

**ISOLASI DAN KARAKTERISASI FUNGI TERMOFILIK PADA
KOMPOS KEDALAMAN DI FASE PROSES *COMPOST PLANT*
PT. *GREAT GIANT PINEAPPLE***

(Skripsi)

Oleh

KHAIRUNNISA QURRATA'AYUN RABBANI

NPM 2117021066



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

ABSTRAK

ISOLASI DAN KARAKTERISASI FUNGI TERMOFILIK PADA KOMPOS KEDALAMAN DI FASE PROSES *COMPOST PLANT* PT. *GREAT GIANT PINEAPPLE*

Oleh

Khairunnisa Qurrata'ayun Rabbani

PT. *Great Giant Pineapple* (GGP) merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam industri pangan. Selama proses produksinya, perusahaan tersebut menghasilkan limbah dalam jumlah yang signifikan antara lain kulit buah, bonggol nanas, kotoran ternak dan bagian lain yang tidak digunakan dalam produk akhir. Upaya mengatasi permasalahan tersebut dengan mengolahnya menjadi kompos melalui proses dekomposisi yang melibatkan mikroorganisme, termasuk fungi termofilik. Fungi termofilik memiliki kemampuan termostabil dan berperan penting dalam meningkatkan laju reaksi kimia dengan mengeluarkan enzim ekstraseluler, sehingga dapat mempercepat proses pengomposan. Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi dan mengkarakterisasi fungi termofilik pada kompos kedalaman di fase proses *compost plant* PT. GGP yang dilaksanakan pada Desember 2024 hingga Maret 2025 di Laboratorium PT. GGP. Penelitian menggunakan metode deskriptif eksploratif yang meliputi pengambilan sampel, homogenisasi dan pengenceran berseri, isolasi, pemurnian, karakterisasi makroskopis, mikroskopis, fisiologis dan penentuan indeks enzimatik. Hasil penelitian ini diperoleh empat isolat yang terindikasi sebagai fungi termofilik. Secara makroskopis, isolat Bio DK 1, Bio DK 2, dan Bio DK 3 menunjukkan koloni berwarna hijau dengan pinggiran putih hingga abu keputihan, bertekstur halus dan tebal. Sementara itu, isolat Bio DK 4 tampak berbeda dengan warna koloni putih, bertekstur serabut halus tipis. Secara mikroskopis seluruh isolat memiliki hifa, dengan isolat Bio DK 1, 2 dan 3 memiliki konidia, sedangkan isolat Bio DK 4 memiliki sporangium. Pada uji aktivitas enzim, Bio DK 1 menunjukkan kemampuan tertinggi dalam memproduksi enzim selulase dengan indeks enzimatik sebesar 7,52, sedangkan Bio DK 4 memiliki indeks enzimatik tertinggi untuk enzim protease sebesar 3,05. Kemudian pada uji aktivitas enzim ligninase, seluruh isolat tidak dapat mendegradasi lignin.

Kata Kunci: Fungi termofilik, isolasi, karakterisasi, kompos, pengomposan.

ABSTRACT

ISOLATION AND CHARACTERIZATION OF THERMOPHILIC FUNGI IN DEPTH COMPOST AT THE COMPOST PROCESS PHASE OF PT. GREAT GIANT PINEAPPLE PLANT

By

Khairunnisa Qurrata'ayun Rabbani

PT. Great Giant Pineapple (GGP) is one of the companies operating in the food industry. During its production process, the company generates significant amounts of waste, including fruit peels, pineapple cores, livestock manure, and other parts not used in the final product. Efforts to address this issue involve processing the waste into compost through a decomposition process involving microorganisms, including thermophilic fungi. Thermophilic fungi possess thermostable properties and play a crucial role in accelerating chemical reaction rates by releasing extracellular enzymes, thereby speeding up the composting process. This study aims to isolate and characterize thermophilic fungi in deep compost during the composting process at PT. GGP's composting plant, conducted from December 2024 to March 2025 at PT. GGP's laboratory. The study employed an exploratory descriptive method, including sampling, homogenization and serial dilution, isolation, purification, macroscopic, microscopic, and physiological characterization, and determination of enzymatic indices. The results of this study yielded four isolates indicated as thermophilic fungi. Macroscopically, isolates Bio DK 1, Bio DK 2, and Bio DK 3 exhibited green colonies with white to grayish-white edges, smooth and thick texture. Meanwhile, isolate Bio DK 4 appeared different with white colonies and a thin, smooth, fibrous texture. Microscopically, all isolates had hyphae, with isolates Bio DK 1, 2, and 3 having conidia, while isolate Bio DK 4 had sporangia. In the enzyme activity test, Bio DK 1 showed the highest ability to produce cellulase enzymes with an enzymatic index of 7.52, while Bio DK 4 had the highest enzymatic index for protease enzymes at 3.05. In the ligninase enzyme activity test, none of the isolates could degrade lignin.

Key words : Thermophilic fungi, isolation, characterization, compost, composting.

**ISOLASI DAN KARAKTERISASI FUNGI TERMOFILIK PADA
KOMPOS KEDALAMAN DI FASE PROSES *COMPOST PLANT*
PT. *GREAT GIANT PINEAPPLE***

Oleh

KHAIRUNNISA QURRATA'AYUN RABBANI

Skripsi

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

Pada

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



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

Judul Skripsi : **ISOLASI DAN KARAKTERISASI FUNGI
TERMOFILIK PADA KOMPOS KEDALAMAN
DI FASE PROSES *COMPOST PLANT* PT.
*GREAT GIANT PINEAPPLE***

Nama Mahasiswa : **Khairunnisa Qurrata'ayun Rabbani**

NPM : 2117021066

Program Studi : Biologi

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Pembimbing I

A handwritten signature in black ink, belonging to Prof. Dr. Bambang Irawan, M.Sc.

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

Pembimbing II

A handwritten signature in black ink, belonging to Wawan Abdullah Setiawan, S.Si., M.Si.

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

2. Ketua Jurusan Biologi FMIPA Universitas Lampung

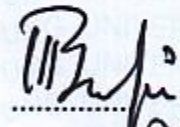
A handwritten signature in black ink, belonging to Dr. Jani Master, S.Si., M.Si.

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

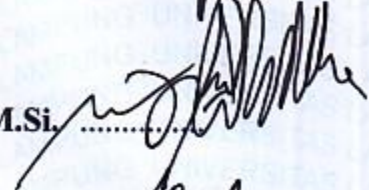
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua Penguji : **Prof. Dr. Bambang Irawan, M.Sc.**



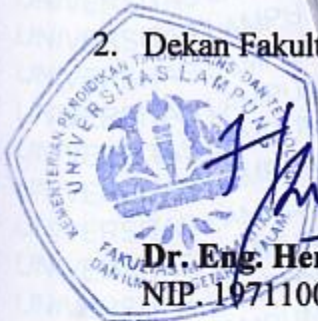
Anggota Penguji : **Wawan Abdullah Setiawan, S.Si., M.Si.**



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 : **28 Juli 2025**

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Khairunnisa Qurrata'ayun Rabbani
NPM : 2117021066
Jurusan : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa skripsi saya berjudul :

**“ ISOLASI DAN KARAKTERISASI FUNGI TERMOFILIK PADA
KOMPOS KEDALAMAN DI FASE PROSES *COMPOST PLANT* PT.
GREAT GIANT PINEAPPLE”**

Baik gagasan, data, maupun pembahasannya adalah benar karya saya sendiri yang saya susun dengan mengikuti norma dan etika akademik yang berlaku. Skripsi ini tidak berisi material yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain hasil plagiat karya orang lain.

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

Bandar Lampung, 28 Juli 2025



Khairunnisa Qurrata'ayun Rabbani

NPM. 2117021066

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Khairunnisa Qurrata'ayun Rabbani, atau akrab disapa Nisa. Lahir di Desa Lempuyang Bandar, Kecamatan Way Pengubuan, Kabupaten Lampung Tengah pada 09 April 2003. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara pasangan Bapak Bahrudin dan Ibu Eka Wati. Penulis memulai jenjang pendidikan di SD Negeri 5 Lempuyang Bandar pada tahun 2009-2015.

Kemudian penulis melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di SMP IT Bustanul Ulum pada tahun 2015-2018. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan sekolah menengah atas di SMA IT Smart Insani pada jurusan Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) pada tahun 2018- 2021. Selama menempuh pendidikan di SMA, penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan ekstrakurikuler dan berhasil meraih Juara 1 lomba pidato tiga bahasa pada ajang Musyawarah Kerja Kepala Sekolah (MKKS) tingkat SMA Kabupaten Lampung Tengah tahun 2019, yang kemudian mewakili kejuaraan tersebut ke tingkat provinsi. Selain itu, penulis juga berpartisipasi sebagai peserta dalam lomba cerdas cermat (LCC) 4 Pilar MPR RI tahun 2020.

Penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Universitas Lampung pada tahun 2021, sebagai mahasiswi program studi S1 Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Selama masa perkuliahan, penulis aktif berpartisipasi dalam organisasi kemahasiswaan, khususnya sebagai anggota bidang Sains dan Teknologi (SAINTEK) dalam Himpunan Mahasiswa Jurusan Biologi (HIMBIO) pada periode kepengurusan 2021-2022. Selain itu, penulis juga memperoleh pengalaman akademik dengan

menjadi asisten praktikum pada mata kuliah Biologi Sel, yang memperdalam pemahaman dan keterampilan laboratorium. Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. *Great Giant Foods* pada periode Desember 2022 hingga Februari 2023 dengan judul “**Analisa Cemaran *Enterobacteriaceae* Pada Produk Olahan Susu (*Hometown Dairy*) di PT. *Great Giant Foods* Lampung Tengah**” yang memberikan wawasan mengenai pengendalian mutu produk olahan susu. Selanjutnya, penulis mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari pada bulan Juni hingga Agustus 2024 di Desa Kedung Ringin, Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur, yang memperkuat kemampuan dalam penerapan ilmu biologi secara langsung di masyarakat.

PERSEMBAHAN

Dengan mengucap rasa syukur kepada Allah SWT atas limpahan rahmat, nikmat, serta hidayah-Nya. Berkat anugerah kekuatan yang senantiasa diberikan-Nya, penulis dapat melalui setiap proses hingga akhirnya mampu menyelesaikan skripsi ini.

Kupersembahkan karya sederhana ini kepada :

Orang-orang terkasih dalam hidup ku, Ayah dan Bunda yang selalu menjadi sumber semangat dan kasih sayang tanpa batas, senantiasa memanjatkan doa dan keridhaan untukku dalam setiap langkah perjalanan hidup.

Seluruh keluarga besar yang memberikan dukungan, bimbingan, dan motivasi dalam setiap tahapan menuju kebahagiaan dan kesuksesan.

Bapak dan Ibu dosen, khususnya dosen pembimbing, yang telah menjadi sosok panutan dan orang tua kedua selama masa perkuliahan, dengan kesabaran dan ketulusan membimbing serta membagikan ilmu hingga berhasil meraih gelar sarjana.

Sahabat dan teman-teman seperjuangan di Biologi 21, yang dari awal menapaki dunia perkuliahan hingga kini selalu hadir memberikan dukungan, inspirasi, dan pelajaran berharga dalam setiap perjalanan akademik dan kehidupan.

Almamaterku tercinta yang menjadi kebanggaan,
Universitas Lampung

MOTTO

“Dan rahasiakanlah perkataanmu atau nyatakanlah. Sungguh, Dia Maha Mengetahui segala isi hati”

(QS. Al-Mulk : 13)

“(Ingatlah), ketika kamu memohon pertolongan kepada Tuhanmu, lalu diperkenankan-Nya bagimu, “Sungguh, aku akan mendatangkan bala bantuan kepadamu dengan seribu malaikat yang datang berturut-turut”

(QS. Al-Anfal : 9)

“Tidaklah mungkin bagi matahari mengejar bulan dan malam pun tidak dapat mendahului siang. Masing-masing beredar pada garis edarnya”

(QS. Yasin : 40)

“I gave my blood, sweat, and tears for this”

(Taylor swift)

“Perang telah usai, aku bisa pulang.
Kubaringkan panah dan berteriak MENANG!”

(Nadin Amizah)

“Akan ada masa depan bagi semua yang bertahan.
Duniaku pernah hancur, rangkai lagi satu-satu”

(Idgitaf)

SANWACANA

Puji Syukur Kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan Rahmat dan Hidayah, serta telah meneguhkan kepada hamba-hamba-Nya dalam agama-Nya. Karena cinta dan kemurahan-Nya-lah penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Isolasi dan Karakterisasi Fungi Termofilik pada Kompos Kedalaman di Fase Proses *Compost Plant* PT. *Great Giant Pineapple*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada bidang Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan berkat dukungan dan kontribusi dari berbagai pihak. Dengan kerendahan hati, penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih yang tak terhingga 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. Bapak Prof. Dr. Bambang Irawan, M.Sc., selaku Pembimbing I, yang dengan kesabaran dan ketulusan membimbing, memberikan nasihat, motivasi, ilmu pengetahuan dan saran sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik;
4. Bapak Wawan Abdullah Setiawan, S.Si., M.Si., selaku Pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan, pengetahuan, serta masukan berharga selama penulis menjalani proses penyusunan skripsi ini;
5. Ibu Dr. Kusuma Handayani, S.Si., M.Si., selaku Ketua Program Studi S1 Biologi sekaligus pembahas, yang dengan penuh perhatian telah memberikan saran, kritik, serta ilmu pengetahuan yang sangat membantu

dalam penyempurnaan skripsi ini;

6. Ibu Prof. Endang Linirin Widiastuti, M.Sc., PhD., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama menempuh Pendidikan strata satu Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung;
7. Cinta pertama dan pelindungku, Ayah Bahrudin serta Pintu surga dan panutan hidupku, Bunda Eka Wati. Terima kasih atas segala pengorbanan tanpa batas dan kasih tulus yang selalu mengalir dari hati kalian. Doa yang tak pernah putus, perhatian yang tak kenal lelah, serta dukungan yang tiada henti menjadi kekuatan terbesar bagi penulis hingga mampu menyelesaikan studi dan meraih gelar sarjana ini. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan kesehatan, umur panjang, dan kebahagiaan yang abadi untuk Ayah dan Bunda tercinta. Penulis akan selalu berusaha menjadi kebanggaan dan penerus doa-doa mulia kalian;
8. Abangku Muhammad Ali Akbar, S.T., dan Kakak ipar Yulia Agusti Hermania, S.E., yang telah memberikan kasih sayang, perhatian, doa, dan kebahagiaan kepada penulis;
9. Seluruh pihak instansi PT. *Great Giant Pineapple* atas fasilitas dan kesempatan yang telah diberikan selama proses penelitian ini berlangsung, yang telah memberikan dukungan, bimbingan, serta menciptakan suasana kerja yang kondusif sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar;
10. Rekan-rekan satu tim penelitian *as known as* GPP Gurls, Okta, Rona, Zaskia, Alvina, dan Shalsabilla, terima kasih atas kerja sama yang solid, dukungan yang tulus, serta kebersamaan yang hangat selama proses penelitian dan penyusunan skripsi ini;
11. Sahabat kuliah Azra dan Zora yang selalu ada dalam suka dan duka, terima kasih atas semangat, motivasi, dan kebersamaan yang tak tergantikan. Kalian selalu siap membantu dan setia menemani setiap langkah penulis, menjadikan perjalanan kuliah ini terasa lebih ringan dan penuh makna;
12. Sahabat SMA *as known as* Pocici, Asyafa, Devina, dan Bunga yang sudah selalu memberikan dukungan, doa, canda tawa dan semangat kepada penulis. Terima kasih sudah selalu ada di setiap sedih dan senang sedari

SMA hingga detik ini. Semoga persahabatan yang telah terjalin selama ini tetap kuat dan selanjutnya kita akan terus melangkah maju bersama, melewati setiap tantangan dan impian yang ada di depan;

13. Seluruh teman-teman Biologi angkatan 2021 khususnya kelas A atas kebersamaannya selama ini, dan Almamater tercinta Universitas Lampung;
14. *Last but not least, I want to thank myself for believing in my own abilities despite the many obstacles that stood in my way. I want to thank myself for never giving up and always striving to do my best at every step. I want to thank myself for being patient, strong, and continuing to move forward even when the path felt difficult. Thank you for the courage, resilience, and love I have always given to myself. I am proud of myself and ready to face the long journey ahead with full enthusiasm.*

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan didalam penyusunan karya ini dan jauh dari kesempurnaan, akan tetapi sedikit harapan semoga karya sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 28 Juli 2025

Penulis,

Khairunnisa Qurrata'ayun Rabbani

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Kerangka Pemikiran.....	4
1.5 Hipotesis	5
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Kompos	6
2.1.1 Fase-Fase Pengomposan	9
2.2 Mikroba Dekomposer	11
2.3 Biologi Fungi Termofilik.....	13
2.2.1 Enzim Pada Fungi Termofilik.....	15
III. METODE PENELITIAN.....	18
3.1 Waktu dan Tempat.....	18
3.2 Alat dan Bahan.....	18
3.3 Rancangan Penelitian.....	19
3.4 Prosedur Penelitian	20
3.4.1 Pengambilan sampel.....	20
3.4.2 Sterilisasi Alat dan Bahan	20
3.4.3 Homogenisasi dan Pengenceran Berseri	20
3.4.4 Isolasi Fungi Termofilik.....	21
3.4.5 Pemurnian Fungi Termofilik.....	21
3.4.6 Karakterisasi Makroskopis Fungi Termofilik	21
3.4.7 Karakterisasi Mikroskopis Fungi Termofilik.....	22

3.4.8 Karakterisasi Fisiologis Fungi Termofilik	23
3.5 Analisis Data.....	24
3.6 Diagram Alir Penelitian	25
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1 Hasil.....	26
4.1.1 Isolasi dan Karakterisasi Makroskopis Fungi Termofilik	26
4.1.2 Karakterisasi Mikroskopis Fungi Termofilik.....	28
4.1.3 Karakterisasi Fisiologis Fungi Termofilik	30
4.2 Pembahasan.....	34
4.2.1 Karakterisasi Mikroskopis Fungi Termofilik.....	34
4.2.2 Karakterisasi Fisiologis Fungi Termofilik	37
V. KESIMPULAN	44
5.1 Simpulan	44
5.2 Saran	44
DAFTAR PUSTAKA.....	45
LAMPIRAN.....	56

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Karakteristik Makroskopis Isolat Fungi Termofilik yang Diperoleh pada Kompos Kedalaman 1 m di Fase Proses	27
2. Karakteristik Mikroskopis Isolat Fungi Termofilik yang Diperoleh pada Kompos Kedalaman 1 m di Fase Proses	29
3. Indeks Enzimatik Aktivitas Selulase.....	31
4. Indeks Enzimatik Aktivitas Protease	33

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Tahap pembentukan kompos	10
2. Diagram alir penelitian.....	25
3. Isolat Fungi Termofilik Pada Uji Aktivitas Selulase	30
4. Isolat Fungi Termofilik Pada Uji Aktivitas Protease	32
5. Isolat Fungi Termofilik Pada Uji Aktivitas Ligninase.....	34
6. Proses Sampling	57
7. Analisis Penelitian.....	58

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor industri berbasis pertanian atau agroindustri, memainkan peran krusial dalam perekonomian nasional dan merupakan sumber mata pencaharian bagi sebagian besar masyarakat Indonesia. Agroindustri yang berfokus pada pangan lokal membutuhkan bahan baku berupa hasil pertanian yang sesuai untuk diproses menjadi produk olahan pangan (Widodo *et al.*, 2024). Salah satu perusahaan yang beroperasi di sektor ini adalah PT. *Great Giant Pineapple* yang dinaungi oleh *Great Giant Foods*. Perusahaan ini bergerak dalam industri pangan dengan pendekatan perkebunan terintegrasi berkelanjutan. Perusahaan ini dikenal dengan berbagai unit bisnisnya, termasuk pengolahan pisang, nanas, enzim bromelain, serta produksi hewan ternak (PT. *Great Giant Foods*, 2023). Proses produksi yang melibatkan berbagai unit bisnis tentunya menghasilkan limbah dalam jumlah signifikan, antara lain yaitu kulit buah, bonggol nanas, kotoran ternak dan bagian lain yang tidak digunakan dalam produk akhir. Salah satu upaya untuk mengatasi permasalahan limbah dengan mengolahnya menjadi kompos, yang merupakan salah satu solusi alternatif untuk memanfaatkan limbah secara berkelanjutan (Al-Nawaiseh *et al.*, 2021).

Limbah organik akan terurai dan membusuk dengan bantuan mikroorganisme dalam tanah, seperti fungi dan bakteri. Mikroorganisme tersebut memiliki peran penting dalam proses pengomposan. Mikroorganisme tersebut akan mengeluarkan enzim ekstraseluler yang membantu mendegradasi bahan organik, mempercepat proses penguraian sampah organik hingga

menghasilkan kompos (Prihastini *et al.*, 2023). Kemampuan mikroorganisme untuk mendegradasi makromolekul kompleks dihasilkan melalui aksi enzim ekstraseluler hidrolitik. Enzim-enzim ini membantu memecah senyawa besar menjadi komponen yang lebih sederhana, sehingga mempercepat proses penguraian bahan organik dan mendukung pembentukan kompos yang berkualitas (Lu *et al.*, 2022). Perkembangan suatu mikroba bergantung pada kondisi dan karakteristik bahan baku diantaranya yaitu, kadar air, suhu, pH dan nutrisi (Wibisono *et al.*, 2016).

Proses pengomposan melibatkan dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme, termasuk fungi termofilik yang berperan penting dalam proses degradasi pada suhu tinggi (Ibraheem *et al.*, 2021). Fungi termofilik mampu mendegradasi enzim seperti selulase, protease, dan ligninase karena memiliki adaptasi yang memungkinkan fungi dapat bertahan dan berkembang pada suhu tinggi, serta memproduksi enzim-enzim yang stabil dan aktif dalam kondisi ekstrem (Berikten dan Kivanc, 2021). Toleransi yang dimiliki fungi termofilik untuk hidup pada suhu tinggi disebabkan oleh beberapa faktor, seperti permeabilitas membran sel, stabilitas kimia, dan tingginya kadar guanin dan sitosin. Oleh sebab itu proses pengolahan pada kondisi termofilik di anggap lebih cepat karena pada suhu tersebut laju reaksi kimia akan lebih tinggi (Al-rasheedi *et al.*, 2022).

Fungi termofilik akan mendegradasi bahan organik dalam proses pengomposan bergantung dengan jenis substrat yang tersedia. Saroj *et al.* (2018) dalam penelitiannya menyatakan bahwa *Aspergillus fumigatus* dapat menghasilkan enzim selulase dan hemiselulase yang mampu mendegradasi bahan organik kompleks seperti selulosa dan hemiselulosa menjadi gula sederhana. Aktivitas tinggi enzim-enzim tersebut berpotensi mempercepat proses pengomposan, yang pada akhirnya dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan limbah organik. Selain itu dalam penelitian lain, Sahu *et al.* (2019) menyatakan bahwa *Tricoderma viride*, *Rhizomucor pusillus*, *Aspergillus flavus* terlibat dalam degradasi bahan organik dengan

memproduksi enzim ekstraseluler hidrolitik yang akan memecah senyawa kompleks seperti lignin dan selulosa yang terkandung dalam berbagai limbah pertanian. Dengan demikian, fungi termofilik memainkan peran penting dalam mempercepat proses degradasi limbah organik melalui produksi enzim yang dapat memecah bahan organik kompleks.

Oleh sebab itu, mengingat pentingnya peran fungi termofilik dalam proses degradasi bahan organik pada pengomposan, penelitian ini dilakukan untuk mengisolasi dan mengkarakterisasi yang meliputi morfologi makroskopis, mikroskopis, dan fisiologis fungi termofilik pada kompos kedalaman di fase proses *compost plant* PT. *Great Giant Pineapple*. Pengambilan sampel dilakukan pada kedalaman 1 m. Lokasi tersebut dipilih karena, kedalaman dapat mempengaruhi suhu, kelembaban dan jenis fungi yang tumbuh di setiap lapisan (Witasari *et al.*, 2021). Berdasarkan penelitian yang akan dilakukan, diharapkan diperoleh isolat fungi termofilik yang memiliki potensi signifikan dalam mempercepat proses pengomposan. Isolat tersebut diharapkan mampu bertahan dan beraktivitas optimal pada suhu tinggi, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dalam mendegradasi bahan organik.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Apa saja jenis fungi termofilik berhasil di isolasi pada kompos kedalaman di fase proses *compost plant* PT. *Great Giant Pineapple*?
2. Bagaimana karakteristik makroskopis, yang meliputi warna koloni dan tekstur koloni; mikroskopis, yang meliputi hifa, sporangium dan konidia; serta fisiologis, yang meliputi aktivitas enzim selulase, enzim protease dan enzim ligninase fungi termofilik pada kompos kedalaman di fase proses *compost plant* PT. *Great Giant Pineapple*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengisolasi fungi termofilik pada kompos kedalaman di fase proses *compost plant* PT. *Great Giant Pineapple*.
2. Mengetahui karakteristik makroskopis, yang meliputi warna koloni dan tekstur koloni; mikroskopis, yang meliputi hifa sporangium dan konidia; serta fisiologis, yang meliputi aktivitas enzim selulase, enzim protease dan enzim ligninase fungi termofilik pada kompos kedalaman di fase proses *compost plant* PT. *Great Giant Pineapple*.

1.4 Kerangka Pemikiran

Limbah agroindustri merupakan salah satu permasalahan utama yang dihadapi oleh industri pertanian dan pangan, termasuk perusahaan seperti PT. *Great Giant Pineapple*. Limbah ini tidak hanya mencemari lingkungan tetapi juga dapat membahayakan kesehatan masyarakat jika tidak dikelola dengan baik. Salah satu solusi efektif untuk mengatasi masalah ini adalah melalui proses pengomposan. Proses dekomposisi pada pengomposan melibatkan serangkaian reaksi biokimia dalam mendegradasi bahan organik oleh mikroorganisme, termasuk fungi termofilik, yang memainkan peran penting dalam mempercepat proses degradasi limbah organik.

Fungi termofilik sangat penting dalam proses pengomposan karena kemampuan mereka untuk bertahan dan berkembang pada suhu tinggi serta memproduksi enzim yang stabil dan aktif dalam kondisi ekstrem. Enzim-enzim seperti selulase, protease dan ligninase akan membantu memecah senyawa kompleks menjadi komponen yang lebih sederhana, sehingga akan mempercepat proses penguraian bahan organik. Oleh karena itu, proses pengolahan pada fase termofilik dianggap lebih cepat, karena pada suhu tersebut laju reaksi kimia meningkat. Dengan demikian, penggunaan fungi termofilik dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan limbah organik.

Pengomposan dengan melibatkan fungi termofilik dapat menjadi strategi berkelanjutan untuk mengelola limbah organik yang dihasilkan dari proses produksi. Fungi termofilik akan berpotensi mempercepat proses pengomposan sehingga perusahaan dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan limbah dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Hal ini tidak hanya mendukung keberlanjutan lingkungan tetapi juga memberikan manfaat ekonomi dengan mengurangi biaya pengelolaan limbah dan meningkatkan nilai tambah produk sampingan seperti kompos.

Dengan mengetahui peran fungi dan fase termofilik dalam pengomposan, penelitian ini dilakukan untuk mengisolasi dan mengkarakterisasi fungi termofilik pada kompos kedalaman di fase proses *compost plant* PT. *Great Giant Pineapple*. Diharapkan pada penelitian ini didapatkan inokulum fungi termofilik yang dapat membantu mempercepat proses dekomposisi, sehingga hasilnya dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pengelolaan limbah organik dan produksi kompos yang lebih efisien.

1.5 Hipotesis

Hipotesis penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Didapatkan isolat fungi termofilik pada kompos kedalaman di fase proses *compost plant* PT. *Great Giant Pineapple* yang berpotensi untuk mendegradasi limbah organik.
2. Diketahui karakteristik makroskopis, yang meliputi warna koloni dan tekstur koloni; mikroskopis, yang meliputi hifa, sporangium dan konidia; serta fisiologis, yang meliputi aktivitas enzim selulase, enzim protease dan enzim ligninase fungi termofilik pada kompos kedalaman di fase proses *compost plant* PT. *Great Giant Pineapple*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kompos

Kompos adalah hasil penguraian dari campuran bahan-bahan organik yang dapat dipercepat oleh populasi berbagai macam mikroba. Proses ini memerlukan kelembaban, suhu yang tepat, serta melibatkan berbagai macam mikroorganisme yang akan melakukan metabolisme kompleks dengan oksigen, nitrogen, dan karbon (Meena *et al.*, 2021). Keberadaan mikroorganisme berperan penting dalam mengubah bahan organik yang dapat terurai menjadi zat seperti humus dengan cepat dan efektif. Senyawa organik terlarut akan menjadi sumber energi bagi mikroba, yang juga mencerminkan stabilitas dan kematangan kompos. Dalam proses ini, bakteri dan fungi berperan dalam degradasi limbah organik. Mikroorganisme tersebut akan berkontribusi dengan memproduksi enzim yang diperlukan untuk penguraian dengan cara dilepasakan ke lingkungan sekitar (Duan *et al.*, 2021).

Kompos merupakan hasil dari proses perubahan bahan organik menjadi zat humat yang bersifat stabil secara biologis, hal ini tentunya akan bermanfaat untuk berbagai jenis tanah dan tanaman. Hasil akhir dari pengomposan berupa pupuk organik, yang merupakan produk alami yang berasal dari sayuran, buah-buahan, dan kotoran hewan (Hamid *et al.*, 2019). Beberapa faktor yang mempengaruhi proses pembentukan kompos meliputi :

a. Rasio karbon-nitrogen (C/N)

Karbon memiliki peran penting sebagai sumber energi bagi mikroorganisme dalam proses penguraian bahan organik, sementara nitrogen juga berfungsi sebagai sumber energi yang dibutuhkan mikroba untuk sintesis protein. Dalam pengomposan, rasio karbon terhadap

nitrogen (C/N) yang ideal adalah sekitar 30, karena pada rasio ini proses dekomposisi biologis berlangsung secara efisien dan mikroba dapat bekerja maksimal untuk mengubah bahan organik menjadi kompos berkualitas. Namun, jika rasio C/N terlalu tinggi, yakni di atas 40, atau terlalu rendah, di bawah 20, proses dekomposisi akan terhambat secara signifikan. Kondisi ini terjadi akibat ketidakseimbangan nutrisi yang dibutuhkan mikroorganisme untuk aktivitas metabolisme, sehingga pengomposan menjadi kurang efektif dan memakan waktu lebih lama untuk menghasilkan kompos yang siap pakai (Fabiani *et al.*, 2020).

b. Tingkat kelembaban

Kelembaban berpengaruh dalam proses pembentukan kompos karena mikroorganisme yang terlibat dalam dekomposisi bahan organik memerlukan air untuk tumbuh dan berkembang. Menurut Setyaningsih *et al.*, (2017) kelembaban memiliki peranan penting dalam proses pengomposan, dengan tingkat kelembaban ideal sekitar 60%.

Kelembaban yang rendah di bawah 60% menyebabkan bahan kompos menjadi terlalu kering sehingga pematangan kompos berlangsung lebih lama. Sebaliknya, kelembaban yang terlalu tinggi di atas 60% dapat menciptakan kondisi basah yang mendukung pertumbuhan bakteri nondekomposer, yang menghasilkan gas dan menimbulkan bau tidak sedap pada kompos. Oleh karena itu, pemantauan suhu, pH, dan kelembaban secara rutin sangat diperlukan untuk memastikan proses pengomposan berjalan optimal.

c. Nilai pH

Mikroorganisme memiliki rentang pH tertentu untuk dapat berfungsi secara optimal. Nilai pH merupakan salah satu faktor lingkungan yang sangat berpengaruh terhadap aktivitas mikroorganisme yang berperan dalam proses dekomposisi bahan organik. Selama proses pengomposan, perubahan nilai pH terjadi sebagai akibat dari perombakan senyawa kompleks yang terkandung dalam bahan organik menjadi senyawa-

senyawa yang lebih sederhana, yang sering kali melibatkan reaksi biokimia. Proses ini tidak hanya mempengaruhi ketersediaan nutrisi bagi mikroorganisme, tetapi juga dapat mempengaruhi jenis mikroorganisme yang dominan dalam proses dekomposisi. Oleh karena itu, pemantauan dan pengelolaan nilai pH selama proses pengomposan sangat penting untuk memastikan bahwa aktivitas mikroorganisme tetap optimal dan efisien dalam menguraikan bahan organik menjadi kompos yang berkualitas (Novita *et al.*, 2021).

d. Suhu

Suhu memiliki peran penting dalam menunjukkan aktivitas mikroorganisme selama proses pengomposan. Perubahan suhu mencerminkan tingkat aktivitas mikroba dalam menguraikan bahan organik. Suhu juga berpengaruh besar pada efisiensi pengomposan, karena setiap tahap dalam proses tersebut memiliki kisaran suhu yang optimal untuk mikroorganisme tertentu (Siagian *et al.*, 2021).

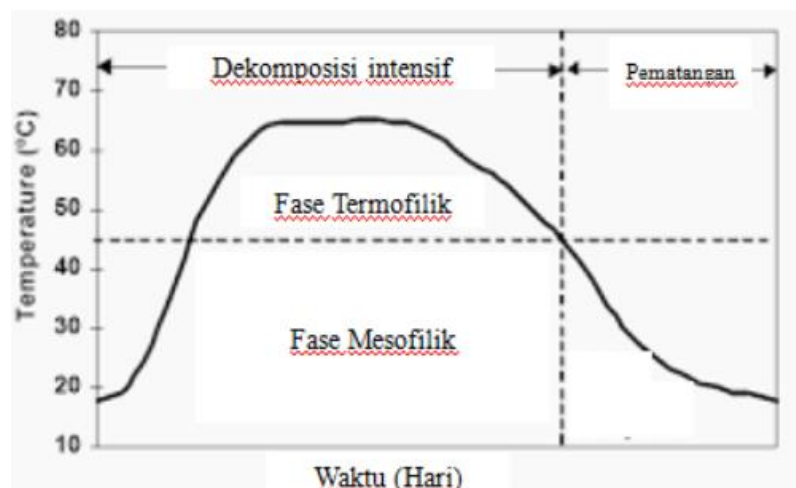
Menurut Sandi dan Hartono (2020), suhu pengomposan yang ideal berkisar antara 40–60°C, di mana pada rentang ini proses dekomposisi berlangsung sangat aktif dan cepat. Suhu di atas 40°C menandakan fase termofilik, saat mikroba termofilik menjadi dominan dan mikroba mesofilik yang tidak tahan panas mulai mati. Pada suhu tinggi ini juga terjadi pembunuhan mikroba patogen tanaman dan benih gulma, yang menguntungkan kualitas kompos. Namun jika suhu terlalu rendah, mikroba tidak bekerja optimal sehingga proses pengomposan menjadi lambat. Sebaliknya, suhu yang terlalu tinggi (di atas 60°C) dapat membunuh sebagian besar mikroorganisme pengurai sehingga menghambat proses dekomposisi. Setelah puncak suhu termofilik, suhu akan menurun menuju kestabilan mendekati suhu tanah (sekitar 26-30°C), menandai kompos sudah matang dan siap digunakan

2.1.1 Fase-Fase Pengomposan

Proses pengomposan dapat dilakukan secara aerob (dengan oksigen) maupun anaerob (tanpa oksigen). Proses pengomposan secara aerob akan menghasilkan karbon dioksida (CO_2), air (H_2O), unsur hara, dan sebagian humus, sedangkan pengomposan anaerob menghasilkan metana (CH_4), karbon dioksida (CO_2), serta senyawa antara seperti hidrogen sulfida (H_2S) dan sulfur organik, yang sering menimbulkan bau tidak sedap seperti merkaptan. Dari segi efisiensi energi, pengomposan aerob menghasilkan energi yang jauh lebih besar dibandingkan anaerob, sehingga proses aerob berlangsung lebih cepat (Saraswati dan Praptana, 2017).

Pengomposan adalah proses biologis penting dalam proses daur ulang bahan organik yang melibatkan beberapa fase berbeda. Suhu memiliki peran krusial dalam proses pengomposan. Menurut Hamidah dan Gawy (2023), secara umum proses pengomposan terdiri dari tiga fase utama yakni fase mesofilik, fase termofilik, dan fase maturasi.

1. Fase Mesofilik. Berlangsung selama tujuh sampai dengan sepuluh hari. Pada masa ini metabolisme terjadi sangat cepat. Mikroorganisme mulai memproses bahan organik yang mudah terurai seperti gula dan karbohidrat sederhana. Proses ini dikenal dengan istilah eksotermik dengan suhu berkisar antara 15-45 °C .
2. Fase Termofilik. Berlangsung selama dua minggu dengan temperatur yang meningkat 50-75 °C. Peningkatan temperatur tersebut bersamaan dengan pemecahan protein, lemak dan karbohidrat kompleks seperti selulosa dan hemiselulosa.
3. Fase Pendinginan/Maturasi. Aktivitas mikroorganisme akan mengalami penurunan sampai dengan 50 %. Pada fase Maturasi yaitu terjadi aktivitas utamanya adalah degradasi senyawa resisten dan mengubahnya menjadi humus.



Gambar 1. Tahap pembentukan kompos
(Meilani dan Susyani, 2021)

Dalam proses pengomposan, kedalaman tumpukan kompos dapat mempengaruhi suhu dan aktivitas mikroba pendegradasi. Kedalaman sampel dapat mempengaruhi distribusi kelembapan dan oksigen, yang penting bagi aktivitas mikroba diberbagai lapisan kompos (Putri *et al.*, 2022). Pengomposan adalah proses pemanasan alami, aktivitas mikroba meningkat pada suhu di atas 50 °C, diikuti dengan penurunan suhu secara bertahap di akhir proses. Proses ini terdiri dari tiga tahap yakni mesofilik, termofilik, dan maturasi. Mikroba mesofilik dan termofilik secara bergantian menguraikan bahan organik sesuai dengan kondisi lingkungan yang berubah-ubah. Metabolisme mikroba berperan penting dalam memecah molekul-molekul yang mengandung karbon dan nitrogen yang sulit terurai, seperti selulosa, lignoselulosa, dan protein dalam bahan baku, sehingga menghasilkan produk yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk untuk tanaman (Piazza *et al.*, 2021). Efisiensi pengomposan sangat dipengaruhi oleh pengendalian beberapa parameter fisika-kimia. Untuk mencapai kinerja pengomposan yang optimal, penting agar tumpukan kompos mencapai suhu yang telah ditetapkan selama fase termofilik, dengan pH antara 5,0 dan 8,0, kelembapan campuran sekitar 40–60 %, dan rasio C/N awal antara 20–40, namun nilai-nilai ini nantinya dapat bervariasi tergantung pada jenis substrat (Finore *et al.*, 2023).

Proses pengomposan diawali dengan aktivitas mikroorganisme mesofilik yang mengurai substrat organik pada suhu sedang. Seiring berjalannya waktu dan peningkatan suhu akibat aktivitas metabolisme mikroorganisme, kondisi lingkungan menjadi lebih menguntungkan bagi pertumbuhan mikroorganisme termofilik. Mikroorganisme termofilik yang lebih adaptif terhadap suhu tinggi kemudian mengambil alih proses degradasi, sehingga laju pengomposan meningkat secara signifikan. Fase termofilik ini merupakan tahap paling aktif dalam proses pengomposan, hal ini ditandai dengan peningkatan suhu yang pesat dan degradasi substrat organik yang intensif (He *et al.*, 2013).

2.2 Mikroba Dekomposer

Secara alami bahan-bahan organik akan mengalami penguraian di alam dengan bantuan mikroba maupun biota tanah lainnya. Peran mikroba dalam pengomposan sangat signifikan karena merupakan penggerak utama dalam dekomposisi bahan organik. Kecepatan dekomposisi dan kualitas kompos tergantung pada keadaan dan jenis mikroba yang aktif selama proses pengomposan (Saraswati dan Praptana, 2017). Selama proses pengomposan, suksesi mikroorganisme memainkan peran penting dalam manajemen yang efektif. Munculnya mikroorganisme tertentu dapat mempengaruhi laju biodegradasi dan tingkat kematangan kompos, yang berdampak pada kualitas kompos yang dihasilkan (López *et al.*, 2021). Selain itu, inokulum mikroba berkontribusi pada pengomposan dengan memodifikasi proses perombakan contohnya selulosa, hemiselulosa, dan lignoselulosa (Rastogi *et al.*, 2020).

Selama proses pengomposan, terjadi interaksi sinergis antara berbagai jenis mikroba dalam bahan organik. Populasi mikroba yang beragam sangat penting dalam mendegradasi bahan organik kompleks seperti selulosa, lignin, kitin, dan protein. Proses ini melibatkan aktivitas enzimatik yang spesifik dari setiap jenis mikroba, yang bekerja sama untuk memecahkan struktur molekul kompleks menjadi unit-unit yang lebih sederhana (Goushterova *et al.*, 2020).

Pengomposan melibatkan interaksi mikroba yang kompleks, termasuk berbagai bakteri, *actinomycetes*, dan fungi (Kumari *et al.*, 2024).

Mikroba dekomposer berperan penting dalam proses pengomposan. Pada fase ini, dekomposisi atau penguraian bahan organik berlangsung dengan sangat aktif. Mikroba dalam kompos menggunakan oksigen untuk mengubah bahan organik menjadi CO₂, uap air, dan panas. Setelah sebagian besar bahan terurai, suhu secara bertahap akan menurun (Sa'adah *et al.*, 2022). Kenaikan suhu dapat terjadi dengan cepat pada tumpukan kompos. Suhu optimal untuk aktivitas pengomposan yang intensif berkisar antara 30-60 °C, di mana populasi mikroba yang beragam akan bekerja secara aktif. Namun, suhu yang terlalu dapat menciptakan kondisi yang ekstrem, menyebabkan kematian sebagian besar mikroorganisme mesofilik dan hanya menyisakan mikroba termofilik yang mampu bertahan hidup dalam suhu tinggi (Sandi dan Hartono, 2020).

Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Siddiquee *et al.* (2017) salah satu mikoba dari golongan fungi dekomposer yang dapat mengurai bahan organik dan mempercepat proses pengomposan sebesar 60.9% yaitu fungi dari golongan *Trichoderma*. Proses pengomposan yang ditambahkan inokulum *Trichoderma* membutuhkan waktu 30 hari hingga kompos tergolong matang. *Trichoderma* mampu mereduksi bahan organik seperti karbohidrat khususnya dengan bantuan enzim selulosa. Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Harlifia *et al.* (2021) Penambahan inokulum fungi seperti *Geotricum* sp. dapat meningkatkan kualitas kompos, mempercepat waktu pengomposan, serta meningkatkan populasi fungi dekomposer. Memiliki kemampuan untuk memecah lignin, senyawa kompleks yang sulit terurai, menjadi senyawa monomer yang lebih sederhana. Dalam penelitian tersebut, perlakuan dengan 1,5% inokulum memberikan hasil terbaik, dengan peningkatan kandungan nitrogen dan penurunan karbon organik hingga memenuhi standar kualitas kompos menurut SNI 19-7030-2004.

2.3 Biologi Fungi Termofilik

Mikroba termofilik dikenal dapat bertahan dalam berbagai kondisi ekstrem, termasuk suhu tinggi, salinitas tinggi, pH asam dan basa, serta radiasi tinggi (Arbab *et al.*, 2022). Mikroba termofilik mampu beradaptasi terhadap suhu tinggi dengan meningkatkan interaksi elektrostatis, disulfida, dan hidrofobik dalam protein. Selain itu, asam lemak pada membrannya bersifat sangat jenuh, sehingga memastikan stabilitas dan fungsi yang optimal pada suhu tinggi (Obeidat dan Al-shomali, 2023). Mikroba termofilik, termasuk fungi termofilik, memiliki peran penting dalam ekosistem terutama dalam mempercepat proses biodegradasi bahan organik. Kemampuan ini didukung oleh produksi enzim ekstraseluler yang dihasilkan, yang memiliki ketahanan lebih baik terhadap bahan kimia, kondisi pH yang ekstrem, serta suhu tinggi dibandingkan mikroorganisme lainnya (Rukmi *et al.*, 2018).

Secara morfologi, fungi termofilik memiliki struktur yang mirip dengan fungi pada umumnya, namun memiliki beberapa adaptasi khusus untuk bertahan di lingkungan panas. Struktur hifa pada fungi termofilik bersifat bersekat, dengan dinding sel yang relatif tebal guna meningkatkan perlindungan terhadap suhu ekstrem. Beberapa spesies juga memperlihatkan adanya pigmen seperti melanin pada dinding sel atau spora yang berfungsi sebagai pelindung tambahan terhadap panas. Spora yang dihasilkan, baik secara seksual maupun aseksual, umumnya kecil, berdinding tebal, dan sangat tahan terhadap suhu tinggi (De oliveira *et al.*, 2015). Berdasarkan hasil penelitian Saryono *et al.* (2022) Fungi termofilik yang diisolasi dari mata air panas Sungai Pinang, Riau, didominasi oleh genus *Aspergillus* dan *Penicilium*. Secara makroskopis, koloni *Aspergillus* awalnya berwarna putih lalu berubah menjadi hijau dengan permukaan halus dan tekstur granular kasar. Koloni *Penicilium* berwarna putih dengan hifa padat yang kemudian berubah menjadi hijau gelap bercampur miselium putih. Secara mikroskopis, *Aspergillus* memiliki hifa bersepta, vesikel bulat, dan konidia bulat pada konidiofor transparan, sedangkan *Penicilium* juga memiliki hifa bersepta dan konidia bulat.

Secara fisiologi, fungi termofilik memiliki adaptasi khusus untuk bertahan hidup pada suhu tinggi, meliputi laju metabolisme yang lebih lambat, peningkatan proporsi asam lemak jenuh dalam fosfolipid membrannya, pergantian enzim yang cepat, sintesis protein, serta mekanisme unik untuk penyimpanan lipid. Adaptasi-adaptasi ini memungkinkan fungi termofilik untuk tetap hidup pada suhu yang mematikan bagi sebagian besar organisme lainnya (Steindorff *et al.*, 2024). Fungi termofilik dikenal mampu memproduksi enzim yang tetap aktif pada suhu tinggi. Fungi termofilik dapat mendegradasi enzim seperti selulase, protease, dan ligninase karena memiliki kemampuan adaptasi yang memungkinkan enzim-enzim tersebut tetap stabil dan aktif dalam kondisi ekstrem. Fungi juga merupakan sumber dari banyak enzim penting dalam industri dan memiliki kemampuan untuk mensintesis enzim ekstraseluler dalam jumlah besar (Berikten dan Kivanc, 2021).

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Suryawanshi dan Eswari (2022) menyatakan bahwa *Thermomyces lanuginosus* dikatakan sebagai fungi termofilik karena dapat hidup pada suhu tinggi. Fungi ini juga mampu menghasilkan enzim kitinase yang aktif pada suhu tinggi. Selain itu, pada penelitian lain Liu *et al.* (2024) *Cladosporium* sp. berkontribusi dalam degradasi poliuretan (PU) melalui enzim cutinase. Enzim ini efektif dalam mendegradasi berbagai substrat PU, termasuk film termoplastik PU dan busa PU pasca-konsumen. *Cladosporium* sp. menghasilkan enzim cutinase termostabil untuk degradasi poliuretan pada suhu 55°C

Secara ekologi, fungi termofilik memiliki kemampuan untuk tumbuh dalam berbagai kondisi dan dapat ditemukan di banyak lingkungan yang berbeda. Terdapat 3 kelompok fungi, diantaranya yaitu fungi psikrofil yang dapat berkembang pada suhu rendah, fungi mesofilik yang dapat tumbuh pada suhu sedang dan fungi termofilik yang memiliki kemampuan untuk tumbuh dengan baik pada suhu yang lebih tinggi. Variasi kemampuan pertumbuhan ini memungkinkan fungi untuk beradaptasi dan bertahan di berbagai habitat

(Witfeld *et al.*, 2021). Fungi termofilik dapat tumbuh dengan baik pada suhu dengan rentang 50 °C dan memiliki batas suhu minimum di atas 20 °C. Fungi ini memiliki potensi untuk menghasilkan metabolit atau enzim baru. Fungi termofilik biasanya memiliki kemampuan yang lebih baik dan toleransi yang lebih luas terhadap variasi pH dibandingkan dengan mikroorganisme lainnya. Selain itu, fungi merupakan sumber yang signifikan untuk hemiselulase, karena dapat menghasilkan enzim yang lebih tinggi dibandingkan dengan ragi dan bakteri. Keunggulan ini menjadikan fungi termofilik sebagai pilihan yang menarik dalam berbagai aplikasi biologi (Ahirwar *et al.*, 2017).

2.2.1 Enzim Pada Fungi Termofilik

Enzim memainkan peran penting dalam menurunkan energi aktivasi dan mempercepat berbagai reaksi biologis. Di antara sumber mikroba, fungi merupakan sumber penghasil enzim alami (Wang *et al.*, 2020). Aktivitas enzim dalam proses pengomposan sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan. pH media pengomposan memiliki rentang optimal yang memungkinkan enzim bekerja secara maksimal. Jika pH terlalu asam atau basa, struktur enzim dapat berubah sehingga mengurangi efisiensi katalisis. Suhu juga berperan penting, karena enzim memiliki suhu optimum di mana aktivitasnya mencapai puncak. Suhu yang terlalu rendah dapat menghambat aktivitas enzim, sedangkan suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan denaturasi enzim (Tefa dan Tea, 2022). Fungi memiliki kemampuan dalam menghasilkan enzim. Enzim tersebut dapat digunakan untuk mendegradasi bahan organik. Enzim yang dihasilkan oleh fungi bersifat ekstraseluler, artinya dilepaskan ke luar sel untuk memecah molekul besar seperti selulosa, lignin, protein, dan lemak menjadi molekul-molekul yang lebih kecil (Ruhimat *et al.*, 2022)

Adapun enzim yang diproduksi oleh fungi yaitu :

a. Enzim selulase

Enzim selulase merupakan enzim ekstraseluler yang diproduksi di luar sel mikroorganisme selulolitik. Interaksi antara substrat selulosa dan enzim

selulase akan membentuk kompleks enzim substrat dan menghasilkan glukosa yang kemudian dapat digunakan sebagai sumber energi oleh mikroorganisme. Enzim selulase terdiri dari kompleks eksoglukanase, endoglukanase dan β -glukosidase. Menurut Larasati *et al.* (2015) salah satu fungi yang dapat memproduksi selulase adalah fungi yang memiliki filamen seperti *Trichoderma* sp. dan *Aspergillus* sp. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Ibraheem *et al.* (2021) mengidentifikasi bahwa *Aspergillus flavus* merupakan isolat dengan aktivitas selulolitik tertinggi, dimana enzim selulolitik yang dihasilkan berperan penting dalam proses degradasi bahan selulosa.

b. Enzim protease

Enzim protease merupakan kelompok enzim yang mengkatalis hidrolisis ikatan peptida. Fungi pada umumnya dianggap sebagai strain yang baik untuk produksi enzim protease. Hal ini disebabkan karena biaya produksi yang efektif, produksi yang lebih cepat, dan kemudahan modifikasi enzim (Souza *et al.*, 2015). Pada penelitian yang dilakukan oleh Ibraheem *et al.* (2021) menemukan bahwa fungi *Neurospora* sp. merupakan penghasil enzim protease yang tumbuh optimal pada suhu 50°C. Produksi fungi sebagai pendegradasi enzim protease sangat efisien pada suhu tersebut, hal ini menunjukkan potensi tinggi dalam berbagai aplikasi industri yang membutuhkan enzim protease pada suhu tinggi.

c. Enzim ligninase

Fungi dapat mendegradasi lignin karena mampu mensintesis enzim ligninase. Enzim ligninase memainkan peran krusial dalam siklus biogeokimia, terutama dalam proses dekomposisi bahan organik lignoselulosa. Enzim ligninase merupakan kompleks enzim yang dapat memecah struktur aromatik lignin dan ikatan antara unit lignoselulosa (Martina *et al.*, 2015). Penelitian yang dilakukan oleh Irawan *et al.* (2022) ditemukan bahwa isolat fungi *Trichoderma* sp. memiliki kemampuan untuk mendegradasi senyawa lignin secara efektif.

Trichoderma sp. menunjukkan aktivitas lignolitik yang signifikan ditandai dengan adanya warna coklat pada media disekitar isolat.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2024 hingga Maret 2025. Pengambilan sampel dilakukan di *compost plant* PT. *Great Giant Pineapple* dan analisis yang meliputi isolasi dan karakterisasi dilakukan di *Laboratorium Research and Development* PT. *Great Giant Pineapple*.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan untuk isolasi dan karakterisasi fungi termofilik yaitu, sarung tangan, masker, termometer, pH meter, plastik tahan panas, *cool box*, sendok, autoklaf, lampu spirtus, *hotplate*, *magnetic stirrer*, spatula, pinset, cawan Petri, gelas ukur, gelas beaker, erlenmeyer, batang pengaduk, neraca analitik, inkubator, vortex, mikropipet, pipet tetes, *Biological Safety Cabinet*, jarum ose, mikroskop optilab, *object glass*, *cover glass*, drigalski, plastik mika bening, pinset dan kertas saring.

Bahan yang digunakan untuk isolasi dan karakterisasi fungi termofilik yaitu, sampel kompos, aquades, alkohol 70%, NaCl, *potato dextrose agar* (PDA), *czapek-Doc agar*, *carboxymethyl cellulose* (CMC), *congo red*, *lactophenol cotton blue*, *cloramphenicol*, *skim milk agar*, media *boyd* dan *kohlmeyer* (10 gr glukosa, 2 gr pepton, 1 gr *yeast extract*, 18 gr agar, dan 4 mM *guaiacol* dalam 1 L aquades).

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode deskriptif eksploratif untuk mengetahui keberadaan fungi termofilik pada kompos kedalaman di fase proses *compost plant* PT. *Giant Giant Pineapple*. Pengambilan sampel dilakukan dengan teknik *purposive sampling* di 1 titik lokasi dengan 3 kali pengulangan pada kedalaman 1 m. Tahap pertama untuk isolasi fungi termofilik yaitu dilakukan homogenisasi dan pengenceran berseri pada sampel kompos menggunakan NaCl. Kemudian dilakukan isolasi dengan metode *spread plate* pada media PDA. Koloni yang tumbuh selanjutnya dipilih dan dilakukan pemurnian ke media PDA yang baru. Setelah mendapatkan koloni murni, isolat yang diperoleh kemudian dilakukan karakterisasi secara makroskopis, mikroskopis dan fisiologis yang meliputi uji aktivitas enzimatik.

Karakterisasi fungi termofilik secara makroskopis dilakukan dengan mengamati warna dan tekstur koloni pada media PDA secara visual. Sedangkan karakterisasi fungi termofilik secara mikroskopis dilakukan dengan mengamati bentuk hifa, sporangium, dan konidia dengan melakukan teknik *slide culture* dan pewarnaan *lactophenol cotton blue*. Kemudian hasilnya diamati dengan bantuan mikroskop optilab. Selanjutnya untuk mengamati karakterisasi fisiologis yang meliputi uji aktivitas enzimatik pada fungi termofilik dilakukan uji selulase, uji protease dan uji ligninase. Hasil yang diperoleh dari uji aktivitas enzimatik selulase, dan protease ditandai dengan terbentuknya zona jernih disekitar koloni fungi, sedangkan uji ligninase ditandai dengan terbentuknya warna coklat pada media disekitar koloni fungi. Hasil karakterisasi fisiologis yang telah diperoleh kemudian ditentukan dengan menghitung indeks enzimatik menggunakan rumus gravimetri. Seluruh hasil identifikasi dan karakterisasi, baik secara makroskopis, mikroskopis, maupun fisiologis selanjutnya disusun secara deskriptif kuantitatif dan kualitatif.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Pengambilan sampel

Pengambilan sampel kompos dilakukan pada kedalaman 1 m di fase proses *compost plant* PT. *Great Giant Pineapple*. Pengambilan sampel dibantu oleh alat berat berupa eskavator. Pengambilan sampel dilakukan pada 1 titik dengan 3 kali pengulangan. Sampel diambil secara aseptik dengan menggunakan sarung tangan dan sendok yang sebelumnya sudah di sterilisasi dan disemprot alkohol 70%. Sampel diambil ± 100 gr, kemudian di masukkan kedalam plastik steril dengan masing-masing ulangan di tempatkan pada plastik yang berbeda. Selanjutnya sampel yang sudah terkumpul disimpan dalam wadah tahan panas agar suhu nya stabil lalu di bawa ke laboratorium untuk di analisis.

3.4.2 Sterilisasi Alat dan Bahan

Proses sterilisasi alat dan bahan dilakukan menggunakan metode uap air panas bertekanan tinggi, alat yang digunakan adalah autoklaf yang dilengkapi dengan katup pengaman. Proses sterilisasi dimulai dengan disiapkan seluruh peralatan dan bahan yang akan disterilkan, kemudian dimasukkannya ke dalam autoklaf. Setelah semua alat dan bahan tertata rapi di dalam autoklaf, katup pengaman pada autoklaf akan ditutup untuk menjaga keamanan selama proses berlangsung. Selanjutnya, autoklaf dioperasikan pada tekanan sebesar 2 atm dengan suhu 121°C. Pada tahap ini, bahan-bahan yang akan digunakan akan disterilkan selama 15 menit, sementara alat-alat lainnya membutuhkan waktu selama 20 menit (Azizah *et al.*, 2020).

3.4.3 Homogenisasi dan Pengenceran Berseri

Ditimbang sebanyak 25 gr sampel kompos, kemudian dimasukkan sampel tersebut kedalam erlenmeyer yang berisi 225 mL NaCl lalu dihomogenkan. Selanjutnya, disuspensikan 1 mL sampel kedalam tabung reaksi yang berisi

9 mL NaCl lalu divortex. Seri pengenceran yang digunakan untuk isolasi fungi meliputi 10^{-2} , 10^{-4} , 10^{-6} , dan 10^{-8} yang memungkinkan penyebaran koloni fungi lebih optimal (Sutari., 2020).

3.4.4 Isolasi Fungi Termofilik

Sebanyak 100 μ L sampel diambil dan kemudian diinokulasikan ke dalam cawan Petri berisi media PDA yang mengandung 1% *cloramphenicol*. Proses inokulasi dilakukan menggunakan metode *spread plate*, dimana sampel dicampurkan dengan cara disebar pada media agar yang telah memadat. Setelah proses inokulasi selesai, cawan Petri tersebut kemudian diinkubasi pada suhu 30°C selama 7 hari (Ibraheem *et al.*, 2021).

3.4.5 Pemurnian Fungi Termofilik

Dari beragam koloni fungi yang tumbuh pada cawan Petri, dilakukan pengamatan terhadap masing-masing koloni untuk menentukan perbedaan morfologi. Selanjutnya diinokulasikan satu ose koloni tersebut secara aseptik pada media PDA yang baru menggunakan metode titik. Cawan Petri berisi isolat kemudian diinkubasi pada suhu 30°C selama 7 hari. Setelah masa inkubasi, koloni murni yang diperoleh dijadikan stok kultur untuk analisis lebih lanjut. Analisis tersebut meliputi karakterisasi makroskopis, mikroskopis serta uji fisiologis yang meliputi uji aktivitas enzimatis (Hikam *et al.*, 2024).

3.4.6 Karakterisasi Makroskopis Fungi Termofilik

Karakterisasi makroskopis dapat diamati secara langsung pada media pertumbuhan. Pengamatan makroskopis dapat dimulai sekitar 7-14 hari setelah pemurnian, hal ini tergantung pada laju pertumbuhan fungi. Langkah pertama yang dilakukan yaitu, masing-masing koloni fungi diamati secara visual untuk menganalisis berbagai aspek morfologinya. Pengamatan meliputi warna koloni dan tekstur koloni (Heirina *et al.*, 2020).

3.4.7 Karakterisasi Mikroskopis Fungi Termofilik

Karakterisasi mikroskopis diamati dengan teknik *slide culture* dan dilanjutkan dengan pewarnaan *lactophenol cotton blue*. Tujuan dari pembuatan *slide culture* untuk mengamati morfologi mikroskopis fungi seperti hifa, sporangium dan konidia, serta mengidentifikasinya berdasarkan struktur sel tersebut.

Langkah yang dilakukan adalah disiapkan cawan petri steril yang di dalamnya terdapat kapas dan drigalski berbentuk segitiga sebagai penyangga kemudian kaca objek diletakkan di atasnya. 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 *object glass* yang sudah terletak pada cawan petri diatas kaca penyangga. Koloni sampel diambil 1 ose menggunakan jarum ose. Kemudian jarum ose tersebut ditusukkan/dioleskan pada ke empat sisi agar yang terdapat pada cawan Petri lalu ditutup dengan *cover glass*. Dengan menggunakan pipet steril, ditambahkan aquades steril pada kertas saring dibawah kaca objek, hingga basah dan aquades menggenang di sekitar cawan Petri kemudian diinkubasi pada suhu kamar dan diobservasi setiap hari hingga terlihat pertumbuhannya (2x24 jam) (Tjampakasari *et al.*, 2024).

Terdapat dua target pengamatan mikroskopis. Target pertama yaitu *cover glass* yang digunakan untuk menutupi media agar yang ditumbuhi fungi. *cover glass* tersebut diangkat dan dipindahkan ke *object glass* yang sudah ditetaskan *lactophenol cotton blue*. Target kedua adalah *object glass* yang sebelumnya menopang media agar. Setelah media agar dibuang, *object glass* tersebut juga ditetaskan *lactophenol cotton blue* dan ditutup dengan *cover glass*. Keduanya kemudian diamati di bawah mikroskop optilab (Tjampakasari *et al.*, 2024).

3.4.8 Karakterisasi Fisiologis Fungi Termofilik

3.4.8.1 Uji Selulase

Diinokulasikan isolat fungi dengan menggunakan metode titik ke dalam media padat *Czapek-Dox agar* yang mengandung 1% CMC dan *cloramphenicol* pH diatur menjadi 6,8 dengan pH meter. Petri diinkubasi pada suhu 30 °C selama 5 hari. Petri yang sudah ditumbuhi koloni selanjutnya dituangi larutan *congo red* 0,1% kemudian dibiarkan selama 20 menit. Selanjutnya, larutan *congo red* dibuang kemudian dibilas dengan larutan NaCl 1 M selama 20 menit. Aktivitas selulolitik ditandai dengan munculnya zona jernih disekitar koloni (Sari *et al.*, 2017).

3.4.8.2 Uji Protease

Diinokulasikan isolat fungi dengan menggunakan metode titik ke dalam media skim agar dengan komposisi 51,5 g/l. pH diatur menjadi 7 dengan pH meter. Selanjutnya diinkubasi pada suhu 30°C selama 5 hari. Kemudian diamati zona jernih yang terbentuk (Mahardhika *et al.*, 2021).

3.4.8.3 Uji Lingninase

Diinokulasikan isolat fungi dengan menggunakan metode titik ke dalam media *Boyd dan Kohlmeyer* (10 gr glukosa, 2 gr pepton, 1 gr yeast extract, 18 gr agar, dan 4 mM *guaiacol* dalam 1 L aquades) pH atur menjadi 7 dengan pH meter. Selanjutnya diinkubasi pada suhu 30°C dalam gelap selama tujuh hari. Warna coklat yang dihasilkan di bawah dan di sekitar koloni fungi dianggap sebagai reaksi positif yang dihasilkan dari oksidasi *guaiacol* (Irawan *et al.*, 2022).

3.4.8.4 Penentuan Indeks Enzimatik

Besarnya aktivitas enzimatik (selulase, protease dan ligninase) ditentukan dengan mengukur luas koloni dan luas zona jernih yang terbentuk,

kemudian dihitung menggunakan metode gravimetri (Sumardi *et al.*, 2021). Adapun langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut :

- a. Perhitungan Luas Koloni dan Luas Zona Jernih
 1. Menggambar pola-pola koloni dan zona jernih pada plastik mika bening sebagai replika koloni.
 2. Replika koloni tersebut ditimbang dengan menggunakan timbangan analitik.
 3. Membuat potongan kertas 1 cm x 1 cm lalu ditimbang.

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

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

- b. Perhitungan Indeks Enzimatik

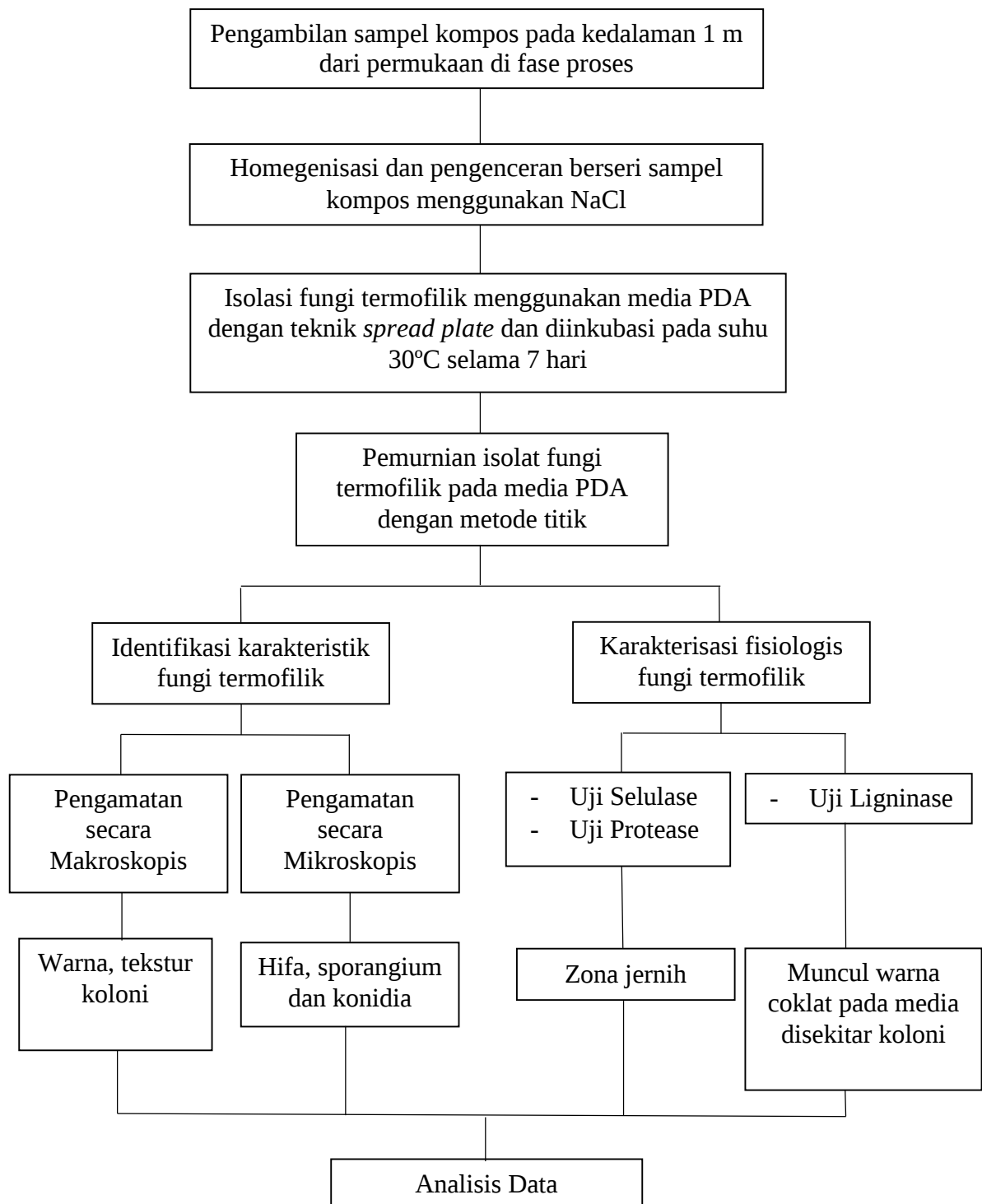
Penentuan indeks enzimatik menurut Rosa *et al.* (2020) dihitung menggunakan rumus :

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

3.5 Analisis Data

Analisis data yang meliputi karakterisasi secara makroskopis dan mikroskopis dilakukan dengan membandingkan hasil visualisasi dengan referensi yang telah ada, sedangkan analisis karakterisasi fisiologis berupa aktivitas enzim yang meliputi selulase dan protease dilakukan dengan menghitung indeks enzimatnya. Sedangkan aktivitas enzim ligninase dilakukan dengan skoring. Data yang telah diperoleh disajikan secara deskriptif kualitatif dan kuantitatif.

3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

V. KESIMPULAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, simpulan yang didapat adalah sebagai berikut :

1. Diperoleh empat isolat fungi termofilik pada sampel kompos kedalaman di fase proses *compost plant* PT. *Great Giant Pineapple*. Setiap isolat yang memiliki variasi karakteristik yang berbeda, sehingga diberi kode untuk membedakannya, yaitu Bio DK 1, Bio DK 2, Bio DK 3 dan Bio DK 4.
2. Karakteristik makroskopis isolat Bio DK 1, Bio DK 2, dan Bio DK 3 membentuk koloni berwarna hijau dengan pinggiran putih hingga abu keputihan, bertekstur halus tebal, sedangkan isolat Bio DK 4 memiliki koloni berwarna putih dengan tekstur serabut tipis halus. Karakteristik mikroskopis seluruh isolat memiliki hifa, dengan isolat Bio DK 1, 2 dan 3 memiliki konidia, sedangkan isolat Bio DK 4 memiliki sporangium. Karakteristik uji aktivitas enzim, isolat Bio DK 1 memiliki kemampuan tertinggi pada enzim selulase dengan indeks enzimatik 7,52, sementara isolat Bio DK 4 menunjukkan indeks enzimatik tertinggi untuk enzim protease sebesar 3,05. Selanjutnya pada uji aktivitas enzim ligninase, tidak ada isolat yang mampu mendegradasi lignin.

5.2 Saran

Dilakukan analisis lanjutan meliputi filogenetik untuk memastikan identitas serta potensi seluruh isolat sebagai inokulum fungal aditif yang mampu mempercepat proses pengomposan.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Adeoyo, O. R. 2021. A review on mycorrhizae and related endophytic fungi as potential sources of enzymes for the bio-economy. *Journal of Advances in Microbiology*. 21 : 35-49.
- Ahirwar, S., Soni H., Prajapati B. P., dan Kango, N. 2017. Isolation and Screening of Thermophilic and Thermotolerant Fungi for Production of Hemicellulases from Heated Environments. *Micology*. 8 (3) : 125 -134.
- Al-Nawaiseh, R.A., Aljbouir H. S., Al-Hamaiedeh, H., El-Hasan T., Hemidat, S., & Nassour A. 2021. Composting of Organic Waste : A Sustainable Alternative Solution for Solid Waste Management in Jordan. *Jordan Journal of Civil Engineering*. 15 (3) : 363-377.
- Al-rasheedi, S., Tawabini, B., Nazal, M., dan Khalil, A. 2022. Application of Thermophilic Bacteria for the Treatment of Municipal Wastewaters. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 47(6) : 6881-6888.
- Arbab, S., Ullah, H., Khan, M.,| Khattak, M., Zhang, J., Li K., dan Ul Hassan, I. 2022. Diversity and Distribution of Thermophilic Microorganisms and Their Applications in Biotechnology. *Journal of basic microbiology*. 62 (2) : 95-108.
- Azizah, Warda F., & Bahtiar, Y. 2021. *Biologi: Fungsi Jamur*. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas KH. A. Wahab Hasbullah. Jombang.
- Azizah, M., Lingga, L. S., & 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.
- Azmi, M. H., Lim, S. K., Park, S. J., Song, M. G., Cha, J. S., Lee, S. Y., & Jung, H. Y. 2024. Isolation and Identification of Three Newly Reported Ascomycete Fungal Species Isolated from Soil in Korea. *The Korean Journal of Mycology*. 52 (2) : 97-108.

- Bawamenewi, T. A., & Lase, N. K. 2025. Peran Mikrobiologi dalam Pengolahan Limbah Pertanian Menjadi Pupuk Organik. *Hidroponik: Jurnal Ilmu Pertanian Dan Teknologi Dalam Ilmu Tanaman*. 2 (1) : 53-63.
- Bensch, K., Braun, U., Groenewald, J. Z., & Crous, P. W. 2012. The genus *cladosporium*. *Studies in mycology*. 72 : 1-401.
- Berikten, D., & Kivanc, M. 2021. Investigation of Industrially Important Enzyme Activities of Thermophilic and Thermotolerant Filamentous Fungi. *Biological Diversity and Conservation*. 14 (3) : 427-430.
- Cruz, A. C. R. D., Marques, M. F. O., & Gusmão, L. F. P. 2014. Conidial fungi from the semi-arid Caatinga biome of Brazil: The genus *Menisporopsis*. *Acta Botanica Brasilica*. 28 : 339-345.
- Duan, H., Ji, M., Xie Y., Shi, J., Liu, L., Zhang, B., dan 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.
- De Oliveira, T. B., Gomes, E., & Rodrigues, A. 2015. Thermophilic fungi in the new age of fungal taxonomy. *Extremophiles*. 19 : 31-37.
- Fabiani, V. A., Sari F. I. P., Nurhadini, N., Adisyahputra, A., dan Asriza, R. O. 2020. Peningkatan Kualitas Pupuk Kompos Dari Limbah Rumah Tangga Menggunakan Stimulator Em4 Pada Kelompok Swadaya Masyarakat Srimenanti Jaya Kabupaten Bangka. *SELAPARANG: Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan* : 4 (1) : 504-508.
- Finore, I., Feola A., Russo L., Cattaneo1 A., Donato P. D., Nicolaus B., Poli A., dan Romano I. 2023. Thermophilic Bacteria and Their Thermozyms in Composting Processes: a review. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 10 (7) : 1-22.
- Goushterova, A., Nacheva, L., Dinev, N., & Kabaivanova, L. 2020. Addition of Microbial Inoculum as a Way for Compost Improvement by Enhancing the Activities of Hydrolytic Enzymes. *Baltica*. 33 (9) : 16-35.
- Hamid, H. A., Qi L. P., Harun, H., Sunar, N.M., Ahmad, F.H., Muhamad, M.S., dan Hamidon, N. 2019. Development of Organic Fertilizer from Food Waste by Composting in UTHM Campus Pagoh. *Journal of Applied Chemistry and Natural Resources*. 1 (1) : 1-6.
- Hamidah dan Gawy B. N. 2023. Teknologi Composting Skala Rumah Tangga Untuk Meretas Problem Sampah Organik. *JKPM*. 3 (1) : 74-77.
- Harlifia, N. F., Irawan, B., & Farisi, S. 2021. Manufacture Of Ligninolytic Fungi Inoculum *Geotrichum* Sp. With *Sorghum* (*Sorghum bicolor*) Media And Its

Effect On The Quality Of Bamboo Leaf Compost (*Bambusa* sp.). *Jurnal Ilmiah Biologi Eksperimen Dan Keanekaragaman Hayati (J-BEKH)*. 8 (1) : 61-69.

- Hasanah, N., & Saskiawan, I. 2015. Aktivitas selulase isolat jamur dari limbah media tanam jamur merang. In *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*. 1 (5) : 1110-1115.
- He, Y. , Xie, K. , Xu, P. , Huang, X. , Gu, W. , Zhang, F., dan Tang, S. 2013. Evolution of microbial community diversity and enzymatic activity during composting. *Research in Microbiology*. 189-198.
- 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.
- Hidayat, M. 2022. Isolasi dan Penapisan Kapang-Kapang Tanah Penghasil Enzim Selulase dari Limbah Olahan Sagu. *JBES: Journal of Biology Education and Science*. 2 (3) : 25-37.
- Hikam, A. R., Setio, A. E. M., Mumpuni, A., Yulianti, D. M., dan Dewi, R. S. 2024. Isolasi, Skrining dan Identifikasi Fungi Selulolitik Asal Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Rempoah, Kabupaten Banyumas. *Sciscitatio*. 5 (2) : 58-66.
- Ibraheem, O., Adetuyi, O., Kalejaiye, S., John V., Fayela W., & Ajayi, J. M. 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.
- Ilmi, I. M., & Kuswyasari, N. D. 2013. Aktifitas enzim lignin peroksidase oleh *Gliomastix* sp. T3. 7 pada limbah bonggol jagung dengan berbagai pH dan suhu. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*. 2 (1) : 1-5.
- Irawan, B., Wahyuningtias, I., Ayuningtyas, N., Isky, O. A., Farisi, S., Sumardi, S., Afandi, A. & Hadi, S. 2022. Potential Lignocellulolytic Microfungi from Pineapple Plantation for Composting Inoculum Additive. *International Journal of Microbiology*. (1) : 9252901.
- J. W. Deacon. 1997. *Modern Mycology*. Wiley.
- Kaur, H. P., & Joshi, D. 2015. Optimization of cellulase produced by fungus isolated from water. *World J. Pharm. Sci*. 4 (2) : 521-534.
- Kumari, S., Kayasth, M., Gangrade, T., dan Parshad, J. 2024. Role of Microorganisms in Composting and Factors Affecting the Process. *Vigyan Varta*. 5 (6) : 202-205.

- Larasati, T. R. D., Mulyana, N., Anggriawan, M., dan Effendi, Y. 2018. Produksi Enzim Selulase Oleh Fungi Selulolitik yang Diradiasi Sinar Gamma Dalam Fermentasi Jerami Padi. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 16 (3) : 139-147.
- Liu, J., Xin, K., Zhang, T., Wen, Y., Li, D., Wei, R., Zhou, J., Cui, Z., Dong, W. & Jiang, M. 2024. Identification and characterization of a fungal cutinase-like enzyme CpCut1 from *Cladosporium* sp. P7 for polyurethane degradation. *Applied and Environmental Microbiology*. 90 (4) : e01477-23.
- Lobo, O. L. L., Rupidara, A. D., & Ledo, M. E. 2022. Seleksi Enzim Protease Jamur Endofit Daun Mangrove *Avicennia marina* di Pantai Noelbaki. *Indigenous Biologi: Jurnal Pendidikan Dan Sains Biologi*. 5 (3) : 108-117.
- López, M. J., Jurado, M. M., López-González, J. A., Estrella-González, M. J., Martínez-Gallardo, M. R., Toribio, A., & Suárez-Estrella, F. 2021. Characterization of thermophilic lignocellulolytic microorganisms in composting. *Frontiers in microbiology*. 12 : 697480.
- Lu, X., Yanga, Y., Honga, C., Zhua, W., Yaoa, Y., Zhua, F., Honga, L., dan Wang, H. Optimization of Vegetable Waste Composting and the Exploration of Microbial Mechanisms Related to Fungal Communities During Composting. *Journal of Environmental Management*. 319 : 115964.
- Mahardhika, 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 UNAND*. 9 (2) : 54-59.
- Malewski, T., Borowik, P., Olejarski, I., Berezovska, D., Dyshko, V., Behnke-Borowczyk, J., & Oszako, T. 2022. Mycobiome of post-agricultural soils 20 years after application of organic substrates and planting of pine seedlings. *Forests*. 14 (1) : 36.
- Malloch, D. 1981. *Moulds, their isolation, cultivation, and identification*. University of Toronto
- Martina, A., Linda, T. M., Zul, D., Veronika, N., dan Jelita, R. 2015. Aktivitas Ligninolitik Beberapa Jamur Aphyllphorales dan Kemampuannya Mendegradasi Lignin pada Lindi Hitam. *Al-Kauniyah: Jurnal Biologi*. 8 (1) : 27-31.
- Martins, M. R., Santos, C., Soares, C., Santos, C., & Lima, N. 2020. *Gongronella eborensis* sp. nov., from vineyard soil of Alentejo (Portugal). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 70 (5) : 3475-3482.

- Meena, L. A., Karwal, M., Dutta, D., Mishra, R.P. 2021. Composting: Phases and Factors Responsible for Efficient and Improved Composting. *Agricultur & Food*. 3 (1) : 85-90.
- Meilani, S. S., dan Susyani, N. E. 2021. Pemanfaatan Kembali Limbah Batang Pisang Menjadi Kompos. *Agroindustrial Technology Journal*. 5 (2) : 13-26.
- Mikheev, V. S., Struchkova, I. V., Churkina, L. M., Brilkina, A. A., & Berezina, E. V. 2023. Several characteristics of *Oidiodendron maius* GL Barron important for heather plants' controlled mycorrhization. *Journal of Fungi*. 9 (7) : 728.
- Novita, E., Wahyuningsih, S., Minandasari, F. A., & Pradana H. A. 2021. Variasi Jenis dan Ukuran Bahan Pada Kompos Blok Berbasis Limbah Pertanian Sebagai Media Pertumbuhan Tanaman Cabai. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 22 (1) : 85-95.
- Obeidat, M., dan Al-Shomali B. 2023. Moderately Thermophilic Bacteria from Jordanian Hot Springs as Possible Sources of Thermostable Enzymes and Leukemia Cytotoxic Agents. *Jordan Journal of Biological Sciences*. 16 (3).
- Piazza, S. D., Houbraken, J., Meijer, M., Cecchi, G., Kraak, B., Rosa, E., dan Zotti, M. 2020. Thermotolerant and Thermophilic Mycobiota in Different Steps of Compost Maturation. *Microorganism*. 8 (880) : 1-9.
- Prihastini, L., Ramelani, A., Setyono, P., dan Pranoto. 2023. The Cooperation of Microorganisms, Bacteria, Mold, Yeast, and Actinomycetes consortium on decomposition of household organic waste in lowering C/N ratio. *Biodiversitas*. 24 (9) : 4862-4869.
- PT Great Giant Foods. 2024. Profil Perusahaan PT Great Giant Foods. Lampung: PT Great Giant Foods.
- Putri, S. A., Hidayah, R., Rismayanti, R., Apriliani, A., & Kamal, S. A. P. 2019. Optimalisasi Limbah Agroindustri sebagai Upaya Meningkatkan Perekonomian Masyarakat di Desa Banyuresmi Kabupaten Sumedang. *Kumawula: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. 2 (3) : 218-225.
- Rastogi, M., Nandal, M., dan Khosla, B. 2020. Microbes as Vital Additives for Solid Waste Composting. *Heliyon*. 6 (2) : 1-11.
- Răut, I., Călin, M., Capră, L., Gurban, A. M., Doni, M., Radu, N., & Jecu, L. 2021. *Cladosporium* sp. isolate as fungal plant growth promoting agent. *Agronomy*. 11 (2) : 392.

- 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).
- Rosidah, R., Azizah, A. S., Megawati, H. P., & Rivaldi, R. 2023. Analisis Morfologi Fungi pada Tempe Kemasan Daun dan Tempe Kemasan Plastik. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Biologi dan Sains*. 2 (1) : 48-57.
- Ruhimat, R., Djajakirana, G., & Antonius, S. 2022. Fungi Dekomposer Penghasil Enzim Ekstraseluler Lakase, Mangan Peroksidase, dan Lignin Peroksidase dari Kawasan Kebun Raya Bogor: Isolasi, Seleksi, Identifikasi dan Kajian Aktivitas Enzimnya. *Jurnal Biologi Indonesia*. 18 (1) : 111-119.
- Rukmi, I., Lunggani, A. T., Supriyadi, A., dan Raharjo, B. 2018. Eksplorasi Mikroorganisme Termofil Indigenous Dari Sumber Air Panas Gedongsongo Sebagai Penghasil Enzim Termostabil. *Berkala Bioteknologi*. 1 (1) : 1-9.
- Sa'adah, T. T., Herawati, J., Susanti, R. E. 2022. Pengaruh Penambahan Macam Starter Pada Proses Pengomposan Limbah Organik. *Journal of Applied Plant Technology*. 1 (1) : 17-26.
- Sabrini, Z., Rukmi, I., & Ferniah, R. S. 2018. Aktivitas Enzimatis Biakan Kapang *Aspergillus Section Nigri* DUCC (Diponegoro University Culture Collection) Dan Identifikasi Molekuler Isolat Potensial. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*. 23 (1): 1-5.
- Sahu, A., Manna, M. C., Bhattacharjya, S., Thakur, J. K., Mandal, A., Rahman, M. M., Sing, U. B., Bhargav, V. K., Srivastava, A.K. Patra, S.K. Chaudhari and Khanna, S. S. 2019. Thermophilic ligno-cellulolytic fungi: the future of efficient and rapid bio-waste management. *Journal of environmental management*. 244 : 144-153.
- Salvatore, M. M., Andolfi, A., & Nicoletti, R. 2021. The genus *Cladosporium*: A rich source of diverse and bioactive natural compounds. *Molecules*. 26 (13) : 3959.
- Sandi dan Hartono R. 2020. Sistem Kendali dan Monitoring Kelembapan, Suhu, dan pH pada Proses Dekomposisi Pupuk Kompos dengan Kendali Logika Fuzzy. *Telekontran*. 8 (2) : 154-164.
- Saraswati, R., dan Praptana, H. 2017. Percepatan Proses Pengomposan Aerobik Menggunakan Biodekomposer. *Perspektif*. 16 (1) : 44 -57.
- Sari, A. R., Kusdiyantini, E., & Rukmi, M. I. 2017. Produksi selulase oleh kapang *Aspergillus* sp. hasil isolasi dari limbah pengolahan sagu (*Metroxylon* sp.)

dengan variasi konsentrasi inokulum pada fermentasi terendam statis. *Jurnal Akademika Biologi*. 6 (1) : 11-20.

- Saroj, P., Manasa, P., & Narasimhulu, P. 2018. Characterization of Thermophilic Fungi Producing Extracellular Lignocellulolytic Enzymes for Lignocellulosic Hydrolysis Under Solid-state Fermentation. *Bioresources Bioprocessing*. 5 (31) : 1-14.
- Saryono, S., Novianty, R., Suraya, N., Piska, F., Devi, S., Pratiwi, N. W., & Ardhi, A. 2022. Molecular identification of cellulase-producing thermophilic fungi isolated from Sungai Pinang hot spring, Riau Province, Indonesia. *Biodiversitas*. 23 (3) : 1457-1465.
- Sedijani, P., Lestari, D. P., Rasmi, D. A. C., & Kusmiyati, K. 2023. Protease enzyme activity of Fungal isolates from Avocado and Coconut fleshs on different pH and temperature. *Jurnal Biologi Tropis*. 23 (4) : 218-225.
- Sethi, S., & Gupta, S. 2014. Optimization of cultural parameters for cellulase enzyme production from fungi. *BioLife*. 2 : 989-996.
- Setyaningsih, E., Astuti, D. S., & Astuti R. 2017. Kompos Daun Solusi Kreatif Pengendali Limbah. *Bioeksperimen: Jurnal Penelitian Biologi*. 3 (2) : 45-51.
- Siagian, S. W., Yuriandala, Y., dan Maziya, F. B. 2021. Analisis Suhu, pH dan Kuantitas Kompos Hasil Pengomposan Reaktor Aerob Termodifikasi dari Sampah Sisa Makanan dan Sampah Buah. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*. 13 (2) : 166-176.
- Siddiquee, S., Shafawati, S. N., & Naher L. 2017. Effective Composting of Empty Fruit Bunches Using Potential Trichoderma strains. *Biotechnology Reports*. 13 : 1-7.
- Silva, I. D. O., Bessa, L. A., Reis, M. N. O., Augusto, D. S. S., Roweder, C., Souchie, E. L., & Vitorino, L. C. 2024. Endophytic Fungi Inoculation Reduces Ramulosis Severity in Gossypium hirsutum Plants. *Microorganisms*. 12 (6) : 1124.
- Souza, P. M. D., Bittencourt, M. L. D. A., Caprara, C. C., Freitas, M. D., Almeida R. P. C. D., Silveira, D., dan Magalhães, P. O. 2015. Biotechnology Perspective of Fungal Proteases. *Brazilian Journal of Microbiology*. 46 : 337-346.
- Steindorff, A. S., Aguilar-Pontes, M. V., Robinson, A. J., Andreopoulos, B., LaButti, K., Kuo, A., dan Grigoriev, I. V. 2024. Comparative Genomic Analysis of Thermophilic Fungi Reveals Convergent Evolutionary Adaptations and Gene Losses. *Communications Biology*. 7(1) : 1124.

- Sumardi, S., Qatrunada, V., Farisi, S., Arifiyanto, A., & Ekowati, C. N. 2021. Aktivitas Enzim Hidrolase pada Penapisan Isolat Actinomycetes Kandidat Probiotik Udang. *Bioma: Jurnal Biologi dan Pembelajaran Biologi*. 6 (1) : 24-36.
- Suryani Y., Taupiqurrahman O., dan Kulsum Y., 2020. *Mikologi*. PT. Freeline Cipta Ganesa.
- Suryawanshi, N., & Eswari, J. S. 2022. Purification and characterization of chitinase produced by thermophilic fungi *Thermomyces lanuginosus*. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*. 52 (9) : 1087-1095.
- Susanti, S dan Fidia Fibriana. 2017. *Teknologi Enzim*. Andi. UNNES.
- Sutari, N. W. S. 2020. Isolasi dan Identifikasi Morfologi Jamur Selulolitik dari Limbah Rumah Tangga di Desa Sanur Kauh, Bali. *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*. 13 (2) : 100-105.
- Tefa, A. Y., & Tea, M. T. D. 2022. Aktivitas Enzim Tanin Asil Hidrolase pada Kondisi Optimum Fermentasi *Lactobacillus plantarum* Menggunakan Tepung Ganyong (*Canna edulis* Kerr) sebagai Substrat. *Savana Cendana*. 7 (4) : 59-60.
- Thimmappa, B. C. 2023. *Interactions between the endophytic fungus Codinaeella sp. EC4 and its cranberry plant host* (Doctoral dissertation, Université de Montréal).
- 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 (1) : 201-210.
- Valsalan, R., Mathew, D., & Devaki, G. 2022. Draft genome of *Gongronella butleri* reveals the genes contributing to its biodegradation potential. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 20 (1) : 74.
- Wang, B. T., Hu, S., Yu, X. Y., Jin, L., Zhu, Y. J., & Jin, F. J. 2020. Studies of cellulose and starch utilization and the regulatory mechanisms of related enzymes in fungi. *Polymers*. 12 (3) : 530.
- Watanabe, T. 2002. *Pictorial atlas of soil and seed fungi: morphologies of cultured fungi and key to species*. CRC press.
- Wibisono, H. S., Nugroho, A. W., Kurniati, E., dan Prasetyo J. 2016. pengomposan Sampah Organik Pasar Dengan Pengontrolan Suhu Tetap dan Suhu Sesuai Fase Pengomposan. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*. 4 (2) : 94-102.

- Widodo, T., Utomo P.T., Suroso E., Hidayati S., Sartika D., dan Widaputri S. 2024. Strategi Pengembangan Pengolahan Ayam Potong di PT. Malindo Feedmill. *Jurnal Agroindustri Berkelanjutan*. 3 (1) : 147-159.
- Witasari, S. W., Sa'diyah K., dan Hidayatulloh M. 2021. Pengaruh Jenis Komposer dan Waktu Pengomposan Terhadap Pembuatan Pupuk Kompos dari Activated Sludge Limbah Industri Bioetanol. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*. 5 (1) : 31-40.
- Witfeld, F., Begerow¹, D., dan Guerreiro, M. A. 2021. Improved strategies to efficiently isolate thermophilic, thermotolerant, and heat-resistant fungi from compost and soil. *Mycological Progress*. 20 : 325–339.
- Xia, J. W., Ma, Y. R., Gao, J. M., Li, Z., & Zhang, X. G. 2015. *Codinaea jianfenglingensis* sp. nov. and new records from southern China. *Mycotaxon*. 130 (3) : 835-841.
- Yan, H., Ge, C., Zhou, J., & Li, J. 2022. Diversity of soil fungi in the vineyards of Changli region in China. *Canadian Journal of Microbiology*. 68 (5) : 341-352.
- Yang, N., Zhang, W., Wang, D., Cao, D., Cao, Y., He, W., & Wei, X. 2023. A novel endophytic fungus strain of *Cladosporium*: its identification, genomic analysis, and effects on plant growth. *Frontiers in Microbiology*. 14 : 1287582.
- Zhao, Z., Shao, S., Liu, N., Liu, Q., Jacquemyn, H., & Xing, X. 2021. Extracellular enzyme activities and carbon/nitrogen utilization in mycorrhizal fungi isolated from epiphytic and terrestrial orchids. *Frontiers in Microbiology*. 12 : 787820.
- Zhou, G., Peng, C., Liu, X., Chang, F., Xiao, Y., Liu, J., & Fang, Z. 2020. Identification and immobilization of an invertase with high specific activity and sucrose tolerance ability of *Gongronella* sp. w5 for high fructose syrup preparation. *Frontiers in microbiology*. 11 : 633.
- Ziliwu, Y. M., & Lase, N. K. 2025. Peran Mikroorganisme dalam Proses Degradasi Bahan Organik. *Hidroponik: Jurnal Ilmu Pertanian Dan Teknologi Dalam Ilmu Tanaman*. 2 (1) : 132-141.