

**EFEK FERMENTASI SERAT *MESOCARP* BUAH KELAPA SAWIT
MENGUNAKAN KULTUR TUNGGAL DAN CAMPURAN TERHADAP
KADAR PROTEIN DAN KANDUNGAN GULA REDUKSI**

SKRIPSI

Oleh

**Filsa Septia Perdana
2154231003**



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

ABSTRACT

THE EFFECT OF OIL PALM *MESOCARP* FIBER FERMENTATION USING SINGLE AND MIXED CULTURES ON PROTEIN LEVELS AND REDUCING SUGAR CONTENT

By

FILSA SEPTIA PERDANA

This study aimed to determine the effect of *mesocarp* fiber fermentation of oil palm fruit using mixed cultures on protein content and reducing sugar content, as well as to determine the best combination of culture treatment and fermentation duration. Fermentation was carried out using the microorganisms *Aspergillus niger* and *Saccharomyces cerevisiae*, either individually or in combination (co-culture), with fermentation durations of 7 and 10 days. The study was designed using a completely randomized block design (CRBD) with two factors and three replications. The parameters observed included protein content using the *Kjeldahl* method and reducing sugar content using the phenol-sulfate method. The results showed that the combination of mixed cultures of *A. niger* and *S. cerevisiae* (A4) with a fermentation duration of 10 days (B2) produced the highest protein content of 16.39%, while the combination of A4 with a fermentation duration of 7 days (B1) produced a protein content of 9,80%. The highest reducing sugar content was obtained in the A4B1 treatment at 2.81%. This indicates that fermentation using mixed cultures and longer fermentation times can enhance the nutritional value of oil palm mesocarp fiber. Thus, fermentation could be a potential method for improving the quality of lignocellulosic waste as an alternative feed material.

Keywords : fermentation, oil palm mesocarp, *Aspergillus niger*, *Saccharomyces cerevisiae*, protein, reducing sugar

ABSTRAK

EFEK FERMENTASI SERAT *MESOCARP* BUAH KELAPA SAWIT MENGUNAKAN KULTUR TUNGGAL DAN CAMPURAN TERHADAP KADAR PROTEIN DAN KANDUNGAN GULA REDUKSI

Oleh

FILSA SEPTIA PERDANA

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh fermentasi serat mesokarp buah kelapa sawit menggunakan kultur campuran terhadap kadar protein dan kandungan gula reduksi, serta menentukan kombinasi perlakuan kultur dan lama fermentasi terbaik. Fermentasi dilakukan menggunakan mikroorganisme *Aspergillus niger* dan *Saccharomyces cerevisiae* secara tunggal maupun campuran (kokultur), dengan lama fermentasi 7 dan 10 hari. Penelitian ini disusun menggunakan Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) dua faktor dan tiga ulangan. Parameter yang diamati meliputi kadar protein menggunakan metode Kjeldahl dan kandungan gula reduksi menggunakan metode fenol-sulfat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi kultur campuran *A. niger* dan *S. cerevisiae* (A4) dengan lama fermentasi 10 hari (B2) menghasilkan kadar protein tertinggi sebesar 16,39%, sedangkan kombinasi A4 dengan fermentasi 7 hari (B1) menghasilkan kadar protein 9,80%. Kandungan gula reduksi tertinggi diperoleh pada perlakuan A4B1 sebesar 2,81%. Hal ini menunjukkan bahwa fermentasi dengan kultur campuran dan waktu fermentasi yang lebih lama mampu meningkatkan nilai nutrisi serat mesokarp buah kelapa sawit. Dengan demikian, fermentasi dapat menjadi metode potensial dalam meningkatkan kualitas limbah lignoselulosa sebagai bahan pakan alternatif.

Kata kunci : fermentasi, mesokarp kelapa sawit, *Aspergillus niger*,
Saccharomyces cerevisiae, protein, gula reduksi

**EFEK FERMENTASI SERAT *MESOCARP* BUAH KELAPA SAWIT
MENGUNAKAN KULTUR TUNGGAL DAN CAMPURAN TERHADAP
KADAR PROTEIN DAN KANDUNGAN GULA REDUKSI**

Oleh

FILSA SEPTIA PERDANA

Skripsi

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

Pada

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



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

Judul Skripsi

: **EFEK FERMENTASI SERAT *MESOCARP*
BUAH KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN
KULTUR TUNGGAL DAN CAMPURAN
TERHADAP KADAR PROTEIN DAN
KANDUNGAN GULA REDUKSI**

Nama

: **Filsa Septia Perdana**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2154231003

Jurusan/Program Studi

: Teknologi Industri Pertanian

Fakultas

: Pertanian



1. Komisi Pembimbing

Prof. Dr. Dra. Maria Erna Kustyawati, M.Sc.
NIP. 19611129 198703 2 010

Dr. Ir. Sussi Astuti, M.Si.
NIP. 19670824 199303 2 002

2. Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian

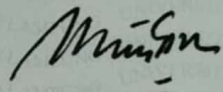
Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A., C.EIA.
NIP. 19721006 199803 1 005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

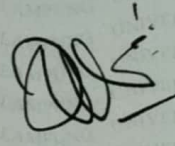
Ketua

Prof. Dr. Dra. Maria Erna Kustyawati, M.Sc.



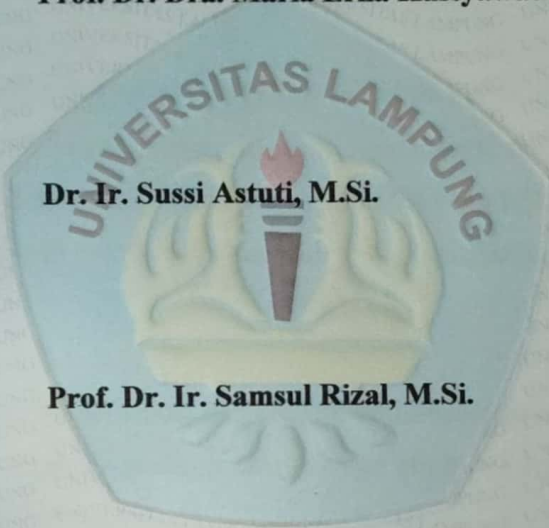
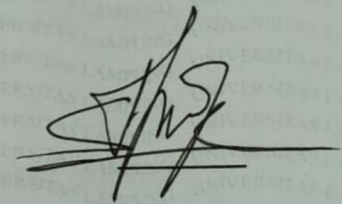
Sekretaris

Dr. Ir. Sussi Astuti, M.Si.



Penguji Bukan
Pembimbing

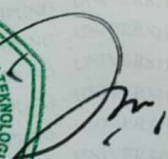
Prof. Dr. Ir. Samsul Rizal, M.Si.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.
NIP. 19641118 198902 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **07 Agustus 2025**

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Filsa Septia Perdana

NPM : 2154231003

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil kerja saya sendiri yang berdasarkan pada pengetahuan dan penelitian yang telah saya lakukan. Karya ilmiah ini tidak memuat isi yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukan hasil dari plagiarisme dari karya orang lain.

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

Bandar Lampung, 07 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan



Filsa Septia Perdana
NPM. 2154231003

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Desa Banjar ratu, Kecamatan Way Pengubuan Kabupaten Lampung Tengah, pada tanggal 21 September 2002. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara, pasangan Bapak Harsono dan Ibu Arini. Penulis memiliki seorang adik bernama Arga Fadila Abi Saputra.

Penulis menempuh pendidikan dasar di SD Negeri 1 Banjar Ratu, Lampung Tengah dan lulus pada tahun 2015. Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 2 Way Pengubuan, Lampung Tengah dan lulus pada tahun 2018, kemudian melanjutkan ke jenjang SMK Negeri 2 Terbanggi Besar, Lampung Tengah dan lulus pada tahun 2021. Pada tahun 2021, penulis diterima sebagai mahasiswa Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Mandiri Masuk Perguruan Tinggi Negeri Wilayah Barat (SMMPTN Barat).

Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Tanjung Rejo, Kecamatan Negeri Agung, Kabupaten Way Kanan, Provinsi Lampung pada bulan Januari hingga Februari 2024. Penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di PT Great Giant Pineapple di Departemen *Juice Concentrate*, Lampung Tengah, pada bulan Juli hingga Agustus 2024. Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam kegiatan kemahasiswaan, salah satunya sebagai Pengurus Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung (HMTJ THP FP Unila) di bidang Dana dan Usaha, pada periode tahun 2023.

SANWACANA

Alhamdulillah rabbil'alamiin, puji serta Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena telah melimpahkan rahmat serta karunianya-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “ **Efek Fermentasi Serat *Mesocarp* Buah Kelapa Sawit Menggunakan Kultur Tunggal dan Campuran Terhadap Kadar Protein dan Kandungan Gula Reduksi**” yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknologi Hasil Pertanian pada Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Selama proses penyusunan skripsi ini penulis seringkali mengalami kesulitan, penulis mendapatkan banyak dukungan, saran, bimbingan serta doa terbaik selama penyusunan skripsi sehingga penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih kepada berbagai pihak diantaranya 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. Ibu Prof. Dr. Ir. Sri Hidayati, S.T.P., M.P., selaku Koordinator Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
4. Ibu Prof. Dr. Dra. Maria Erna Kustyawati, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Pertama yang senantiasa memberikan dukungan baik secara materi, bimbingan serta saran kepada penulis selama penyusunan proposal penelitian hingga penyelesaian skripsi.
5. Ibu Dr. Ir. Sussi Astuti, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Dua yang senantiasa memberikan dukungan, bimbingan serta saran kepada penulis selama penyusunan proposal hingga penyelesaian skripsi.

6. Bapak Prof. Dr. Ir. Samsul Rizal, M.Si., selaku Dosen Pembahas yang senantiasa memberikan masukan dan saran kepada penulis selama penyusunan proposal hingga penyelesaian skripsi.
7. Seluruh Bapak dan ibu dosen pengajar, staf dan karyawan di Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung atas semua ilmu dan dukungan selama perkuliahan.
8. Cinta pertamaku, Bapak Harsono dan Ibunda ku tersayang Arini. Terimakasih atas segala pengorbanan serta tulus kasih yang diberikan. Mereka mampu senantiasa memberikan yang terbaik, tak kenal lelah mendoakan serta memberikan perhatian dan dukungan hingga penulis mampu menyelesaikan perkuliahan sampai meraih gelar sarjana. Semoga bapak dan ibu sehat, panjang umur dan bahagia selalu. Putra pertamamu akhirnya sarjana.
9. Adik laki lakiku Arga Fadila Abi Saputra, terimakasih telah memberikan semangat kepada kakakmu dan menjadi salah satu alasan untuk penulis melalui proses skripsi hingga selesai.
10. Sahabat penulis Cindy Sasmita, Reza, Lintang, Nabila terimakasih telah senantiasa menemani serta memberikan support kepada penulis.
11. Teman-teman seperjuangan (Ikhwan Sholeh), Adit, Akrom, Arifin, Barok, Diaz, Emerson, Fiktor, Reza, Gani, Ical, Nanda, Radit, Robin, dan Taufik. (Kerupuk Gedang), Rafy, Erwanda, Hanan, Nando, Fajar, Arif, Irsyat, Ruly, Vektor yang telah kebersamai selama menjalani perkuliahan dari awal hingga akhir.
12. Keluarga besar TIP angkatan 2021 terimakasih atas perjalanan kebersamaan serta seluruh cerita baik maupun duka selama ini.
13. Semua pihak yang telah berperan dalam penyusunan dan penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
14. *Last but not least*, terima kasih untuk diri sendiri karena telah mampu berusaha keras dan berjuang sejauh ini, mampu mengendalikan diri dari berbagai tekanan diluar keadaan dan tidak pernah memutuskan untuk menyerah sesulit apapun prosesnya, ini merupakan pencapaian yang patut dibanggakan untuk diri sendiri. *I wanna thank me for just being me at all times.*

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dan kesalahan dalam penyusunan skripsi. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan bagi pembaca.

Bandar Lampung, 07 Agustus 2025

Filsa Septia Perdana

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang dan Masalah	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	2
1.3. Kerangka Pemikiran	3
1.4. Hipotesis.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Kelapa Sawit	6
2.2. Bagian-bagian Kelapa Sawit.....	7
2.3. Proses Pengolahan Buah Kelapa Sawit.....	8
2.4. Serat Mesokarp Kelapa Sawit (SMKS)	10
2.5. Hidrolisis Selulosa	13
2.6. Fermentasi Serat Mesokarp Kelapa Sawit	15
2.7. Gula Reduksi.....	16
2.8. Protein	17
2.9. <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	17
2.10. <i>Arpergillus niger</i>	19
III. METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	21
3.2. Bahan dan Alat.....	21
3.3. Metode Penelitian	21
3.4. Pelaksanaan Penelitian.....	22

3.4.1. Pembuatan Tepung dan <i>Delignifikasi</i> Serat <i>Mesocarp</i> Kelapa Sawit (SMKS).....	23
3.4.2. <i>Bleaching</i> Serat Mesokarp Kelapa Sawit (SMKS).....	23
3.4.3. Persiapan Kultur Mikroorganisme.....	25
3.4.4. Proses Fermentasi Tepung Serat Mesokarp Kelapa Sawit (SMKS)	28
3.5. Pengamatan Kadar Protein dan Gula Reduksi	30
3.5.1. Kadar Protein	30
3.5.2. Kadar Gula Reduksi.....	31
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	32
4.1. Hasil Fermentasi Serat <i>Mesocarp</i> buah kelapa sawit.....	32
4.2. Kadar Protein dan Kadar Gula Reduksi Produk Oleh Kultur Dan Lama Fermentasi yang Berbeda.....	34
4.2.1. Pengaruh Fermentasi terhadap Kadar Protein Produk.....	34
4.2.2 Pengaruh Fermentasi terhadap Kadar Gula Reduksi.....	36
V. KESIMPULAN DAN SARAN	39
5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kombinasi perlakuan perbedaan kultur dengan lama fermentasi tepung serat mesokarp kelapa sawit bebas lignin	22
2. Hasil uji lanjut BNT 5% kadar protein faktor kadar protein (jenis kultur).....	34
3. Hasil uji lanjut BNT 5% kadar protein (lama fermentasi)	34
4. Hasil uji lanjut BNT taraf 5% kadar gula reduksi dari produk serat <i>mesocarp</i> kelapa sawit	37
5. Hasil pengamatan kadar protein.....	45
6. Uji kehomogenan (kesamaan) ragam (<i>Bartlett's test</i>).....	45
7. Analisis sidik ragam kandungan kadar protein produk.....	46
8. Hasil pengamatan gula reduksi	46
9. Uji kehomogenan (kesamaan) ragam (<i>Bartlett's test</i>).....	47
10. Analisis sidik ragam kandungan gula reduksi produk	47
11. Hasil uji BNT taraf 5% kandungan gula reduksi produk.....	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Pohon Kelapa Sawit	7
2. Bagian bagian buah kelapa sawit	8
3. Proses pengolahan buah kelapa sawit	9
4. Bentuk serat mesokarp	10
5. Ikatan Hemiselulosa	11
6. Ikatan Selulosa	12
7. Hidrolisis selulosa oleh enzim selulase.....	14
8. Diagram alir pembuatan tepung dan <i>delignifikasi</i> Serat Mesokarp Kelapa Sawit (Kustyawati, 2024)	24
9. Diagram alir bleaching tepung mesokarp kelapa sawit	25
10. Diagram alir pembiakkan kultur <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	26
11. Diagram alir peremajaan dan pengadaptasian kultur <i>Aspergillus niger</i>	28
12. Diagram alir proses fermentasi tepung serat <i>mesokarp</i> kelapa sawit SMKS.....	30
13. Kenampakan bentuk SMKS yang telah melalui beberapa tahap <i>Pretreatment</i>	32
14. Produk tepung serat mesokarp kelapa sawit terfermentasi	33
15. Pengambilan SMKS di PTPN VII regional 4.....	48
16. Pencucian serat mesokarp kelapa sawit	48
17. Pemisahan kotoran serat mesokarp kelapa sawit	48
18. Pengovenan serat mesokarp	48
19. Penghalusan serat mesokarp	49
20. Pengayakan serat mesokarp menjadi tepung	49
21. Delignifikasi serat mesokarp kelapa sawit.....	49
22. Proses <i>bleaching</i> serat mesokarp	49

23. Pengukuran PH hingga netral	49
24. Persiapan media PDA	49
25. Pemiakkan <i>Aspergillus niger</i> pada media PDA	50
26. Pemiakkan <i>Saccharomyces cerevisiae</i> pada media PDB	50
27. Penginkubasian kultur	50
28. Persiapan medium basah	50
29. Penambahan kultur <i>A. niger</i> pada media fermentasi	50
30. Penambahan kultur <i>S. cerevisiae</i> pada media fermentasi	50
31. Proses Fermentasi tepung SMKS	51
32. Pengeringan tepung terfermentasi	51
33. Produk tanpa kultur fermentasi 7 hari	51
34. Produk tanpa kultur fermentasi 10 hari	51
35. Produk fermentasi <i>A.niger</i> 7 hari	51
36. Produk fermentasi <i>A.niger</i> 10 hari	51
37. Produk fermentasi <i>S. cerevisiae</i> 7 hari	52
38. Produk fermentasi <i>S. cerevisiae</i> 10 hari	52
39. Produk fermentasi kultur campuran 7 hari	52
40. Produk fermentasi kultur campuran 10 hari	52
41. Pemanasan sampai larutan menjadi jernih	52
42. Pendinginan	52
43. Penambahan 50 ml air suling kedalam larutan hasil digesti	53
44. Indikator Campuran	53
45. Proses destilasi	53
46. Hasil destilasi	53
47. Proses titrasi	53
48. Hasil titrasi uji kadar protein	53
49. Pembuatan larutan standar glukosa uji gula reduksi	54
50. Pengujian sampel	54
51. Hasil Pengujian sampel	54
52. Perhitungan absorbansi sampel gula reduksi	54
53. Perhitungan absorbansi	54

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang dan Masalah

Industri kelapa sawit masih menjadi salah satu industri unggulan nasional, merupakan komoditas paling dominan di antara industri perkebunan lainnya. Industri sawit menempati peringkat teratas sebagai pengekspor dan penghasil devisa. Di sisi lain industri sawit dapat menyerap jutaan tenaga kerja yang ada di Indonesia. Areal perkebunan sawit di pulau Sumatra terhampar seluas 14,03 juta hektar (2017), lebih luas dari Pulau Jawa (12,83 juta hektar). Indonesia merupakan peringkat pertama sebagai negara produsen sekaligus eksportir minyak sawit (CPO) terbesar di dunia, dengan penguasaan pangsa pasar antara 48-49 % (Silalahi dan Suprijatno, 2017).

Peningkatan produksi minyak sawit mentah (CPO) akan meningkatkan jumlah limbah yang dihasilkan selama proses produksinya. Limbah kelapa sawit terdiri dari sisa-sisa tanaman kelapa sawit yang tidak termasuk dalam produk utama, serta hasil sampingan dari proses pengolahan, yang mencakup limbah padat dan limbah cair. Produk dan hasil sampingan dari kelapa sawit meliputi tandan kosong kelapa sawit (TKKS) 23%, serat mesokarp 13%, minyak sawit 20-22%, inti sawit 5%, dan cangkang 7%. Namun TKKS, serat mesokarp, dan cangkang kelapa sawit selama ini lebih banyak digunakan sebagai bahan bakar. Limbah yang dihasilkan oleh industri kelapa sawit memiliki potensi yang cukup luas, namun belum dimanfaatkan secara optimal (Silalahi dan Suprijatno, 2017). Mesokarp merupakan daging buah yang berserat serat mesokarp sawit yang disebut sabut atau serabut sawit (*mesocarp fiber*) adalah serat yang terdapat pada daging buah kelapa sawit yang merupakan bahan alam berbentuk serabut panjang antara 3- 4 cm.

Pemanfaatan dari serat *mesocarp* kelapa sawit dapat berguna untuk papan pengisi tripleks, kayu lapis, meja datar, plat serat, dan sebagainya (Haryanti dkk., 2014). Susilo (2017) menyebutkan bahwa serat *mesocarp* kelapa sawit mengandung senyawa selulosa sebesar 41,92%; lignin 21,71%; dan hemiselulosa 11,36%. Kadar serat kasar yang tinggi dapat mengganggu pengembangan atau pengolahan lanjutan pada suatu produk maupun organisme. Serat kasar yang terkandung pada serat mesokarp kelapa sawit, dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme untuk meningkatkan nilai tambah serat. Salah satu teknologi yang dapat digunakan yaitu dengan fermentasi. Fermentasi merupakan upaya untuk memperbaiki kualitas gizi, mengurangi dan bahkan menghilangkan pengaruh bahan pakan tertentu yang dapat dilakukan dengan penggunaan mikroorganisme (Nista dkk., 2007).

Menurut Hidayat dkk.,(2006), fermentasi didefinisikan sebagai perubahan gradual oleh enzim yang disebabkan oleh beberapa bakteri, khamir dan jamur. Keberhasilan fermentasi sangat ditentukan oleh fermentor yang digunakan. Solusi dari tingginya kandungan serat kasar dari kelapa sawit yaitu dengan melakukan berbagai macam cara pengolahan seperti perlakuan fisik, kimia, dan biologi. Salah satu perlakuan pakan yang akan di gunakan pada penelitian ini yaitu dengan perlakuan biologi dilakukan dengan menambahkan kokultur campuran jenis khamir dan kapang. Pemanfaatan limbah tanaman kelapa sawit yang cukup melimpah perlu dioptimalkan dengan teknologi fermentasi menggunakan kultur-kultur yang berpotensi dalam meningkatkan kualitas limbah. Jamila (2013) menyatakan bahwa penggunaan khamir dan kapang dapat meningkatkan kualitas serat *mesocarp* buah sawit. Oleh karena itu perlu di lakukan penelitian efek fermentasi serat *mesocarp* buah kelapa sawit menggunakan kokultur campuran terhadap kadar protein dan kandungan gula reduksi produk.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kandungan kadar protein dan gula reduksi *mesocarp* buah kelapa sawit dengan kultur yang berbeda.

2. Mengetahui kultur dan lama fermentasi terbaik dalam memfermentasi *mesocarp* buah kelapa sawit terhadap kadar protein dan kandungan gula reduksi.

1.3. Kerangka Pemikiran

Komposisi kimia serat kelapa sawit atau serat mesokarp mengandung holoselulosa 68,3%-86,3%, hemiselulosa 17,1-33,5%, selulosa 42,7-65% dan glukosa 66,4% (Rahmasita, 2017). Serat mesokarp biasanya digunakan sebagai bahan bakar boiler dan hingga saat ini belum dimanfaatkan secara optimal. Kandungan kimia serat mesokarp kelapa sawit diantaranya seperti selulosa, hemiselulosa yang dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme melalui proses fermentasi. Proses penguraian selulosa secara alami menggunakan bantuan mikroorganisme yang mengeluarkan enzim selulase. Enzim selulase memotong ikatan 1,4- β -glukosida pada rantai panjang selulosa. Selulosa dalam lingkungan aerobik akan terurai menjadi glukosa dan karbondioksida yang akan bergabung dalam sel yang sedang tumbuh, sedangkan selulosa pada lingkungan anaerobik akan terurai menjadi alkohol dan asam (Prihatiningrum, 2012). Mikroorganisme yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Aspergillus niger* dan *Saccharomyces cerevisiae*.

Mikroorganisme selulolitik adalah salah satu mikroorganisme yang mampu menghasilkan enzim selulase. Fungsi bakteri selulolitik adalah untuk menghidrolisis selulosa menjadi produk yang lebih sederhana yaitu glukosa. Bahan organik yang mengandung selulosa merupakan substrat bagi pertumbuhan mikroorganisme selulolitik. Menurut Artati (2017), khamir *Saccharomyces cerevisiae* memiliki waktu pertumbuhan optimum selama 48 jam, sedangkan *Aspergillus niger* memiliki waktu pertumbuhan optimum 5 hari (120 jam). Kedua jenis mikroorganisme ini sama-sama memiliki kemampuan dalam mendekomposisi selulosa dan lignin.

Hasil penelitian Hidayat (2024) mengenai potensi selulosa serat mesokarp kelapa sawit terhadap pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* dan *Eschericia coli*

menunjukkan bahwa substrat selulosa dari SMKS pada *Saccharomyces cerevisiae* menjadi nutrisi bagi mikroorganisme tersebut. Serat mesokarp mengandung kadar selulosa cukup tinggi yang berpotensi sebagai prebiotik yang akan memberikan nutrisi untuk pertumbuhan bakteri probiotik. Substrat ini akan dipecah menjadi glukosa oleh enzim glukoamilase yang dihasilkan *Saccharomyces cerevisiae*. Selulosa tersebut akan terhidrolisis menjadi gula sederhana yang dapat dimanfaatkan menjadi produk bioetanol.

Saccharomyces cerevisiae merupakan khamir dengan potensi memproduksi selulase yang mampu menghasilkan glukosa, untuk dapat memproduksi sirup gula, asam organik dan bioetanol. Berdasarkan penelitian Sarjono dkk. (2021) aktivitas *Saccharomyces cerevisiae* dalam menghidrolisis eceng gondok menghasilkan gula pereduksi sebesar 0,267 mg/ mL dari 0,3 g eceng gondok. Kondisi hidrolisis optimum pada pH 5 dengan waktu fermentasi 48 jam. Aktivitas *Saccharomyces cerevisiae* yang paling optimal diperlihatkan dengan profil gula pereduksi yang paling tinggi. Kadar gula pereduksi yang dihasilkan pada penelitian tersebut sebesar 0,248 mg/ mL.

Aspergillus niger merupakan salah satu jenis kapang yang mampu menghasilkan enzim selulase dengan baik. Berdasarkan penelitian Purkam dkk. (2015) mengenai fermentasi sekam padi menunjukkan bahwa fermentasi tersebut mampu menginduksi enzim selulase lebih maksimal. Hal ini akan berpengaruh terhadap kandungan gula pereduksi yang dihasilkan setelah proses fermentasi. Aktivitas mikroba dalam menghidrolisis selulosa akan terlihat melalui adanya kandungan gula pereduksi pada produk hasil fermentasi serat mesokarp kelapa sawit (SMKS)..

Fermentasi merupakan proses yang diharapkan dapat memodifikasi suatu bahan untuk digunakan pada produk-produk tertentu. Fermentasi dengan bantuan kapang atau khamir dinilai dapat meningkatkan nutrisi pada bahan salah satunya adalah kadar protein. Selain mempermudah daya cerna, kapang dan khamir juga dapat meningkatkan kandungan protein bahan pangan maupun pakan. Produksi pakan ternak merupakan salah satu cara untuk menambah nilai dan memanfaatkan

limbah SMKS untuk dijadikan pakan ternak. Pertumbuhan mikroorganisme yang terdapat pada media dapat bekerja secara maksimal dalam memecah sel-sel yang belum terpecah dan meningkatkan kandungan protein kasar akibat terjadi aktivitas mikroorganisme dengan bantuan beberapa enzim (Abu, 2007)

Berdasarkan data tersebut, pada penelitian ini dilakukan proses fermentasi serat mesokarp kelapa sawit (SMKS) menggunakan kultur tunggal maupun kultur campuran dengan lama waktu fermentasi yang berbeda. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian efek fermentasi serat mesokarp buah kelapa sawit menggunakan kultur tunggal maupun kokultur campuran terhadap kandungan kadar protein dan gula reduksi produk yang dihasilkan

1.4. Hipotesis

Hipotesis penelitian ini adalah :

1. Terdapat pengaruh proses fermentasi serat mesokarp kelapa sawit (SMKS) terhadap kadar protein dan kandungan gula reduksi
2. Terdapat kokultur dan lama fermentasi terbaik dalam memfermentasi serat *mesocarp* buah kelapa sawit

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan jenis tanaman yang berasal dari keluarga *Arecaceae*. Kelapa sawit awal dibudidayakan di Amerika Selatan. Tanaman kelapa sawit merupakan salah satu komoditi utama dalam usaha petani dalam memproduksi minyak kelapa sawit. Kelapa sawit dikenal sebagai komoditi yang memiliki nilai tinggi sebagai pengganti kelapa yang digunakan dengan tujuan membuat minyak. Perkebunan kelapa sawit biasanya terletak pada daerah hutan yang jauh dari hiruk pikuk kehidupan masyarakat karena biasanya perkebunan kelapa sawit membutuhkan lahan yang cukup luas. Melihat keuntungan dari segi ekonomis yang dihasilkan dari produk turunan kelapa sawit, para petani beralih menanam komoditi kelapa sawit yang tersebar diberbagai pulau di Indonesia antara lain Kalimantan, Sumatera, dan Sulawesi (Rahmawati, 2023).

Dalam proses persebarannya, terdapat dua jenis kelapa sawit utama yang biasanya dibudidayakan oleh para petani, yaitu *Elaeis guineensis* Jacq dan *Elaeis oleifera*. Kedua jenis kelapa sawit memiliki karakteristik dan keunggulan yang berbeda, sehingga penggunaannya dapat disesuaikan dengan kebutuhan serta kondisi lingkungan. *Elaeis guineensis* dikenal sebagai varietas dengan produktivitas yang sangat tinggi, terutama dalam hal hasil tandan buah segar (TBS) dan produksi minyak sawit. Hal ini menyebabkan *Elaeis guineensis* menjadi pilihan utama dalam industri perkebunan besar di berbagai negara seperti Indonesia dan Malaysia. Selain itu, tanaman ini mampu beradaptasi dengan baik di berbagai jenis tanah dan iklim tropis, sehingga luas area perkebunannya sangat berkembang di kawasan Asia Tenggara.

Di sisi lain, *Elaeis oleifera* memiliki karakteristik yang berbeda, salah satunya adalah ketinggian tanaman yang lebih rendah dibandingkan dengan *Elaeis guineensis*. Meskipun produktivitasnya tidak setinggi *Elaeis guineensis*, jenis ini tetap dibudidayakan karena beberapa keunggulan, seperti kemampuan adaptasi yang baik di daerah tertentu dan potensi untuk meningkatkan kualitas minyak. *Elaeis oleifera* juga dikenal lebih tahan terhadap beberapa jenis penyakit dan hama, serta memiliki kandungan minyak yang lebih sehat, yaitu rendah asam lemak jenuh (Rahmawati, 2023). Pohon kelapa sawit disajikan pada Gambar 1.

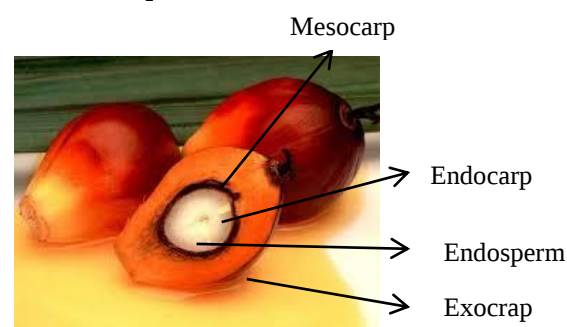


Gambar 1. Pohon Kelapa Sawit
Sumber : Dokumentasi pribadi (2025)

2.2. Bagian-bagian Kelapa Sawit

Tanaman kelapa sawit memiliki ciri-ciri fisik diantaranya memiliki akar serabut yang ujungnya runcing, berwarna kekuningan, dan mampu menopang tanaman hingga mencapai usia 25 tahun. Batangnya tidak memiliki kambium dan umumnya tumbuh tanpa cabang. Pada fase muda, batang tanaman belum terlihat jelas karena tertutup oleh pelepah daun. Pertumbuhan tinggi batang mulai tampak signifikan setelah tanaman memasuki usia sekitar empat tahun (Thohirin dkk., 2023).

Daun kelapa sawit tersusun secara majemuk dengan bentuk bersirip genap dan bertulang sejajar. Daun-daun tersebut membentuk pelapah yang panjangnya bisa mencapai 7,5 hingga 9 meter. Bagian yang dimanfaatkan dari tanaman ini adalah buahnya, di mana daging buah menghasilkan minyak kelapa sawit mentah yang kemudian diolah menjadi bahan baku minyak goreng serta berbagai produk turunannya. Minyak nabati dari kelapa sawit memiliki beberapa keunggulan, seperti harga yang terjangkau, kandungan kolesterol rendah, dan kaya akan karoten, sehingga menjadikannya pilihan utama dalam industri pangan (Thohirin dkk., 2023). Bagian bagian buah kelapa sawit disajikan pada Gambar 2.



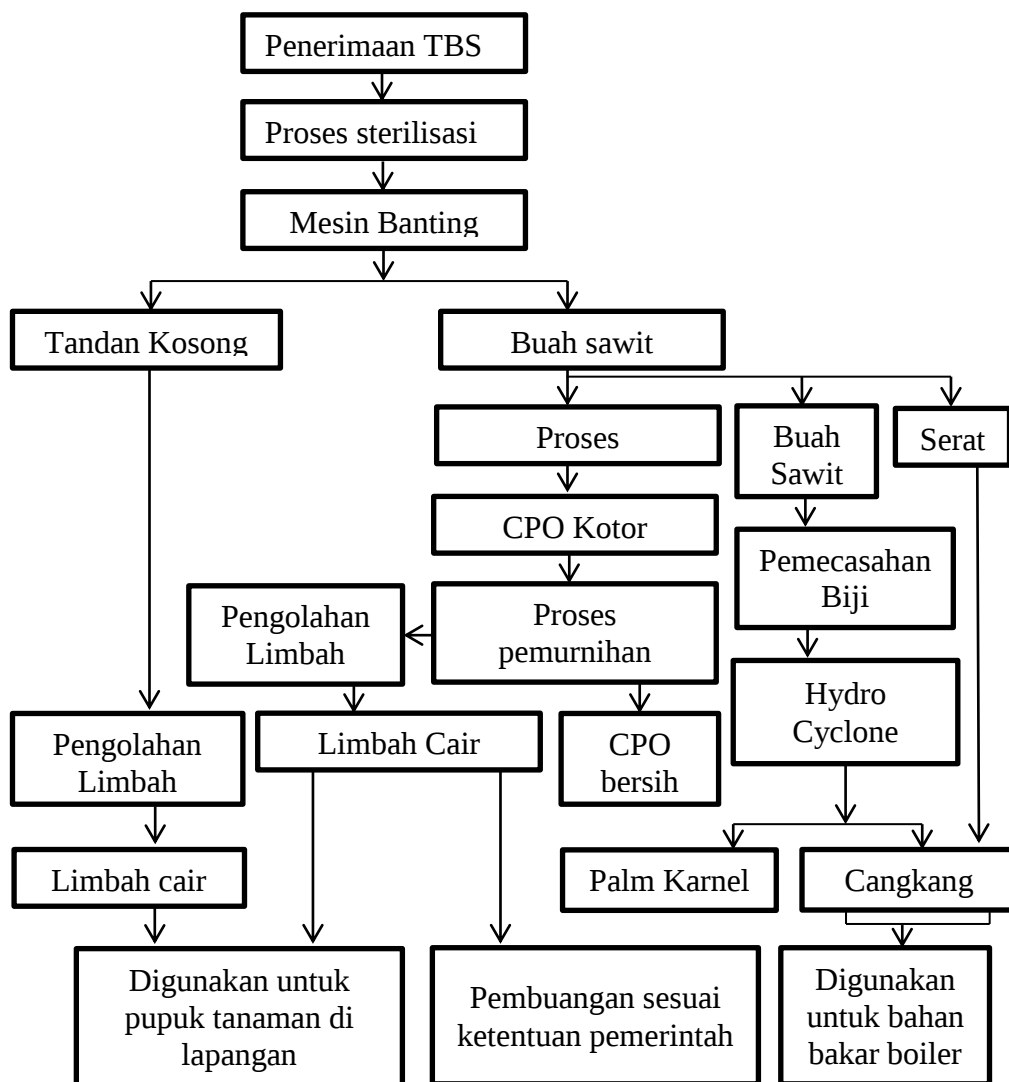
Gambar 2. Bagian bagian buah kelapa sawit
Sumber : Thohirin dkk., (2021)

2.3. Proses Pengolahan Buah Kelapa Sawit

CPO (*Crude Palm Oil*) adalah minyak nabati yang dihasilkan dari mesokarp buah kelapa sawit. Proses pengolahannya umumnya terdiri dari empat tahap utama, yaitu perebusan buah sawit, pencacahan dan pelumatan daging buah, pengepresan, serta pemurnian berdasarkan temperatur dan berat jenis. Pada industri berskala besar, pengolahan dimulai dengan menimbang tandan buah segar (TBS) menggunakan jembatan timbang dengan menimbang muatan truk pengangkut. Selanjutnya, TBS direbus untuk beberapa tujuan, termasuk mempermudah pemisahan antara tandan dan brondolan. Setelah dipisahkan, brondolan kemudian diolah lebih lanjut untuk mengekstraksi minyak dari daging buahnya (Thohirin dkk., 2023).

Hasil dari proses ini adalah minyak CPO, serabut dan nut. CPO selanjutnya diolah untuk menghilangkan kadar air, sedangkan nut akan diproses untuk memisahkan karnel dengan cangkangnya, dan serabut akan masuk ke boiler untuk

bahan bakar boiler. Inti atau kernel buah kelapa sawit dapat diolah menjadi minyak inti, yang selanjutnya digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan alkohol dan produk industri kosmetik. Bagian *mesocarp* buah kelapa sawit mengandung minyak dengan kadar rata-rata 56%, sementara inti mengandung sekitar 44% minyak, sedangkan endokarp tidak mengandung minyak sama sekali. Salah satu produk utama kelapa sawit, yaitu *Crude Palm Oil* (CPO). Minyak sawit memiliki beragam manfaat dan kegunaan, mulai dari bahan pangan hingga industri kosmetik, kimia, pakan ternak, dan biodiesel, menjadikannya komoditas penting dalam berbagai sektor industri (Thohirin dkk., 2023). Proses pengolahan buah kelapa sawit disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses pengolahan buah kelapa sawit
Sumber : Thohirin dkk., (2023)

2.4. Serat Mesokarp Kelapa Sawit (SMKS)

Mesokarp merupakan bagian daging buah kelapa sawit yang memiliki tekstur berserabut. Serat yang terkandung dalam mesokarp dikenal sebagai sabut atau serabut sawit (*mesocarp fiber*), yaitu serat alami berbentuk panjang dengan ukuran sekitar 3-4 cm. Serat ini tergolong sebagai limbah padat yang dihasilkan setelah proses pengepresan buah sawit di stasiun *pressing*. Selain itu, serat juga diperoleh pada unit *depericarper*, yakni sebagai hasil pembersihan cangkang dari sisa-sisa serat yang masih menempel. Secara umum, pabrik kelapa sawit mampu menghasilkan serat dalam jumlah yang cukup besar yaitu sekitar 13–14% dari total tandan buah segar (TBS) yang diolah (Ariyani dkk., 2020).

Serat mesokarp kelapa sawit memiliki karakteristik yang berbeda dengan matriks polimer pada umumnya. Sifat hidrofilik yang menonjol, ditandai dengan keberadaan gugus hidroksil dengan jumlah besar. Hal ini memungkinkan serat berinteraksi kuat dengan molekul air. Interaksi yang kuat antara serat hidrofilik dan air akan menyebabkan ikatan antarmuka yang relatif lemah dengan matriks polimer yang umumnya bersifat hidrofobik. Akibatnya, serat mesokarp kelapa sawit cenderung memiliki ketahanan absorpsi air yang rendah (Setiawan dkk., 2018). Bentuk serat mesokarp kelapa sawit setelah melalui beberapa tahap proses disajikan pada Gambar 4.



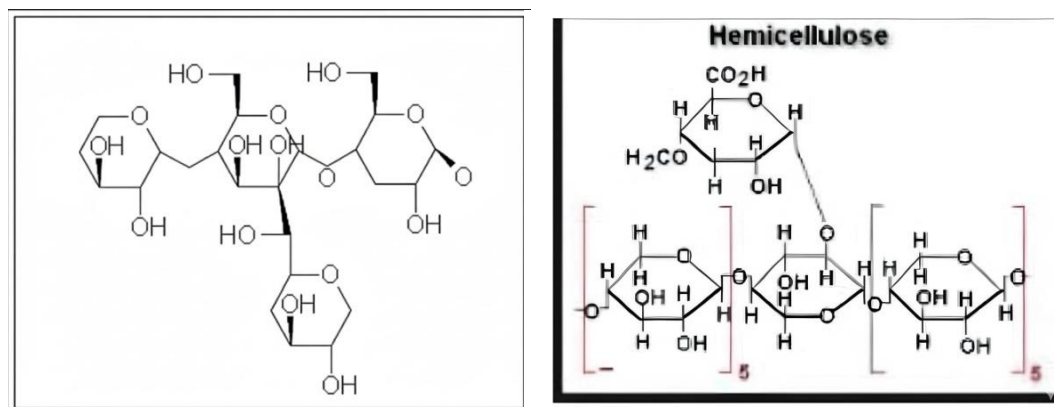
Gambar 4. Bentuk serat mesokarp
Sumber : Dokumentasi pribadi (2025)

Serat mesokarp kelapa sawit mengandung beberapa senyawa utama, yaitu selulosa, lignin, hemiselulosa, dan holoselulosa. Serat mesokarp kelapa sawit mengandung senyawa lignoselulosa yang tersusun atas lignin, hemiselulosa, dan

selulosa. *Mesocarp* mengandung berat kering selulosa 21,50%, hemiselulosa 33,90%, dan lignin 7,01%. Lignin berada di sekeliling selulosa sehingga selulosa terlindungi dari degradasi. Hemiselulosa dan selulosa dalam struktur bahan lignoselulosa saling terikat oleh lignin. Struktur lignin yang padat dan kuat menjadi penghalang bagi enzim pemecah hemiselulosa dan selulosa untuk menembus dan menguraikan senyawa tersebut menjadi gula sederhana.

Hemiselulosa merupakan polisakarida yang bersifat nonkristalin, tidak berbentuk serat, dan mudah mengembang. Sifat ini membuat hemiselulosa berperan penting dalam pembentukan jaringan antarserat saat proses pembuatan lembaran.

Hemiselulosa lebih mudah larut dalam pelarut alkali dan lebih cepat terhidrolisis oleh asam menjadi monomer penyusunnya, seperti D-glukosa, D-manosa, D-galaktosa, D-xilosa, dan L-arabinosa. Xilan, sebagai komponen utama hemiselulosa pada dinding sel tanaman, mengalami degradasi menjadi xilosa, yang berpotensi menjadi sumber energi bagi ternak ruminansia (Rauf dan Syahril, 2018). Hemiselulosa juga termasuk dalam kategori serat yang tidak larut dalam air. Ikatan hemiselulosa disajikan pada Gambar 5

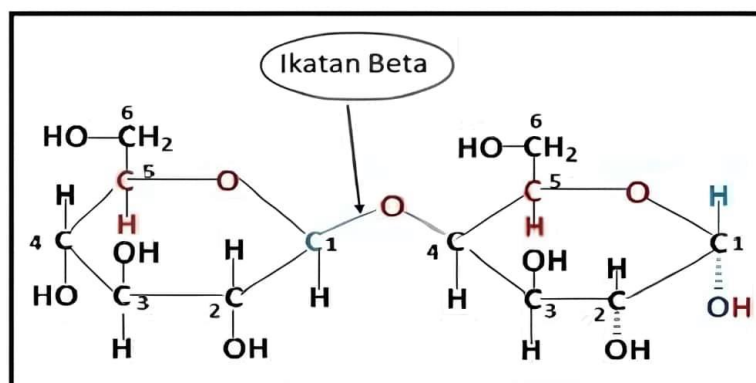


Gambar 5. Ikatan Hemiselulosa
Sumber : Rauf dan Syahril (2018)

Perbedaan utama antara hemiselulosa dan selulosa terletak pada sifat kelarutannya. Hemiselulosa mudah larut dalam alkali tetapi sulit larut dalam asam, sedangkan selulosa menunjukkan sifat sebaliknya. Hasil hidrolisis selulosa menghasilkan D-glukosa, sementara hidrolisis hemiselulosa menghasilkan D-xilosa dan monosakarida lainnya. Selulosa merupakan karbohidrat alami yang melimpah (Ramanathan dkk., 2010), terdiri atas rantai monomer glukosa dengan

ikatan $\beta(1-4)$ yang membentuk polimer lebih dari 10 monomer monosakarida. Glukosa dari selulosa dapat diperoleh melalui hidrolisis ikatan glikosida, yang kemudian dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, seperti produksi sirup glukosa, asam organik, dan pakan.

Secara fisik, selulosa memiliki karakteristik seperti dalam bentuk kristal, selulosa memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan bentuk amorfnya. Struktur selulosa terdiri atas dua wilayah, yaitu *crystalline region* dan *amorphous region*. *Crystalline region* memiliki struktur yang lurus dan rapat, sedangkan *amorphous region* memiliki struktur yang lebih renggang. Dalam kondisi kering, selulosa bersifat higroskopis, yaitu mudah menyerap dan melepaskan uap air. Selulosa juga keras dan rapuh, tidak larut dalam air maupun pelarut organik, tetapi sebagian larut dalam larutan alkali. Sifat ini disebabkan oleh kekuatan rantai polimernya dan tingginya gaya antarrantai akibat ikatan hidrogen antara gugus hidroksil pada rantai yang berdekatan. Selulosa dapat mengalami degradasi melalui hidrolisis, oksidasi, fotokimia, atau proses mekanis, yang menyebabkan penurunan berat molekulnya. Selulosa memiliki rumus molekul $(C_6H_{10}O_5)_n$ dengan struktur molekul yang khas. Ikatan selulosa disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Ikatan Selulosa
Sumber : Rauf dan Syahril (2018)

Selulosa tidak dapat dihidrolisis secara efektif jika lignin masih terikat, sehingga diperlukan proses delignifikasi untuk melarutkan dan melepaskan lignin dari selulosa dan hemiselulosa. Proses ini dilakukan dengan merendam serat kelapa sawit dalam larutan NaOH 10% pada suhu 90°C selama 2 jam. Perlakuan ini melarutkan lignin, sementara selulosa dan hemiselulosa mengendap. Lignin yang

terlarut dalam NaOH membentuk garam fenolat, yang bersifat larut dalam air. Ketika garam fenolat terbentuk, ikatan antara lignin dan selulosa terputus, sehingga selulosa menjadi bebas dari lignin.

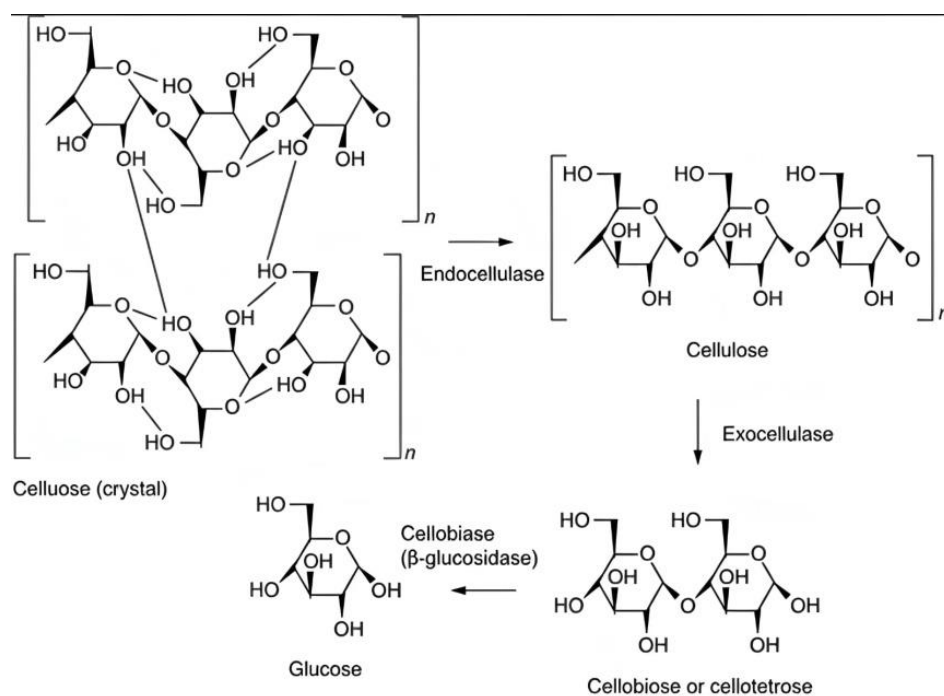
Filtrat hasil delignifikasi dapat diuji secara kualitatif menggunakan larutan FeCl_3 untuk mendeteksi keberadaan gugus fenol sebagai indikasi sisa lignin. Reaksi positif ditandai dengan perubahan warna menjadi merah keunguan, hasil interaksi antara hidrogen pada gugus hidroksil fenol dengan Fe yang membentuk senyawa fenolat berwarna merah. Setelah itu, filtrat dicuci dan disaring dengan air hingga pH-nya netral. Serat mesocarp bebas lignin kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 24 jam hingga berat kering konstan, untuk digunakan dalam penelitian lebih lanjut. Metode ini mengadopsi prosedur yang dikembangkan oleh Kalsum et al. (1998), dengan modifikasi pada bahan baku. Selain delignifikasi, pengecilan ukuran partikel bahan baku dilakukan menggunakan mesin giling (*milling machine*). Proses ini bertujuan untuk meningkatkan aktifitas antara selulosa dan enzim, sehingga mempermudah proses hidrolisis dan meningkatkan hasil. Oleh karena itu, pengecilan ukuran serat *mesocarp* menjadi langkah penting dalam persiapan bahan baku.

2.5. Hidrolisis Selulosa

Hidrolisis merupakan reaksi yang melibatkan air, menggunakan katalis berupa enzim untuk memecah komponen kompleks, seperti rantai polisakarida, menjadi komponen yang lebih sederhana berupa monosakarida. Salah satu contohnya adalah selulosa, yang dapat dihidrolisis menjadi glukosa sebagai molekul paling sederhana. Proses hidrolisis ini memerlukan kerja enzim kompleks selulase, yang terdiri atas tiga jenis enzim utama, yaitu *endoglucanase*, *eksoglukanase*, dan β -glukosidase (Singhania et al., 2013). Ketiga enzim tersebut bekerja secara sinergis melalui beberapa tahap untuk menghasilkan glukosa. Pada tahap pertama, *endoglucanase* menghidrolisis bagian kristalin selulosa, memotong rantai selulosa menjadi potongan yang lebih pendek dengan ujung bebas berupa gula pereduksi dan non-pereduksi. Selanjutnya, *eksoglukanase* memecah rantai-rantai pendek tersebut menjadi oligosakarida dan selobiosa. Pada tahap akhir, β -

glukosidase menghidrolisis ikatan β -1,4-glikosida pada selobiosa, menghasilkan monomer glukosa. Selobiosa sendiri merupakan produk intermediat dalam proses hidrolisis selulosa menjadi glukosa.

Hidrolisis karbohidrat juga dapat dilakukan menggunakan enzim α -amilase pada karbohidrat yang larut dalam air, seperti limbah bonggol pisang. Enzim α -amilase, yang termasuk *endoenzim*, memiliki kemampuan untuk memecah ikatan α -1,4 glikosidik secara acak di dalam molekul amilosa maupun amilopektin. Selain itu, enzim glukoamilase berfungsi memecah pati dan glikogen pada ikatan α -1,4 dan β -1,6, menghasilkan glukosa sebagai produk akhirnya. Enzim amilase sendiri terdiri atas dua jenis, yaitu α -amilase dan β -amilase. Kedua jenis tersebut memiliki peran berbeda, di mana β -amilase memecah polisakarida menjadi maltosa (disakarida), sedangkan α -amilase menghidrolisis polisakarida menjadi glukosa (Siregar et al., 2024). Hidrolisis selulosa oleh enzim selulase disajikan pada Gambar 7



Gambar 7. Hidrolisis selulosa oleh enzim selulase
Sumber : Siregar et al.,(2024)

Hidrolisis hemiselulosa adalah proses pemecahan ikatan antar rantai dalam hemiselulosa yang dapat dilakukan secara kimiawi menggunakan asam seperti H_2SO_4 dan HCl , atau secara enzimatik dan mikrobiologis. Proses ini menghasilkan berbagai senyawa, termasuk xilosa (monosakarida dengan lima atom karbon), glukosa (heksosa dengan enam atom karbon), manosa (heksosa yang terdapat pada tebu, biji-bijian, dan kulit jeruk manis), arabinosa (pentosa), asam glukuronat, asam galakturonat, serta rhamnosa (deoksi heksosa). Hidrolisis hemiselulosa dengan katalis enzim xilanase secara khusus menghasilkan xilosa. Xilosa ini dapat dimanfaatkan untuk produksi gula xylitol, etanol, dan protein sel tunggal. Secara mikrobiologis, hidrolisis hemiselulosa dapat dilakukan dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme seperti *Aspergillus niger* dan *Saccharomyces cerevisiae*.

2.6. Fermentasi Serat Mesokarp Kelapa Sawit

Fermentasi serat mesokarp sawit merupakan sebuah proses biologi yang melibatkan aktivitas mikroorganisme untuk mengubah komponen kompleks dalam serat menjadi senyawa yang lebih sederhana dan bernilai tambah. Serat mesokarp sawit, yang merupakan limbah dari proses pengolahan minyak sawit, mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin dalam jumlah yang cukup tinggi. Melalui fermentasi, komponen-komponen ini dapat didegradasi oleh mikroorganisme seperti bakteri dan jamur serta menghasilkan berbagai produk seperti asam organik, alkohol, dan gas (Fadila, 2024).

Keuntungan dari fermentasi serat mesokarp sawit sangat beragam. Pertama, proses ini dapat meningkatkan nilai tambah dari limbah yang sebelumnya dianggap tidak berguna. Produk-produk fermentasi seperti asam organik dapat digunakan sebagai bahan pengawet makanan dan campuran pakan ternak, sedangkan alkohol dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar atau bahan baku industri kimia. Kedua, fermentasi dapat mengurangi dampak lingkungan dari limbah kelapa sawit. Dengan mengolah limbah menjadi produk yang bermanfaat dapat mengurangi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh pembuangan limbah secara langsung. Ketiga, proses fermentasi ini relatif sederhana dan dapat

dilakukan dengan menggunakan teknologi yang sudah ada. Hal ini membuat fermentasi serat mesokarp sawit menjadi sebuah teknologi yang potensial untuk dikembangkan di daerah penghasil kelapa sawit (Fadila, 2024).

2.7. Gula Reduksi

Hidrolisis hemiselulosa dan selulosa secara fermentasi menghasilkan glukosa. Glukosa ini tergolong dalam glukosa yang tidak dapat dicerna oleh pencernaan manusia atau disebut *non-digestible glucose* yaitu gula yang dibuat dari proses fermentasi. Namun, gula *non digestible* dapat langsung menuju usus besar untuk difermentasi oleh mikroba usus. Gula *non digestible* dapat digunakan sebagai bahan pangan alternatif, untuk produk rerotian, farmasi, dan pakan.

Gula reduksi merupakan jenis gula yang memiliki kemampuan khusus untuk mereduksi senyawa lain. Dalam larutan alkali, gula reduksi dapat berubah bentuk menjadi aldehida atau keton. Keberadaan gugus aldehida atau keton inilah yang memungkinkan gula reduksi menarik oksigen (O_2) dari ion logam basa. Proses ini menyebabkan ion logam tersebut tereduksi dan mengendap, misalnya dalam bentuk Cu_2O . Gula invert sendiri merupakan salah satu contoh gula reduksi. Gula invert terbentuk dari proses hidrolisis sukrosa, di mana sukrosa dipecah menjadi glukosa dan fruktosa. Reaksi hidrolisis ini dapat terjadi secara alami dengan bantuan enzim invertase atau dipercepat dengan penambahan asam dalam larutan air. Karena kemampuannya mereduksi ion tembaga dalam larutan alkali, gula invert sering digunakan dalam berbagai aplikasi terutama dalam industri makanan dan minuman (Fajri dkk., 2022).

Fruktosa merupakan jenis gula sederhana atau monosakarida yang banyak ditemui dalam berbagai makanan dan minuman. Secara kimia, fruktosa merupakan isomer dari glukosa, yang berarti keduanya memiliki rumus molekul yang sama namun struktur atom yang berbeda (Fajri dkk., 2022). Fruktosa memiliki karakteristik fisik yang khas, yaitu berwarna putih dan mudah larut dalam air. Unikny, fruktosa cenderung sulit untuk diubah menjadi bentuk kristal ketika

dilarutkan. Dalam beberapa bahan makanan, seperti molase, fruktosa dapat ditemukan dengan konsentrasi yang cukup tinggi, sekitar 16%.

2.8. Protein

Protein merupakan salah satu makronutrien yang memiliki peran penting dalam pembentukan biomolekul. Sebagai makromolekul utama dalam sel, protein menyusun lebih dari setengah bagian struktur sel dan menentukan ukuran serta bentuknya. Selain itu, protein juga berperan sebagai komponen utama enzim. Fungsinya sebagai biokatalisator dalam berbagai reaksi metabolisme di dalam tubuh (Sylvia dkk., 2021).

Analisis kadar protein dapat dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Secara kualitatif, salah satu metode yang umum digunakan adalah uji biuret, di mana larutan protein dibuat alkalis dengan NaOH, kemudian ditambahkan larutan CuSO₄ encer. Uji ini mendeteksi adanya gugus amida yang berdekatan dan memberikan hasil positif berupa perubahan warna menjadi merah violet atau biru violet. Sementara itu, analisis kuantitatif dapat dilakukan dengan berbagai metode, seperti metode Dumas, Lowry, spektrofotometri UV, turbidimetri, pengecatan, titrasi formol, serta metode *Kjeldahl*. Metode *Kjeldahl* merupakan teknik yang sederhana untuk menentukan kadar nitrogen total dalam asam amino, protein, dan senyawa lain yang mengandung nitrogen. Hasil dari analisis nitrogen tersebut kemudian dikalikan dengan faktor konversi 6,25 untuk memperoleh kadar protein dalam suatu bahan pangan (Sylvia dkk., 2021).

2.9. *Saccharomyces cerevisiae*

Saccharomyces cerevisiae adalah khamir (ragi) yang termasuk dalam kelompok eukariot dengan potensi tinggi sebagai imunostimulan, di mana bagian yang bermanfaat adalah dinding selnya. Secara morfologi, *S.cerevisiae* membentuk blastospora yang memiliki bentuk bulat lonjong, silindris, oval, atau bulat telur, tergantung pada strainnya. Khamir ini berkembang biak dengan cara membelah sel melalui proses "*budding cell*". Reproduksi *S. cerevisiae* dipengaruhi oleh

kondisi lingkungan serta ketersediaan nutrisi yang mendukung pertumbuhan sel. *Saccharomyces cerevisiae*, yang memiliki kemampuan fermentasi, telah lama dimanfaatkan dalam pembuatan berbagai produk makanan dan banyak digunakan sebagai probiotik. Khamir ini juga dapat dimanfaatkan sebagai probiotik, prebiotik, serta imunostimulan, dengan berbagai kegunaan lain dalam meningkatkan kesehatan (Pratiwi dkk., 2018).

Saccharomyces cerevisiae tumbuh optimal pada pH antara 4,8-5,0. Jika pH terlalu tinggi atau terlalu rendah, pertumbuhannya tidak akan maksimal (Buckle dkk., 2010). Suhu ideal untuk pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* berkisar antara 28°C hingga 30°C, dengan suhu maksimum antara 35°C hingga 47°C. Suhu yang terlalu rendah dapat menyebabkan perubahan pada enzim sel *Saccharomyces cerevisiae* sehingga enzim tersebut tidak dapat berikatan dengan substrat, mengakibatkan sel menjadi inaktif. Sebaliknya, pada suhu yang terlalu tinggi, enzim di dalam sel akan rusak melalui proses yang disebut denaturasi (Solikhin dkk., 2012)

Saccharomyces cerevisiae mampu memproduksi enzim, salah satunya adalah enzim selulase. Enzim selulase berfungsi memecah ikatan β -1,4 glikosida dalam selulosa sehingga menghasilkan monomer-monomer penyusunnya. Pada *S. cerevisiae*, enzim selulase dapat menghidrolisis ikatan glikosida dalam selulosa untuk menghasilkan gula pereduksi, seperti glukosa. Hidrolisis selulosa secara mikrobiologis dapat dilakukan dengan bantuan mikroorganisme selulolitik, termasuk *S. cerevisiae*. Menurut Amaeze et al. (2015), *S. cerevisiae* terbukti mampu menghasilkan enzim selulase. Aktivitas hidrolisis yang dilakukan oleh enzim selulase dari *S. cerevisiae* dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan, seperti konsentrasi substrat, pH, suhu, dan waktu fermentasi. Selain itu, waktu fermentasi berperan sangat penting dalam menentukan efektivitas produksi enzim selulase serta pembentukan produk hidrolisis. Waktu fermentasi yang terlalu singkat dapat menyebabkan aktivitas enzim belum mencapai tingkat maksimum, sedangkan fermentasi yang terlalu lama berpotensi menurunkan aktivitas enzim akibat penurunan viabilitas sel mikroba. (Sokchea et al., 2018).

2.10. *Aspergillus niger*

Aspergillus niger merupakan salah satu jenis kapang selulolitik yang mampu menghidrolisis selulosa dan hemiselulosa. Selain menghasilkan enzim selulase, *A. niger* juga memproduksi berbagai enzim lain, seperti kitinase, xilanase, α -amilase, glukoamilase, katalase, pektinase, lipase, laktase, invertase, dan protease asam. *A. niger* juga diketahui sebagai penghasil β -glukosidase, baik dalam bentuk ekstraseluler maupun intraseluler, yang telah berhasil dipurifikasi dan dikarakterisasi (Tima, 2018). Enzim β -glukosidase ini berperan penting dalam memecah senyawa kompleks selulosa menjadi molekul glukosa yang lebih sederhana.

Proses hidrolisis selulosa menjadi glukosa melibatkan kerja sinergis enzim kompleks selulase, yang terdiri atas tiga jenis enzim yaitu endoglukanase, eksoglukanase, dan β -glukosidase. Tahapan hidrolisis dimulai dengan endoglukanase yang memecah serat selulosa menjadi fragmen kecil dengan ujung terminal bebas dalam bentuk pereduksi dan non-pereduksi. Fragmen ini kemudian dihidrolisis lebih lanjut oleh eksoglukanase menjadi oligosakarida kecil dan selobiosa. Pada tahap akhir, β -glukosidase melengkapi proses dengan menghidrolisis selobiosa, produk intermediat hidrolisis selulosa, menjadi monomer glukosa (Krisch et al., 2010; Singhania et al., 2013).

Xilanase merupakan kelompok enzim yang mampu menghidrolisis hemiselulosa atau xilan menjadi xilosa dan xilooligosakarida sebagai monomer penyusunnya (Imanisa dkk., 2023). Xilan, yang menjadi substrat bagi enzim xilanase, banyak ditemukan pada tanaman tahunan dan limbah pertanian seperti tandan kosong kelapa sawit (TKKS), tongkol jagung, bagas tebu, jerami padi, dedak gandum, dan biji kapas. Keberadaan enzim selulase memungkinkan *A. niger* untuk menghidrolisis selulosa, yaitu senyawa utama dalam dinding sel tanaman, menjadi unit-unit glukosa yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. Kemampuan ini menjadikan *Aspergillus niger* sebagai mikroorganisme yang sangat penting dalam berbagai aplikasi industri, terutama dalam pengolahan pakan ternak (Abda dkk., 2023). *Aspergillus niger* sendiri memiliki waktu pertumbuhan optimumnya dalam memfermentasi adalah 5 hari (120 jam).

Borris dalam Meliawati (1987) menunjukkan bahwa *A. niger* dapat menghasilkan enzim α -amilase dan amiglukosidase pada media yang mengandung pati. Selain itu, *A. niger* juga diketahui menghasilkan β -glukosidase, baik dalam bentuk ekstraseluler maupun intraseluler, yang telah berhasil dipurifikasi dan dikarakterisasi. Enzim amilase yang dihasilkan oleh *A. niger* memiliki suhu optimum 30°C dan bekerja pada pH 4,8 (Tima, 2018). Proses fermentasi pada substrat yang mengandung tepung *mesocarp* bebas lignin menggunakan system *batch* dengan memperkaya media dengan menambahkan 4 g KH₂PO₄, 1,2 g MgSO₄, 1,2 g CaCL₂ dan 2 g yeast ekstrak. Setiap *batch* diinokulasi dengan 4 mL garam fisiologis yang mengandung spora *A. niger*. Inkubasi dilakukan selama 10 hari.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2025 sampai bulan Maret 2025 di Laboratorium Pengolahan Hasil Pertanian, Laboratorium Mikrobiologi Hasil Pertanian Jurusan Teknologi Hasil Pertanian dan Laboratorium Bioteknologi Jurusan Proteksi Tanaman Fakultas Pertanian Universitas Lampung.

3.2. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu serat mesokarp kelapa sawit yang diperoleh dari PTPN VII unit Bekri, ragi roti (Fermipan), kultur khamir *Saccharomyces cerevisiae*, kultur kapang *Aspergillus niger*, *Potato Dextrose Broth* (PDB), kertas saring, NaOH, H₂O₂, aquades, HClO₄, H₂SO₄ dan larutan fenol 5%.

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah timbangan analitik, timbangan digital, *grinder*, ayakan, baskom, kompor, talenan, pisau, autoklaf, *incubator benchtop*, kain saring, penangas air bergoyang (*shaker*), labu erlenmeyer, tabung reaksi, cawan petri, alumunium foil, gelas ukur, *beaker glass*, pipet tetes, mikropipet, *colony counter*, termometer, pH meter digital, evaporator, batang pengaduk, bunsen, pengaduk kaca, *hotplate*, jarum ose, laminar air flow, spektrofotometer, labu takar dan rak tabung reaksi.

3.3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada tiga tahap, tahap pertama yaitu pembuatan selulosa , tahap kedua yaitu proses fermentasi dan tahan ketiga pengujian kadar protein dan

gula reduksi produk fermentasi. Penelitian disusun dalam Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) dengan dua faktor dan tiga kali ulangan. Faktor pertama adalah perbedaan kultur dan faktor kedua adalah lama fermentasi.

Faktor A (kultur) : A_1 (tanpa penambahan kultur)
 A_2 (kultur *Aspergillus niger*)
 A_3 (kultur *Saccharomyces cerevisiae*)
 A_4 (kultur *Aspergillus niger* + *Saccharomyces cerevisiae*)

Faktor B (lama fermentasi) : B_1 (fermentasi 7 hari)
 B_2 (fermentasi 10 hari)

Kombinasi kedua faktor perbedaan kultur dan lama fermentasi terdiri dari 8 kombinasi perlakuan yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kombinasi perlakuan perbedaan kultur dengan lama fermentasi tepung serat mesokarp kelapa sawit bebas lignin

Kombinasi Perlakuan	Ulangan		
	Ulangan 1 (U_1)	Ulangan 2 (U_2)	Ulangan 3 (U_3)
$A_1 B_1$	$A_1 B_1 U_1$	$A_1 B_1 U_2$	$A_1 B_1 U_3$
$A_1 B_2$	$A_1 B_2 U_1$	$A_1 B_2 U_2$	$A_1 B_2 U_3$
$A_2 B_1$	$A_2 B_1 U_1$	$A_2 B_1 U_2$	$A_2 B_1 U_3$
$A_2 B_2$	$A_2 B_2 U_1$	$A_2 B_2 U_2$	$A_2 B_2 U_3$
$A_3 B_1$	$A_3 B_1 U_1$	$A_3 B_1 U_2$	$A_3 B_1 U_3$
$A_3 B_2$	$A_3 B_2 U_1$	$A_3 B_2 U_2$	$A_3 B_2 U_3$
$A_4 B_1$	$A_4 B_1 U_1$	$A_4 B_1 U_2$	$A_4 B_1 U_3$
$A_4 B_2$	$A_4 B_2 U_1$	$A_4 B_2 U_2$	$A_4 B_2 U_3$

Percobaan diulang sebanyak tiga kali ulangan, sehingga total unit percobaan kadar protein dan gula reduksi adalah $8 \times 3 = 24$ unit percobaan. Data yang diperoleh dianalisis sidik ragam (Anova) untuk mengetahui pengaruh perlakuan dan dilakukan uji lanjut BNT pada taraf 5% dan uji barlett untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan.

3.4. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap yaitu pembuatan tepung Serat Mesokarp Kelapa Sawit (SMKS) dan delignifikasi, *bleaching*, persiapan kultur,

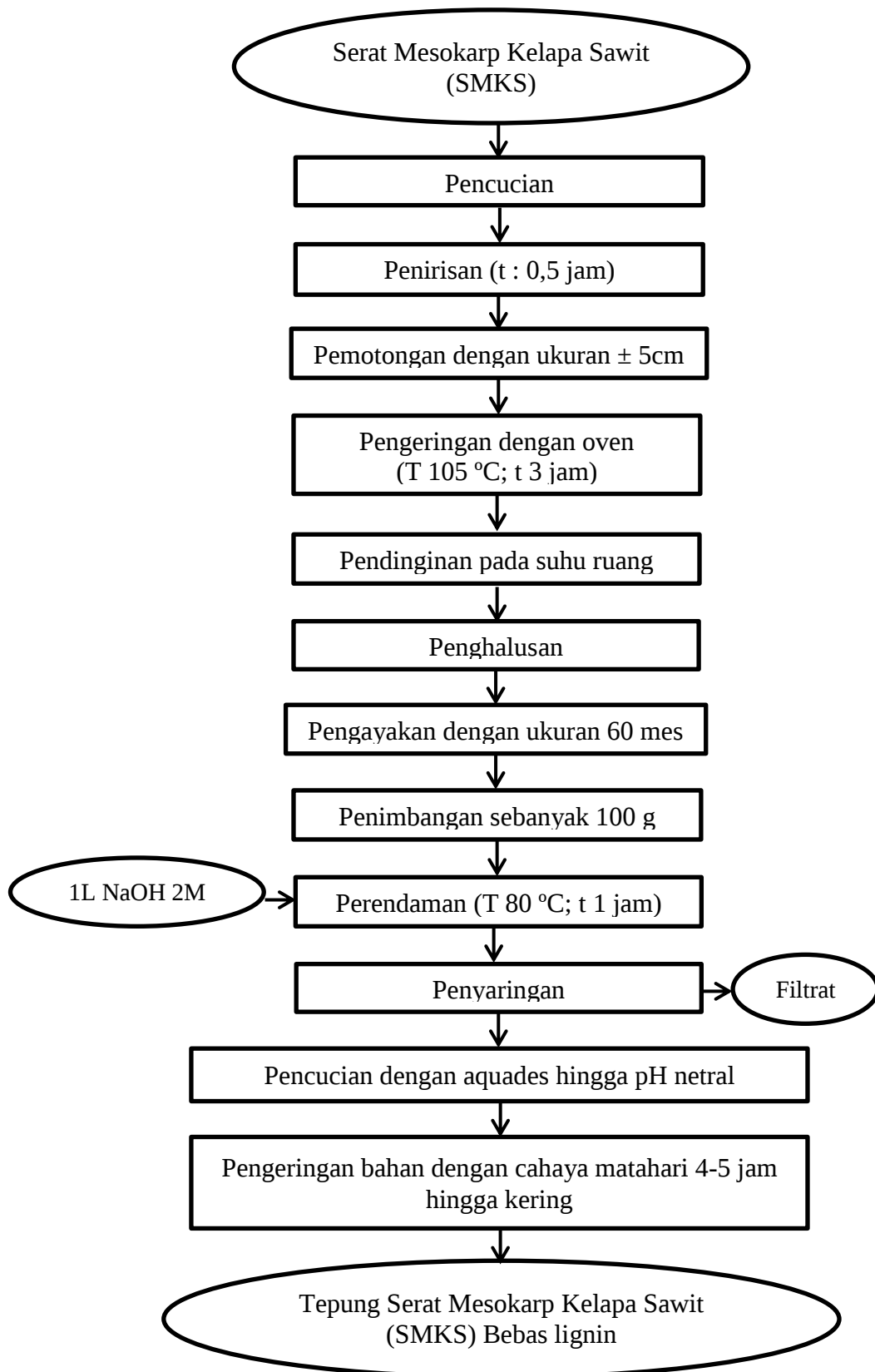
persiapan media, dan pengujian kadar protein serta gula reduksi produk yang dihasilkan.

3.4.1. Pembuatan Tepung dan *Delignifikasi* Serat *Mesocarp* Kelapa Sawit (SMKS)

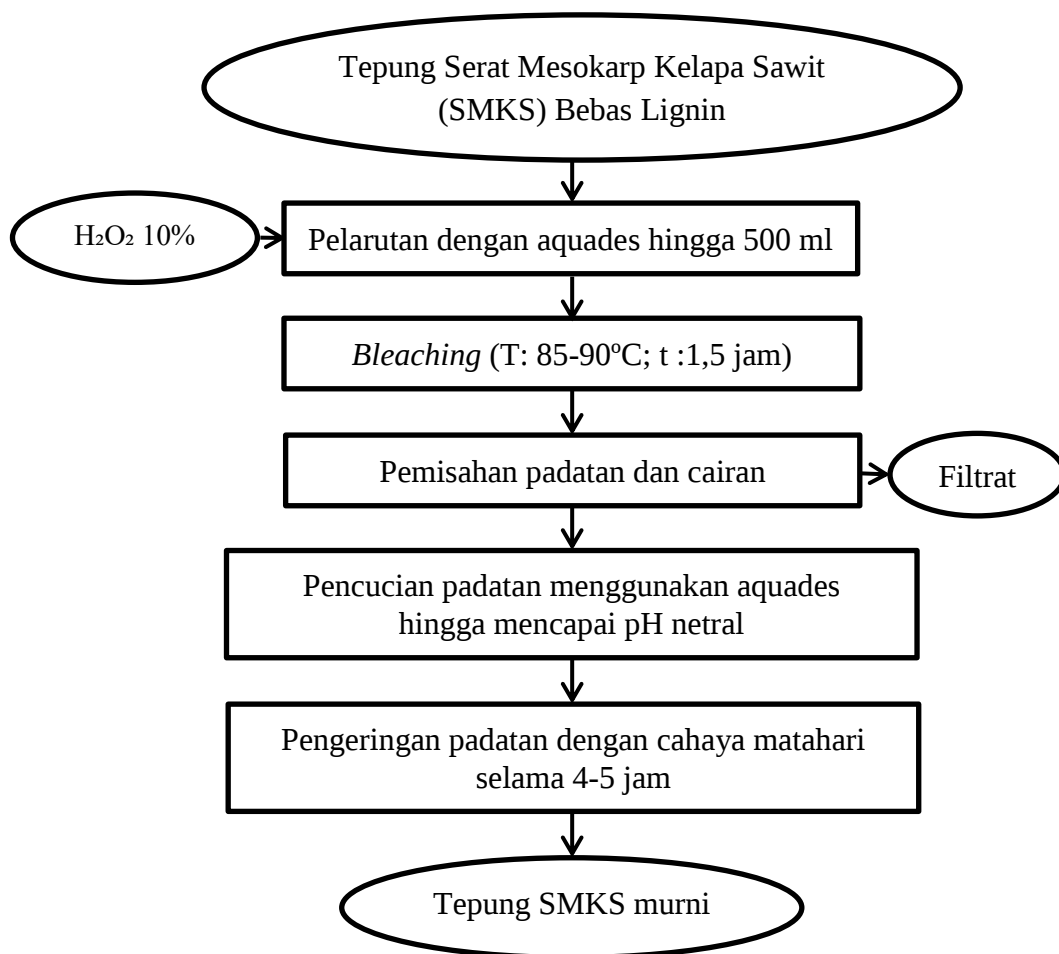
Pembuatan tepung serat mesokarp kelapa sawit (SMKS) mengikuti prosedur Kustyawati (2024). Serat mesokarp kelapa sawit (SMKS) sebanyak 500 g dicuci menggunakan air. Setelah dicuci, serat mesokarp kelapa sawit (SMKS) ditiriskan selama 30 menit selanjutnya serat mesokarp kelapa sawit (SMKS) dipotong-potong dengan ukuran kurang lebih 5 cm. Serat mesokarp kelapa sawit kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 3 jam. Serat mesokarp kelapa sawit yang telah kering dihaluskan menggunakan grinder dan diayak menggunakan ayakan 60 mesh. Tepung serat mesokarp kelapa sawit ditimbang sebanyak 100 g dan dilakukan tahap *delignifikasi* yang bertujuan untuk menghilangkan kandungan lignin dengan cara direndam pada larutan NaOH 2 M sebanyak 1 L selama 1 jam pada suhu 80°C. Selanjutnya serat mesokarp kelapa sawit disaring dan dicuci kembali menggunakan aquades hingga pH netral, kemudian serat mesokarp kelapa sawit dikeringkan menggunakan cahaya matahari hingga kering sekitar 4-5 jam. Diagram alir pembuatan tepung dan *delignifikasi* serat mesokarp kelapa sawit disajikan pada Gambar 8.

3.4.2. *Bleaching* Serat Mesokarp Kelapa Sawit (SMKS)

Proses *bleaching* serat mesokarp kelapa sawit (SMKS) mengacu pada penelitian Dewanti (2018). Untuk menghilangkan pigmen dan sisa lignin setelah tahap *delignifikasi* maka tepung serat mesokarp kelapa sawit (SMKS) dilakukan proses lanjutan yaitu proses *bleaching* dengan dengan hydrogen peroksida (H₂O₂). Tepung serat mesokarp kelapa sawit (SMKS) dilarutkan dengan larutan H₂O₂ 10% (b/v) dalam 500 mL akuades. *Bleaching* dilakukan dengan pemanasan pada suhu 85- 90°C selama 1,5 jam. Selulosa yang didapatkan kemudian dicuci hingga pH netral dan dikeringkan menggunakan cahaya matahari hingga kering sekitar 4-5 jam. Selanjutnya selulosa ditimbang untuk mengetahui berat akhir. Diagram alir *bleaching* serat mesokarp kelapa sawit (SMKS) disajikan pada Gambar 9.



Gambar 8. Diagram alir pembuatan tepung dan *delignifikasi* SMKS
Sumber :Kustyawati (2024)



Gambar 9. Diagram alir bleaching tepung mesokarp kelapa sawit
Sumber : Dewanti dkk. (2018)

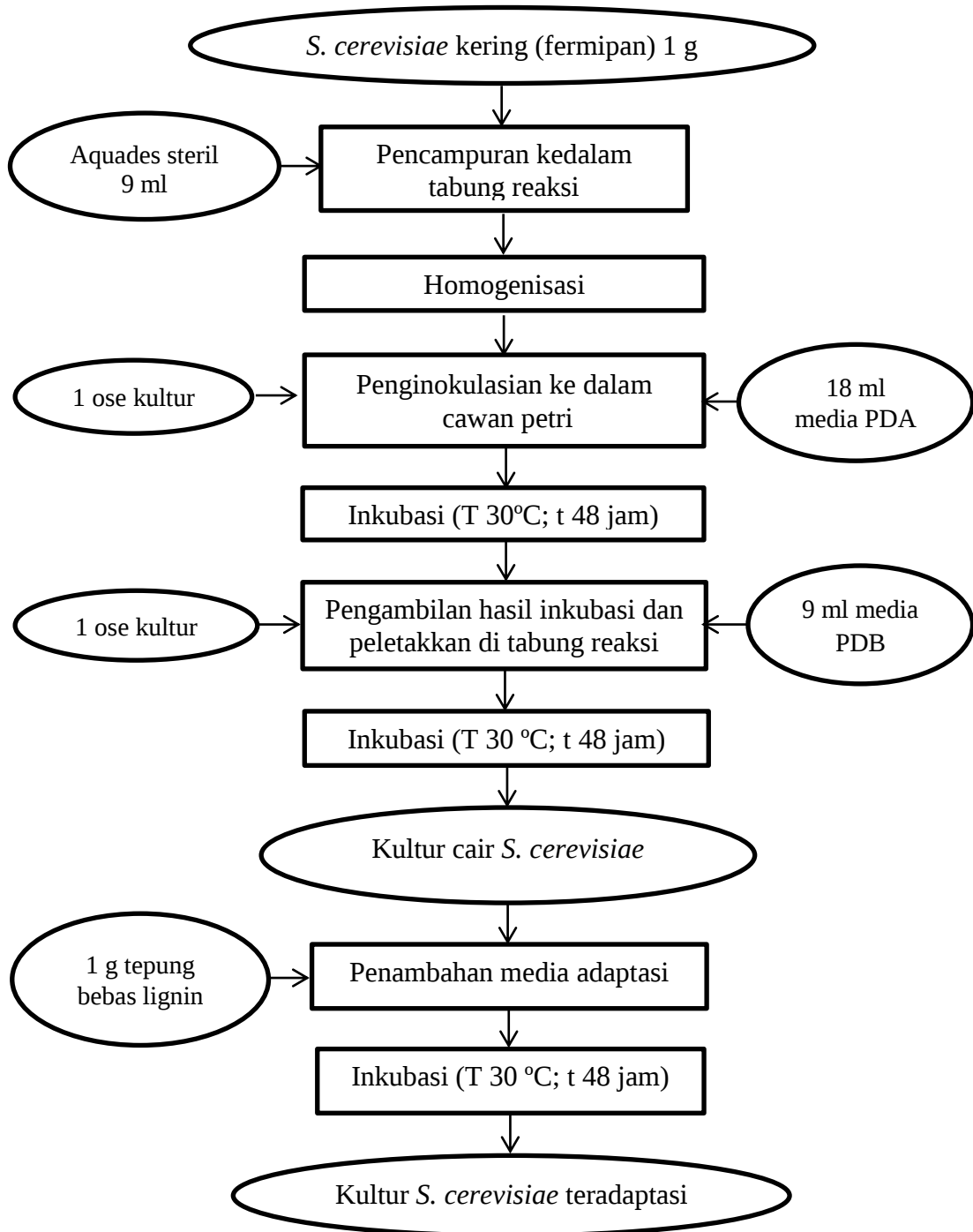
3.4.3. Persiapan Kultur Mikroorganisme

Persiapan kultur mikroorganisme yang digunakan adalah sebagai berikut.

a. Persiapan kultur khamir *Saccharomyces cerevisiae*

Sebanyak 1 g ragi roti merek fermipan dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan ditambahkan aquades steril sebanyak 9 ml. Selanjutnya larutan dihomogenisasi, kemudian 1 ose kultur *S. cerevisiae* diinokulasikan ke dalam cawan petri yang telah berisi media PDA sebanyak 18 ml dan diinkubasi selama 48 jam pada suhu 30°C. Kemudian diambil 1 ose kultur hasil inkubasi dan diletakkan pada tabung reaksi yang berisi 9 ml media PDB lalu diinkubasi kembali selama 48 jam pada suhu 30°C dan didapatkan kultur cair *S. cerevisiae*. Kultur cair *S. cerevisiae* perlu diadaptasi terlebih dahulu dengan media adaptasi berupa 1 gram tepung bebas

lignin dan dilakukan inkubasi kembali pada suhu 30°C selama 48 jam. Kultur teradaptasi inilah yang akan digunakan pada proses fermentasi serat mesokarp kelapa sawit. Diagram alir proses persiapan kultur *S. cerevisiae* disajikan pada Gambar 10.

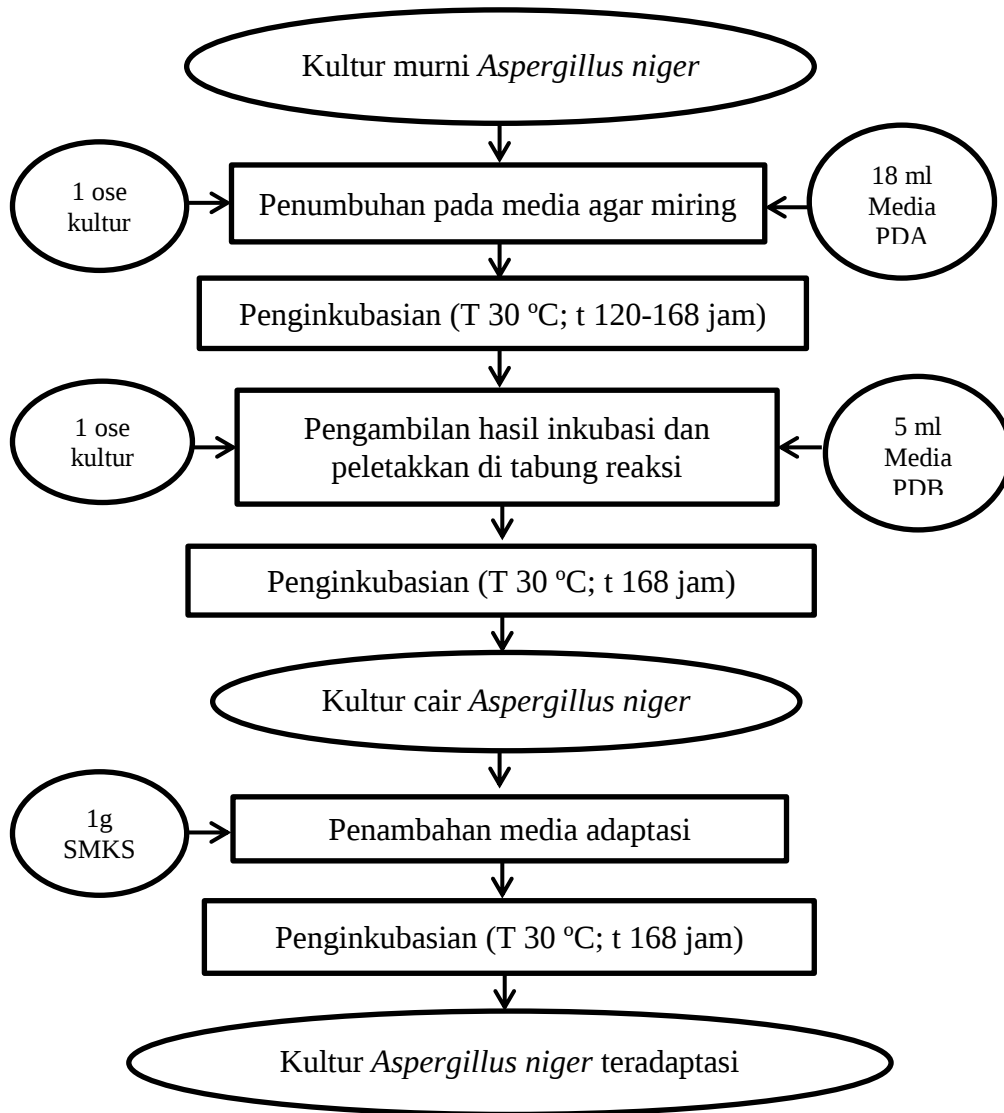


Gambar 10. Diagram alir pembiakkan kultur *Saccharomyces cerevisiae*
Sumber : Hidayat (2024)

b. Persiapan kultur kapang *Aspergillus niger*

Proses peremajaan kultur merupakan tahapan penting yang bertujuan untuk memperbarui dan meregenerasi sel-sel mikroba agar tetap aktif dan stabil. Kegiatan ini dilakukan untuk memastikan mikroba memperoleh kembali sumber nutrisi yang cukup, sehingga pertumbuhannya tetap optimal. Selain itu, peremajaan juga berfungsi untuk mencegah terjadinya perubahan morfologi maupun fisiologi pada kultur murni yang telah lama disimpan. Dengan melakukan peremajaan secara berkala, kemurnian dan vitalitas mikroba dapat dipertahankan sehingga kualitas kultur tetap konsisten. Peremajaan mikroba juga dilakukan untuk memperoleh kultur yang kembali aktif setelah sebelumnya berada dalam kondisi dorman akibat penyimpanan pada suhu rendah. Mikroba yang disimpan di lemari pendingin umumnya berada pada fase tidak aktif karena aktivitas metabolisme menurun. Jika mikroba tersebut langsung digunakan tanpa peremajaan, maka kinerjanya dalam memproduksi senyawa seperti enzim, menjadi kurang optimal. Oleh karena itu, proses peremajaan menjadi langkah penting agar mikroba dapat kembali beradaptasi, tumbuh dengan baik, dan menunjukkan aktivitas metabolik maksimal.

Proses peremajaan kultur *Aspergillus niger* dilakukan dengan cara diambil 1 ose biakan murni *Aspergillus niger*, kemudian ditumbuhkan pada media *Potato Dextrose Agar* (PDA) dengan kondisi aseptik lalu diinkubasi selama 168 jam pada suhu 30°C. Setelah diinkubasi, hasil inkubasi dipindahkan ke dalam tabung reaksi sebanyak 1 ose yang berisi 5 ml media PDB dan diinkubasi kembali pada suhu 30°C selama 168 jam. Kultur cair *Aspergillus niger* yang telah diinkubasi perlu dilakukan pengadaptasian terlebih dahulu dengan mencampurkan media adaptasi berupa 1g tepung bebas lignin kemudian diinkubasi kembali pada suhu 30°C selama 5 sampai 7 hari. Kultur yang telah teradaptasi inilah yang akan digunakan untuk proses fermentasi serat mesokarp kelapa sawit. Diagram alir proses peremajaan kultur *Aspergillus niger* disajikan pada Gambar 11



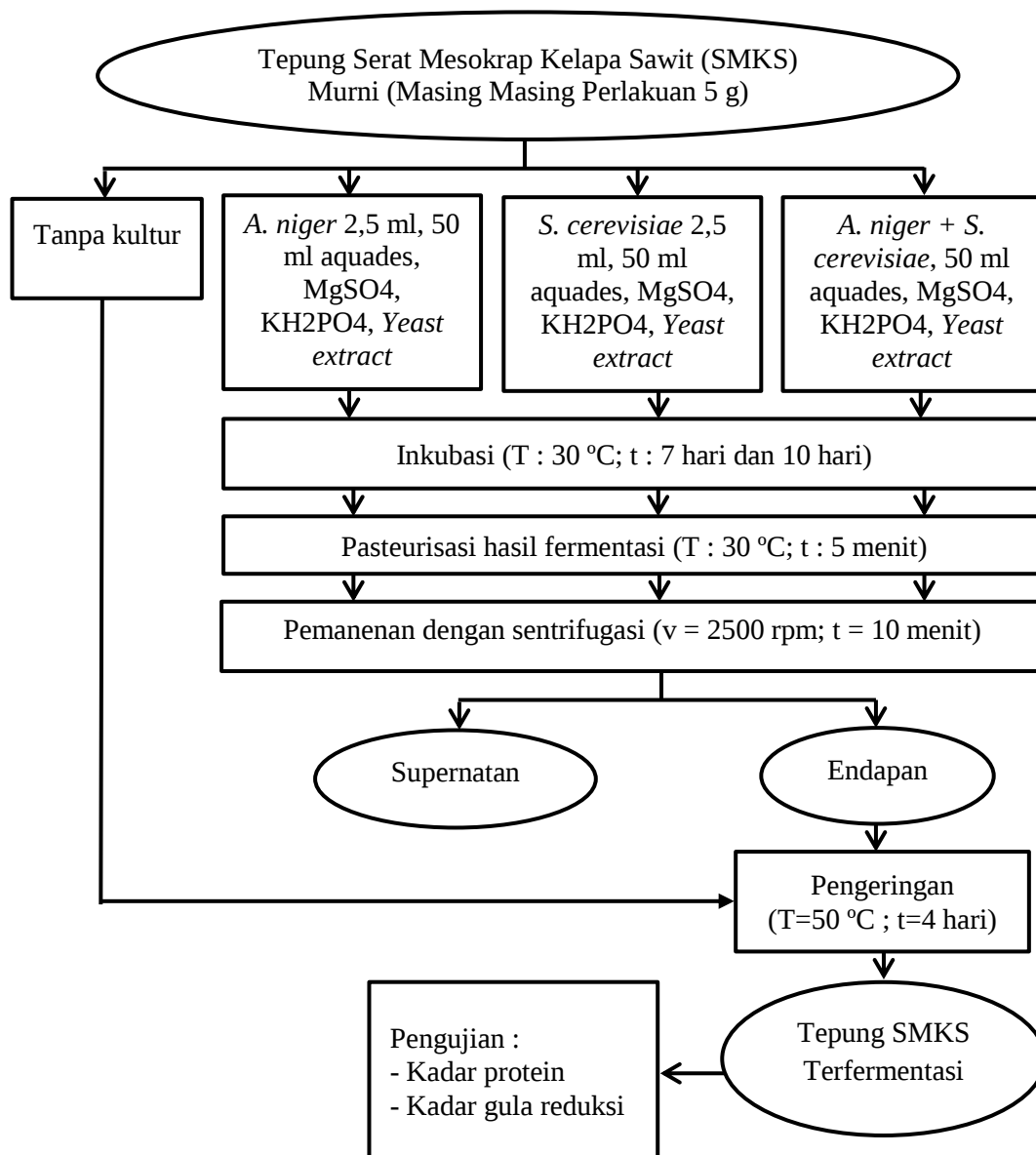
Gambar 11. Diagram alir peremajaan dan pengadaptasian kultur *Aspergillus niger*

Sumber : Hidayat (2024)

3.4.4. Proses Fermentasi Tepung Serat Mesokarp Kelapa Sawit (SMKS)

Proses fermentasi tepung serat mesokarp kelapa sawit (SMKS) dimulai dengan mempersiapkan 8 erlenmeyer yang masing-masing erlenmeyer berisi 5 g tepung mesokarp bebas lignin dan ditambahkan 2,5 ml kultur sesuai dengan perlakuan yang ditetapkan serta dilakukan penambahan 50 ml aquades, MgSO_4 , KH_2PO_4 , *Yeast extract* pada tiap erlenmeyer, kemudian dilakukan proses inkubasi pada tiap erlenmeyer dengan suhu 30 °C dan lama waktu fermentasi sesuai dengan perlakuan yaitu 7 dan 10 hari pada masing-masing sampel. Pemanenan hasil

fermentasi dilakukan dengan sentrifugasi pada kecepatan 2500 rpm selama 10 menit, dimana pada tahap ini akan dihasilkan supernatant dan endapan berupa tepung yang telah terfermentasi. Tepung terfermentasi inilah yang akan diproses pada tahap berikutnya. Selanjutnya produk berupa tepung serat mesokarp kelapa sawit tersebut dilakukan uji kadar protein dan kadar gula reduksi. Diagram alir proses fermentasi tepung serat mesokarp kelapa sawit (SMKS) disajikan pada Gambar 12.



Gambar 12. Diagram alir proses fermentasi tepung serat *mesokarp* kelapa sawit SMKs

Sumber : Hidayat (2024)

3.5. Pengamatan Kadar Protein dan Gula Reduksi

3.5.1. Kadar Protein

Salah satu metode analitis yang digunakan untuk menguji kadar protein adalah metode kjeldahl. Metode ini memiliki 3 tahap proses berdasarkan SNI 01- 2354-1 (2006) antara lain tahap oksidasi, tahap destilasi dan tahap titrasi.

a. Tahap Oksidasi

Tahap pertama dalam analisis adalah proses oksidasi, dimana sampel serat *mesocarp* kelapa sawit sebanyak 0,1 g (A) ditimbang dan dicampur dengan 1 g katalis serta 10 mL H₂SO₄ pekat. Campuran tersebut dimasukkan kedalam labu Kjeldahl, kemudian dipanaskan hingga larutan berubah warna menjadi hijau bening. Setelah proses pemanasan selesai, larutan didinginkan dan diencerkan dengan air hingga volumenya mencapai 100 mL.

b. Tahap Destilasi

Sebanyak 10 mL larutan H₂SO₄ 0,05 N dimasukkan ke dalam erlenmeyer berkapasitas 250 mL, lalu ditambahkan 2 tetes indikator *fenolftalein*. Sebanyak 5 mL larutan hasil oksidasi dimasukkan ke dalam labu destilasi. Proses destilasi dilakukan selama 10 menit, dihitung sejak tetesan pertama destilat keluar.

C. Tahap Titrasi

Sebelum dilakukan perhitungan, sampel hasil destilasi terlebih dahulu dititrasi menggunakan larutan NaOH 0,5% hingga larutan menjadi berwarna hijau. Volume titran yang digunakan kemudian dicatat dan dianalisis menggunakan rumus berikut sebagai bagian dari tahap pengujian titrasi.

$$\text{Kadar protein (\%)} = \frac{0,0007 \times (V_b - V_s) \times 6,25 \times 20}{A} \times 100 \%$$

Keterangan:

V_b = ml 0,05 N titran NaOH untuk blanko

V_a = ml 0,05 N titran NaOH untuk sampel

A = Bobot sampel (g)

* = Setiap 0,05 NaOH ekuivalen dengan 0,0007 g N

** = Faktor Konversi Nitrogen

3.5.2. Kadar Gula Reduksi

Penentuan gula pereduksi dilakukan dengan metode DNS. Langkah pertama adalah dipersiapkan sampel (t15 DNS) dengan mereaksikan 0,5 mL enzim dan 0,05 g substrat mesokarp dalam tabung reaksi. Kemudian ditambah 2 mL buffer fosfat pH 6 0,1 M. Campuran diinkubasi pada suhu 70°C selama 15 menit. Selanjutnya ditambahkan 0,5 mL larutan glukosa induk 10 mg/mL dan 2,0 mL pereaksi DNS. Tabung reaksi ditutup dengan alumunium foil, lalu diinkubasi pada suhu 90 °C selama 15 menit. Kemudian campuran larutan ditambah dengan 1,0 mL kalium natrium tartrat 40% dan didiamkan pada suhu ruang selama 20 menit. Selanjutnya, campuran disentrifugasi dengan kecepatan 5000 rpm selama 1 menit. Supernatan diukur absorbansinya pada panjang gelombang 540 nm. Perlakuan yang sama dilakukan pada blanko dan standar (t0 DNS), namun tanpa dilakukan inkubasi. Perhitungan kadar gula pereduksi yang terbentuk pada waktu inkubasi 15 menit dilakukan secara spektrofotometri UV-Vis dengan metode standar internal (Pratiwi dkk.,2018).

$$y = mx + b$$

Keterangan

y = Absorbansi yang ditentukan secara eksperimen
 m = Kemiringan garis
 x = Konsentrasi gula pereduksi yang ingin ditentukan
 b = intersep y

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Kokultur dan lama fermentasi terbaik terhadap kadar protein serat mesokarp buah kelapa sawit diperoleh pada perlakuan faktor A4 (*A. niger* dan *S. cerevisiae*) dan B2 (Fermentasi 10 hari). Sedangkan kadar gula reduksi serat mesokarp kelapa sawit terbaik diperoleh pada perlakuan A4B1 (fermentasi 7 hari).
2. Kadar protein terbaik serat mesokarp buah kelapa sawit didapatkan sebesar 16,39 % pada faktor perlakuan A4, sedangkan pada faktor perlakuan B2 didapatkan hasil 9,80%, dimana kedua hasil tersebut merupakan hasil dengan kadar protein tertinggi dari masing-masing faktor. Pada kadar gula reduksi didapatkan persentase terbaik sebesar 2,81% pada perlakuan A4B1.

5.2 Saran

Saran dari penelitian ini yaitu agar penelitian ini dapat dilanjutkan untuk mengetahui sejauh mana pemanfaatan tepung SMKS terfermentasi yang telah dilakukan uji pada beberapa parameter yang dapat dihubungkan dengan pengaplikasian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abda'u, A., Sujarwo, S. R., Ali, U., Muwakhid, B., dan Kalsum, U. 2023. Kandungan nutrisi limbah tanaman bunga sedap malam (*Poliantas tuberosa*) yang difermentasi oleh *aspergillus niger* sebagai bahan pakan alternatif ternak ruminansia. *Jurnal Ilmiah Peternakan Terpadu*. 11(2):94-105.
- Abu, B. 2007. Peran Kapang dalam Meningkatkan Kandungan Protein dan Karbohidrat pada Produk Berbasis Serat Kasar. (Skripsi). Universitas Hassanudin. 50 Halaman.
- Ariyani, S. B., Hidayat, M.R., Ratiwulan, H dan Mulyono, A.S. 2020. Optimasi proses ekstraksi asam perulat secara alkali dari serat mesokarp sawit menggunakan metode permukaan respon. *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*. 15(2):1-11.
- Artati, E. K., Effendi, A., dan Haryanto, T. 2017. Pengaruh konsentrasi larutan pemasak pada proses *delignifikasi* eceng gondok dengan proses organosolv. *Jurnal Ekuilibrium*. 8(1):25-28.
- Bentubo, H. D. L. & O. F. Gompertz. 2014. Effects of temperature and incubation time on the in vitro expression of proteases, phospholipases, lipases and DNases by different species of *Trichosporon*. *Journal SpringerPlus*. 3(1) : 1-10.
- Buckle, K. A., R. A. Edward., G. H. Fleet, and M. Wotton. 2010. *Ilmu Pangan*. Universitas Indonesia Press. Jakarta. 364 hal.
- Dewanti, D.P. 2018. Potensi selulosa dari limbah tandan kosong kelapa sawit untuk bahan baku perkebunan ramah lingkungan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 19(1):81-87.
- Eko, M., dan Ade, F. 2013. Isolasi dan identifikasi jamur-jamur pendegradasi amilosa pada empelur tanaman sagu *Metroxylon sagu* Rottb. *Jurnal Ilmiah Edu Research*. 2(1): 27-34
- Fadila, N. A. 2024. Karakteristik CMC Serat Mesokarp Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq) Pada Berbagai Tingkat Suhu dan Waktu Karboksimetilasi Disertasi. (Skripsi). Universitas Jambi. 65 Halaman

- Fajri, M. S., Pratama, M. A. S., dan Utami, L. I. 2022. Produksi gula cair dengan proses hidrolisis asam dengan bahan pati singkong. *Journal of Chemical and Process Engineering*. 3(1): 58-64.
- Haryanti, A., Silviana, U., Triyono, S., dan Prabawa, S. 2014. Produksi biodiesel dari transesterifikasi minyak jelantah dengan bantuan gelombang mikro pengaruh intensitas daya dan waktu reaksi terhadap rendemen dan karakteristik biodiesel. *Jurnal Agritech*. 35(2):237-240.
- Hidayat. 2006. *Mikrobiologi Industri*. C.V Andi. Yogyakarta. 155 Halaman.
- Hidayat, L. 2024. Potensi Prebiotik Selulosa Serat Mesokarp Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq) terhadap Pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* dan *Escherichia coli*. (Skripsi). Fakultas Pertanian. Universitas Lampung. 70 Halaman.
- Imanisa, T. W., Mardawati, E., dan Masruchin, N. 2023. Produksi enzim xilanase dari *Aspergillus niger* melalui metode fermentasi terendam dalam valorisasi tandan kosong kelapa sawit sebagai produk *biorefineri* bernilai tambah. *Jurnal Biomass Biorefinery and Bioeconomy*. 1(1):14-19
- Jamila. 2013. Pengaruh penyiangan gulma dan sistem tanam terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman padi (*Oryza sativa* L.). *Jurnal Agrista* 17(1):43-49
- Kodri, Bambang, A., dan Rini, Y. 2013. Pemanfaatan enzim selulase dari *Trichoderma reesei* dan *Aspergillus niger* sebagai katalisator hidrolisis enzimatik jerami padi dengan pretreatment microwave. *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis*. 1(1):22-27.
- Krisch, J., Takó, M., Papp, T., and Vágvolgyi, C. 2010. Characteristics and Potential use of β -glucosidases From Zygomycetes. Current Research, Technology and Education Topics in *Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*. 2:891-896.
- Madigan, M., J. M. Martinko, D. Stahl, and D. P. Clark. 2012. *Biology of Microorganism* (13th Ed). Prentice-Hall International Inc. Wisconsin. 8(2).123-128.
- Mirawati, Y. R., Marlida, Y., and Kompang, I. P. 2010. The role of humic acid in palm kernel cake fermented by *Aspergillus niger* for poultry ration. *Pakistan Journal of Nutrition*. 9(2) : 182-185.
- Martins, Silvia, Solange I. Mussato, Guillermo Martines-Aulia, Julio Martines-Saens, Cristobal N., Aguilar and Jose A. Teixeira. 2011. Bioactive Phenolic Compounds: Production and Extraction by Solid State Fermentation. *A Review Journal. Biotechnology Advances*. 1(29):109-122.

- Nista, D., H. Natalia, dan A. Taufik. 2007. *Teknologi Pengolahan Pakan Sapi. Balai Pembibitan Ternak Unggul Sapi Dwiguna dan Ayam*. Waluyo. Sumbawa. 155 Halaman.
- Omemu A.M. Oyewole O.B and Bankole M.O. 2007. Significance of yeasts in the fermentation of maize for ogi production. *Jurnal Food Microbiol.* 24: 571-576
- Pratiwi, L. D. 2018. Kajian Kinetika Pertumbuhan Mikroorganisme dan Kandungan β -glukan selama Fermentasi Tempe dengan Penambahan *Saccharomyces cerevisiae*. (Skripsi). Fakultas Pertanian. Universitas Lampung. 78 Halman
- Prihatiningrum. 2012. Pengaruh komposit tepung kimpul dan tepung terigu terhadap kualitas *cookies* semprit. *Jurnal Food Science and Culinary Education.* 1(1):6-12.
- Pratiwi, Y. H., Ratnayani, O., dan Wirajana, I. N. 2018. Perbandingan metode uji gula pereduksi dalam penentuan aktivitas *arabinofuranosidase* dengan substrat janur kelapa (*Cocos nucifera*). *Jurnal Kimia.* 12(2):134-139.
- Purkam, Purnama dan Sumarsih, S. 2015. Produksi enzim selulase dari *Aspergillus niger* menggunakan sekam padi dan ampas tebu sebagai induser. *Jurnal Ilmu Dasar.* 16(2):95-102.
- Rahmawati, A. 2023. Keragaman genetik varietas kelapa sawit (*Elaeis guineensis jacq.*). *Jurnal Kridatama Sains dan Teknologi.* 5(01):35-40.
- Rahmasita, M. E., Farid, M., dan Ardhyanta, H. 2017. Analisa morfologi serat tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan penguat komposit absorpsi. *Jurnal Teknik ITS.* 6(2):A787-A792.
- Rauf, J dan Syahril, R. M. 2018. Kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin Pakan komplit berbasis tongkol jagung yang disubstitusi *Azolla pinnata* pada level yang berbeda. *Jurnal Galung Tropika.* 7(3):220-228.
- Setiawan, A., Emie, S., dan George, E.K. 2018. Pemanfaatan limbah fiber kelapa sawit sebagai komposit dengan matriks resin epoksi. *Seminar Master PPNS.* hlm 95-98
- Sarjono, P. R., Mulyani, N., Noprastika, I., Ismiyarto, Ngadiwiyan, dan Prasetya, N. 2021. Pengaruh waktu fermentasi terhadap aktivitas *saccharomyces cerevisiae* dalam menghidrolisis eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). *Jurnal Penelitian Saintek.* 26(2):95-108.

- Singhanian, R. R., Patel, A. K., Sukumaran, R. K., Larroche, C., and Pandey, A. 2013. Role and significance of beta-glucosidases in the hydrolysis of cellulose for bioethanol production. *Bioresource technology*. 127(1):500-507.
- Siregar, K. T. O., Budiarso, F. D. H., Kepel, B. J., Fatimawali, F., Manampiring, A. E., and Bodhi, W. 2024. In vitro test of leilem leaf ethanol activity on β -glucosidase enzyme inhibition. *Jurnal Ilmiah Sains*. 24(1):87-98.
- Silalahi, B. M. dan Supijatno. 2017. Pengelolaan limbah kelapa sawit (*Elaeis guineensis Jacq.*) di Angsana Estate, Kalimantan Selatan. *Jurnal Institut Pertanian Bogor*. 5(3):373-383.
- Solikhin, N., A. S. Praseyo dan L. Buchori. 2012. Pembuatan bioethanol hasil hidrolisa bonggol pisang dengan fermentasi menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. 1(1):124-129.
- Sokchea, H., Thi Hang, P., Dinh Phung, L., Duc Ngoan, L., dan Thu Hong, T. 2018. Effect of time, urea and molasses concentration on *saccharomyces cerevisiae* biomass production. *Journal of Veterinary and Animal Research*. 1(1):101-104.
- Sudrajat, dan Riyanti, L. 2019. *Buku Ajar Nutrisi dan Pakan Ternak*. Pusat Pendidikan Pertanian. Jakarta. 2 (2):1-210.
- Susilo, Y. D. 2017. Kandungan Selulosa, Hemiselulosa dan Lignin Serat Sawit Hasil Fermentasi Jamur Pelapuk. (Skripsi). Fakultas Peternakan. Universitas Hasanudin Makassar. 78 Halaman.
- Sylvia, D., dan Apriliana, V. 2021. Analisis kandungan protein yang terdapat dalam daun jambu biji (*Psidium guajava L.*) menggunakan metode kjeldahl dan spektrofotometri uv-vis. *Jurnal Farmagazine*. 8(2): 64-72.
- Thohirin, M., Wisnaningsih, W., Pambudi, A., Santoso, A. B., dan Hertanto, F. S. 2023. Rancang bangun mesin press kelapa sawit sederhana menggunakan sistem hidrolik kapasitas 15 kg. *Teknika Sains Jurnal Ilmu Teknik*. 8(1):58-65.
- Tima, M. T. 2018. Penentuan kondisi optimum hidrolisis pati oleh *Aspergillus niger* dalam limbah kulit kentang. *Jurnal Agrica*. 11(2):136-144.
- Yulianarsari, W., Khaidan, N., dan Alifa, U. 2023. Pengaruh fermentasi tandan Kosong Kelapa Sawit terhadap kandungan Protein dan Lemak oleh *Aspergillus niger*. *Jurnal Teknologi Kimia* 2(1):20-27.