

**EFEK FERMENTASI SERAT *MESOCARP* BUAH KELAPA SAWIT
MENGUNAKAN KULTUR TUNGGAL DAN CAMPURAN
TERHADAP KANDUNGAN KARBOHIDRAT PRODUK**

(Skripsi)

Oleh

**LINTANG AZZAHRA MUCHSON
2164231001**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRACT

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

By

LINTANG AZZAHRA MUCHSON

The palm oil industry produces large amounts of solid waste, one of which is palm oil mesocarp fiber (POMF), which has not yet been optimally utilized. POMF has a high crude fiber and lignocellulose content that can inhibit its use in food or feed. This study aims to determine the effect of fermentation using single cultures (*Aspergillus niger* and *Saccharomyces cerevisiae*) and mixed cultures on the carbohydrate, cellulose, hemicellulose, and lignin content of fermented PCMF products. The study was conducted using a completely randomized block design (CRBD) with two factors, namely culture type and fermentation duration (7 and 10 days), each with three replicates. The results showed that fermentation treatment with mixed cultures and a fermentation time of 10 days produced a significant increase in glucose content and a higher reduction in lignocellulose content compared to other treatments. Fermentation using *A. niger* and *S. cerevisiae* cultures simultaneously proved to be effective in breaking down SMKS crude fiber with a cellulose value of 11,71% and hemicellulose of 2,23% with the highest solubility value of 6,60% by *A. niger*, thus having the potential to increase the added value of palm oil waste into high-value raw materials.

Keywords: *Aspergillus niger*, fermentation, carbohydrate, oil palm mesocarp fiber, *Saccharomyces cerevisiae*

ABSTRAK

EFEK FERMENTASI SERAT *MESOCARP* BUAH KELAPA SAWIT MENGUNAKAN KULTUR TUNGGAL DAN CAMPURAN TERHADAP KANDUNGAN KARBOHIDRAT PRODUK

Oleh

LINTANG AZZAHRA MUCHSON

Industri kelapa sawit menghasilkan limbah padat dalam jumlah besar, salah satunya adalah serat mesokarp kelapa sawit (SMKS) yang masih belum dimanfaatkan secara optimal. SMKs memiliki kandungan serat kasar dan lignoselulosa tinggi yang dapat menghambat pemanfaatannya dalam bidang pangan atau pakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh fermentasi menggunakan kultur tunggal (*Aspergillus niger* dan *Saccharomyces cerevisiae*) dan kultur campuran terhadap kandungan karbohidrat, selulosa, hemiselulosa, dan lignin produk SMKs terfermentasi. Penelitian dilakukan dengan Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) dua faktor, yaitu jenis kultur dan lama fermentasi (7 dan 10 hari), masing-masing dengan tiga ulangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan fermentasi dengan kultur campuran dan waktu fermentasi 10 hari menghasilkan peningkatan kadar glukosa yang signifikan serta penurunan kandungan lignoselulosa yang lebih tinggi dibanding perlakuan lain. Fermentasi menggunakan kultur *A. niger* dan *S. cerevisiae* secara bersamaan terbukti efektif dalam merombak serat kasar SMKs dengan nilai selulosa 11,71% dan hemiselulosa 2,23% dengan nilai kelarutan paling tinggi sebesar 6,60% oleh *A. niger* sehingga berpotensi meningkatkan nilai tambah limbah kelapa sawit menjadi bahan baku bernilai tinggi.

Kata kunci: *Aspergillus niger*, fermentasi, karbohidrat, *Saccharomyces cerevisiae*, serat mesokarp kelapa sawit

**EFEK FERMENTASI SERAT *MESOCARP* BUAH KELAPA SAWIT
MENGUNAKAN KULTUR TUNGGAL DAN CAMPURAN
TERHADAP KANDUNGAN KARBOHIDRAT PRODUK**

Oleh

Lintang Azzahra Muchson

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Pertanian**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul Skripsi

: **EFEK FERMENTASI SERAT *MESOCARP*
BUAH KELAPA SAWIT
MENGUNAKAN KULTUR TUNGGAL
DAN CAMPURAN TERHADAP
KANDUNGAN KARBOHIDRAT
PRODUK**

Nama Mahasiswa

: **Lintang Azzahra Muchson**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **2164231001**

Program Studi

: **Teknologi Industri Pertanian**

Jurusan

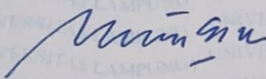
: **Teknologi Hasil Pertanian**

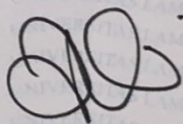
Fakultas

: **Pertanian**

MENYETUJUI

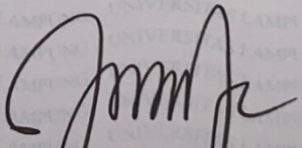
1. Komisi Pembimbing


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


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

Mengetahui

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

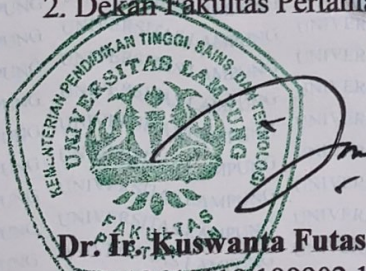
: Dr. Ir. Sussi Astuti, M.Si.

Penguji

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

Bukan Pembimbing

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 di bawah ini.

Nama : Lintang Azzahra Muchson

NPM : 2164231001

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, Agustus 2025

Yang membuat pernyataan



Lintang Azzahra Muchson

NPM. 2164231001

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Tanjung Bintang pada 02 Desember 2003 sebagai anak dari Bapak Tohiri Muchson. MS dan Ibu Surani. Pendidikan dasar penulis ditempuh di MIN 2 Lampung Selatan (2009-2015), kemudian melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama di SMPN 5 Bandar Lampung (2015–2018), dan menyelesaikan pendidikan Menengah Atas di SMK SMTI Bandar Lampung (2018–2021). Pada tahun 2021, penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Prestasi Khusus.

Pada bulan Januari – Februari tahun 2024, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Datar Bancong, Kecamatan Kasui, Kabupaten Way Kanan, Provinsi Lampung. Pada bulan Juli – Agustus tahun 2024, penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di PT. CJ Feed and Care Indonesia *Factory* Lampung, Kecamatan Tanjung Bintang, Kabupaten Lampung Selatan, dengan judul “Analisis Penerapan Produksi Bersih (*Cleaner Production*) Pada Produksi *Poultry* PT CJ Feed and Care Indonesia *Factory* Lampung”.

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah mengikuti Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Saintek Unila pada tahun 2022-2024. Penulis juga banyak mengikuti rangkaian kegiatan pelatihan seperti karya tulis ilmiah dan desain visual. Penulis juga pernah menjadi asisten dosen pada beberapa mata kuliah seperti Agroindustri Berbasis Hortikultura dan Kewirausahaan. Penulis juga banyak mengikuti seminar baik seminar internal maupun eksternal kampus.

SANWACANA

Bismillahirrohmanirrahim

Alhamdulillah rabbil'alamiin, puji serta syukur penulis panjatkan khadirat 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 Kandungan Karbohidrat Produk” 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. 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, motivasi serta saran kepada penulis selama penyusunan proposal penelitian hingga penyelesaian skripsi.
5. Ibu Dr. Ir. Sussi Astuti, M.Si., selaku dosen pembimbing kedua yang senantiasa memberikan dukungan, bimbingan, motivasi serta banyak masukan kepada penulis selama penyusunan proposal hingga penyelesaian skripsi.

6. Bapak Prof. Dr. Ir. Samsul Rizal, M.Si., selaku dosen pembahas atau penguji 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 terima kasih atas semua ilmu dan dukungan selama perkuliahan.
8. Ayahku, Bapak Tohiri Muchson. MS dan Ibunda ku tersayang Surani. Terima kasih atas segala pengorbanan serta tulus kasih yang diberikan, serta kepada adik laki-lakiku Al-Fariz Kadhafi Muchson, terima kasih telah memberikan semangat kepada kakakmu dan menjadi salah satu alasan untuk penulis melalui proses skripsi hingga selesai.
9. Sahabat penulis Kensa, Anggita, Chintia terimakasih telah senantiasa menemani serta memberikan support kepada penulis.
10. Teman-teman seperjuangan Filsa, Sahara dan Reza yang telah kebersamai selama penulis melaksanakan skripsi dari awal hingga akhir.
11. Keluarga besar TIP angkatan 2021 terimakasih atas perjalanan kebersamaan serta seluruh cerita baik maupun duka selama perkuliahan yang dijalani selama kurang lebih 4 tahun.
12. Arief Nabil Risqulloh, terima kasih telah memberikan dukungan, senantiasa memberikan semangat untuk segala proses yang penulis lalui serta banyak bantuan kepada penulis dari awal perkuliahan hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, kesalahan atau kekeliruan dalam penyusunan skripsi. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dan memotivasi untuk penulis dapat lebih baik dalam menulis. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat jangka panjang bagi penulis dan bagi pembaca.

Bandar Lampung, 05 Agustus 2025

Lintang Azzahra Muchson

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
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. Pengolahan Sawit	8
2.4. Serat <i>Mesocarp</i> Kelapa Sawit	9
2.5. Fermentasi	10
2.6. Selulosa	11
2.7. Hemiselulosa	13
2.8. Lignin	14
2.9. Karbohidrat	15
2.10. <i>Aspergillus niger</i>	16
2.11. <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	18
2.12. Delignifikasi	19
III. METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	21
3.2. Bahan dan Alat	21
3.3. Metode Penelitian	22

3.4. Pelaksanaan Penelitian	23
3.4.1. Pembuatan tepung dan delignifikasi serat mesokarp 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
3.4.5. Pengujian karbohidrat	30
3.4.6. Analisis selulosa, hemiselulosa dan lignin	30
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1. Hasil Uji BNT Kandungan Selulosa, Hemiselulosa dan Lignin Produk oleh Kultur dan Lama Fermentasi yang Berbeda	34
4.1.1. Pengaruh lama fermentasi dan jenis kultur terhadap kandungan selulosa produk tepung SMKS terfermentasi	36
4.1.2. Pengaruh lama fermentasi dan jenis kultur terhadap kandungan hemiselulosa produk tepung SMKS terfermentasi	38
4.1.3. Pengaruh lama fermentasi dan jenis kultur terhadap kandungan lignin produk tepung SMKS terfermentasi ..	40
4.2. Pengaruh Lama Fermentasi dan Jenis Kultur Terhadap Kelarutan Produk Tepung SMKS Terfermentasi	41
V. KESIMPULAN DAN SARAN	44
5.1. Kesimpulan	44
5.2. Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	50

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 taraf 5% kadar selulosa, hemiselulosa dan lignin produk tepung SMKS terfermentasi pada kultur dan lama fermentasi yang berbeda	35
3. Hasil uji lanjut BNT taraf 5% nilai kelarutan produk serat mesokarp kelapa sawit terfermentasi pada kultur dan lama fermentasi yang berbeda	42
4. Hasil pengamatan selulosa produk tepung SMKS terfermentasi.....	51
5. Uji kehomogenan ragam (<i>Bartlett's Test</i>) kadar selulosa produk tepung SMKS terfermentasi.....	51
6. Analisis sidik ragam kandungan selulosa produk tepung SMKS terfermentasi.....	52
7. Uji lanjut BNT kadar selulosa produk tepung SMKS terfermentasi ...	52
8. Hasil pengamatan hemiselulosa produk tepung SMKS terfermentasi	53
9. Uji kehomogenan ragam (<i>Bartlett's Test</i>) kadar hemiselulosa produk tepung SMKS terfermentasi.....	53
10. Analisis sidik ragam kandungan hemiselulosa produk tepung SMKS terfermentasi.....	54
11. Uji BNT kadar hemiselulosa produk tepung SMKS terfermentasi.....	54
12. Hasil pengamatan lignin produk tepung SMKS terfermentasi	55
13. Uji kehomogenan ragam (<i>Bartlett's Test</i>) kadar lignin produk tepung SMKS terfermentasi.....	55
14. Analisis sidik ragam kandungan lignin produk tepung SMKS terfermentasi.....	56
15. Hasil pengamatan kelarutan produk tepung SMKS terfermentasi.....	56
16. Uji kehomogenan ragam (<i>Bartlett's Test</i>) kelarutan produk tepung SMKS terfermentasi.....	57

17. Analisis sidik ragam kelarutan produk tepung SMKS terfermentasi...	57
18. Uji BNT kadar kelarutan produk tepung SMKS terfermentasi.....	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Lapisan buah kelapa sawit	8
2. Bentuk serat mesokarp buah kelapa sawit	10
3. Struktur selulosa.....	12
4. Skema <i>pretreatment</i> bahan lignoselulosa.....	13
5. Struktur ikatan hemiselulosa	14
6. Struktur ikatan lignin	14
7. Koloni <i>Aspergillus niger</i>	18
8. Koloni <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	19
9. Proses pemutusan ikatan lignin dengan NaOH.....	20
10. Diagram alir pembuatan tepung dan delignifikasi serat mesokarp kelapa sawit.....	24
11. Diagram alir bleaching tepung mesokarp kelapa sawit	25
12. Diagram alir pembiakkan dan pengadaptasian kultur <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	26
13. Diagram alir peremajaan dan pengadaptasian kultur <i>Aspergillus niger</i>	28
14. Diagram alir proses fermentasi tepung SMKS	29
15. Kenampakan bentuk SMKS yang telah melalui beberapa tahap	33
16. Produk tepung mesokarp terfermentasi oleh kultur yang berbeda.....	34
17. Pengambilan SMKS di PTPN VII regional 4	59
18. Pencucian SMKS	59
19. Pemisahan dari kotoran.....	59
20. Pengeringan SMKS.....	59
21. Penghalusan SMKS	59
22. Pengayakan tepung	59

23. Delignifikasi.....	59
24. Proses bleaching.....	59
25. Penetralkan pH tepung.....	60
26. Persiapan media PDA	60
27. Pembiakkan <i>Aspergillus niger</i> pada media PDA	60
28. Pembiakkan <i>Saccharomyces cerevisiae</i> pada media PDB	60
29. Penginkubasian kultur.....	60
30. Persiapan medium basal.....	60
31. Penambahan kultur <i>A. niger</i> pada media fermentasi	60
32. Penambahan kultur <i>S. cerevisiae</i> pada media fermentasi	60
33. Proses Fermentasi tepung SMKS.....	61
34. Pengeringan tepung terfermentasi.....	61
35. Produk tanpa kultur, fermentasi 7 hari.....	61
36. Produk tanpa kultur fermentasi 10 hari.....	61
37. Produk fermentasi <i>A. niger</i> 7 hari	61
38. Produk fermentasi <i>A. niger</i> 10 hari	61
39. Produk fermentasi <i>S. cerevisiae</i> 7 hari.....	61
40. Produk fermentasi <i>S. cerevisiae</i> 10 hari.....	61
41. Produk fermentasi kultur campuran 7 hari.....	62
42. Produk fermentasi kultur campuran 10 hari.....	62
43. Pemanasan sampel uji lignoselulosa dengan H ₂ SO ₄	62
44. Penyaringan sampel uji	62
45. Pengovenan sampel uji lignoselulosa	62
46. Pengarangan sampel uji lignoselulosa	62
47. Penanuran sampel	62
48. Hasil uji lignoselulosa.....	62
49. Sampel uji kelarutan	63
50. Penyaringan sampel kelarutan	63
51. Penimbangan berat sampel.....	63
52. Pengamatan volume sampel larut	63

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang dan Masalah

Indonesia merupakan negara yang memiliki sumber daya alam yang melimpah, sehingga Indonesia dapat menjadi sentra penghasil komoditas perkebunan terutama kelapa sawit. Kelapa sawit (*Elaeis guinensis* Jacq) merupakan tanaman dalam famili *Arecaceae* yang menghasilkan minyak nabati (Rosa dan Sofyan, 2017). Berdasarkan data statistik Direktorat Jendral Perkebunan (2021), Indonesia memiliki luas areal perkebunan kelapa sawit pada tahun 2021 yaitu 14.663.416 Ha dan terus meningkat pada tahun 2022 menjadi 15.380.981 Ha. Perkebunan kelapa sawit Indonesia berkembang cepat serta mencerminkan adanya revolusi perkebunan sawit. Perkebunan kelapa sawit Indonesia berkembang di 22 provinsi dari 33 provinsi di Indonesia. Dua pulau utama sentra perkebunan kelapa sawit di Indonesia adalah Sumatera dan Kalimantan. Peningkatan luas areal perkebunan kelapa sawit menyebabkan terjadinya penambahan jumlah limbah kelapa sawit. Penambahan dan peningkatan areal pertanaman kelapa sawit diiringi pertambahan jumlah industri pengolahannya menyebabkan jumlah limbah yang dihasilkan semakin banyak pula (Azzahro dkk., 2022).

Perkembangan industri kelapa sawit yang semakin pesat, menyebabkan banyaknya sisa pengolahan industri yang belum termanfaatkan dengan optimal. Dalam 1 ton kelapa sawit menghasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebesar 23%, limbah cangkang sebesar 6,5%, dan serat kelapa sawit sebesar 13% (Dirgantoro & Adawiyah, 2019). Limbah yang dihasilkan akan mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya produksi kelapa sawit. Peningkatan

limbah kelapa sawit memungkinkan terjadinya masalah lingkungan yang ada di sekitar perkebunan dan pabrik kelapa sawit. Salah satu limbah dari industri kelapa sawit yang belum banyak dimanfaatkan yaitu serat mesokarp kelapa sawit (SMKS).

SMKS memiliki kandungan nutrisi yaitu kadar air (KA) 8,34%; bahan kering (BK) 91,66%; protein kasar (PK) 4,36%; serat kasar (SK) 32,19%; lemak kasar (LK) 3,58%; abu 5,61% dan bahan ekstrak tanpa nitrogen (BETN) 54,26%. Menurut Chieng *et al.* (2017), serat mesokarp kelapa sawit mengandung 39,5% selulosa, 32,8% lignin, 9,8% hemiselulosa, 9,3% abu, dan 8,6% zat ekstraktif. Kandungan serat kasar yang cukup tinggi pada SMKs dapat berpotensi buruk untuk pengembangan produk pangan maupun pakan tertentu. Perlu dilakukan suatu pengolahan untuk mengatasi tingginya serat kasar pada SMKs. Salah satu cara mengatasinya adalah teknologi fermentasi menggunakan kultur mikroorganisme yang memiliki kemampuan dalam merombak serat kasar tersebut.

Kadar selulosa yang tinggi pada SMKs dapat digunakan sebagai suatu substrat dalam produksi enzim selulase melalui fermentasi dengan bantuan kapang maupun khamir. Salah satu jenis kapang dan khamir yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Aspergillus niger* dan *Saccharomyces cerevisiae*. Kedua jenis mikroba ini memiliki kemampuan dalam mendekomposisi karbohidrat seperti selulosa, hemiselulosa dan lignin pada suatu bahan (Abdul *et al.*, 2010). Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian terkait efek fermentasi serat *mesocarp* buah kelapa sawit menggunakan kultur tunggal dan campuran terhadap kandungan karbohidrat produk.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui kandungan karbohidrat produk fermentasi serat *mesocarp* kelapa sawit dengan kultur yang berbeda.
2. Mengetahui jenis kultur dan lama fermentasi terbaik dalam memfermentasi serat *mesocarp* kelapa sawit terhadap kandungan karbohidrat produk.

1.3. Kerangka Pemikiran

Limbah hasil dari industri pengolahan kelapa sawit meliputi limbah padat maupun cair. Salah satu limbah padat yang belum dimanfaatkan secara optimal adalah serat mesokarp kelapa sawit. Serat Mesokarp Kelapa Sawit (SMKS) mengandung selulosa 39,5%, lignin 32,8%, hemiselulosa 9,8%, abu 9,3%, dan 8,6% berat ekstraktif (Chieng *et al.*, 2017). Selulosa tidak dapat dicerna oleh manusia, hanya dapat dicerna oleh hewan yang memiliki enzim selulase. Perombakan selulosa dapat dilakukan melalui proses fermentasi oleh mikroorganisme yang memiliki enzim selulase seperti *Aspergillus niger* dan *Saccharomyces cerevisiae*. Menurut Adri dkk. (2013), jenis kapang yang mampu menghasilkan enzim selulase cukup tinggi adalah *Aspergillus niger*.

Enzim selulase adalah enzim yang mampu mendegradasi selulosa dengan produk utamanya yakni glukosa, selobiosa dan selooligosakarida. Selulase memiliki sistem enzim yang terdiri dari endo-1,4- β -glukanase, ekso-1,4- β -glukanase dan β -D-glukosidase. Ketiga enzim ini bekerja secara sinergis mendegradasi selulosa dan melepaskan gula pereduksi sebagai produk akhirnya. Endo-1,4- β -glukanase memotong ikatan rantai dalam selulosa menghasilkan molekul selulosa yang lebih pendek, ekso-1,4- β -glukanase memotong ujung rantai selulosa menghasilkan molekul selobiosa, sedangkan β -D-glukosidase memotong molekul selobiosa menjadi dua molekul glukosa (Purkan dkk., 2015). *S. cerevisiae* merupakan golongan khamir yang mampu memanfaatkan senyawa gula yang dihasilkan oleh mikroorganisme selulotik untuk pertumbuhannya (Afriani, 2012; Tang *et al.*, 2013). Glukosa yang dihasilkan oleh proses hidrolisis selulosa oleh kapang *Aspergillus niger* dapat dipotong untuk membentuk ikatan rantai yang lebih pendek.

Selulase adalah sekelompok enzim yang memecah selulosa menjadi monomer glukosa (Yi *et al.*, 1999). Hasil penelitian Ariyani dkk. (2019) menunjukkan bahwa *Aspergillus niger* bekerja optimal dalam menghasilkan enzim selulase dengan substrat padat yang mengandung banyak selulosa selama 120 jam, dimana aktivitas enzim dapat dilihat dari kadar glukosa yang dihasilkan. Semakin optimal aktivitas enzim selulase, maka kadar glukosa yang dihasilkan akan

semakin tinggi. Peran *A. niger* dalam menghasilkan glukosa ini berpotensi untuk pembuatan biotenol.

Hasil penelitian Hidayat (2024) terkait potensi selulosa serat mesokarp kelapa sawit terhadap pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* dan *Escherichia coli* menunjukkan bahwa pemberian substrat selulosa SMKS pada *Saccharomyces cerevisiae* merupakan nutrisi bagi mikroorganisme ini. Serat mesokarp mengandung selulosa yang berpotensi sebagai prebiotik dan akan memberikan nutrisi untuk pertumbuhan bakteri probiotik. Selulosa yang telah dihidrolisis asam akan menghasilkan oligosakarida dan monosakarida karena terjadi hidrolisis bagian amorf. Substrat ini akan dipecah menjadi glukosa oleh enzim glukoamilase yang dihasilkan *Saccharomyces cerevisiae*.

Penelitian Nata dkk. (2016) mengenai biokonversi serat kelapa sawit menjadi glukosa dengan variasi serat 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dengan penambahan asam sulfat menunjukkan bahwa pemanfaatan serat mesokarp kelapa sawit, menjadi substrat optimal dalam memproduksi glukosa pada variasi 2,5 % dengan penambahan asam sulfat. Hal ini karena penambahan asam sulfat berpengaruh pada proses delignifikasi dan terurainya air menjadi ion H^+ . Lignin yang terkandung pada serat akan berkurang. Kondisi ini juga dimungkinkan karena proses hidrolisis oleh aktivitas enzim pada mikroorganisme dengan serat akan semakin sempurna.

Aspergillus niger tumbuh optimal dengan kadar protein tertinggi yakni pada waktu fermentasi 120 jam (5 hari). Waktu fermentasi 120 jam merupakan fase eksponensial dimana pada fase tersebut perbanyak jumlah sel sangat tinggi, aktivitas sel meningkat dan enzim banyak dihasilkan (Ariani dkk., 2014). Sementara itu, *S. cerevisiae* memiliki waktu pertumbuhan optimum selama 48 jam pada suhu 28-35°C (Sembiring, 2013). Penelitian Wardani dan Pertiwi (2016) menunjukkan pengaruh jenis kultur dan waktu fermentasi yang berbeda terhadap kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin. Limbah kulit kopi dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak ruminansia, akan tetapi kulit kopi memiliki kandungan lignin, selulosa, hemiselulosa dan tanin. Kelemahan tersebut dapat

diatasi melalui pengolahan terlebih dahulu yaitu melalui proses fermentasi dengan menggunakan jamur *Aspergillus niger* dan *Trichoderma viride*. Semakin lama proses fermentasi, kandungan hemiselulosa akan semakin banyak tergedradasi oleh mikroorganisme yang digunakan dalam proses fermentasi tersebut sehingga menyebabkan penurunan kandungan selulosa. Disamping itu, kondisi tingkat degradasi hemiselulosa lebih mudah dibanding dengan selulosa.

Berdasarkan uraian tersebut, pada penelitian ini digunakan serat mesokarp buah sawit sebagai bahan utama melalui proses fermentasi oleh kultur tunggal *A. niger* dan *S. cerevisiae* maupun kultur campuran dengan lama waktu fermentasi yang berbeda. Serat mesokarp yang difermentasi diharapkan memiliki efek atau pengaruh terhadap kandungan karbohidrat (glukosa), selulosa, hemiselulosa dan lignin produk. Perbedaan kultur dan lama fermentasi yang digunakan diduga dapat menghasilkan serat mesokarp terfermentasi dengan hasil terbaik. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian efek fermentasi serat *mesocarp* buah kelapa sawit menggunakan kultur tunggal maupun kokultur campuran terhadap kandungan karbohidrat produk.

1.4. Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Terdapat perbedaan kandungan karbohidrat pada produk fermentasi serat *mesocarp* kelapa sawit dengan kultur yang berbeda.
2. Terdapat jenis kultur dan lama fermentasi terbaik dalam memfermentasi serat *mesocarp* kelapa sawit.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kelapa Sawit

Tanaman kelapa sawit (*Elaeis Guineensis Jacq*) berasal dari Afrika Barat, merupakan tanaman penghasil utama minyak nabati. Meskipun demikian, ada pula yang menyatakan bahwa tanaman ini berasal dari Amerika Selatan yaitu Brazil karena lebih banyak ditemukan spesies kelapa sawit yang tumbuh di hutan Brazil dibandingkan Afrika. Tanaman kelapa sawit dapat hidup subur di luar daerah asalnya, seperti Malaysia, Indonesia, Thailand dan Papua Nugini. Kelapa sawit merupakan tanaman yang berperan penting bagi pembangunan perkebunan nasional. Tanaman kelapa sawit menjadi salah satu komoditi perkebunan yang memiliki nilai jual yang cukup tinggi dan penyumbang devisa terbesar bagi negara Indonesia dibandingkan dengan komoditi perkebunan lainnya (Syahputra dkk., 2011).

Klasifikasi tanaman kelapa sawit menurut Pahan (2012), sebagai berikut:

Divisi	: Embryophyta Siphonagama
Kelas	: Angiospermae
Ordo	: Monocotyledonae
Famili	: Arecaceae
Subfamili	: Cocoideae
Genus	: <i>Elaeis</i>
Spesies	: <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.

Tanaman kelapa sawit berkembang biak dengan biji dan akan berkecambah untuk tumbuh menjadi tanaman. Tanaman ini berakar serabut yang berfungsi sebagai penyerap unsur hara dalam tanah, respirasi tanaman dan sebagai penyangga berdirinya tanaman. Batangnya tidak mempunyai kambium dan umumnya tidak bercabang. Batang kelapa sawit berbentuk silinder dengan diameter 20-75 cm.

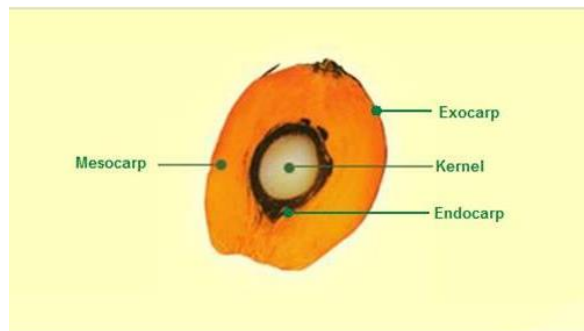
Pada tanaman muda, batang tidak terlihat karena tertutup oleh pelepah daun. Tanaman ini banyak dimanfaatkan karena minyak yang terkandung di dalamnya. Minyak sawit yang digunakan sebagai .produk pangan berasal dari minyak inti yang mengalami proses fraksinasi, vakasinasi dan hidrogenase (Nasution, 2014).

2.2. Bagian-Bagian Kelapa Sawit

Tanaman kelapa sawit memiliki bagian generatif meliputi bunga dan buah. Susunan bunga tanaman kelapa sawit terdiri atas karangan bunga yaitu bunga jantan dan bunga betina. Bunga jantan dan bunga betina tanaman kelapa sawit terdapat dalam dua tandan yang terpisah. Akan tetapi, bunga jantan dan bunga betina ada yang terdapat dalam tandan yang sama. Tanaman kelapa sawit memiliki akar berwarna putih atau kekuningan, tidak berbuku, dan ujungnya runcing. Batang pada tanaman kelapa sawit tidak bercabang dan dibungkus oleh pelepah daun. Pelepah kelapa sawit terbagi menjadi dua bagian yaitu pelepah dengan anak daun (*rachis*) dan tangkai pelepah yang berduri (*petiole*). Warna buah kelapa sawit bergantung pada varietas dan umurnya. Buah kelapa sawit yang masih mentah berwarna hitam (*nigrescens*) dan beberapa jenis lainnya ada yang berwarna hijau (*virescens*).

Bagian-bagian kelapa sawit memiliki kandungan yang berbeda. Pada lapisan tengah atau mesokarp mengandung minyak kelapa sawit yang disebut *Crude Palm Oil* (CPO). Bagian lapisan dalam atau endoskarp yang disebut inti sawit mengandung minyak inti yang disebut *Palm Kernel Oil* (PKO). Pada umumnya buah ini digunakan sebagai bahan dasar pembuatan minyak nabati (Sunarko, 2009). Secara garis besar buah kelapa sawit terdiri dari dari serabut buah (*pericarp*) dan inti (*kernel*). Buah kelapa sawit terdiri dari empat lapis yaitu lapisan luar atau kulit buah yang disebut *pericarp*, lapisan sebelah dalam disebut *mesocarp* atau *pulp* dan lapisan paling dalam disebut *endocarp*, dan inti sawit yang biasa disebut dengan *endosperm*. *Mesocarp* mengandung kadar minyak rata-rata sebanyak 56%, inti (*kernel*) mengandung minyak sebesar 44%, dan *endocarp* tidak mengandung minyak. Minyak kelapa sawit seperti umumnya minyak nabati lainnya adalah merupakan senyawa yang tidak larut dalam air,

sedangkan komponen penyusunnya yang utama adalah trigliserida dan nontrigliserida (Pasaribu, 2004). Lapisan kelapa sawit disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lapisan buah kelapa sawit
Sumber : Pahan (2012)

2.3. Pengolahan Sawit

Luas areal tanaman kelapa sawit terus berkembang dengan pesat di Indonesia. Hal ini menunjukkan meningkatnya permintaan akan produk olahannya. Ekspor minyak sawit (CPO) Indonesia antara lain ke Belanda, India, Cina, Malaysia dan Jerman, sedangkan untuk produk minyak inti sawit (PKO) lebih banyak diekspor ke Belanda, Amerika Serikat dan Brasil. Minyak sawit kasar dan minyak inti sawit dapat diolah lebih lanjut untuk menghasilkan minyak goreng dan berbagai produk oleokimia. *Crude Palm Oil* merupakan minyak sawit mentah yang diperoleh dari hasil ekstraksi atau dari proses pengempaan daging buah kelapa sawit dan belum mengalami proses pemurnian, biasanya digunakan untuk kebutuhan bahan pangan dan lainnya.

Tandan buah segar (TBS) harus diolah dalam waktu 24-48 jam sejak dipanen agar tidak mengalami penurunan kualitas. Tahap pengolahan minyak sawit terdiri dari beberapa tahap diantaranya penerimaan bahan baku berupa TBS, penimbangan, pencucian (klarifikasi), perebusan, pelepasan buah, pengempaan dan pemurnian. Proses pengolahan minyak sawit ini menghasilkan limbah padat maupun cair. Limbah padat yang dihasilkan dari pabrik kelapa sawit berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS), cangkang, bungkil dan serabut atau serat mesokarp. Umumnya limbah cair dari pabrik kelapa sawit berasal dari proses klarifikasi, perebusan atau sterilisasi, dan sentrifugasi. Limbah cair ini mengandung unsur

hara yang dibutuhkan oleh tanaman seperti nitrogen dan fosfor, oleh karena itu limbah cair kelapa sawit banyak dimanfaatkan sebagai pupuk cair organik (Kurniawan dkk., 2017).

2.4. Serat *Mesocarp* Kelapa Sawit

Mesokarp merupakan daging buah yang berserabut. 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. Serat kelapa sawit memiliki ukuran yang relatif pendek, sesuai dengan ukuran *mesocarp* buah sawit. Serat mesokarp pada buah kelapa sawit adalah jaringan serabut yang terletak di lapisan tengah buah, tepatnya di antara eksokarp (kulit luar) dan endokarp (tempurung keras). Serat mesokarp kelapa sawit memiliki ciri-ciri berwarna kecoklatan, tipis, dan rapuh pada kondisi basah (Gambar 2.). Mesokarp ini memiliki tekstur berserat dan mengandung kandungan minyak yang sangat tinggi, sehingga menjadi sumber utama minyak sawit mentah (CPO).

Serat mesokarp kelapa sawit merupakan salah satu bentuk limbah padat pada industri minyak yang berasal dari stasiun pengepresan. Persentase serat mesokarp sawit lebih kurang 13% dari bobot mesokarp sawit. Serat merupakan limbah sisa perasan mesokarp sawit berupa serabut seperti benang. Serat mesokarp kelapa sawit memiliki sifat yang keras dan kuat. Pori – pori pada permukaan serat kelapa sawit memiliki rata - rata diameter sebesar 0,07 m. Morfologi permukaan pori ini sangat berguna untuk meningkatkan ikatan mekanik dengan resin matriks jika digunakan pada pembuatan komposit. Tetapi struktur permukaan berpori memfasilitasi penyusupan ke dalam serat melewati pembuluh, terutama ketika tak terlindung dari air (Rahmasita dkk., 2017). Serat mesokarp kelapa sawit bersifat hidrofilik dan memiliki sejumlah besar gugus hidroksil. Sifat tersebut menghasilkan ikatan antarmuka yang relatif lemah antara matriks polimer yang bersifat hidrofobik dengan serat yang bersifat hidrofilik serta ketahanan absorpsi air yang rendah. Serat mesokarp kelapa sawit merupakan biomassa lignoselulosa berupa serat, dimana lignoselulosa mempunyai sifat penyerap yang baik.

Biasanya serat mesokarp kelapa sawit dapat dijadikan sebagai salah satu bahan penguat komposit. Kandungan selulosa yang terdapat pada serat mesocarp kelapa sawit dapat menjadi hal yang berpotensi baik untuk pengembangan sebuah produk tertentu, namun dapat pula berpotensi buruk jika keberadaannya menghambat suatu proses dan keefektifan produk (Susilawati dkk., 2021). Serat mesokarp buah kelapa sawit disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Bentuk serat mesokarp buah kelapa sawit
Sumber : Dokumentasi Pribadi (2025)

2.5. Fermentasi

Fermentasi adalah proses perubahan komposisi kimia bahan pangan yang disebabkan oleh enzim yang dihasilkan mikroorganisme (Trinanda, 2015). Fermentasi sendiri berasal dari bahasa latin "*ferfere*" yang berarti mendidihkan. Fermentasi merupakan proses relatif murah yang pada hakekatnya telah lama dilakukan secara tradisional. Gula seperti glukosa, fruktosa dan sukrosa sebagai bahan dasar ketika difermentasi dalam kondisi anaerob akan menghasilkan etanol, asam laktat dan hidrogen. Proses fermentasi ini akan mengakibatkan terjadinya perubahan kondisi asam atau penurunan pH. Penurunan pH yang terjadi mengindikasikan adanya aktivitas mikroba dalam mengurai karbohidrat (Zahro 2014).

Fermentasi dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu spontan dan tidak spontan. Fermentasi spontan adalah yang tidak ditambahkan mikroorganisme dalam bentuk starter atau ragi dalam proses pembuatannya, sedangkan fermentasi tidak spontan adalah yang ditambahkan starter atau ragi dalam proses pembuatannya.

Mikroorganisme tumbuh dan berkembang secara aktif merubah bahan yang difermentasi menjadi produk yang diinginkan pada proses fermentasi. Faktor yang mempengaruhi proses fermentasi adalah suhu, pH awal fermentasi, inokulum, substrat dan kandungan nutrisi medium. Proses fermentasi yang dilakukan mikroba tertentu diharapkan akan meningkatkan nilai gizi yang ada pada produk fermentasi sehingga dapat meningkatkan optimalisasi terhadap pengembangan suatu produk.

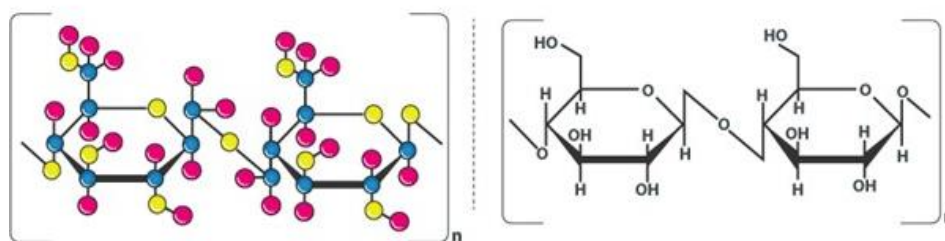
2.6. Selulosa

Selulosa merupakan salah satu komponen utama penyusun tumbuhan, selulosa biasanya terdapat pada dinding sel buah dan sayuran, seperti di dalam kayu, ranting, dan daun, sayangnya selulosa tidak dapat dicerna oleh tubuh manusia (Adryani dkk., 2014). Pada batang tanaman diketahui mengandung 56,82% α -selulosa, lignin 21,72%, ADF (*Acid Detergent Fiber*) 21,45% dan panjang serat 0,05-0,5 cm berdasarkan analisis laboratorium (Sumada dkk., 2011). Selulosa yang terdapat pada tumbuhan tidak dalam bentuk yang murni tetapi selulosa masih berbentuk dalam lignoselulosa yang dimana itu adalah gabungan dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Lignin dan hemiselulosa mengelilingi ruang di dalam dinding sel tumbuhan antara selulosa dan pektin, lignin bertindak sebagai perekat untuk selulosa dan hemiselulosa (Setiati dkk., 2016).

Selulosa ($C_6H_{10}O_5$)_n merupakan suatu polimer alami yang tersusun oleh sejumlah monomer D-anhidroglukopiranososa yang saling terhubung melalui ikatan β -1,4 glikosidik. Selulosa di alam keberadaannya sangat melimpah, sehingga selulosa banyak digunakan dalam pengaplikasian industri *pulp*, filter, maupun tekstil. Selulosa memiliki beberapa sifat seperti tidak beracun, biokompatibel, polimer dengan biaya murah, terurai secara alami, dan merupakan material terbarukan. Selulosa paling banyak ditemukan pada batang kayu, rami, kapas maupun bahan nabati lainnya. Selulosa bisa dikatakan sebagai material semi kristalin yang memiliki daerah kristalin dan amorf. Selulosa yang berasal dari tanaman kayu dan nonkayu ditemukan selalu bersama dengan lignin dan hemiselulosa.

Selulosa tersusun dari D-anhidroglukopiranososa yang bergabung dengan ikatan β -1,4 glikosidik. Terdapat tiga gugus hidroksil di dalam satu unit D-anhidroglukopiranososa, dimana gugus hidroksil tersebut menunjukkan adanya gugus alkohol dengan posisi yang tidak sama. Gugus hidroksil sekunder (-OH) terletak di posisi C-2 dan C-3 kemudian gugus hidroksil primer terletak di posisi C6. Gugus hidroksil di posisi C6 merupakan posisi yang paling reaktif untuk dilakukan modifikasi kimia. Selulosa memiliki sifat tidak larut di dalam air karena besarnya gugus fungsi hidroksilnya.

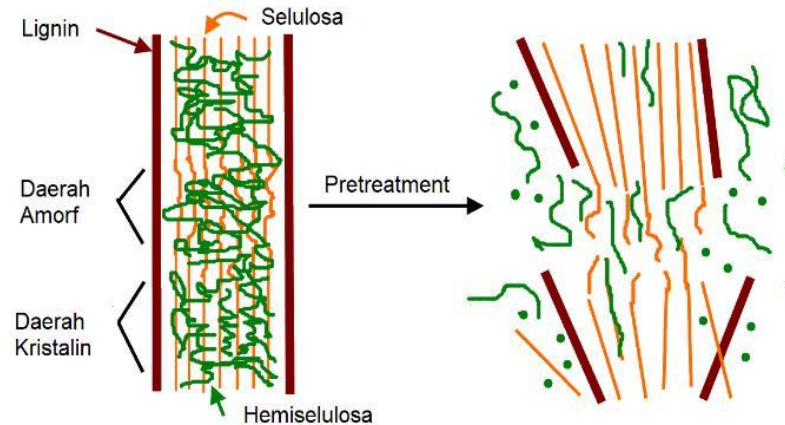
Selulosa berdasarkan sumbernya memiliki variasi, terutama pada kadar dan kemurnian selulosa yang terkandung di dalamnya. Komponen selulosa umumnya berkisar antara 40-50% dari berat kering suatu bahan lignoselulosa. Variasi kandungan selulosa dipengaruhi oleh tempat tumbuh, jenis biomassa, umur tumbuhan, letaknya dalam batang tumbuhan, dan faktor lingkungan. Selulosa dilihat sebagai sumber bahan baku polimer berkelanjutan, sangat memungkinkan untuk dimodifikasi dalam perluasan pemanfaatan pada berbagai aspek kehidupan. Struktur dari selulosa dapat disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur selulosa
Sumber : Setiati dkk., (2016)

Selulosa alami, disebut dengan selulosa I, adalah selulosa kristal. Istilah turunan selulosa, atau disebut juga selulosa II, digunakan berkenaan dengan selulosa yang mengendap pada larutan, umumnya larutan alkali. Hal ini menunjukkan 2 polimorf utama dari selulosa. Pengetahuan tentang ilmu kristal dan biosintesis selulosa menguatkan pendapat bahwa struktur selulosa terdiri dari rantai paralel dimana struktur kristal dari selulosa II digambarkan sebagai antiparalel. Selulosa I bukan merupakan bentuk selulosa yang paling stabil. Ikatan hidrogen tambahan per residu glukosa pada selulosa II membuat alomorf ini menjadi bentuk yang

paling stabil secara termodinamik. Skema *pretreatment* bahan lignoselulosa disajikan pada Gambar 4.

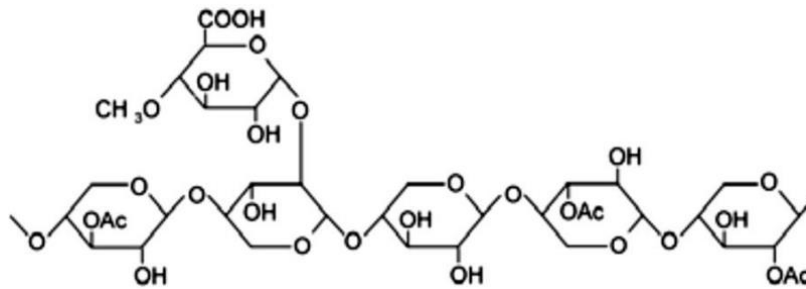


Gambar 4. Skema *pretreatment* bahan lignoselulosa
Sumber : Setiati dkk., (2016)

2.7. Hemiselulosa

Hemiselulosa, juga dikenal sebagai polyose, adalah matriks polisakarida, seperti arabinoxylan, yang ada bersama dengan selulosa dalam hampir semua dinding sel tanaman. Hemiselulosa adalah polisakarida yang terdapat dalam biomassa dari kebanyakan tanaman; sekitar 20% -30% berat kering tanaman. Hemiselulosa, dikombinasikan dengan selulosa, memberikan kekuatan fisik dan struktural untuk dinding sel. Selain glukosa, komponen struktural lainnya di hemiselulosa adalah xilosa, galaktosa, manosa, rhamnose, dan arabinosa. Hemiselulosa memiliki rantai lebih pendek dari 500 dan 3000 unit gula dengan struktur bercabang.

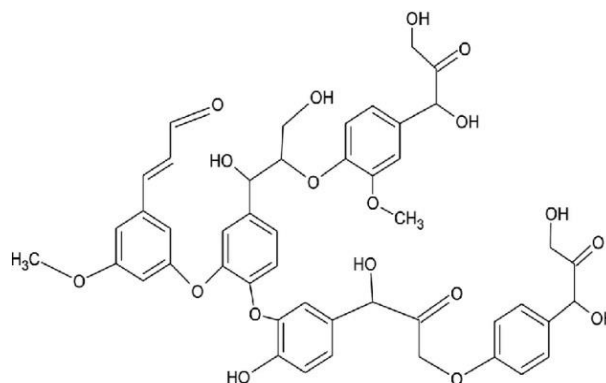
Hemiselulosa merupakan heteropolimer yang mengandung galaktosa, glukosa, arabinosa, dan sedikit rhamnosa, asam glukoronik, asam metil glukoronik dan asam galakturonik. Berkebalikan dengan selulosa, hemiselulosa memiliki struktur acak dan amorf sehingga lebih mudah dihidrolisis dibandingkan selulosa (Taherzadeh dan Karimi, 2008). Struktur hemiselulosa disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur ikatan hemiselulosa
Sumber : Setiati dkk., (2016)

2.8. Lignin

Lignin merupakan polimer aromatik yang memiliki struktur ikatan silang dengan tiga unit utama yaitu unit p-hidroksifenil, guaiasil, dan siringil yang terikat oleh ikatan karbon-karbon atau eter (Luo et al., 2015). Lignin merupakan komponen lignoselulosa yang melindungi selulosa dan hemiselulosa pada dinding sel tanaman dengan memberikan kekuatan mekanik dan juga sifat hidrofobik, namun, sumber lignin yang melimpah ini tidak pernah digunakan secara efektif. Lignin adalah satu-satunya bahan baku senyawa aromatik yang tersedia di alam dalam jumlah banyak dan dapat diperbarui karena mudah dijumpai pada sebagian besar tanaman dengan kadar 15–30% dari berat kering tanaman untuk dapat menghasilkan 40% energi (Gillet et al., 2017). Lignin merupakan biopolimer berbasis fenol dan dapat digunakan sebagai makromolekul untuk menggantikan fenol dalam proses petrokimia atau didegradasi untuk menghasilkan fenol. Struktur lignin disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Struktur ikatan lignin
Sumber : Setiati dkk., (2016)

2.9. Karbohidrat

Karbohidrat sebagai zat gizi merupakan nama kelompok zat-zat organik yang mempunyai struktur molekul yang berbeda-beda, meski terdapat persamaan-persamaan dari sudut kimia dan fungsinya. Semua karbohidrat terdiri atas unsur Carbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O). Karbohidrat yang penting dalam ilmu gizi dibagi menjadi dua golongan yaitu karbohidrat sederhana dan karbohidrat kompleks. Karbohidrat sederhana terdiri atas monosakarida yang merupakan molekul dasar dari karbohidrat, disakarida yang terbentuk dari dua monosa yang dapat saling terikat, dan oligosakarida yaitu gula rantai pendek yang dibentuk oleh galaktosa, glukosa dan fruktosa. Karbohidrat kompleks terdiri atas polisakarida yang terdiri atas lebih dari dua ikatan monosakarida dan serat yang dinamakan juga polisakarida nonpati.

Klasifikasi karbohidrat disusun berdasarkan ukuran molekul penyusunnya dan gugus yang dikandungnya. Berdasarkan ukuran molekulnya karbohidrat dibagi menjadi dua yaitu gula sederhana dan karbohidrat kompleks. Yang disebut dengan gula sederhana adalah kelompok monosakarida. Karbohidrat kompleks tersusun dari dua atau lebih gula sederhana. Monosakarida merupakan karbohidrat yang tersederhana yang tidak dapat dihidrolisis menjadi molekul karbohidrat yang lebih kecil. Contohnya glukosa, fruktosa, galaktosa. Glukosa disebut juga gula darah (karena dijumpai dalam darah), gula anggur (dijumpai dalam buah anggur), atau dekstrosa (karena memutar bidang polarisasi). Karbohidrat yang terdiri dari dua molekul monosakarida disebut dengan disakarida. Contohnya sukrosa, laktosa dan maltosa. Disakarida adalah monosakarida yang dihubungkan dengan ikatan glikosidik dari karbon satu monosakarida ke gugus OH dari monosakarida lainnya. Ikatan ini merupakan ikatan α dan β , yaitu $1,4'\text{-}\alpha$ atau $1,4'\beta$. Karbohidrat yang tersusun lebih dari delapan satuan monosakarida disebut dengan polisakarida. Polisakarida adalah senyawa yang tersusun dari banyak molekul monosakarida yang dihubungkan dengan ikatan glikosida. Selulosa dan kitin merupakan contoh polisakarida yang berfungsi sebagai bahan bangunan. Polisakarida dibagi dalam dua kelompok homopolisakarida dan heteropolisakarida. Pada umumnya karbohidrat merupakan

zat padat berwarna putih yang sukar larut dalam pelarut organik tetapi larut dalam air (kecuali beberapa polisakarida) (Bhatt, 2022).

2.10. *Aspergillus niger*

Aspergillus niger merupakan kapang multiseluler berfilamen yang memiliki tubuh nampak berserabut seperti kapas yang disebut dengan hifa. *A. niger* mempunyai kepala pembawa yang besar dan bulat konidia berwarna hitam, coklat kehitaman atau ungu kecoklatan, dengan konidiofor yang banyak mengandung pigmen. Pertumbuhan *A. niger* dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan antara lain, kandungan air, suhu, kandungan oksigen, pH dan nutrisi. *A. niger* bersifat mesofilik yaitu suhu optimum untuk pertumbuhan *A. niger*, suhu optimum pertumbuhan pada 24 -30 °C. Kebanyakan spesies *Aspergillus* menyebabkan kerusakan pada makanan, tetapi ada beberapa spesies *Aspergillus* yang dapat dimanfaatkan untuk fermentasi makanan seperti pada fermentasi pembuatan kecap dan tempe. Ciri- ciri mikroskopis *A.niger* diantaranya biseriate, bentuk fisikel bulat (*spherical*) berukuran 44 µm, metula 13 µm dan fialid 9,75 µm, kepala konida berukuran besar (berdiameter 3 mm x 15-20 µm). Konidiafor berdinding halus, *hyaline* atau berubah gelap menuju vesikel. Konidia berbentuk globose sampai subglobose (berdiameter 3,5-5 µm), coklat tua sampai hitam dan berdinding kasar (Refai *et al.*, 2014).

Menurut Nurhayati (2011), klasifikasi *Aspergillus niger* adalah :

Kingdom	: Fungi
Divisi	: Eumycetes
Kelas	: Deuteromyces
Ordo	: Moniliales
Famili	: Moniliaceae
Genus	: Aspergillus
Spesies	: <i>Aspergillus niger</i>

Proses fermentasi menggunakan kapang, selain pembentukan miselium selalu diikuti oleh pembentukan spora yang berguna untuk pembuatan inokulum pada

proses fermentasi. Inokulum yang berupa spora merupakan starter yang baik dalam fermentasi. *Aspergillus niger* dapat tumbuh dengan cepat dan digunakan secara komersial dalam produksi asam sitrat, asam glukonat dan pembuatan beberapa enzim seperti amilase, pektinase, glukoamilase dan selulase (Hidayat, 2007). Kemampuan *Aspergillus niger* menghasilkan enzim selulase yang cukup tinggi, berpotensi dalam menghidrolisis selulosa yang terkandung pada limbah hasil pertanian, seperti jerami padi dan serat mesokarp buah sawit. Enzim selulase merupakan enzim yang bersifat induktif, dimana enzim ini berada dalam jumlah sel yang tidak tetap, tergantung pada induser. Produksi enzim selulase pada mikroba membutuhkan adanya induser dalam media fermentasinya. Induser tersebut yang akan menginduksi pembentukan enzim selulase pada sel mikroba (Adri dkk., 2013).

Fungi terutama *A. niger* efektif dalam menghasilkan amilase. Enzim amilase ini dibagi menjadi 2 kelompok besar yaitu "*exo acting amylase*" dan "*endo acting amylase*". Enzim amilase yang termasuk *exo acting amylase* adalah amiloglukosidase dan β amilase, sedangkan yang termasuk *endo acting amylase* adalah α amilase. Amiloglukosidase dapat memecah ikatan α -1,4 glikosida secara berturut-turut dari ujung rantai non reduksi dengan menghasilkan (3-D-glukosa), sedangkan α amilase (α -1,4 -glukan hidrolase, EC. 3 2 1.1) dapat memecah α -1,4 glikosida secara acak. Amilase digunakan secara luas dalam industri makanan, kertas, farmasi, dan deterjen. Aplikasi utamanya adalah hidrolisis pati untuk produksi pemanis, sirup, dan bahan kimia (misalnya, etanol, aseton, dan asam laktat) (Wang *et al.*, 2016). *Aspergillus niger* juga memiliki enzim xilanase. Xilanase merupakan kelompok enzim yang memiliki kemampuan menghidrolisis hemiselulosa atau xilan menjadi xilosa dan xilooligosakarida sebagai monomer penyusunnya. Xilan menjadi substrat bagi enzim xilanase diketahui banyak dijumpai pada tanaman-tanaman tahunan dan khususnya limbah pertanian seperti tandan kosong kelapa sawit (TKKS), tongkol jagung, bagas tebu, jerami padi, dedak gandum, dan biji kapas (Endang dan Siswanto, 2018). Bentuk koloni *A. niger* disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Koloni *Aspergillus niger*
Sumber : Dokumentasi Pribadi (2025)

2.11. *Saccharomyces cerevisiae*

Saccharomyces berasal dari bahasa Latin Yunani yang berarti “gula jamur”, sedangkan *cerevisiae* berasal dari bahasa Latin yang berarti bir (Sukoco, 2010). *S. cerevisiae* termasuk dalam golongan *Ascomycetes* karena dapat membentuk askospora dalam askus. Spesies ini dapat bereproduksi secara seksual dengan membentuk spora seksual berupa konidium atau juga bereproduksi secara aseksual dengan membentuk spora aseksual berupa askospora sebanyak 4-8 buah dalam askus serta melakukan pertunasan. Pertunasan pada spesies ini dapat berupa pertunasan multilateral, yaitu tunas dapat tumbuh di sekitar ujung sel. *S. cerevisiae* termasuk khamir yang banyak mengandung protein, karbohidrat, dan lemak, sehingga dapat dikonsumsi oleh manusia dan hewan guna melengkapi kebutuhan nutriennya sehari-hari. *S. cerevisiae* sangat mudah ditumbuhkan pada berbagai media yang mengandung sumber karbon, nitrogen, hidrogen, oksigen, sulfur, kalsium, vitamin, mineral serta air. Khamir ini berpotensi menghasilkan banyak enzim, salah satunya adalah enzim selulase dan glukoamilase (Afriani, 2012).

Sel *S. cerevisiae* dapat tumbuh pada medium yang mengandung air gula dengan konsentrasi tinggi. *S. cerevisiae* merupakan golongan khamir yang mampu memanfaatkan senyawa gula yang dihasilkan oleh mikroorganisme selulolitik untuk pertumbuhannya. Spesies ini dapat memfermentasikan berbagai

karbohidrat dan menghasilkan enzim invertase yang bisa memecah sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa serta dapat mengubah glukosa menjadi alkohol dan karbondioksida sehingga banyak digunakan dalam industri pembuatan roti ataupun anggur. *S. cerevisiae* dapat berkembang biak dalam gula sederhana seperti glukosa, maupun gula kompleks disakarida yaitu sukrosa. Khamir ini merupakan mikroba yang umum digunakan dalam fermentasi (Tang *et al.*, 2013). Bentuk koloni *S. cerevisiae* disajikan pada Gambar 8.

Menurut Agustining (2012), klasifikasi *Saccharomyces cerevisiae* adalah :

Filum	: Ascomycota
Subfilum	: Saccharomycotina
Class	: Saccharomycetes
Ordo	: Saccharomycetales
Family	: Saccharomycetaceae
Genus	: Saccharomyces
Species	: <i>Saccharomyces cerevisiae</i>

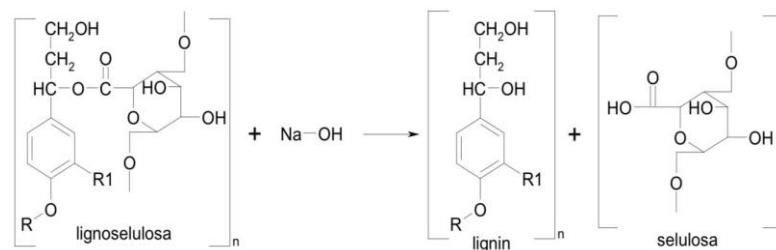


Gambar 8. Koloni *Saccharomyces cerevisiae*
Sumber : Agustining (2012)

2.12. Delignifikasi

Lignin adalah polimer aromatik kompleks yang menyelimuti serat selulosa dan membuatnya resisten terhadap degradasi kimia dan enzimatis. Proses

delignifikasi merupakan tahap penting dalam pemanfaatan biomassa lignoselulosa, dengan berbagai pendekatan yang bisa disesuaikan tergantung pada aplikasi akhir. Delignifikasi adalah proses penghilangan lignin dari bahan lignoselulosa (seperti kayu, jerami, atau limbah pertanian) untuk mendapatkan komponen utama lainnya, yaitu selulosa dan hemiselulosa. Tujuan utama dari proses delignifikasi antara lain meningkatkan aksesibilitas enzim terhadap selulosa dan hemiselulosa, mengurangi kontaminan lignin dalam produk akhir, dan meningkatkan efisiensi proses konversi biomassa menjadi biofuel atau bahan kimia bernilai tambah. Delignifikasi sendiri memiliki beberapa metode yaitu delignifikasi kimia, fisika-kimia, dan biologis. Proses delignifikasi kimia biasanya menggunakan bahan kimia seperti natrium hidroksida (NaOH), natrium hipoklorit (NaOCl), atau asam sulfit. Metode delignifikasi fisika-kimia merupakan kombinasi perlakuan panas dan kimia, seperti uap bertekanan tinggi dengan katalis asam, sedangkan metode biologis menggunakan mikroorganisme, terutama jamur pelapuk putih (seperti *Phanerochaete chrysosporium*), yang menghasilkan enzim ligninase, laccase, dan mangan peroksidase untuk mendegradasi lignin (Zhao *et al.*, 2012). Proses pemutusan ikatan lignin disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Proses pemutusan ikatan lignin dengan NaOH
Sumber : Zhao *et al.*, (2012)

Proses delignifikasi melibatkan reaksi kimia atau biologis untuk memutus ikatan antara lignin dan karbohidrat. Reaksi utama pada delignifikasi melibatkan :

- Pemutusan ikatan eter (β -O-4) yang paling umum dalam lignin.
- Oksidasi atau hidrolisis lignin menjadi senyawa fenolik kecil.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

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

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, stirer, 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 dilakukan pada tiga tahap, tahap pertama yaitu pembuatan selulosa tepung serat mesokarp kelapa sawit (SMKS), tahap kedua yaitu proses fermentasi tepung serat mesokarp kelapa sawit dan tahap ketiga pengujian karbohidrat, dan lignoselulosa produk fermentasi. Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan metode penelitian Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) dengan dua faktor dan tiga kali pengulangan. Faktor pertama adalah perbedaan kultur dan faktor kedua adalah lama fermentasi. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis dengan sidik ragam (Anova) dan dilanjutkan dengan uji BNT pada taraf 5%. Pengamatan yang dilakukan meliputi kandungan selulosa, hemiselulosa, lignin, karbohidrat (glukosa) dan kelarutan produk.

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 $8 \times 3 = 24$ unit percobaan.

3.4. Pelaksanaan Penelitian

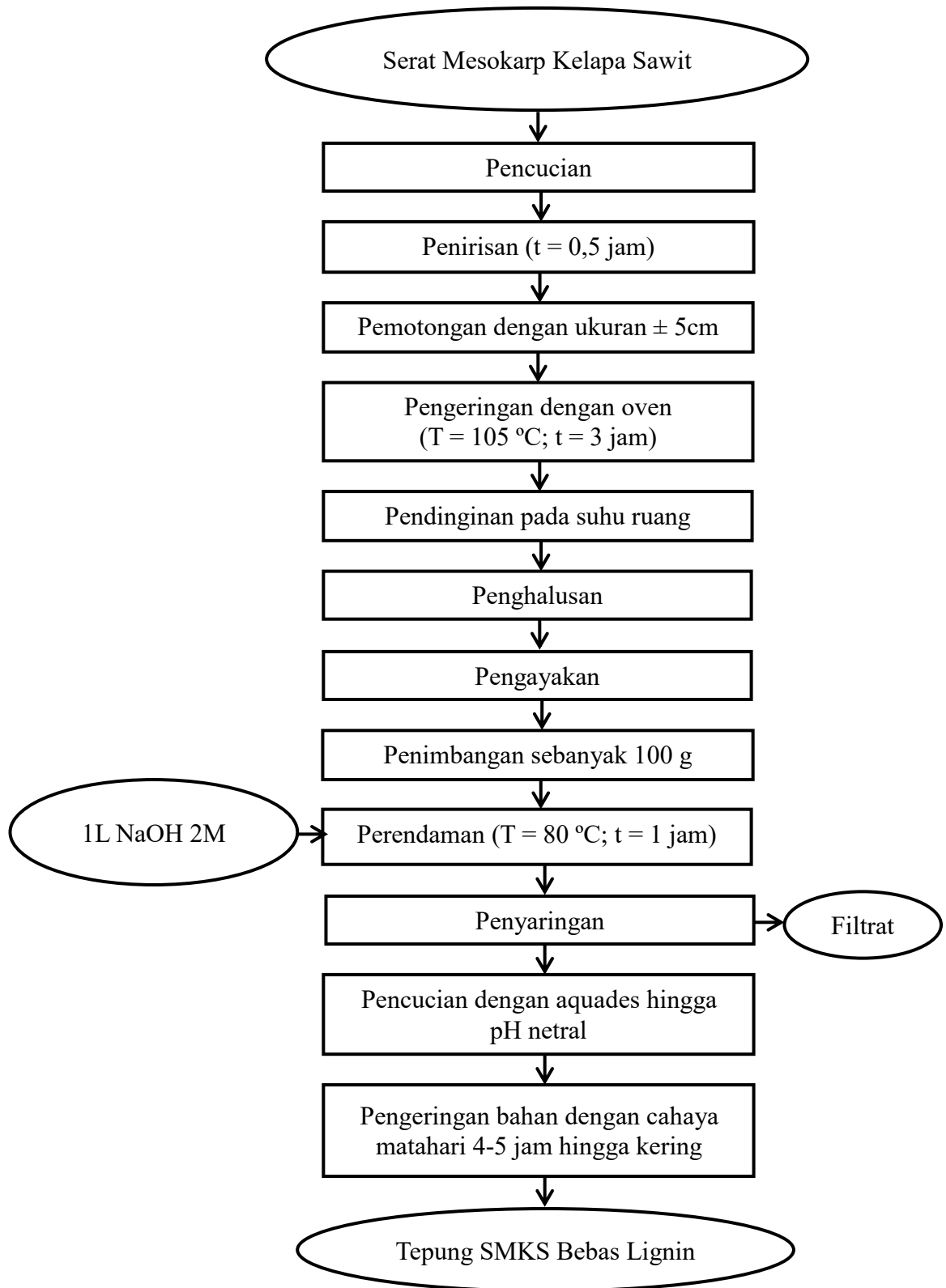
Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap yaitu pembuatan tepung serat mesokarp kelapa sawit dan delignifikasi, *bleaching*, persiapan kultur, persiapan media, dan pengujian glukosa, selulosa, hemiselulosa, lignin dan kelarutan produk yang dihasilkan.

3.4.1. Pembuatan tepung dan delignifikasi serat mesokarp kelapa sawit (SMKS)

Pembuatan tepung SMKS ini mengikuti prosedur Kustyawati (2024). SMKs sebanyak 500 g dicuci menggunakan air. Kemudian, SMKs ditiriskan selama 30 menit dan dipotong dengan ukuran kurang lebih 5 cm. Selanjutnya SMKs dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C selama 3 jam. SMKs yang telah kering dihaluskan dengan *grinder* dan diayak menggunakan ayakan 60 mesh. Kemudian tepung SMKs ditimbang sebanyak 100 g dan didelignifikasi 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 SMKs disaring dan dicuci kembali menggunakan aquades hingga pH netral dan SMKs dikeringkan menggunakan cahaya matahari hingga kering dengan lama waktu sekitar 4-5 jam. Diagram alir pembuatan tepung dan delignifikasi serat mesokarp kelapa sawit disajikan pada Gambar 4.

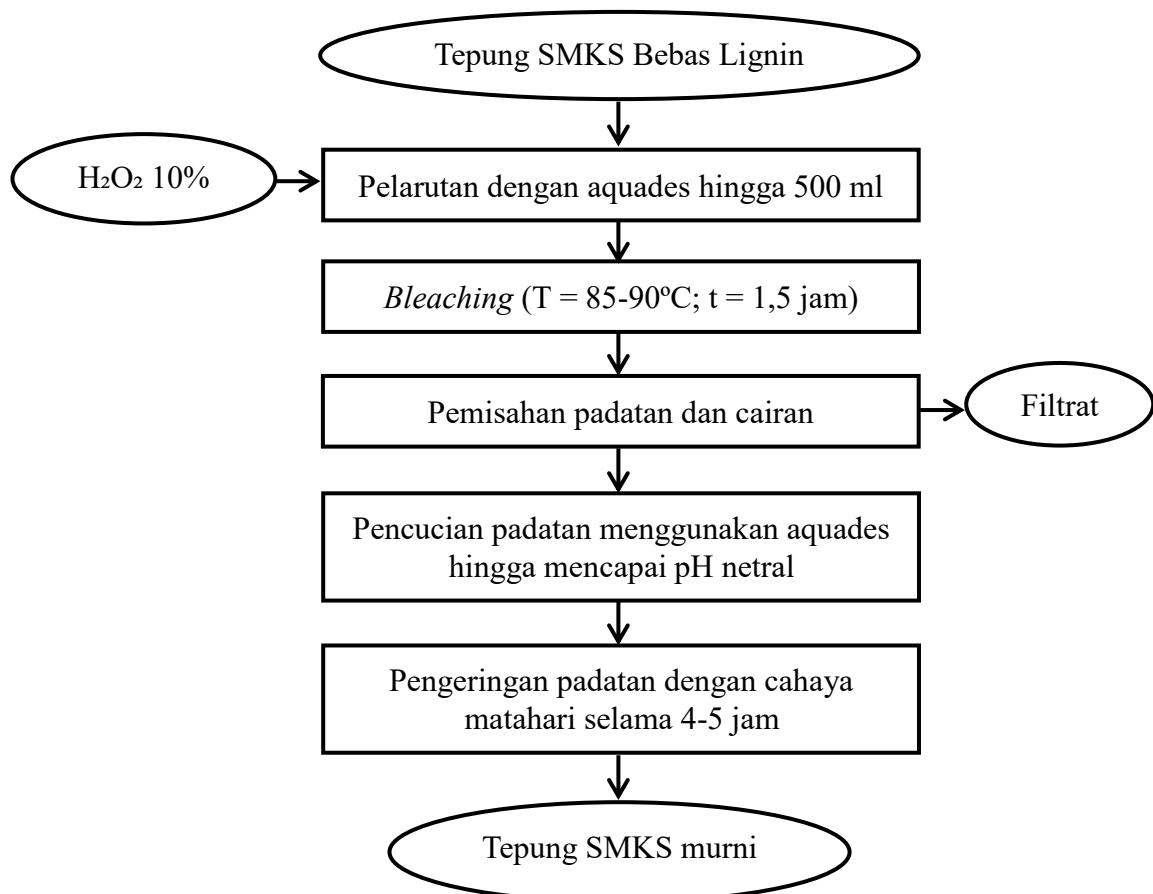
3.4.2. *Bleaching* serat mesokarp kelapa sawit (SMKS)

Proses *bleaching* SMKs ini mengacu pada penelitian Dewanti (2018). Untuk menghilangkan pigmen dan sisa lignin setelah tahap delignifikasi, maka perlu proses lanjutan yaitu proses *bleaching* dengan hidrogen peroksida (H_2O_2). Tepung SMKs dilarutkan dengan larutan H_2O_2 10% (b/v) dalam 500 mL akuades. *Bleaching* dilakukan dengan pemanasan pada suhu 85-90°C selama 1,5 jam. SMKs kemudian dicuci hingga pH netral dan dikeringkan menggunakan cahaya matahari hingga kering sekitar 4-5 jam. Selanjutnya selulosa ditimbang. Diagram alir *bleaching* SMKs disajikan pada Gambar 10 dan 11.



Gambar 10. Diagram alir pembuatan tepung dan delignifikasi serat mesokarp kelapa sawit

Sumber : Kustyawati (2024)



Gambar 11. Diagram alir bleaching tepung mesokarp kelapa sawit
Sumber : Dewanti dkk., (2018)

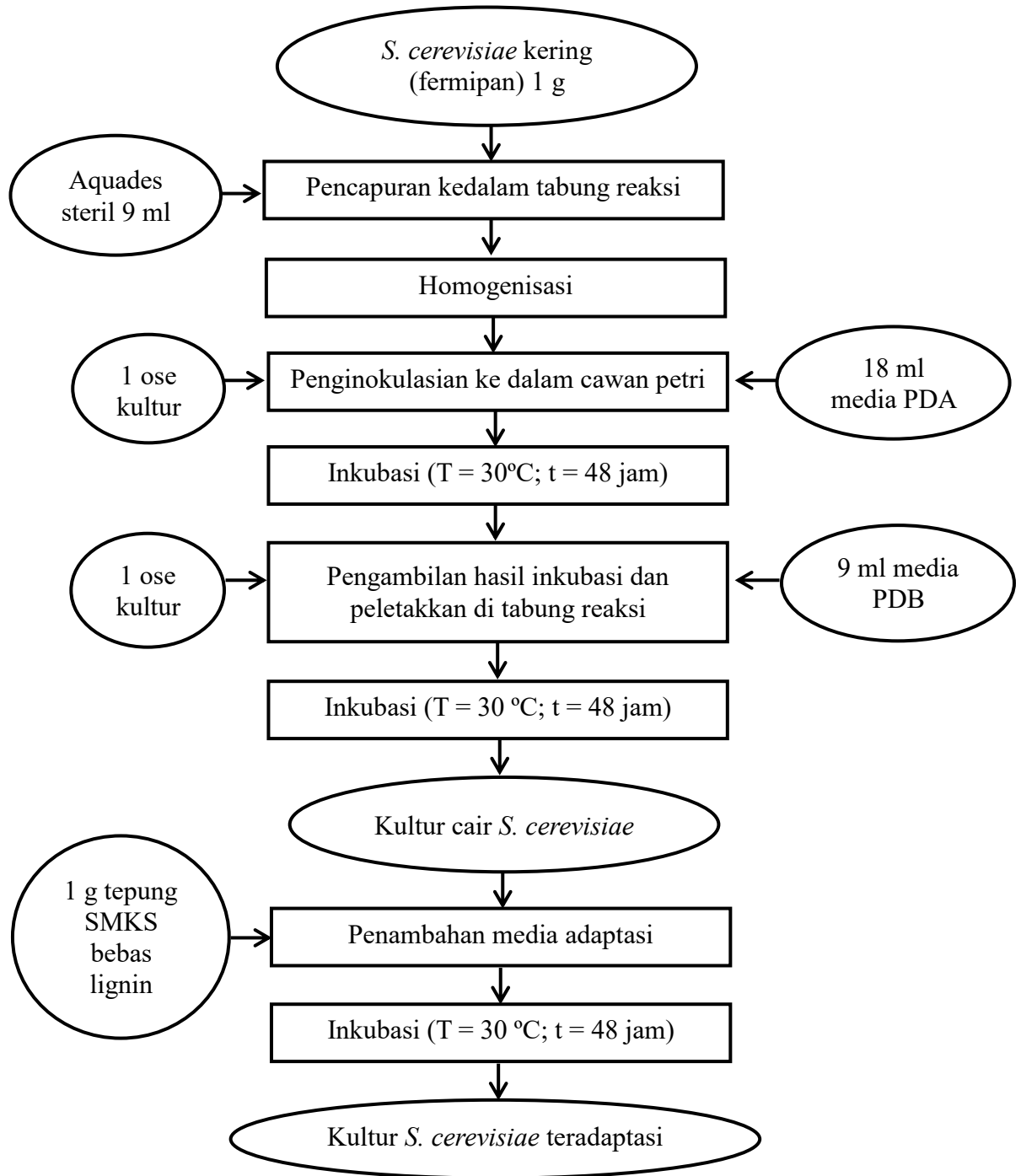
3.4.3. Persiapan kultur mikroorganisme

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 g tepung bebas lignin dan dilakukan inkubasi kembali pada suhu 30°C selama 48 jam. Kultur

teradaptasi inilah yang akan digunakan pada proses fermentasi. Diagram alir proses persiapan kultur *S. cerevisiae* disajikan pada Gambar 12.

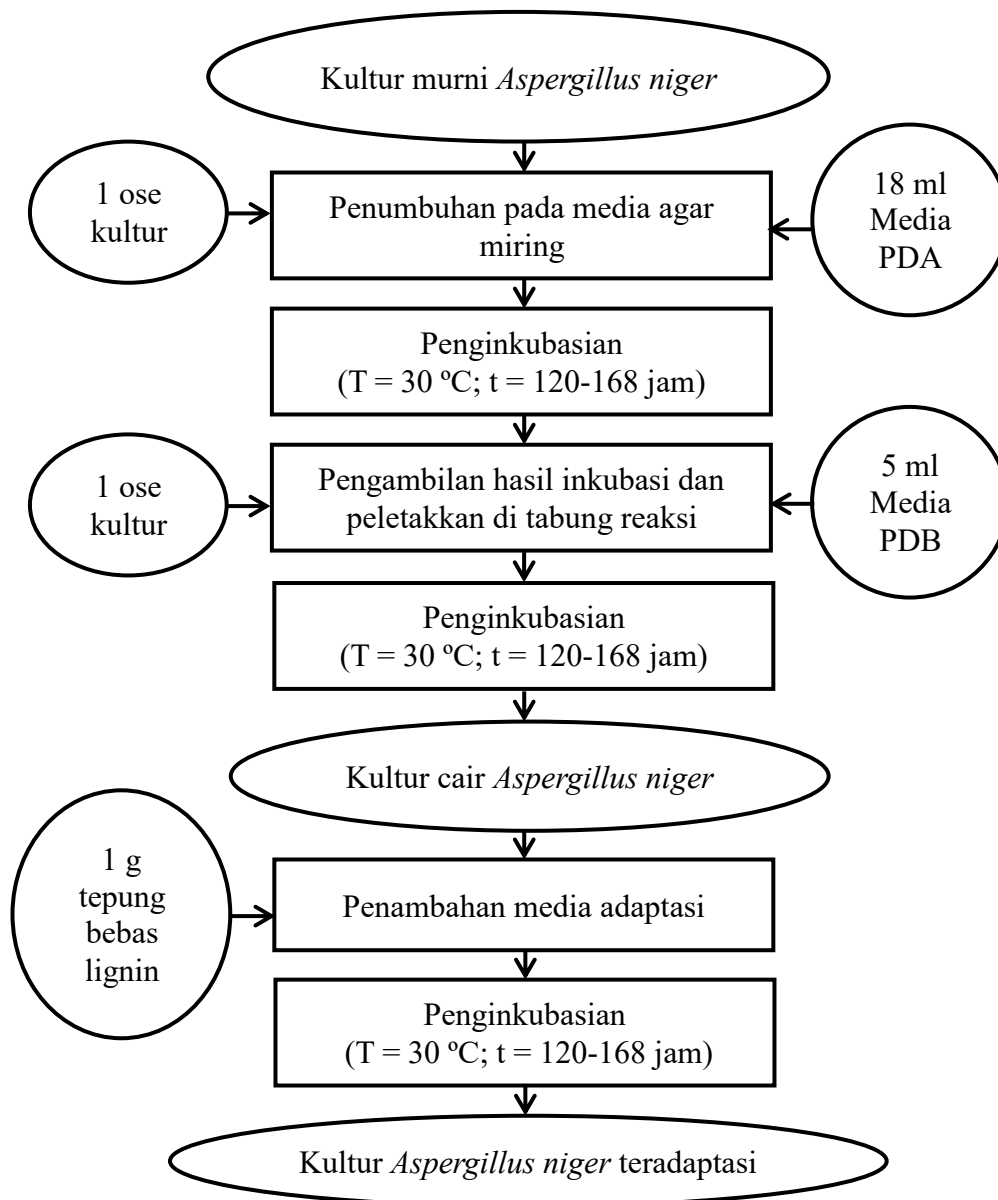


Gambar 12. Diagram alir pembiakkan dan pengadaptasian kultur *Saccharomyces cerevisiae*

Sumber : Hidayat (2024)

b. Persiapan Kultur Kapang *Aspergillus niger*

Proses peremajaan kultur bertujuan untuk meregenerasi atau memperbarui sel mikroba, menjaga ketersediaan nutrisi dan untuk menghindari adanya perubahan karakteristik dari kultur murni yang ditanam. Peremajaan mikroba dilakukan juga dengan tujuan untuk mendapatkan kultur yang aktif, karena suatu mikroba yang sebelumnya berada dalam lemari pendingin berada dalam kondisi inaktif. Kondisi mikroba yang inaktif menjadi kurang optimal ketika digunakan dalam produksi enzim. Peremajaan kultur *Aspergillus niger* dilakukan dengan cara diambil 1 ose biakan murni *Aspergillus niger* menggunakan jarum ose, kemudian ditumbuhkan pada media *Potato Dextrose Agar* (PDA) dengan kondisi aseptik yang dilakukan pada laminar *air flow* lalu diinkubasi selama 120 hingga 168 jam pada suhu kurang lebih 30°C. Setelah diinkubasi, hasil kultur terinkubasi dipindahkan ke dalam tabung reaksi sebanyak 1 ose yang berisi 5 ml media *Potato Dextrose Broth* (PDB) yang sebelumnya telah dipersiapkan dan mikroba pada media tersebut diinkubasi kembali pada suhu 30°C selama 120 hingga 168 jam. Kultur cair *Aspergillus niger* yang telah diinkubasi perlu dilakukan pengadaptasian terlebih dahulu dengan mencampurkan media adaptasi berupa 1 g tepung SMKS bebas lignin kemudian diinkubasi kembali pada suhu 30°C selama 5 hingga 7 hari. Fungsi pengadaptasian mikroba ini yaitu sebagai upaya agar pabrik sel mikroba dapat meningkat kinerjanya pada substrat utama yang akan digunakan pada proses fermentasi. Selain itu, proses pengadaptasian kultur ini juga bertujuan untuk meningkatkan toleransi mikroba terhadap kandungan yang berpotensi untuk mengoptimalkan kinerja enzim pada *Aspergillus niger* agar enzim yang diproduksi oleh mikroba tersebut dapat bekerja dengan efektif. Kultur yang telah teradaptasi inilah yang akan digunakan untuk proses fermentasi sesuai dengan kuantitas yang telah ditetapkan dan kinerja tiap enzim yang dihasilkan oleh *A. niger*. Diagram alir proses peremajaan kultur *Aspergillus niger* disajikan pada Gambar 13.

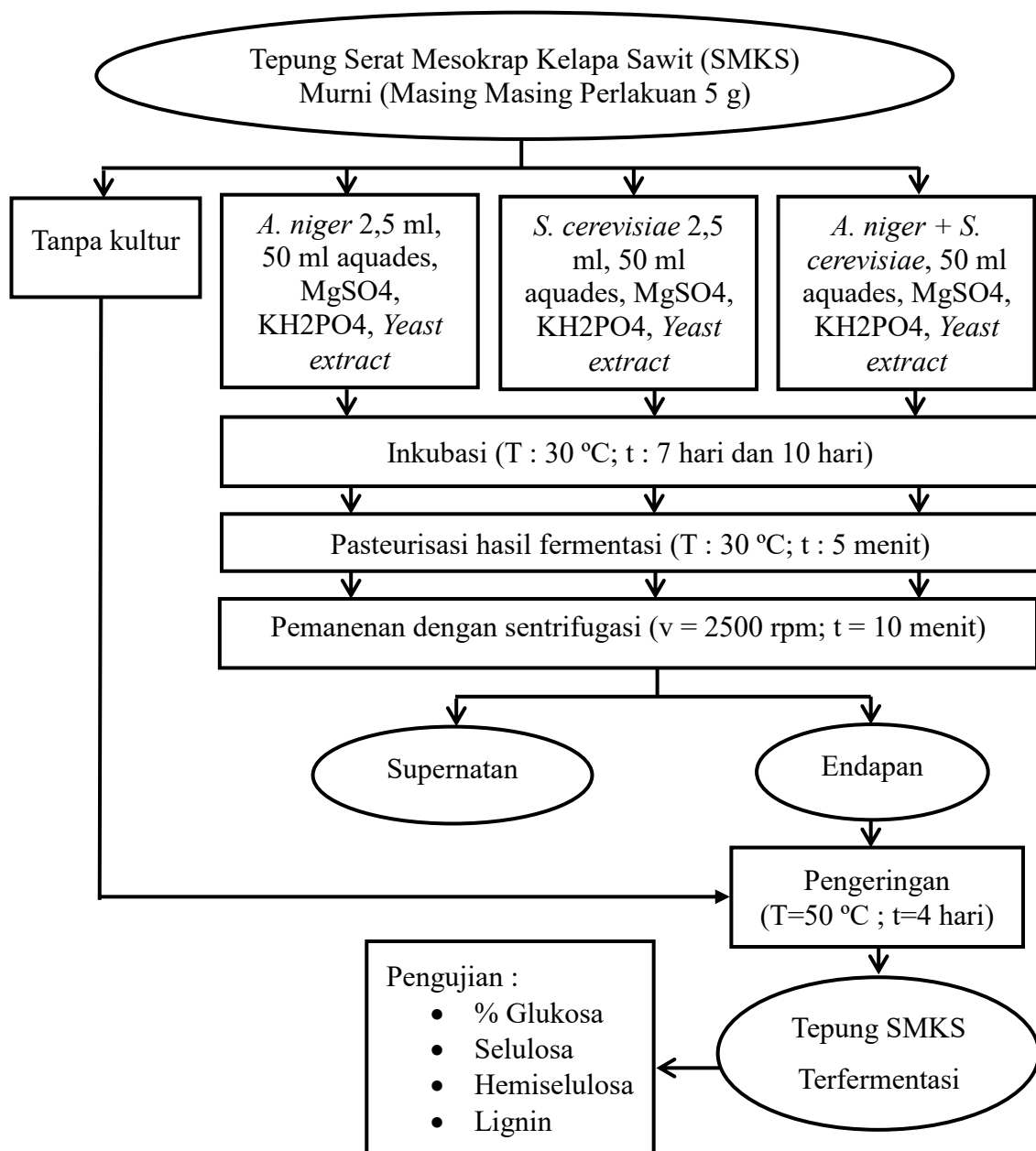


Gambar 13. Diagram alir peremajaan dan pengadaptasian kultur *Aspergillus niger*
Sumber : Hidayat (2024)

3.4.4. Proses fermentasi tepung serat mesokarp kelapa sawit (SMKS)

Proses fermentasi tepung SMKS dilakukan dengan mempersiapkan 8 erlenmeyer yang masing-masing erlenmeyer berisi 5 g tepung mesokarp bebas lignin dan ditambahkan 2,5 ml kultur sesuai dengan perlakuan serta dilakukan penambahan 50 ml aquades, MgSO_4 , KH_2PO_4 , *yeast ekstrak* 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 dengan 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 selanjutnya, yaitu proses evaporasi. Selanjutnya produk berupa tepung SMKS terfermentasi tersebut akan dilakukan uji karbohidrat pada tahap selanjutnya. Diagram alir proses fermentasi tepung mesokarp kelapa sawit disajikan pada Gambar 14.



Gambar 14. Diagram alir proses fermentasi tepung SMKS
Sumber : Hidayat (2024)

3.4.5. Pengujian karbohidrat

a. Analisis kadar karbohidrat

Tahap-tahap yang dilakukan untuk analisis sampel tepung SMKS terfermentasi mengikuti prosedur Qalsum dkk. (2015). Serbuk serat mesokarp kelapa sawit yang telah difermentasi sebanyak 1 g ditambahkan 10 ml aquades sambil diaduk. Sebanyak 13 ml asam perklorat (HClO_4) 52% ditambahkan dan diaduk selama 20 menit menggunakan magnetik stirer dengan menutup gelas kimia menggunakan aluminium foil. Aquades sebanyak 100 ml ditambahkan dan disaring ke dalam labu takar 250 ml. Aquades ditambahkan sampai batas tera labu ukur 250 ml.

b. Pengukuran kadar karbohidrat

Prosedur untuk analisis karbohidrat merujuk pada metode Qalsum dkk. (2015). Larutan glukosa standar dibuat dengan konsentrasi (0, 20, 40, 60, 80 dan 90 ppm), kemudian diambil dari masing-masing larutan sebanyak 1 ml. Sebanyak 1 ml larutan fenol 5% ditambahkan dan dikocok. Sebanyak 5 ml larutan asam sulfat pekat ditambahkan dengan cepat dan direndam di dalam air, kemudian didiamkan selama 10 menit. Tahap selanjutnya diukur absorbannya pada panjang gelombang 490 μm dan dibuat kurva standar. Lakukan pengulangan perlakuan yang sama dengan mengganti larutan standar glukosa menjadi sampel. Perlakuan dilakukan sebanyak 3 kali. Kadar karbohidrat dinyatakan dalam persen glukosa (%) = $(G)/W \times 100$ dimana G = Konsentrasi glukosa (g) dan W = Berat sampel (g) (Desyanti, 2013).

3.4.6. Analisis selulosa, hemiselulosa dan lignin

Untuk menentukan kadar lignin, selulosa dan hemiselulosa maka sampel terlebih dahulu ditentukan kadar ADF dan NDF (Van Soest, 1985).

a. Penentuan NDF (*Neutral Detergen Fiber*)

Menimbang 0,25 g (a g), lalu sampel tersebut dimasukkan kedalam tabung reaksi 50 ml, kemudian menambahkan larutan NDF, tabung kemudian ditutup rapat. Tabung kemudian dipanaskan selama 1 jam (sekali-kali dikocok). Setelah satu

jam saring sampel ke *sintred glass* No.1 yang diketahui beratnya (b g) sambil diisap dengan pompa *vacuum*. Mencuci dengan air panas lebih kurang 100 ml (secukupnya) lalu cuci dengan kurang lebih 50 ml alkohol. Sampel kemudian diovenkan pada suhu 100°C selama 8 jam. Lalu didinginkan dalam desikator selama ½ jam kemudian timbang (c g).

Kadar ADF dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\text{Kadar NDF} = \frac{C-B}{\text{Berat sampel (a)}} \times 100\%$$

dimana :

a = berat sample bahan kering

b = berat *sintered glass* kosong

c = berat *sintered glass* + residu penyaring setelah diovenkan

b. Penentuan ADF (*Acid Detergent Fiber*)

Menimbang sampel kurang lebih 0,3 g kemudian masukkan kedalam tabung reaksi 50 ml (a g) lalu menambahkan 40 ml larutan ADF kemudian tutup rapat tabung tersebut, lalu merebus tabung kedalam air mendidih selama 1 jam sambil sekali-kali dikocok. Saring dengan *sintered glass* No.1 yang telah diketahui beratnya (b g) sambil diisap dengan pompa vakum. Cuci dengan lebih kurang 100 ml air mendidih dan 50 ml alkohol. Kemudian diovenkan pada suhu 100°C selama 8 jam. Lalu didinginkan dalam desikator lebih kurang ½ jam kemudian timbang (c g).

Kadar ADF dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\text{Kadar ADF} = \frac{C-B}{\text{Berat sampel (a)}} \times 100\%$$

dimana :

a = berat sample bahan kering

b = berat *sintered glass* kosong

c = berat *sintered glass* + residu penyaring setelah diovenkan

c. Penentuan selulosa, hemiselulosa dan lignin

Sintered glass yang berisi ADF diletakkan diatas petridisk lalu ditambahkan 20 ml H₂SO₄ 72 %. Sekali-kali diaduk untuk memastikan bahwa serat terbasahi dengan H₂SO₄ 72%, dibiarkan selama 2 jam, hisap dengan pompa *vacuum* sambil dibilas dengan air panas secukupnya, sampel kemudian diovenkan selama 8 jam pada suhu 100° C atau dibiarkan bermalam lalu didinginkan ke dalam desikator kemudian timbang (d g), kemudian dimasukkan ke dalam tanur listrik atau dipanaskan hingga 500°C selama 2 jam, biarkan agak dingin kemudian dimasukkan ke dalam desikator selama ½ jam lalu ditimbang (e g).

Perhitungan :

- $\text{Kadar Lignin} = \frac{d-e}{\text{Berat sampel (a)}} \times 100\%$
- % Selulosa = % ADF - % Abu yang tak larut - lignin.
- % Hemiselulosa = % NDF - % ADF

3.5. Kelarutan

Kelarutan (*solubility*) merupakan sifat yang berkaitan dengan kemudahan molekul air untuk berinteraksi dengan molekul yang ada di dalam tepung mesokarp terfermentasi. Kelarutan adalah jumlah maksimum senyawa atau zat yang dapat larut dalam sejumlah pelarut. Metode yang digunakan untuk menguji kelarutan produk serat mesokarp terfermentasi ini yaitu metode AOAC (*Association of Official Analytical Chemists*). Sampel akan ditimbang sebanyak 1 g dan dilakukan pencampuran dengan aquades hingga 100 ml dan diaduk agar larut. Kemudian, disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan bagian yang tidak larut dalam pelarut atau *aquadest*. Berikut adalah rumus kelarutan :

$$\text{Kelarutan} = \frac{\text{Berat sampel yang larut}}{\text{Volume air yang dihasilkan}} \times 100\%$$

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Kandungan selulosa, hemiselulosa produk fermentasi serat *mesocarp* kelapa sawit pada kultur yang berbeda menghasilkan nilai selulosa dan hemiselulosa yang berbeda pula. Selulosa dengan persentase terendah dihasilkan oleh kultur campuran dengan lama fermentasi 10 hari yaitu 11,71%, begitu pula dengan hemiselulosa terendah dihasilkan oleh kultur campuran dan lama fermentasi 10 hari yaitu 2,23%. Kelarutan dengan kultur yang berbeda menghasilkan nilai yang berbeda, dimana kelarutan paling tinggi didapatkan oleh kultur *Aspergillus niger* yaitu 6,60% dan kelarutan paling rendah didapatkan oleh kultur *S. cerevisiae* yaitu 5,27%.
2. Perbedaan kultur dan lama fermentasi berpengaruh terhadap kandungan selulosa dan hemiselulosa produk, namun tidak berpengaruh pada kandungan lignin akhir produk. Kultur terbaik yang berperan dalam fermentasi selulosa dan hemiselulosa yaitu kokultur campuran *Aspergillus niger* dan *Sacharomyces cerevisiae*, sedangkan waktu fermentasi terbaik yaitu pada lama fermentasi 10 hari.

5.2. Saran

Saran dari penelitian ini adalah perlunya penelitian lebih lanjut untuk mengkaji parameter lain yang berpotensi berpengaruh dari hasil fermentasi menggunakan kultur tunggal maupun campuran, sehingga dapat diteruskan pada pengaplikasian produk hasil fermentasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul, E., Shaheen, A.M., Rizk, F.A., and Hafed, M.M. 2010. Influence of irrigation intervals and potassium fertilization on productivity and quality of onion plant. *Jurnal Academi Research*. 2(1):110-116.
- Adri, W., Mardiah, E., dan Afrizal. 2013. Produksi enzim selulase dari *Aspergillus niger* dan kemampuannya menghidrolisis sekam padi. *Jurnal Kimia Unand*. 2(2):103-108.
- Adryani, R., dan Maulida. 2014. Pengaruh ukuran partikel dan komposisi abu sekam padi hitam terhadap sifat kekuatan komposit tidak jenuh. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 3(4):31-36.
- Afriani, M. 2012. Pengaruh Fermentasi dan Konsentrasi Ragi Roti terhadap Kadar Bioetanol dari Fermentasi Glukosa Hasil Hidrolisis Selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit. (Skripsi). Departemen Kimia. Universitas Sumatra Utara. 76 Halaman.
- Agustining, D. 2012. Daya Hambat *Saccharomyces cerevisiae* terhadap Pertumbuhan Jamur *Fusarium oxysporum*. (Skripsi). Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan. Universitas Jember. 80 Halaman.
- Aini. 2016. Sifat fisik, kimia, dan fungsional tepung jagung yang diproses melalui fermentasi. *Agritec*. 36(2):160–169.
- Ariyani, S., Asmawit, dan Utomo, P. P. 2014. Optimasi waktu inkubasi produksi enzim selulase oleh *Aspergillus niger* menggunakan fermentasi substrat padat. *Jurnal Biopropal Industri*. 5(2):61-67.
- Azzahro, H.U., Nastiti, S.I., dan Andes, I. 2022. Penerapan produksi bersih pada 45erkebun kelapa sawit di PT YZ. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 32(1):1-11.
- Bhatt, J. 2022. Classification of monosaccharide, disaccharide and polysaccharide. *Journal of Glycomics & Lipidomics*. 11(1):1–2.
- Chieng, B.W., Syn, H.L., Nor, A.I., Yoon, Y.T., and Yuet, Y.L. 2017. Isolation and characterization of cellulose nanocrystals from oil palm mesocarp fiber. *Polymers*. 9(8):1-17.

- 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.
- Desyanti, M. 2013. Metode analisis kualitatif dan kuantitatif karbohidrat. *Jurnal Politeknik Kesehatan Denpasar*. 2(1):2-3.
- Dirgantoro, M. A. dan Adawiyah, R. 2019. Nilai ekonomi pemanfaatan limbah kelapa sawit menuju *zero waste production*. *Bio Wallacea Jurnal Penelitian Biologi (Journal of Biological Research)*. 5(2):825.
- E. Utarti dan Siswanto. 2018. Limbah berlignoselulosa sebagai media produksi xilanase kapang asal jerami padi sawah pantai. *Jurnal Ilmu Dasar*. 19(2):117–124.
- Gillet, S., Aguedo, M., Petitjean, L., Morais, A.R.C., Da Costa Lopes, A.M., Łukasik, R.M., and Anastas, P.T. 2017. Lignin transformations for high value applications: Towards targeted modifications using green chemistry. *Green Chem*. 19:4200–4233.
- Hanifa, A. 2018. Degradasi Komponen Selulosa, Hemiselulosa, dan Pati Tepung Kulit Ubi Kayu Menjadi Gula Pereduksi Oleh *Aspergillus niger*, *Trichoderma viride* dan *Acremonium sp.* (Skripsi). Jurusan Teknologi Hasil Pertanian. Universitas Jember. Jember. 71 Halaman.
- Hidayat, L. 2024. Potensi Prebiotik Selulosa Serat Kelapa Sawit terhadap Pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* dan *Eschericia coli*. (Skripsi). Fakultas Petanian. Universitas Lampung. 65 Halaman.
- Karim, I., Syahrudin., dan Syamsul, B. 2023. Kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin jerami padi yang difermentasi dengan berbagai probiotik. *Jurnal of Animal Science*. 6(1):13-21.
- Kurniawan, E., Z. Ginting, Dan P. Nurjannah. 2017. Pemanfaatan *Urine* Kambing Pada Pembuatan Pupuk Organik Cair terhadap Kualitas Unsur Hara Makro (NPK). (Skripsi). Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah. Jakarta. 68 Halaman.
- Latifah. 2015. Identifikasi Golongan Senyawa Flavonoid dan Uji Aktivitas Antioksidan Pada Ekstrak Rimpang Kencur (*Kaempferia galanga* L). dengan Metode DPPH (1,1-difenil-2- pikrilhidrazil)". (Skripsi). Jurusan Kimia. Universitas Islam Negeri Maulana Ibrahim. Malang. 61 Halaman.
- Liu, X., He, X., Huang, G., Zhou, Y., and Lai, J. 2021. Bioremediation by the mullet mugil cephalus feeding on organic deposits produced by intensive shrimp mariculture. *Journal of Aquaculture*. 541:736674.

- Nasution, S.H. 2014. Pertumbuhan bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) pada berbagai perbandingan media tanam *solid decanter* dan tandan kosong kelapa sawit pada sistem singlestage. *Jurnal Online Agroteknologi*. 2(2):691-701.
- Nata, I. F., Norlina, dan Pangesti, M. 2016. Biokonversi serat kelapa sawit menjadi glukosa dengan *diluted-acid hydrothermal treatment*. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*. 5(1):8-13.
- Nelson dan Suparjo.2011. Penentuan lama fermentasi kulit buah kakao dengan *Phanerochaete chrysosporium*: evaluasi kualitas nutrisi secara kimiawi. *AGRINAK*. 1(1):1-10.
- Nurhayati. 2011. Penggunaan Jamur dan Bakteri dalam Pengendalian Penyakit Tanaman Secara Hayati yang Ramah Lingkungan. (Skripsi). Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan. Fakultas Pertanian. Universitas Sriwijaya. 95 Halaman.
- Pahan, I. 2012. *Panduan Lengkap Kelapa Sawit Manajemen Agribisnis dari Hulu Ke Hilir*. Penebar Swadaya. Jakarta. 180 Halaman.
- Pambudi, D. B., Safitri, W. A., dan Muthoharoh, A. 2019. Potensi penyakit penyerta pada pengobatan pasien diabetes mellitus perspektif terhadap antidiabetik oral. *Jurnal Ilmiah Kesehatan (JIK)*. 7(2):135-149.
- Pasaribu, N. 2004. Minyak Buah Kelapa Sawit. *Jurnal Fakultas Kimia USU*. 2(1):21-34.
- Pertiwi, N. 2016. Kandungan Selulosa, Hemiselulosa dan Tanin Limbah Kulit Kopi yang difermentasi Menggunakan Jamur *Aspergillus niger* dan *Trichoderma viride*. (Skripsi). Fakultas Peternakan. Universitas Hasanuddin. 87 Halaman.
- Purkan, Purnama, H., 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.
- Putri, S. 2016. Karakterisasi Enzim Selulase yang dihasilkan oleh *Lactobacillus plantarum* pada Variasi Suhu, pH, dan Konsentrasi Substrat. (Skripsi). Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. Malang. 69 Halaman.
- Qalsum, U., Diah, A.W., dan Supriadi. 2015. Analisis kadar karbohidrat, lemak dan protein dari tepung biji mangga (*Mangifera indica* L) jenis gadung. *Jurnal Akademi Kimia*. 4(4):168-174.

- Rachma, A. S., E. Kusdiyantini dan M. G. I. Rukmi. 2017. Produksi selulase oleh kapang *Aspergillus sp.* Hasil isolasi dari limbah pengolahan sagu (*Metroxylon sp.*) dengan variasi konsentrasi 48erkebun pada fermentasi terendam statis. *Jurnal Biologi*. 6(1):11–20.
- Rahmasita, M. E. 2017. Analisa morfologi serat tandan kosong kelapa sawit sebagai penguat komposit absorpsi suara. *Teknik Institut Teknologi Sepuluh Nopember*. 6(2):2337-3520.
- Refai, M., Yazid, H.A., and Hassan, A. 2014. Monograph on *Aspergillus* and *Aspergillosis* in Man , Animals and Birds. (Thesis). Departement of Microbiology Faculty of Veterinary Medicine. Cairo University. 100 Halaman.
- Riwayati, I., Chairul, A., dan Maharani, F. 2020. Pengaruh suhu dan proses modifikasi *heat moisture treatment* (HMT) pada tepung kulit singkong terhadap sifat kelarutan dan *swelling power*. *Jurnal Teknik Kimia*. 5(1):50-55.
- Rosa, R.N., dan Sofyan, Z. 2017. Pengelolaan pembibitan tanaman kelapa sawit (*Elais Guineensis Jacq.*) di Kebun Bangun Bandar, Sumatera Utara. *Jurnal Buletin Agrohorti*. 5(3):325-333.
- Sahid, S., Budi, A., dan Imam, H. 2022. Pengaruh lama fermentasi terhadap kandungan lignin dan selulosa silase tebon jagung (*Zea mays*) dengan aditif dedak fermentasi. *Jurnal Nutrisi Ternak Tropis dan Ilmu Pangan*. 4(1):1-9.
- Sembiring, Y. S. 2013. Potensi Ubi Jalar sebagai Bahan Baku Bioetanol: Kajian Proses Likuifikasi dan Sakarifikasi Fermentasi Simultan. (Skripsi). Fakultas Teknologi Pertanian. Universitas Udayana. Bali. 68 Halaman.
- Setiati, R., Wahyuningrum, S. Siregar, dan Marhaendrajana. 2016. Optimasi pemisahan lignin ampas tebu dengan menggunakan natrium hidroksida. *Jurnal Ethos*. 4(2):257-264.
- Sukoco, S. N. 2010. Aplikasi *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia ohmeri*, dan *Gluconobacter thailandicus* dalam Bentuk Sel Bebas dan Terimmobilisasi Gel Alginat untuk Produksi Arabitol dan Xylitol Nira Tebu. (Skripsi). Jurusan Teknologi Hasil Pertanian. Fakultas Teknologi Pertanian. Universitas Jember. 79 Halaman.
- Sumada, K. 2011. Kajian Proses Isolasi Alfa Selulosa dari Limbah Batang Tanaman *Manihot esculenta Crantz* yang Efisien. (Skripsi). Fakultas Teknologi Industri. UPN. Jawa Timur. 88 Halaman.
- Sunarko. 2009. *Petunjuk Praktis Budidaya dan Pengolahan Kelapa Sawit*. Agromedia Pustaka. Jakarta. 212 Halaman.

- Susilawati, S., dan Supijanto, S. 2015. Pengelolaan limbah kelapa sawit (*Elaeis guineensis Jacq.*) di Perkebunan kelapa Sawit Riau. *Jurnal Buletin Agrohorti* 3. 2(1):203– 212.
- Susilo, Y. 2017. Kandungan Selulosa, Hemiselulosa dan Lignin Serat Sawit Hasil Fermentasi Jamur Pelapuk. (Skripsi). Fakultas Peternakan. Universitas Hasanuddin. Makassar. 92 Halaman.
- Syahputra, E., Sarbino, dan S. Dian. 2011. *Weed assessment* di 49 perkebunan kelapa sawit lahan gambut. *Jurnal Teknik Perkebunan dan PSDL*. (1):7-42.
- Tang, H., Hou, J., Shen, Y., Xu, L., Yang, H., Fang, X., and Bao, X. 2013. High β -glucosidase secretion in *Saccharomyces cerevisiae* improves the efficiency of cellulase hydrolysis and ethanol production in simultaneous saccharification and fermentation. *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 23(11):1577-1585.
- Trinanda, A. M. 2015. Studi Aktivitas Bakteri Asam Laktat (*L. plantarum* dan *L. fermentum*) terhadap Kadar Protein melalui Penambahan Tepung Kedelai pada Bubur Instan Terfermentasi. (Skripsi). Program Studi Kimia. Jurusan Pendidikan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Yogyakarta. 75 Halaman.
- Wang, X. T., Zhu, Y., Zhao, L., Sun, Meng, M., Zhang, J. Y., and Zhang, Y. M. 2016. Structural characterization and inhibitory activity of α -D-glucosides on non-starch polysaccharides from *Fagopyrum tartaricum*. *Carbohydrate Polymer*. 153:679–685.
- Wardani, A.K., dan Pertiwi. 2013. Produksi etanol dari tetes tebu oleh *Saccharomyces cerevisiae* pembentuk flok. *Agritech*. 33(2):131-139.
- Yi, J.C., Sandra, J.C., John, A.B. and Shu, T.C. 1999. Production and distribution of endoglucanase, cellobiohydrolase, and β -glucosidase components of the cellulolytic system of *Volvariella volvaceae*, the edible straw mushroom. *Journal of Microbiol.* 65(2):553-559.
- Zahro, F. 2014. Isolasi dan Identifikasi Bakteri Asam Laktat Asal Fermentasi Markisa Ungu (*Pasiflora edulis* var. *sims*) sebagai Penghasil Eksopolisakarida. (Skripsi). UIN Malang. Malang. 73 Halaman.
- Zhao, X., Zhang, L., and Liu, D. 2012. Biomass recalcitrance. Part I: the chemical compositions and physical structures affecting the enzymatic hydrolysis of lignocellulose. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. 6(4):465–482.