

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

(Skripsi)

Oleh

**Alyaa Khoirunnisaa Yulian
2114051030**



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

ABSTRACT

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

By

ALYAA KHOIRUNNISAA YULIAN

Overripe palm fruits or palm fruits that have exceeded their optimal ripeness phase are no longer used as raw materials for CPO (Crude Palm Oil) because they contain high levels of free fatty acids. High levels of free fatty acids are caused by high lipase enzyme activity in palm fruit flesh. Lipase enzymes found in overripe palm fruits can be conditioned to stabilize their activity so that they can be isolated and utilized. The objective of this study was to determine the effect of outdoor storage time and watering on the activity of crude lipase enzyme extract, the interaction between storage time and watering frequency of overripe palm fruit on the activity of crude lipase enzyme extract, and to determine the highest activity of crude lipase enzyme extract. The study was conducted using a Complete Randomized Block Design (CRBD) arranged in a factorial design with two factors at different levels. The factors used were variations in outdoor storage time at four levels: 0, 24, 48, and 72 hours, and watering intervals for overripe oil palm fruits before being processed into crude lipase enzyme extract at two levels: no watering and watering every 24 hours. The results showed that outdoor storage time had a significant linear effect on the activity of crude lipase enzyme extract from overripe oil palm fruit, while watering frequency had no effect on the activity of crude lipase enzyme extract from overripe oil palm fruit. There was an interaction between outdoor storage time and watering frequency of overripe oil palm fruit on the activity of crude lipase enzyme extract. The highest activity of crude lipase enzyme extract from overripe oil palm fruit was obtained at a storage time of 72 hours with watering, amounting to 2.222 U/mL.

Keywords: crude lipase enzyme activity, overripe oil palm fruit, biocatalyst

ABSTRAK

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

Oleh

ALYAA KHOIRUNNISAA YULIAN

Buah sawit *overripe* atau buah sawit yang sudah melebihi fase kematangan optimal tidak lagi digunakan sebagai bahan baku CPO (Crude Palm Oil) karena mengandung asam lemak bebas yang tinggi. Asam lemak bebas yang tinggi disebabkan oleh tingginya aktivitas enzim lipase dalam daging buah sawit. Enzim lipase yang terdapat dalam buah sawit *overripe* dapat dikondisikan stabilitas aktivitasnya untuk kemudian diisolasi dan dimanfaatkan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh lama penyimpanan dan penyiraman terhadap aktivitas ekstrak kasar enzim lipase, interaksi antara lama penyimpanan dan frekuensi penyiraman buah sawit *overripe* terhadap aktivitas ekstrak kasar enzim lipase, serta mengetahui aktivitas tertinggi dari ekstrak kasar enzim lipase. Penelitian dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) yang disusun secara faktorial dengan dua faktor pada taraf yang berbeda. Faktor yang digunakan adalah variasi lama penyimpanan di luar ruangan sebanyak 4 taraf berupa 0, 24, 48, dan 72 jam serta interval penyiraman buah sawit *overripe* sebelum dijadikan ekstrak kasar enzim lipase sebanyak 2 taraf yaitu tanpa penyiraman dan dengan penyiraman setiap 24 jam interval. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lama penyimpanan secara linier berpengaruh nyata terhadap aktivitas ekstrak kasar enzim lipase dari buah sawit *overripe*, sedangkan frekuensi penyiraman tidak berpengaruh terhadap aktivitas ekstrak kasar enzim lipase dari buah sawit *overripe*. Terdapat interaksi antara lama penyimpanan di luar ruangan dan frekuensi penyiraman buah sawit *overripe* terhadap aktivitas ekstrak kasar enzim lipase. Aktivitas ekstrak kasar enzim lipase tertinggi pada buah sawit *overripe* diperoleh pada perlakuan lama penyimpanan 72 jam dengan penyiraman yaitu sebesar 2,222 U/mL.

Kata kunci: aktivitas ekstrak kasar enzim lipase, buah sawit *overripe*, biokatalis

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

Oleh

ALYAA KHOIRUNNISAA YULIAN

Skripsi

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

Pada

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



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

Judul Skripsi

: **PENGARUH LAMA PENYIMPANAN DI
LUAR RUANGAN DAN PENYIRAMAN
BUAH SAWIT (*Elaeis guineensis*) *OVERRIPE*
TERHADAP AKTIVITAS EKSTRAK
KASAR ENZIM LIPASE**

Nama

: **Alyaa Khoirunnisaa Yulian**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **2114051030**

Program Studi

: **Teknologi Hasil Pertanian**

Fakultas

: **Pertanian**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

(Dr. Ir. Ribut Sugiharto, M.Sc.)

NIP. 196603141990031009

(Lathifa Indraningtyas, S.T.P., M.Sc.)

NIP. 199109182019032023

2. Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian

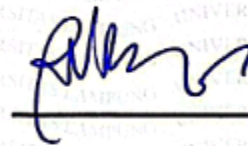
(Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A., C.EIA.)

NIP. 19721006 1998031005

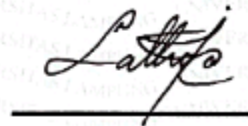
MENGESAHKAN

1. Tim Peguji

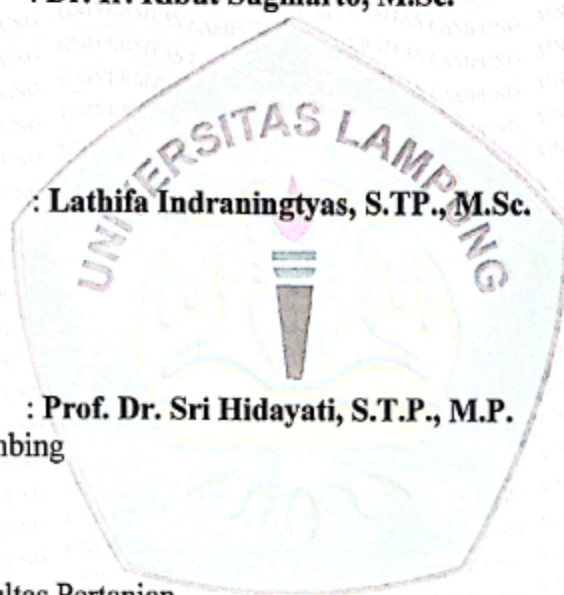
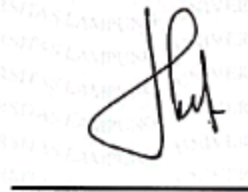
Ketua : **Dr. Ir. Ribut Sugiharto, M.Sc.**



Sekretaris : **Lathifa Indraningtyas, S.TP., M.Sc.**



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



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. H. Kuswanta 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 : Alyaa Khoirunnisaa Yulian

NPM : 2114051030

Dengan ini saya menyatakan bahwa seluruh isi dari karya ilmiah ini merupakan hasil pemikiran dan kerja saya sendiri, yang disusun berdasarkan pengetahuan serta informasi yang telah saya peroleh. Karya ilmiah ini tidak memuat isi yang telah dipublikasikan sebelumnya dan bukan merupakan hasil plagiarisme dari karya orang lain.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan sepenuhnya dapat saya pertanggungjawabkan. Apabila di kemudian hari ditemukan adanya tindakan kecurangan dalam penyusunan karya ini, saya bersedia untuk menerima segala konsekuensi yang berlaku.

Bandar Lampung, 26 Juni 2025

Yang membuat pernyataan



Alyaa Khoirunnisaa Yulian

NPM. 2114051030

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kuningan pada 18 Desember 2002 sebagai anak dari Bapak Rincih Yulian dan Ibu Titi Kurniatini. Pendidikan dasar ditempuh di SDN 1 Linggajati (2009 - 2015), kemudian melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Cilimus (2015 – 2018), dan menyelesaikan pendidikan Menengah Atas di SMAN 1 Cilimus (2018 – 2021). Pada tahun 2021, penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Pada bulan Januari – Februari tahun 2024, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Suma Mukti, Kecamatan Way Tuba, Kabupaten Way Kanan, Provinsi Lampung. Pada bulan Juli – Agustus tahun 2024, penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di PT. Perkebunan Nusantara I Regional 2 Kebun Malabar Unit Kertamanah, Kecamatan Pangalengan, Kabupaten Bandung, dengan judul “Mempelajari Proses Pengemasan dan Penggudangan Teh Hitam *Orthodox* di PTPN I Regional 2 Kebun Malabar Unit Kertamanah Bandung”.

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah meraih peringkat 2 dalam perlombaan Karya Tulis Ilmiah Mahasiswa (KATULISTIWA) pada tahun 2022 yang diselenggarakan oleh Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian. Penulis juga pernah aktif di Organisasi Forum Studi Islam sebagai Anggota Bidang Media Center Fosi. Selain itu, penulis juga pernah menjadi Asisten Praktikum mata kuliah Biologi (2023 dan 2024), dan mata kuliah Uji Sensori (2024).

SANWACANA

Alhamdulillah rabbil 'alamin, puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Lama Penyimpanan di Luar Ruangan dan Penyiraman Buah Sawit (*Elaeis guineensis*) Overripe Terhadap Aktivitas Ekstrak Kasar Enzim Lipase” dengan baik. Selama pelaksanaan dan penulisan skripsi, penulis mendapat banyak bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan kepada penulis terutama 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 Ketua Program Studi Teknologi Hasil Pertanian.
4. Bapak Dr. Ir. Ribut Sugiharto, M.Sc., selaku dosen pembimbing akademik sekaligus dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan banyak bantuan, bimbingan, arahan, saran, nasihat dan motivasi selama perkuliahan, pelaksanaan, dan penyusunan skripsi ini.
5. Ibu Lathifa Indraningtyas, S.TP., M.Sc., selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, bantuan, dan motivasi kepada penulis selama pelaksanaan dan penyusunan skripsi.
6. Ibu Prof. Dr. Sri Hidayati, S.T.P., M.P., selaku dosen pembahas yang telah memberikan saran, masukan, arahan, dan evaluasi kepada penulis dalam penyusunan skripsi sehingga skripsi ini dapat disusun menjadi lebih baik.

7. Bapak dan Ibu dosen pengajar atas ilmu yang telah diberikan selama perkuliahan. Staf administratif dan pranata Laboratorium THP atas bantuannya selama pelaksanaan perkuliahan dan penelitian.
8. Kedua orang tua tercinta yaitu Ayahanda Rincih Yulian, S.T., dan Ibunda Titi Kurniatini, S.Pt., yang telah merawat dan membesarkan penulis dengan penuh kasih sayang, serta selalu berjuang mengusahakan yang terbaik untuk kehidupan penulis hingga akhirnya penulis dapat tumbuh dewasa dan berada pada titik ini. Skripsi ini penulis persembahkan untuk Ayah dan Ibu. Terima kasih karena selalu menjaga penulis dalam doa-doa ayah dan ibu.
9. Kakak tersayang Nurul Izzati Yulian, S.Si., dan kedua adik tersayang Nabiilah An-Nafiisah dan Muhammad Faa'iz Abdurahman yang telah memberikan dukungan, motivasi, dan kasih sayang kepada penulis.
10. Sahabat-sahabat penulis Hana, Maftukh, Yulia, Anisa, Letriani, Qoni, Hanifah, Wanda dan Jihan yang telah memberikan banyak bantuan, motivasi dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan perkuliahan dan penelitian.
11. Teman-teman seperjuangan dan seperbimbingan, Alma, Glory, Merlina, dan Novall yang berjuang bersama selama pelaksanaan penelitian.
12. Teman-teman Jurusan THP Angkatan 2021 dan kakak-kakak tingkat Jurusan THP Angkatan 2020 yang telah memberikan bantuan, saran dan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan perkuliahan dan skripsi.
13. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT memberikan balasan atas semua kebaikan yang telah diberikan dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca maupun penulis.

Bandar Lampung, 26 Juni 2025

Penulis,

Alyaa Khoirunnisaa Yulian

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang dan Masalah.....	1
1.2. Tujuan	3
1.3. Kerangka Pemikiran.....	3
1.4. Hipotesis	5
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Tanaman Sawit dan Buah Sawit	7
2.2. Minyak Sawit.....	10
2.3. Enzim	11
2.4. Mekanisme Kerja Enzim.....	13
2.5. Asam Lemak Bebas	14
2.6. Faktor yang Mempengaruhi Tingginya Kadar Asam Lemak Bebas pada Buah Sawit.....	15
2.6.1. Tingkat Kematangan Buah	15
2.6.2. Lama Penyimpanan.....	15
2.6.3. Kadar Air	16
2.6.4. Kerusakan Morfologi Buah.....	16
2.7. Enzim Lipase	16
2.8. Pemanfaatan Enzim Lipase	18
2.9. Aktivitas Enzim Lipase	18
III. METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1. Tempat dan Waktu	20
3.2. Bahan dan Alat.....	20

3.3. Metode Penelitian	20
3.4. Pelaksanaan Penelitian.....	21
3.4.1. Perlakuan Buah Sawit <i>Overripe</i>	21
3.4.2. Karakterisasi Substrat Enzim Lipase	22
3.4.3. Isolasi Ekstrak Kasar Enzim Lipase	24
3.4.4. Analisis Aktivitas Ekstrak Kasar Enzim Lipase	25
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1. Karakterisasi Substrat Enzim Lipase	27
4.2. Analisis Aktivitas Ekstrak Kasar Enzim Lipase	31
V. KESIMPULAN DAN SARAN	37
5.1. Kesimpulan	37
5.2. Saran	37
DAFTAR PUSTAKA.....	38
LAMPIRAN.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi tingkat kematangan buah sawit.....	9
2. Komposisi asam lemak pada minyak sawit	11
3. Kombinasi perlakuan	21
4. Karakteristik minyak sawit	27
5. Rata-rata hasil uji aktivitas ekstrak kasar enzim lipase dari buah sawit <i>overripe</i>	31
6. Data pengujian aktivitas ekstrak kasar enzim lipase.....	45
7. Uji Kehomogenan (Kesamaan) Ragam (<i>Bartlett's test</i>).....	45
8. Uji keaditifian data (Tukey's test)	46
9. Analisis sidik ragam pengujian aktivitas ekstrak kasar enzim lipase ..	46
10. Uji orthogonal polynomial	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Pohon Kelapa sawit.....	7
2. (a) Buah sawit, (b) Penampakan melintang buah sawit.....	9
3. Tingkat kematangan buah sawit.....	10
4. Diagram skema enzim sederhana tanpa kofaktor	12
5. Diagram skema peran kofaktor dalam reaksi enzimatik.....	13
6. Mekanisme kerja enzim	14
7. Reaksi hidrolisis oleh enzim lipase	18
8. Perlakuan terhadap buah sawit <i>overripe</i>	22
9. Diagram alir prosedur kerja isolasi ekstrak kasar enzim lipase	24
10. Diagram alir prosedur kerja analisis aktivitas <i>crude</i> enzim lipase.....	26
11. Grafik respon terhadap lama waktu penyimpanan pada setiap interval penyiraman.....	33
12. Karakterisasi kadar air.....	48
13. Analisis asam lemak bebas minyak goreng sawit.....	48
14. Penyimpanan buah sawit.....	48
15. Penyiraman buah sawit	48
16. Penghalusan buah sawit	48
17. Pencampuran dengan buffer fosfat dan pendiaman 30 menit.....	48
18. Penyaringan.....	49
19. Pemisahan dengan <i>centrifuge</i>	49
20. Hasil <i>centifuge</i>	49
21. Pencampuran ekstrak kasar enzim lipase, buffer fosfat, dan minyak goreng	49

22. Proses inkubasi.....	49
23. Penghentian aktivitas	49
24. Pengujian aktivitas	50
25. Hasil uji aktivitas ekstrak	50

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang dan Masalah

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) merupakan komoditas utama di Indonesia dengan produksi sebesar 47,08 juta ton dari total areal perkebunan sebesar 15,93 juta hektar pada tahun 2023 (BPS, 2024). Kelapa sawit merupakan sumber utama minyak nabati di dunia karena minyaknya dapat diekstrak dari mesokarp (daging buah) maupun inti (biji) sawit. Minyak ini memiliki berbagai kegunaan, diantaranya sebagai minyak goreng, bahan baku industri, serta sumber energi terbarukan seperti biodiesel (Habsyah *et al.*, 2021). Salah satu permasalahan dalam produksi minyak kelapa sawit adalah terjadinya kerusakan pada buah sawit. Kerusakan ini dapat terjadi selama tahap panen, transportasi, pembongkaran di lokasi pemuatan, hingga proses pengolahan.

Buah yang rusak cenderung mengalami peningkatan kadar asam lemak bebas akibat proses hidrolisis yang berlangsung secara cepat. Di samping itu, waktu tunggu yang terlalu lama sebelum proses pengolahan juga turut mempercepat peningkatan kadar asam lemak bebas (Alfiah dan Susanto, 2015). Menurut Basyuni *et al.*, 2017), secara signifikan lamanya waktu penyimpanan buah sawit dapat meningkatkan asam lemak bebas, kadar air dan kandungan pengotor minyak sawit dan menurunkan karoten dan DOBI. Penurunan kualitas buah sawit selama penyimpanan tersebut disebabkan oleh meningkatnya aktivitas enzim lipase.

Aktivitas enzim lipase ada secara alami dalam buah sawit dan diketahui berkontribusi terhadap peningkatan kadar asam lemak bebas pada buah kelapa sawit (Tan *et al.*, 2023). Enzim ini sangat aktif dan berperan dalam proses reaksi lipolisis di dalam buah yang memecah triasilgliserida sehingga terbentuk asam

lemak bebas (*Free Fatty Acid*) pada buah (Shehu *et al.*, 2019). Seiring dengan bertambahnya waktu tunda sebelum pengolahan, asam lemak bebas ini akan terus terbentuk secara alami dalam buah kelapa sawit yang telah dipanen (Pahan, 2015). Hal ini dikarenakan setelah dipanen, buah sawit masih mengalami respirasi dan aktivitas fisiologis lainnya yang dapat merubah kandungan kimia pada minyak (Ruswanto *et al.*, 2020). Kondisi ini juga dapat diperparah dengan keterlambatan panen yang mengakibatkan buah sawit berada dalam kondisi terlalu matang (*overripe*). Buah sawit *overripe* merupakan buah kelapa sawit yang sudah melebihi fase kematangan optimal dan memiliki kadar asam lemak bebas yang tinggi sehingga dianggap memiliki mutu yang rendah untuk produksi minyak makan. Penanganan permasalahan ini memerlukan biaya tambahan dalam proses produksi minyak sawit yang cenderung mahal dan kurang efisien apabila diterapkan pada skala industri besar. Namun, di sisi lain, buah sawit *overripe* merupakan sumber enzim lipase yang potensial.

Enzim lipase yang terkandung di dalam buah sawit *overripe* berpotensi memiliki aktivitas yang dapat dimanfaatkan dalam pengolahan minyak, konversi lemak, atau bagi industri lainnya. Enzim lipase ini dapat diisolasi dan digunakan dalam berbagai aplikasi industri karena kemampuannya dalam melakukan hidrolisis dan sintesis (Pomeistia dan Bayani, 2021). Aplikasi enzim lipase dalam industri dapat digunakan untuk produksi biodiesel, produksi bahan biopolymeric, produksi agrokimia, sintesis organik, sintesis kimia, sintesis surfaktan, industri kertas dan pulp, industri detergen, industri pestisida dan masih banyak lagi (Sya'bani *et al.*, 2017). Penelitian ini berpotensi memberikan solusi yang berkelanjutan dengan memanfaatkan buah sawit *overripe* sebagai sumber daya alternatif untuk aplikasi yang lebih bernilai. Namun, pengaruh lama waktu penyimpanan di luar ruangan dan penyiraman akibat waktu tunggu sebelum proses pengolahan terhadap aktivitas enzim lipase belum banyak diteliti, sehingga penting untuk dikaji guna mendukung pemanfaatan yang lebih produktif. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menggali potensi buah sawit *overripe* sebagai sumber enzim lipase dengan memahami faktor-faktor yang memengaruhi aktivitasnya yaitu lama waktu penyimpanan dan frekuensi penyiraman.

1.2. Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui aktivitas ekstrak kasar enzim lipase dari buah sawit *overripe* yang dipengaruhi oleh lama waktu penyimpanan di luar ruangan dan penyiraman terhadap.
2. Mengetahui interaksi antara lama waktu penyimpanan di luar ruangan dan penyiraman buah sawit *overripe* terhadap aktivitas ekstrak kasar enzim lipase.
3. Mengetahui aktivitas tertinggi ekstrak kasar enzim lipase dari buah sawit *overripe* berdasarkan lama waktu penyimpanan di luar ruangan dan penyiraman.

1.3. Kerangka Pemikiran

Enzim lipase merupakan enzim yang berperan penting dalam perkembangan bioteknologi. Enzim lipase berperan dalam pemecahan trigliserida menjadi asam lemak bebas dan gliserol (Suhartati, *et al.*, 2017). Menurut Aljawish *et al.* (2019), enzim lipase ini juga mampu mengkatalis reaksi esterifikasi dan transesterifikasi. Dewasa ini, aplikasi enzim lipase sangat luas dalam dunia industri, yaitu untuk produksi biodiesel, produksi bahan biopolymeric, produksi agrokimia, sintesis organik, sintesis kimia, sintesis surfaktan, industri kertas dan pulp, industri detergen, industri pestisida dan masih banyak lagi (Sya'bani *et al.*, 2017). Secara luas enzim lipase dapat ditemukan pada tanaman, hewan, dan mikroorganisme, salah satunya terdapat dalam buah sawit. Buah sawit *overripe* merupakan buah kelapa sawit yang bermutu rendah karena sudah melebihi fase kematangan optimal, sehingga tidak lagi digunakan sebagai bahan baku CPO (*Crude Palm Oil*) karena memiliki kandungan asam lemak bebas yang tinggi yang dapat merusak kualitas CPO (Sofiana dan Yahya, 2015). Kandungan asam lemak bebas yang tinggi disebabkan oleh tingginya aktivitas enzim lipase dalam daging buah sawit (Hudori 2015). Dengan demikian, untuk memanfaatkan potensi tersebut, enzim lipase yang terdapat dalam buah sawit *overripe* dapat dianalisis aktivitasnya untuk kemudian diproduksi dan digunakan sebagai biokatalis.

Faktor-faktor yang harus diperhatikan untuk produksi enzim lipase dari buah sawit *overripe* agar menghasilkan aktivitas yang tinggi diantaranya yaitu lama waktu penyimpanan dan interval penyiraman untuk menjaga kelembaban. Aktivitas enzim lipase berjalan lurus dengan produksi ALB dalam buah, maka jika aktivitas lipase meningkat, kandungan ALB juga meningkat. ALB terbentuk dalam jumlah terbesar saat buah berada di lapangan atau sebelum diolah di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) (Lukito dan Sudradjat, 2017). Menurut Frank *et al.* (2011) kadar asam lemak bebas (ALB) akan terus meningkat selama proses penyimpanan dan penundaan pengolahan buah, akibatnya terjadi kerusakan pada minyak yang disebabkan oleh proses hidrolisis enzim lipase. Selain itu, menurut penelitian Fatin *et al.* (2017) buah yang kurang baik seperti buah yang memar atau rusak dapat meningkatkan nilai ALB. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa buah sawit yang sudah *overripe* cenderung mengalami perubahan fisik dan kimia yang dapat mempengaruhi aktivitas enzim lipase. Ruswanto *et al.* (2020), menyatakan bahwa tingkat kematangan buah sawit mengakibatkan kenaikan persentase kadar asam lemak bebas, dengan persentase tertinggi ditemukan pada buah brondolan dan diikuti oleh buah *overripe*, *ripe* dan *under ripe* yaitu sebesar 6,25%, 3,71%, 3,01% dan 2%. Semakin matang buah sawit, maka semakin tinggi pula aktivitas enzim lipasnya (Ruswanto *et al.*, 2020).

Menurut penelitian Tagoe *et al.* (2012), kadar asam lemak bebas dipengaruhi oleh penundaan waktu pengolahan buah sawit dan hasilnya menunjukkan bahwa CPO dari buah segar memiliki kandungan asam lemak bebas sebesar 0,45%, akan tetapi CPO dari buah sawit yang disimpan selama 6, 12, dan 26 hari mengandung asam lemak bebas sebesar 6%, 11,3% dan 32,4%. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Hasibuan *et al.* (2016), kadar asam lemak bebas dalam CPO dari buah matang yang disimpan selama 1 dan 2 hari meningkat sebesar 6% dan 26%, sedangkan Ruswanto *et al.* (2020), menyatakan bahwa penyimpanan akibat penundaan proses pengolahan dengan variasi lama penyimpanan 12, 36, dan 60 jam menunjukkan semua perlakuan tersebut mengalami peningkatan kadar asam lemak bebas. Adapun hasil penelitian yang dilakukan oleh Hasibuan (2020), menunjukkan bahwa kadar asam lemak bebas dalam buah yang telah diinapkan selama 2 hari dan

disiram dengan air relatif lebih tinggi yaitu sebesar 17,1% dibandingkan dengan buah yang diinapkan selama 1 hari yaitu sebesar 7,4%.

Selain faktor lama waktu penyimpanan tingginya kadar ALB pada buah sawit *overripe* juga dapat dipengaruhi oleh frekuensi penyiraman buah sawit, baik akibat curah hujan maupun akibat praktik yang sering kali dilakukan oleh para pengangkut sawit untuk meningkatkan berat buah dan memberikan kesan buah sawit yang masih segar agar harga buah menjadi lebih tinggi (Hasibuan, 2020). Menurut Purwanto dan Santosa (2016) curah hujan yang tinggi menyebabkan buah sawit memiliki kadar air yang lebih tinggi sehingga kelembaban meningkat dan menciptakan lingkungan yang kondusif bagi pertumbuhan mikroorganisme yang mampu menghidrolisis trigliserida menjadi asam lemak bebas melalui aktivitas enzimatis pada buah sawit. Penelitian yang dilakukan Hasibuan (2020), buah sawit yang diinapkan selama 1 dan 2 hari serta disiram menggunakan air dapat meningkatkan asam lemak bebas yaitu 0,39% dan 0,45%. Hal ini mengindikasikan bahwa durasi penyimpanan dan frekuensi penyiraman yang sesuai memiliki peran penting dalam menjaga kestabilan enzim. Penelitian-penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa kedua faktor tersebut dapat mempengaruhi kadar ALB yang terbentuk pada buah sawit, namun belum secara khusus belum menganalisis aktivitas enzim lipasanya. Dengan demikian, penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dijadikan acuan dalam penelitian ini agar dapat diketahui pengaruh lama penyimpanan dan frekuensi penyiraman buah sawit *overripe* dalam menjaga stabilitas aktivitas enzim lipase.

1.4. Hipotesis

Hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Lama penyimpanan di luar ruangan dan penyiraman buah sawit *overripe* berpengaruh terhadap aktivitas ekstrak kasar enzim lipase yang ditandai dengan meningkatnya asam lemak bebas pada buah sawit *overripe*.
2. Terdapat interaksi antara lama penyimpanan di luar ruangan dan penyiraman buah sawit *overripe* terhadap aktivitas ekstrak kasar enzim lipase.

3. Terdapat aktivitas ekstrak kasar enzim lipase tertinggi berdasarkan lama penyimpanan di luar ruangan dan penyiraman buah sawit *overripe*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanaman Sawit dan Buah Sawit

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) merupakan tumbuhan tropis yang berasal dari Afrika Barat yang diketahui memiliki kandungan minyak yang tinggi (Prihatiningtyas *et al.*, 2024). Tanaman kelapa sawit adalah tanaman dari famili palma yang umumnya tumbuh di wilayah tropis seperti di Asia (Indonesia, Malaysia, Thailand, Filipina), Afrika (Nigeria, Kamerun, Senegal, Angola, Ghana) dan Amerika Selatan (Brasil, Kolombia, Ekuador, Suriname) (Setiawan, 2017). Sekitar tahun 1848 kelapa sawit pertama kali ditanam di Kebun Raya Bogor oleh pemerintah Hindia Belanda, kemudian pada tahun 1870, tanaman ini mulai diperkenalkan dan dibudidayakan di Deli, Sumatera Utara (Setiawan, 2017). Tanaman kelapa sawit merupakan tanaman tahunan yang mampu berproduksi hingga 25-30 tahun. Kelapa sawit tumbuh optimal di wilayah tropis yang lembap, terutama pada area dengan garis lintang 12° utara hingga selatan. Curah hujan ideal untuk pertumbuhan tanaman ini berkisar antara 200-2500 mm per tahun (Mahardhika dan Sudrajat, 2015). Pohon kelapa sawit disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pohon Kelapa sawit
(Sumber: GAPKI, 2018)

Klasifikasi kelapa sawit menurut Sulardi (2022) adalah sebagai berikut:

Divisi	: Embryophita Siphonagama
Kelas	: Angiospermae
Ordo	: Monocotyledonae
Famili	: Aracaceae (Palmae)
Subfamili	: Cocoideae
Genus	: Elaeis
Species	: <i>Elaeis guineensis</i>

Pemanenan kelapa sawit merupakan salah satu faktor utama yang menentukan produktivitas tanaman kelapa sawit. Pemanenan ini melibatkan pemotongan tandan buah segar dari pohon hingga pengangkutannya ke pabrik pengolahan. Tandan buah segar yang telah dipanen harus segera dikirim ke pabrik, karena semakin lama waktu pengiriman, semakin berkurang kadar minyak yang dihasilkan (Thoharudin *et al.*, 2020). Waktu panen buah sawit juga memiliki pengaruh besar terhadap jumlah dan kualitas minyak yang dihasilkan. Panen yang dilakukan pada waktu yang tepat akan menghasilkan rendemen minyak yang optimal, sedangkan panen buah yang terlalu matang dapat meningkatkan kadar asam lemak bebas (ALB), sehingga dapat menurunkan kualitas minyak. Sebaliknya, panen buah yang masih mentah akan menghasilkan rendemen minyak lebih rendah meskipun kadar ALB tetap rendah. Tandan buah segar (TBS) yang berkualitas memenuhi kriteria panen, sementara TBS dengan kuantitas optimal ditandai dengan minimnya kerugian (*losses*) di lapangan. Oleh karena itu, kegiatan panen dan penanganan pascapanen menjadi aspek kritis yang menentukan hasil dan mutu minyak kelapa sawit (Ugroseno dan Wachjar, 2017).

Menurut Ishak *et al.* (2019), tingkat kematangan buah kelapa sawit dikenal sebagai fraksi. Fraksi buah sawit terdiri dari beberapa kategori yaitu fraksi 00 sangat mentah (F00), mentah (F0), kurang matang (F1), matang 1 (F2), matang 2 (F3), lewat matang 1 (F4), dan lewat matang 2 (F5). Klasifikasi ini didasarkan pada jumlah brondolan yang rontok atau terlepas serta perubahan warna pada tandan buah segar (TBS). Klasifikasi tingkat kematangan buah sawit menurut Sari *et al.* (2019) disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi tingkat kematangan buah sawit

Fraksi	Jumlah Brondolan	Keterangan
00	Tidak ada, buah berwarna hitam	Sangat mentah
0	1 - 12,5% buah luar membrondol	Mentah
1	12,5% - 50% 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 membrondol, ada buah busuk	Lewat matang II

(Sumber: Sari *et al.*, 2019)

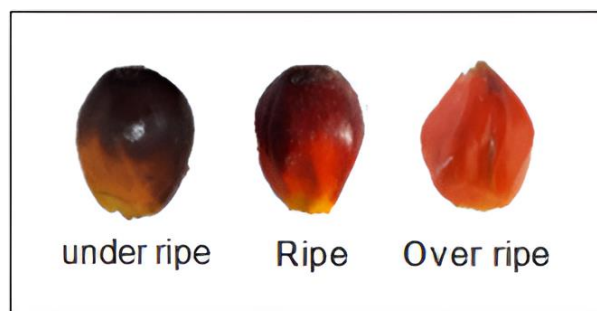
Buah kelapa sawit memiliki warna yang bervariasi mulai dari hitam, ungu, hingga merah, tergantung pada jenis bibit yang digunakan. Buah ini tumbuh berkelompok dalam tandan yang muncul di setiap pelepah. Buah sawit inilah yang akan menghasilkan minyak. Kandungan minyak meningkat seiring dengan tingkat kematangan buah. Setelah melewati fase matang, kadar asam lemak bebas mulai meningkat dan buah akan rontok secara alami (Sulardi, 2022). Gambar dan penampakan melintang buah sawit disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. (a) Buah sawit, utuh, (b) Penampakan melintang buah sawit
(Sumber : GAPKI, 2024)

Buah sawit *overripe* merupakan buah sawit yang sudah melewati fase kematangan optimal, sehingga berada dalam kondisi yang terlalu matang. Setelah dipanen, buah kelapa sawit masih melakukan proses respirasi dan aktivitas fisiologis lainnya yang

dapat memengaruhi komposisi kimia minyak. Buah sawit yang terlalu matang (*overripe*) memiliki kadar asam lemak bebas yang sangat tinggi, yang berdampak negatif pada kualitas minyak yang dihasilkan. Tingginya kandungan asam lemak bebas ini erat kaitannya dengan aktivitas enzim lipase pada buah sawit. Selain itu, proses pematangan buah juga berperan dalam peningkatan aktivitas enzim lipase di dalamnya (Ruswanto *et al.*, 2020). Tingkat kematangan buah sawit disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Tingkat kematangan buah sawit
(Sumber: Raj *et al.*, 2021)

2.2. Minyak Sawit

Minyak sawit merupakan minyak nabati yang diperoleh melalui proses ekstraksi jaringan mesocarp buah kelapa sawit dan dilanjutkan ke tahap pemurnian dan fraksinasi (Yustina dan Rahayu, 2014). Ketersediaan yang melimpah dan harga yang murah serta stabilitas oksidatif yang tinggi inilah yang menyebabkan minyak sawit banyak digunakan oleh masyarakat (Matthäus, 2007). Penelitian ini menggunakan minyak sawit sebagai substrat. Kandungan utama dalam minyak sawit adalah asam lemak dengan jumlah yang cukup tinggi dan gliserol. Asam lemak tersebut berikatan dengan gliserol sehingga membentuk trigliserida (Harikedua dan Harikedua, 2018). Ada tiga asam lemak yang dominan, yaitu asam palmitat (C16:0), oleat (C18:1) dan linoleat (C18:2) (Taufik dan Seftiono, 2018). Komposisi asam lemak bebas pada minyak sawit disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi asam lemak pada minyak sawit

Jenis Asam Lemak	Konsentrasi Asam Lemak (g/100g)
Asam lemak jenuh	
1. Kaprilat	0,02
2. Laurat	0,17
3. Miristat	0,92
4. Palmitat	37,71
5. Stearat	3,76
6. Arakidat	0,31
Asam lemak tidak jenuh	
1. Palmitoleinat	0,14
2. Oleat	42,56
3. Linoleat	13,59
4. α -linolenat	0,27
5. Eikosenat	0,00

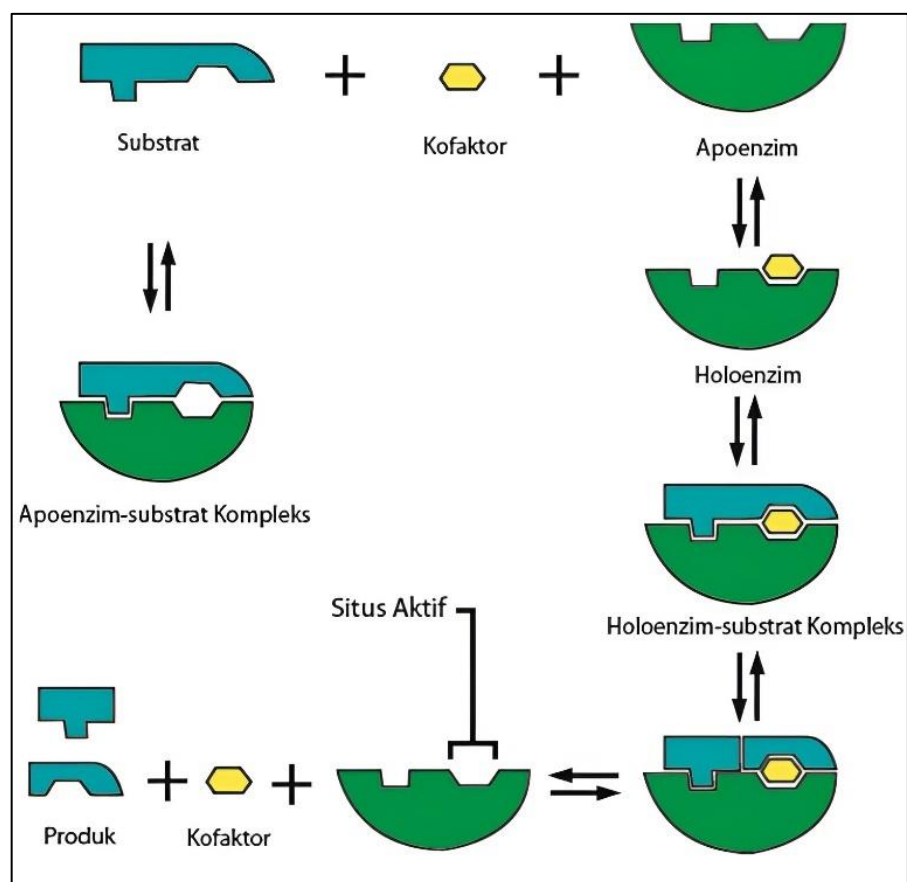
(Sumber: Taufik dan Seftiono, 2018)

2.3. Enzim

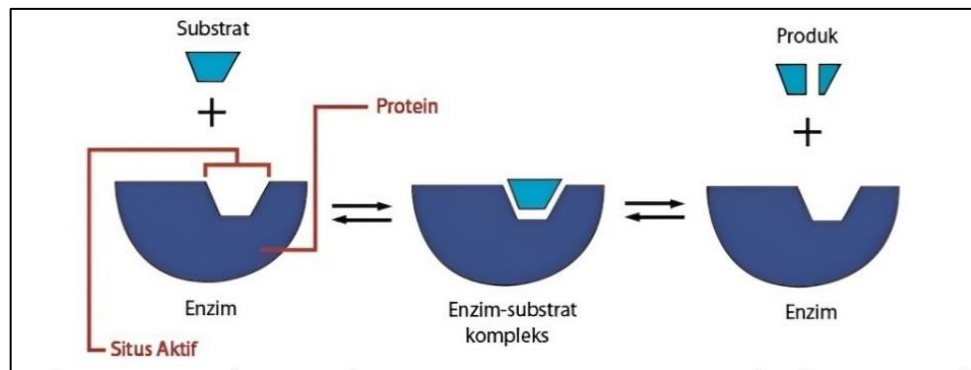
Menurut Sutrisno (2017), berdasarkan analisis kristologi sinar X membuktikan bahwa enzim tersusun atas protein. Enzim dapat berupa protein murni atau berbentuk kompleks, yaitu gabungan antara komponen protein (apoprotein) dan kofaktor. Tanpa keberadaan kofaktor, apoprotein bersifat inaktif (Sutrisno, 2017). Enzim dikenal sebagai katalis biologis atau biokatalisator karena perannya yang dapat mengkatalisis berbagai reaksi metabolisme. Sebagai biokatalisator enzim dapat mempercepat reaksi pada kondisi yang tidak terlalu ekstrim. Reaktan dalam reaksi yang dikatalisis oleh enzim disebut substrat. Substrat berfungsi untuk menghasilkan produk dari reaksi tersebut (Sutardi, 2023). Dalam reaksi metabolisme tertentu, enzim bekerja secara spesifik hanya pada substrat tertentu (Sya'bani *et al.*, 2017).

Enzim berperan penting dalam berbagai reaksi biokimia yang terjadi di dalam sel makhluk hidup, termasuk mikroorganisme, tumbuhan, hewan, dan manusia.

Kecepatan reaksi yang melibatkan enzim dapat meningkat secara signifikan, yakni antara 10^8 - 10^{11} kali lebih cepat dibandingkan reaksi yang berlangsung tanpa enzim (Sutrisno, 2017). Aktivitas enzim optimal umumnya terjadi pada pH fisiologis organisme hidup, yakni antara pH 5 hingga 8, dengan kisaran suhu antara 20 hingga 40°C. Enzim bekerja sebagai katalis tanpa mengalami perubahan permanen selama proses reaksi, sehingga setelah membentuk produk, enzim dapat kembali bereaksi dengan substrat secara berulang hingga reaksi mencapai titik akhir (Sutrisno, 2017). Diagram skema enzim disajikan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



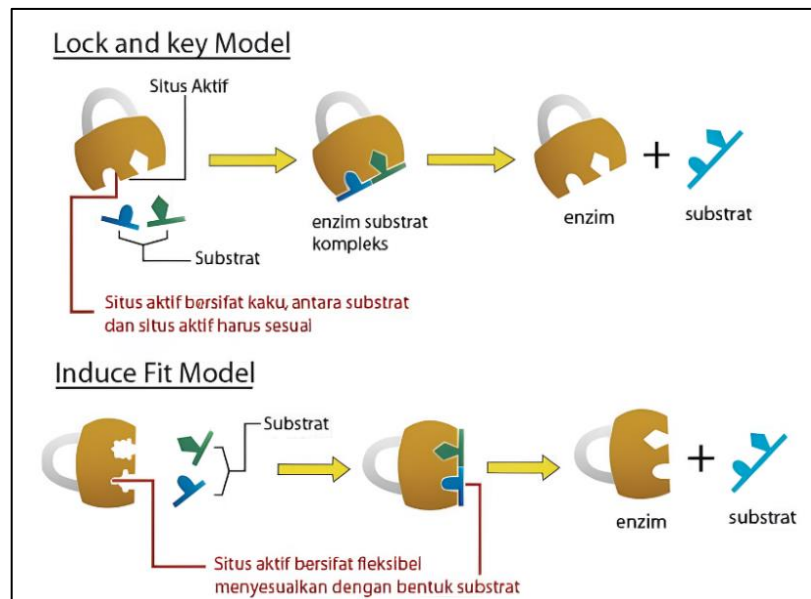
Gambar 4. Diagram skema peran kofaktor dalam reaksi enzimatik (Sumber: Sutrisno, 2017)



Gambar 5. Diagram skema enzim sederhana tanpa kofaktor
(Sumber: Sutrisno, 2017)

2.4. Mekanisme Kerja Enzim

Enzim akan bekerja dengan cara pembentukan kompleks enzim-substrat (ES). Sebelum menghasilkan suatu produk, enzim dan substrat membentuk kompleks enzim-substrat. Menurut (Wibowo *et al.*, 2021) mekanisme kerja enzim dibagi menjadi dua, yaitu *lock and key* dan *induced fit*. Berdasarkan teori *lock and key* yang dikemukakan oleh Emil Fischer pada tahun 1894, enzim memiliki sisi aktif yang kosong. Sisi aktif tersebut adalah tempat melekatnya substrat agar enzim dapat bekerja. Enzim tersebut akan membentuk kompleks enzim ketika substrat menempati sisi aktif enzim. Interaksi pada kompleks enzim-substrat, menyebabkan terjadinya proses katalisis dimana residu-residu asam amino pada situs aktif bekerja mengkonversi substrat menjadi produk dengan energi aktivasi yang rendah. Produk akan dilepaskan dan enzim dapat mengikat molekul substrat berikutnya (Sutrisno, 2017). Sisi aktif enzim memiliki bentuk yang spesifik dan tidak fleksibel. Oleh karena itu, hanya substrat bentuk tertentu saja yang dapat melekat pada enzim. Adapun menurut teori *induced fit* yang dikemukakan oleh Daniel Koshland pada tahun 1958, bahwa sisi aktif enzim bersifat fleksibel. Substrat akan menginduksi situs aktif enzim untuk menyesuaikan dengan bentuk substrat yang ada sehingga terbentuk kompleks enzim-substrat (Wibowo *et al.*, 2021). Mekanisme kerja enzim disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Mekanisme kerja enzim
(Sumber: Sutrisno, 2017)

2.5. Asam Lemak Bebas

Asam lemak bebas (ALB) atau *free fatty acid* (FFA) adalah asam lemak yang tidak terikat dengan trigliserida dan hadir dalam bentuk asam bebas. ALB terbentuk melalui proses hidrolisis oleh enzim lipase yang menguraikan triasilgliserol (TAG) menjadi diasilgliserol (DAG) maupun monogliserol (MAG) dan asam lemak bebas (Tan *et al.*, 2023). Hidrolisis lemak atau lipolisis adalah proses pemecahan molekul lemak dengan melepaskan asam lemak bebas dari gliserin pada struktur molekul lemak. Reaksi ini dapat terjadi karena aktivitas enzim lipase atau akibat pemanasan yang memutus ikatan ester dan melepaskan asam lemak bebas. Setiap molekul asam lemak bebas yang dilepaskan membutuhkan satu molekul air (Mamuaja, 2017).

Kandungan ALB ini menjadi indikator utama untuk menilai kesegaran minyak serta digunakan untuk menentukan usia, tingkat kemurnian, dan tingkat hidrolisis minyak sekaligus mendeteksi potensi kesalahan dalam proses produksi (Ati *et al.*, 2020). ALB dalam minyak sawit mentah (*Crude Palm Oil*) dihasilkan dari reaksi hidrolisis gliserida oleh lipase, yang kemudian diukur sebagai nilai asam (*acid value*). Faktor-faktor seperti usia buah yang digunakan dan durasi penyimpanan minyak dapat memengaruhi kadar ALB. Oleh karena itu, waktu antara panen

hingga sterilisasi buah sebaiknya tidak lebih dari satu hari untuk mencegah kenaikan kadar ALB yang dapat menurunkan kualitas minyak (Tagoe *et al.*, 2012).

2.6. Faktor yang Mempengaruhi Tingginya Kadar Asam Lemak Bebas pada Buah Sawit

Kandungan asam lemak bebas pada buah sawit dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti tingkat kematangan buah, waktu penyimpanan, kadar air, serta kerusakan morfologi buah.

2.6.1. Tingkat Kematangan Buah

Tingginya kadar asam lemak bebas pada buah sawit salah satunya dipengaruhi oleh faktor kematangan buah. Buah yang sudah lewat matang memiliki persentase asam lemak bebas yang tinggi, sedangkan pada buah sawit yang belum matang persentase kadar asam lemaknya rendah (Iqbal, 2018). Menurut penelitian Sirat *et al.* (2023), kadar asam lemak bebas mengalami kenaikan berdasarkan tingkat kematangan buah. Semakin tinggi tingkat kematangan buah maka semakin tinggi pula kadar asam lemak bebas yang dihasilkan.

2.6.2. Lama Penyimpanan

Peningkatan kadar ALB pada buah sawit dapat terjadi karena penyimpanan yang terlalu lama akibat proses sterilisasi yang tertunda (Nizam *et al.*, 2020). Penundaan proses produksi dapat meningkatkan jumlah buah sawit yang terlalu matang (*overripe*) dan buah restan yang berdampak pada tingginya kadar asam lemak bebas (Purwanto dan Santosa, 2016). Kenaikan asam lemak bebas selama masa penyimpanan disebabkan oleh rekasi hidrolisis. Satu molekul trigliserida yang terkandung dalam minyak atau lemak akan mengalami hidrolisis dengan tiga molekul air, sehingga terbentuk tiga molekul asam lemak dan satu molekul gliserol sebagai hasil reaksinya (Suroso, 2013).

2.6.3. Kadar Air

Kadar air adalah salah satu faktor penting yang menentukan kualitas minyak dan lemak. Kandungan air yang tinggi dapat memicu reaksi hidrolisis yang dapat mengubah minyak menjadi asam lemak bebas dan gliserol sehingga menyebabkan minyak menjadi tengik (Pranata *et al.*, 2020). Kadar air yang tinggi pada buah sawit mengakibatkan kondisi yang lembap. Kondisi tersebut dapat mempercepat pertumbuhan mikroorganisme (Rahmawati dan Utami, 2022). Mikroorganisme tersebut akan memproduksi enzim lipase yang dapat menghidrolisis minyak (Nurfiqih *et al.*, 2021).

2.6.4. Kerusakan Morfologi Buah

Salah satu penyebab utama meningkatnya kadar asam lemak bebas dalam minyak adalah kerusakan morfologi dan aktivitas mikroorganisme pada buah kelapa sawit. Kerusakan morfologi buah biasanya disebabkan oleh perlakuan yang kurang hati-hati selama proses panen, pengangkutan, hingga penimbunan buah kelapa sawit (Nurfiqih *et al.*, 2021). Buah kelapa sawit yang mengalami kerusakan morfologi dan disimpan di lingkungan yang kotor serta lembap menjadi tempat ideal bagi pertumbuhan mikroorganisme. Aktivitas mikroorganisme ini berkontribusi secara signifikan terhadap peningkatan kadar asam lemak bebas (ALB) pada minyak. Mikroorganisme tersebut menghasilkan enzim lipase, yang berperan sebagai biokatalis dalam reaksi hidrolisis minyak, menghasilkan gliserol dan asam lemak bebas (Nurfiqih *et al.*, 2020).

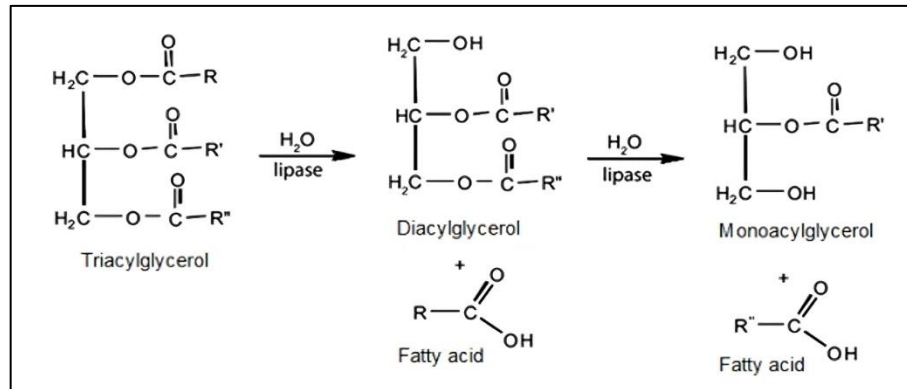
2.7. Enzim Lipase

Enzim lipase merupakan enzim induktif yang sangat dipengaruhi oleh konsentrasi minyak atau lemak dalam substrat. Enzim ini termasuk dalam jenis enzim hidrolase yang bertindak sebagai biokatalis untuk menghidrolisis lemak mono-, di-, dan trigliserida yang menghasilkan asam lemak bebas dan gliserol (Nopiani, 2015). Lipase atau asilgliserol hidrolase (E.C 3.1.1.3), adalah enzim yang mampu menghidrolisis rantai panjang trigliserida. Enzim lipase berfungsi menghidrolisis ikatan ester seperti yang terdapat pada trigliserida, sehingga enzim lipase tergolong

sebagai enzim esterase (Komari dan Susilo, 2021). Melalui enzim lipase, trigliserida mengalami pemutusan ikatan antara asam lemak dan gliserol pada posisi 1 atau posisi 2 (Fatimah, 2021).

Enzim lipase adalah enzim yang berperan untuk memecah lemak yang dikenal sebagai gliserol ester hydrolase atau triasilgliserol asilhidrolase dan termasuk dalam kelompok enzim yang mengkatalis reaksi hidrolisis. Lipase memiliki substrat alami berupa trigliserida dari asam lemak dan reaksinya membutuhkan air (Komari dan Susilo, 2021). Enzim ini memiliki kemampuan untuk menghidrolisis berbagai jenis lemak dan minyak dalam satu periode waktu tertentu. Lipase dapat bekerja terhadap senyawa yang tidak larut dalam air dan hanya dapat mengolah lemak yang bersinggungan dengan permukaan air. Lipase akan menghidrolisis ikatan ester pada permukaan antara fase cair, enzim terlarut dan fase substrat tidak terlarut (Laksmiwati *et al.*, 2016). Stabilitas enzim lipase berada pada suhu optimum 30°C, meskipun masih tetap aktif hingga suhu 51°C (Komari dan Susilo, 2021).

Buah kelapa sawit mengandung enzim lipase endogen (Glycerol ester hydrolase, E.C. 3.1.1.3) yang terdapat pada lapisan mesokarp. Enzim lipase ada secara alami pada buah sawit. Enzim ini sangat aktif dan berperan dalam proses reaksi lipolisis di dalam buah. Proses lipolisis terjadi melalui serangkaian tahap hidrolisis yang memecah triasilgliserida sehingga terbentuk asam lemak bebas (*Free Fatty Acid*) pada buah (Shehu *et al.*, 2019). Pembentukan asam lemak bebas sebagian besar disebabkan oleh aktivitas enzim lipase yang menghidrolisis triasilgliserol (TAG) menjadi diasilgliserol (DAG) atau monoasilgliserol (MAG) serta ALB. Enzim lipase diketahui berada di bagian luar struktur tubuh minyak (mesocarp), yaitu pada kantung minyak dalam sel buah kelapa sawit. Ketika terjadi kerusakan atau memar, kantung minyak yang berisi TAG akan pecah dan melepaskan enzim lipase. Enzim ini kemudian mengkatalisis reaksi hidrolisis dengan sisi aktifnya yang terpapar triasilgliserol (TAG) (Tan *et al.*, 2023). Reaksi hidrolisis oleh enzim lipase disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Reaksi hidrolisis oleh enzim lipase
(Sumber: Nizam dan Mahmud, 2021)

2.8. Pemanfaatan Enzim Lipase

Pemanfaatan enzim lipase dalam industri enzim global terus meningkat secara signifikan seiring dengan perkembangan teknologi. Enzim ini digunakan sebagai bahan tambahan pada industri detergen karena kemampuannya untuk menghidrolisis lipid. Selain itu, lipase juga berperan dalam berbagai aplikasi lain seperti sintesis kimia, produksi biodiesel, pembuatan bahan biopolimerik, sintesis organik, industri kertas dan pulp, produk perawatan, sintesis surfaktan, pembuatan trigliserida terstruktur, serta produksi agrokimia dan pestisida. Lipase juga dapat dimanfaatkan dalam industri makanan seperti pengolahan minuman beralkohol, produk susu, industri oleokimia, serta pengolahan daging dan sosis (Sya'bani *et al.*, 2017).

2.9. Aktivitas Enzim Lipase

Aktivitas enzim lipase menunjukkan jumlah enzim yang dapat menghidrolisis minyak dan lemak dalam satuan waktu tertentu. Aktivitas lipase diukur dalam satuan unit/mL, di mana setiap unit aktivitas dapat menghasilkan 1 μmol asam lemak bebas per menit (Fatimah, 2021). Salah satu cara untuk menentukan aktivitas enzim lipase adalah dengan menggunakan metode titrasi (asam-basa). Penentuan aktivitas enzim lipase pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode titrimetri (titrasi asam basa).

Metode titrimetri atau yang dikenal juga sebagai metode volumetri merupakan teknik analisis kuantitatif berdasarkan prinsip reaksi kimia stoikiometris. Setiap metode titrimetri, terjadi reaksi antara zat yang dianalisis (analit) dan larutan pereaksi (titran). Analit adalah senyawa dalam sampel yang akan diukur kadarnya, sedangkan titran adalah larutan standar dengan konsentrasi yang telah diketahui dengan tepat (Indayatmi, 2020). Penentuan aktivitas enzim lipase dapat dilakukan dengan mengukur jumlah asam lemak bebas yang terbentuk melalui titrasi menggunakan larutan basa dengan konsentrasi rendah. Metode ini, mengasumsikan bahwa volume basa yang digunakan setara dengan jumlah asam lemak bebas yang dihasilkan dari reaksi hidrolisis oleh enzim lipase (Nopiani, 2015). Fenolftalein digunakan sebagai indikator untuk menentukan titik akhir titrasi, yang ditandai dengan perubahan warna dari tidak berwarna menjadi merah muda. Aktivitas enzim lipase dihitung berdasarkan selisih volume titran antara sampel dan larutan standar. Sebelum proses titrasi dilakukan, campuran enzim dan substrat diinkubasi terlebih dahulu. Reaksi enzimatik kemudian dihentikan dengan penambahan campuran larutan aseton dan etanol dalam perbandingan 1:1. Campuran tersebut berfungsi untuk menginaktivasi enzim lipase melalui denaturasi protein, sehingga aktivitas enzim terhenti (Pereira *et al.*, 2001).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Analisa Kimia dan Biokimia Hasil Pertanian dan Laboratorium Pengelolaan Limbah Agroindustri Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada bulan Februari sampai April 2025.

3.2. Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah buah sawit *overripe* dan minyak goreng sawit. Bahan-bahan lainnya adalah air, aseton, etanol 96%, heksana, indikator fenoltalein (PP), aquades, buffer fosfat 0,05 M, NaOH. Alat-alat yang digunakan adalah Erlenmeyer 250 mL, *hot plate*, *magnetic stirrer*, timbangan analitik, *oven*, desikator, cawan porselen, pipet tetes, pipet gondok, termometer, kertas saring, corong gelas, buret 50 mL, statif dan klem, *aluminium foil*, *centrifuge*, *overhead stirrer* dan *waterbath*.

3.3. Metode Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) yang disusun secara faktorial dengan dua faktor pada taraf yang berbeda. Dua faktor yang dikaji pada penelitian ini adalah variasi lama penyimpanan dan interval penyiraman buah sawit *overripe* sebelum dijadikan ekstrak kasar enzim lipase. Faktor variasi lama penyimpanan memiliki 4 taraf yaitu 0, 24, 48 dan 72 jam. Buah sawit *overripe* yang digunakan disimpan di ruang terbuka selama masa penyimpanan. Faktor variasi penyiraman memiliki 2 taraf

yaitu tanpa penyiraman dan dengan penyiraman setiap 24 jam interval. Kedua faktor tersebut dikombinasikan sehingga diperoleh 8 kombinasi perlakuan (t) dengan jumlah ulangan (r) sebanyak 3 kali ulangan sehingga menghasilkan total percobaan sebanyak 24 satuan percobaan. Data penelitian yang diperoleh akan diuji keragaman data dengan uji *Barlett* dan kemenambahan data diuji dengan uji *Tuckey*. Kemudian data dianalisis dengan *Analysis of Varians* (ANOVA) untuk memperoleh pendugaan galat dan menganalisis signifikansi perbedaan antar perlakuan. Selanjutnya, data diuji lanjut dengan menggunakan metode orthogonal polinomial (OP) untuk menguji kecenderungan atau pola perubahan antar perlakuan yang berurutan. Kombinasi perlakuan pada penelitian ini disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kombinasi perlakuan

Kombinasi Perlakuan		Keterangan
P1S1	P1 = 0 jam	S1 = Disiram
P2S1	P2 = 24 jam	S1 = Disiram
P3S1	P3 = 48 jam	S1 = Disiram
P4S1	P4 = 72 jam	S1 = Disiram
P1S2	P1 = 0 jam	S2 = Tidak disiram
P2S2	P2 = 24 jam	S2 = Tidak disiram
P3S2	P3 = 48 jam	S2 = Tidak disiram
P4S2	P4 = 72 jam	S2 = Tidak disiram

Keterangan:

P = Lama Penyimpanan

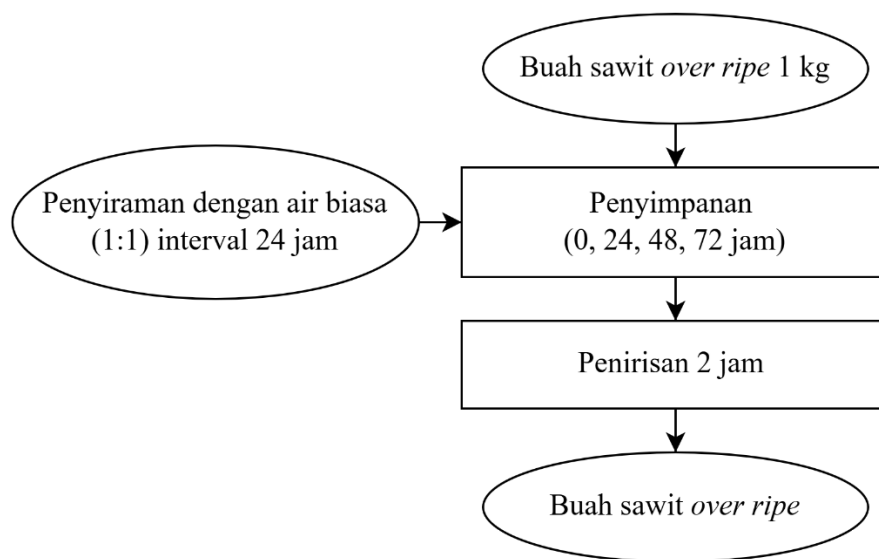
S = Penyiraman

3.4. Pelaksanaan Penelitian

3.4.1. Perlakuan Buah Sawit *Overripe*

Sebelum dilakukan pengujian aktivitas enzim, buah sawit *overripe* disimpan di ruang terbuka sesuai dengan perlakuan yaitu selama 0, 24, 48 dan 72 jam. Buah sawit sebanyak 1 kg disimpan dalam keranjang plastik berlubang tanpa tutup, lalu dibagi lagi menjadi dua untuk perlakuan yang disiram dan tanpa disiram masing-masing 500 g. Selama penyimpanan, buah *overripe* ada yang tidak disiram, sementara lainnya disiram dengan interval 24 jam dengan menggunakan air (1:1) hingga seluruh permukaan buah basah secara merata. Setelah disiram, buah

ditiriskan terlebih dahulu selama 2 jam sebelum diekstrak menjadi *crude* enzim lipase. Proses penyimpanan dan penyiraman ini bertujuan untuk mensimulasikan kondisi lingkungan alami yang dapat mempengaruhi aktivitas enzim lipase dalam buah sawit yang ditandai dengan peningkatan kadar asam lemak bebas. Perlakuan terhadap kelapa sawit *overripe* ini dilakukan berdasarkan penelitian Ruswanto *et al.*, (2020) dan Hasibuan (2020) yang dimodifikasi. Prosedur perlakuan terhadap buah sawit *overripe* disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Perlakuan terhadap buah sawit *overripe*
 Sumber: (Ruswanto *et al.*, 2020) dan (Hasibuan, 2020) yang dimodifikasi

3.4.2. Karakterisasi Substrat

Karakterisasi substrat yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan minyak goreng sawit. Karakterisasi substrat tersebut mencakup analisis kadar air dan kadar asam lemak bebas pada minyak goreng sawit.

1. Analisis kadar air

Analisis kadar air dilakukan berdasarkan AOAC (2019) dengan menggunakan metode gravimetri. Prinsip metode ini adalah pengukuran kehilangan bobot melalui pemanasan pada suhu 100-105°C, yang dianggap sebagai kandungan air

yang terdapat dalam sampel. Prosedur kerja analisis ini diawali dengan dipanaskan cawan dalam *oven* pada suhu 105°C selama kurang lebih 30 menit lalu didinginkan dalam desikator selama 20 menit. Kemudian cawan ditimbang dengan neraca analitik. Langkah berikutnya, sebanyak 2-5 g sampel minyak sawit dimasukkan dalam cawan dan ditimbang. Selanjutnya, sampel dipanaskan dalam *oven* pada suhu 105°C selama 3 jam. Apabila sudah selesai, dinginkan selama 20 menit hingga suhunya sama dengan suhu ruang lalu ditimbang. Lakukan pengulangan prosedur hingga diperoleh bobot tetap. Perhitungan kadar air menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar air (\%b/b)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_0} \times 100\%$$

Keterangan:

W_0 = Bobot cawan kosong (g)

W_1 = Bobot cawan dan sampel sebelum dikeringkan (g)

W_2 = Bobot cawan dan sampel setelah dikeringkan (g)

2. Analisis kadar asam lemak bebas

Analisis kadar asam lemak dilakukan berdasarkan SNI-7709-2019 dengan menggunakan metode titrimetri. Prinsip analisis kadar asam lemak bebas yaitu melarutkan sampel menggunakan pelarut organik dan dinetralkan dengan larutan basa. Prosedur analisis ini diawali dengan ditimbang sampel minyak sawit sebanyak 28-56 g ke dalam Erlenmeyer. Kemudian dilarutkan dengan etanol hangat sebanyak 50 mL dan ditambahkan 5 tetes larutan fenolftalein sebagai indikator. Selanjutnya larutan sampel dititrasi dengan menggunakan larutan titar NaOH 0,1 N hingga warnanya berubah menjadi merah muda yang stabil minimal 30 detik. Setelah itu, dicatat volume larutan NaOH yang diperlukan. Perhitungan kadar asam lemak bebas dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

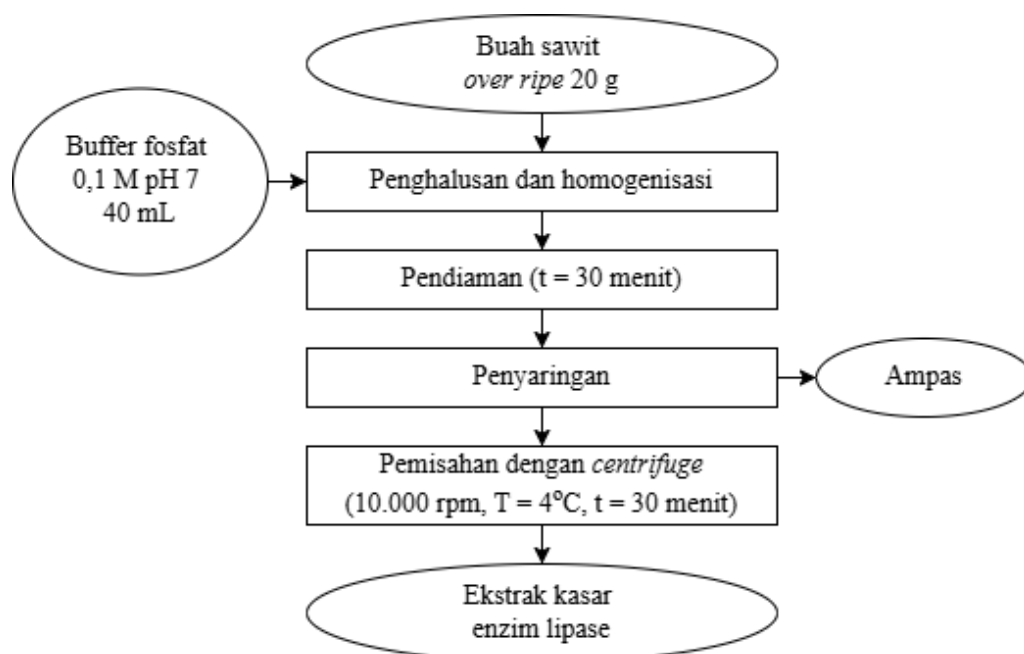
$$\text{Kadar Asam Lemak Bebas} = \frac{25,6 \times N \times V}{W} \times 100\%$$

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 berdasarkan penelitian Pomeistia dan Bayani (2021) dan Kimtun *et al.*, (2015) yang dimodifikasi. Persiapan isolasi ekstrak kasar enzim lipase buah *overripe* diawali dengan ditimbang buah sawit *overripe* sebanyak 20 g, dihaluskan, dan ditambahkan buffer fosfat 0,1 M pH 7 sebanyak 40 mL lalu didiamkan selama 30 menit. Kemudian disaring, menggunakan kertas saring untuk memisahkan ampas, selanjutnya dilakukan proses pemisahan menggunakan *centrifuge* dengan kecepatan 10.000 rpm dengan suhu 4°C selama 30 menit hingga dihasilkan ekstrak enzim kasar lipase. Prosedur kerja disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram alir prosedur kerja isolasi ekstrak kasar enzim lipase
 Sumber: (Pomeistia dan Bayani, 2021) dan (Kimtun *et al.*, 2015)
 yang dimodifikasi

3.4.4. Analisis Aktivitas Ekstrak Kasar Enzim Lipase

Setelah proses isolasi ekstrak kasar enzim lipase, selanjutnya dilakukan analisis aktivitas ekstrak kasar enzim lipase. Aktivitas enzim lipase menunjukkan jumlah enzim yang dapat menghidrolisis minyak dan lemak dalam satuan waktu tertentu. Setiap 1 mL NaOH 0,05 M setara dengan 100 unit aktivitas enzim lipase. Pengujian aktivitas lipase dilakukan menggunakan metode titrimetri (titrasi asam basa) berdasarkan penelitian Nopiani (2015) dan Pomeistia dan Bayani (2021). Prosedur kerja pada proses ini diawali dengan disiapkan minyak goreng sawit (substrat) dalam Erlenmeyer 250 mL sebanyak 5 g, lalu ditambahkan dengan 2,5 mL n-heksan dan buffer fosfat 0,1 M dengan pH 7 sebanyak 5 mL. Selanjutnya, ditambahkan enzim sebanyak 1 mL lalu dihomogenkan dan diinkubasi dalam *waterbath* yang disertai pengadukan pada suhu 37°C selama 45 menit. Sampel hasil inkubasi ditambahkan 5 tetes indikator PP 1% kemudian dititrasi dengan larutan standar NaOH 0,05 M. Titrasi dihentikan saat larutan berubah warna menjadi merah muda. Untuk penentuan blanko digunakan komposisi larutan yang sama, namun ketika larutan enzim dimasukkan, segera ditambahkan campuran aseton dan etanol 1:1 (v/v) sebanyak 10 mL. Selanjutnya dititrasi dengan prosedur yang sama seperti analisis sampel. Prosedur kerja analisis aktivitas *crude* enzim lipase disajikan pada Gambar 10. Aktivitas ekstrak kasar enzim lipase dari buah sawit *overripe* dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

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

Keterangan:

V sampel = Volume NaOH sampel (mL)

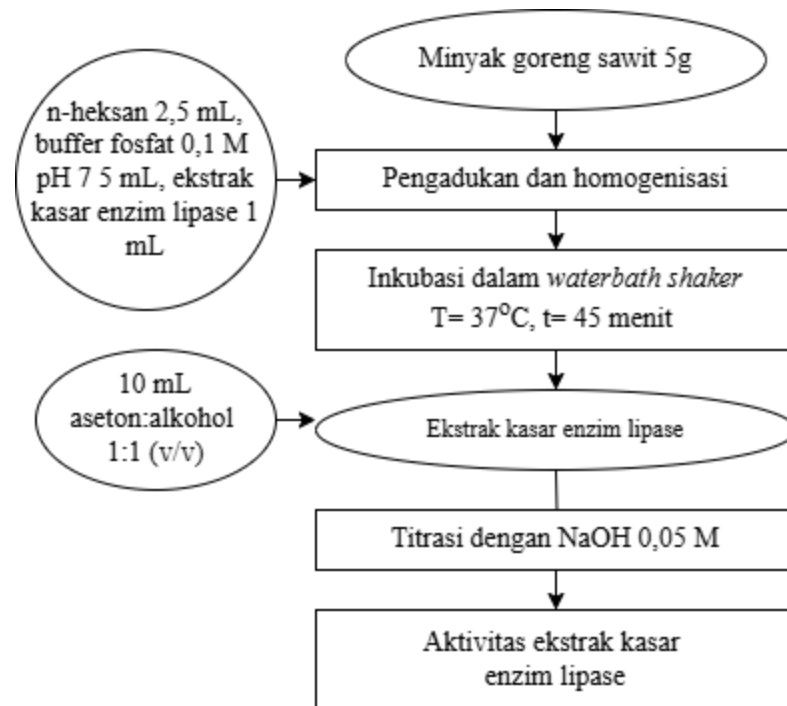
V blanko = Volume NaOH blanko (mL)

N = Normalitas NaOH

V enzim = Volume enzim (mL)

t = Waktu inkubasi (menit)

1000 = Nilai konversi dari mmol ke dalam satuan mol



Gambar 10. Diagram alir prosedur kerja analisis aktivitas *crude* enzim lipase
Sumber: (Pomeistia dan Bayani, 2021 yang dimodifikasi)

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, kesimpulan yang diperoleh adalah sebagai berikut:

1. Lama penyimpanan secara linier dan kuadratik berpengaruh nyata terhadap aktivitas ekstrak kasar enzim lipase dari buah sawit *overripe*. Adapun frekuensi penyiraman baik secara linier maupun kuadratik tidak berpengaruh nyata terhadap aktivitas ekstrak kasar enzim lipase dari buah sawit *overripe*.
2. Terdapat interaksi antara lama penyimpanan dan frekuensi penyiraman buah sawit *overripe* secara linier terhadap aktivitas ekstrak kasar enzim lipase.
3. Aktivitas ekstrak kasar enzim lipase tertinggi pada buah sawit *overripe* diperoleh pada perlakuan lama penyimpanan 72 jam dengan penyiraman yaitu sebesar 2,222 U/mL.

5.2. Saran

Penelitian selanjutnya disarankan melakukan proses pemurnian terhadap ekstrak kasar enzim lipase guna memperoleh aktivitas enzim yang lebih optimal. Selain itu, perlu melakukan analisis kadar air buah sawit *overripe* dan kadar asam lemak bebas dari ampas hasil penyaringan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfiah, C., Susanto, W. H. 2015. Penanganan pascapanen kelapa sawit (penyemprotan CaCl_2 dan kalium sorbat terhadap mutu *crude palm oil*). *Jurnal Pangan dan Agroindustri*. 3(1): 61-72.
- Aljawish, A., Heuson, E., Bigan, M., dan Froidevaux, R. 2019. Lipase catalyzed esterification of formic acid in solvent and solvent-free systems. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 20(1): 1-10.
- Association of Analytical Chemists Internasional (AOAC). 2019. *Official Methods of Analysis of AOAC Internasional 21st ed.* Chemist Inc. Washington DC.
- Asrori, M. R., Sutrisno, Wijaya, H. W. 2020. Metanol dan Etanol: Produksi, Karakterisasi, Eksplorasi, dan Pemberdayaan Sumber Daya Alamnya. *Prosiding*. Jurusan Kimia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Malang.
- Ati, V. M., Mauboy, R. S., dan Keneng, M. S. R. A. 2020. Pengujian kadar bilangan peroksida dan asam lemak bebas minyak kelapa (*Cocos nucifera* L.) kelentik. *Jurnal Biotropikal Sains*. 17(2): 24-30.
- Badan Pusat Statistik. 2024. *Stastitik Kelapa Sawit Indonesia 2023*. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *Minyak Goreng Sawit SNI-7709-2019*. BSN. Jakarta.
- Brockman, H. L. 1984. *General Features of Lipolysis: Reaction Scheme, Interfacial Structure and Experimental Approaches*. In: *Lipases* (Ed. B. Borgström and H. L. Brockman). Elsevier Science Publishers B.V. P. 3-46.
- Basyuni, M., Amri, N., Putri, L. A. P., Syahputra, I., Arifiyanto, D. 2017. Characteristics of fresh fruit bunch yield and the physicochemical qualities of palm oil during storage in North Sumatra Indonesia. *Indonesia Journal of Chemistry*. 17(2): 182-190.
- Budiwati, R. 2019. *Kimia Terapan*. Penerbit Itenas. Bandung.

- Djarkasi, G. S. S., Raharjo, S., dan Noor, Z. 2017. Isolasi dan aktivitas spesifik enzim lipase indigenous biji kenari. *Jurnal Teknologi Pertanian*. 8(1): 28-35.
- Enríquez, J. P., dan Archila-Godinez, J. C. 2022. *Social and cultural influences of food choices: a review*. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 63(13): 3698-3704.
- Fatimah, E. 2021. Review artikel: karakteristik dan peranan enzim lipase pada produksi *diacylglycerol* (DAG) dari *virgin coconut oil* (VCO). *UNESA Journal of Chemistry*. 10(3): 246-256.
- Fatin, S. A., Rosnah, S., and Yunus, R. 2014. Effect of chopping oil palm fruit spikelets on the free fatty acid content release rate and its mechanical properties. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. 3(1): 511-516.
- Frank, N. E. G., Albert, M. M. E., Laverdure, D. E. E., and Paul, K. 2011. Assessment of the quality of crude palm oil from smallholders in Cameroon. *Journal of Stored Products and Postharvest Research*. 2(3): 52-58.
- GAPKI. 2018. Publikasi. Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia. Jakarta.
- GAPKI. 2024. Publikasi. Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia. Jakarta.
- Habsyah, T. S., Basyuni, M., Siregar, L. A. M., Afandi, D., and Syahputra, I. Distribution of polyprenol and dolichol in oil palm genotype (*Elaeis guineensis*) involving lipase activity. *BIODIVERSITAS*. 22(2): 830-837.
- Hariyadi, P. 2014. *Mengenal Minyak Sawit dengan Beberapa Karakteristik Unggulnya*. Tim Gapki (Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia). Jakarta.
- Hasibuan, H. A. 2016. Pengaruh Penundaan waktu pengolahan buah sawit terhadap berat, rendemen crude palm oil (CPO) dan kernel serta mutu CPO. *Warta Pusat Penelitian Kelapa Sawit*. 20(1): 27-36.
- Hasibuan, H. A. 2020. Pengaruh penyiraman dan perendaman tandan buah kelapa sawit terhadap berat tandan buah kelapa sawit dan asam lemak bebas minyak sawit. *Warta Pusat Penelitian Kelapa Sawit*. 25(1): 11-16.
- Herstyawan, A. 2019. *Tinjauan Teoritis Kolom Distilasi Pabrik Aseton Proses Dehidrogenasi Isopropanol Kapasitas 30.000 Ton/Tahun*. (Skrispsi). Fakultas Teknik. Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Hudori, M. 2015. Quality engineering of crude palm oil (CPO): using multiple linear regression to estimate free fatty acid. *Proceeding 8th International Seminar of Industrial Engineering and Management (ISIEM)*. 26-3.

- Hutapea, P. Y. A. K. 2014. *Penetapan Kadar Air (Metode Pengeringan atau Metode Oven) dan Kadar Asam Lemak Bebas Minyak Sawit Mentah (Crude Palm Oil)*. (Tugas Akhir). Fakultas Farmasi. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Indayatmi. 2020. *Analisis Titrimetri dan Gravimetri Kelas 11 SMK*. CV. Alif Gemilang Pressindo. Yogyakarta.
- Ishak, H., Shiddiq, M., Fitra, R. H., dan Yasmin, N. Z. 2019. Klasifikasi tingkat kematangan tandan buah segar kelapa sawit menggunakan pencitraan fluoresensi yang diinduksi laser. *Jurnal Aceh Physics Society*. 8(3): 84-89.
- Iqbal, Z., Herodian, S., dan Widodo, S. 2018. Evaluasi non-destruktif kandungan asam lemak bebas (alb) tandan buah segar (tbs) kelapa sawit dengan metode nir spektroskopi. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*. 7(2): 62-121.
- Choonut, O., Yunu, T., Paichid, N., Klomkloa, S., Sangkharak, K. 2015. Biodiesel production using lipase from oil palm fruit as a catalyst. *Energy Procedia*. 17: 822-826.
- Komari, N., dan Susilo, T. B. 2021. *Enzimologi: Macam, Fungsi dan Aplikasi Enzim*. CV Banyubening Cipta Sejahtera. Banjarbaru.
- Laksmiwati, A. A. I. A. M., Wirajana, I. N., dan Suci, D. 2016. Pengaruh waktu inkubasi terhadap aktivasi lipase yang diinduksi dengan minyak jelantah pada tanah dari hutan mangrove pantai suwung kauh bali. *Jurnal Kimia*. 10(2): 255-262.
- Legasari, L., Riandi, R., Febriani, W., dan Pratama, R. A. 2023. Analisis kadar air dan asam lemak bebas pada produk minyak goreng dengan metode gravimetri dan volumetri. *Jurnal Redoks: Jurnal Pendidikan Kimia dan Ilmu Kimia*. 6(2): 51-58.
- Lukito, P. A., dan Sudradjat. 2017. Pengaruh kerusakan buah kelapa sawit terhadap kandungan *free fatty acid* dan rendemen CPO di kebun talisyan 1 berau. *Bul. Agrohorti*. 5(1): 37-44.
- Mahardhika, L. D., dan Sudradjat. 2015. Respon pertumbuhan tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) belum menghasilkan umur dua tahun terhadap pemupukan kalsium. *Bul. Agrohorti*. 3(1): 110-118.
- Mamuaja, C. F. 2017. *Lipida*. Unsrat Press. Manado.
- Mardiana, R., Adriani, A., dan Ridha, F. 2020. Analisa kadar asam lemak bebas dalam minyak goreng curah secara alkalimetri. *Journal of Pharmaceutical and Health Research*. 1(1): 11-13.

- Matthäus, B. 2007. Use of palm oil for frying in comparison with other high-stability oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 109(4): 200-409.
- Nizam, A. F. A., and Mahmud, M. S. 2021. Food quality assurance of crude palm oil: a review on toxic ester feedstock. *Oilseeds and fats Crops and Lipids*. 28(23): 1-14.
- Nizam, A. F. A., Muthiyah, K., and Mahmud, M. S. 2020. *Free Fatty Acid Formation In Oil Palm Fruits During Storage*. IOP Publishing Conf. Series: Materials Science and Engineering. Kuantan.
- Nopiani. 2015. *Peningkatan Kestabilan Enzim Lipase dari Pseudomonas Aeruginosa ATCC 27853 dengan Amobilisasi Menggunakan Bentonit*. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Nur, F. 2018. Uji aktivitas enzim amiloglukosidase dari *Aspergillus niger* pada kombinasi pH dan suhu yang bervariasi. *Jurnal Teknosains*. 12(1): 28-38.
- Nurfiqih, D., Hakim, L., dan Muhammad. 2021. Pengaruh suhu, presentase air, dan lama penyimpanan terhadap presentase kenaikan asam lemak bebas (ALB) pada *crude palm oil* (CPO). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. 10(2): 1-14.
- Nurhasnawati, H., Supriningrum, R., dan Caesariana, N. 2015. Penetapan kadar asam lemak bebas dan bilangan peroksida pada minyak goreng yang digunakan pedagang gorengan di jl. A.a sjahranie samarinda. *Jurnal Ilmiah Manuntung*. 1(1): 25-30.
- 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., Ardiningsih, P., Rahmalia, W., Nurlina, dan Syahbanu, I. 2020. Ekstraksi minyak kelapa murni dengan metode pengadukan dan *cold pressed* (*virgin coconut oil extraction with stirring and cold pressed method*). *Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry*. 11(2): 11-17.
- Prihatinigtyas, I. D. S., Heryadi, E., Ramadhan, R., Purnomo, A., Alfiyya, and Abdullah, H. 2024. Processing and characterization of oil palm loose fruits as a raw material for biodiesel. *Chimica didactica acta*. 12(1): 6-11.
- Purwanto, I. J., dan Santosa, E. 2016. Hubungan mutu buah dan curah hujan terhadap kandungan asam lemak bebas pada minyak kelapa sawit. *Bul. Agrohorti*. 4(3): 250-255.
- Rahmawati, E., dan Utami, M. 2022. Analisis kadar asma lemak bebas dan kadar air pada *crude palm oil* di laboratorium pt. bina pitri jaya mill. *Indonesian Journal of Chemical Research*. 7(2): 26-35.

- Raj, T., Hashim, F. H., Huddin, A. B., Hussain, A., Ibrahim, M. F., and Abdul, P. M. 2021. Classification of oil palm fresh fruit maturity based on caroten content from raman spectra. *Scientific reports*. 11:18315.
- 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.
- Sari, N., Shiddiq, M., Fitra, R. H., dan Yasmin, N. Z. 2019. Klasifikasi tingkat kematangan buah segar kelapa sawit menggunakan probe optik. *Jurnal Aceh Physics Society*. 8(3): 72-77.
- Setiawan, K. 2017. *Pemuliaan Kelapa Sawit Untuk Produksi Benih Unggul Tanaman Pendek, Kompak dan Minyak Tak Jenuh Tinggi*. Plantaxia. Bandar Lampung.
- Shehu, U. E., Mokhtar, M. N., Nor, M. Z. M., Baharuddin, A. S., and Naw, N. M. 2019. A study on the use of water as a medium for the thermal inactivation of endogenous lipase in oil of palm fruit. *Journal Energies*. 12(20): 1-16.
- Sholeha, R., dan Agustini, R. 2021. Lipase biji-bijian dan karakteristiknya. *UNESA Journal of Chemistry*. 10(2): 168-183.
- Simanjuntak, R. 2018. Penetapan kadar asam lemak bebas pada sabun mandi cair merek “LX” dengan metode titrasi asidimetri. *Jurnal Ilmiah Kohesi*. 2(4): 59-70.
- Smith, J. G. 2017. *Organic Chemistry, Fifth Edition*. McGraw-Hill Education. New York.
- Sofiana, Y., dan Yahya, S. 2015. Manajemen panen kelapa sawit (*Elaeis guineensis Jacq*) di kebun tambusai kec. tambusai, kabupaten rokan hulu, riau. *Bul Agrohorti*. 2(3): 213-220.
- Sulardi. 2022. *Budidaya Tanaman Kelapa Sawit*. PT Dewangga Energi Internasional. Bekasi.
- Suroso, A. S. 2013. Kualitas minyak goreng habis pakai ditinjau dari bilangan peroksida, bilangan asam dan kadar air. *Jurnal Kefarmasian Indonesia*. 3(2): 77-88.
- Susanti, C. M., Sugiharto, R., Setyani, S., dan Subeki. Pengaruh jumlah pelarut etanol dan suhu fraksinasi terhadap karakteristik lemak kakao hasil ekstraksi non alkalized cocoa powder. *Jurnal Teknologi Industri dan Hasil Pertanian*. 19(2): 307-319.
- Sutardi. 2023. *Enzimologi*. PT Citra Intrans Publishing. Malang.

- Sutrisno, A. 2017. *Teknologi Enzim*. UB Press. Malang.
- Sya'bani, Nurillah, Astuti, W., Pratiwi, D. R. 2017. Isolasi dan karakterisasi lipase dari kecambah biji alpukat (*persea americana mill*). *Jurnal Atomik*. 2(2): 209-212.
- Tagoe, S. M. A., Dickinson, M. J., and Appetorgbor, M. M. 2012. Factors influencing quality of palm oil produced at the cottage industry level in Ghana. *International Food Research Journal*. 19(1): 271-278.
- Tan, B. A., Nair, A., Zakaria, M. I. S., Low, J. K. S., Kua, S. F., Koo, K. L., Wong, Y. C., Neoh, B. K., Lim, C. M., and Appleton, D. S. 2023. Free fatty acid formation points in palm oil processing and the impact on oil quality. *Journal Agriculture*. 14(12): 1-12.
- 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): 123-130.
- Thoharudin, M., Huda, F. A., dan Suryadi, T. 2020. Penanganan hasil panen tandan buah segar kelapa sawit oleh koperasi harapan jaya. *Jurnal Papatung*. 3(1): 150-158.
- Ugroseno, R., dan Wachjar, A. 2017. Manajemen pemanenan dan penanganan pasca panen kelapa sawit (*Elaeis guineensis Jacq.*) di teluk sial estate, riau. *Bul. Agrohorti*. 5(3): 309-315.
- Villeneuve, P. 2003. Plant lipases and their application in oils and fats modification. *Eur J. Lipid Sci. Technology*. 105(6): 308.
- Wibowo, R. L. M. S. A., Yuliatmo, R., Maryati, T., Pahlawan, I. F. 2021. *Enzyme for Leather*. PT Sepadan Putra Mandiri. Yogyakarta.
- Wijaya, S. A. 2024. *Pengaruh Ph, Suhu, dan Waktu Inkubasi Terhadap Aktivitas Ekstrak Kasar Enzim Lipase Dari Buah Sawit Overripe*. (Skripsi). Universitas Lampung.
- Wolayan, F. R., Hadju, R., dan Imbar, M. R. 2022. *Kimia Organik: Tata Nama, Struktur, Sifat dan Fungsi*. CV Patra Media Grafindo. Bandung.
- Yustina, Y., dan Rahayu, R. A. N. 2014. Pengaruh lama proses adsorpsi terhadap penurunan kadar asam lemak bebas (FFA) dan bilangan peroksida (PV) pada minyak sawit mentah (CPO) menggunakan bioadsorben dari eceng gondok. *Jurnal Teknologi*. 6(2): 131-136.