karena sifatnya yang mudah meleleh di mulut (Sujadi *et al.*, 2017). Proses pengolahan PKO meliputi pengeringan inti sawit, pemecahan cangkang, dan ekstraksi minyak melalui pengepresan atau ekstraksi pelarut, dengan produk sampingan berupa bungkil inti sawit yang bernilai tinggi sebagai pakan ternak.

2.3 Faktor Penyebab Kerusakan Minyak Sawit

Kerusakan minyak sawit dapat disebabkan oleh berbagai faktor yang saling berinteraksi dan mempengaruhi kualitas serta umur simpan produk. Faktor utama penyebab kerusakan adalah oksidasi yang terjadi akibat paparan oksigen, cahaya, dan suhu tinggi, yang mengakibatkan pembentukan senyawa aldehid dan keton penyebab bau tengik serta penurunan nilai gizi (Karyadi, 1999). Hidrolisis merupakan faktor kerusakan lainnya yang dipicu oleh adanya air, aktivitas enzim lipase, dan penyimpanan yang tidak tepat, menghasilkan asam lemak bebas yang meningkatkan keasaman minyak dan menurunkan kualitas Organoleptik

(Hasibuan, 2012). Kontaminasi mikroorganisme seperti bakteri, jamur, dan khamir dapat terjadi ketika kadar air minyak tinggi atau kondisi sanitasi yang buruk, menyebabkan fermentasi dan pembentukan senyawa *off-flavor* yang tidak diinginkan. Faktor fisik seperti suhu penyimpanan yang fluktuatif, paparan sinar UV, dan kontaminasi logam berat (terutama besi dan tembaga) dapat mempercepat reaksi oksidasi dan polimerisasi minyak. Selain itu, faktor kimia seperti adanya peroksida, aldehyd, dan senyawa volatil dari proses pengolahan yang tidak sempurna juga berkontribusi terhadap penurunan kualitas minyak sawit, sehingga diperlukan pengendalian yang ketat pada setiap tahap mulai dari panen, pengolahan, hingga penyimpanan untuk meminimalkan kerusakan dan mempertahankan kualitas optimal (Karyadi, 1999).

2.4 Asam Lemak Bebas (ALB)

Kadar asam lemak bebas (ALB) pada buah sawit menjadi parameter krusial yang menentukan mutu minyak yang diproduksi. Buah sawit dengan kondisi optimal menunjukkan konsentrasi ALB yang minimal, sementara buah yang mengalami kematangan berlebih (*overripe*) memperlihatkan tingkat ALB yang lebih tinggi. Fenomena ini terjadi akibat proses deteriorasi pada buah sawit yang mengalami kematangan berlebihan, dimana aktivitas enzim lipase yang diproduksi mikroorganisme mampu menguraikan trigliserida menjadi asam lemak bebas. Purwanto dan Santosa (2016) menjelaskan bahwa aktivitas mikroorganisme pada buah sawit memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan konsentrasi ALB, khususnya pada buah yang telah mengalami kematangan berlebih.

Kerusakan mekanis pada buah sawit sebelum dan sepanjang proses ekstraksi turut berkontribusi meningkatkan kadar ALB, yang mengakibatkan degradasi kualitas minyak yang dihasilkan. Pembentukan ALB terjadi melalui mekanisme oksidasi dan hidrolisis enzimatis selama tahap pengolahan dan penyimpanan. Konsentrasi asam lemak bebas yang terbentuk dipengaruhi oleh standar kualitas pemanenan. Purwanto dan Santosa (2016), menegaskan bahwa pelaksanaan pemanenan buah sawit pada kondisi yang sudah lewat matang dapat meningkatkan kadar asam lemak bebas (ALB) dan menurunkan standar mutu dari minyak. Beberapa

faktor yang mempengaruhi kenaikan ALB pada buah sawit meliputi kadar air, suhu, dan perlakuan pascapanen. Kadar air yang tinggi dalam buah sawit dapat mempercepat proses fermentasi, yang pada gilirannya meningkatkan kadar ALB. Suhu yang tinggi selama penyimpanan dan pengolahan juga berkontribusi terhadap peningkatan kadar ALB, karena dapat mempercepat reaksi enzimatik. Selain itu, perlakuan pascapanen dalam proses pengolahan dapat menyebabkan peningkatan kadar ALB yang signifikan. Kadar ALB yang meningkat melewati batas standar 5% menyebabkan beberapa hal seperti perubahan rasa, dan perubahan warna pada minyak (Purwanto dan Santosa., 2016). Syarat mutu minyak goreng sawit disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Syarat mutu minyak goreng kelapa sawit

No	Karakteristik uji	Satuan	Persyaratan
1	Keadaan	-	
1.1	Bau	-	Normal
1.2	Rasa	-	Normal
2	Warna	-	Kuning-jingga
3	Kadar air dan bahan menguap	Fraksi massa, %	Maks 0,1
4	Asam lemak bebas (dihitung sebagai palmitat)	Fraksi massa, %	Maks 0,3
5	Bilangan peroksida	Mek O ₂ /kg	Maks 10
6	Vitamin A	IU	Maks 45
7	Minyak pelikan	-	Negatif
8	Cemaran logam berat	-	-
8.1	Cadmium (Cd)	Mg/g	Maks 0,10
8.2	Timbal (Pb)	Mg/g	Maks 0,10
8.3	Timah (Sn)	Mg/g	Maks 40/250 ³
8.4	Merkuri (Hg)	Mg/g	Maks 0,05
9	Cemaran arsen (As)	Mg/g	Maks 0,10

Sumber: SNI 7709:2012

Semakin tinggi asam lemak bebas (ALB), maka aktivitas enzim lipase akan semakin meningkat (semakin banyak substrat yang tersedia untuk enzim lipase). Hal ini karena enzim lipase memiliki fungsi untuk memecah trigliserida menjadi asam lemak dan gliserol.

2.5 Enzim

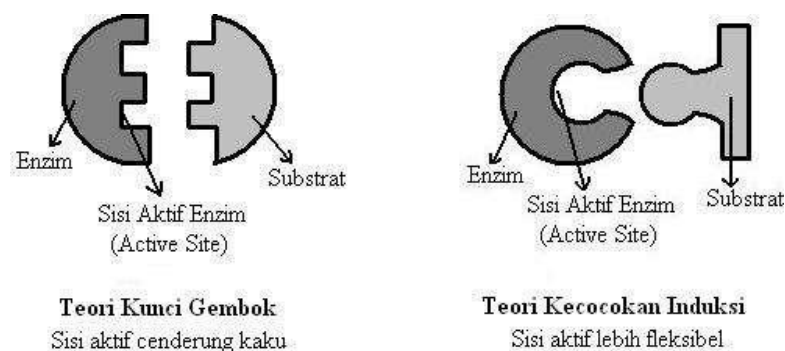
Enzim dalam kehidupan sering digunakan dalam bidang industri, baik dibidang pangan maupun kesehatan. Secara umum, enzim menghasilkan kecepatan, spesifikasi, dan kendali pengaturan terhadap reaksi dalam tubuh (Supriyatna, 2015). Enzim berfungsi sebagai katalisator yaitu senyawa yang meningkatkan reaksi kimia dalam sistem biologi, suatu enzim dapat mempercepat laju reaksi 10^8 sampai 10^{11} kali lebih cepat dibandingkan ketika reaksi tidak menggunakan katalis (Marks, 2000). Enzim disebut katalisator protein, karena susunan utamanya adalah protein dan senyawa lain. Terdapat banyak macam-macam enzim yang memiliki reaksi yang spesifik (Aji *et al.*, 2021). Pemanfaatan enzim dapat dilakukan secara langsung menggunakan hasil isolasi maupun dengan cara pemanfaatan mikroorganisme yang dapat menghasilkan enzim yang diinginkan. Enzim dapat diperoleh dari makhluk hidup seperti hewan, tumbuhan dan mikroorganisme.

2.6 Mekanisme Enzim

Enzim bekerja secara spesifik dalam mengkatalis suatu reaksi. Akan tetapi, hanya jenis reaksi tertentu saja yang dapat dikatalis oleh enzim tertentu dan hanya substrat tertentu yang dapat dikatalis. Spesifitas enzim ini disebabkan oleh struktur tiga dimensi yang unik pada sisi aktif enzim, yang terbentuk dari susunan asam amino tertentu yang menciptakan lingkungan kimia yang sesuai untuk reaksi katalisis. Selain bentuk geometris, faktor-faktor seperti muatan listrik, hidrofobisitas, dan kemampuan membentuk ikatan hidrogen pada sisi aktif juga menentukan selektivitas enzim terhadap substrat. Interaksi antara enzim dan substrat tidak hanya melibatkan ikatan fisik, tetapi juga stabilisasi keadaan transisi yang menurunkan barrier energi aktivasi secara signifikan (Aji *et al.*, 2021).

Cara kerja enzim dijelaskan dalam dua teori, yaitu teori *lock and key* (gembok dan kunci) dan teori kecocokan terinduksi. Teori *lock and key* menjelaskan bahwa sisi aktif enzim memiliki bentuk yang komplementer secara geometris dengan substratnya, sehingga hanya substrat dengan bentuk yang tepat yang dapat

berikatan dan membentuk kompleks enzim-substrat. Sementara itu, teori kecocokan terinduksi (*induced fit*) menyatakan bahwa sisi aktif enzim bersifat fleksibel dan dapat mengalami perubahan konformasi ketika substrat mendekat, sehingga terbentuk kecocokan yang optimal antara enzim dan substrat (Wibowo *et al.*, 2021). Kedua teori ini menjelaskan mengapa enzim memiliki spesifitas yang tinggi terhadap substratnya dan mengapa aktivitas katalitik enzim sangat efisien dalam menurunkan energi aktivasi reaksi biokimia. Teori tersebut dapat disajikan pada Gambar 10.

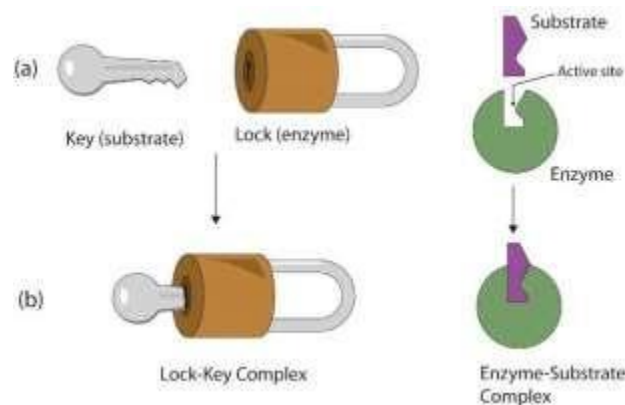


Gambar 7. Teori Gembok kunci dan kecocokan terinduksi
Sumber: Shahib (2005)

Teori Gembok-Kunci (*Lock and Key Theory*) yang dikemukakan Fischer (1894) menggambarkan enzim memiliki situs aktif dengan bentuk tetap dan spesifik yang harus cocok sempurna dengan substrat seperti gembok dan kunci, sedangkan Teori Kecocokan Terinduksi (*Induced Fit Theory*) yang dikembangkan Koshland (1958). Hal tersebut dijelaskan kembali oleh Shahib (2005), bahwa enzim dapat mengalami perubahan konformasi ketika mengikat molekul substrat, dan situs aktif memiliki bentuk yang komplementer dengan substrat hanya setelah substrat terikat. Perbedaan utama keduanya terletak pada fleksibilitas struktur enzim, dimana model lock and key bersifat kaku tanpa perubahan konformasi, sementara *induced fit* menunjukkan enzim sebagai struktur fleksibel yang dapat beradaptasi (Wibowo *et al.*, 2021).

Model *induced fit* menggambarkan spesifisitas luas enzim dan menjelaskan bagaimana enzim mampu mengenali dan mengikat berbagai substrat yang

beragam, sehingga lebih diterima dalam penelitian modern meskipun beberapa enzim masih dapat dijelaskan dengan model *lock and key* untuk interaksi yang sangat spesifik. Pemahaman terhadap kedua teori ini sangat penting dalam bidang bioteknologi dan rekayasa enzim, karena memungkinkan para peneliti untuk merancang enzim dengan aktivitas katalitik yang lebih optimal sesuai dengan kebutuhan industri. Selain itu, kombinasi kedua model teoritis ini juga membantu dalam pengembangan inhibitor enzim yang dapat digunakan sebagai obat-obatan, dimana pemahaman mekanisme pengikatan substrat menjadi kunci dalam desain molekul farmakologis yang efektif. (Supriyatna, 2015). Detail teori gembok dan kunci disajikan pada Gambar 11.



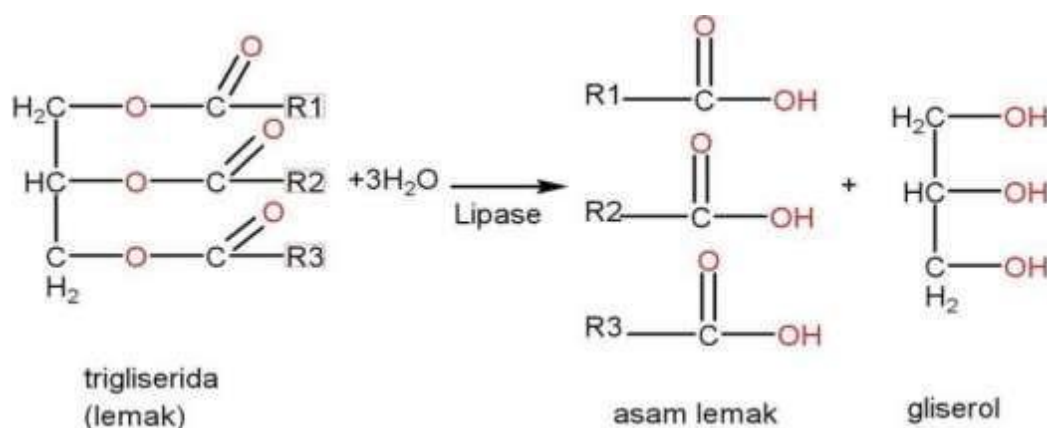
Gambar 8. *Lock and keys Theory*
Sumber: Liubov (2015).

2.7 Enzim Lipase

Lipase (*triacylglycerol hydrolases*, E.C. 3.1.1.3) adalah enzim golongan hidrolase yang mengkatalisis proses hidrolisis trigliserida menjadi gliserol dan asam lemak bebas. Enzim lipase merupakan biokatalisator yang berperan dalam menghidrolisis ikatan ester pada molekul lipid, khususnya trigliserida, untuk menghasilkan asam lemak bebas dan gliserol. Enzim ini dapat ditemukan pada berbagai sumber biologis termasuk mikroorganisme, tanaman, dan hewan, dengan keberadaan yang signifikan pada biji-bijian penghasil minyak seperti kacang kedelai, biji karet, biji bunga matahari, biji jagung, dan kelapa sawit. Enzim lipase ada buah sawit (*Elaeis guineensis*), diproduksi oleh jaringan mesokarp dan

menunjukkan aktivitas katalitik tinggi terhadap substrat lipid, yang berkontribusi pada kualitas dan kuantitas minyak yang dihasilkan. Aplikasi enzim lipase meluas ke berbagai sektor industri meliputi pangan, farmasi, bioteknologi, dan pengolahan minyak (Contesini *et al.*, 2020).

Peran enzim lipase dalam produksi minyak sawit sangat krusial, terutama dalam mengatur kadar asam lemak bebas (ALB) selama berbagai tahap pengolahan. Proses produksi dimulai dari pengolahan tandan buah segar dengan kadar ALB rendah (<1%), dilanjutkan dengan tahap perebusan yang menghasilkan kadar ALB terendah 2,87% pada perebusan 60 menit dan tertinggi 3,55% pada 120 menit (Romadhona, 2022). Tahap pemisahan minyak menunjukkan penurunan kadar ALB dari 15,78% menjadi 11,47% setelah adsorpsi 100 menit menggunakan bioadsorben eceng gondok (Yustinah, 2014), sedangkan proses *bleaching* dengan adsorben tongkol jagung dapat menurunkan ALB hingga 0,19% (Kurniawan *et al.*, 2023). Aktivitas lipase dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan seperti suhu, pH, konsentrasi substrat, dan durasi pemrosesan, dimana kondisi optimal diperlukan untuk mempertahankan struktur tiga dimensi enzim dan mencapai efektivitas maksimal dalam mengatur kadar ALB sesuai standar SNI 01-2901-2012 yang menetapkan batas maksimal 0,5% (Siregar *et al.*, 2018). Proses pemisahan lemak dengan lipase disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Pemisahan lemak dengan lipase
Sumber: Raharja *et al.* (2011)

2.8 Kadar Air

Kadar air dalam produk pertanian, termasuk buah sawit, merupakan faktor penting yang mempengaruhi kualitas dan daya simpan produk tersebut. Kadar air yang tinggi di dalam CPO dikarenakan oleh buah yang rusak atau busuk. Hal tersebut dapat meningkatkan risiko pertumbuhan mikroorganisme, dan mempercepat proses fermentasi, yang pada gilirannya dapat menurunkan kualitas minyak yang dihasilkan. Kadar air buah sawit yang berlebihan dapat menyebabkan terjadinya reaksi hidrolisis yang akan merubah minyak menjadi ALB. Meningkatnya ALB tersebut dapat menyebabkan ketengikan serta perubahan rasa dan warna pada CPO sehingga kualitasnya menurun. Semakin rendah kadar air maka akan semakin rendah pula kadar ALB pada CPO (Maimun *et al.*, 2017).

Oleh karena itu, pengendalian kadar air selama proses pengolahan sangat penting untuk memastikan bahwa produk akhir memenuhi standar kualitas yang diinginkan. Penelitian Suryadi *et al* (2013), mengatakan bahwa kadar air optimal yang terdapat pada buah sawit sebaiknya tidak melebihi 20% agar kualitas minyak yang dihasilkan tetap terjaga. Penentuan kadar air dalam bahan seperti buah sawit biasanya menggunakan metode pengeringan, dimana sampel diuji dengan cara menghilangkan air yang terkandung di dalamnya melalui cara pemanasan. Salah satu metode yang paling umum digunakan adalah metode pengeringan dalam oven, di mana sampel diletakkan dalam oven pada suhu tertentu (biasanya antara 105°C hingga 110°C) selama periode waktu tertentu hingga berat konstan tercapai (Ferga *et al.*, 2019).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Analisis Kimia dan Biokimia Hasil Pertanian dan Laboratorium Pengelolaan Limbah Agroindustri Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Penelitian ini dilakukan pada bulan April sampai dengan Mei 2025.

3.2 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu buah sawit *overripe* dari perkebunan kelapa sawit di daerah Lampung Tengah, minyak goreng sawit, air, aseton, etanol 95%, indikator fenolftalein (PP) dan NaOH.

Alat-alat yang digunakan yaitu neraca analitik *excellent* ketelitian 0,1 mg, uret 50 mL, sentrifuge, gelas ukur, labu tiga leher, labu destilasi, cawan porselen, desikator, timbangan analitik, *oven*, *hot plate*, *magnetic stirrer*, erlenmayer 250 mL, pipet tetes, pipet gondok, kertas saring, termometer, corong pisah, corong gelas, statip dan klem, blander, *aluminium foil* dan *waterbath shaker*.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) dengan penggunaan dua faktor pada taraf yang berbeda. Dua faktor yang dikaji pada penelitian ini adalah variasi lama penyimpanan dalam ruangan dan interval penyiraman menggunakan air dengan suhu normal berkisar

antara 28-34°C pada buah sawit *overripe* sebelum dijadikan ekstrak kasar enzim lipase. Terdapat dua faktorial yang dilakukan dalam penelitian ini, faktor pertama yang digunakan yaitu variasi lama penyimpanan 0, 24, 48 dan 72 jam. Buah sawit *overripe* disimpan pada suhu ruangan sesuai variasi lama penyimpanan yang sudah ditentukan. Faktor kedua yaitu tanpa penyiraman dan penyiraman setiap 12 jam selama 72 jam, dengan volume penyiraman adalah 1:1 (w sampel : w penyiraman). Kedua faktor tersebut akan dikombinasikan dan menghasilkan 8 kombinasi perlakuan (t), dengan jumlah ulangan (r) berdasarkan rumus $(t-1)(r-1) \geq 15$ adalah 3 kali ulangan sehingga menghasilkan total percobaan sebanyak 24 satuan percobaan. Data yang diperoleh selama penelitian akan dilanjutkan dengan melakukan uji *Barlet* dan uji *Tukey*. Kemudian data tersebut di analisis dengan *Analysis of Varians* (ANOVA) untuk mendapatkan pendugaan galat dan menganalisis signifikansi interaksi antar perlakuan. Selanjutnya, data akan diuji lanjut dengan menggunakan uji Orthogonal Polinomial (OP) pada taraf nyata 0,05 dan 0,01. Kombinasi perlakuan untuk memperoleh data penelitian dapat disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kombinasi perlakuan

Kombinasi Perlakuan		Keterangan
P1L1	P1 = 0 jam	L1 = Tanpa penyiraman
P2L1	P2 = 24 jam	L1 = Tanpa penyiraman
P3L1	P3 = 48 jam	L1 = Tanpa penyiraman
P4L1	P4 = 72 jam	L1 = Tanpa penyiraman
P1L2	P1 = 0 jam	L2 = Disiram
P2L2	P2 = 24 jam	L2 = Disiram
P3L2	P3 = 48 jam	L2 = Disiram
P4L2	P4 = 72 jam	L2 = Disiram

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Perlakuan Terhadap Buah Kelapa Sawit *Overripe*

Sebelum dilakukan pengujian aktivitas enzim, buah sawit *overripe* disimpan di dalam ruangan sesuai dengan variasi perlakuan yaitu 0, 24, 48 dan 72 jam. Selama proses penyimpanan, buah sawit *overripe* dibedakan menjadi 2 perlakuan, yaitu tanpa penyiraman dan disiram setiap 12 jam menggunakan air dengan suhu

normal (28-34°C) hingga seluruh bagian buah basah merata. Fungsi penyimpanan dan penyiraman buah sawit agar buah sawit tetap terjaga kelembabannya dan kerusakan yang bisa saja disebabkan oleh meningkatnya aktivitas asam lemak bebasnya. Penelitian ini mengacu pada penelitian Ruswanto *et al* (2020) dan Hasibuan (2020) yang dimodifikasi.

3.4.2 Proses Karakteristik Minyak Sawit

Tahapan penelitian yang dilakukan pada penelitian pendahuluan ini berupa karakterisasi substrat dengan menggunakan minyak sawit. Karakterisasi minyak sawit dilakukan sebelum diberi perlakuan. Karakterisasi tersebut mencakup analisis kadar air dan juga kadar asam lemak bebas pada minyak sawit.

1. Analisis kadar air

Analisis kadar air yang paling banyak digunakan yaitu berpacu pada SNI kadar air (SNI-01-2354.2-2006). Pengujian yang digunakan yaitu dengan metode *thermogravimetri* atau pengeringan dengan menggunakan oven, prinsip ujinya yaitu menghilangkan molekul air melalui pemanasan dengan oven pada suhu 105°C selama 3 jam atau hingga konstan. Nilai kadar air ini di hitung dari selisih berat sampel sebelum dan sesudah sampel di keringkan. Prosedur analisis kadar air dalam penelitian ini diawali dengan dipanaskan cawan kosong dimasukkan ke dalam oven $t=2$ jam, lalu setelah itu cawan kosong dipindahkan ke dalam desikator $t=30$ menit atau sampai mencapai suhu ruang, lalu kemudian di timbang berat cawan kosong tersebut menggunakan timbangan analitik. Lalu, selanjutnya 5 g sampel minyak sawit dimasukkan dalam cawan dan ditimbang. Lalu, sampel minyak tersebut dipanaskan dalam oven pada suhu 105°C selama 3 jam. Apabila sudah selesai, cawan dipindahkan ke dalam desikator dan didinginkan selama 20 menit hingga suhunya sama dengan suhu ruang, kemudian ditimbang menggunakan timbangan analitik. Lakukan pengulangan prosedur hingga diperoleh bobot konstan. Rumus perhitungan kadar air disajikan sebagai berikut:

$$\% \text{ Kadar Air} = \frac{W_1 - W_2}{W \text{ sampel}} \times 100\%$$

Keterangan:

W_0 = Bobot cawan kosong dan tertutup (g)
 W_1 = Bobot cawan, tutup dan sampel sebelum dikeringkan (g)
 W_2 = Bobot cawan, tutup dan sampel sesudah dikeringkan (g)
 $W \text{ sampel}$ = Bobot sampel yang digunakan

2. Analisis kadar asam lemak bebas (ALB)

Analisis kadar asam lemak bebas pada penelitian ini menggunakan metode titrasi asam-basa sesuai dengan SNI 3 9331:2024. Titrasi asam basa merupakan penetapan kadar senyawa-senyawa yang bersifat asam (minyak goreng kemasan) dengan menggunakan baku basa (NaOH). Prinsip kerja analisis asam lemak bebas adalah dilarutkan dalam campuran pelarut yang sesuai, dan asam yang ada di titrasi dengan larutan etanol agar trigliserida pada sampel terhidrolisis dan menghasilkan asam lemak bebas. Larutan titran yang digunakan yaitu (NaOH). Prosedur analisis ALB diawali dengan ditimbang minyak sawit sebanyak 28-56 g ke dalam Erlenmeyer. Kemudian, sampel tersebut dilarutkan dengan etanol hangat sebanyak 50 mL dan ditambahkan 5 tetes larutan fenolftalein sebagai indikator. Selanjutnya, larutan sampel di titrasi dengan menggunakan larutan titran NaOH 0,1 N hingga terjadi perubahan warna menjadi merah muda yang stabil dalam minimal waktu 30 detik. Setelah itu dicatat volume larutan NaOH yang diperlukan. Kemudian dilakukan perhitungan kadar ALB dengan menggunakan rumus sebagai berikut

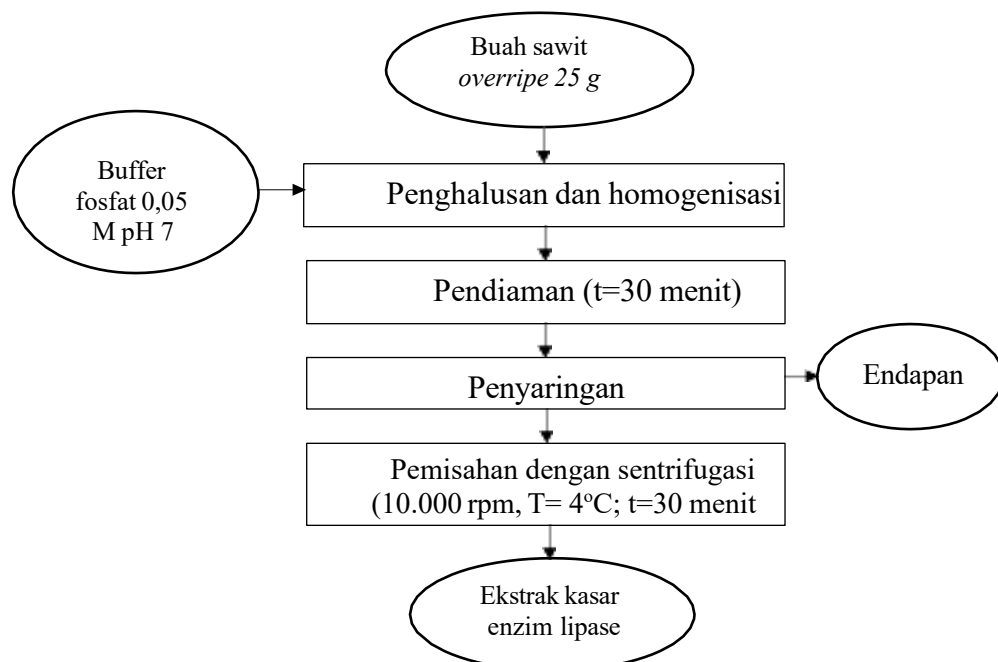
$$\text{Kadar ALB} = \frac{25,6 \times N \times V}{W} \times 100\%$$

Keterangan:

- 25,6 = Konstanta untuk menghitung kadar ALB sebagai asam palmitat
- V = Volume larutan NaOH yang diperlukan (mL)
- N = Normalitas larutan NaOH (N)
- W = Bobot sampel yang diuji (g)

3.4.3 Isolasi Ekstrak Kasar Enzim Lipase

Proses isolasi ekstrak kasar enzim lipase buah sawit *overripe* dilakukan dengan memodifikasi prosedur penelitian Pomeistia dan Bayani (2021) dan Kimtun *et al.*, (2015). Prosedur pada tahapan ini diawali dengan ditimbang buah sawit *overripe* sebanyak 25 g, dihaluskan sampel dan dicampur dengan buffer fosfat 0,05 M pH7 sebanyak 40 mL, lalu didiamkan selama 30 menit. Kemudian disaring hasil penghalusan menggunakan kertas saring untuk memisahkan residu. Selanjutnya, dilakukan proses pemisahan menggunakan sentrifuge dengan 10.000 rpm dengan suhu 4°C selama 30 menit hingga dihasilkan ekstrak enzim kasar lipase. Prosedur kerja tahapan ini disajikan pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram alir proses isolasi ekstraksi kasar enzim lipase. Sumber: Pomeistia dan Bayani (2021) dan Kimtun *et al.* (2015)

3.4.4 Analisis Aktivitas Ekstrak Kasar Enzim Lipase

Proses selanjutnya yaitu dilakukan penelitian inti aktivitas ekstrak kasar enzim lipase. Proses analisis ini dilakukan sebelum dan sesudah perlakuan. Tahapan ini diawali dengan disiapkan minyak goreng sawit dalam erlenmeyer 100 mL sebanyak 5 g, lalu ditambahkan 2,5 mL n-heksan dan buffer fosfat 0,05 M dengan pH 7 sebanyak 5 mL. Selanjutnya, ditambahkan enzim sebanyak 1 mL lalu dihomogenkan dan diinkubasi dalam *waterbath shaker* selama 45 menit; $T = 37^{\circ}\text{C}$. Selanjutnya, sampel hasil inkubasi ditambahkan 5 tetes indikator PP 1%, lalu di titrasi dengan larutan NaOH 0,05 M. Hentikan titrasi saat larutan sudah berubah warna menjadi merah muda. Lalu, untuk melakukan penentuan blanko digunakan komposisi larutan yang sama, akan tetapi saat larutan enzim dimasukkan, segera tambahkan campuran aseton: etanol (1:1) sebanyak 10 mL. Kemudian di titrasi dengan prosedur yang sama saat analisis sampel. Selanjutnya dihitung aktivitas ekstrak kasar enzim lipase (μmol) dari buah sawit *overripe* dengan rumus sebagai berikut. Prosedur kerja tahapan ini disajikan pada Gambar 11.

$$\text{Aktivitas Enzim} = \frac{(\text{V sampel} - \text{V blanko}) \times N \times 1000}{\text{V enzim} \times t}$$

Keterangan:

V sampel = Volume NaOH sampel (mL)

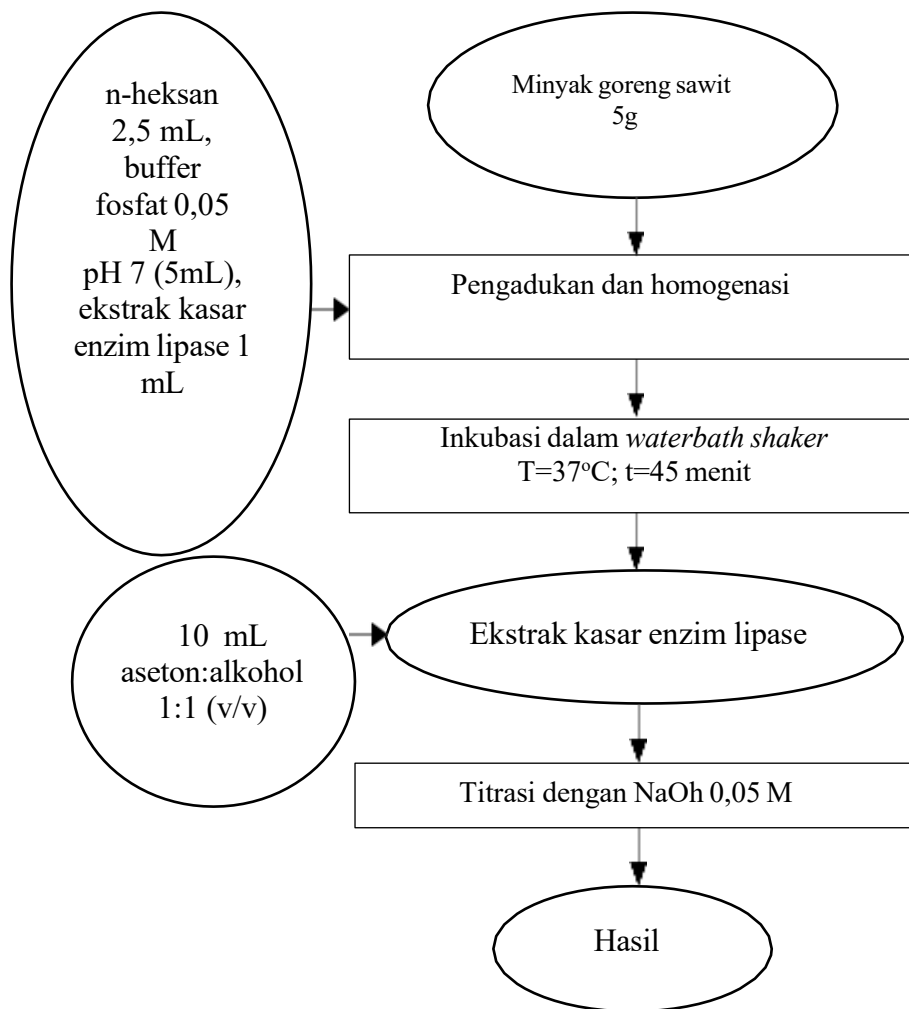
V blanko = Volume NaOH blanko (mL)

N = Normalitas NaOH

V enzim = Volume enzim (mL)

T = Waktu inkubasi (menit)

1000 = Nilai konversi dari mmol ke dalam satuan mol



Gambar 11. Diagram alir prosedur kerja analisis aktivitas crude enzim lipase. Sumber: Aisyah (2024)

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Lama penyimpanan memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap aktivitas enzim lipase buah sawit *overripe*. Frekuensi penyiraman memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap aktivitas enzim lipase. Interaksi antara penyiraman dan lama penyimpanan (AB) tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap aktivitas enzim lipase.
2. Hasil uji Orthogonal Polynomial menunjukkan bahwa penyiraman berpengaruh signifikan terhadap peningkatan aktivitas enzim lipase pada buah sawit *overripe*, dengan aktivitas yang lebih tinggi dibandingkan tanpa penyiraman, karena kelembaban yang terjaga membantu stabilitas enzim. Lama penyimpanan juga berpengaruh signifikan terhadap aktivitas enzim, dengan titik optimum pada 48 jam untuk buah yang disiram dan peningkatan bertahap hingga 72 jam tanpa penyiraman.

5.2 Saran

Saran dari penelitian ini yaitu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penyimpanan yang lebih lama dan penyiraman yang lebih sering, serta perlu dilanjutkan meneliti ampas dari *mesocarp* yang sudah terpakai.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung, N. 2019. *Teknologi agroindustri buah sawit*. Lambung Mengkurat University. Banjarmasin. 197 hlm.
- Aisyah, W. 2024. Pengaruh pH, suhu, dan waktu inkubasi terhadap aktivitas ekstrak kasar enzim lipase dari buah sawit *overripe*. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 78 hlm.
- Aji, W., Ramadhany, W., dan Tri, A. 2021. Karakterisasi dan penapisan enzim protease, amilase, serta selulase isolat kapang filoplan *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. *Jurnal Biologi Universitas Andalas*. 9(2): 54-59.
- Al Haji. 2023. Pengaruh Komposisi media tanam dan pupuk npk terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) di *Main Nursery*. *Skripsi*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Medan. 80 hlm.
- Anugrah, P.T., A. Wachjar. 2018. Pengelolaan pemanenan dan transportasi kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Bangun Bandar Estate, Sumatera Utara. *Jurnal Buletin Agrohorti*. 6(2):213-220.
- Artha, S. R., Supriyanto, G., dan Priambada. 2023. Pengaruh kematangan buah terhadap FFA dan besarnya kandungan minyak di dalamnya di pabrik kelapa sawit. *Jurnal Agroforetech*. 1(1): 676-684.
- Asyfaa, A. W. 2023. Penanganan tandan buah segar kelapa sawit dengan penyemprotan larutan kalsium propionat dan kalium sorbat untuk mempertahankan kualitas *crude palm oil*. *Skripsi*. Universitas Padjadjaran. Bandung. 90 hlm.
- Badan Pusat Statistik. 2023. *Ekspor minyak kelapa sawit menurut negara tujuan utama, 2012-2023*. Jakarta. 34 hlm.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. SNI 7709-2012. *Syarat mutu minyak goreng sawit*. Badan Standarisasi Nasional : Jakarta. 8 hlm.

- Baldani., Alfon., dan Taali. 2020. Pecancangan sistem kontrol sterilizer vertical kelapa sawit berbasis arduino UNO. *JTEV Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional*. 6 (2): 87-97.
- Bareta, A., Purwanto, H., dan Giyanto. 2021. Pengaruh konsentrasi asap cair berbasis tempurung kelapa dan cangkang kelapa sawit terhadap karakteristik lateks yang digumpalkan. *Jurnal Teknik Pengolahan Hasil Perkebunan Kelapa Sawit dan Karet*. 3(1): 16-25.
- Basiron. 2005. *Palm oil*. John Wiley & Sons Inc. Hoboken. 46 hlm.
- Contesini, F. J., Davanço, M. G., Borin, G. P., Vanegas, K. G., Cirino, J. P. G., Melo, R. R. D., and Carvalho, P. D. O. 2020. advances in recombinant lipases: production, engineering, immobilization and application in the pharmaceutical industry. *Journal Catalysts*. 10(9): 1032-1039.
- Day, Underwood. 1997. *Kimia analisis kuantitatif*. Erlangga. Jakarta. 300 hlm.
- Dinata, T.A., Junaidi., dan Kurniawan, E. 2019. studi pemanfaatan biomassa limbah padat pabrik kelapa sawit (PKS) untuk pembangkit energi listrik. *Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin*.1(1): 34-54.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2022. *Statistik perkebunan unggulan nasional 2020-2022*. Direktorat Jenderal Perkebunan, Jakarta.80 hlm.
- Direktorat Jenderal Perkebunan, 2023. *Statistik perkebunan unggulan nasional tahun 2021-2023*. Sekretariat Direktorat Jenderal Perkebunan. Jakarta. 38 hlm.
- Fahisyah, R.N., Nurlia N., dan Zulfian A. 2019. Pengaruh variasi lama penyimpanan reagen enzim 1 a terhadap hasil pemeriksaan ureum darah metode *berthelot*. *Jurnal Media Analis kesehatan*. 10(1): 21-27.
- Fauzi, Y., Widyastuti, Y. E., Satyawibawa, I. dan Paeru, R. H. 2012. *Kelapa sawit*. jakarta: Penebar Swadaya. 30 hlm.
- Ferga, T., Firas, A., dan Sujadi, H. 2019. Implementasi alat pendeteksi kadar air pada bahan pangan berbasis *internet of things*. *Journal Smartics*. 5(2): 81-96.
- Fernandez B.A., Hutajulu, P.E., Pratikha, R.S., dan Tarigan, N.I. 2023. The effect of specific gravity of clay (*Aluminium Hydrosilicate*) on kernel losses at claybath station`s. *Jurnal Rekayasa Teknologi Proses dan Sains Kimia*. 1(1): 32-45.

- Fischer, E. 1894. Einfluss der configuration auf die wirkung der enzyme. *Journal Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft*. 27(1): 2985-2993.
- Gabriel, A., Zaman, S., dan Supijatno. 2023. Pengelolaan sistem panen kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di kebun rambutan, Serdang Berdagai, Sumatera Utara. *Jurnal Bulletin Agrohorti*. 11(3): 331-337.
- Gunarso, R., Rustam, R., & Laoh, J. H. 2014: Test of some concentration of piper aduncum l. fruit flour extract to control nettle caterpillar setora nitens walker (lepidoptera; limacodidae) at oil palm of plant (*Elaeis guineensis jacq*). *Skripsi*. Universitas Riau. Riau. 80 hlm.
- Hasibuan, H. A. 2012. Kajian mutu dan karakteristik minyak sawit indonesia serta produk fraksinasinya. *Jurnal Standarisasi*. 14(1):12-21
- Hasibuan, H.A. 2020. Pengaruh penyiraman dan perendaman tandan buah kelapa sawit terhadap berat tandan buah kelapa sawit dan asam lemak bebas minyak sawit. *Jurnal Warta Pusat Penelitian Kelapa Sawit*. 25(1):11-16
- Hudori, M. 2018. Formulasi model *safety stock* dan *reorder point* untuk berbagai kondisi persediaan material. *Jurnal Citra Widya Edukasi*. 10 (3): 217-224.
- Idris, I., Mayerni, R., dan Warnita. 2020. Karakterisasi morfologi tanaman kelapa sawit (*elaeis guineensis jacq.*) di kebun binaan PPKS Kabupaten Dharmasraya. *Jurnal Riset Perkebunan*. 1(1): 45-53.
- Ika, F., dan Yuni, Q. 2018. Penentuan kadar asam lemak bebas dan kadar air pada minyak goreng yang digunakan oleh pedagang gorengan di Jalan Manyar Sabrangan, Mulyorejo, Surabaya. *Journal of Pharmacy and Science*. 3(2): 17-22.
- Ishak, H., Shiddiq, M., Fitra, R. H., & Yasmin, N. Z. 2019. Klasifikasi tingkat kematangan tandan buah segar kelapa sawit menggunakan pencitraan fluoresensi yang diinduksi laser. *Journal of Aceh Physics Society*. 8(3): 84-89.
- Karyadi, J. D. 1999. Ketengikan minyak dan lemak karena oksidasi. *Jurnal Bulletin Penelitian*. 21(3): 1-12.
- Kimtun, P., Choonut, O., Yunu, T., Paichid, N., Klomkloa, S., Sangkharak, K. 2015. Biodiesel production using lipase from oil palm fruit as a catalyst. *Journal Energy Procedia*. 17(2): 822-826.

- Koshland, D. 1958. Application of a theory of enzyme specificity to protein synthesis. *Journal Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*. 44(2): 98-104.
- Kurniawan, R., Fajrina, S, A., Tyas, N, Y. 2023. Pengaruh jenis adsorben pada proses *bleaching* di pemurnian *crude palm oil* (CPO) Sebagai Bahan Baku pada Proses Green Fuel. *Skripsi*. Institut Teknologi Nasional (Itenas), Bandung. 85 hlm.
- Levia, D., dan Mhubaligh. 2023. Analisis proses produksi cpo untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas mutu CPO. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*. 2(2): 82-89.
- Liubov, P. 2015. Modelling and simulation of enzyme-catalyzed reaction. *Tesis*. National University of “Kyiv-Mohyla Academy”. Ukraina. 23 hlm.
- Lukito P, L, dan Sudradjat. 2017. Pengaruh kerusakan buah kelapa sawit terhadap kandungan *free fatty acid* dan rendemen CPO di kebun talisayan 1 berau. *Jurnal Agro Industri Perkebunan* 5(1):37 -44.
- Mahfudz, M., Dharmawati,N., dan Supriyanto, G. 2025. Pengaruh kerusakan dan lama penyimpanan tandan buah segar (TBS) terhadap asam lemak bebas (ALB). *Jurnal Teknotan*. 19(1): 43-48.
- Maimun, T., Arahman, N., Arifah, F., dan Rahayu, P. 2017. Penghambatan peningkatan kadar asam lemak bebas (*free fatty acid*) pada buah kelapa sawit dengan menggunakan asap cair. *Jurnal Teknologi dan Industri Pertanian Indonesia*. 9(2): 44-49.
- Mardawati, E., Hidayat, M. S., Rahmah, D. M., dan Rosalinda, S. 2019. *Jurnal Industri Pertanian*. 1(3):46-60.
- Marks, D.B.A.D., Marks, C.M., dan Smith. 2000. Biokimia kedokteran dasar: sebuah pendekatan klinis. Kedokteran EGC. Jakarta. 40 hlm.
- Maulinda, L., Nasrul, Z, A., dan Nurbaity. 2017. Hidrolisis asam lemak dari buah sawit sisa sortiran. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. 6(2): 1-15.
- Mirnawati. 2022. *Bungkil inti sawit fermentasi sebagai pakan alternatif unggas*. Andalas University Press. Padang. 53 hlm.
- Munir, M. 2023. Formulasi dan uji stabilitas fisik krim anti acne halal dari ekstrak etanol 70% daun kersen (*Muntingia calabura L.*). *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. Malang. 67 hlm.

- Murgianto, F., Edyson., Adhy, A., Kesuma, S, P., dan Lilik, P. 2021. Potensi kandungan minyak kelapa sawit dengan berbagai tingkat berondolan lepas di piringan. *Jurnal Agro Industri Perkebunan*. 9(2):91-98.
- Murray, R. K., Granner, D. K., Mayes, P. A., dan Rodwell, V. W. 2014. *Biokimia harper (29th ed.)*. Buku Kedokteran EGC. Jakarta. 198 hlm.
- Ngando, E., Dhouib, R., Carriere, F., Zollo, A., dan Arondel, V. 2006. Pengujian aktivitas lipase dari buah kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) *mesocarp*. *Jurnal Fisiologi Tumbuhan dan Biokimia*. 44(10): 61-71.
- Nyoman, A. 2014. Analisis daya saing komoditi *crude palm oil* (CPO) Indonesia tahun 2001-2012. *E-Jurnal EP Unud*. 4(1): 12 – 20
- Pahan dan Iyung. 2015. *Panduan lengkap kelapa sawit (manajemen agribisnis dari Hulu ke Hilir)*. Penebar Swadaya. Jakarta. 28 hlm.
- Pomeistia, M., dan Bayani, F. 2021. Uji aktivitas enzim lipase dari kecambah biji ketapang, biji rambutan, biji alpukat, palm putri dan biji durian. *Jurnal Sanitasi dan Lingkungan*. 2(1): 99-103.
- Pranata, D, I., & Husin, H. 2023. Analisis mutu *crude palm oil* (CPO) dengan parameter kadar asam lemak bebas (ALB) dan kadar air yang terdapat pada *daily tank* di PT. socfin indonesia kebun seunagan. *Jurnal Pertanian Agro*. 25(2): 1-7.
- Purwanto, I. J., dan Santosa, E. 2016. Hubungan mutu buah dan curah hujan terhadap kandungan asam lemak bebas pada minyak kelapa sawit. *Buletin Agrohorti*. 4(3): 250-255.
- Putri, D. O., Mardawati, E., Putri, S. H., & Frank, D. 2019. Comparison of the CPO (*Crude Palm Oil*) degumming method on the characteristics of the lecithin produced. *Jurnal Industri Pertanian*. 1(3): 88-94.
- Raharja, S., Suryadarma, P., dan Oktavia, T. 2011. Hidrolisis enzimatik minyak ikan untuk produksi asam lemak omega-3 menggunakan lipase dari *Aspergillus niger*. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*. 22(1): 64-72.
- Rahmawati, A., Putranto, K., Hendrawan, dan Wahyudin, E. 2023. pengaruh jangka waktu perebusan terhadap rendemen dan beberapa karakteristik minyak kelapa sawit. *Jurnal Agribisnis dan Teknologi Pangan*. 3(2): 57-64.
- Rahkadima, Y. dan Yuni, Q. 2017. Produksi biodiesel dari dedak padi secara in situ dengan teknologi *microwave*. *Journal of Research and Technology*. 3(2): 54–62.

- Rantawi, A. B., Mahfud, A., & Situmorang, E. R. 2017. Korelasi antara kadar air pada kernel terhadap mutu kadar asam lemak bebas produk *palm kernel oil* yang dihasilkan Studi Kasus pada PT XYZ. *Industrial Engineering Journal*. 6(1): 36-42.
- Rizky, P. dan Al-khowarizmi. 2024. Deteksi kematangan buah sawit dengan menggunakan algoritma *convolutional neural network*. *Jurnal TAMIKA*. 4(2): 175-182.
- Rofiqatus, S., dan Rudiana, A. 2021. Lipase biji-bijian dan karakteristiknya. *Journal of Chemistry*. 10(2): 168-183.
- Romadhona, Ilham. 2022. pengaruh lama waktu perebusan brondolan terhadap kualitas CPO (*crude palm oil*) di kebun sawit rakyat Desa Munggualung Kecamatan Cempaka Kota Banjarbaru, Kalimantan Selatan. *Skripsi*. Universitas Lambung Mangkurat. Kalimantan Selatan. 71 hlm.
- Ruswanto, A., Ramelan, A.H., Praseptianga, D., dan Partha, I.B.B. 2020. Effect of ripening level and processing delay on the characteristics of oil palm fruit bunches. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*. 10(1): 389-394.
- Sahputra, R., Wawan., dan Anom, E. 2016. Pengaruh kedalaman muka air tanah dan bahan organik terhadap ketersediaan hara dan pertumbuhan tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis Jacq*) di lahan gambut. *JOM Faperta*. 3(1): 1-15.
- Santoso, A. D. 2018. Evaluasi kinerja pabrik kelapa sawit dalam produksi energi terbarukan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 19(2): 213-220.
- Saragih, V. D., Mea, K., Melaca, R., Darmawan., dan Hendrianie, N. 2018. Pra desain pabrik CPO (*Crude Palm Oil*) dan PKO (*Palm Kernel Oil*) dari buah kelapa sawit. *Jurnal Teknik ITS*. 7(1): 181-185.
- Saraswati, A. 2012. Efektifitas penggunaan *fresh fruit bunch* (FFB) *scrapper* pada *loading ramp* untuk meminimalisasi *oil losses in empty bunch* (studi kasus di pabrik kelapa sawit PT. Cisadane Sawit Raya Sumatera Utara). *Jurnal Citra Widya Edukasi*. 2(1): 12-23.
- Sembiring., dan Alviansyah, T. 2021. Analisa kadar air, kotoran dan asam lemak bebas pada *crude palm oil* (CPO) di pusat penelitian kelapa sawit Medan. *Tesis*. Universitas Sumatra Utara. Medan. 40 hlm.
- Shahib, N. 2005. *Biologi Molekular Medik I*. Unpad Press. Bandung. 24 hlm.

- Siagian, I. M. N., Khairunnisa., Sundari, W., dan Widiarti, L. 2024. Analisa mutu *crude palm oil* (CPO) di pabrik kelapa sawit PT. Socfin Indonesia (SOCFINDO) Kebun Aek Loba. *Jurnal Envi Science*. 8(1): 29-40.
- Simamora, C., dan Sukmawati. 2020. Identifikasi dan karakterisasi aktivitas ekstrak kasar enzim lipase isolat bakteri lipolitik lptk 19 asal tempe biji karet. *Median Jurnal Ilmu Eksakta*. 12(1): 28-37.
- Siregar, M.T., Wieke S.W., Doni S dan Anik N. 2018. *Kendali mutu*. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Jakarta. 32 hlm.
- SNI 01-2354.2-2021. 2021. *Analisis kadar air - thermogravimetri*. Badan Standardisasi Nasional (BSN), Jakarta, Indonesia. 12 hlm.
- Sovia, E., Rahmi, S. L., dan Fortuna, D. 2024. Pengaruh penggunaan microwave oven terhadap proses sterilisasi buah kelapa sawit. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*. 12(1): 110-125.
- Sujadi, Hasibuan, H. A., & Rivani, M. 2017. Karakterisasi minyak selama pematangan buah pada tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) varietas D X P Simalungun. *Jurnal Pendidikan Kelapa Sawit*. 25(2): 5970.
- Sukmawati, S., Rahmi, S., dan Nurhidayatullah. 2023. Analisis penentuan kadar air dan kadar kotoran terhadap kualitas minyak crude palm oil (CPO) di daily tank di PT. Socfindo Kebun Seunagan. *Jurnal Teknologi Pengolahan Pertanian*. 5(1): 27-32.
- Supriyatna, A., Amalia, D., Jauhari, A, A., Holydaziah, D. 2015. Aktivitas enzim amilase, lipase dan protase dari larva. *Jurnal Edisi Juli*. 09(2): 18-32.
- Suryadi Y, Priyanto TP., Susilowati DN., Samudra IM., Yudhistira N., dan Purwakusumah ED. 2013. Isolasi dan karakterisasi kitinase asal bacillus cereus 11 UJ. *Jurnal Biologi Indonesia*. 9(1): 51-62.
- Susilo, Y. D. 2017. Kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin serat sawit hasil fermentasi jamur pelapuk. *Skripsi*. Fakultas Peternakan. Universitas Hasanudin Makassar. Makassar. 78 hlm.
- Syahdia, H. H., Rini ,W. , Numba, S., Bunga, D., Rochman, F., Dewati, P., Dewi, R., Oktatora, E., Warnita., Yulianes, E., dan Solehah, N. A. 2024. *Fisiologi Tanaman*. CV Hei Publishing Indonesia. Padang. 90 hlm.
- Tagoe, S.M.A., Dickinson, M.J., and Apetorgbor, M.M., 2012. Factors influencing quality of palm oil produced at cottage industry level in ghana. *International Food Research Journal*. 19(1): 271-278.

- Taufik, M., dan Seftiono, H. 2018. Karakteristik fisik dan kimia minyak goreng sawit hasil proses penggorengan dengan metode *deep-fat frying*. *Jurnal Teknologi*. 10(2): 124-128.
- Ulfindrayani, I. F., dan Ayuni, Q. 2018. Penentuan kadar asam lemak bebas dan kadar air pada minyak goreng yang digunakan oleh pedagang gorengan di jalan Manyar Sebrangan, Mulyorejo, Surabaya. *Journal of Pharmacy and Science*. 3(2): 17-22.
- Untari, B., Miksusanti., dan Ainna, A. 2020. Penentuan kadar asam lemak bebas dan kandungan jenis asam lemak dalam minyak yang dipanaskan dengan metode titrasi asam basa dan kromatografi gas. *Jurnal Ilmiah Bakti Farmasi*. 5(1): 1-10.
- Wibowo, S., Yuliatmo, R., Maryati, T., dan Iwan, P. 2021. *Enzyme foe leather*. PT Sepadan Putra Mandiri. Yogyakarta. 123 hlm.
- Wijaya, E., Indriyanti, R., Rinawati, Utami, R. N., Negsih, T. A., Hermawan.E., Deseria, R., Aziza, N., Judijanto, L., dan Mardikawati, B. 2024. Pengantar statistika konsep dasar untuk analisis data. PT Sonpedia Publishing Indonesia. Jambi. 67 hlm.
- Winika, E., Sigit,, N., dan Jose, R. 2015. Kajian penentuan fungsi polinomial dengan metode ortogonal polinomial untuk taraf kuantitatif berjarak sama. *Jurnal Statistika*. 2(1): 43-52.
- Wiyono. 2013. Hasrat menguasai pasar minyak sawit. *Jurnal Info Sawit*. 7(1):12-15.
- Yustinah, Y. dan Rahayu, R.A.N. 2014. Pengaruh lama proses adsorpsi terhadap penurunan kadar asam lemak bebas (FFA) dan bilangan peroksida (PV) pada *crude palm oil* (CPO) menggunakan bioadsorben dari enceng gondok. *Jurnal Teknologi*. 6(2): 131-136.