PENGARUH KETEBALAN TUMPUKAN BUNGKIL INTI SAWIT DAN KONSENTRASI STARTER *ASPERGILLUS NIGER* BUATAN TERHADAP KARAKTERISTIK FISIK DAN KIMIA HASIL FERMENTASI

(SKRIPSI)

Oleh

NURUL HASANAH
2154051014

JURUSAN TEKNOLOGI HASIL PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG

2025

ABSTRACT

EFFECT OF PALM KERNEL MEAL STACK THICKNESS AND HOMEMADE *ASPERGILLUS NIGER* STARTER CONCENTRATION ON PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF FERMENTATION PRODUCTS

By

NURUL HASANAH

Palm kernel cake, as a by-product of the palm oil industry, has the potential to become a raw material for fish feed because it has a high protein content, but the high fiber content in BIS can interfere with the digestibility of fish feed. One of the efforts that can be made to increase protein and reduce BIS fiber content is by fermentation using *Aspergillus niger*. This study aimed to determine the thickness of the BIS pile and the best concentration of *A. niger* to produce physical and chemical characteristics of fermentation results. This research was organized using a descriptive method with six treatments and three replications. The first treatment was substrate thickness, consisting of three levels (1.5 cm, 2.5 cm, and 3.5 cm). The second treatment was the concentration of *A. niger*, which consisted of two levels (2.5% and 5%). The results showed that the best treatment was obtained at 5% concentration of *A. niger* and a 1.5 cm thickness of palm kernel cake substrate. The treatment resulted in protein content of 18.48%, crude fiber 17.2%, ash content 7.17%, moisture content 2.46%, and fat content 2.19%.

Keyword : *Aspergillus niger,* fermentation, feed, palm kernel meal.

ABSTRAK

PENGARUH KETEBALAN TUMPUKAN BUNGKIL INTI SAWIT DAN KONSENTRASI STARTER *ASPERGILLUS NIGER* BUATAN TERHADAP KARAKTERISTIK FISIK DAN KIMIA HASIL FERMENTASI

Oleh

NURUL HASANAH

Bungkil inti sawit (BIS) sebagai hasil samping industri minyak sawit berpotensi untuk menjadi bahan baku pakan ikan karena memiliki kandungan protein, namun kadar serat yang cukup tinggi pada BIS dapat mengganggu kecernaan pakan ikan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan protein serta menurunkan kadar serat BIS adalah dengan fermentasi menggunakan *Aspergillus niger*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui ketebalan tumpukan BIS dan konsentrasi *A. niger* terbaik untuk menghasilkan karakteristik fisik dan kimia hasil fermentasi. Penelitian ini dianalisis dengan metode deskriptif dengan enam perlakuan dan tiga kali ulangan. Perlakuan pertama adalah ketebalan substrat yang terdiri dari tiga taraf yaitu 1,5 cm, 2,5 cm, dan 3,5 cm. Perlakuan kedua adalah konsentrasi *A. niger* yang terdiri dari dua taraf yaitu 2,5% dan 5%. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan terbaik diperoleh pada konsentrasi *A. niger* 5% dan ketebalan substrat 1,5 cm. Perlakuan tersebut menghasilkan BIS terfermentasi dengan kadar protein sebesar 18,48%, serat kasar 17,2%, kadar abu 7,17%, kadar air 2,46%, dan kadar lemak 2,19%.

Kata Kunci : *Aspergillus niger*, bungkil inti sawit, fermentasi, pakan.

PENGARUH KETEBALAN TUMPUKAN BUNGKIL INTI SAWIT DAN KONSENTRASI STARTER *ASPERGILLUS NIGER* BUATAN TERHADAP KARAKTERISTIK FISIK DAN KIMIA HASIL FERMENTASI

Oleh

NURUL HASANAH

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN

Pada

Jurusan Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung

FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025

Judul Skripsi	:	**PENGARUH KETEBALAN TUMPUKAN BUNGKIL INTI SAWIT DAN KONSENTRASI STARTER *ASPERGILLUS NIGER* BUATAN TERHADAP KARAKTERISTIK FISIK DAN KIMIA HASIL FERMENTASI**
Nama Mahasiswa	:	Nurul Hasanah
Nomor Pokok Mahasiswa	:	2154051014
Program Studi	:	Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas	:	Pertanian

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Samsul Rizal, M.Si.	**Diki Danar Tri Winanti, S.T.P., M.Si.**
NIP. 19690225 199403 1 002	NIP. 19881104 201903 2 014

2. Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian

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

Scanned with CamScanner

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

Sekretaris : **Diki Danar Tri Winanti, S.T.P., M.Si.**

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

2. Dekan Fakultas Pertanian

Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.
NIP. 19641118 198902 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **25 Juni 2025**

Scanned with CamScanner

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nurul Hasanah
NPM : 2154051014

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

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

Bandar Lampung, 25 Juni 2025
Yang membuat pernyataan

Nurul Hasanah
NPM. 2154051014

Scanned with CamScanner

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bandarlampung, Provinsi Lampung pada tanggal 23 Januari 2003 sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara, dari pasangan Bapak Nurman Abdul Hakim dan Ibu Bina Unteawati.

Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SDIT Permata Bunda pada tahun 2015, kemudian melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di SMPIT Fitrah Insani dan lulus pada tahun 2018, Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan sekolah menengah atas di SMAN 5 Bandarlampung dan lulus pada tahun 2021. Penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada tahun 2021.

Pada bulan Januari-Februari 2024, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sri Menanti, Kecamatan Negara Batin, Kabupaten Way Kanan, Provinsi Lampung. Pada bulan Juli-Agustus 2024, penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di CV. Quilla Herbal Indonesia Sejahtera, Bandung dengan judul "Mempelajari Proses Produksi Sacha Inchi Oil di CV. Quilla Herbal Indonesia Sejahtera".

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam berbagai kegiatan kemahasiswaan. Penulis pernah meraih Insentif PKM GFT 2022, menjadi asisten dosen pada mata kuliah Kimia Dasar 2023, dan menjadi Anggota Bidang Seminar dan Diskusi HMJ THP FP Unila periode kepengurusan 2023.

SANWACANA

Puji dan syukur penulis haturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan anugerah serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Pengaruh Ketebalan Tumpukan Bungkil Inti Sawit dan Konsentrasi Starter *Aspergillus niger* Buatan terhadap Karakteristik Fisik dan Kimia Hasil Fermentasi" sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pertanian di Universitas Lampung ini dengan baik. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini telah banyak mendapatkan arahan, bimbingan, bantuan, nasihat, serta dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh sebab itu, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A., C.EIA., selaku Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Samsul Rizal, M.Si., selaku Koordinator Program Studi Teknologi Hasil pertanian, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, sekaligus Dosen Pembimbing Pertama yang telah memberikan bimbingan, bantuan, kritik, saran, arahan dan nasihat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Ibu Diki Danar Tri Winanti, S.T.P., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik sekaligus Dosen Pembimbing Kedua yang telah memberikan bimbingan, bantuan, arahan, dan dukungan kepada penulis selama menjalani perkuliahan hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

5. Ibu Prof. Dr. Sri Hidayati, S.T.P., M.P., selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan saran, nasihat, dan evaluasi dalam perbaikan dan penyelesaian skripsi ini.
6. Seluruh Bapak dan Ibu dosen pengajar di Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung atas ilmu, kebaikan, dan bimbingan yang diberikan selama menjalani perkuliahan.
7. Orang tua tercinta Bapak Nurman Abdul Hakim dan Ibu Bina Unteawati atas segala kasih sayang, dukungan, motivasi, semangat, nasihat, fasilitas, serta doa yang selalu menyertai penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan studinya hingga meraih gelar sarjana.
8. Kakak-kakak tersayang Nurul Utami, Nurul Hidayati, Hidayat Saputra, dan Arif Setiawansyah yang telah memberikan dukungan dan doa kepada penulis.
9. Sahabat seperjuangan kuliah Frily Aurelia, Yasmeen Basir, Shabrina Maharani, Mellisa Marzalena, Yosnita Anggriani, Nyoman Tri Gangga, dan Randi Aziz yang selalu berbagi cerita, memberikan semangat, serta membantu penulis selama perkuliahan hingga penyelesaian skripsi ini.
10. Teman satu penelitian Alfan Surya Wijaya yang telah membantu penulis dari tahap penelitian hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
11. Teman-teman jurusan THP FP Unila angkatan 2021 atas pengalaman, dukungan, motivasi, dan kebersamaannya.
12. Semua pihak yang telah berperan dalam penyusunan dan penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga segala kebaikan yang telah diberikan mendapatkan berkah dari Allah SWT dan semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat untuk kita semua.

Bandar Lampung, 25 Juni 2025
Penulis,

Nurul Hasanah

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI ..... **xi**

DAFTAR TABEL ..... **xiii**

DAFTAR GAMBAR ..... **xiv**

I. PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang dan Masalah …….. 1

1.2 Tujuan…… 3

1.3 Kerangka Pemikiran…… 3

1.4 Hipotesis…… 4

II. TINJAUAN PUSTAKA **5**

2.1 Bungkil Inti Sawit……..... 6

2.2 Fermentasi ……. 7

2.3 *Aspergillus niger*…… 9

2.4 *Scale-up* …… 10

III. METODE PENELITIAN **11**

3.1 Waktu dan Tempat…….. 11

3.2 Alat dan Bahan……..... 11

3.3 Metode Penelitian……... 11

3.4 Rancangan Percobaan……. 12

3.5 Prosedur Penelitian…… 12

3.5.1 Pembuatan Starter *Aspergillus niger* 13

3.5.2 Total Mikroba 14

3.5.3 Preparasi Bungkil Inti Sawit 15

3.5.4 Fermentasi Bungkil Inti Sawit 15

3.6 Pengamatan Hasil Penelitian……... 17

3.6.1 Kadar Air 17

3.6.2 Kadar Abu..... 17
3.6.3 Kadar Protein..... 18
3.6.4 Kadar Serat Kasar..... 18
3.6.5 Suhu..... 20
3.6.6 pH 20
3.6.7 Kadar Lemak 20

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN..... 21

4.1 Total *Aspergillus niger*……... 21

4.2 Derajat Keasaman (pH)…….. 21

4.3 Suhu…… 24

4.4 Kadar Air…… 28

4.5 Kadar Abu……... **Error!**

Bookmark not defined.

4.6 Kadar Protein…….. **Error!**

Bookmark not defined.

4.7 Kadar Serat……. 37

4.8 Perlakuan Terbaik……... 40

V. KESIMPULAN DAN SARAN 43

5.1 Kesimpulan……. 43

5.2 Saran……... 43

DAFTAR PUSTAKA..... 44

LAMPIRAN..... 51

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Hasil analisis de Garmo pada BIS yang difermentasi dengan *A. niger*	42
2. Karakteristik kimia pada perlakuan terbaik bungkil sawit fermentasi..	37
3. Data rata-rata pengamatan pH fermentasi BIS.....	53
4. Data rata-rata pengamatan suhu bagian dalam substrat fermentasi BIS	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Bungkil inti sawit.	6
2. Mekanisme penguraian struktur kompleks: (a) Selulosa oleh selulase, (b) Xilan oleh xilanase, (c) Protein oleh protease	8
3. *Aspergillus niger* pada perbesaran 40x.	9
4. Diagram alir proses pembuatan starter *Aspergillus niger*.	13
5. Preparasi bungkil inti sawit.	15
6. Diagram alir proses fermentasi bungkil inti sawit	16
7. Kadar pH BIS terfermentasi dengan *A. niger* pada berbagai konsentrasi dan variasi ketebalan tumpukan.	22
8. Suhu bagian dalam BIS terfermentasi dengan *A. niger* pada berbagai konsentrasi dan variasi ketebalan tumpukan..	24
9. Suhu permukaan BIS terfermentasi dengan *A. niger* pada berbagai konsentrasi dan variasi ketebalan tumpukan..	25
10. Kadar air BIS terfermentasi dengan *A. niger* pada berbagai konsentrasi dan variasi ketebalan tumpukan.	29
11. Kadar abu BIS terfermentasi dengan *A. niger* pada berbagai konsentrasi dan variasi ketebalan tumpukan.	32
12. Kadar protein BIS terfermentasi dengan *A. niger* pada berbagai konsentrasi dan variasi ketebalan tumpukan.	34
13. Kadar serat kasar BIS terfermentasi dengan *A. niger* pada berbagai konsentrasi dan variasi ketebalan tumpukan.	37
14. Pengayakan	55
15. Pencampuran	55
16. Sterilisasi	55
17. Penimbangan	55
18. Pencampuran	55
19. Fermentasi	55

20. Pengeringan..... 55
21. Hasil fermentasi. 55
22. Uji TPC 56
23. Pengujian kadar abu. 56
24. Pengujian kadar air..... 56
25. Pengujian kadar protein..... 57
26. Pengujian kadar serat kasar. 57
27. Pengujian kadar lemak……. 58

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Indonesia menduduki posisi teratas sebagai produsen minyak sawit terbesar global, dengan kontribusi mencapai 58% dari total produksi *crude palm oil* di seluruh dunia (Sulaiman dkk., 2024). Total produksi kelapa sawit Indonesia pada tahun 2023 sebanyak 46,98 juta ton. Angka tersebut meningkat dari tahun 2022 dengan total produksi 46,82 juta ton. Produksi kelapa sawit Indonesia menjadi yang terbesar diantara tanaman perkebunan lain seperti kelapa, karet, kopi, kakao, tebu, dan teh (BPS, 2022; BPS, 2023). Tingginya produksi kelapa sawit Indonesia beriringan dengan meningkatnya jumlah bungkil inti sawit yang dihasilkan sebagai produk sampingan industri pengolahan minyak kelapa sawit. Bungkil inti sawit (BIS) adalah produk sampingan yang dihasilkan dari proses ekstraksi minyak dari inti buah sawit (Silitonga dkk., 2015). Menurut penelitian Puastuti dkk. (2014), setiap satu tandan buah segar yang diolah akan menghasilkan sekitar 3,5% bungkil inti sawit.

Analisis komposisi bungkil inti sawit menunjukkan kandungan beragam, dengan protein kasar mencapai 15,74% dan bahan kering sebesar 89,73%. Selain itu, bungkil inti sawit juga mengandung lemak kasar 7,20%, serat kasar 20,42%, serta komponen struktural seperti lignin 14,19%, selulosa 25,26%, dan hemiselulosa 28,61%. Lebih lanjut, bungkil inti sawit memiliki nilai NDF (*Neutral Detergent Fiber*) 65,26% dan ADF (*Acid Detergent Fiber*) 36,65% (Syafei, 2017). Kandungan mannan yang terkandung pada bungkil inti sawit memiliki sifat sebagai anti nutrisi. Senyawa β-mannan, yang bersifat anti-nutrisi, dapat memicu pembentukan antibodi karena struktur molekulnya menyerupai agen patogen

(Busta dkk., 2017). Perlu proses pengolahan khusus untuk mengurangi kandungan serat kasar dan mannan dalam bungkil inti sawit, dengan tujuan meningkatkan efektivitas pemanfaatannya.

Upaya dalam menanggulangi zat antinutrisi mannan yaitu dengan melakukan fermentasi pada bungkil inti sawit menggunakan *Aspergillus niger*. *A. niger* juga menjadi salah satu spesies fungi yang sering dimanfaatkan dalam fermentasi pada industri pangan dan pakan hewan. Kapang ini dikenal memiliki keunggulan dalam menguraikan komponen selulosa dan hemiselulosa. Oleh karena itu, penggunaan *A. niger* dapat meningkatkan nilai gizi serta memperbaiki daya cerna bahan-bahan yang digunakan sebagai pakan (Muwakhid dkk., 2023). Penggunaan kapang *A. niger* dalam proses fermentasi sangat efektif karena karakteristiknya yang menguntungkan. Kapang ini memiliki kemampuan untuk menguraikan selulosa (selulolitik) dan bersifat aerobik, serta mampu berkembang biak dengan pesat. *A. niger* menghasilkan berbagai enzim penting, termasuk selulase dan mananase. Enzim selulase yang dihasilkan dari fermentasi *A. niger* dapat dimanfaatkan untuk memecah komponen serat (Prasetyo dkk., 2024).

Penelitian ini menggunakan starter *A. niger* yang diproduksi sendiri. Starter siap pakai memiliki harga yang tinggi di pasaran. Selain itu, produk tersebut juga sulit untuk diperoleh. Oleh karena itu, untuk menjamin keberlanjutan usaha, perlu dilakukan pembuatan starter secara mandiri. Pembuatan starter sendiri diharapkan dapat menghasilkan kualitas yang setara atau bahkan lebih baik dibandingkan dengan starter siap pakai.

Proses fermentasi dapat diimplementasikan dalam tiga skala berbeda: laboratorium, *pilot plant*, dan industri. Pengujian kemampuan mikroba dan riset terkait peningkatan produksi mikroorganisme biasanya dilakukan melalui fermentasi skala laboratorium. Sementara itu, fermentasi skala *pilot plant* berfungsi sebagai tahap perancangan proses yang nantinya akan diterapkan dalam skala industri. Skala industri adalah fase ketika seluruh proses pelaksanaan didasarkan pada pertimbangan dan kalkulasi ekonomi yang matang

(Rahayuningsih dkk., 2007). Transisi dari skala laboratorium ke skala industri dikenal sebagai *scale-up* atau peningkatan proses. Langkah ini penting dilakukan mengingat adanya perubahan lingkungan internal fermentor selama proses fermentasi berlangsung, yang dapat berdampak signifikan pada aktivitas dan produktivitas mikroba (Dhobale *et al*., 2018). Berdasarkan hal-hal tersebut maka dilakukan fermentasi BIS menggunakan *A. niger* pada skala *pilot plant.*

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui perlakuan ketebalan tumpukan BIS dan konsentrasi *Aspergillus niger* terbaik terhadap karakteristik fisik dan kimia hasil fermentasi.

1.3 Kerangka Pemikiran

Penelitian terdahulu mengenai fermentasi menggunakan *A. niger* telah dilakukan oleh Prasetyo dkk. (2024) dengan substrat bonggol singkong dan Amrullah dkk. (2019) dengan substrat sekam padi menggunakan konsentrasi *A. niger* 0%, 2,5%, dan 5%. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa terdapat pengaruh nyata dari perbedaan konsentrasi starter *A. niger* terhadap penurunan serat kasar dan peningkatan protein kasar. Berdasarkan hasil penelitian Prasetyo dkk. (2024) dan Amrullah dkk. (2019), dapat disimpulkan bahwa konsentrasi *A. niger* berbanding lurus dengan peningkatan protein kasar dan berbanding terbalik dengan kadar serat kasar. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa perlakuan terbaik adalah fermentasi menggunakan *A. niger* dengan konsentrasi 5%. Berdasarkan data tersebut, peneliti menyimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi *A. niger* yang digunakan maka hasil yang diperoleh akan semakin baik, sehingga peneliti menggunakan konsentrasi *A. niger* 2,5% dan 5%.

Penelitian Rashid *et al*. (2012) menunjukkan bahwa ketebalan substrat berpengaruh terhadap produksi mannanase. Ketebalan substrat yang digunakan

dalam penelitian tersebut yaitu 0,25 cm dengan jumlah substrat 200 g, ketebalan 0,5 cm dengan jumlah substrat 400 g, ketebalan 1 cm dengan jumlah substrat 800 g, dan ketebalan 1,5 cm dengan jumlah substrat 1200 g. Berdasarkan data tersebut, peneliti menggunakan perlakuan dengan ketebalan substrat 1,5 cm, 2,5 cm, dan 3,5 cm. Ketebalan tersebut ditentukan berdasarkan jumlah substrat yang digunakan pada penelitian ini yaitu 500 g.

A. niger membutuhkan oksigen untuk respirasi dan pertumbuhan. Tumpukan bagian dalam yang kekurangan oksigen dapat menyebabkan kondisi anaerobik yang menghambat pertumbuhan *A. niger* dan bahkan memicu pertumbuhan mikroorganisme anaerob yang tidak diinginkan. Pada tumpukan tebal, sulit mencapai pencampuran yang merata, menyebabkan distribusi nutrien, pH, dan mikroorganisme tidak seragam (Mitchell *et al*., 2006). Proses fermentasi menghasilkan panas metabolik yang dapat terakumulasi pada tumpukan tebal (Rahardjo *et al*., 2006). Pada tumpukan tebal, panas terkonsentrasi di bagian tengah dan sulit keluar, menyebabkan *overheating* yang dapat merusak enzim dan menghambat aktivitas mikroba (Krishna, 2005). Sebaliknya, tumpukan terlalu tipis menyebabkan kehilangan panas berlebihan. Pertumbuhan *A. niger* juga sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan fermentor seperti suhu dan pH, serta ketersediaan nutrisi yang diperlukan untuk pertumbuhan (Marlinda dkk., 2017). Kondisi optimal untuk pertumbuhan *A. niger* adalah pada suhu 24-37°C dan pH 4,0-6,5 (Passamani *et al*., 2014).

1.4 Hipotesis

Hipotesis pada penelitian ini yaitu terdapat perlakuan ketebalan tumpukan BIS dan konsentrasi *Aspergillus niger* terbaik terhadap karakteristik fisik dan kimia hasil fermentasi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bungkil Inti Sawit

Bungkil inti sawit (BIS) merupakan produk sampingan yang dihasilkan selama proses pengolahan inti sawit (kernel) untuk memproduksi minyak inti sawit (Brianto, 2022). Menurut Suhendro dkk. (2018) BIS merupakan produk samping pengolahan industri kelapa sawit yang memiliki potensi sebagai sumber protein dalam pembuatan pakan, dengan kadar protein tinggi berkisar 14-20% dan energi metabolis antara 1817-2654 kkal/kg. Aziz (2023) berpendapat bahwa BIS mengandung protein 14,9%, metionin 0,14%, lisin 0,49%, dan energi metabolis 2087 kkal/kg, namun biasanya terkontaminasi pecahan cangkang sawit sekitar 9,1-22,8%. Penelitian Sinurat dkk. (2015) menunjukkan bahwa proses penyaringan memiliki dampak signifikan terhadap BIS. Metode ini berhasil menurunkan jumlah cangkang sebesar 50% dari jumlah awal. Selain itu, penyaringan juga menghasilkan peningkatan yang berarti dalam beberapa parameter nutrisi. Kecernaan bahan kering mengalami kenaikan dari 51% menjadi 57%, kecernaan energi metabolis meningkat dari 2.051 menjadi 2.091 kkal/kg, dan kecernaan protein pun meningkat dengan naiknya persentase dari 29% menjadi 35%.

Bungkil inti sawit (BIS) merupakan pilihan alternatif untuk bahan pakan yang menjanjikan, mengingat jumlahnya yang berlimpah di Indonesia, mudah didapatkan, dan harga yang terjangkau, sebagaimana dijelaskan oleh Nuraini dkk. (2019). BIS memiliki komposisi karbohidrat yang didominasi oleh selulosa, β-mannan dan lignin. Tingginya kandungan lignin yang mencapai 15,72%

berpotensi mempengaruhi ketersediaan nutrisi. Proses fermentasi dengan mikroorganisme penghasil enzim melalui metode *solid state fermentation* (SSF) dapat meningkatkan kandungan protein dan aksesibilitas nutrisi BIS. Pengolahan ini juga dimaksudkan untuk meningkatkan daya cerna BIS, sehingga mengoptimalkan fungsinya sebagai sumber protein (Puastuti *et al*., 2014). Berdasarkan penelitian Sitindaon *et al*. (2021), BIS yang difermentasi menggunakan *A. niger* dengan variasi dosis dan waktu fermentasi menghasilkan komposisi nutrisi sebagai berikut: serat kasar 14,97-18,92%, lemak kasar 4,28-4,98%, protein kasar 15,8-18,17%, ADF 33,97-39,71%, NDF 66,57-72,48%, dan *gross energi* 4.171-4.264 kal/gr.

Keunggulan BIS terletak pada kandungan mannan yang signifikan, suatu polisakarida kompleks yang dapat diproses lebih lanjut menjadi manooligosakarida (MOS). MOS, yang dihasilkan melalui proses hidrolisis enzimatik atau kimia dari mannan memiliki potensi sebagai prebiotik (Nath and Kango, 2024). Pernyataan tersebut didukung oleh Purnawan, dkk. (2017) yang menyatakan bahwa kandungan mannan dari BIS dapat dimanfaatkan untuk memproduksi manno-oligosakarida yang berpotensi digunakan sebagai prebiotik, yaitu suatu komponen yang dapat ditambahkan pada makanan dan pakan ternak yang baik untuk kesehatan pencernaan, serta memiliki nilai ekonomi tinggi. Salah satu cara untuk mengubah mannan menjadi manno-oligosakarida adalah dengan memfermentasi BIS menggunakan *A. niger* yang menghasilkan enzim mananase. Kenampakan bungkil inti sawit disajikan pada Gambar 1.

Gambar 1. Bungkil inti sawit.
Sumber: Media Perkebunan, 2024.

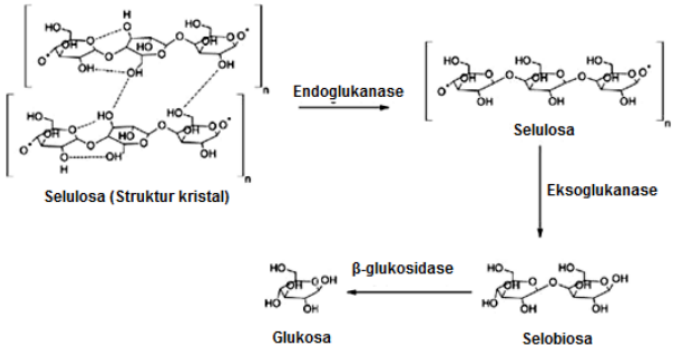
2.2 Fermentasi

Suprihatin (2010) menjelaskan bahwa proses fermentasi dapat dikategorikan menjadi dua jenis berdasarkan sumber mikroorganismenya. Pertama, fermentasi spontan, di mana mikroorganisme berkembang secara alami dalam lingkungan yang telah dikondisikan sesuai untuk pertumbuhannya, tanpa penambahan starter atau ragi eksternal. Contoh dari metode ini adalah pembuatan sayur asin, di mana garam berperan merangsang pertumbuhan bakteri asam laktat. Kedua, fermentasi tidak spontan, yang melibatkan penambahan mikroorganisme dalam bentuk starter atau ragi ke dalam bahan pangan, seperti yang dilakukan dalam produksi tempe dan oncom karena mikroorganisme akan aktif tumbuh dan berkembang biak, mengubah bahan dasar menjadi produk yang diinginkan. Mikroorganisme yang digunakan harus memiliki tiga karakteristik kunci untuk mencapai keberhasilan dalam proses fermentasi. Pertama, kemampuan untuk tumbuh dengan cepat dalam substrat dan lingkungan yang sesuai, memungkinkan perbanyakan diri yang efisien. Kedua, ketahanan fisiologis yang baik dan kemampuan menghasilkan enzim-enzim esensial dalam jumlah yang cukup, sehingga dapat memfasilitasi perubahan kimia yang diinginkan. Ketiga, adaptabilitas terhadap kondisi lingkungan yang diperlukan untuk pertumbuhan optimal, memastikan produksi maksimum dari proses fermentasi.

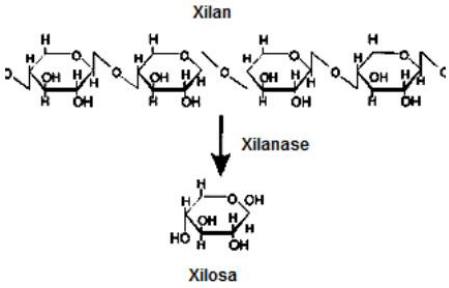
Fermentasi dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis utama berdasarkan karakteristik substrat yang digunakan, yaitu *Submerged Fermentation* dan *Solid-State Fermentation*. *Submerged Fermentation* (SmF) menggunakan substrat atau media cair. *Solid-State Fermentation* (SSF) memanfaatkan substrat padat tanpa kehadiran media cair (Christo dan Sutedja, 2024). Fermentasi pada penelitian ini menggunakan metode *Solid-State Fermentation* (SSF) karena menggunakan substrat padat berupa BIS.

Terdapat beragam mikroorganisme yang dapat dimanfaatkan dengan metode SSF, bergantung pada produk yang diinginkan. Kapang (jamur berfilamen), khamir, dan bakteri merupakan jenis-jenis mikroorganisme yang umum digunakan,

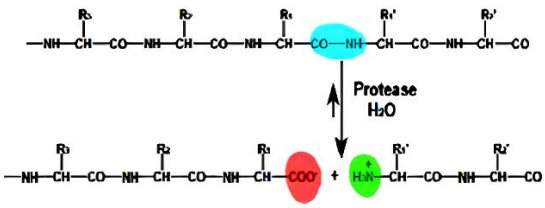
masing-masing memiliki keunggulan dan peran spesifik dalam proses fermentasi. Salah satu fungsi utama mikroorganisme ini adalah kemampuannya dalam menguraikan senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana (Christo dan Sutedja, 2024). Kapang atau jamur berfilamen sering menjadi pilihan utama meskipun SSF dapat memanfaatkan berbagai jenis mikroorganisme. Beberapa spesies kapang yang banyak digunakan dalam SSF meliputi *Rhizopus oligosporus* (Lim *et al*., 2023), *A. niger* (Ahmed *et al*., 2021), dan berbagai spesies *Trichoderma* (Said *et al*., 2022). Pemilihan mikroorganisme tersebut didasarkan pada kemampuan mikroorganisme untuk beradaptasi dengan kondisi substrat dan lingkungan untuk berkembang biak serta dapat menghasilkan enzim-enzim yang diperlukan agar proses fermentasi yang diinginkan dapat terjadi (Suprihatin, 2010). *Aspergillus niger* digunakan pada penelitian ini karena dapat menghasilkan enzim-enzim seperti selulase, beta-glukosidase, dan xilanase yang secara efektif dapat menguraikan struktur serat kompleks (Xue *et al*., 2022) dan enzim protease yang dapat menguraikan protein (Siala *et al*., 2012). Mekanisme hidrolisis selulosa, xilan, dan protein disajikan pada Gambar 2.



(a)



(b)

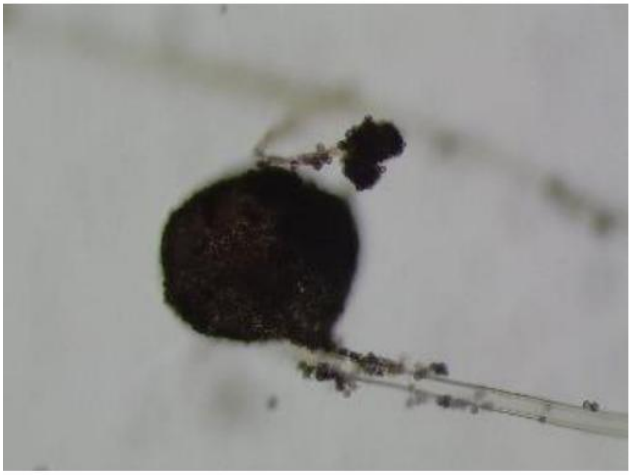


(c)

Gambar 2. Mekanisme penguraian struktur kompleks: (a) Selulosa oleh selulase, (b) Xilan oleh xilanase, (c) Protein oleh protease.
Sumber: Kiyat *et al*., 2019.

2.3 *Aspergillus niger*

Aspergillus niger merupakan jamur yang memiliki karakteristik morfologi yang khas, dengan spora berwarna putih kehitaman yang intensitasnya semakin pekat seiring bertambahnya umur koloni. Karakteristik mikroskopis *A. niger* sangat spesifik, ditandai dengan vesikel bulat yang memiliki diameter berkisar antara 17,52 hingga 23,4 µm, serta konidianya yang berbentuk bulat dengan diameter antara 3,5-4,5 µm. Konidiofora *A. niger* memiliki struktur yang panjang, berbentuk silindris, dan bersifat tidak berwarna (hialin). Pertumbuhan koloninya menunjukkan permukaan yang timbul dengan tekstur halus pada medium PDA (Putra dkk., 2020). Karakteristik mikroskopis *A. niger* disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. *Aspergillus niger* pada perbesaran 40x.
Sumber: Erdiansyah dan Zaini, 2023.

A. niger merupakan fungi aerobik yang memiliki rentang toleransi suhu yang luas dengan kondisi pertumbuhan optimal pada 35-37°C, mampu bertahan pada suhu minimum 6-8°C dan maksimum 45-47°C, yang memungkinkannya tersebar hampir di seluruh wilayah tropis dan subtropik, terutama pada berbagai jenis tanah dan substrat termasuk biji-bijian (Marlinda dkk., 2017). Jenis fungi ini memiliki kemampuan menghasilkan enzim-enzim seperti selulase, beta-glukosidase, dan xilanase yang secara efektif dapat menguraikan struktur serat kompleks seperti hemiselulosa, lignin, dan selulosa. Kemampuan *A. niger* dalam menghasilkan enzim xilanase yang sangat produktif membuatnya mampu

menguraikan hemiselulosa dengan optimal, sehingga memudahkan pelepasan ikatan fenolik yang terkandung dalam struktur serat tersebut (Xue *et al*., 2022). Karakteristik enzimatik dan adaptabilitas termal yang dimiliki jamur ini menjadikannya organisme yang potensial untuk berbagai aplikasi bioteknologi dan proses degradasi material organik.

2.4 *Scale-up*

Scale-up merujuk pada metode untuk memperbesar volume produksi. Konsep ini dapat dipahami sebagai upaya menerapkan suatu proses dengan memvariasikan volume *output*. Tahap skala menengah memiliki peran kritis dalam mentransisikan proses dari lingkup riset dan pengembangan menuju tahap produksi komersial. Skala batch menengah ini memungkinkan produsen untuk menghasilkan kuantitas produk yang cukup untuk melakukan pengujian klinis serta menyiapkan sampel untuk kegiatan pemasaran. Ukuran *pilot plant* biasanya lebih kecil dibandingkan pabrik produksi skala penuh, namun dapat dibangun dalam berbagai skala. *Pilot plant* umumnya dirancang lebih fleksibel mengingat tujuan utamanya adalah sebagai sarana pembelajaran, meskipun hal ini mungkin mengorbankan aspek ekonomis. Beberapa *pilot plant* dibangun di dalam laboratorium dengan memanfaatkan peralatan laboratorium standar yang tersedia (Dhobale *et al*., 2018).

Pertumbuhan inokulum *A. niger* sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, seperti suhu, pH, dan cahaya, serta ketersediaan nutrisi yang mencakup sumber karbon, nitrogen, vitamin, dan mineral, yang secara signifikan dapat memengaruhi atau mengganggu proses aktivitas mikrobiologis dan pertumbuhan jenis fungi ini (Marlinda dkk., 2017). Setiap jenis pengaruh lingkungan dan nutrisi membutuhkan pengaturan dan pengontrolan yang tepat untuk memastikan pertumbuhan *A. niger* berlangsung optimal dan berkelanjutan. Faktor-faktor tersebut perlu diperhatikan dan disesuaikan saat *scale-up* agar pertumbuhan *A. niger* dapat tumbuh dengan maksimal.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret hingga Mei 2025. Berlokasi di *Pilot Plant*, Laboratorium Mikrobiologi Hasil Pertanian, Laboratorium Analisis Kimia dan Biokimia, dan Laboratorium Pengelolaan Limbah Agroindustri, Universitas Lampung, Bandar Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah tabung reaksi, rak tabung reaksi, inkubator (Heraeus), wadah fermentasi, cawan petri, timbangan, desikator, oven (Memmert oven blower 3030202001), tanur (Ney Vulcan D-550), soxhlet, erlenmayer, blender, *hot plate*, *autoclave*, labu Kjeldahl, labu ukur, meja asam, mikropipet, gelas ukur, pH meter, kertas saring, kondensor, corong kaca, ose, bunsen, dan spatula.

Bahan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah aquades, alkohol, tepung beras, bungkil inti sawit kasar diperoleh dari PTPN 7 Bekri, kultur *Aspergillus niger* 002041024 (Agavi Lab), n-hexan, katalis, H_2SO_4, indikator phenopthalein, NaOH, PDA, dan aseton.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian dilakukan menggunakan metode deskriptif dengan enam perlakuan dan tiga kali ulangan. Perlakuan pertama adalah ketebalan substrat yang terdiri dari

tiga taraf, yaitu ketebalan 1,5 cm, 2,5 cm, dan 3,5 cm. Perlakuan kedua adalah konsentrasi *A. niger* yang terdiri dari dua taraf, yaitu konsentrasi 2,5%, dan konsentrasi 5%.

Penelitian dimulai dengan membuat starter *A. niger*. Langkah selanjutnya, dilakukan perhitungan TPC untuk mengetahui total *A. niger* yang terdapat pada starter. Starter *A. niger* yang sudah disiapkan kemudian dicampurkan ke dalam BIS untuk difermentasi. Hasil fermentasi BIS kemudian diuji untuk mendapatkan kadar air, kadar abu, kadar protein, kadar serat kasar, suhu, pH, dan kadar lemak. Data hasil uji yang diperoleh kemudian dianalisis mengunakan uji deskriptif.

3.4 Rancangan Percobaan

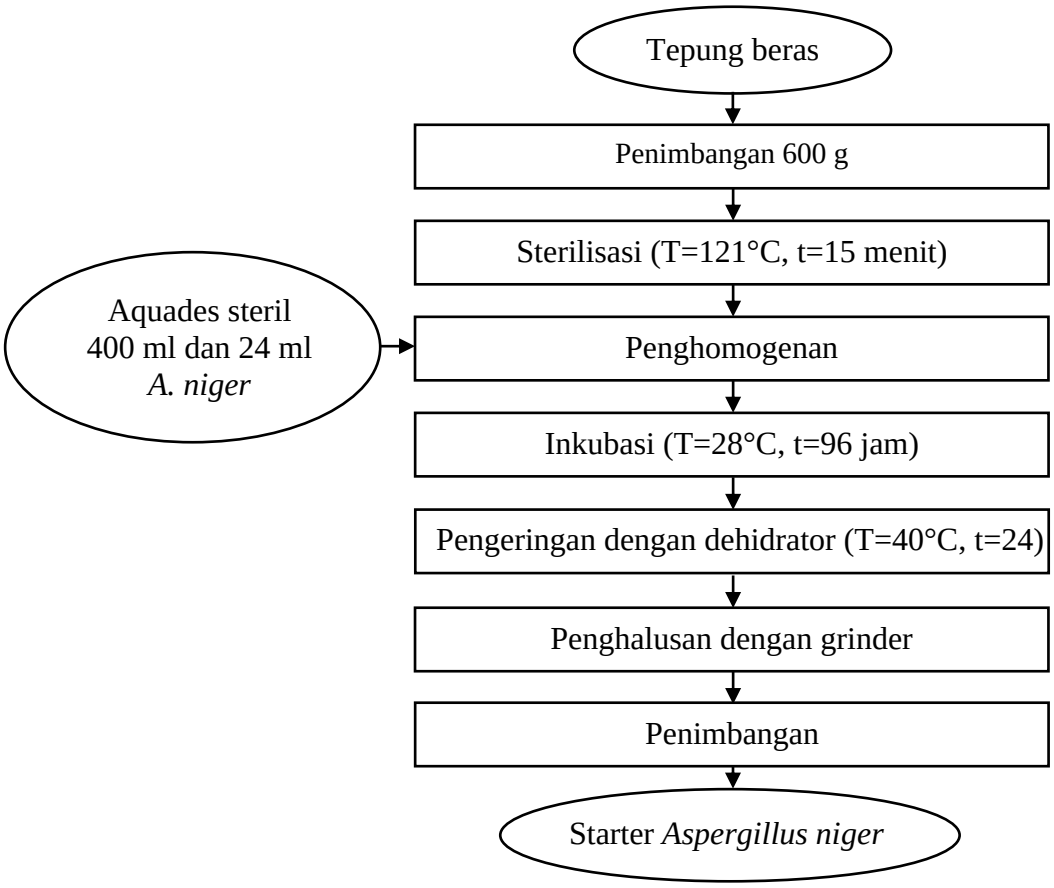
Penelitian ini memanfaatkan enzim mananase yang terkandung di dalam kapang *Aspergillus niger* yang berperan sebagai pengurai kandungan serat kasar dalam fermentasi BIS. Variasi perlakuan yang digunakan yaitu:
K1T1 = Konsentrasi *A. niger* 2,5%, ketebalan substrat 1,5 cm
K1T2 = Konsentrasi *A. niger* 2,5%, ketebalan substrat 2,5 cm
K1T3 = Konsentrasi *A. niger* 2,5%, ketebalan substrat 3,5 cm
K2T1 = Konsentrasi *A. niger* 5%, ketebalan substrat 1,5 cm
K2T2 = Konsentrasi *A. niger* 5%, ketebalan substrat 2,5 cm
K2T3 = Konsentrasi *A. niger* 5%, ketebalan substrat 3,5 cm

3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi pembuatan starter *A. niger*, fermentasi bungkil inti sawit dengan variasi ketebalan substrat dan konsentrasi *A. niger*, serta pengamatan hasil penelitian meliputi kadar air, kadar abu, kadar protein, kadar serat kasar, suhu, pH, dan kadar lemak.

3.5.1 Pembuatan Starter *Aspergillus niger*

Prosedur kerja pembuatan starter *Aspergillus niger* yang dilakukan pada penelitian ini disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir proses pembuatan starter *Aspergillus niger.*
Sumber: Rizal *et al.*, 2023 (dimodifikasi).

Proses produksi starter *Aspergillus niger* mengacu pada Rizal *et al.* (2023) dengan modifikasi. Sebanyak 600 g tepung beras ditimbang, dimasukkan ke dalam plastik yang dilubangi, lalu dilakukan sterilisasi dengan *autoclave* pada suhu 121°C selama 15 menit. Kemudian tepung beras didinginkan dan dituang ke dalam baskom lalu ditambahkan 400 ml aquades steril secara bertahap dan diinokulasi dengan 24 mL *A. niger*, lalu dihomogenisasi hingga merata. Selanjutnya adonan dipindahkan ke atas loyang, diratakan, dan ditutup dengan kertas HVS. Adonan tersebut diinkubasi pada suhu 28°C selama 96 jam lalu dikeringkan dengan dehidrator pada suhu 40°C selama 24 jam. starter kering dihaluskan menggunakan

grinder dan dipindahkan dalam wadah tertutup yang bersih dan kering. Kemudian, dihitung total mikroba pada starter tersebut.

3.5.2 Total Mikroba

Prosedur pelaksanaan *Total Plate Count* (TPC) untuk menghitung total mikroba dimulai dengan menyiapkan 1 gram starter yang dimasukkan ke dalam tabung reaksi pertama berisi 9 ml larutan NaCl, kemudian dilakukan homogenisasi. Selanjutnya, 1 ml suspensi dipindahkan menggunakan mikropipet ke tabung reaksi kedua yang berisi 9 ml NaCl untuk membuat pengenceran 10^{-2}, yang kemudian dihomogenkan. Proses pengenceran dilanjutkan hingga mencapai tingkat 10^{-8}. Tahap berikutnya adalah mengambil 1 ml sampel dari pengenceran tersebut menggunakan pipet steril yang berbeda, lalu ditempatkan ke dalam cawan petri. Media *Potato Dextrose Agar* (PDA) yang telah didinginkan hingga suhu sekitar 40°C dituangkan sebanyak 15-20 ml ke dalam cawan yang sudah berisi sampel kemudian cawan digoyangkan membentuk pola angka delapan untuk memastikan distribusi media yang merata. Setelah media mengeras, cawan diinkubasi selama lima hari pada suhu sekitar 26-30°C. Setelah proses inkubasi, dilakukan penghitungan jumlah koloni. Kriteria perhitungan yang berlaku adalah jumlah koloni per cawan berkisar antara 25-250 koloni (Shofa dkk., 2024). Perhitungan akhir dilakukan dengan menggunakan rumus 6 untuk menentukan konsentrasi total *A. niger* dalam starter.

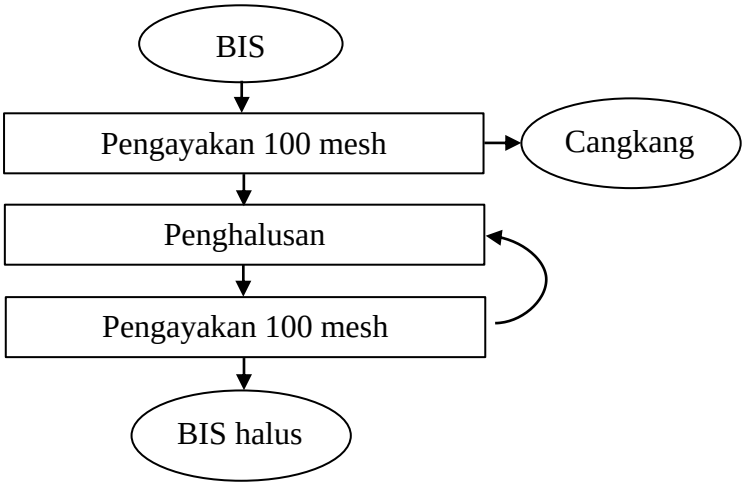
$$\sum \text{mo} = \frac{\left(X1\ x\ \frac{1}{P1}\right) - (X2\ x\ \frac{1}{P2})}{2} \qquad \text{…….. (6)}$$

Keterangan:

∑mo :Rata-rata jumlah koloni
X1 : Jumlah koloni pada cawan 1
X2 : Jumlah koloni pada cawan 2
P1 : Pengenceran pada cawan 1
P2 : Pengenceran pada cawan 2

3.5.3 Preparasi Bungkil Inti Sawit

Prosedur kerja preparasi bungkil inti sawit disajikan pada Gambar 5.



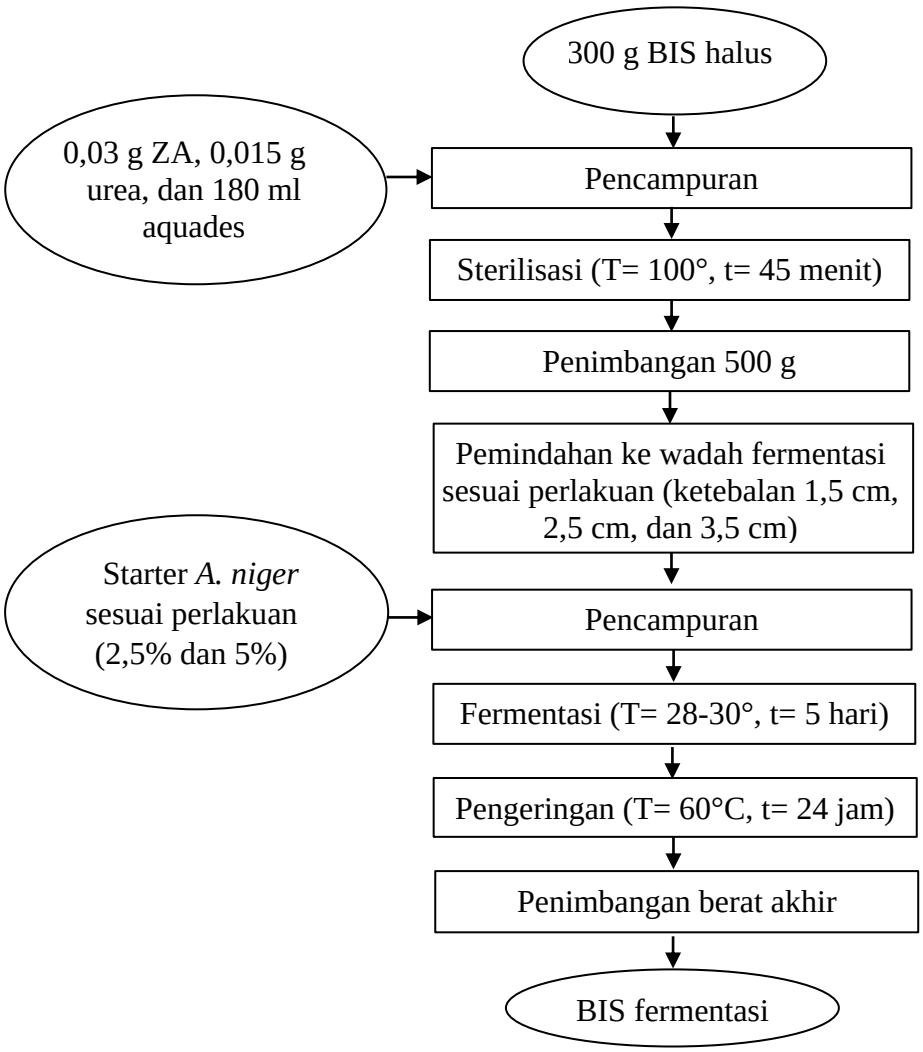
Gambar 5. Preparasi bungkil inti sawit.

Prosedur preparasi bungkil inti sawit dimulai dengan BIS kasar yang masih tercampur dengan cangkang diayak dengan ayakan 100 mesh. Cangkang sawit dari proses pengayakan tersebut akan dibuang dan bongkahan BIS yang tidak cukup halus untuk melewati ayakan 100 mesh dihaluskan dengan *hammer mill* hingga halus dan diayak kembali. Proses tersebut dilakukan hingga semua BIS halus.

3.5.4 Fermentasi Bungkil Inti Sawit

Fermentasi BIS menggunakan *A. niger* dilakukan dengan menggunakan metode dari Syafrizal dkk. (2018) yang dimodifikasi. BIS halus sebanyak 300 g dicampur dengan 180 ml air, 0,03 g ZA, dan 0,015 g urea lalu diaduk menggunakan spatula hingga homogen kemudian dikukus menggunakan dandang selama 45 menit dan dibalik sesekali menggunakan spatula kayu. Hasil kukusan kemudian ditimbang sebanyak 500 g dan dipindahkan ke wadah fermentasi berbentuk kontainer plastik dengan ketebalan sesuai perlakuan yaitu 1,5 cm, 2,5 cm, dan 3,5 cm. Setelah BIS dingin, starter *A. niger* sesuai perlakuan yaitu 2,5% (b/b) dan 5% (b/b) atau 12,5 g dan 25 g ditambahkan ke dalam campuran tersebut kemudian diaduk merata. BIS dibiarkan terfermentasi selama 5 hari pada suhu ruang dengan keadaan ditutup

plastik yang dilubangi. BIS diaduk setiap 24 jam agar distribusi panas dan aerasi merata Pengukuran suhu dan pH substrat fermentasi dilakukan setiap hari, disertai pembalikan dengan spatula. Setelah masa fermentasi selesai, dilakukan pengeringan pada suhu 60°C selama 24 jam. Tahap akhir proses ini adalah pengujian kadar air, kadar abu, kadar serat kasar, dan kadar protein pada sampel. Prosedur kerja fermentasi bungkil inti sawit disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir proses fermentasi bungkil inti sawit
Sumber: Syafrizal dkk., 2018 (dimodifikasi).

3.6 Pengamatan Hasil Penelitian

3.6.1 Kadar Air

Penentuan kadar air BIS dilakukan menggunakan metode gravimetri sesuai dengan Standar Nasional Indonesia SNI 01-2354-2-2006. Metode ini didasarkan pada pengukuran kehilangan berat sampel setelah melalui proses pemanasan dalam oven vakum pada rentang suhu 95-100˚C. Prosedur dimulai dengan pemanasan cawan kosong pada suhu tersebut selama minimal 2 jam, dilanjutkan dengan pendinginan dalam desikator dan penimbangan awal (W0). Selanjutnya, 2-3 gram sampel BIS dimasukkan ke dalam cawan dan ditimbang (W1). Cawan berisi sampel kemudian dipanaskan dalam oven pada suhu 95-100˚C selama 5 jam, selanjutnya dipindahkan ke desikator untuk didinginkan selama 20-30 menit dan ditimbang. Proses pemanasan diulangi setiap 1 jam hingga perubahan berat antarpemanasan mencapai interval ≤2 mg (W2). Kadar air yang terkandung pada sampel dihitung dengan rumus 1.

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_0} \text{ x } 100\% \qquad \text{.....(1)}$$

Keterangan:

W_0 = berat cawan kosong (g)
W_1 = berat cawan + sampel sebelum pengeringan (g)
W_2 = berat cawan + sampel setelah pengeringan (g)

3.6.2 Kadar Abu

Penentuan kadar abu BIS dilaksanakan dengan metode gravimetri mengikuti standar SNI 01-2354-1-2006. Prosedur pengujian dimulai dengan memanaskan cawan porselen pada temperatur 105-110°C selama 1 jam, lalu didinginkan dalam desikator dan ditimbang beratnya (X1). Selanjutnya, sampel BIS seberat 2 gram (A) ditempatkan dalam cawan porselen tersebut. Cawan berisi sampel kemudian dipanaskan dalam tanur pada suhu 600°C selama 4 jam, setelah itu didinginkan dan dilakukan penimbangan (X2). Kadar abu yang terkandung pada sampel dihitung dengan rumus 2.

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{X2 - X1}{A} \times 100\% \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Keterangan:

X1 = Bobot cawan porselen (g)
X2 = Bobot cawan porselen + sampel BIS setelah diabukan (g)
A = Bobot sampel BIS sebelum diabukan (g)

3.6.3 Kadar Protein

Penentuan kadar protein dilakukan menggunakan metode Kjeldahl berdasarkan SNI 01-2354-4-2006. Tahap pertama adalah sampel BIS ditimbang sebanyak 2 g (A) dan dicampurkan dengan 1 gr katalis serta 10 ml H_2SO_4 pekat. Campuran dimasukkan ke dalam labu Kjeldahl kemudian dipanaskan hingga berubah warna menjadi hijau bening. Setelah itu, larutan didinginkan dan diencerkan sampai volumenya mencapai 100 ml. Selanjutnya, disiapkan 10 ml H_2SO_4 0,05N dalam erlenmayer 250 ml yang ditambahkan 2 tetes indikator phenopthalein. Sebanyak 5 ml larutan hasil oksidasi dituang ke dalam labu destilasi. Proses destilasi dilakukan selama 10 menit terhitung dari tetesan pertama. Hasil destilasi kemudian dititrasi menggunakan NaOH 0,5% hingga larutan berubah warna menjadi hijau. Volume titran yang digunakan dicatat dan digunakan untuk menghitung kadar protein menggunakan rumus 3.

$$\text{Kadar protein (\%)} = \frac{0{,}0007* \; x \; (Vb - Vs) \; x \; 6{,}25** \; x \; 20}{A} \times 100\% \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

Keterangan:

Vb = ml 0,05 N titran NaOH untuk blanko
Va = ml 0,05 N titran NaOH untuk sampel
A = Bobot sampel (g)
* = Setiap 0,05 NaOH ekivalen dengan 0,0007 g N
** = Faktor Nitrogen

3.6.4 Kadar Serat Kasar

Pengukuran kadar serat kasar dilakukan berdasarkan metode SNI 01-2891-1992 dengan langkah-langkah sebagai berikut. Prosedur dimulai dengan menimbang

kertas saring dan mencatat bobotnya (A), lalu menambahkan sampel seberat 0,1 gram (B). Sampel tersebut kemudian dimasukkan ke dalam gelas erlenmeyer dan ditambahkan 200 ml H_2SO_4, selanjutnya erlenmeyer dihubungkan dengan kondensor dan dipanaskan selama 30 menit setelah mendidih. Hasil pemanasan kemudian disaring menggunakan corong kaca yang telah dialasi kain linen dan dibilas dengan aquades panas hingga bebas asam, yang dikonfirmasi menggunakan kertas lakmus yang tidak lagi berubah menjadi merah. Residu yang diperoleh dimasukkan kembali ke dalam erlenmeyer dan ditambahkan 200 ml NaOH, lalu dihubungkan dengan kondensor dan dipanaskan kembali selama 30 menit setelah mendidih. Campuran tersebut kemudian disaring menggunakan corong kaca beralaskan kertas saring *Whatmanashless* no. 541 berdiameter 12 cm yang telah ditimbang sebelumnya (C). Hasil saringan dibilas dengan aquades hingga bebas basa, yang dibuktikan dengan kertas lakmus yang tidak berubah menjadi biru, kemudian dibilas dengan aseton. Kertas saring yang berisi sampel dilipat dan dipanaskan dalam oven bersuhu 105°C selama 6 jam, lalu didinginkan dalam desikator selama 15 menit, dan ditimbang (D). Sampel selanjutnya dipindahkan ke dalam cawan porselen yang telah ditimbang (E) kemudian diabukan dalam tanur bersuhu 600°C selama 2 jam. Setelah pengabuan selesai, tanur dimatikan dan sampel dibiarkan hingga tidak terlihat warna merah membara pada cawan. Langkah terakhir adalah mendinginkan sampel dalam desikator hingga mencapai suhu ruang, kemudian ditimbang (F). Kadar serat kasar pada sampel dihitung dengan rumus 4.

$$\text{Kadar serat kasar (\%)} = \frac{(D-C)-(F-E)}{B-A} \text{ x } 100\% \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(4)$$

Keterangan:

A = Bobot kertas saring (g)
B = Bobot kertas saring + sampel (g)
C = Bobot kertas saring whatmanashless (g)
D = Bobot kertas saring whatmanashless + residu (g)
E = Bobot cawan porselen (g)
F = Bobot cawan porselen berisi abu (g)

3.6.5 Suhu

Suhu substrat diamati setiap hari menggunakan termometer. Pengecekan suhu dilakukan untuk memantau suhu optimal aktivitas pertumbuhan *A. niger* saat fermentasi BIS. Pengecekan dilakukan pada bagian dalam dan atas substrat.

3.6.6 pH

Pengamatan pH dilakukan untuk mengetahui pH optimal untuk pertumbuhan *A. niger* saat fermentasi BIS berlangsung. BIS diencerkan terlebih dahulu dengan cara mencampurkan BIS dengan aquades kemudian diamati menggunakan pH meter secara berkala setiap hari.

3.6.7 Kadar Lemak

Pengujian kandungan lemak BIS dilaksanakan mengikuti standar SNI 01-2354-3-2006 dengan menggunakan teknik ekstraksi Soxhlet. Prosedurnya dimulai dengan pemanasan labu pada temperatur 105-110°C dalam waktu 1 jam, diikuti dengan pendinginan dalam desikator dan penimbangan (X1). Sampel seberat 3 gram (A) ditempatkan dalam selongsong, yang kemudian direndam dalam 150 ml N-Hexan di dalam alat Soxhlet. Sisa N-Hexan dituangkan ke dalam labu. Proses pemanasan labu di atas *hotplate* dilakukan hingga pelarut yang merendam selongsong menjadi jernih. Tahap akhir meliputi pemanasan labu beserta lemak yang terkumpul dalam oven selama 15 menit, dilanjutkan dengan pendinginan dan penimbangan (X2). Kadar lemak yang terkandung pada sampel dihitung dengan rumus 3.

$$\text{Kadar lemak (\%)} = \frac{X2 - X1}{A} \times 100\% \qquad \text{.....(3)}$$

Keterangan:

X1 = Bobot labu porselen (g)

X2 = Bobot labu + lemak setelah dipanaskan (g)

A = Bobot sampel BIS awal (g)

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, perlakuan terbaik diperoleh pada konsentrasi *A. niger* 5% dan ketebalan substrat bungkil inti sawit 1,5 cm. Perlakuan tersebut menghasilkan kadar protein sebesar 18,48%, serat kasar 17,2%, kadar abu 7,17%, kadar air 2,46%, dan kadar lemak 2,19%.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan perbedaan ketebalan substrat yang lebih signifikan, mengingat hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi ketebalan substrat yang diterapkan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap parameter yang diuji.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmed, T., Rana, M. R., Zzaman, W., Ara, R., and Aziz, M. G. 2021. Optimization of substrate composition for pectinase production from Satkara (*Citrus macroptera*) peel using *A. niger*-ATCC 1640 in solid-state fermentation. *Heliyon*. 7(10): 1-11. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08133

Amrullah, M., Tampoebolon, B., Prasetyono, B. 2019. Kajian pengaruh proses fermentasi sekam padi amoniasi menggunakan *A. niger* terhadap serat kasar, protein kasar, dan *total digestible nutrients*. *Jurnal Pengembangan Penyuluhan Pertanian*. 18(31): 25-31.

Andriani, Y., Pratama. R.I., dan Aisyah. 2024. Peningkatan Kualitas Limbah Bulu Ayam Sebagai Bahan Pakan Ikan dengan Metode Fermentasi Menggunakan Bakteri. *Journal Of Fish Nutrition*. 4(2): 69-82.

Aziz, M.H. 2023. *Kandungan Fraksi Serat Wafer Berbasis Bungkil Inti Sawit (Palm karnel cake) dengan Penambahan Tepung Indigofera* (*Indigofera zollingeriana*). (Skripsi). UIN Sultan Syarif Kasim Riau, Pekanbaru. 56 hlm.

BPS. 2022. *Produksi Tanaman Perkebunan 2022*. Jakarta: Badan Pusat Statistik

BPS. 2023. *Produksi Tanaman Perkebunan 2023*. Jakarta: Badan Pusat Statistik

Busta, L.S., Natsir, M.H., Widodo, E. 2017. Efek pemberian enzim β-Mannanase pada pakan berbasis bungkil kedelai terhadap nilai kecernaan energi, kecernaan protein dan kadar imunoglobulin y ayam pedaging. *Jurnal Ilmu-Ilmu Peternakan.* 28(1): 59–64.

Brianto, R. 2022. *Pengaruh Pemberian Bungkil Inti Sawit Yang Difermentasi Menggunakan Bacillus cereus V9 Terhadap Leukosit Dan Diferensial Leukosit Ayam Broiler*. (Skripsi). Universitas Jambi, Jambi. 68 hlm.

Badan Standar Nasioanl. 1992. SNI 01-2891-1992. *Cara Uji Makanan dan Minuman.* Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2006. SNI-01-2354-1-2006. *Cara Uji Kimia - Bagian 1: Pengujian Kadar Abu pada Produk Perikanan*. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2006. SNI-01-2354-2-2006. *Cara Uji Kimia - Bagian 2 : Penentuan Kadar Air pada Produk Perikanan*. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2006. SNI-01-2354-3-2006. *Cara Uji Kimia – Bagian 3: Pengujian Kadar Lemak pada Produk Perikanan*. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2006. SNI-01-2354-4-2006. *Cara Uji Kimia – Bagian 4: Pengujian Kadar Protein pada Produk Perikanan*. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2024. SNI 9043:2024. *Pakan Buatan*. Jakarta.

Bina, M.R., Syaruddin, Sahara, L.O., dan Sayuti, M. 2023. Kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin dalam silase ransum komplit dengan taraf jerami sorgum (*Sorghum bicolor (L.) Moench*) yang berbeda. *Gorontalo Journal of Equatorial Animals*. 2(1): 44-53.

Carolina, A., Sidik, A., Maksum, I.P., Rachman, S.D., Safari, A., dan Ishmayana, S. 2015. Fermentasi biak rendam molases dengan *A. niger* untuk produksi asam sitrat. *Chimica et Natura Acta*. 3(1): 25-29.

Christo, E.G. dan Sutedja, A.M. 2024. *Solid-state fermentation* dengan variasi mikroorganisme. *Zigma*. 39(1): 38-49.

Dhobale, A., Mahale, A.M., Shirsat, M., Pethkar, S., and Chakote, V. 2018. Recent advances in pilot plant scale up techniques - a review. *Indo American Journal of Pharmaceutical Research*. 8(04): 1060-1068.

Dimitroglou, A., Merrifield, D. L., Carnevali, O., Picchietti, S., Avella, M., Daniels, C., Guroy, D., and Davies, S. J. 2011. Microbial manipulations to improve fish health and production–a Mediterranean perspective. *Fish & Shellfish Immunology*. 30(1): 1-16.

Erdiansyah, I. dan Zaini, Q. 2023. Identifikasi Karakteristik Agens Hayati A. niger dan Uji Daya Hambat terhadap Perkembangan Penyakit Bercak Daun pada Kacang Tanah. *Prosiding Semanis Tani Polije 2023*. 296-306.

Gatlin, D. M., Barrows, F. T., Brown, P., Dabrowski, K., Gaylord, T. G., Hardy, R. W., and Wurtele, E. 2007. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquaculture Research*. 38(6): 551-579.

Gunawan, Y., Intara, Y.I., Sidebang, B., dan Anis, U. 2024. Kajian pengeringan pada pengering tipe rak dengan konveksi panas dari pipa yang dialiri air panas geothermal. *Newton-Maxwell Journal of Physics*. 5(1): 7-18.

Hanafi, N.D., Tafsin, M., Sitindaon, S.R., Sadeli, A. dan Simanungkalit, K. 2022. Pengaruh penggunaan bungkil inti sawit taraf 40% dalam ransum terhadap bobot potong, karkas, potongan komersil karkas dan kualitas daging ayam sensi-1 agrinak. *Jurnal Agripet*. 22(1): 62-71.

Harvyandha, A., Kusumawardani, M., dan Rosyid, A. 2019. Telemetri pengukuran derajat keasaman secara realtime menggunakan raspberry pi. *Jurnal JARTEL*. 9(4): 519-524.

Hurst PL, Nielsen J, Sullivan PA, and Shepherd MG. 1977. Purification and properties of a cellulase from A. niger. *Biochemical Journal*. 165(1): 33-41.

Kiyat, W.E., Mentari, D., dan Santoso, N. 2019. Review: Potensi mikrobial selulase, xilanase, dan protease dalam fermentasi kopi luwak (*Paradoxurus hermaphroditus*) secara in vitro. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 22 (2): 58–66.

Krishna, C. 2005. Solid-state fermentation systems—An overview. *Critical Reviews in Biotechnology*. 25: 1–30.

Lim, J., Kim, H., Park, S. B., Pal, K., Kim, S.W., and Kim, D. 2023. Effects of solid-state fermentation using *R. oligosporus* on the phytochemical composition of wild-simulated ginseng leaf and its biological properties. *Food Bioscience.* 52: 102412. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102412

Listyowati, A.A. dan Larasati, Y.N. 2025. Pengaruh fermentasi menggunakan berbagai jenis Aspergillus terhadap kandungan nutrien dan antinutrien bungkil inti sawit. *Jurnal Triton*. 16(1): 144-151.

Ma, X., Gao, M., Li, Y., Wang, Q., and Sun, X. 2022. Production of cellulase by *A. niger* through fermentation of spent mushroom substance: Glucose inhibition and elimination approaches. *Process Biochemistry*. 122: 26-35.

Marliani, N., Astuti, W., dan Kartika, R. 2023. Kondisi kerja optimum lipase bakteri endofit dari daun *Macaranga hullettii* King ex Hook.f. *Bioprospek.* 15(1): 8-15.

Marlinda, Ramli, dan Nadir, M. 2017. Pengaruh Penambahan Starter A. niger terhadap Konsentrasi Asam Itakonat dengan Substrat Gliserol dan Molase. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. 1-10.

Mitchell, D.A., Krieger, N., and Berovic, M. 2006. *Solid-State Fermentation Bioreactors.* Springer, Heidelberg. 447 hlm.

Mirnawati, Rizal, Y., Marlida, Y., and Kompiang, P. 2010. The role of humic acid in palm kernel cake fermented by *A. niger* for poultry ration. *Pakistan Journal of Nutrition*. 9(2): 182-185.

Muwakhid, B., Kalsum, U., Dan Rifa'i. 2023. Kualitas Jerami Jagung (*Zea Mays*) yang di Fermentasi dengan *A. niger* sebagai Pakan Ternak. *Jurnal Nutrisi Ternak Tropis*. 6(2): 98-103.

Nath, S., Kango, N. 2024. Optimized Production And Characterization Of Endo-B-Mannanase By *A. niger* For Generation Of Prebiotic

Mannooligosaccharides From Guar Gum. *Scientific Reports.* 14(14015). https://doi.org/10.1038/S41598-024-63803-4

Nuraini, Z. Hidayat, S. Puspito, 2019. Performa ayam merawang dalam berbagai umur dengan tingkat pemberian bungkil inti sawit dalam ransum. *Jurnal Peternakan Indonesia*. 22 (1): 66-72.

Ong, L.G.A., Abd-aziz, S., Noraini, S., Karim, M.I.A., and Hassan, M. 2004. Enzyme production and profile by *A. niger* during solid substrate fermentation using palm kernel cake as substrate. *Applied Biochemistry and Biotechnology.* 118: 73-79.

Pandey, A., Soccol, C.R., and Larroche, C. 2008. *Current Developments in Solid-state Fermentation*. Springer, New Delhi. 517 p.

Passamani, F.R., Hernandes, T., Lopes, N.A., Bastos, S.C., Santiago, W.D., Cardoso, M.G., and Batista, L.R. 2014. Effect of temperature, water activity, and ph on growth and production of ochratoxin a by *Aspergillus niger* and *Aspergillus carbonarius* from brazilian grapes. *Journal of Food Protection*. 77(11): 1947-1952.

Prasetyo, A.B., Tampoebolon, B.I.M., Dan Nuswantara, L.K. 2024. Peningkatan kualitas bonggol singkong melalui teknologi fermentasi menggunakan *A. niger* terhadap kandungan nutrien. *Wahana Peternakan*. 8(1): 55-64. https://Doi.Org/10.37090/Jwputb.V8i1.1254

Puastuti, W., Yulistiani, D., Susana, I. W. R. 2014. Evaluasi nilai nutrisi bungkil inti sawit yang difermentasi dengan kapang sebagai sumber protein ruminansia. *Jurnal Ilmu Ternak dan Veteriner.* 19(2): 143-151.

Purnawan, A., Yopi, and Irawadi, T.T. 2017. Production of manooligomannan from palm kernel cake by mannanase produced from *Streptomyces cyaenus*. *Biosaintifika*. 9(1): 73-80.

Purwadaria, T., T. Haryati, A.P. Sinurat, J. Darma, and T. Pasaribu. 1995. In vitro nutrient value of coconut meal fermented with A. niger NRRL 337 at different enzimatic incubation temperatures. *2nd Conference on Agricultural Biotechnology Jakarta*.

Putra, G. W. K., Ramona, Y., dan Proborini, M.W. 2020. Eksplorasi dan identifikasi mikroba yang diisolasi dari rhizosfer tanaman stroberi (*Fragaria x ananassa dutch*.) di kawasan Pancasari Bedugul. *Jurnal Metamorfosa*. 7: 205-213.

Putri, D.N., Khootama, A., Perdani, S., Utami, T.S., and Hermansyah, H. 2020. Optimization of *A. niger* lipase production by solid state fermentation of agro-industrial waste. *Energy Reports*. 6(1): 331-335.

Rahardjo, Y.S.P., Tramper, J., and Rinzema, A. 2006. Modeling conversion and transport phenomena in solid-state fermentation: A review and perspectives. *Biotechnology Advances*. 24: 161-179.

Rahayuningsih, M., Syamsu, K., Darwis, A.A., dan Purnawati, R. 2007. Penggandaan skala produksi bpoinsektisida *Bacillus thuringiensis var. israelensis* untuk membasmi jentik nyamuk *Aedes aegypti*. *Jurnal llmu Pertanian Indonesia*. 12(2): 123-130.

Rashid, S.A., Ibrahim, D., and Omar, I.C. 2012. Mannanase production by *A. niger* USM F4 via solid substrate fermentation in a shallow tray using palm kernel cake as a substrate. *Malaysian Journal of Microbiology*. 8(4): 273-279.

Ringo, E., Olsen, R. E., Gifstad, T. O., Dalmo, R. A., Amlund, H., Hemre, G. I., and Bakke, A. M. (2010). Prebiotics in aquaculture: a review. *Aquaculture Nutrition.* 16(2): 117-136.

Rizal, S., Kustyawati, M.E., Suharyono, Putri, T.S.K., and Endaryanto, T. 2023. Effect of substrate type and incubation time on the microbial viability of instant starter for premium tempeh. *AIMS Agriculture and Food*. 8(2): 461–478.

Sae-lee, N. 2007. The production of fungal mannanase, cellulase and xylanase using palm kernel meal as a substrate. *Walailak Journal Science & Technology*. 4(1): 67-82.

Said, S. D., Pontas, K., Thaib, A., Maimun, T., and Silvianti, C. 2022. Increasing crude protein content of sago dregsthrough solid state fermentation process. *Journal of Applied Technology*. 9(1): 1–6.

Sastro, Y., Widianto, D., dan Shiddieq, D. Sekresi asam-asam organik oleh *A. niger* YD 17 yang ditumbuhkan dengan batuan fosfat. *Biota*. 11 (3): 167-175.

Shofa, G.S., Badruzzaman, D.Z., dan Harlia, E. 2024. Isolasi dan identifikasi kapang dan khamir pada media pertumbuhan maggot *black soldier fly*. *Media Pertanian*. 9(1): 10-26.

Siala, R., Frikha, F., Mhamdi, S., Nasri, M., Kamoun, A.S. 2012. Optimization of acid protease production by A. niger I1 on shrimp peptone using statistical experimental design. *The Scientific World Journal*. 1-11. https://doi.org/10.1100/2012/564932

Silitonga, H., Tafsin, M., Budi, U. 2015. Pengaruh penambahan endopower β® pada ransum yang mengandung bungkil inti sawit terhadap karkas dan organ dalam ayam broiler. *Jurnal Peternakan Integratif*. 3(3): 355-366.

Sinurat, A. P., Purwadaria, T., Purba, M., dan Susana, I. W. R. 2015. Peningkatan kandungan protein dan asam amino produk fermentasi bungkil inti sawit

dengan perbaikan metode fermentasi dan penambahan sumber protein. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner*. 659-668.

Sitindaon, S.H., Hanafi, N.D., Tafsin, M., and Ginting, S.P. 2021. The effect of palm kernel meal (PKM) fermentation by different level and time using *A. niger* to nutrition composition and digestibility on the sensi Agrinak-1 Chicken. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 782: 1-8.

Styawati, N.E., Muhtarudin, dan Liman. 2014. Pengaruh lama fermentasi *Trametes sp*. terhadap kadar bahan kering, kadar abu, dan kadar serat kasar daun nenas varietas smooth cayene. *Jurnal Ilmiah Peternakan Terpadu*. 2(1): 19-24.

Suhendro, Hidayat, dan Akbarillah, A. 2018. Pengaruh penggunaan bungkil inti sawit, minyak sawit, dan bungkil inti sawit fermentasi pengganti ampas tahu dalam ransum terhadap pertumbuhan kambing Nubian dara. *Jurnal Sain Peternakan Indonesia*. 13(1): 55-62.

Sulaiman, A.A., Djufry, F., Syamsuri, P., Setiyanto, A., Bahrun, A.H., Henrawati, D., dan Ridha, M.F. 2024. *Sawit Indonesia dalam Dinamika Pasar Dunia*. Pertanian Press, Jakarta. 78 hlm.

Suprihatin. 2010. *Teknologi Fermentasi*. UNESA Press, Surabaya. 43 hlm.

Syafei, A. 2017. *Pengaruh Lama Fermentasi dengan Lentinus edodes terhadap Kandungan Hemiselulosa, Lemak Kasar dan Energi Metabolisme Dari Bungkil Inti Sawit*. (Skripsi). Universitas Andalas, Padang. 51 hlm.

Syafrizal, Nurliana, dan Sugito. 2018. Pengaruh pemberian ampas kedelai dan bungkil inti sawit (AKBIS) yang difermentasi dengan *A. niger* terhadap kadar lemak dan kolesterol daging dada broiler. *Agripet*. 18(2): 74-82.

Torstensen, B. E., Espe, M., Stubhaug, I., & Lie, Ø. 2011. Dietary plant proteins and vegetable oil blends increase adiposity and plasma lipids in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *British Journal of Nutrition*. 106(5): 633-647.

Winardi, R.R. dan Prasetyo, H.A. 2024. Fermentasi pakan berbasis bungkil inti sawit (BIS) terhadap miti dan kenaikan bobot ayam buras. *Biology Education Science & Technology Journal*. 7(1): 702-708.

Wuryanti. 2008. Pengaruh penambahan biotin pada media pertumbuhan terhadap produksi sel *A. niger*. *BIOMA*. 10(2): 46-50.

Xue, P., Liao, W., Chen, Y., Xie, J., Chang, X., Peng, G., Huang, Q., Wang, Y., Sun, N., and Yu, Q. 2022. Release characteristic and mechanism of bound polyphenols from insoluble dietary fiber of navel orange peel via mixed solid-state fermentation with *Trichoderma reesei* and *A. niger*. *LWT-Food Science and Technology*. 161(113387): 1–10. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113387

Yakin, E.A., Sariri, A.K., dan Sukaryani, S. 2020. Pengaruh penambahan *A. niger* terhadap kandungan nutrien pada proses fermentasi kulit buah kakao (*Theobroma cacao*). *Jurnal Ilmu Peternakan dan Veteriner Tropis*. 10(2): 135-140.