

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

(Skripsi)

Oleh

RONNA ASSYIFA

NPM 2117061040



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

2025

ABSTRAK

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

Oleh

RONNA ASSYIFA

Kompos merupakan produk hasil fermentasi bahan organik yang berasal dari daun tanaman, sayuran, buah-buahan, limbah organik, dan kotoran ternak. Pengomposan adalah suatu proses dekomposisi yang dilakukan oleh mikroorganisme dekomposer. Fungi termofilik berperan penting dalam proses dekomposisi bahan organik pada suhu tinggi, sehingga sangat penting untuk mempelajari keberagaman dan karakteristiknya dalam pengelolaan limbah organik. Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi dan mengkarakterisasi fungi termofilik yang terdapat pada kedalaman fase pre-dekomposisi di *Compost Plant* PT. GGP. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif eksploratif dengan tahapan pengambilan sampel, homogenisasi dan pengenceran bertingkat, isolasi, pemurnian, karakterisasi makroskopis, mikroskopis, fisiologis dan penentuan indeks enzimatik. Hasil penelitian ini diperoleh 6 isolat fungi termofilik yang mampu menghasilkan enzim selulase pada isolat BIO-PK 1, BIO-PK 2, dan BIO-PK 5; enzim protease BIO-PK 1 dan BIO-PK 2; enzim ligninase BIO-PK 4. Hasil pengujian enzim diperoleh 3 fungi positif selulase, 2 fungi positif protease dan 1 fungi positif ligninase. Hasil Indeks Enzimatik tertinggi setiap enzim yaitu; selulase 3,73 (BIO-PK 2), protease 0,77 (BIO-PK 5), dan skoring ligninase sebesar 1 (BIO-PK 4). Hasil isolasi dan karakterisasi yang diperoleh kemudian akan dianalisis dan diuraikan secara deskriptif, kuantitatif, dan kualitatif.

Kata Kunci: Fungi Termofilik, Kompos, Pengomposan, Aktivitas Fisiologis.

ABSTRACT

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

By

RONNA ASSYIFA

Compost is a product of the fermentation of organic materials derived from plant leaves, vegetables, fruits, organic waste, and animal and livestock manure. Composting is a decomposition process carried out by decomposer microorganisms. Thermophilic fungi play a crucial role in the decomposition of organic materials at high temperatures, making it essential to study their diversity and characteristics in organic waste management. This study aims to isolate and characterize thermophilic fungi present in the pre-decomposition phase at the Compost Plant of PT. GGP. The study employs an exploratory descriptive method, including sample collection, homogenization and serial dilution, isolation, purification, macroscopic, microscopic, and physiological characterization, as well as enzymatic index determination. The results of this study yielded six thermophilic fungal isolates capable of producing cellulase enzymes in isolates BIO-PK 1, BIO-PK 2, and BIO-PK 5; protease enzymes in BIO-PK 1 and BIO-PK 2; and ligninase enzymes in BIO-PK 4. Enzyme testing results showed 3 fungi positive for cellulase, 2 fungi positive for protease, and 1 fungus positive for ligninase. The highest enzymatic index for each enzyme was: cellulase 3.73 (BIO-PK 2), protease 0.77 (BIO-PK 5), and ligninase scoring 1 (BIO-PK 4). The isolation and characterization results obtained will then be analyzed and described descriptively, quantitatively, and qualitatively.

Keywords: Thermophilic Fungi, Compost, Composting, Physiological Activity.

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

**Oleh
RONNA ASSYIFA**

Skripsi

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

Pada

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



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

Judul Skripsi

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

Nama Mahasiswa

: Ronna Assyifa

Nomor Pokok Mahasiswa

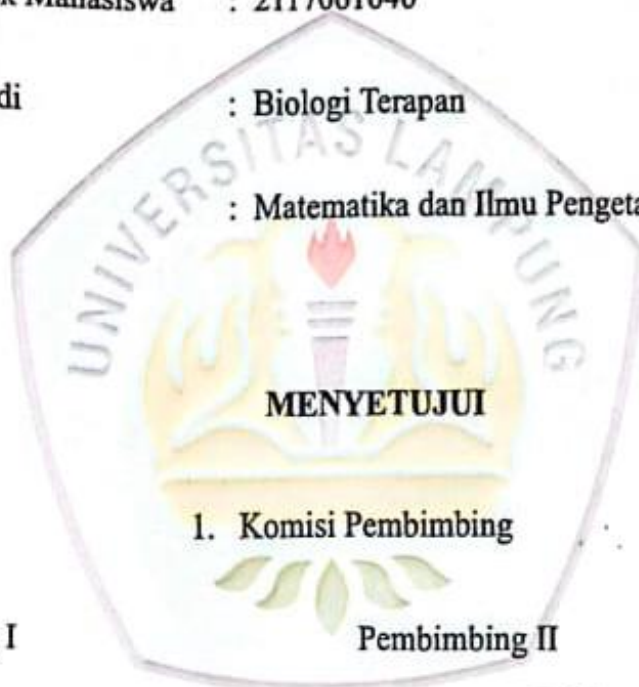
: 2117061040

Program Studi

: Biologi Terapan

Fakultas

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Pembimbing I

Pembimbing II

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

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

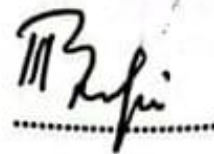
2. Ketua Jurusan Biologi FMIPA Universitas Lampung

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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

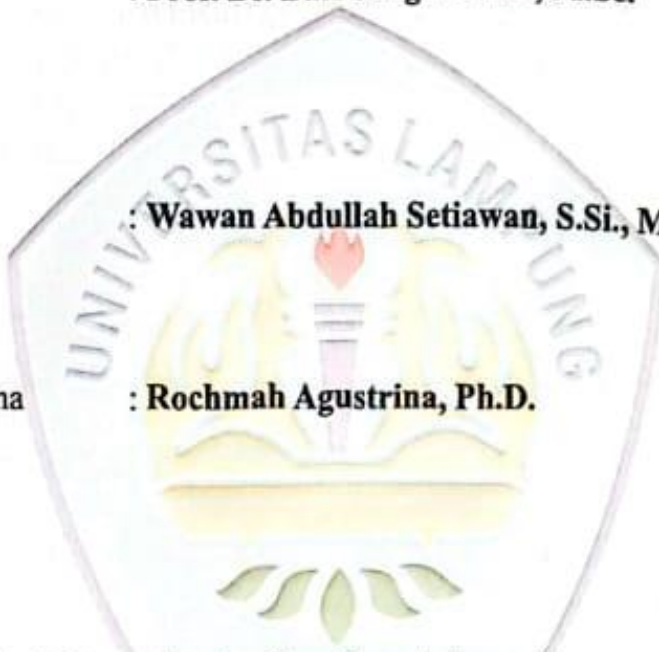
Ketua : Prof. Dr. Bambang Irawan, M.Sc.



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



Penguji Utama : Rochmah Agustrina, Ph.D.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

The official stamp of Universitas Lamung is a circular seal. It contains the university's logo in the center and the text "UNIVERSITAS LAMUNG" around the perimeter. The text "KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, DAN KEMASYARAKATAN" is also visible around the seal.

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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 29 Juli 2025

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ronna Assyifa
NPM : 2117061040
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 TUMPUKAN
KOMPOS PADA FASE PRE-DEKOMPOSISI *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, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandarlampung, 03 Agustus 2025
Yang menyatakan



SEKOLAH BAHU BUKITAN
METERAI
TEMPEL
BF 3D9AMX424586657

Ronna Assyifa
NPM. 2117061040

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Ronna Assyifa, dilahirkan di Kota Metro, pada 2 Maret 2003. Anak pertama dari pasangan Bapak Tauhid dan Ibu Umi Ningsih. Penulis menyelesaikan pendidikannya di TK Dewi Sartika pada tahun 2008-2009, SDN 1 Metro Pusat pada tahun 2009-2015, SMPN 3 Metro pada tahun 2015-2018, SMAN 1 Metro pada tahun 2018-2021, dan diterima di Program Studi Biologi Terapan, Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Lampung di tahun 2021 melalui jalur SBMPTN.

Selama menempuh pendidikan akademik di Jurusan Biologi, penulis pernah mengikuti kegiatan sosial seperti Karya Wisata Ilmiah (KWI) dan organisasi Himpunan Mahasiswa Biologi (HIMBIO) FMIPA Unila sebagai anggota Bidang Komunikasi, Informasi, dan Hubungan Masyarakat pada tahun 2021. Selama menjadi mahasiswa di Jurusan Biologi FMIPA Unila, penulis pernah menjadi Asisten Laboratorium Botani dan menjadi Asisten Praktikum mata kuliah Genetika, Ketrampilan Dasar/Kerja Laboratorium, Mikrobiologi Lingkungan, dan Bioteknologi. Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di RSUD Jend Ahmad Yani Metro tahun 2024 dengan judul “**Identifikasi Bakteri Tahan Asam Dari Sampel Sputum Milik Pasien**”. Pada bulan Juni s.d. Agustus tahun 2024 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di desa Sumber Rejo, kecamatan Waway Karya, Lampung Timur.

PERSEMBAHAN



Dengan mengucap syukur kehadiran Allah SWT yang Maha Kuasa,
ku persembahkan karya kecil ini kepada:

Kedua orang tuaku tercinta, Bapak Tauhid dan Ibu Umi Ningsih yang dengan tulus telah mendidik, mendoakan dan mengorbankan banyak hal demi masa depan anaknya hingga sampai saat ini.

Adikku tersayang, Roza Alifia yang telah memberikan semangat dan dukungannya.

Teman, kerabat dan sahabat perjuangan selama perkuliahan yang selalu ada dalam jalan hidupku, yang telah memberikan pengalaman, dukungan dalam bentuk apapun, motivasi, dan yang selalu menemani dan menguatkan.

Almamaterku tercinta, Universitas Lampung.

SANWACANA

Alhamdulillahirabbil'Alaamiin, Segala puji dan syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT karena atas karunia, taufik, hidayah dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang merupakan salah satu syarat akademis menempuh Pendidikan di Program Studi Biologi Terapan Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Skripsi yang berjudul “**Isolasi dan Karakterisasi Fungi Termofilik Tumpukan Kompos Pada Fase Pre-Dekomposisi *Compost Plant* PT. Great Giant Pineapple**” Shalawat beriring salam tak lupa dilantunkan oleh penulis kepada junjungan Nabi Besar Muhammad SAW yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, semoga kita semua mendapatkan syafaat beliau di akhirat kelak, Aamiin.

Dalam menyelesaikan proses penulisan skripsi ini, penulis memahami bahwa masih terdapat kendala dan kekurangan. Namun berkat bantuan, bimbingan, kerjasama dan dukungan dari berbagai pihak dan berkah dari Allah SWT sehingga kendala-kendala yang dihadapi tersebut dapat diatasi. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih yang tulus kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Lusmeilia Afriani, D.E.A, I.P.M. selaku rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung
3. Bapak Dr. Jani Master., M.Si. selaku Ketua Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung

4. Ibu Gina Dania Pratami, M.Si. selaku Ketua Program Studi S1 Biologi Terapan, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung
5. Bapak Prof. Dr. Bambang Irawan, M.Sc. Selaku Pembimbing 1 yang telah dengan sabar memberikan arahan, bimbingan, dan masukan berharga selama proses penyusunan skripsi ini hingga selesai.
6. Bapak Wawan Abdullah Setiawan, S.Si., M.Si. Selaku Pembimbing 2, yang telah memberikan panduan, motivasi, dan saran konstruktif demi kesempurnaan skripsi ini.
7. Ibu Rochmah Agustrina, Ph.D. Selaku Pembahas, atas kritik, masukan, dan pertanyaan yang membangun selama proses ujian skripsi, sehingga penelitian ini menjadi lebih baik dan matang.
8. Bapak Wawan Abdullah Setiawan, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang senantiasa membimbing penulis selama perkuliahan.
9. PT. Giant Pineapple, *Laboratory Research & Development (R&D)*, *Compost Plant* terima kasih atas kesempatan, bantuan, dan dukungan yang diberikan selama proses pengambilan sampel dan penelitian.
10. Teman-teman perkuliahanku 'Hidup Seperti Pupa' — Septi Wahyu Lestari, Umi Yulia Sari, Vivin Stevani, Yulia Puspita Dewi, Lathifa Rahma Rosyida, dan Nur Eka Darmayanti terima kasih atas kebersamaan, dukungan, semangat, serta tawa dan cerita yang telah mewarnai masa perkuliahanku.
11. Teman-teman penelitianku 'GPP Gurls' — Shalsabilla Septiani, Okta Mardiana, Zaskia Citra Azzahra, Khairunnisa Qurrata'ayun Rabbani, dan Alvina Gian Sinta Ningtyas terima kasih telah menjadi tempat berbagi lelah, tawa, bahkan air mata.

Bandarlampung, 20 Juli 2025
Penulis



Ronna Assyifa

MOTTO

“Don’t worry it’s not as big and scary as it feels in your head.”

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan.....	3
1.3 Kerangka Pikir.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kompos	5
2.2 Fase-fase Pengomposan	6
2.2.1 Fase Mesofilik.....	7
2.2.2 Fase Termofilik.....	7
2.2.3 Fase Pendinginan/Fase Mesofilik Kedua.....	8
2.2.4 Fase Pematangan.....	9
2.3 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Pengomposan.....	9
2.3.1 Aerasi	9
2.3.2 Kelembapan	10
2.3.3 Temperatur	11
2.3.4 Rasio C/N.....	12
2.3.5 pH.....	13
2.3.6 Ukuran Partikel.....	13
2.4 Mikroba Dekomposer.....	14

2.5 Biologi Fungi Termofilik.....	14
2.5.1 Enzim-Enzim Fungi Termofilik.....	16
III. METODE PENELITIAN	19
3.1 Waktu dan Tempat.....	19
3.2 Alat dan Bahan.....	19
3.3 Rancangan Penelitian	22
3.4 Prosedur Penelitian.....	22
3.4.1 Pengambilan Sampel.....	22
3.4.2 Sterilisasi Alat.....	22
3.4.3 Pengenceran Berseri	21
3.4.4 Isolasi Fungi Termofilik.....	23
3.4.5 Pemurnian Fungi Termofilik.....	23
3.4.6 Identifikasi Karakter Makroskopis	22
3.4.7 Identifikasi Karakter Mikroskopis	22
3.4.8 Uji Karakterisasi Fungi Termofilik.....	22
3.5 Perhitungan Indeks Enzimatik	22
3.6 Analisis Data	23
3.7 Diagram Alir Penelitian.....	25
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Hasil Penelitian	23
4.1.1 Isolasi dan Karakterisasi Makroskopis Fungi Termofilik.....	23
4.1.2 Isolasi dan Karakterisasi Mikroskopis Fungi Termofilik.....	28
4.1.3 Uji Enzim Selulase Fungi Termofilik	30
4.1.4 Uji Enzim Protease Fungi Termofilik.....	31
4.1.5 Uji Enzim Ligninase Fungi Termofilik.....	31
4.1.6 Nilai Indeks Enzimatik Fungi Termofilik.....	31
4.2 Pembahasan.....	31
4.2.1 Makroskopis Fungi	31
4.2.2 Mikroskopis Fungi	31
4.2.3 Aktivitas Enzim Selulase	40
4.2.4 Aktivitas Enzim Protease.....	40
4.2.5 Aktivitas Enzim Ligninase.....	41
4.2.6 Nilai Indeks Enzimatik	43
V. SIMPULAN DAN SARAN	44

5.1 Simpulan	44
5.2 Saran	44

DAFTAR PUSTAKA.....	46
----------------------------	-----------

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Makroskopis fungi termofilik yang didapatkan dari kedalaman 1 meter fase pre-dekomposisi	23
2. Mikroskopis fungi termofilik yang didapatkan dari kedalaman 1 meter fase pre-dekomposisi	30
3. Uji enzim selulase fungi termofilik yang didapatkan dari kedalaman 1 meter fase pre-dekomposisi	30
4. Uji enzim protease fungi termofilik yang didapatkan dari kedalaman 1 meter fase pre-dekomposisi	30
5. Uji enzim ligninase fungi termofilik yang didapatkan dari kedalaman 1 meter fase pre-dekomposisi	30
6. Nilai Indeks Enzimatik Fungi Termofilik Yang Didapatkan Dari Kedalaman 1 meter Fase Pre-dekomposisi	30

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Fase-fase pre-dekomposisi pengomposan.....	6
2. Diagram Alir Penelitian.....	22

LAMPIRAN

Lampiran

1. Dokumentasi Proses Sampling
2. Dokumentasi Proses Isolasi Sampel
3. Dokumentasi Proses Pemurnian Fungi Termofilik
4. Dokumentasi Pengamatan

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengomposan merupakan proses penguraian materi organik (*biodegradable*) dengan bantuan aktivitas mikroba sehingga akan menghasilkan produk yang stabil dan dapat diaplikasikan ke tanah (Pathiassana *et al.*, 2020). Produk pengomposan disebut kompos. Kompos merupakan bahan organik yang sudah mengalami proses dekomposisi dengan bantuan mikroorganisme dan makroorganisme yang berada di dalam tanah (Ariyanti *et al.*, 2021). Proses pengomposan memanfaatkan bahan organik yang tidak berbahaya, yang diubah memiliki proses degradasi atau dekomposisi hingga menyerupai tanah yang disebut kompos. Proses pengomposan memerlukan kondisi yang stabil antara rasio karbon dan nitrogen (C/N), kelembapan, pH, dan kandungan oksigen (Ekawandani & Kusuma, 2018), suhu dan ukuran partikel (Meena *et al.*, 2021). Selama proses pengomposan bahan organik akan diubah menjadi CO₂, dan humus yang dihasilkan oleh berbagai mikroorganisme (Wang *et al.*, 2020). Hasil penelitian Wang *et al.* (2020) menunjukkan bahwa sebagian besar senyawa organik yang tidak berbahaya seperti karbohidrat, selulase, protein, lipid, dan lignin dapat diuraikan secara enzimatis dan disekresikan oleh berbagai mikroorganisme yang berbeda selama proses pengomposan.

Proses penguraian bahan organik pada pengomposan dibedakan menjadi dua fase, yaitu fase pre-dekomposisi dan fase dekomposisi masing-masing fase memiliki karakteristik dan fungsi berbeda. Peran organisme tanah seperti

bakteri, *actinomycetes*, fungi, protozoa, cacing, dan beberapa jenis larva memiliki peran yang sangat penting pada kedua fase pengomposan tersebut. Menurut Ratih *et al.* (2020) fase pre-dekomposisi yaitu fase tahap awal berlangsung sebelum dekomposisi terjadi. Pada fase pre-dekomposisi berlangsung proses-proses yang mempersiapkan bahan organik untuk diurai. Pada fase pre-dekomposisi bahan organik belum sepenuhnya terurai, namun sudah mulai mengalami perubahan yang akan memudahkan proses penguraian pada fase dekomposisi. Fase dekomposisi adalah fase penguraian atau perombakan yang melibatkan aktivitas mikroorganisme seperti fungi dan bakteri, menguraikan senyawa organik menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana.

Fase pengomposan memiliki rentan/suhu yang berbeda-beda dan berdasarkan perbedaan suhu ini kemudian dibagi menjadi empat fase yaitu fase mesofilik, fase termofilik, fase pendinginan (fase mesofilik kedua), dan fase matang (Zhu *et al.*, 2023). Fase mesofilik berlangsung pada kisaran suhu 10-42°C, fase termofilik berlangsung pada kisaran suhu 45-70°C, fase pendinginan (fase mesofilik kedua) berlangsung pada kisaran suhu 65-50°C, dan fase matang berlangsung pada kisaran suhu 50-23°C. Mikroba di dalam kompos sangat dipengaruhi oleh fase mesofilik dan fase termofilik (Pathiassana *et al.*, 2020). Selama fase termofilik, senyawa yang lebih kompleks seperti protein, lemak, dan selulase dipecah oleh mikroorganisme termofilik. Pada saat senyawa-senyawa kompleks ini habis terurai, suhu akan turun, dan pengomposan mulai memasuki proses pematangan yang panjang (Papale *et al.*, 2021).

Pada fase termofilik, polimer kompleks terurai secara perlahan dan senyawa yang paling tahan terhadap penguraian akan menjadi humus. Proses pengomposan pada setiap fase dilakukan oleh mikroorganisme yang berbeda. Mikroorganisme termofilik akan aktif pada suhu 50°C. Suhu di dalam tumpukan kompos akan meningkat dengan cepat dalam waktu 24 sampai 72 jam. Suhu penguraian kompos dipengaruhi oleh aktivitas

mikroorganisme, selama penguraian bahan organik menjadi senyawa yang lebih sederhana (Papale *et al.*, 2021). Saat fase pematangan fungi merupakan salah satu mikroorganisme yang dominan karena fungi dapat bertahan hidup dalam kondisi suhu yang ekstrem (Abbasi & Samaei, 2019).

Kajian mengenai isolasi dan karakterisasi fungi termofilik dalam *Compost Plant* belum banyak dilakukan. Hasil penelitian ini merupakan hasil kajian isolasi dan karakterisasi fungi termofilik tumpukan kompos kedalaman 1 meter yang diukur pada fase pre-dekomposisi di *Compost Plant* di PT. GGP.

1.2 Tujuan

Tujuan penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Mengisolasi fungi termofilik pada tumpukan kompos kedalaman (1 meter) fase pre-dekomposisi di *Compost Plant* PT. GGP
2. Mengetahui karakteristik fungi termofilik pada kompos kedalaman (1 meter) fase pre-dekomposisi di *Compost Plant* PT. GGP yang meliputi makroskopis, mikroskopis, dan fisiologis.

1.3 Kerangka Pikir

Kompos merupakan bahan organik yang sudah mengalami proses dekomposisi dengan bantuan mikroorganisme dan makroorganisme yang berada di dalam tanah. Proses pengomposan dibagi menjadi dua fase yaitu fase pre-dekomposisi dan fase dekomposisi. Pada pengomposan di fase pre-dekomposisi dan fase dekomposisi terdapat beberapa fase lain diantaranya fase mesofilik, fase termofilik, fase pendinginan (fase mesofilik kedua), dan fase matang. Fase termofilik menjadi fase yang penting dalam proses pengomposan karena suhu yang tinggi pada fase ini dapat menyebabkan patogen mati, meningkatkan dekomposisi bahan organik, dan menghasilkan kompos yang lebih matang sehingga pengomposan menjadi lebih cepat karena suhu kompos yang cukup tinggi. Fungi dipercaya dapat

bertahan dalam kondisi ekstrem sehingga pada saat suhu tumpukan kompos tinggi mencapai lebih dari 50°C mikroorganisme yang dapat bertahan adalah fungi.

Pada fase termofilik berlangsung proses pemecahan senyawa kompleks menjadi lebih sederhana oleh mikroorganisme termofilik. Setelah semua bahan organik habis terurai menjadi lebih sederhana suhu tumpukan kompos akan menurun. Ketika suhu sudah turun mikroorganisme lain yang lebih sesuai dengan kondisi suhu kompos yang rendah dan akan memasuki fase berikutnya. Pada penelitian ini akan dilakukan isolasi dan keanekaragaman fungi termofilik dari kedalaman 1 meter tumpukan kompos pada fase pre-dekomposisi di *Compost Plant* PT. GGP morfologi secara makroskopis, mikroskopis dan fisiologis. Karakter fisiologi akan dilakukan menggunakan enzim selulase, protease, dan ligninase. Diharapkan dari penelitian dapat diperoleh fungi pemicu pengomposan yang dapat meningkatkan kecepatan proses pengomposan dan efisien.

II. TINJAUAN PUSTAKA

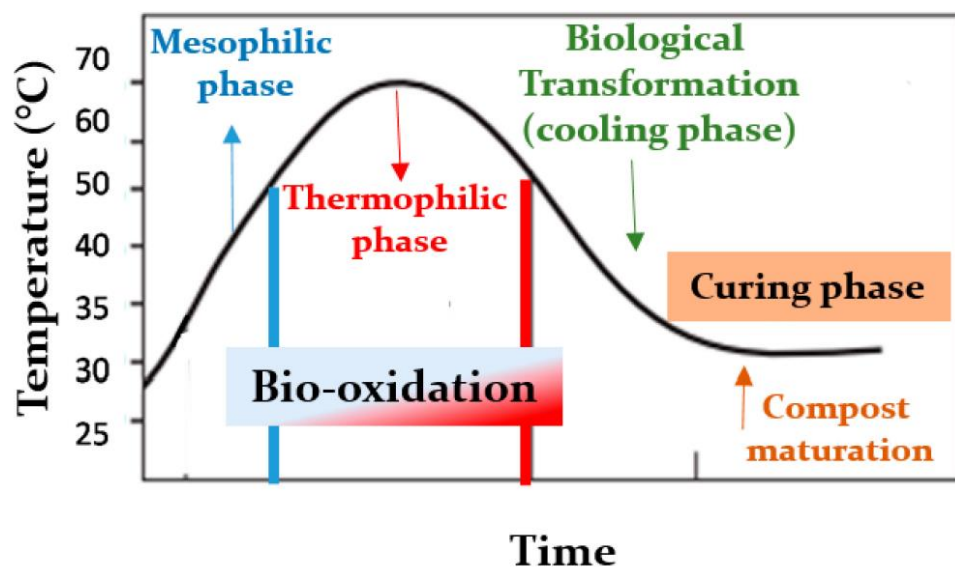
2.1 Kompos

Kompos merupakan produk hasil fermentasi bahan-bahan organik yang berasal dari daun tanaman, sayuran, buah-buahan, limbah organik, dan kotoran hewan ternak (Ashlihah *et al.*, 2020). Di dalam kompos banyak mengandung mikroorganisme yang mampu mendegradasi polimer alami, seperti protein, lignin, dan selulase, dan molekul organik lainnya (Petkova, 2023). Jenis mikroorganisme yang bervariasi pada kompos menyebabkan kompos memiliki banyak manfaat bagi lahan dan tanaman dalam jangka panjang. Kompos dapat meningkatkan produktivitas lahan dan mencegah degradasi lahan serta berperan besar terhadap perbaikan tanah secara fisika, kimia, biologi serta lingkungan (Ariyanti *et al.*, 2021).

Bahan utama yang terkandung dalam kompos merupakan bahan yang bersifat material organik, organisme pengurai, dan kelembapan yang sesuai. Sifat bahan tersebut menjadi salah satu alasan kompos mudah didegradasi (Azmin *et al.*, 2022). Ariyanti *et al.* (2021) berpendapat bahwa di dalam kompos banyak mengandung bahan organik yang dapat didegradasi oleh mikroorganisme, dan hasilnya dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Sedangkan hasil dari pengomposan dapat dimanfaatkan sebagai produk yang berguna.

2.2 Fase-fase Pengomposan

Pengomposan adalah suatu proses penguraian yang dilakukan oleh mikroorganisme dekomposer. Kecepatan dekomposisi dan kualitas kompos tergantung pada jenis mikroba yang aktif selama pengomposan (Saraswati & Praptana 2017). Interaksi antar mikroba dalam pengomposan bersifat dinamis dan bergantung pada banyak faktor lingkungan dan biokimia yang akan mempengaruhi keanekaragaman dan aktivitas mikroorganisme (Petkova, 2023). Mikroorganisme yang sering kita jumpai di dalam kompos yaitu fungi dan bakteri, fungi memiliki kelebihan dibandingkan bakteri yaitu dapat membusukkan bahan organik yang tidak dapat diubah oleh bakteri (Biyada *et al.*, 2021).



Gambar 1. Fase-fase pre-dekomposisi pengomposan (Papale et al., 2021)

Berdasarkan kebutuhan oksigen, terdapat dua proses pengomposan yang berlangsung, yaitu secara aerob (memerlukan oksigen) dan anaerob (tanpa oksigen). Pengomposan secara aerob menghasilkan CO_2 , H_2O , unsur hara, dan sebagian humus, sedangkan anaerob menghasilkan CH_4 dan CO_2 dan beberapa senyawa intermediet (senyawa antara) yang sering menimbulkan bau busuk karena adanya H_2S dan sulfur organik seperti merkaptan. Pengomposan aerob dan anaerob menghasilkan energi yang berbeda. Pengomposan aerob akan menghasilkan energi lebih besar dibanding

pengomposan anaerob sehingga proses pengomposan secara aerob berlangsung lebih cepat (Saraswati & Praptana 2017). Dalam proses pengomposan akan terjadi beberapa tahap dengan suhu yang berbeda-beda sehingga menyebabkan populasi mikroba di dalam kompos akan mengalami perubahan dan menghasilkan mikroorganisme yang berbeda setiap fasenya. Setiap tahap pengomposan akan dibantu oleh mikroorganisme yang salah satunya yaitu fungi (Alsanius *et al.*, 2016).

2.1.1 Fase Mesofilik

Fase awal pengomposan yaitu fase mesofilik. Pada fase ini pengomposan berlangsung selama 7 sampai 10 hari, mikroorganisme mesofilik akan menguraikan senyawa yang mudah terurai seperti gula dan pati (Wibisono *et al.*, 2016). Menurut Meena *et al.* (2021) hasil penguraian senyawa akan menghasilkan asam organik yang dapat mempengaruhi penurunan pH pada kompos. Dalam proses penguraian kompos, mikroorganisme mesofilik menghasilkan energi panas dengan mengeluarkan CO₂ dan mengambil O₂ dapat menyebabkan kenaikan suhu hingga 40°C. Proses ini merupakan proses eksotermik. (Andriany *et al.*, 2017). Semakin lama pengomposan di fase mesofilik dapat menyebabkan kenaikan suhu, suhu yang terus meningkat menyebabkan mikroorganisme mesofilik secara perlahan akan mati dan digantikan oleh mikroorganisme termofilik (Papale *et al.*, 2021).

2.1.2 Fase Termofilik

Menurut Sarwono *et al.* (2023) fase termofilik adalah fase penguraian yang paling optimal hal ini sejalan dengan pernyataan Handrah *et al.* (2023) bahwa fase termofilik merupakan fase penting dalam pengomposan dikarenakan pada fase tersebut terjadi peningkatan dekomposisi oleh mikroorganisme termofilik. Pada fase

termofilik, keberadaan mikroorganisme mesofilik sudah tergantikan oleh mikroorganisme termofilik. Selama fase termofilik terjadi proses penguraian bahan organik yang sulit terurai seperti protein, selulase, hemiselulase, lemak, dan lignin. Lignin akan diubah menjadi senyawa yang lebih sederhana seperti humus, pembentukan humus akan terus berlanjut sampai dengan fase pematangan. Pada fase termofilik dapat terjadi kenaikan pH dikarenakan perubahan nitrogen menjadi amonia oleh mikroorganisme termofilik (Alsanius *et al.*, 2016).

Pengomposan fase termofilik terjadi selama 2 minggu dengan temperatur suhu di tumpukan kompos dapat mencapai di atas 40°C bahkan 70°C. Lamanya fase termofilik dipengaruhi oleh bahan utama kompos, kondisi iklim dan lokasi penyimpanan kompos. Fase termofilik juga disebut sebagai fase higienisasi karena suhu yang tinggi pada fase termofilik dapat membunuh mikroorganisme patogen yang berasal dari bahan kompos (Alsanius *et al.*, 2016). Setelah mengalami fase termofilik, bahan organik yang terkandung pada kompos akan semakin berkurang karena proses penguraian dan menyebabkan massa kompos dapat menyusut hingga setengahnya (Siagian *et al.*, 2021).

2.2.3 Fase Pendinginan/Fase Mesofilik Kedua

Memasuki fase pendinginan, aktivitas mikroorganisme melambat secara signifikan, karena penurunan proses metabolisme akibat ketersediaan substrat organik yang menjadi terbatas dan komposisi kimia dalam kompos sudah berbeda dengan fase mesofilik dan termofilik. Fase pendinginan ditandai dengan penurunan suhu yang dapat mencapai di bawah 40°C, sehingga pada kondisi ini mikroorganisme termofilik akan digantikan dengan mikroorganisme

mesofilik (Witasari *et al.*, 2021). Namun demikian mikroorganisme mesofilik yang aktif pada fase pendinginan berbeda dengan mikroorganisme pada fase mesofilik, karena karakter senyawa kimia kompos fase pendinginan sangat berbeda dengan karakter senyawa kompos pada fase mesofilik. Selama fase pendinginan akan terjadi penurunan pH dan tumpukan kompos akan sedikit menurun (Meena *et al.*, 2021).

2.2.4 Fase Pematangan

Fase pematangan dalam pengomposan adalah tahap terakhir proses pengomposan. Pada fase pematangan, kompos tidak mengandung banyak sumber energi bagi mikroorganisme. Oleh karena itu, mikroba secara bertahap dan perlahan-lahan berubah. Spesies fungi dengan ketergantungan yang lebih rendah pada karbon organik yang ada saat ini mendominasi kompos. Fungi sudah mulai berkembang, karena fungi lebih siap untuk menggunakan substrat yang tersisa seperti lignin. Selama fase pematangan, warna kompos akan menjadi gelap dengan tekstur dan bau yang menyerupai tanah akibat humus yang dihasilkan dari lignin (Witasari *et al.*, 2021). Fase pematangan sangat penting untuk menghasilkan kompos yang berkualitas, dengan kandungan nutrisi yang stabil dan tidak berbau busuk.

2.3 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Pengomposan

2.3.1 Aerasi

Proses pengomposan memerlukan sirkulasi udara yang cukup dan harus dijaga supaya mikroorganisme dapat bernapas dan melepaskan karbon dioksida (CO₂) ke atmosfer. Selain itu, sirkulasi udara juga membantu mengurangi pemadatan atau mengurangi pasokan air yang berlebihan pada kompos. Kebutuhan oksigen

bervariasi selama proses pengomposan berlangsung. Oksigen akan sangat dibutuhkan selama fase termofilik. Meena *et al.* (2021) menjelaskan bahwa kadar oksigen yang ada di dalam kompos tidak boleh kurang dari 5% dan paling optimal adalah 10%.

Tingkat sirkulasi udara yang berlebihan menyebabkan penurunan suhu dan hilangnya kelembapan akibat proses penguapan. Rendahnya tingkat kelembapan akan menghambat proses dekomposisi. Sirkulasi udara yang berlebihan juga menyebabkan dehidrasi pada sel-sel mikroorganisme yang selanjutnya menghambat produksi spora dan enzim yang penting untuk proses degradasi berbagai senyawa bahan organik. Sebaliknya, tingkat sirkulasi udara yang rendah di bawah 5%, menyebabkan kelembapan yang berlebihan sehingga uap air berlebih dan menyebabkan lingkungan yang anaerobik (Utomo & Nurdiana., 2018).

2.3.2 Kelembapan

Kelembapan memegang peranan yang sangat penting dalam proses metabolisme mikroorganisme dan secara tidak langsung berpengaruh pada suplay oksigen. Mikroorganisme dapat memanfaatkan bahan organik apabila bahan organik tersebut larut di dalam air (Utomo & Nurdiana., 2018). Kadar kelembapan bahan organik bervariasi berdasarkan ukuran partikel, kondisi fisik bahan, dan proses pengomposan. Meena *et al.* (2021) mengatakan bahwa tingkat kelembapan yang ideal bahan organik memiliki adalah sekitar 55%.

Aktivitas mikroba dan kadar kelembapan bahan organik berkaitan erat satu sama lain karena air yang ada dalam bahan baku digunakan oleh mikroorganisme untuk transportasi nutrisi dan

energi melewati membran sel. Apabila kelembapan dalam kompos berada di bawah 55%, berpengaruh pada aktivitas mikroorganisme yang akan menurun. Namun jika kelembapan melebihi 55% oksigen berkurang berakibat pada aktivitas mikroorganisme yang menurun. Menurunnya kadar oksigen dapat menyebabkan fermentasi anaerobik yang menimbulkan bau tidak sedap (Utomo & Nurdiana., 2018).

2.3.3 Temperatur

Utomo & Nurdiana (2018) berpendapat bahwa semakin tinggi temperatur semakin cepat pengomposan selesai. Selama proses pengomposan suhu kompos akan mengalami peningkatan hingga 70°C dan selanjutnya akan menurun mengikuti suhu lingkungan 20-25°C. Terjadinya peningkatan suhu terjadi karena adanya proses dekomposisi yang dilakukan oleh mikroorganisme yang terdapat pada kompos sedangkan penurunan suhu terjadi karena mikroorganisme sudah selesai melakukan proses dekomposisi (Pratama *et al.*, 2019). Pada penelitian Salim (2015) peningkatan dan penurunan suhu kompos terjadi selama proses dekomposisi karena keberadaan mikroorganisme pengurai. Peningkatan suhu akan menyebabkan perombakan yang dilakukan oleh mikroorganisme akan lebih optimal dan mikroorganisme patogen akan mati.

Selama proses pengomposan, kompos akan dilakukan pembalikan supaya kompos matang dengan merata. Pembalikan kompos dapat mempengaruhi suhu pada kompos. Suhu kompos meningkat setelah dilakukan pembalikan dan bahan-bahan kompos yang belum terurai akan diurai oleh mikroorganisme. Setelah itu, timbunan kompos kehilangan panas sehingga terjadi penurunan

suhu di akhir proses pengomposan dan mendekati suhu lingkungan (Salim., 2015).

2.3.4 Rasio C/N

Rasio C/N (Carbon/Nitrogen) akan berubah sesuai dengan bahan baku yang digunakan untuk pengomposan. Rasio ini bervariasi selama proses pengomposan, dan akan mengalami pengurangan terus menerus setiap fase pengomposan. Rasio C/N berpengaruh dalam proses pengomposan. Mikroorganisme membutuhkan karbon sebagai sumber energi dan nitrogen diperlukan untuk membentuk protein. Apabila ketersediaan karbon terbatas mikroorganisme akan kekurangan sumber energi untuk mengikat nitrogen bebas. Ketersediaan karbon yang berlebihan dapat menyebabkan jumlah nitrogen sangat terbatas sehingga menjadi faktor pembatas pertumbuhan organisme (Pratama *et al.*, 2019).

Pembagian unsur karbon dan nitrogen mempengaruhi proses fermentasi. Berbagai dekomposer berpengaruh nyata terhadap C/N kompos, begitu juga dengan bahan kompos berpengaruh nyata terhadap nilai C/N kompos, serta interaksi keduanya menunjukkan berpengaruh nyata terhadap C/N kompos (Pratama *et al.*, 2019). Jika kompos memiliki bahan yang kaya akan karbon, kompos tersebut akan cenderung mendingin dan proses pengomposan akan menjadi lebih lama. Sedangkan jika kompos memiliki bahan yang kaya akan nitrogen, proses pengomposan akan menjadi terlalu panas sehingga akan menimbulkan bau dari aroma yang dilepaskan. (Meena *et al.*, 2021).

2.3.5 pH

Pada proses pengomposan sejumlah mikroorganisme dapat mengubah sampah organik menjadi asam-asam organik, sehingga pH akan selalu menurun. pH pengomposan tergantung pada sumber bahan kompos dan sudah pasti berbeda-beda dalam setiap fase pengomposan. pH meningkat secara bertahap sampai pada fase pematangan karena mikroorganisme mengurai asam-asam organik yang terbentuk tersebut. Saat fase mesofilik, pH pada tumpukan kompos akan menjadi asam karena pelepasan berbagai asam organik oleh mikroorganisme. Saat fase termofilik, karena adanya perubahan amonium menjadi amonia, pH akan meningkat, kompos akan menjadi basa hingga akhirnya stabil pada nilai yang mendekati netral (Pratama *et al.*, 2019).

Proses pengomposan sendiri akan menyebabkan perubahan pada bahan organik dan pH bahan itu sendiri. pH merupakan faktor penentu kelangsungan hidup mikroorganisme dan berbagai kelompok mikroorganisme memiliki rentang pH optimal untuk pertumbuhan dan perkembangbiakan. Sebagian besar aktivitas bakteri terjadi pada pH 6,0-7,5, sedangkan sebagian besar aktivitas fungi terjadi pada pH 5,5 hingga 8,0. Kisaran yang ideal adalah dari 5,8 hingga 7,2 (Meena *et al.*, 2021).

2.3.6 Ukuran Partikel

Aktivitas mikroorganisme dalam pengomposan berhubungan dengan ukuran partikel. Permukaan area yang lebih luas akan meningkatkan interaksi antar mikroba dengan kompos dan proses pengomposan akan berjalan lebih cepat (Utomo & Nurdiana, 2018). Ukuran partikel pengomposan yang sangat kecil meningkatkan luas permukaan yang lebih besar sehingga

memudahkan akses mikroba yang lebih besar ke substrat. Meena *et al.* (2021) menyatakan bahwa ukuran ideal bahan baku untuk pengomposan adalah 5 hingga 20 cm.

2.4 Mikroba Dekomposer

Mikroba dekomposer merupakan organisme mikroskopis yang mencakup kelompok bakteri dan fungi, dengan fungsi utama menguraikan sisa-sisa makhluk hidup yang telah mati serta limbah organik menjadi senyawa yang lebih sederhana. Proses dekomposisi ini menghasilkan berbagai zat seperti karbon dioksida (CO₂), air (H₂O), nitrogen (N), dan fosfor (P), yang kemudian dilepaskan kembali ke lingkungan dan dapat digunakan kembali oleh tanaman serta organisme lain dalam ekosistem. Dalam menjalankan proses dekomposisi, mikroba dekomposer mensekresikan enzim yang berfungsi memecah bahan organik kompleks menjadi molekul-molekul kecil. Molekul-molekul tersebut kemudian diserap dan dimanfaatkan oleh mikroba sebagai sumber energi dan nutrisi. Melalui mekanisme ini, mikroba dekomposer berperan penting dalam siklus biogeokimia, khususnya dalam mendaur ulang nutrisi yang esensial bagi kehidupan. Selain mendukung siklus nutrisi, mikroba dekomposer juga berkontribusi dalam menjaga kesuburan tanah, menguraikan polutan organik, serta mempertahankan keseimbangan ekosistem secara keseluruhan (Ahmadi *et al.*, 2022). Berdasarkan klasifikasi yang dikemukakan oleh Fitria & Dewi (2019) jenis-jenis mikroba dekomposer meliputi *Lactobacillus*, *Actinomycetes*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Acetobacter*, dan *Trichoderma*, yang masing-masing memiliki peran spesifik dalam proses dekomposisi dan pemulihan lingkungan.

2.5 Biologi Fungi Termofilik

Fungi merupakan komponen penting dari ekosistem, yang dapat mendaur ulang mineral dan karbon melalui penguraian puing-puing dan limbah

organik. Diperkirakan bahwa fungi mendaur ulang jutaan ton sampah organik setiap tahunnya. Fungi adalah mikroorganisme yang tidak memiliki klorofil, termasuk organisme berinti spora yang mengandung senyawa *achlorophyllous* yang umumnya bereproduksi secara seksual dan struktur somatik bercabang serabut yang biasanya dikelilingi oleh dinding sel, mengandung selulase, kitin, dan *broth*. Fungi termasuk organisme heterotrof yang memiliki dinding sel kitin, mayoritas spesiesnya tumbuh sebagai filamen multiseluler yang disebut hifa yang membentuk miselium, beberapa jenis fungi juga tumbuh sebagai sel tunggal, dan fungi umumnya bereproduksi melalui spora (Aliyu & Gambo., 2014).

Fungi dapat hidup pada suhu yang berbeda-beda, berdasarkan suhu hidupnya fungi dapat dibedakan menjadi fungi mesofilik dan fungi termofilik. Fungi mesofilik merupakan fungi yang mampu hidup pada suhu sekitar 10-42°C dan fungi termofilik merupakan fungi yang mampu hidup pada suhu sekitar 45-70°C (Papale *et al.*, 2021). Kedua fungi tersebut memiliki kemampuan yang berbeda-beda. Suhu akan sangat mempengaruhi pertumbuhan fungi, oleh karena itu jika suhu menurun atau suhu menaik kedua fungi tersebut bisa saja mengalami kematian atau tetap bertahan.

Ahirwar *et al.* (2017) menyatakan bahwa suhu merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi kelangsungan hidup dan pertumbuhan mikroorganisme. Fungi termofilik dapat didefinisikan sebagai mikroorganisme yang membutuhkan suhu optimal 45°C untuk pertumbuhannya. Fungi termofilik memiliki suhu pertumbuhan maksimum pada suhu $\pm 50^{\circ}\text{C}$ dan suhu minimum $\pm 20^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan batas suhu tersebut, fungi termofilik dianggap tidak menunjukkan pertumbuhan di bawah 20°C tetapi akan tumbuh dengan baik di atas 50°C. Fungi termofilik akan menghasilkan enzim pada suhu tinggi dan hal ini dapat mengurangi kontaminasi oleh fungi mesofilik karena fungi mesofilik tidak dapat bertahan pada suhu termofilik.

Beberapa mikroorganisme masih dapat tumbuh pada suhu di bawah 30⁰C, biasanya disebut dengan termofil fakultatif. Termofil fakultatif adalah mikroorganisme yang dapat tumbuh pada rentang suhu 45-60⁰C. Namun juga masih mampu hidup dan tumbuh pada suhu di bawah kisaran tersebut, seperti di bawah 30⁰C. Berbeda dengan termofil obligat yang hanya dapat tumbuh optimal pada suhu di atas 60⁰C, termofil fakultatif memiliki fleksibilitas suhu pertumbuhan yang lebih luas. Sehingga bisa ditemukan di lingkungan dengan suhu yang bervariasi seperti kompos, tanah, atau sumber air panas (Najmah *et al.*, 2024).

Adaptasi untuk bertahan hidup pada suhu tinggi meliputi laju metabolisme yang lambat, proporsi asam lemak jenuh yang tinggi dalam fosfolipidnya, pergantian enzim yang cepat, sintesis protein tahan panas, dan mekanisme untuk penyimpanan lipid. Adaptasi ini memungkinkan fungi termofilik untuk bertahan pada suhu yang mematikan bagi sebagian besar organisme lain (Steindorff *et al.*, 2024). Di antara sekitar 3 juta spesies fungi yang ada di alam, dan sekitar 100.000 spesies yang telah diidentifikasi, hanya sekitar 50 spesies yang telah ditemukan dapat tumbuh pada suhu 50-60⁰C. Spesies-spesies ini berasal dari *Sordariales*, *Eurotiales*, dan *Onygenales* di *Ascomycota* dan *Mucorales* dari *Zygomycota* (Thanh *et al.*, 2019).

2.5.1 Enzim-Enzim Fungi Termofilik

Sejumlah enzim pada fungi termofilik memiliki sifat termostabil. Hal tersebut menjadi salah satu alasan fungi termofilik dapat bertahan pada suhu tinggi, karena adanya aktivitas enzim tersebut (Thanh *et al.*, 2019). Fungi yang memiliki enzim-enzim tertentu bisa diaplikasikan sebagai bahan tambahan kompos. Fungi akan bekerja pada kompos di suhu tertentu dan akan menghasilkan enzim yang untuk membantu proses pengomposan.

A. Enzim Selulase

Menurut Adelabu *et al.* (2019) aktivitas enzim selulase dapat dilihat dengan ditandai dengan adanya zona bening yang berada disekitar koloni. Enzim selulase akan menghidrolisis selulase dengan memutus ikatan β -1,4 glikosidik. Menurut Missa *et al.* (2016) bahwa ikatan β -1,4 glikosidik dapat terdeteksi oleh *congo red*. Ikatan tersebut apabila terputus maka *congo red* tidak mampu bereaksi sehingga memunculkan warna bening hasil hidrolisis ikatan β -1,4 glikosidik oleh aktivitas enzim selulase. Adanya aktivitas enzim selulase yang dimiliki fungi dapat dimanfaatkan untuk mengubah substrat yang mengandung selulase menjadi produk seperti bioetanol. Berdasarkan penelitian Ibraheem *et al.* (2021) didapatkan isolat fungi termofilik yang menghasilkan enzim selulolitik yaitu *Aspergillus flavus*.

B. Enzim Protease

Uji protease merupakan uji untuk mengetahui adanya aktivitas enzim protease yang dimiliki fungi. Menurut Budak *et al.* (2016), bahwa fungi yang memiliki aktivitas enzim protease ditandai dengan adanya zona bening disekitar koloni. Fungi tersebut dapat memanfaatkan dengan baik nutrisi yang terkandung seperti gula laktosa dan protein. Protein yang terdapat dalam medium uji protease mampu di hidrolisis oleh enzim protease menjadi asam amino sehingga dapat mendukung pertumbuhan sel fungi. Adanya aktivitas enzim protease pada fungi dapat dimanfaatkan menjadi produk yang bermanfaat. Berdasarkan penelitian Ibraheem *et al.* (2021) didapatkan isolat fungi termofilik yang menghasilkan enzim protease yaitu *Neurospora* sp.

C. Enzim Ligninase

Aktivitas enzim ligninase pada fungi termofilik berperan penting dalam proses biodegradasi lignin. Fungi termofilik mampu menghasilkan lignin yang efektif pada suhu tinggi. Ligninase bekerja dengan memecah struktur lignin yang kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana, memungkinkan organisme lain dapat mengakses nutrisi yang terperangkap dalam lignin. Fungi termofilik dapat menghasilkan enzim ligninase dalam jumlah besar, dan aktivitas enzim ini dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti pH dan suhu (Paramjeet *et al.*, 2018). Berdasarkan penelitian Irawan *et al.* (2022) isolat fungi termofilik yang ditemukan menghasilkan enzim ligninase yaitu *Trichoderma* sp.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan di PT. GGP pada bulan Desember 2024 hingga Maret 2025. Pengambilan sampel dilakukan di *Compost Plant* PT. GGP, dan pengujian sampel dilakukan di *Laboratorium Research & Development* PT. GGP.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah tabung reaksi, cawan petri, *beaker glass*, gelas ukur, *erlenmeyer*, mikropipet, *drigalski*, jarum ose bulat, batang pengaduk, pH meter, gelas objek, cover glass, pipet tetes, *vortex*, inkubator, autoklaf, *hot plate*, neraca analitik, *Biological Safety Cabinet*, mikroskop, sendok, *ice box*, plastik steril, korek, gunting, sarung tangan, dan botol steril.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel kompos fase pre-dekomposisi diambil dari kedalaman 1 meter tumpukan kompos di *Compost Plant* PT. GGP, aquades, *streptomycin* 1%, *skim milk* agar, PDA, pepton, *yeast extract*, *guaiacol*, czapek agar dox, *Carboxymethyl Cellulose* (CMC), *congo red* 0,1%, NaCl 1M, minyak zaitun, *methyl red*, *Lactophenol cotton blue*, lampu spiritus, alkohol 70%, alkohol 96%, kertas saring, *tissue*, *aluminium foil*, dan plastik tahan panas.

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif eksploratif untuk mengetahui jenis-jenis fungi termofilik yang terdapat pada bagian dasar tumpukan kompos saat fase pre-dekomposisi pengomposan di *Compost Plant* PT. GGP. Pengambilan sampel kompos dilakukan menggunakan metode purposive sampling di 1 titik lokasi kompos dengan 3 kali pengulangan.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Pengambilan Sampel

Sampel kompos diambil dari bagian tengah tumpukan *Compost Plant* di PT. GGP dengan terlebih dahulu menggali kompos sampai dengan kedalaman 1 m dari permukaan. Sampel kompos diambil dari 1 titik sebanyak 25 gram, lalu dimasukkan ke dalam plastik tahan panas yang steril. Sampel kompos disimpan di dalam cooler box untuk dilakukan isolasi di laboratorium.

3.4.2 Sterilisasi Alat

Alat-alat yang akan digunakan disterilisasi terlebih dahulu. Alat yang terbuat dari gelas atau kaca disterilkan dalam autoklaf pada suhu 121°C, dengan tekanan 2 atm selama 15 menit kemudian dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 180°C selama 2 jam. Sedangkan alat-alat yang terbuat dari logam seperti jarum ose disterilkan dengan menyemprotkan alkohol 70% kemudian dipijarkan di atas api bunsen sampai membara (Azizah *et al.*, 2020).

3.4.3 Pengenceran Berseri

Pengenceran berseri dilakukan secara aseptis di dalam *Biological Safety Cabinet* (BSC). Sampel kompos ditimbang sebanyak 25 gr dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer steril yang berisi 225 mL NaCl 0,9% lalu dihomogenkan sehingga diperoleh pengenceran 10^{-1} . Sebanyak 1 mL diambil 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 dilakukan dengan cara yang sama sampai diperoleh tingkat pengenceran 10^{-10} (Saidan *et al.*, 2024).

3.4.4 Isolasi Fungi Termofilik

Isolasi fungi dilakukan dengan metode *spread plate* pada media *Potato Dextrose Agar* + *streptomycin* 1% dengan pH media 5. Sebanyak 0,1 mL diambil dari pengenceran 10^{-3} , 10^{-5} , 10^{-7} , dan 10^{-9} menggunakan mikropipet kemudian diinokulasi ke dalam cawan petri yang berisi media PDA + *streptomycin* 1% kemudian diratakan dengan menggunakan drigalski dan diinkubasi pada suhu 30°C selama 7 hari (Ibraheem *et al.*, 2021).

3.4.5 Pemurnian Fungi Termofilik

Pemurnian fungi dilakukan dengan menggunakan metode titik pada fungi yang tumbuh dari cawan petri hasil isolasi. Pemurnian fungi dilakukan dengan cara menitikkan ose jarum pada permukaan

media PDA. Kemudian diinkubasi pada suhu 30⁰C selama 72 jam. Tujuannya dilakukan pemurnian adalah agar didapatkan koloni tunggal. Koloni tunggal yang diperoleh kemudian dilakukan karakterisasi morfologi makroskopis dan mikroskopis (Fitriana & Nurshitya, 2017).

3.4.6 Identifikasi Karakter Makroskopis

Pengamatan morfologi fungi secara makroskopis pada media agar meliputi warna koloni, ukuran koloni, dan hifa yang teramati pada setiap kultur dalam cawan petri hasil pemurnian (Thanh *et al.*, 2019). Pengamatan makroskopis dilakukan menggunakan *dissecting microscope*.

3.4.7 Identifikasi Karakter Mikroskopis

Identifikasi karakter mikroskopis fungi termofilik dilakukan dengan *slide culture*. Biakan fungi hasil pemurnian digoreskan pada media PDA yang dipotong kurang lebih 1 x 1 cm (berbentuk persegi) dan ditempatkan di atas gelas objek ditutup dengan gelas penutup dan diletakkan di dalam cawan petri yang kelembapannya dijaga diinkubasi pada suhu ruang selama 48 jam. Setelah diinkubasi isolat tersebut dapat diamati dengan cara membuang media PDA dan meneteskan *Lactophenol Cotton Blue* pada gelas objek. Tujuan dari pembuatan *slide culture* yaitu untuk mengamati morfologi mikroskopis fungi seperti hifa, sporangium, dan konidia, serta mengidentifikasinya berdasarkan struktur sel fungi yang diamati dengan buku “Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi” karya Watanabe (2002) dan buku “Moulds : Their Isolation, Cultivation, and Identification” karya Malloch (1981) (Tjampakasari *et al.*, 2024).

3.4.8 Uji Karakterisasi Fungi Termofilik

A. Uji Aktivitas Enzim Selulase

Uji aktivitas enzim selulase dilakukan untuk mengetahui kelompok fungi yang menghasilkan enzim selulase. Biakan fungi hasil pemurnian digoreskan 1 ose kemudian diinokulasi dengan metode titik pada media czapek agar dox + *streptomycin* 1% yang mengandung CMC 1% dan diinkubasi pada suhu 30°C selama 5 hari. Petri yang sudah ditumbuhi koloni fungi dilakukan uji lanjut dengan penambahan larutan *congo red* 0,1% dan diamkan selama 20 menit. Larutan *congo red* dibuang dan dituang larutan NaCl 1 M ke dalam cawan petri dan diamkan selama 20 menit. Aktivitas enzim selulase ditunjukkan dengan terbentuknya zona bening di sekitar koloni fungi (Sari *et al.*, 2017).

B. Uji Aktivitas Enzim Protease

Uji aktivitas enzim protease dilakukan untuk mengetahui kelompok fungi yang menghasilkan enzim protease. Biakan fungi hasil pemurnian digoreskan 1 ose kemudian diinokulasi dengan metode titik pada media *skim milk* agar dan diinkubasi pada suhu 30°C selama 5 hari. Aktivitas enzim protease ditunjukkan dengan terbentuknya zona bening di sekitar koloni fungi (Mahardika *et al.*, 2021).

C. Uji Aktivitas Enzim Ligninase

Uji aktivitas enzim ligninase dilakukan untuk mengetahui kelompok fungi yang menghasilkan enzim ligninase. Biakan fungi hasil pemurnian digoreskan 1 ose kemudian diinokulasi dengan metode titik pada media PDA + *streptomycin* 1% yang mengandung pepton 2g/L dan *yeast extract* 1g/L dan diinkubasi

padan suhu 30°C selama 7 hari. Aktivitas enzim ligninase ditunjukkan dengan terbentuknya warna coklat pekat yang dihasilkan di bawah dan di sekitar koloni fungi yang dihasilkan dari oksidasi guaiacol (Irawan *et al.*, 2021).

3.5 Perhitungan Indeks Enzimatik

Besarnya aktivitas fisiologis dari enzim selulase, protease, dan ligninase ditentukan dengan menghitung luas koloni dan luas zona jernih yang terbentuk menggunakan metode gravimetri. Menurut Sumardi *et al.* (2021) metode gravimetri dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

1. Menggunakan pola-pola koloni dan zona jernih (replika) yang digambar pada plastik mika bening.
2. Replika koloni dan zona jernih ditimbang dengan timbangan analitik.
3. Membuat potongan kertas 1 cm x 1cm lalu ditimbang.
4. Hitung luas koloni dan zona jernih dengan menggunakan rumus berikut.

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

Pada perhitungan indeks enzimatik menggunakan rumus seperti ini:

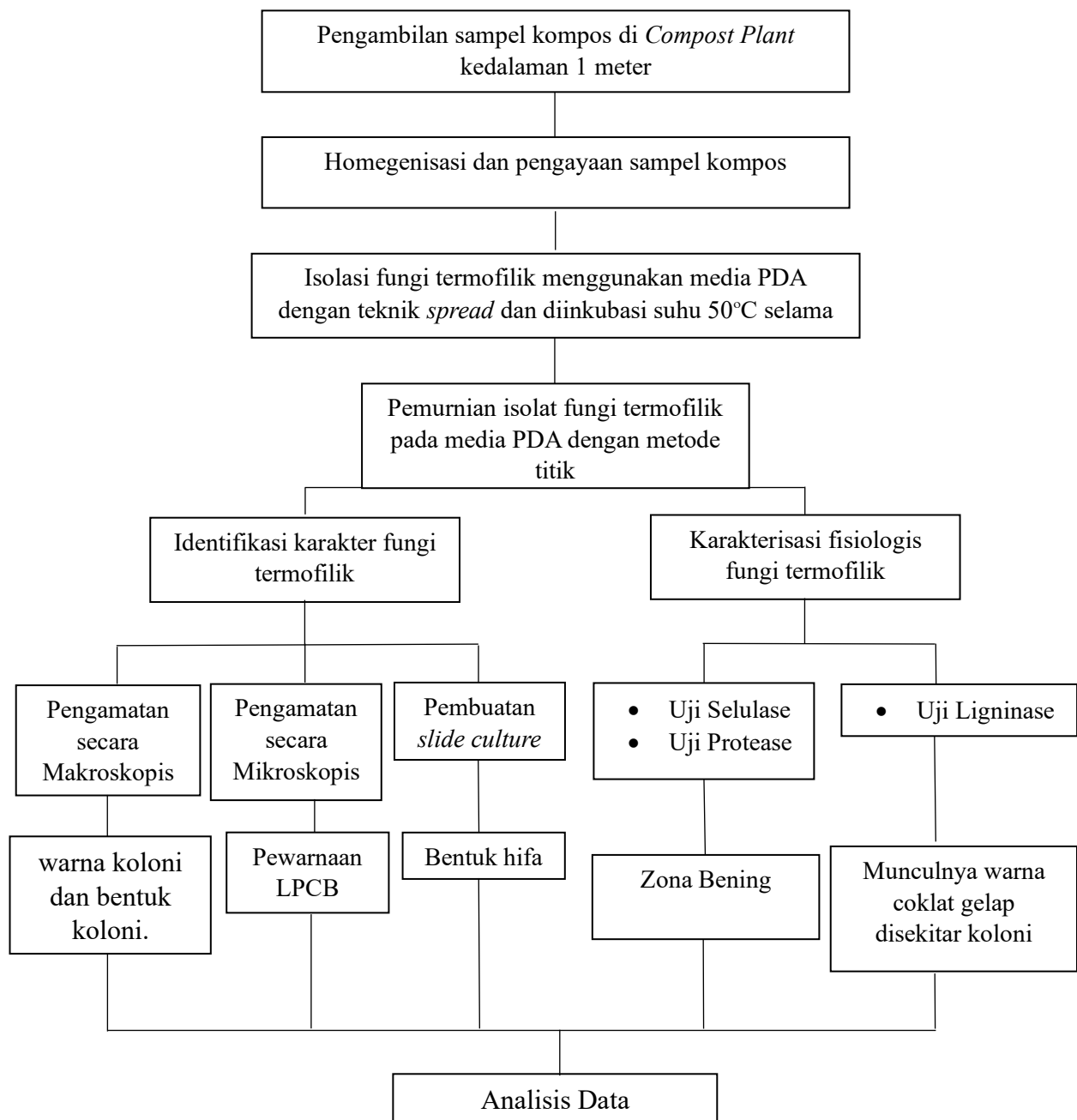
$$\text{IE} = \frac{\text{luas zona bening} - \text{luas koloni}}{\text{luas koloni}}$$

3.6 Analisis Data

Data karakter fungi termofilik makroskopis dan mikroskopis yang diperoleh dibandingkan secara visual dengan referensi yang ada. Data karakter fisiologis ditentukan dengan mengamati zona bening dan zona hidrolisis yang terbentuk pada media di sekitar koloni. Hasil pengamatan zona bening kemudian di ukur untuk menentukan nilai indeks enzimatisnya. Keseluruhan data yang diperoleh selanjutnya dianalisis dan diuraikan secara deskriptif kualitatif.

3.7 Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan pada sampel kompos yang ada di *Compost Plant* PT. GGP yang diambil di tengah dengan kedalaman 1 meter dari permukaan paling dasar.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapat kesimpulan sebagai berikut.

1. Diperoleh enam isolat hasil isolasi fungi termofilik dengan kode BIO-PK 1, BIO-PK 2, BIO-PK 3, BIO-PK 4, BIO-PK 5, dan BIO-PK 6.
2. Fungi termofilik yang diisolasi terdiri dari *Penicillium* sp. (BIO-PK 1, 3), *Odiendron* sp. (BIO-PK 2), *Cylindrocladium* sp. (BIO-PK 4), *Verticillium* sp. (BIO-PK 5), dan *Curvularia* sp. (BIO-PK 6), dengan variasi bentuk dan warna. Tiga isolat (BIO-PK 1, 2, 3) mampu mendegradasi selulosa, tertinggi pada BIO-PK 2 (Indeks Enzimatis 3,73); dua isolat (BIO-PK 1, 5) mendegradasi protein, tertinggi pada BIO-PK 5 (0,77); dan satu isolat (BIO-PK 4) mendegradasi lignin dengan skor tertinggi 1.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan didapatkan beberapa saran sebagai berikut.

1. Identifikasi secara filogenetik terhadap kandidat isolat terbaik (BIO-PK 2, BIO-PK 5, dan BIO-PK 6) untuk mengetahui spesies-spesies isolat terseleksi.

2. Pengujian lebih lanjut yaitu uji enzim terhadap kandidat isolat terbaik (BIO-PK 2, BIO-PK 5, dan BIO-PK 6) sebagai pemacu proses pengomposan di *compost plant* fase pre-dekomposisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, F., & Samaei, M. R. 2019. The effect of temperature on airborne filamentous fungi in the indoor and outdoor space of a hospital. *Environmental Science and Pollution Research*, 26: 16868-16876.
- Adelabu, B. A., Kareem, S. O., Oluwafemi, F., & Adeogun, I. A. 2019. Bioconversion of corn straw to ethanol by cellulolytic yeasts immobilized in mucuna urens matrix. *Journal of King Saud University – Science*, 31(1): 136-141.
- Ahirwar, S., Soni, H., Prajapati, B. P., & Kango, N. 2017. Isolation and screening of thermophilic and thermotolerant fungi for production of hemicellulases from heated environments. *Mycology*, 8(3): 125-134.
- Ahmadi, R., Nashruddin, M., & Parmi, H. J. 2022. Pemanfaatan Kotoran Sapi Dengan Dekomposer Microbacter Alfaafa-11 Sebagai Bahan Pupuk Organik. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, 6(6), 4506-4514.
- Aliyu, S. S., & Gambo, A. 2014. Isolation and identification of air borne fungal spores and fragments in buildings within Usmanu Danfodiyo University Sokoto, Nigeria. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 3(2): 67-72.
- Alsanius, B., Blok, C., Cuijpers, W. J., França, S. C., Fuchs, J. G., Janmaat, L., Raviv, M., Streminska, M. A., Termorshuizen, A., & van der Wurff, A. W. 2016. *Handbook for composting and compost use in organic horticulture*. Europe: BioGreenhouse COST Action FA 1105.
- Andriany *et al.*, 2017. Pengaruh jenis bioaktivator terhadap laju dekomposisi seresah daun jati *Tectona grandis* L.f., di wilayah kampus unhas tamalanrea. *bioma : jurnal biologi makassar*, 3(2): 31-42, 2018
- Anggraeni, D. N., & Usman, M. (2015). Uji aktivitas dan identifikasi jamur rhizosfer pada tanah perakaran tanaman pisang (*Musa paradisiaca*) terhadap jamur *Fusarium*. *BIOLINK (Jurnal Biologi Lingkungan Industri Kesehatan)*, 1(2), 89-98.

- Ardiansyah, A. Y., & Wirawan, S. 2024. Rancang bangun sistem kontrol elektro pneumatik pada alat penumbuk hitanol. *Jurnal Instrumentasi dan Teknologi Informasi (JITI)*, 5(2): 154-162.
- Ariyanti, D., Purbasari, A., Priyanto, S., Purwanto, P., & Sasongko, S. B. 2021. Pengenalan Teknologi Pembuatan Kompos Dari Limbah Rumah
- Ashlihah, A., Saputri, M. M., & Fauzan, A. 2020. Pelatihan pemanfaatan limbah rumah tangga organik menjadi pupuk kompos. *Jumat Pertanian: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(1): 30-33.
- 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.
- Biyada, S., Merzouki, M., Dëmčenko, T., Vasiliauskiene, D., Ivanec-Goranina, R., Urbonavičius, J., Marčiulaitienė, E., Vasarevičius, S., & Benlemlih, M. 2021. Microbial community dynamics in the mesophilic and thermophilic phases of textile waste composting identified through next-generation sequencing. *Scientific Reports*, 11(1): 23624.
- Budak S. O., Wiebenga, A., Bron, P. A., & Vries, R. P. D. 2016. Protease and lipase activities of fungal and bacterial strains derived from an Artisanal Raw Ewe's milk cheese. *International Journal of Food Microbiology*, 237: 17-27.
- Citra, L. D. D. A. A. 2017. Pengaruh pasteurisasi terhadap jumlah koloni bakteri pada susu segar dan UHT sebagai upaya menjaga kesehatan. *Indonesian Journal on Medical Science*, 4(1): 119-132.
- Dwiratna, S., Suryadi, E., Kendarto, D. R., Amaru, K., Sugandi, W. K., & Pramesti, A. D. 2021. Kajian karakteristik proses pengomposan limbah tanaman jagung yang diberi tambahan kipahit dan pupuk kandang kambing. *Rona Teknik Pertanian*, 14(2): 31-41.
- Ekawandani, N., & Kusuma, A. A. 2019. Pengomposan sampah organik (kubis dan kulit pisang) dengan menggunakan EM4. *Jurnal Tedc*, 12(1), 38-43.
- Fadhli, H., Kusdiyantini, E., & Nurhayati, N. 2019. Karakterisasi morfologi, biokimia, dan uji enzimatis isolat khamir buah apel (*Malus domestica* Borkh.) yang berpotensi menghasilkan bioetanol. *Jurnal Biologi Tropika*, 2(2): 62-73.
- Fitriana, F., & Nurshitya, E. 2017. Aktivitas antibakteri ekstrak isolat fungi endofit dari akar mangrove (*Rhizophora apiculata* Blume) secara klt bioautografi. *As-Syifaa Jurnal Farmasi*, 9(1), 27-36.
- Handrah, A. T. P., Ratih, Y. W., & Widodo, R. A. 2023. Pengaturan Fase Termofilik Pada pengomposan Tandan Kosong Kelapa Sawit: Implikasinya Terhadap aktivitas Jasad Perombak dan Pembentukan

- humat. *Jurnal Tanah dan Air (Soil and Water Journal)*, 18(2), 79-88.
- Hashemi, H., Abbasi, F., Samaei, M. R., & Khodadadi, H. 2018. Determination of fungi species variety in thermal phases of compost production and related operational parameters. *Journal of Environmental Engineering*, 144(8): 1-7.
- Hastuti, U.S., Nugraheni, F.S.A., Asna, P.M.A., 2017. Identifikasi dan Penentuan Indeks Hidrolisis Protein Pada Bakteri Proteolitik dari Tanah Mangrove di Margomulyo, Balikpapan. *Proceeding Biology Education* 14(1): 265-270.
- Hikam, A. R., Setio, A. E. M., Mumpuni, A., Yulianti, D. M., & 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., Sheriff, K., 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.
- Irawan, B., Wahyuningtias, I., Ayuningtyas, N., Isky, O. A., Farisi, S., Sumardi, S., Hadi, S. 2022. Potential Lignocellulolytic Microfungi from Pineapple Plantation for Composting Inoculum Additive. *International Journal of Microbiology*, 2022(1), 9252901.
- Irawan, T. B. 2014. Pengaruh susunan bahan terhadap waktu pengomposan sampah pasar pada komposter beraerasi. *Metana*, 10(01): 18-24.
- Krah, F. S., Büntgen, U., Schaefer, H., Müller, J., Andrew, C., Boddy, L., & Bäessler, C. 2019. European mushroom assemblages are darker in cold climates. *Nature communications*, 10(1), 2890.
- Lechuga, E. G. O., Zapata, I. Q., & Niño, K. A. Detection of extracellular enzymatic activity in microorganism isolated from waste vegetable oil contaminated soil using plate methodologies. 2016. *African Journal of Biotechnology*, 15(11): 408-416.
- Lobo, O. L. L., Rupidara, A. D., & Ledo, M. E. 2022. seleksi enzim protease fungi endofit daun mangrove *Avicennia marina* di pantai noelbaki. *Indigenous Biologi: Jurnal Pendidikan Dan Sains Biologi*, 5(3), 108-117.
- 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.
- Malloch, D. 1981. Moulds, their isolation, cultivation, and identification.
 University of Toronto
- Meena, A. L., Karwal, M., Dutta, D., & Mishra, R. P. 2021. Composting: phases and factors responsible for efficient and improved composting. *Agriculture and Food: e-Newsletter*, 3(1): 85-90.
- Missa, H., Susilowati, A., & Setyaningsih, R. 2016. Diversity and phylogenetic relationship of cellulolytic bacteria from the feces of Bali cattle in South Central Timor, East Nusa Tenggara, Indonesia. *Biodiversitas*, 17(2): 614-619.
- Musnandar, E., & Hoesni, F. 2017. Produktivitas Enzim Lignase Dari Fungi *Marasmius* Sp Dan Efektifitasnya Dalam Mendegradasi Lignin Pada Media Serat Sawit Untuk Pakan Ternak Ruminansia: The Productivity of Lignase of Mashroom of *Marasmius* Sp And It's Effectivity In Lignin Degradation In Oil Palm Fiber For Ruminant Feed. *Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Peternakan*, 20(2), 85-96.
- Nawfa, R., & Zahria, I. 2015. Pemindaian Fungi Kontaminan Ampas Tebu untuk Produksi Enzim Selulase. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 4(2), 15697.
- Najmah, Ridwan, A., Idayanti, T., Emelda, Dwijastuti, N., M., S., Putra, S., P., Krihariyani, D., Aini, & Parisihni, K. *Pengantar Mikrobiologi*. Jawa Tengah, Eureka Media Aksara.
- Papale, M., Romano, I., Finore, I., Lo Giudice, A., Piccolo, A., Cangemi, S., Meo, V. M., Nicolaus, B., & Poli, A. 2021. Prokaryotic diversity of the composting thermophilic phase: the case of ground coffee compost. *Microorganisms*, 9(2): 1-19.
- Paramjeet, S., Manasa, P., & Korrapati, N. 2018. Biofuels: Production of fungal-mediated ligninolytic enzymes and the modes of bioprocesses utilizing agro-based residues. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 14: 57-71.
- Pathiassana. 2020. Studi laju umpan pada proses biokonversi dengan variasi jenis sampah yang dikelola pt. biomagg sinergi internasional menggunakan larva black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Jurnal Tambora*, 4(1), 86-95.
- Petkova, M., & Shilev, S. 2023. Revealing fungal diversity in mesophilic and thermophilic habitats of sewage sludge composting by next-generation sequencing. *Applied Sciences*, 13(9): 1-14.
- Pratama, B. A., Sabrina, T., & Sembiring, M. 2019. Uji Efektifitas Beberapa Jenis Dekomposer Pada Beberapa Jenis Bahan Kompos. *Jurnal Pertanian Tropik*, 6(18), 142-152.

- Purkan, H., & Sumarsih, S. 2015. Produksi enzim selulase dari *Aspergillus niger* menggunakan sekam padi dan ampas tebu sebagai induker. *Jurnal Ilmu Dasar*, 16(2), 95-102.
- Putri, S. E., Mahdiyah, D., & Noval, N. 2023. Aktivitas Enzim Protease Dan Enzim Amilase Dari Senyawa Isolat Bakteri Tanah Gambut. *Sains Medisina*, 1(5), 267-274.
- Rahmi, N., Rizali, A., & Khamidah, N. 2025. Uji Efektivitas Beberapa Jenis Dekomposer dalam Pembuatan Bokashi dari Purun Tikus. *Agroekotek View*, 7(1), 38-51.
- Ratih, Y. W., Sohilait, D. A., & Widodo, R. A. 2020. Uji Aktivitas Dekomposisi dari beberapa Inokulum Komersial Pada Beragai Jenis Bahan berdasarkan Jumlah CO₂ yang Terbentuk. *Jurnal Tanah dan Air (Soil and Water Journal)*, 15(2): 93-102.
- Saidan, S., Jarboui, R., Alsharari, S., & Azab, M. 2024. Characterization and Identification Of Thermophilic Bacteria Isolated From Different Sites Located in Al-Jouf Region, Saudi Arabia. *Journal Of Pure and Applied Microbiology*. 18(1): 243-256.
- Saraswati, R., & Praptana, R. 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.
- Siagian, S. W., Yuriandala, Y., & 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.
- Sobianti, S., Soesanto, L., & Hadi, S. 2020. Inventarisasi Fungi Patogen Tular-Benih pada Lima Varietas Padi. *Agricultural Journal*. 3(1): 1-15.
- Steindorff, A. S., Aguilar-Pontes, M. V., Robinson, A. J., Andreopoulos, B., LaButti, K., Kuo, A., Mondo, S., Riley, R., Otillar, R., Haridas, S., Lipzen, A., Grimwood, J., Schmutz, J., Clum, A., Reid, I. A., Moisan, M. R., Butler, G., Nguyen, T. T. M., Dewar, K., Conant, G., Drula, E., Henrissat, B., Hansel, C., Singer, S., Hutchison, M. I., Vries, R. P., Natvig, D. O., Powell, A. J., Tsang, A., & Grigoriev, I. V. 2024. Comparative genomic analysis of thermophilic fungi reveals convergent evolutionary adaptations and gene losses. *Communications Biology*, 7(1): 1124.
- Subowo, Y. B. 2015. Seleksi Fungi Penghasil Enzim Ligninase dan Kemampuannya Menguraikan Limbah Cair Kelapa Sawit. *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon*, 1(8), 1766-70.

- Sumardi, S., Qatrunada, V., Ekowati, C. N. Farisi, S., & Arifiyanto, A. 2021. Aktivitas enzim hidrolase pada penapisan isolat actinomycetes kandidat probiotik udang. *Bioma: Jurnal Biologi dan Pembelajaran Biologi*, 6(1): 24-36.
- Suryani, Y., & Cahyanto, T. 2022. *Pengantar fungi mikroskopis*. Gunung Djati Publishing, Bandung.
- Tangga Di Kelurahan Bendan Ngisor Kecamatan Gajah Mungkur. *Jurnal Pasopati*, 3(3).
- Thanh, V. N., Thuy, N. T., Huong, H. T. T., Hien, D. D., Han, D. T. M., Anh, D. T. K., Hüttner, S., Larsbrink, J., & Olsson, L. 2019. Surveying of acid-tolerant thermophilic lignocellulolytic fungi in Vietnam reveals surprisingly high genetic diversity. *Scientific Reports*, 9: 1-12.
- Tjampakasari, C. R., Agustini, R., Baihaki, I., Noor, S., & Bustami, A. 2024. Kultur slide sebagai metode mikroskopik tidak langsung untuk identifikasi fungi kapang. *Jurnal Sehat Indonesia (JUSINDO)*, 6(01): 201-210.
- Utomo, P. B., & Nurdiana, J. 2018. Evaluasi pembuatan kompos organik dengan menggunakan metode hot composting. *Jurnal teknologi lingkungan*, 2(1). valorization. *Process Safety and Enviromental Protection*, 119:104-114.
- Wakhidah, N., Kasrina, K., & Bustamam, H. 2021. Keanekaragaman Fungi Patogen pada Tanaman Cabai Merah (*Capsicum annuum* L.) di Dataran Rendah. *Konservasi Hayati*, 17(2), 63-68.
- Wang, X., Kong, Z., Wang, Y., Wang, M., Liu, D., & Shen, Q. 2020. Insights into the functionality of fungal community during the large scale aerobic co-composting process of swine manure and rice straw. *Journal of Environmental Management*, 270: 1-12.
- Watanabe, T. 2002. Pictorial atlas of soil and seed fungi: morphologies of cultured fungi and key to species. CRC press.
- Wibisono, S. H., Nugroho, W. A., Kurniati, E., & Prasetyo, J. 2016. Pengomposan sampah organik pasar dengan pengontrolan suhu tetap dan suhu sesuai fase pengomposan. *Journal of Tropical Agricultural Engineering and Biosystems-Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 4(2), 94-102.
- Witasari, W. S., Sa'diyah, K., & Hidayatulloh, M. 2021. Pengaruh jenis komposter dan waktu pengomposan terhadap pembuatan pupuk kompos dari activated sludge limbah industri bioetanol. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 5(1), 31-40.
- Yuniati, R., Nugroho, T.T., & Puspita, F. 2015. Uji Aktivitas Enzim Protease Dari Isolat *Bacillus* sp. Galur Lokal Riau. *Jurnal Online Mahasiswa FMIPA*. 1(2): 116-122.

Zhu, L., Zhao, Y., Yao, X., Zhou, M., Li, W., Liu, Z., & Hu, B. 2023. Inoculation enhances directional humification by increasing microbial interaction intensity in food waste composting. *Chemosphere*, 322: 1-9.