

**ISOLASI DAN KARAKTERISASI FUNGI TERMOFILIK PADA KOMPOS
DASAR DI FASE PRE-DEKOMPOSISI COMPOST PLANT PT. GREAT
GIANT PINEAPPLE**

(Skripsi)

Oleh

OKTA MARDIANA

NPM 2117021008



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

ISOLASI DAN KARAKTERISASI FUNGI TERMOFILIK PADA KOMPOS DASAR DI FASE PRE-DEKOMPOSISI COMPOST PLANT PT. GREAT GIANT PINEAPPLE

Oleh

OKTA MARDIANA

Indonesia salah satu negara agraris dengan sektor pertanian yang sangat luas dan subur, hal inilah yang memberikan dampak strategis dalam struktur pertumbuhan perekonomian nasional. Ketika suhu naik, mikroorganisme mesofilik menjadi kurang kompetitif dan digantikan oleh mikroorganisme termofilik. Fase termofilik merupakan fase yang penting dalam proses pengomposan. Hal ini karena pada fase tersebut terjadi peningkatan dekomposisi atau tahap awal pembentukan humus. Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi dan mengkarakterisasi fungi termofilik pada kompos dasar fase pre-dekomposisi *compost plant* PT. *Great Giant Pineapple*. Penelitian ini dilakukan dengan metode deskriptif eksploratif untuk mengetahui keberadaan fungi termofilik yang dilakukan dengan beberapa tahapan penelitian meliputi sampling (pengambilan sampel kompos), isolasi fungi, pemurnian, karakterisasi makroskopis, karakterisasi mikroskopis, karakterisasi enzimatik dan penentuan nilai indeks enzimatik. Diperoleh hasil enam isolat fungi (Bio PD 1, PD 2, PD 3, PD 4, PD 5, PD 6) yang memiliki karakteristik makroskopis warna yang beragam yaitu; putih, abu-abu dan merah jambu dengan tekstur yang mendominasi halus dan padat. Karakteristik mikroskopis keenam isolat yang memiliki ciri yaitu; hifa bersekat (berseptum), konidia kecil bulat dan memiliki konidiofor. Isolat yang menunjukkan aktivitas enzim selulase positif adalah Bio PD 3, PD 4, PD 5 dan PD 6 dengan nilai indeks tertinggi pada Bio PD 5 (0,90). Aktivitas enzim protease positif ditunjukkan oleh Bio PD 1, PD 2, PD 3, dan PD 5, dengan nilai indeks tertinggi pada Bio PD 2 dan 5 (0,14). Sementara itu, aktivitas enzim ligninase mengindikasikan bahwa keenam isolat tersebut, tidak memiliki kemampuan untuk menguraikan senyawa lignin pada uji yang dilakukan.

Kata Kunci: Pengomposan, Fungi termofilik, Isolasi dan Karakterisasi

ABSTRACT

ISOLATION AND CHARACTERIZATION OF THERMOPHILIC FUNGI IN BASIC COMPOST IN THE PRE-DECOMPOSITION PHASE OF THE COMPOST PLANT AT PT. GREAT GIANT PINEAPPLE

By

OKTA MARDIANA

Indonesia is one of the world's leading agrarian countries, boasting a vast and fertile agricultural sector. This significantly impacts the structure of the national economy. As the temperature rises, mesophilic microorganisms become less competitive and are replaced by thermophilic ones. The thermophilic phase is an important stage in composting. In this phase, there is an increase in decomposition or the initial formation of humus. This study aims to isolate and characterize thermophilic fungi in the compost base during the pre-decomposition phase at PT. *Great Giant Pineapple*. This descriptive exploratory study determined the presence of thermophilic fungi through several stages: sampling the compost, fungal isolation, purification, macroscopic and microscopic characterization, enzymatic characterization, and determination of the enzymatic index value. Six isolates (Bio PD 1, PD 2, PD 3, PD 4, PD 5, and PD 6) with various colors, including white, gray, and pink, and a predominantly smooth and dense texture were isolated. The six isolates have the following microscopic characteristics: septate hyphae, small round conidia, and conidiofores. The isolates that showed positive activity for the cellulase enzyme were Bio PD 3, PD 4, PD 5, and PD 6, with Bio PD 5 showing the highest index value (0.90). Bio PD 1, PD 2, PD 3, and PD 5 showed protease enzyme activity, with the highest value for the index on Bio PD 2 and 5 (0.14). Meanwhile, ligninase enzyme activity indicated that the six isolates did not have the ability to break down lignin compounds in the test conducted.

Keywords: Composting, Thermophilic fungi, Isolation and Characterization

**ISOLASI DAN KARAKTERISASI FUNGI TERMOFILIK PADA KOMPOS
DASAR DI FASE PRE-DEKOMPOSISI COMPOST PLANT
PT. GREAT GIANT PINEAPPLE**

**Oleh
OKTA MARDIANA**

SKRIPSI

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul Skripsi

: **ISOLASI DAN KARAKTERISASI FUNGI
TERMOFILIK PADA KOMPOS DASAR DI
FASE PRE-DEKOMPOSISI *COMPOST*
PLANT PT. GREAT GIANT PINEAPPLE**

Nama Mahasiswa

: **Okta Mardiana**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2117021008

Program Studi

: Biologi / S1-Biologi

Fakultas

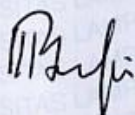
: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

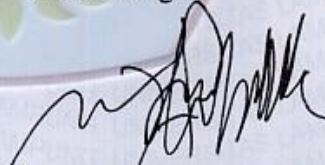
1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

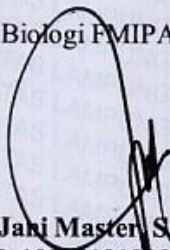


Prof. Dr. Bambang Irawan, M.Sc.
NIP. 196503031992031006



Wawan Abdullah Setiawan, S.Si., M.Si.
NIP. 197912302008121001

2. Ketua Jurusan Biologi FMIPA Universitas Lampung



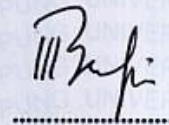
Dr. Jani Master, S.Si., M.Si.
NIP. 198301312008121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

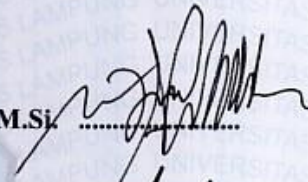
Ketua

: Prof. Dr. Bambang Irawan, M.Sc.



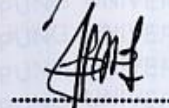
Anggota

: Wawan Abdullah Setiawan, S.Si., M.Si.

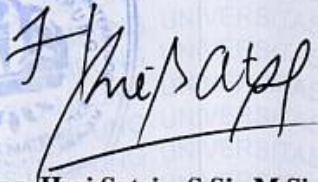


Penguji Utama

: Dr. Kusuma Handayani, S.Si., M.Si.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si
NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 24 Juli 2025

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Okta Mardiana
NPM : 2117021008
Jurusan : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam skripsi saya yang berjudul:

**“ISOLASI DAN KARAKTERISASI FUNGI TERMOFILIK PADA KOMPOS
DASAR DI FASE PRE-DEKOMPOSISI COMPOST PLANT PT. GREAT GIANT
PINEAPPLE”**

Sebagaimana data, pembahasan, dan gagasan merupakan benar hasil karya saya sendiri. Apabila di kemudian hari skripsi ini digunakan oleh mahasiswa untuk keperluan publikasi saya tidak keberatan sepanjang nama saya dicantumkan.

Demikian surat pernyataan ini saya buat. Apabila surat pernyataan ini tidak benar dan melanggar norma yang berlaku saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 28 Juli 2025



Okta Mardiana
Npm. 2117021008

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Way Kanan, 19 Oktober 2002 dari pasangan Bapak Umar dan Ibu Latri Asih sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis mengawali pendidikan Sekolah Dasar di SDN 01 Sukarame pada tahun 2009-2014. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di MTsN 02 Bandar Lampung pada tahun 2015-2018. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas di MAN 1 Bandar Lampung pada tahun 2018-2021. Penulis melanjutkan pendidikan ke Perguruan Tinggi di Universitas Lampung, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam pada tahun 2021 melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Penulis menyelesaikan pendidikan pada Perguruan Tinggi dan meraih gelar Sarjana Sains pada tahun 2025.

Selama menjadi mahasiswa Jurusan Biologi FMIPA Unila, penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Biologi (HIMBIO) sebagai Anggota Bidang Sains dan Teknologi (SAINTEK) pada tahun 2021-2023. Penulis juga aktif dalam UKM Rohani Islam (ROIS) FMIPA Unila sebagai Anggota Bidang Kaderisasi pada tahun 2021-2022. Kemudian penulis pernah menjadi asisten praktikum Mikrobiologi Umum, Botani Tumbuhan Rendah, Mikrobiologi Pangan Industri, Bioteknologi dan Mikrobiologi. Pada bulan Januari-Februari 2024 penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL)

selama 40 hari di UPTD Penerapan Mutu Hasil Perikanan (PMHP) Provinsi Lampung dengan laporan PKL berjudul **“Pengujian Bakteri *Escherichia Coli* Pada Produk Rajungan (*Portunus pelagicus*) Pasteurisasi dalam Kaleng Di Laboratorium Mikrobiologi UPTD Penerapan Mutu Hasil Perikanan (PMHP) Provinsi Lampung”**. Pada bulan Juli hingga Agustus 2024 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa Margasari, Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur Provinsi Lampung. Penulis melaksanakan penelitian di PT. Great Giant Pineapple selama tiga bulan pada tanggal 22 Desember 2024 hingga 15 Maret 2025 untuk menyelesaikan tugas akhir dalam bentuk skripsi yang berjudul **“Isolasi dan Karakterisasi Fungi Termofilik Pada Kompos Dasar Di Fase Pre-Dekomposisi Compost Plant PT. Great Giant Pineapple”**.

PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah Subhanahu wa Ta'ala, Rabb semesta alam, yang telah memberikan kehidupan, kekuatan, kesabaran, serta petunjuk dalam setiap langkah yang saya tempuh. Di saat merasa lelah, Allah yang menguatkan. Di saat hati ini ragu dan nyaris menyerah, Allah yang menenangkan. Ketika akal buntu dan langkah tersesat, hanya kepada-Nya saya kembali dan menemukan arah. Proses panjang penyusunan karya ini tidak lepas dari campur tangan-Nya, dari setiap doa yang dijawab secara perlahan, hingga akhirnya saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Saya sadar, tak ada daya dan kekuatan kecuali atas izin Allah. Maka, biarlah skripsi ini menjadi bentuk kecil pengabdian dan rasa syukur seorang hamba yang sedang belajar.

Dengan segala kerendahan hati dan ketulusan, karya ilmiah ini saya persembahkan kepada:

Kedua orang tuaku, dua sosok luar biasa yang menjadi sumber kekuatanku dalam setiap langkah hidup. Terima kasih atas cinta tanpa syarat yang tak pernah pudar, atas doa-doa yang kalian panjatkan diam-diam di setiap malam, dan atas peluh serta pengorbanan yang kalian berikan tanpa pernah meminta balasan. Di tengah kelelahan kalian tetap tersenyum, di balik kesulitan kalian tetap memberi. Semoga karya sederhana ini bisa menjadi bagian kecil dari kebanggaan kalian, seperti kalian adalah kebanggaan terbesar dan terindah dalam hidupku. Segala yang kuperjuangkan, kuawali, dan kuselesaikan semuanya berawal dari cinta kalian yang tak pernah habis.

Kedua kakak ku , terima kasih sudah karena telah menjadi sosok yang selalu mendukung dalam diam, menguatkan di saat aku lemah, dan hadir sebagai semangat

yang tak pernah pudar.

Bapak dan Ibu Dosen yang telah menjadi orang tua kedua di kampus yang tak bosan memberikan dan mengajarkan ilmu serta bimbingannya dengan tulus dan ikhlas hingga berhasil mencapai gelar sarjana.

Sahabat dan teman-teman seperjuangan yang telah kebersamai, menjadi teman dalam tawa, dan menjadi saksi atas perjuangan ini. Kebersamaan ini adalah bagian indah yang akan selalu dirindukan.

Almammater tercinta, Universitas Lampung

MOTTO

"Dan orang-orang yang berjihad untuk (mencari keridhaan) Kami, benar-benar akan Kami tunjukkan kepada mereka jalan-jalan Kami. Dan sungguh, Allah beserta orang-orang yang berbuat baik."

QS. Al-Ankabut: 69

"Janganlah kamu merasa lemah dan jangan pula bersedih hati, padahal kamulah orang-orang yang paling tinggi (derajatnya), jika kamu orang-orang yang beriman."

QS. Ali Imran: 139.

"Maka kelak kamu akan ingat kepada apa yang kukatakan kepadamu. Dan aku menyerahkan urusanku kepada Allah. Sungguh, Allah Maha Melihat akan hamba-hamba-Nya."

QS. Ghafir: 44.

“Success is the sum of small efforts, repeated day in and day out”

Robert Collier

SANWACANA

Puji syukur kehadiran Allah SWT, Dzat yang Maha Mengetahui lagi Maha Bijaksana, yang telah melimpahkan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan seizin dan ridha-Nya. Tanpa kekuatan dari Allah, niscaya setiap langkah dalam proses ini tidak akan mampu penulis lalui. Skripsi dengan judul “Isolasi dan Karakterisasi Fungi Termofilik Pada Kompos Dasar Di Fase Pre-Dekomposisi Compost Plant PT. Great Giant Pineapple” ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Biologi, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Keterbatasan pengetahuan, pengalaman, serta kelemahan dalam proses penyusunannya baik dari segi isi maupun penyampaian. Penulis dengan rendah hati membuka diri terhadap segala bentuk kritik dan saran yang membangun, demi perbaikan dan pengembangan di masa yang akan datang. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat, menjadi ilmu yang bernilai, menjadi amal kebaikan yang diridhai oleh Allah serta menjadi saksi kecil atas niat baik yang berusaha diwujudkan. Selama penyusunan skripsi ini, penulis menyadari banyak sekali pihak yang telah membantu dan selalu memberikan dukungan serta dorongan agar terselesaikannya skripsi ini. Dalam proses penyusunannya, penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah memberikan dukungan, doa, dan bimbingan. Oleh karena itu, penulis dengan tulus ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Jani Master. M.Si., selaku Ketua Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
3. Ibu Dr. Kusuma Handayani S.Si., M.Si., selaku Ketua Program Studi S1-Biologi sekaligus Dosen Pembahas yang telah memberikan bimbingan, saran, dan semangat kepada penulis.
4. Bapak Prof. Dr. Bambang Irawan M.Sc., selaku Pembimbing 1 yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikirannya untuk membimbing penulis dengan penuh kesabaran dan ketulusan. Setiap arahan, kritik, dan saran yang diberikan menjadi cahaya yang menuntun penulis melewati proses ini hingga akhir.
5. Bapak Wawan Abdullah Setiawan S.Si., M.Si., selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan masukan dan arahan yang berharga selama proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih atas kesabaran, ketelitian, serta dukungan yang telah di berikan sehingga penulis dapat menyempurnakan karya ini dengan lebih baik.
6. Ibu Dzul Fithria Mumtazah, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama menempuh pendidikan di Jurusan Biologi.
7. Kedua orang tua yang penulis cintai, Ayah Umar dan Ibu Latri Asih. Terima kasih atas segala kasih sayang, kesabaran, serta pengorbanan yang tak ternilai sepanjang hidup penulis. Doa yang senantiasa kalian panjatkan menjadi sumber kekuatan dalam setiap langkah dan proses yang dilalui. Tanpa dukungan, ketulusan, dan cinta kalian yang tak tergantikan, karya ini tidak akan pernah terwujud.
8. Kedua abangku Supriyadi dan Dwi Astanto serta mbaku Dwi Mayasari yang telah memberikan semangat, kasih sayang, perhatian, doa dan dukungan yang tidak pernah putus mengalir selama proses panjang ini.
9. Saudara sekaligus mbaku tersayang, Vivi Cahyani. Terima kasih atas dukungan, dan ketulusan yang selalu hadir dalam setiap langkah perjuangan ini. Bukan hanya sosok kakak, tapi juga teman dan penguat yang tak tergantikan dalam perjalanan hidup penulis.

10. Untuk sahabat-sahabatku, Anidita Fermian Sari, Oktavia Pupung Sari, Lulu Lusita, M. Sultan Perdana Daramel, dan Ahmad Ichmatiar, anggota “WIB Squad”. Terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan ini, dalam tawa, letih, dan semangat yang tak pernah padam. Kehadiran kalian membawa warna, dukungan kalian menguatkan, dan canda kalian menjadi penghibur di tengah penatnya perjuangan. Persahabatan ini adalah anugerah yang tak ternilai, dan semoga tetap abadi melampaui waktu dan jarak.
11. Untuk rekan-rekan seperjuangan dalam tim penelitian, Zaskia Citra Azzahra, Alvina Gian Sinta, Shalsabila Septiani, Khairunnisa Qurrata Rabbani, dan Ronna Assyifa. Terima kasih atas setiap langkah yang telah kita tapaki bersama, dalam suka maupun duka, dalam lelah maupun tawa. Kalian bukan sekadar rekan penelitian, tetapi juga sahabat yang menjadi tempat berteduh saat badai datang dan sumber semangat saat langkah mulai melemah. Kebersamaan kita bukan hanya menghasilkan data dan hasil akhir, tetapi juga kenangan yang akan terus hidup dalam ingatan. Semoga perjalanan ini menjadi pondasi bagi pencapaian besar kita selanjutnya, dan tali persaudaraan ini tetap erat meski waktu dan arah hidup membawa kita ke jalan yang berbeda.
12. Ibu Ratdiana, Mba Diana, Mbah Pujo, Ibu Septi, Ibu Eli, Mas Sulthon, Mba Devi, Mba Lilik, Mba Tina, Mba Umi, Mba Dina, dan segenap keluarga besar Lab Riset PT. Great Giant Pinneapple. Terima kasih telah memberikan bimbingan, motivasi, masukan dan dukungan selama proses penyelesaian skripsi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
13. Teman-teman KKN Desa Margasari, Suci Dera, Agita Fitriani, Agnathania Dekha, Rezza Syakhdan, Divalyu Alamona dan Fandi Apriato, Terima kasih atas semangat, kerja sama, canda tawa, dukungan, dan kebersamaan yang terjalin selama 40 hari turut menjadi kenangan yang tak terlupakan.
14. Sahabat sedari kecilku, Mia Apriyanti dan Nafasah Zahratul Khoir. Terimakasih sudah memberikan dukungan, canda tawa dan semangat kepada penulis.
15. Kedua ponakanku, Khawarizmi dan Ibnu Saddam. Terima kasih telah menjadi sumber semangat dan tawa di tengah perjuanganku. Hadirmu memberi warna dalam setiap langkahku menuju akhir perjalanan ini.

16. Pada seorang perempuan kecil yang begitu rapuh, yaitu diriku sendiri. Terima kasih telah bertahan sejauh ini, meski tak selalu mudah. Terima kasih telah terus melangkah di tengah kelelahan, kegelisahan, dan keraguan. Mungkin tidak semua orang tahu perjuangan yang dijalani, tapi dirimu tahu betapa beratnya semua itu. Terima kasih telah tidak menyerah, meski berkali-kali ingin berhenti. Terima kasih telah menjadi kuat, meski sering kali merasa lemah. Terima kasih telah mencintai dirimu sendiri, bahkan ketika kamu merasa tidak cukup baik. Terima kasih sudah terus berjuang sampai sejauh ini. Kamu hebat, dan aku bangga.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan karya ini masih terdapat berbagai kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Namun, dengan segala keterbatasan yang ada, besar harapan penulis agar karya sederhana ini dapat memberikan manfaat dan menjadi bahan pembelajaran yang berarti bagi siapa pun yang membacanya.

Bandar Lampung, 28 Juli 2024

Penulis,

Okta Mardiana

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Kerangka Pemikiran	5
1.5 Hipotesis Penelitian	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Kompos	7
2.1.1 Fase-Fase Pengomposan	8
2.1.2 Faktor Yang Mempengaruhi Pengomposan.....	10
2.2 Mikroba Dekomposer	13
2.3 Biologi Fungi Termofilik	15
2.4. Enzim Pada Fungi Termofilik	17
III. METODE PENELITIAN	20
3.1 Waktu dan Tempat	20
3.2 Alat dan Bahan	20
3.3 Rancangan Penelitian	21

3.4 Prosedur Penelitian	22
3.4.1 Pengambilan Sampel.....	22
3.4.2 Sterilisasi Alat.....	22
3.4.3 Fungi Termofilik.....	23
3.4.3.1 Pengenceran Berseri.....	23
3.4.3.2 Isolasi Fungi Termofilik.....	23
3.4.3.2 Pemurnian Fungi Termofilik.....	23
3.4.3.3 Karakterisasi Fungi Secara Makroskopis.....	24
3.4.3.4 Karakterisasi Fungi Secara Mikroskopis	24
3.4.3.5 Uji Aktivitas Enzimatik	25
3.5 Analisis Data.....	28
3.6 Bagan Alir Penelitian	29
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
4.1 Hasil Penelitian	30
4.1.1 Isolasi dan Karakterisasi Makroskopis Fungi Termofilik	30
4.1.2 Karakterisasi Mikroskopis Fungi Termofilik	32
4.1.3 Karakterisasi dan Nilai Indeks Enzimatik Fungi Termofilik	34
4.1.3.1 Aktivitas Enzim Selulase	34
4.1.3.2 Aktivitas Enzim Protease	36
4.1.3.3 Aktivitas Enzim Ligninase	38
4.2 Pembahasan	40
4.2.1 Isolasi dan Karakterisasi Mikroskopis Fungi Termofilik	40
4.2.2 Aktivitas dan Nilai Indeks Enzimatik Fungi Termofilik	44
4.2.2.1 Aktivitas Enzim Selulase	45
4.2.2.2 Aktivitas Enzim Protease	47
4.2.2.3 Aktivitas Enzim Ligninase	50
V. SIMPULAN DAN SARAN	52
5.1 Simpulan	52
5.2 Saran	52

DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN	65

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Hasil Karakterisasi Makroskopis Isolat Fungi Termofilik Yang Didapatkan Dari Fase-Predekomposisi Dasar	31
2. Hasil Karakterisasi Mikroskopis Isolat Fungi Termofilik Yang Didapatkan Dari Fase-Predekomposisi Dasar	34
3. Nilai Indeks Enzimatik Selulase	37
4. Nilai Indeks Enzimatik Protease	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Fase Pengomposan	9
2. Diagram Alir Tahap Penelitian	30
3. Isolat fungi termofilik pada uji aktivitas enzim selulase	36
4. Isolat fungi termofilik pada uji aktivitas enzim protease	38
5. Isolat fungi termofilik pada uji aktivitas enzim ligninase	40
6. Tempat Pengambilan Sampel	65
7. Pengukuran Suhu dan pH Kompos	65
8. Proses Pengambil Sampel Menggunakan Excavator	65
9. Pengambilan Sampel Kompos Dasar	65
10. Plastik Steril	65
11. Sampel Kompos di Timbang 25 gram	66
12. Proses Pengenceran Berseri Pada Tabung Reaksi	66
13. Setiap Tabung Pengenceran di Vorteks	66

14. Isolasi dengan Metode Spread Plate	66
15. Inkubasi 7 Hari	66
16. Hasil dari Isolasi Kemudian di Lakukan Pemurnian	66
17. Proses Pemurnian Fungi	67
18. Proses Pemindahan Fungi Ke Media PDA yang baru	67
19. Proses Pembuatan Slide Culture	67
20. Proses Pembuatan Slide Culture	67
21. Pengamatan Mikroskopis Fungi	67
22. Pembuatan Media untuk Uji Enzim Protease	67
23. Proses Hotplate dan Pengukuran pH	68
24. Penuangan Media di Cawan	68
25. Media Protease	68

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia salah satu negara agraris dengan sektor pertanian yang sangat luas dan subur, hal inilah yang memberikan dampak strategis dalam struktur pertumbuhan perekonomian nasional. Salah satu perusahaan terbesar yang berbasis pertanian di Indonesia adalah PT. Great Giant Pineapple (GGP). PT. Great Giant Pineapple merupakan industri nanas terbesar ketiga di dunia yang berada di Provinsi Lampung, Indonesia. Perusahaan ini memproduksi rata-rata setiap hari 2.500 ton buah nanas yang diolah menjadi nanas kaleng dan jus untuk pasaran ekspor lebih dari 63 negara dari 5 benua, karena proses produksi yang besar maka diperlukan alokasi untuk pengelolaan limbah yang ramah lingkungan. Salah satu program yang dioperasikan yaitu *integrated solid waste management (zero solid waste)* dengan memanfaatkan *manure* (kotoran hewan), serat bromelain, dan bahan-bahan lain untuk diproses menjadi kompos (Susanto & Lubis, 2017).

Sebelum memasuki proses pengomposan ada tahap awal dalam proses penguraian bahan organik yaitu tahap pre-dekomposisi. Pada tahap ini bahan-bahan organik disiapkan untuk proses penguraian oleh mikroorganisme. Tahap pre-dekomposisi termasuk suatu langkah penting yang meliputi pemilahan bahan, pemotongan menjadi ukuran kecil dan pengaturan kelembaban (Zhang *et al.*, 2020). Hal ini dilakukan agar saat proses pengomposan dapat lebih efektif, sehingga akan mempercepat proses penguraian dan memastikan bahwa proses kompos berjalan dengan

optimal (Marlina *et al.*, 2017).

Perkembangan tahapan dalam proses pengomposan dilihat dari perubahan suhu selama proses berlangsung. Komunitas atau populasi mikroorganisme yang berbeda mendominasi selama fase pengomposan. Pre-dekomposisi awal dilakukan oleh mikroorganisme mesofilik yang dengan cepat memecah senyawa yang mudah larut dan mudah terurai. Panas yang dihasilkan menyebabkan suhu kompos naik dengan cepat. Ketika suhu naik, mikroorganisme mesofilik menjadi kurang kompetitif dan digantikan oleh mikroorganisme termofilik (Xu *et al.*, 2019). Fase termofilik merupakan fase yang penting dalam proses pengomposan. Hal ini karena pada fase tersebut terjadi peningkatan dekomposisi atau tahap awal pembentukan humus, untuk menjaga proses pengomposan berjalan baik pada kisaran suhu termofilik, aerasi kompos harus diperhatikan dengan seksama, terutama aerasi dengan cara pengadukan harus dilakukan dengan teratur dan hati-hati (Handrah *et al.*, 2021).

Selama fase termofilik, suhu tinggi mempercepat pemecahan karbohidrat kompleks seperti selulosa dan hemiselulosa, suhu yang cukup tinggi ini akan mematikan mikroorganisme patogen (Handley *et al.*, 2020). Hal penting lainnya adalah suhu yang tinggi pada fase termofilik bisa menghancurkan zat beracun atau zat organik yang berbahaya, sehingga tidak aktif lagi. Ketika sumber energi di fase ini mulai menipis atau habis, suhu kompos akan perlahan turun sampai mencapai suhu mesofilik. Selanjutnya, aktivitas mikroba mesofilik terus berkurang yang disertai dengan semakin berkurangnya persediaan makanan maka fase ini disebut fase pendinginan yang di akhiri dengan (*curing phase* atau fase pematangan), di mana mikroorganisme hidup memanfaatkan ketersediaan bahan organik yang terus berkurang jumlahnya (Maksudi *et al.*, 2022).

Pada fase pendinginan, aktivitas mikroorganisme umumnya mengalami penurunan yang mencapai sekitar 50%. Penurunan ini terjadi karena suhu rendah dapat memperlambat proses metabolisme sel mikroba, sehingga laju pertumbuhan dan reproduksi menjadi lebih lambat (Bhat *et al.*, 2018). Meskipun demikian, kondisi suhu yang rendah justru dapat memberikan kemungkinan bagi meningkatnya keanekaragaman taksonomi mikroorganisme. Hal ini dikarenakan lingkungan yang lebih dingin dapat mendukung keberlangsungan hidup jenis-jenis mikroorganisme tertentu yang sebelumnya tidak dominan pada suhu yang lebih tinggi (Zhu *et al.*, 2023). Selain itu, metabolit yang dihasilkan juga cenderung meningkat, karena mikroorganisme akan menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan yang baru dengan menghasilkan senyawa metabolit sekunder sebagai cara beradaptasi (Hamidah & Gawy, 2023).

Setelah fase pendinginan berakhir dan suhu mulai menurun, maka fase selanjutnya adalah fase pematangan di mana fungi tetap berperan penting dalam tahap pematangan kompos yaitu dengan membantu menyelesaikan proses pre-dekomposisi dan berperan dalam pembentukan humus yang kaya nutrisi (Cerdeira *et al.*, 2018). Pembentukan humus ini sangat penting karena membantu dalam memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas tanah untuk menyimpan air dan unsur hara, serta menjaga kesuburan tanah dalam waktu yang lama. Aktivitas fungi termofilik ini menghasilkan amonia dan gas nitrogen, yang dapat meningkatkan pH kompos menjadi lebih basa (Chen *et al.*, 2020).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Guixian *et al.* (2021), diketahui bahwa terdapat peningkatan kelimpahan komunitas fungi selama fase mesofilik dan termofilik, yang kemudian menjadi stabil pada tahap pematangan kompos. Salah satu genus fungi yang dominan adalah genus saprotrofik *Aspergillus*, yang memiliki kemampuan adaptasi tinggi terhadap perubahan suhu dan kelembaban lingkungan. Genus *Aspergillus*

berperan penting dalam menguraikan senyawa selulosa dan hemiselulosa pada fase termofilik.

Proses pengomposan limbah organik di PT. *Great Giant Pinneapple* (GGP) melibatkan degradasi metabolik oleh fungi mesofilik dan termofilik, yang berperan penting dalam penguraian molekul organik. Berdasarkan temuan penelitian sebelumnya, studi lebih lanjut mengenai inokulum fungi termofilik sangat diperlukan. Penelitian ini, berjudul *Isolasi dan Karakterisasi Fungi Termofilik pada Kompos Dasar di Fase Pre-Dekomposisi Compost Plant PT. Great Giant Pineapple*, dengan maksud untuk memperdalam pemahaman tentang fungi termofilik serta meningkatkan efisiensi dan efektivitas mikroorganisme dalam proses pengomposan yang lebih optimal.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Apa saja jenis fungi termofilik yang berhasil diisolasi dari kompos dasar di fase pre-dekomposisi compost plant PT. Great Giant Pineapple?.
2. Bagaimana karakteristik makroskopis meliputi tekstur dan warna koloni; karakteristik mikroskopis meliputi hifa, konidiofor dan konidia; serta karakteristik enzim yang meliputi aktivitas enzim selulase, protease, dan ligninase fungi termofilik yang berhasil diisolasi dari kompos dasar di fase pre-dekomposisi compost plant PT. Great Giant Pineapple?.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengisolasi fungi termofilik dari kompos dasar di fase pre dekomposisi compost plant PT. Great Giant Pineapple.

2. Mengetahui karakteristik makroskopis meliputi tekstur dan warna koloni; karakteristik mikroskopis meliputi hifa, konidiofor, dan konidia; serta karakteristik enzim yang meliputi aktivitas enzim selulase, protease, dan ligninase fungi termofilik yang berhasil diisolasi dari kompos dasar di fase pre-dekomposisi compost plant PT. Great Giant Pineapple.

1.4 Kerangka Pemikiran

PT. Great Giant Pineapple telah menerapkan program pengelolaan limbah organik berbasis *Integrated Solid Waste Management* (ISWM) atau *zero solid waste*, dengan memanfaatkan limbah seperti kotoran hewan (manure), serat bromelain, dan bahan organik lainnya untuk diolah menjadi kompos. Pengelolaan limbah organik melalui proses pengomposan menjadi salah satu solusi berkelanjutan dalam meminimalisasi dampak lingkungan dari aktivitas industri berbasis pertanian.

Sebelum memasuki tahap pengomposan, tahapan awal dalam proses ini adalah tahap pre-dekomposisi, yaitu fase awal yang bertujuan mempersiapkan bahan organik agar lebih mudah terurai oleh mikroorganisme. Proses pengomposan sangat dipengaruhi oleh suhu, pada suhu sekitar 30°C sampai 50°C, mikroorganisme termofilik, khususnya fungi termofilik, mulai aktif dan berperan penting dalam mempercepat dekomposisi bahan organik. Fungi termofilik mampu bertahan pada suhu tinggi yang dapat menghasilkan enzim ekstraseluler seperti selulase, protease, dan ligninase yang stabil pada kondisi ekstrem. Aktivitas metabolisme fungi ini juga menghasilkan panas tambahan yang membantu meningkatkan suhu tumpukan kompos dan membunuh patogen. Selain itu, kemampuan fungi termofilik untuk beradaptasi dengan lingkungan

bersuhu tinggi memungkinkan untuk menjadi dominan dalam komunitas mikroba selama fase termofilik. Hal ini menjadikan fungi sebagai faktor utama dalam mempercepat dekomposisi bahan organik kompleks, seperti lignoselulosa.

Keberhasilan proses pengomposan sangat dipengaruhi oleh jenis bahan, kondisi lingkungan, serta keberadaan fungi termofilik sebagai agen pengurai utama. Mengingat pentingnya peran fungi termofilik dalam proses tersebut, penelitian ini difokuskan pada isolasi dan karakterisasi fungi termofilik dari kompos dasar pada fase pre-dekomposisi. Tujuannya adalah untuk mengetahui potensi fungi yang diperoleh dari inokulum, sehingga diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknik pengomposan yang lebih efektif dan ramah lingkungan.

1.5 Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian ini adalah, sebagai berikut:

1. Didapatkan isolat fungi termofilik dari kompos dasar di fase pre dekomposisi compost plant PT. Great Giant Pineapple.
2. Diketahui karakteristik makroskopis meliputi tekstur dan warna koloni; karakteristik mikroskopis meliputi hifa, konidiofor dan konidia; serta karakteristik enzim yang meliputi aktivitas enzim selulase, protease, dan ligninase fungi termofilik yang berhasil diisolasi dari kompos dasar di fase pre-dekomposisi compost plant PT. Great Giant Pineapple .

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kompos

Kompos disebut sebagai proses oksidasi biologis di mana mikroorganisme menggunakan oksigen sebagai aseptor akhir elektron untuk respirasi aerobik. Dalam kondisi ini, ditandai dengan pembentukan karbon dioksida (CO₂), air, dan panas. Karena konsentrasi oksigen terus menurun selama proses berlangsung, maka diperlukan pasokan udara yang cukup diperlukan untuk menjaga aktivitas metabolisme mikroorganisme. Untuk membuat kompos, diperlukan bahan baku berupa material organik, organisme pengurai, dan kelembapan yang sesuai (Raja *et al.*, 2018).

Kompos sangat bermanfaat untuk meningkatkan produksi pertanian, baik dari segi kualitas maupun kuantitas, serta membantu mengurangi pencemaran lingkungan dan meningkatkan kualitas lahan secara berkelanjutan (Amiruddin & Adam, 2018). Keberadaan mikroorganisme memiliki peran yang sangat penting dalam proses pengubahan bahan organik yang terurai menjadi humus dengan efisiensi yang tinggi. Dalam proses ini, bakteri mesofilik berkontribusi dalam degradasi limbah organik, sedangkan fungi berperan dengan memproduksi enzim fungsional yang diperlukan untuk penguraian (Duan *et al.*, 2021). Produk akhir pengomposan adalah kompos dengan tekstur yang menyerupai humus, stabil, berwarna gelap, dan sangat bermanfaat bagi tanaman (Aguilar-Paredes *et al.*, 2023).

2.1.1 Fase-Fase Pengomposan

Pengomposan adalah metode biologis yang mengubah limbah padat menjadi produk akhir yang bermanfaat, seperti pupuk, biogas, dan substrat fungi. Proses ini melibatkan mekanisme biokimia, termasuk degradasi dan stabilisasi limbah oleh mikroba. Pengomposan memiliki beberapa fase, dalam fase tersebut juga sangat mempengaruhi kualitas dan tingkat dekomposisi (Li *et al.*, 2018).

Mahapatra *et al.* (2022) menyatakan bahwa kompos memiliki beberapa fase diantaranya, yaitu:

a. Fase Mesofilik

Fase pertama adalah fase mesofilik di mana senyawa non-kompleks seperti asam amino, lipid, dan gula dipecah oleh fungi dan bakteri mesofilik, seiring dengan peningkatan suhu. Pada fase ini, suhunya berkisar antara 20-40°C yang akan membantu bakteri dan fungi untuk tumbuh (Abbas *et al.*, 2022).

b. Fase Termofilik

Fase kedua adalah fase termofilik, di mana mikroba termofilik mendegradasi bahan organik yang lebih kompleks seperti lignin, lemak, dan selulosa. Pada fase ini, mikroba tahan panas secara efektif mengurangi kandungan karbon organik terkendali (Abbas *et al.*, 2022). Saat proses pengomposan dimulai suhu kompos meningkat seiring waktu dan selama perubahan suhu, populasi termofil meningkat dan populasi mesofil menurun, peningkatan suhu selama fase termofilik mendorong denaturasi polimer, membuat lebih banyak substrat tersedia, meningkatkan komunitas mikroba dan aktivitas enzimatik (Finore *et al.*, 2023).

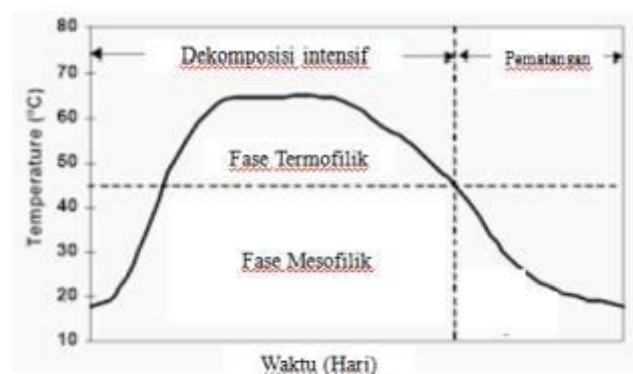
c. Fase Pendinginan

Fase pendinginan, ditandai dengan penurunan kinerja mikroba dan

suhu. Selama tahap pendinginan, proses penguapan air dari material yang telah dikomposkan terus berlangsung. Semua proses ini berlangsung dalam kondisi yang terkendali (Abbas *et al.*, 2022).

d. Fase Pematangan

Pada fase ini berlangsung beberapa hari hingga beberapa bulan, yaitu hingga terjadi penguraian senyawa karbon, dan berakhir saat diperoleh kompos yang stabil dan matang (Nanda *et al.*, 2017). Kematangan kompos sangat berpengaruh terhadap kualitas kompos. Kompos yang sudah matang memiliki kandungan bahan organik yang dapat didekomposisi dengan mudah, mempunyai C/N rasio yang rendah, dan tidak menyebarkan bau yang menyengat (Saraswati & Praptana, 2017).



Gambar 1. Fase Pengomposan (Meilani & Susyani, 2021)

Pengomposan adalah proses yang bergantung pada oksigen (aerobik), di mana pasokan oksigen yang terjaga sangat penting untuk aerasi yang tepat. Aerasi diperlukan untuk mendukung berbagai proses, termasuk pemeliharaan kelembapan, aktivitas mikrobiologi, pengaturan suhu, pH, dan pembuangan kelebihan karbon dioksida. Menurut Latifah *et al.* (2015) untuk mencapai pengomposan yang efisien, konsentrasi oksigen harus berada dalam kisaran 15-20%, karena konsentrasi ini

berhubungan langsung dengan dinamika microbiota (Nakasaki *et al.*, 2019).

Pada awal proses pengomposan, mikroorganisme mulai beradaptasi dan tumbuh pesat karena ketersediaan nutrisi. Aktivitas degradasi substrat yang intens menyebabkan suhu meningkat secara bertahap.

Peningkatan suhu ini mencerminkan tingginya aktivitas mikroba dalam menguraikan karbohidrat, lemak, dan asam amino yang menghasilkan panas. Proses ini berlangsung hingga suhu kompos stabil menandakan bahwa dekomposisi bahan organik telah mencapai tahap akhir atau kematangan (Sugito & Ratnawati, 2020). Menurut Biyada *et al.* (2021), karakteristik utama pengomposan adalah tumpukan kompos dapat mengumpulkan sejumlah besar panas biologis dalam waktu singkat, sehingga menyebabkan suhu meningkat lebih dari 50°C.

2.1.2 Faktor Yang Mempengaruhi Pengomposan

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses pengomposan diantaranya:

a. Suhu

Suhu merupakan faktor penting yang menentukan efektivitas pengomposan. Suhu berkembang melalui keseluruhan proses pengomposan. Proses pengomposan terdapat empat fase, yaitu fase mesofilik, termofilik, pendinginan, dan pematangan (Chen *et al.*, 2020). Suhu yang berbeda mempengaruhi jenis mikroorganisme yang aktif, sehingga pengomposan dapat berlangsung. Peningkatan suhu ini tidak hanya mempercepat proses penguraian bahan organik, tetapi juga berfungsi untuk membunuh mikroba patogen yang dapat merugikan tanaman. Suhu pengomposan dapat menunjukkan fase pengomposan sekaligus menunjukkan kondisi degradasi mikroba secara aktual (Awasthi *et al.*, 2014).

b. Aerasi

Pada dasarnya, pengomposan adalah proses aerobik di mana oksigen (O_2) dikonsumsi dan karbon dioksida (CO_2) serta air (H_2O) dilepaskan (Awasthi *et al.*, 2014). Aerasi merupakan faktor penting lainnya yang mempengaruhi pengomposan (Chen *et al.*, 2020).

Proses aerasi menyediakan O_2 yang diperlukan untuk oksidasi bahan organik, membantu menguapkan kelebihan kelembapan dari substrat serta mendistribusikan suhu secara merata ke seluruh massa kompos. Laju aerasi berpengaruh terhadap aktivitas mikroba dalam proses pengomposan, yang pada gilirannya meningkatkan kualitas kompos.

Peningkatan aerasi dapat menyebabkan tingkat penguapan yang lebih tinggi dan pendinginan kompos yang lebih cepat. Namun, jika pendinginan terjadi secara berlebihan pada tahap termofilik, hal ini dapat menghambat proses dekomposisi (Gao *et al.*, 2014). Oleh karena itu, sangat penting untuk menjaga aerasi dalam kisaran yang sesuai agar proses pengomposan dapat berlangsung dengan efektif dan menghasilkan kompos berkualitas tinggi (Chen *et al.*, 2020).

c. Kadar Air

Kadar air sangat penting dalam proses pengomposan karena mempengaruhi laju penyerapan oksigen, suhu, ruang udara bebas, dan aktivitas mikroba (Petric *et al.*, 2012). Selama proses pengomposan, peningkatan kadar air dapat menyebabkan penurunan laju difusi gas, sehingga laju penyerapan oksigen mungkin tidak mencukupi untuk kebutuhan metabolisme fungi termofilik.

Akibatnya, proses tersebut dapat berubah menjadi anaerobik karena terbatasnya aktivitas mikroba (Mohammad *et al.*, 2015). Namun, kadar air juga tidak boleh terlalu rendah, karena dapat menyebabkan dehidrasi pada tahap awal proses pengomposan dan menghambat proses biologis (Makan *et al.*, 2013). Oleh karena itu, kadar air yang

sesuai sangat penting untuk pengomposan.

d. Kadar Karbon, Nitrogen dan Kalium

Selama proses pengomposan, karbon (C), nitrogen (N), dan kalium (K) adalah nutrisi utama yang dibutuhkan oleh mikroorganisme. (Darby *et al.*, 2016). Mikroorganisme memperoleh nutrisi ini dengan memecah senyawa organik dan pada saat yang sama mendapatkan energi untuk metabolisme (Chen *et al.*, 2020). Di antara ketiga unsur hara tersebut, C dan N sangat penting; C digunakan sebagai sumber energi, sedangkan N diperlukan untuk membangun struktur sel (Iqbal *et al.*, 2015).

Ketika N kurang, pertumbuhan mikroba akan terhambat, dan proses dekomposisi C akan melambat. Namun, jika N tersedia dalam jumlah yang jauh lebih banyak daripada yang dibutuhkan oleh populasi mikroba, beberapa masalah lain dapat muncul. Apabila rasio C/N terlalu rendah, kelebihan N akan dilepaskan sebagai gas amonia, yang menghasilkan bau tidak sedap. Sebaliknya, jika rasio C/N terlalu tinggi, hal ini menunjukkan bahwa N tidak mencukupi untuk pertumbuhan mikroorganisme, sehingga proses pengomposan akan melambat (Chen *et al.*, 2020). Oleh karena itu, penting untuk mengontrol rasio C/N agar tetap dalam kisaran optimal untuk mendukung efisiensi proses pengomposan.

e. pH dan Asam

pH substrat dan produksi asam pada awal proses pengomposan dapat mempengaruhi munculnya kelompok mikroba tertentu yang berperan dalam transformasi bahan organik. Variabilitas spesies mikroba paling tinggi ditemukan pada pH antara 5,5 dan 8,0. Bahwa suatu lingkungan yang bersifat asam perlu ditambahkan bahan basa untuk memperbaiki kondisi agar mikroba dapat tumbuh dengan baik (Torres *et al.*, 2018).

Adanya peningkatan pH selama proses pengomposan disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik. Salah satu penyebab utama naiknya pH adalah dekomposisi senyawa nitrogen oleh mikroorganisme, yang menghasilkan amonia. Ketika amonia mulai terbentuk, pH kompos akan meningkat dan menjadi bersifat basa (Krispedana *et al.*, 2020). Kondisi ini menunjukkan adanya aktivitas mikroba yang secara aktif memecah dan menguraikan senyawa organik menjadi senyawa yang lebih sederhana, termasuk asam-asam organik. Pada tahap dekomposisi, pH dapat mencapai kondisi optimum karena mulai aktifnya mikroorganisme mesofilik yang menguraikan senyawa sederhana seperti gula, protein, dan asam amino. Aktivitas ini menghasilkan asam organik dan amonia yang memengaruhi nilai pH dengan kisaran pH optimum antara 6,5–7,5 (Alsohaili & Bayan, 2018).

f. Ukuran Partikel

Ukuran partikel bahan yang akan dikomposkan akan menentukan tingkat porositas, aerasi, dan pertukaran gas atau air. Ukuran partikel yang terlalu kecil akan menimbulkan pemadatan sehingga mengakibatkan minimnya ruang udara, sedangkan jika ukuran partikel terlalu besar akan memperlambat proses dekomposisi. Nemet *et al.* (2021), menjelaskan bahwa komponen awal kompos harus dipotong menjadi 1 inch untuk menambah ruang bagi mikroba dan mempercepat pengomposan.

2.2 Mikroba Dekomposer

Proses pengomposan melibatkan berbagai jenis mikroorganisme, termasuk bakteri dan fungi, yang bekerja pada tahapan yang berbeda sesuai dengan kondisi lingkungan dan jenis bahan yang tersedia. Bakteri merupakan dekomposer utama, terutama pada tahap awal pengomposan, dan dapat dikelompokkan berdasarkan suhu optimal pertumbuhannya menjadi bakteri

mesofilik (aktif pada suhu 20-40°C) dan termofilik (aktif pada suhu di atas 40°C) (Chusniasih *et al.*, 2023). Sementara itu, fungi lebih berperan dalam mendekomposisi lignin dan bahan organik yang lebih sulit diuraikan pada tahap tengah dan akhir pengomposan, serta lebih toleran terhadap kondisi lingkungan yang kurang ideal bagi bakteri. Bakteri dan fungi bertanggung jawab atas dekomposisi bahan yang lebih kompleks dan memberikan tekstur pada kompos akhir. Selama proses pengomposan, terjadi serangkaian tahapan biokimia yang kompleks di mana mikroorganisme memiliki peran khusus pada masing-masing tahapan (Wang *et al.*, 2022).

Pada tahap mesofilik awal, bakteri mesofilik dan fungi memulai dekomposisi bahan organik yang mudah terurai, seperti gula dan protein sederhana. Aktivitas mikroorganisme ini menghasilkan panas yang menyebabkan kenaikan suhu tumpukan kompos. Ketika suhu meningkat, tahap termofilik dimulai, dan mikroorganisme termofilik mulai bekerja dengan memecah senyawa kompleks seperti protein dan selulosa (Braga *et al.*, 2024). Suhu tinggi pada fase ini juga berfungsi untuk membunuh patogen dan organisme pengganggu lainnya. Setelah fase termofilik, suhu tumpukan mulai menurun memasuki fase pendinginan dan pematangan, di mana bakteri dan fungi mesofilik kembali aktif untuk menguraikan sisa bahan organik yang lebih resisten dan membantu pembentukan humus yang stabil (Paredes *et al.*, 2023). Selama melakukan proses pengomposan mikroorganisme melakukan respirasi aerobik, menghasilkan karbon dioksida, air, panas, serta senyawa organik yang telah terdegradasi. Selain itu, mikroorganisme juga menghasilkan enzim-enzim seperti selulase, protease, dan ligninase yang membantu memecah komponen-komponen kompleks dalam bahan organik. Dalam meningkatkan efisiensi dan kualitas kompos, penggunaan inokulum mikroorganisme unggul atau aktivator kompos yang mengandung campuran mikroba spesifik seperti bakteri dan fungi termofilik dapat mempercepat proses pengomposan dan meningkatkan kualitas kompos yang dihasilkan.

2.3 Biologi Fungi Termofilik

Fungi termofilik merupakan kelompok fungi yang mampu tumbuh dan berkembang optimal pada suhu tinggi. Semakin tinggi suhu akan semakin banyak konsumsi oksigen dan akan semakin cepat pula proses dekomposisi. Di dalam proses pengomposan, degradasi bahan organik dimulai oleh fungi mesofilik pada suhu mesofilik, kemudian dilanjutkan oleh fungi termofilik (Kane & Mullins, 2014). Temperatur suhu yang lebih tinggi dari 30°C akan membunuh sebagian mikroba dan hanya mikroba termofilik saja yang akan tetap bertahan hidup (Sandi & Hartono, 2020). Salah satu ciri khas fisiologis fungi termofilik adalah kemampuannya menghasilkan enzim ekstraseluler yang stabil dan aktif pada suhu tinggi, seperti selulase, protease, lipase, dan ligninase (Handrah *et al.*, 2021). Enzim-enzim ini berperan dalam pemecahan senyawa lignoselulosa yang kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana, sehingga mempercepat proses dekomposisi bahan organik. Stabilitas enzim pada suhu tinggi merupakan hasil adaptasi struktur protein yang tahan denaturasi panas.

Fungi termofilik umumnya bersifat aerobik, memerlukan oksigen untuk menjalankan metabolisme respirasi. Aktivitas metabolik ini menghasilkan panas tambahan yang meningkatkan suhu tumpukan kompos, menciptakan lingkungan yang untuk pertumbuhan fungi termofilik dan sekaligus membunuh patogen (Maksudi *et al.*, 2022). Secara fisiologis, fungi termofilik memiliki membran sel yang kuat dan stabil pada suhu tinggi karena mengandung lipid jenuh dan protein khusus. Enzim yang dihasilkan juga tahan panas, sehingga tetap aktif dan berfungsi optimal dalam kondisi ekstrem (Fergus, 2014).

Fungi termofilik memiliki adaptasi morfologi yang memungkinkan dapat bertahan dan berfungsi optimal pada suhu tinggi. Struktur hifa yang kuat dan spora yang tahan panas merupakan salah satu cara adaptasi tersebut. Morfologi fungi termofilik dapat diamati pada dua aspek utama, yaitu morfologi makroskopis dan mikroskopis. Koloni fungi termofilik yang

tumbuh pada media *Potato Dextrose Agar* (PDA) umumnya menunjukkan variasi warna yang cukup bermacam-macam mulai dari putih, abu-abu, cream, hingga merah jambu, tergantung spesies dan kondisi pertumbuhan (Marlina *et al.*, 2017). Secara mikroskopis, fungi termofilik memiliki hifa yang bersekat (septa) dan transparan (hialin). Fungi termofilik juga menghasilkan konidia sebagai spora aseksual yang berbentuk bulat atau oval kecil, yang tersusun pada konidiofor. Bentuk dan ukuran konidia serta konidiofor dapat berbeda antar spesies dan digunakan sebagai karakteristik identifikasi (Ali & Seneviratne, 2018).

Adaptasi ekologi fungi termofilik adalah kemampuan bertahan dalam kelembaban dan suhu yang tinggi yang memungkinkan dapat bersaing dengan mikroorganisme lain dan mendominasi habitat tertentu (Ali & Seneviratne, 2018). Fungi termofilik biasanya ditemukan di lingkungan yang memiliki suhu tinggi dan kondisi ekstrem yang tahan panas. Habitat alami fungi termofilik meliputi tumpukan kompos yang sedang mengalami fase termofilik, di sumber air panas, daerah aktivitas vulkanik, kawah gunung berapi, atau aktivitas geotermal serta di dasar laut yang memiliki sumber mata air panas (Ryckeboer *et al.*, 2013). Fungi termofilik yang beradaptasi secara ekologis dapat mendominasi komunitas mikroba pada fase termofilik pengomposan. Selain berperan dalam pengomposan, fungi termofilik juga berperan dalam stabilitas struktur kompos (Wang *et al.*, 2021). Sehingga fungi termofilik memiliki peran ekologis yang sangat penting dalam menjaga keseimbangan dan keberlanjutan ekosistem bersuhu tinggi yang mendukung proses alami pengomposan yang ramah lingkungan.

Pada taksonomi, fungi termofilik umumnya termasuk dalam filum Ascomycota dan Basidiomycota, dengan genus seperti *Thermomyces* sp, *Myceliophthora* sp. *Penicillium* sp. dan lain-lain. Fungi termofilik biasanya tergolong dalam kelas Eurotiomycetes, ordo Eurotiales dan famili Trichocomaceae untuk genus *Aspergillus* sp. serta famili Thermomycetaceae untuk genus *Thermomyces* sp. Beberapa spesies fungi

termofilik yang biasa ditemukan dan berperan dalam proses biodegradasi adalah *Aspergillus fumigatus* dan *Thermomyces lanuginosus* (Singh & Pandey, 2017).

2.4 Enzim Pada Fungi Termofilik

Beberapa enzim pada fungi termofilik diantaranya, yaitu:

a. Enzim Selulase

Selulase adalah kompleks enzim yang terdiri dari beberapa komponen, yaitu: eksoglukanase, yang berfungsi pada selulosa dari ujung pereduksi dan ujung non-pereduksi untuk melepaskan unit selobiosa; endoglukanase, yang berguna untuk menghasilkan oligosakarida selulosa dan selobiosa; serta β -glukosidase, yang menghidrolisis oligosakarida selulosa dan selobiosa menjadi molekul glukosa. Enzim selulolitik memiliki toleran panas yang baik hal ini sangat menarik untuk aplikasi dalam depolymerisasi biomassa tanaman (Maheswari *et al.*, 2014).

Berdasarkan penelitian Suryani *et al.* (2019), fungi *Penicillium* sp. berhasil diisolasi dari limbah produksi bioetanol berbahan dasar singkong. Isolat ini menunjukkan kemampuan menghasilkan enzim selulase secara efektif. Proses isolasi dilakukan selama 7 hari pada suhu 30°C, dengan ciri koloni berwarna putih hingga hijau tua, permukaan mendatar, dan tekstur menyerupai beludru. Meskipun umumnya tumbuh optimal pada suhu (25–40°C), beberapa spesies *Penicillium* sp. mampu beradaptasi pada kondisi suhu (45–60°C). Menurut penelitian Merheb *et al.* (2021) mengamati bahwa genus ini muncul dominan pada fase awal pengomposan, sebelum suhu mencapai puncaknya. Meski populasinya menurun seiring kenaikan suhu, kontribusinya dalam proses dekomposisi material organik pada fase awal tetap signifikan.

b. Enzim Protease

Protease dapat diklasifikasikan dengan berbagai cara, antara lain

berdasarkan asam amino penting yang diperlukan untuk fungsi katalitiknya (seperti protease serin), pH optimum aktivitasnya (misalnya, protease asam, netral, atau basa), tempat pembelahannya, serta kebutuhannya akan gugus tiol bebas (seperti proteinase tiol) (Thanh *et al.*, 2019). Fungi termofilik, mampu menghasilkan enzim protease yang stabil hal ini menjadikannya ideal untuk digunakan dalam kondisi termofilik. Protease pada fungi mampu bertahan dengan baik pada suhu di atas 30°C dan memiliki pH optimum yang bervariasi, tergantung pada spesiesnya. Beberapa studi telah mengidentifikasi bahwa fungi termofilik dapat tumbuh pada substrat yang tidak biasa dan menghasilkan jumlah enzim yang besar, sehingga mempermudah proses pemisahan enzim dari kultur (Maheswari *et al.*, 2014).

Penelitian yang dilakukan oleh Rukmi dan Lunggani (2019), menunjukkan bahwa *Aspergillus niger* mampu menghasilkan enzim protease alkalis yang diisolasi dari proses pengomposan tanah kapur. Enzim protease alkalis, yang termasuk dalam kelas hidrolase, memiliki kemampuan untuk memecah ikatan peptida pada protein dalam kondisi pH basa. *Aspergillus niger* merupakan fungi termotoleran yang dapat tumbuh aktif pada rentang pH 8 hingga 9 serta mampu bertahan pada suhu tinggi, menjadikannya kandidat potensial dalam produksi enzim skala industri. Morfologi koloni fungi ini umumnya berwarna hitam keunguan, hitam kecokelatan, hingga hitam pekat, dengan konidia yang memiliki daya tahan tinggi terhadap radiasi.

c. Enzim Ligninase

Enzim ligninase pada fungi termofilik memiliki peran penting dalam proses biodegradasi lignin, terutama pada tahap awal penguraian bahan organik yang kompleks. Fungi termofilik yang hidup di lingkungan bersuhu tinggi mampu menghasilkan ligninase yang efektif bekerja pada suhu tersebut, sehingga potensial untuk pengolahan limbah organik. Ligninase bekerja melalui mekanisme aerobik dan anaerobik dengan

memecah struktur lignin yang kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana, sehingga memungkinkan mikroorganisme lain memperoleh nutrisi yang terdapat dalam lignin (Saroj *et al.*, 2018).

Dalam proses pengomposan, ligninase berperan signifikan pada fase pre-dekomposisi atau fase awal pengomposan, di mana lignin mulai diuraikan untuk mempercepat degradasi bahan organik. Aktivitas ligninase dari fungi ligninolitik termofilik ini membantu mempercepat pemecahan bahan lignoselulosa yang sulit terurai, sehingga mendukung perkembangan mikroorganisme dekomposer lain yang melanjutkan proses pengomposan secara lebih efektif selama fase termofilik. Kondisi lingkungan seperti pH dan suhu sangat memengaruhi aktivitas enzim ligninase ini (Saroj *et al.*, 2018). Oleh karena itu, fungi termofilik penghasil ligninase memiliki potensi besar dalam meningkatkan efisiensi pengomposan dan pengolahan limbah organik.

Salah satu penelitian oleh López *et al.* (2021) mengidentifikasi *Aspergillus fumigatus* dan *Thermomyces lanuginosus* sebagai spesies fungi dominan yang muncul selama fase termofilik dalam proses pengomposan. Kedua spesies tersebut menunjukkan aktivitas ligninolitik yang tinggi melalui produksi berbagai enzim ligninase, antara lain laccase (Lac), lignin peroksidase (LiP), dan mangan peroksidase (MnP). Enzim-enzim tersebut berperan penting dalam biodegradasi lignin, yaitu senyawa aromatik kompleks yang menyusun dinding sel tanaman.

Kemampuan *A. fumigatus* dan *T. lanuginosus* dalam memproduksi enzim yang stabil pada suhu tinggi tidak hanya meningkatkan efisiensi degradasi lignin, tetapi juga mempercepat proses kematangan kompos. Dengan demikian, keberadaan fungi termofilik ini sangat berkontribusi dalam mempercepat siklus pengomposan, khususnya pada fase termofilik yang berlangsung pada suhu tinggi (López *et al.*, 2021).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan 11 Desember 2024 hingga 11 Maret 2025 di *Compost Plant PT. Great Giant Pineapple* dan proses isolasi serta karakterisasi dilakukan di *Laboratorium Research and Development PT. Great Giant Pineapple*.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah tabung reaksi, cawan petri, *cool box*, botol steril, *beaker glass*, gelas ukur, Erlenmeyer, mikropipet, drigalsky, jarum ose, pipet tetes, spatula, batang pengaduk, pH meter, incubator, *objek glass*, *cover glass*, rak tabung reaksi, *vortex*, autoklaf, *hot plate*, *magnetic stirrer*, sendok steril, neraca analitik, *Biological Safety Cabinet*, dan mikroskop.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel kompos yang diperoleh dari *Compost Plant PT. Great Giant Pineapple*, larutan fisiologis NaCl 0,9%, aquades, *yeast extract*, glukosa, K_2HPO_4 , $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, media PDA untuk isolasi fungi termofilik, media CMC (*Carboxymethyl Cellulose*) 1%, 51,5 gr/L *Skim Milk Agar*, minyak zaitun 1%, 0,1% CaCl₂, 1% *chloramphenicol*, 0,1 N NaOH, media Czapek (1g/L CMC, 0,5 g/L NaNO₃, 0,5 g/L K_2HPO_4 , 0,5 g/L $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0,001 g/L $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, 1 g/L *yeast extract*, 15 g/L agar), media Boyd dan Kohlmeyer, media *Guaiacol*, aquades, lampu spritus, tissue, aluminium foil, plastik anti panas, dan *plastik wrap*.

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode deskriptif eksploratif untuk mengetahui keberadaan fungi termofilik pada *Compost Plant* di PT. GGP. Pengambilan sampel kompos dilakukan pada permukaan dasar kompos di fase pre-dekomposisi. Pengambilan sampel kompos dilakukan dengan teknik *purposive sampling* di 1 titik lokasi dengan 3 kali pengulangan pada kedalaman 2 meter. Sampel kompos selanjutnya dilakukan homogenisasi dan pengenceran menggunakan larutan aquades steril. Selanjutnya, isolasi dilakukan dengan menerapkan metode *spread plate* pada media *Potato Dextrose Agar* (PDA) untuk memungkinkan pertumbuhan koloni fungi. Setelah koloni tumbuh, koloni-koloni tersebut dipilih dan dipindahkan ke media PDA yang baru untuk proses pemurnian, sehingga diperoleh koloni murni yang siap untuk dianalisis lebih lanjut. Setelah mendapatkan koloni murni, isolat yang diperoleh kemudian dianalisis melalui karakterisasi yang mencakup pengamatan secara makroskopis dan mikroskopis serta pengujian enzimatik untuk mengevaluasi sifat-sifat biologis dan potensi dari fungi termofilik yang berhasil diisolasi.

Identifikasi dan karakterisasi makroskopis dilakukan untuk mengamati morfologi warna dan tekstur koloni, yang terbentuk pada media agar. Sedangkan identifikasi secara mikroskopis dengan pembuatan *slide culture* serta pewarnaan menggunakan *lactophenol cotton blue*. Kemudian hasilnya diamati dengan mikroskop untuk melihat hifa, konidiofor, dan konidia. Uji aktivitas enzimatik fungi termofilik dilakukan dengan uji protease, uji selulase, dan uji ligninase. Hasil yang diperoleh dari aktivitas uji enzimatik ditandai dengan terbentuknya zona jernih disekitar koloni, sedangkan uji ligninase ditandai dengan terbentuknya warna coklat disekitar koloni fungi. Hasil aktivitas enzimatik selulase dan protease yang telah diperoleh kemudian ditentukan dengan penentuan nilai indeks enzimatik (IE). Sedangkan aktivitas enzimatik dari ligninase diperoleh dari penilaian kualitatif berupa skor berdasarkan perubahan warna.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel kompos dilakukan pada bagian *compost plant* PT. GGP. Proses pengambilan sampel paling dasar menggunakan eskavator. Pengambilan sampel dilakukan di 1 titik sebanyak 3 kali pengulangan dan diambil 100 gr dengan kedalaman 2 meter. Sampel diambil dengan menggunakan sendok steril dan mengenakan sarung tangan. Setiap pengambilan sampel, sarung tangan harus diganti dan disemprot dengan alkohol. Sampel yang sudah berhasil diambil akan dimasukkan ke *cool box* dan dibawa ke laboratorium.

3.4.2 Sterilisasi Alat

Alat-alat yang akan digunakan terlebih dahulu harus disterilkan untuk menghindari terjadinya pertumbuhan dan pencemaran dari mikroorganisme yang tidak diinginkan. Alat yang terbuat dari gelas atau kaca seperti erlenmeyer, *petridish*, dan tabung reaksi disterilkan menggunakan sterilisasi uap panas bertekanan dengan autoklaf pada suhu 121 °C dengan tekanan 2 atm selama 15 menit kemudian dimasukkan oven atau disebut sterilisasi dengan udara kering, pada suhu 170-180 °C selama 2 jam. Sedangkan alat-alat yang terbuat dari logam seperti jarum ose disemprotkan alkohol 70% kemudian dipijarkan diatas api bunsen sampai membara. Sterilisasi medium menggunakan uap air panas bertekanan dengan menggunakan autoklaf yang dilengkapi dengan katup pengaman di suhu 121 °C dengan tekanan 2 atm selama 15-20 menit (Azizah *et al.*, 2020).

3.4.3 Fungi Termofilik

3.4.3.1 Pengenceran Berseri

Sampel kompos ditimbang sebanyak 25 gr dan dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer steril yang berisi 225 mL NaCl 0,9% lalu dihomogenkan sehingga diperoleh pengenceran 10^{-1} .

Diambil sebanyak 1 mL dari pengenceran 10^{-1} menggunakan mikropipet kemudian dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi 9 mL NaCl 0,9%, lalu dihomogenkan menggunakan *vortex* sehingga diperoleh pengenceran 10^{-2} . Prosedur kerja dilakukan dengan cara yang sama hingga tingkat pengenceran 10^{-9} .

3.4.3.2 Isolasi Fungi Termofilik

Sebanyak 100 μ l suspensi diambil dan diinokulasikan ke dalam media *Potato Dextrose Agar* (PDA) yang telah ditambahkan dengan 1% *chloramphenicol*, di mana proses inokulasi dilakukan menggunakan metode *spread plate*, yaitu dengan menyebarkan sampel secara merata pada permukaan media menggunakan alat bantu drigalski, dan setelah penyebaran selesai media yang telah diinokulasi tersebut diinkubasi pada suhu 30°C dalam kondisi gelap selama 7 hari (Ibraheem *et al.* 2021).

3.4.3.3 Pemurnian Fungi Termofilik

Setiap koloni fungi yang menunjukkan morfologi yang berbeda kemudian diinokulasikan kembali ke media *Potato Dextrose Agar* (PDA) yang baru dengan menggunakan metode titik untuk memastikan pertumbuhan yang optimal, dan setelah proses inokulasi tersebut, media selanjutnya diinkubasi pada suhu 30°C selama 7 hari untuk memungkinkan perkembangan koloni fungi yang lebih jelas. Kemudian hasil pemurnian dijadikan stok

untuk keperluan karakterisasi lebih lanjut, yang mencakup analisis morfologi secara makroskopis dan mikroskopis serta pengujian enzimatis sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan oleh Hikam *et al.* (2024).

3.4.3.4 Karakterisasi Fungi Secara Makroskopis

Karakter makroskopis yang diamati secara langsung pada media agar mencakup berbagai aspek penting yang dapat memberikan informasi mengenai pertumbuhan dan identifikasi fungi, di antaranya adalah warna, dan tekstur. Berikut ini metode pengamatan fungi secara makroskopis. Tahap pertama adalah mempersiapkan media PDA dalam cawan petri dan inokulasi dengan sampel fungi. Selanjutnya, fungi di inkubasi selama 7 hari pada suhu 30°C. Setelah koloni fungi tumbuh, amati secara visual (makroskopis) dengan mata telanjang. Pengamatan fungi meliputi warna, dan tekstur, lalu dokumentasikan hasil pengamatan (Heirina *et al.*, 2020).

3.4.3.5 Karakterisasi Fungi Secara Mikroskopis

Karakteristik mikroskopis diamati dengan membuat *slide cultur*. Metode ini dilakukan dengan menumbuhkan fungi pada sepotong agar, yang kemudian ditempatkan di atas kaca benda dalam cawan Petri (Tjampakasari *et al.*, 2024).

Berikut ini merupakan tahapan pembuatan *preparat slide culture*. Langkah yang dilakukan adalah disiapkan cawan Petri steril yang didalamnya terdapat kapas dan *spreader* kaca berbentuk L sebagai penyangga kemudian kaca objek diletakkan diatasnya. Media PDA dipotong kurang lebih 1 x 1 cm (berbentuk persegi) menggunakan kaca objek steril yang lain. Kemudian 1 kotak potongan kecil agar PDA diambil dan

diletakkan di atas kaca objek yang sudah terletak pada cawan petri diatas kaca penyangga. Koloni sampel diambil 1 ose menggunakan jarum inokulasi. Kemudian jarum inokulasi tersebut ditusukkan atau dioleskan pada ke-empat sisi agar yang terdapat pada cawan petri. Selanjutnya agar tersebut ditutup dengan gelas penutup. Dengan menggunakan pipet steril, ditambahkan aquades steril pada kapas dibawah kaca objek, hingga kapas basah dan aquades menggenang di sekitar cawan Petri kemudian diinkubasi pada suhu kamar dan diobservasi setiap hari hingga terlihat pertumbuhannya (Tjampakasari *et al.*, 2024).

Terdapat dua target pengamatan mikroskopis. Target pertama adalah kaca penutup yang digunakan untuk menutupi media agar yang ditumbuhi fungi. Kaca penutup tersebut diangkat dan dipindahkan ke kaca objek yang sudah ditetaskan *Lactophenol Cotton Blue* (LPCB). Target kedua adalah kaca objek yang sebelumnya menopang media agar. Setelah media agar dibuang, kaca objek tersebut juga ditetaskan *Lactophenol Cotton Blue* (LPCB) sebanyak 1 tetes dan ditutup dengan kaca penutup. Kedua nya kemudian diamati dibawah mikroskop. Pemberian LPCB berfungsi sebagai agen pewarna yang memberikan warna biru pada dinding sel fungi, sehingga memudahkan untuk melihat struktur mikroskopisnya (Tjampakasari *et al.*, 2024).

3.4.3.6 Uji Aktivitas Enzimatik

a. Uji Selulase

Uji ini mengacu pada Sari *et al.*, (2017) yaitu dengan menginokulasi isolat fungi kedalam media pada Czapek yang mengandung 1% CMC, lalu diatur pH nya menjadi 6,8 dan

diinkubasi selama 5 hari pada suhu 30°C. Petri yang sudah ditumbuhi fungi, selanjutnya dituang larutan congo red 0,1% dibiarkan selama 20 menit. Larutan *congo red* dibuang, dan dituangkan larutan NaCL 1 M ke dalam cawan petri dibiarkan selama 20 menit. Aktivitas selulolitik ditunjukkan dengan munculnya zona bening di sekitar koloni fungi.

b. Uji Protease

Diinokulasikan isolat fungi kedalam 51,5 gr/L media skim milk agar. Lalu diatur pH 7,0 dan diinkubasi pada suhu 30°C selama 5 hari. Aktivitas protease ditunjukkan dengan munculnya zona bening disekitar koloni, selanjutnya media yang positif dilanjutkan dengan perhitungan indeks enzimatik (Mahardika *et al.*, 2021).

c. Uji Ligninase

Diinokulasikan isolat fungi yang diperoleh lalu ditumbuhkan media *Guaiacol* dengan komposisi glukosa 10 gr, pepton 2 gr, *yeast extract* 1 gr, agar 18 gr dan 4mM *Guaiacol* dalam 1 liter air dengan pH 7,0. Selanjutnya diinkubasi pada suhu 30°C selama 7 hari. Hasil positif ditandai dengan munculnya warna coklat gelap dibawah dan disekitar koloni yang mengindikasikan adanya reaksi oksidasi *Guaiacol* dan enzim pendegradasi lignin (Irawan *et al.*, 2022).

d. Penentuan Indeks Enzimatik

Besarnya aktivitas enzimatik (selulase, dan protease) ditentukan dengan mengukur luas koloni fungi dan luas zona jernih yang terbentuk dengan menggunakan metode gravimetri. Adapun langkah - langkah yang dilakukan sebagai berikut Sumardi *et al.*, (2021).

a. Perhitungan luas koloni

1. Menggambar pola koloni pada plastik mika bening sebagai replika koloni
2. Replika koloni tersebut ditimbang dengan menggunakan timbangan analitik.
3. Membuat potongan kertas menggunakan kertas HVS dengan ukuran 1 cm x 1 cm, lalu ditimbang.

Menghitung luas koloni dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Luas Koloni} = \frac{\text{Bobot replika koloni}}{\text{Bobot kertas 1 cm x 1 cm}} \times 1 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luas Zona Jernih} = \frac{\text{Bobot replika zona jernih}}{\text{Bobot kertas 1 cm x 1 cm}} \times 1 \text{ cm}^2$$

b. Perhitungan indeks enzimatik

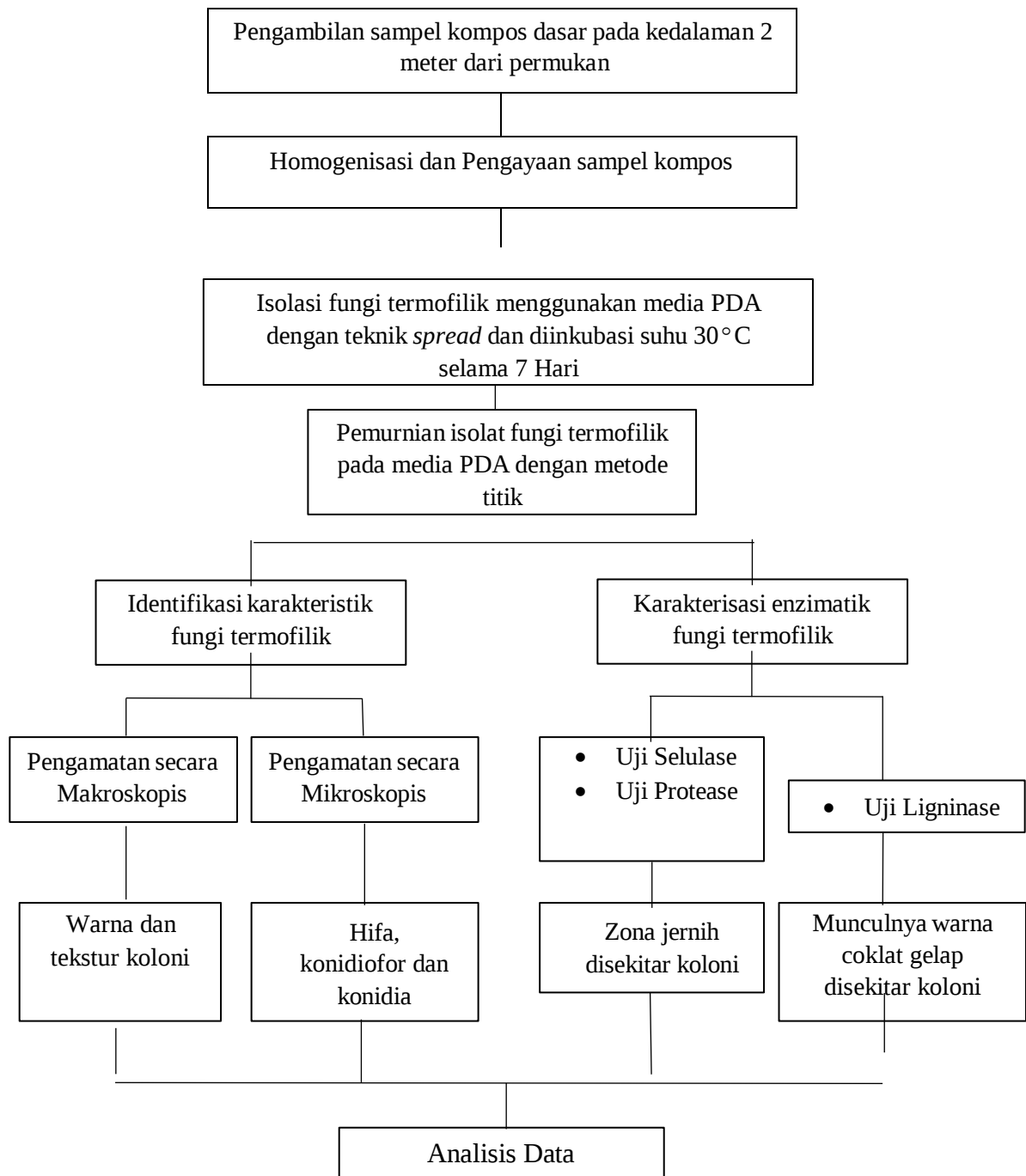
Dihitung dengan rumus sebagai berikut (Rosa *et al.*, 2020).

$$\text{Indeks Enzimatik} = \frac{\text{Luas zona jernih} - \text{Luas koloni}}{\text{Luas koloni}}$$

3.5 Analisis Data

Analisis meliputi karakteristik secara makroskopis dan mikroskopis yang dilakukan dengan membandingkan hasil visualisasi dengan referensi yang telah ada, sedangkan karakteristik fisiologis yang meliputi karakteristik enzimatis dilakukan dengan mengamati zona jernih yang terbentuk serta menentukan indeks enzimatisnya.

3.6 Bagan Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Tahap Penelitian

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Adapun simpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Diperoleh 6 isolat fungi termofilik pada kompos dasar fase pre-dekomposisi compost plant PT. Great Giant Pineapple yaitu isolat Bio PD 1, Bio PD 2, Bio PD 3, Bio PD 4, Bio PD 5 dan Bio PD 6.
2. Karakteristik makroskopis keenam isolat fungi termofilik memiliki warna dan tekstur yang beragam dengan warna koloni yaitu; putih, hitam, dan merah muda dan tekstur koloni fungi yang dominan halus serta padat. Karakteristik mikroskopis keenam isolat yang memiliki ciri yaitu; hifa bersekat (bersepta), konidia kecil bulat dan memiliki konidiofor. Uji aktivitas enzim selulase yang positif mendegradasi selulosa yaitu; isolat Bio PD 3, Bio PD 4, Bio PD 5, dan Bio PD 6 dengan nilai indeks enzimatis tertinggi pada isolat Bio PD 5 (0,90). Uji aktivitas protease yang positif mendegradasi protein yaitu; Bio PD 1, Bio PD 2, Bio PD 3, Bio PD 5 dengan nilai indeks tertinggi pada isolat Bio PD 2 dan Bio PD 5 yang masing-masing memiliki nilai IE 0,14. Sedangkan hasil uji aktivitas enzim ligninase diperoleh keenam isolat tidak terdapat hasil positif dengan terbentuknya warna coklat kemerahan disekitar koloni sehingga semua isolat tidak dapat mendegradasi lignin.

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan berupa analisis filogenetik terhadap seluruh isolat untuk dapat diketahui spesies nya serta pengujian langsung terhadap isolat terbaik, yaitu Bio PD 2 dan Bio PD 5 dalam uji aktivitas

enzim selulase dan protease guna memastikan kemampuan dalam mendegradasi enzim selulosa dan protein secara efektif. Penelitian lebih mendalam ini penting untuk mengoptimalkan pemanfaatan isolat sebagai fungal adiktif inokulum dalam peningkatan efisiensi proses pengomposan atau pengelolaan limbah organik.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, Shahzadi, A., Bakht U., Najeeb-ur-Rehman, Muqet, S., A. Irshad, Mushtaq & Anam Amir. 2022. Identification and Evaluation of Most Prevalent Thermophilic Fungi from Composting Process. *International Journal Of Special Education*. 37 (3): 18542-18563.
- Ali, S., & Seneviratne, G. 2018. Ecological Adaptations Of Thermophilic Fungi: Survival And Dominance In High Temperature And Moisture Environments. *Mycological Research*. 122(4): 345-356.
- Alsohaili, A. S., & Bayan M. Bani-Hasan. 2018. Morphological and Molecular Identification of Fungi Isolated from Different Environmental Sources in the Northern Eastern Desert of Jordan. *Jordan Journal of Biological Sciences*. 11(3): 330-337.
- Aguilar-Paredes, A., Valdés, G., Araneda, N., Valdebenito, E., Hansen, F., & Nuti, M. 2023. Microbial Community in the Composting Process and Its Positive Impact on the Soil Biota in Sustainable Agriculture. *Agronomy*. 13(2): 542.
- Amiruddin, M., & Adam, R. P. 2018. Pelatihan Pembuatan Pupuk Kompos Dengan Memanfaatkan Sampah Rumah Tangga Di Desa Labuan. *Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*. 7-77.
- Awasthi, MK, Pandey, AK, Khan, J., Bundela, PS, Wong, JWC, Selvam, A., 2014. Evaluation Of Thermophilic Fungal Consortium For Organic Municipal Solid Waste Composting. *Bioresour. Technol*. 168, 214-221.
- Aweke, K. Y., Tasisa Y. B. & Garoma W. D. 2022. Extraction And Characterization Of Cellulase From Forest and Compost Soil Fungal Isolates for The Application of Straw Degradation. *International Journal of Health Sciences*. 6(3): 7146-7162.
- Azizah, M., Linggs s. P., & Rikmasari Y. 2020. Uji Aktivitas Antibakteri Kombinasi Ekstrak Etanol Daun Seledri (*Apium graveolens L.*) dan Madu Hutan Terhadap Beberapa Bakteri Penyebab Penyakit Kulit

- . *Jurnal Penelitian Sains*. 22(1): 37-44.
- Bhat, S.A., Singha, S., Singh, J., Kumar, S., Bhawana, & Pal Viga, A. 2018. Bioremediation And Detoxification Of Industrial Wastes By Earthworms: Vermicompost As Powerful Crop Nutrient In Sustainable Agriculture. *Bioresource Technology*. 252: 172–17.
- Biyada, S., Merzouki, M., Vasiliaukiene., Dan Ivanec-Goranina R. 2021. Microbial Community Dynamics In The Mesophilic And Thermophilic Phases OF Textile Waste Composting Identified Through Next-Generation Sequencing. *Frontiers In Ecology And Evolution*. 10(1): 1-9.
- Braga, A. F. V. C., do Rosário, M. S., Gomes, J. B. N., de Monteiro, C. A., Farias, F. A. C., Rodrigues Filho, E., & Cantanhede Filho, A. J. 2024. Antimicrobial Potential Of Soil/Sediment Mangrove Associated Fungi: A Review. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 35(8): 1-23.
- Cerda, A., Artola, A., Font, X., Barrena, R., & Gea, T. S. 2018. Composting Of Food Wastes: Status And Challenges. *Bioresour Technol*. 248, 57-67.
- Chang, S.T., & Hudson, H.J. 1967. *The Role Of Fungi In Composting*. In: *Microbiology of Composting*. Academic Press, New York.
- Chen, T., Zhang, S., & Zengwei Yuan. 2020. Adoption Of Solid Organic Waste Composting Products. *Journal of Cleaner Production*. 272 (1): 1-10.
- Chusniasih, D., Suryani E., & Safitri E. 2023. Isolation and Cellulolytic Activity Assay of Bacteria from Bagasse. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*. 28(3): 386-395.
- Darby, I., Xu, C.Y., Wallace, H.M., Joseph, S., Pace, B., & Bai, S.H. 2016. Short-Term Dynamics Of Carbon And Nitrogen Using Compost, Compost-Biochar Mixture And Organo-Mineral Biochar. *Environ. Sci. Pollut. Control Ser*. 23(11): 11267-11278.
- Das, T., Nandy, S., Al-Tawaha, A. R., Nongdam, P., Bursal, E., Shekhawat, M. S., & Dey, A. 2022. Modulation of Physiological and Molecular Switches in Thermophilic Fungi: A Brief Outlook. In *Extremophilic Fungi: Ecology, Physiology and Applications*. Singapore: Springer Nature Singapore.
- Deacon, J. W. 1997. *Modern Mycology*. Edinburgh: Wiley.
- Domsch, K. H., Gams, W., & Anderson, T. H. 2007. *Compendium Of Soil Fungi (2nd ed.)*. IHW-Verlag.

- Duan, H., Ji M., Xie Y., Shi J., Liu L., Zhang B., & Sun, J. 2021. Exploring The Microbial Dynamics Of Organic Matter Degradation And Humification During Co-Composting Of Cow Manure And Bedding Material Waste. *Sustainability*. 13(23) : 1-19.
- Fergus, C. L. 2014. Cellulolytic Activity of Thermophilic Fungi and Actinomycetes. *Journal Mycologia*. 61(1): 120-129.
- Finore, I., Feola, Russo, L., & Andrea Cattaneo. 2023. Thermophilic Bacteria And Their Thermozyms In Composting Processes: A Review. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 10(7): 1-22.
- Gao, M., Li, B., Yu, A., Liang, F., Yang, L., & Sun, Y. 2014. He Effect Of Aeration Rate On Forced-Aeration Composting Of Chicken Manure And Sawdust. *Bioresour. Technol*. 101 (6), 1899-1903.
- Guixian, Xie., Kong Xiaoliang., Kang J., Su Ning., Fei J., & Gongwen L. 2021. Fungal Community Succession Contributes To Product Maturity During The Co-Composting Of Chicken Manure And Crop Residues. *Bioresource Technology*. 1 (2): 1-9.
- Handley, S. J., Swales, A., Horrocks, M., Gibbs M., Carter, M., Ovenden, R., & Jon Stead. 2020. Historic And Contemporary Anthropogenic Effects On Granulometry And Species Composition Detected From Sediment Cores And Death Assemblages, Nelson Bays, Aotearoa-New Zealand. Continental Shelf Research. *Continental Shelf Research*. 1-16.
- Hamidah & Gawy Bella N. 2023. Teknologi Composting Skala Rumah Tangga Untuk Meretas Problem Sampah Organik. *JPKPM*. 3(1): 74-77.
- Handrah, A. T. P., Ratih, Y. W., dan Widodo, A. R. 2021. Pengaturan Fase Termofilik Pada Pengomposan Tandan Kosong Kelapa Sawit: Implikasinya Terhadap Aktivitas Jasad Perombak Dan Pembentukan Humat. *Jurnal Tanah dan Air*. 18(2): 79 – 88.
- Hasan, M., Islam, M., & Rahman, S. 2019. The Influence Of Ph And Moisture Content On The Fungal Species In Composts. *Journal of Applied Microbiology*, 127(2): 485-495.
- Hasanah, N., & Iwan, S. 2015. Aktivitas Selulase Isolat Jamur Isolat Jamur Dari Limbah Media Tanam Jamur Merang. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*. 1(5): 1110-1115.
- Hastuti, U. S., Nugraheni, F. S. A., & Asna, P. M. 2017. Identifikasi dan Penentuan Indeks Hidrolisis Protein Pada Bakteri Proteolitik Dari Tanah Mangrove di Magomulyo Balikpapan. *Proceeding Biology education*

Conference. 14(1): 265-270.

- Hikam, A.R., Setio M. A., Mumpuni A. & Mufihah D. 2024. Isolasi, Skrining dan Identifikasi Fungi Selulotik Asal Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Rempoah, Kabupaten Banyumas. *Journal Sciscitation*. 5(2): 58-66.
- Heirina, A., Rozirwan, R., & Hendri, M. 2020. Isolasi Dan Aktivitas Antibakteri Jamur Endofit Pada Mangrove Sonneratia Alba Dari Tanjung Carat Kabupaten Banyuasin Sumatera Selatan. *Jurnal Penelitian Sains*. 22 (1) : 16-24.
- Ibraheem, O., Adetuyi, O., Sheriff, K., John, V., Fayela, W., & Ajayi J. 2021. Screening and Isolation of Thermophilic Fungi Obtained From Three Selected Compost Wastes Sites. *Journal Of Microbiology Biotechnology and Food Sciences*. 11(2): 1-5.
- Insam, H., & Riddech, N. 2002. *Microbiology of Composting*. Springer.
- Irawan, B., Wahyuningtias I., Ayuningtyas N., Isky A. O., Farisi S., Sumardi S., Afandi A. & Hadi S. 2022. Potential Lignocellulolytic Microfungi from Pineapple Plantation for Composting Inoculum Additive. *International Journal Of Microbiology*. 1-6.
- Iqbal, M.K., Nadeem, A., Sherazi, F., & Khan, R.A. 2015. Optimization Of Process Parameters For Kitchen Waste Composting By Response Surface Methodology. *Int. J. Environ. Sci. Technol*. 12 (5): 1759-1768.
- J. Li, X. Yuan, Z. Dong, W. Mugabe & T. Shao, 2018. The Effects Of Fibrolytic Enzymes, Cellulolytic Fungi and Bacteria On The Fermentation Characteristics, Structural Carbohydrates Degradation and Enzymatic Conversion Yields Of Pennistum Sinese Silage. *Bioresoure Technology*. 264. 123-130.
- Kane, B. E & Mullins JT. 2014. Thermophilic Fungi In Municipal Waste Compost Systems. *Journal Mikologia*, 65: 1087-1100.
- Krispedana, W., Setiyo Y. & Madrini B. G. 2020. Kajian Efektivitas Beberapa Model Tumpukan pada Pengomposan Kotoran Sapi dan Jerami. *Jurnal Harian Regional*. 7(2): 1-22.
- Laili, M.N. 2020. *The Effect of pH and Temperature on the Activity of Protease Enzyme from Indigenous Proteolytic Bacteria Bran*. Thesis, UIN Malang.
- Latifah, O., Ahmed, O. H., Susilawati, K., & Majid, N. M. 2015. Compost

Maturity And Nitrogen Availability By Co-Composting Of Paddy Husk And Chicken Manure Amended With Clinoptilolite Zeolite. *Waste Management and Research*, 33(4), 322–331.

- Lechuga, Eugenia G. Ortiz, Isela Quintero Zapata & Katiushka Arevalo Nino. 2016. Detection Of Extracellular Enzymatic Activity In Microorganism Isolated From Waste Vegetable Oil Contaminated Soil Using Plate Methodologies. *African Journal of Biotechnology*. 15(11): 408-416.
- Li, Y., Liu, C., Li, H., Chen, S., & Huang, S. 2018. A Comprehensive Modelling Investigation Of Dynamic Capillary Effect During Non-Equilibrium Flow In Tight Porous Media. *Journal of Hydrology*. 1-11.
- Liu, H. R., Qu, X., & Hanandeh, A. El. 2020. Towards A Better Environment - The Municipal Organic Waste Management In Brisbane: Environmental Life Cycle And Cost Perspective. *Journal of Cleaner Production*. 258.
- Liu, X., Zhang, Y., & Chen, J. 2022. Impact Of Organic Matter Content On Fungal Biodiversity In Compost Environments. *Science of the Total Environment*, 8(4): 15-158.
- López, M. J., Moreno, J., Vargas-García, M. C., Suárez-Estrella, F., & Gómez, M. A. 2021. Characterization of Thermophilic Lignocellulolytic Microorganisms in Composting. *Frontiers in Microbiology*. 12(6): 69-80.
- Mahapatra, S., Ali H., & Samal, K. 2022. Assessment Of Compost Maturity-Stability Indices And Recent Development Of Composting Bin. *Journal Energy Nexus*. 6(1): 1-17.
- Mahardika, W. A., Ramadhany W. & Lunggani A. T. 2021. Characterization And Screening Of Protease, Amylase, And Cellulase From Phylloplane Fungi Isolates Of Avicennia Marina (Forssk.) Vierh. *Jurnal Biologi Universitas Andalas*. 9(2): 54-59.
- Maheswari, Bharadwaj, & Mahalingeshwara. 2014. Thermophilic Fungi: Their Physiology and Enzymes. *Microbiology And Moleculbiology*. 64(3): 461–488.
- Makan, A., Assobhei, O., & Mountadar, M., 2013. Effect Of Initial Moisture Content On The In-Vessel Composting Under Air Pressure Of Organic Fraction Of Municipal Solid Waste In Morocco. Iran. *Journal Environ. Health Sci. Eng.*
- Maksudi, Wigati S., & Syafwan. 2022. Thermo-Composting Technique For Sustainable Agri-Entrepreneurship. *Seminar Nasional Fakultas*

Pertanian Universitas Jambi.

- Malloch, D. 1981. *Moulds: Their Isolation, Cultivation and Identification*. University of Toronto Press.
- Mardanov, A. V., Beletsky, A. V., Kadnikov, V. V., Ignatov, A. N., & Ravin, N. V. 2023. Efficient Biomass Hydrolysis by *Penicillium verruculosum* Enzyme Complex: A Promising Alternative to *Trichoderma*-Based Cellulase Systems. *Biotechnology Reports*. 40(1).
- Marlina, E.T., Kurnani, B.A., Hidayati & Badruzzaman. 2017. Penyusutan dan Penurunan Nisbah C/N pada Vericomposting Campuran Feses Sapi Perah dan Jerami Pada Menggunakan *Eisenia fetida*. *Jurnal Ilmu Ternak*. 17(2): 114-119.
- Meilani, S. S., & Susyani, N. E. 2021. Pemanfaatan Kembali Limbah Batang Pisang Menjadi Kompos. *Agroindustrial Technology Journal*. 5 (2) : 13-26.
- Merheb, W. C., Cabral H., Gomes E. & Da-Silva R. 2021. Partial Characterization Of Protease From A Thermophilic Fungus, *Thermoascus Aurantiacus*, And Its Hydrolytic Activity On Bovine Casein. *Food Chemistry*. 104: 127–131.
- Mohammad, N., Alam, M.Z., Kabbashi, N.A., & Ahsan, A., 2015. Effective Composting Of Oil Palm Industrial Waste By Filamentous Fungi: A Review. *Resour. Conserv. Recycl*. 58, 69-78.
- Nakasaki, K., Hirai, H., Mimoto, H., Quyen, T. N. M., Koyama, M., & Takeda, K. 2019. Succession Of Microbial Community During Vigorous Organic Matter Degradation In The Primary Fermentation Stage Of Food Waste Composting. *Science of the Total Environment*, 671, 1237–1244.
- Nanda, T. P., Siregar, S. A., Kurniawan, R., Hairudin, Meriyanti, & Yatno. 2017. Isolasi, Karakterisasi dan Uji Potensi Bakteri Penghasil Enzim Termotabil Air Panas Kerinci. *Chempublish Journal*. 2(1): 26-31.
- Nemet, F., Peric K., & Loncarik Z. 2021. Microbiological activities in the composting process – A review. *Columella – Journal of Agricultural and Environmental Science*. 8 (2): 41-53
- Paredes, A., Valdes, G., Areneda, N., Valdebenito E. & Nuti H.F. 2023. Microbial Community in the Composting Process and Its Positive Impact on the Soil Biota in Sustainable Agriculture. *Journal Agronomy*. 13(1): 1-24.
- Petric, I., Helic, A., & Avdic, E.A., 2012. Evolution Of Process Parameters And

- Determination Of Kinetics For Co-Composting Of Organic Fraction Of Municipal Solid Waste With Poultry Manure. *Bioresour. Technol.* 1(17): 107-116.
- Prasanna, H. N., Ramanjaneyulu, G. & Reddy R. B. 2016. Optimization of Cellulase Production by *Penicillium* sp. *Journal Biotech.* 6(3): 2-11.
- Rahmasyitha, L. 2019. Aktivitas Ligninase dan Selulase dari Jamur *Penicillium* Sp. Selama Inkubasi Kompos. *Jurnal Bioteknologi*, 16(2): 89-97.
- Raja, M. B., Parthiban, S., Anandhan, M., Venkadeswaran, E., Pandi, K., Suganthi, S., & Prakash, M. S. 2018. Rooting And Sprouting Performance Of Nodal Cutting Of Cultivated And Wild Inter Specific Piper Rootstocks. *International Journal of Chemical Studies*, 6(2): 20–24.
- Ray, S., & Kumar, A. 2020. Fungal Enzymes And Their Role In Organic Waste Degradation. In: *Advances in Microbial Enzymes and Their Applications*. Springer, Singapore.
- Riana, T., Agustini R., Baihaki I., & Shoffiana Noor. 2024. Kultur Slide Sebagai Metode Mikroskopik Tidak Langsung Untuk Identifikasi Jamur Kapang. *JUSINDO*. 6(1): 201-210.
- Rosa, E., Ekowati, C. N., Handayani, T. T., Ikhsanudin, A., Apriliani, F., & Arifiyanto, A. 2020. Characterization Of Entomopathogenic Fungi As A Natural Biological Control Of American Cockroaches (*Periplaneta Americana*). *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 21:(11).
- Rukmi, I. & Lunggani T. A. 2019. Eksplorasi Jamur Proteolitik Alkali Termotoleran Dari Tanah Kapur Sukolilo Barat Madura. *Jurnal Berkala Bioteknologi*. 2(2): 13-17.
- Ryckeboer, J. Mergaert, K. Vaes, S. Klammer, D. De Clercq, J. Coosemans & J. Swings. 2013. Asurvey Of Bacteria And Fungi Occurring During Composting And Self-Heating Processes. *Annals of Microbiology*. 53 (4): 349-410.
- Sally, V. G., Kurniawan V. S. & Surja S. S. 2020. Analysis Of Periodic Subculture And With Sterile Water Methods For *Aspergillus* Sp. And *Candida albicans*. *Journal of Medicine*. 19(2): 99-104.
- Samson, R. A., Houbraken, J., Thrane, U., Frisvad, J. C. & Andersen, B. 2009. *Food And Indoor Fungi*. Utrecht: CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre.

- Sandi & Hartono R. 2020. Sistem Kendali dan Monitoring Kelembapan, Suhu, dan pH pada Proses Dekomposisi Pupuk Kompos dengan Kendali Logika Fuzzy. *Jurnal Telekomtran*. 8(2): 154-164.
- Saraswati, S.& R. Heru Praptana. 2017. Acceleration of Aerobic Composting Process Using Biodecomposer. *Jurnal Perspektif*. 6(1): 44 -57.
- Sari, R. A., Kusdiyantini E. & Rukmi I. MG. 2017. Produksi Selulase Oleh Kapang *Aspergillus* Sp. Hasil Isolasi Dari Limbah Pengolahan Sagu (*Metroxylon* Sp.) Dengan Variasi Konsentrasi Inokulum Pada Fermentasi Terendam Statis. *Jurnal Biologi*. 6 (1): 11-20.
- Saroj, Manasa P., & Narasimhulu K. 2018. *Biofuel: Fungus-Mediated Production Of Ligninolytic Enzymes And Bioprocess Methods That Utilize Agricultural Residues*. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology
- Singh, R. S., & Pandey, A. 2017. Industrial Application Of *Geotrichum Candidum* In Enzyme Production And Waste Biodegradation. *Biotechnology Advances*, 35(5): 512–523.
- Siqueira, V. M., Fraga, M. E., Pizzirani-Kleiner, A. A., & Azevedo, J. L. 2010. Diversity Of Thermophilic And Thermotolerant Fungi In Composting Environments. *Journal of Applied Microbiology*, 108(2): 600–609.
- Subowo, Y. B. 2010. Uji Aktivitas Enzim Selulase Dan Ligninase Dari Beberapa Jamur Dan Potensinya Sebagai Pendukung Pertumbuhan Tanaman Terong (*Solanum melongena*). *Berita Biologi*. 10(1): 1–6.
- Sugito, S. & R Ratnawati. 2020. Aerobic Composting Of Rumen Content Waste And Rice Straw At Different C/N Ratios. *Journal of Physics: Conference Series*. 1-9.
- Sumardi, S., Qatrunada, V., Farisi, S., Arifiyanto, A., & Ekowati, C. N. 2021. Aktivitas Enzim Hidrolase pada Penapisan Isolat *Actinomyces* Kandidat Probiotik Udang. *Bioma: Jurnal Biologi dan Pembelajaran Biologi*. 6(1): 24-36
- Suryadi, H., Fithriani, D., & Ramadhan, R. 2023. Optimization of Protease Production by Endophytic Fungi *Penicillium bilaiae* Using Response Surface Methodology. *Indonesian Journal of Biotechnology*. 28(1): 15–25.
- Suryani, Y., Andayaningsih P., & Hernaman I. 2019. Isolasi Dan Identifikasi Jamur Selulolitik Pada Limbah Produksi Bioetanol Dari Singkong Yang Berpotensi Dalam Pengolahan Limbah Menjadi Pakan Domba. *Jurnal Uin Sunan Gunung Djati*. 12(1): 1-7.

- Susanto, A., & Lubis, D. 2017. Zero Waste Management PT. *Great Giant Pineapple* (GGP) Lampung. *Prosiding Konferensi Nasional ke-5*. 3(1):4-10.
- Talantan, V. M., Marina, M., Lambui, O. & Suwastika, I. N. 2018. Uji Aktivitas Selulase dari Jamur Selulolitik Asal Tanah Danau Kalimpa'a Sulawesi Tengah. *Natural Science. Journal of Science and Technology*. 7(3): 323-333
- Thanh, V. N., Thuy T. N, Huong T. T. H.,¹ Hien D. D., Hang M. T. D., KimAnh T. D., Hüttner S., Larsbrink J., & Olsson L. 2019. Surveying Of Acid-Tolerant Thermophilic Lignocellulolytic Fungi In Vietnam Reveals Surprisingly High Genetic Diversity. *Scientific Reports*. 9:367.
- Tjampakasari, C. R. , Agustini, R. , Baihaki, I., Noor S., Bustami A. 2024. Kultur Slide Sebagai Metode Mikroskopik Tidak Langsung untuk Identifikasi Jamur Kapang. *Jurnal Sehat Indonesia (JUSINDO)*. 6 (01): 201-210.
- Torres, ER Oviedo-Ocaña, I. Dominguez, D. Komisi & A. Sanchez. 2018. A Systematic Review Of Green Waste Composting: Quality Raw Materials And Optimization Strategies. *Waste Management*. 1-14.
- Usman, M., Asgher, M., Iqbal, H. M. N., & Khalid, A. 2021. Production, Optimization, And Characterization Of An Acid Protease From A Filamentous Fungus by Solid-State Fermentation. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 28(1): 865–872.
- Wang, Jinxin Wan, Gaofer Jiang, Banerjee, B. T., Wei, Xinlan Mei, Ville-Petri & Yangchun Xu. 2021. Compositional And Functional Succession Of Bacterial And Fungal Communities Is Associated With Changes In Abiotic Properties During Pig Manure Composting. *Waste Management* 131. 350–358.
- Wang, X., He, Xiaoli. & Liang, Jing. 2022. Succession of Microbial Community during the Co-Composting of Food Waste Digestate and Garden Waste. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 19(1): 1-11.
- Watanabe Tsuneo. 2002. *Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi (2nd ed)*. CRC Press LLC.
- Xu, X.F., Qiu, X.W., & Zhang, J.B. 2019. Biochar Influences The Succession Of Microbial Communities And The Metabolic Functions During Rice Straw Composting With Pig Manure. *Bioresour. Technol.* 272. 10–18.
- Yakin, E. A., & Mulyono, A. M. W. 2017. Pengaruh Lama Fermentasi Terhadap

Aktivitas Enzim Dan Lignin Pada Proses Fermentasi Kulit Buah Kakao Menggunakan Kapang *Phanerochaete chrysosporium*. *Agrisaintifika: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*. 1(2): 152–157.

Zhang, J., Li, Q., & Liu, T. 2020. Effect Of Temperature On Fungal Diversity And Biomass In Composting Systems. *Microbial Ecology*, 79(4): 960-973.

Zhu, L., Zhao, Y., Yao, X., Zhou, & M., Liu. 2023. Inoculation Enhances Directional Humification By Increasing Microbial Interaction Intensity In food Waste Composting. *Journal Chemosphere*. 322.