

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

**(Skripsi)**

**Oleh**

**SHALSABILLA SEPTIANI  
NPM 2117061045**



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

## **ABSTRAK**

### **ISOLASI DAN KARAKTERISASI BAKTERI TERMOFILIK PADA KOMPOS DASAR FASE DEKOMPOSISI DI *COMPOST PLANT* PT. GREAT GIANT PINEAPPLE**

**Oleh**

**SHALSABILLA SEPTIANI**

Pengomposan merupakan salah satu contoh proses pengolahan buangan sisa-sisa sampah secara aerobik dan anaerobik. Proses pengomposan umumnya berlangsung dalam beberapa tahapan yang dapat dikenali dari perubahan suhu oleh mikroorganisme yang melakukan degradasi bahan organik. Degradasi dari bahan organik pada kompos di PT. Great Giant Pineapple dapat dilakukan dengan bantuan dari bakteri termofilik. Bakteri termofilik memiliki kemampuan untuk bertahan hidup dan beradaptasi pada suhu yang ekstrim sampai menghasilkan suatu enzim berupa enzim ekstraseluler. Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi bakteri termofilik pada kompos dasar fase dekomposisi serta mengetahui karakteristik morfologi makroskopis, mikroskopis, enzimatik, dan menentukan Indeks Enzimatik (IE) yang ada di *Compost Plant* PT. Great Giant Pineapple. Penelitian menggunakan metode deskriptif eksploratif meliputi pengambilan sampel kompos, isolasi bakteri, pemurnian bakteri, karakteristik morfologi mikroskopis, makroskopis, dan enzimatik, serta perhitungan nilai Indeks Enzimatik (IE). Hasil penelitian menunjukkan terdapat 4 isolat yang memiliki karakteristik morfologi yang berbeda-beda. Keempat isolat memiliki bentuk sel basil, bersifat Gram positif, serta memiliki endospora. Keempat isolat bakteri termofilik mampu menghasilkan enzim katalase, enzim amilase, enzim selulase, serta enzim protease kecuali isolat SL1 dan SL3. Nilai indeks enzimatik amilase tertinggi oleh isolat SL1 sebesar 6,06; indeks enzimatik selulase tertinggi oleh isolat SL2 sebesar 2,03; dan indeks enzimatik protease tertinggi oleh isolat SL4 sebesar 11,11.

Kata kunci: Pengomposan, Bakteri Termofilik, Isolasi, Karakterisasi, Indeks Enzimatik

## **ABSTRACT**

### **ISOLATION AND CHARACTERIZATION OF THERMOPHILIC BACTERIA IN THE BASIC COMPOST OF THE DECOMPOSITION PHASE AT THE COMPOST PLANT PT. GREAT GIANT PINEAPPLE**

**By**

**SHALSABILLA SEPTIANI**

Composting is an example of aerobic and anaerobic waste treatment. The composting process generally takes place in several stages that can be recognized from changes in temperature by microorganisms that degrade organic matter. Degradation of organic matter in compost at PT Great Giant Pineapple can be done with the help of thermophilic bacteria. Thermophilic bacteria have the ability to survive and adapt to extreme temperatures to produce an enzyme in the form of extracellular enzymes. This study aims to isolate thermophilic bacteria in the basic compost of the decomposition phase and determine the macroscopic, microscopic, enzymatic morphological characteristics, and determine the Enzymatic Index (IE) in the *Compost Plant* of PT Great Giant Pineapple. The research used an exploratory descriptive method including compost sampling, bacterial isolation, bacterial purification, microscopic, macroscopic, and enzymatic morphological characteristics, and calculation of the Enzymatic Index (IE) value. The results showed that there were 4 isolates that had different morphological characteristics. The four isolates have a bacillus cell shape, are Gram positive, and have endospores. The four isolates of thermophilic bacteria are able to produce catalase enzyme, amylase enzyme, cellulase enzyme, and protease enzyme except SL1 and SL3 isolates. The highest amylase enzymatic index value by isolate SL1 was 6.06; the highest cellulase enzymatic index by isolate SL2 was 2,03; and the highest protease enzymatic index by isolate SL4 was 11.11.

**Key words:** Composting, Thermophilic Bacteria, Isolation, Characterization, Enzymatic Index

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

**Oleh**

**SHALSABILLA SEPTIANI**

**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  
BAKTERI TERMOFILIK PADA KOMPOS  
DASAR FASE DEKOMPOSISI DI  
COMPOST PLANT PT. GREAT GIANT  
PINEAPPLE**

**Nama Mahasiswa : Shalsabilla Septiani**

**Nomor Pokok Mahasiswa : 2117061045**

**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**

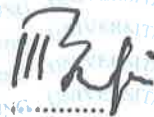
**Dr. Jani Master, S.Si., M.Si.**  
**NIP. 198301312008121001**

## MENGESAHKAN

1. **Tim Penguji**

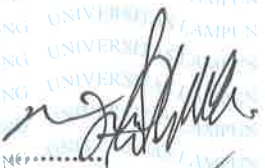
**Ketua**

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



**Anggota**

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



**Penguji Utama**

: **Rochmah Agustina, Ph. D.**



2. **Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**Dr. Eng. Heri Satria, S.Si, M.Si**

**NIP. 1971110012005011002**

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 19 Juli 2025**

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Shalsabilla Septiani  
NPM : 2117061045  
Jurusan : Biologi  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul **“Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Termofilik Pada Kompos Dasar Fase Dekomposisi Di *Compost Plant* PT. Great Giant Pineapple”** merupakan benar karya tulis ilmiah hasil pemikiran saya sendiri berdasarkan pengetahuan serta informasi yang telah saya dapatkan dan bukan plagiat karya orang lain.

Demikian pernyataan ini saya buat dan dapat di pertanggungjawabkan. Apabila di kemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ilmiah ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 19 Juli 2025

Yang menyatakan,



**Shalsabilla Septiani**

NPM. 2117061045

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 18 September 2003, yang merupakan anak terakhir dari pasangan Bapak Istanto dan Ibu Siti Anisyah. Penulis beralamat di Jalan Mayor Salim Batu Bara Gg. Sakura No. 56, Teluk Betung Utara, Bandar Lampung. Penulis menyelesaikan pendidikan pertamanya di PAUD Batu Gajah pada tahun 2009, lalu melanjutkan sekolah di SD Negeri 1 Gulak Galik, Bandar Lampung dan lulus pada tahun 2015. Penulis menempuh pendidikan tingkat pertama di SMP Negeri 17 Bandar Lampung dan menyelesaikannya pada tahun 2018. Penulis menempuh pendidikan selanjutnya di SMA Negeri 4 Bandar Lampung dan lulus pada tahun 2021.

Penulis diterima sebagai mahasiswi Program Studi S1 Biologi Terapan, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN pada tahun 2021. Penulis pernah menjadi asisten praktikum bidang Mikrobiologi selama 1 semester pada mata kuliah Mikrobiologi Lingkungan dan Bioteknologi, serta asisten praktikum di Laboratorium Zoologi mata kuliah Keterampilan Kerja Laboratorium. Penulis telah menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri (BSPJI) Bandar Lampung dengan judul **“Uji Cemaran Bakteri *Coliform* Pada Air Limbah Dengan Metode *Most Probable Number* (MPN) Di Laboratorium Mikrobiologi BSPJI Bandar Lampung”**. Penulis juga telah menyelesaikan masa Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Purworejo, Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur, Provinsi Lampung. Penulis melakukan penelitian untuk

penyusunan tugas akhir di Laboratorium *Research and Development* PT. Great Giant Pineapple, Lampung Tengah dengan judul “**Isolasi Dan Karakterisasi Bakteri Termofilik Pada Kompos Dasar Fase Dekomposisi Di *Compost Plant* PT. Great Giant Pineapple**”.

Penulis mengucapkan syukur dan terimakasih kepada Allah SWT atas kebaikan, ridho, serta kemudahan yang diberikan selama proses menempuh pendidikan. *Finally*, semua akan berbuah manis pada waktunya.

## MOTTO

“Jika bukan karena Allah yang mampukan, aku mungkin sudah lama menyerah”  
(Q.S Al-Insyirah: 05-06)

“Senyumlah syukuri hidupmu, tunjukkan pada dunia bahwa kau mampu..”  
(Andmesh Kamaleng)

“Orang lain gak akan paham *struggle* dan masa sulitnya kita, yang mereka ingin tahu hanya bagian *success stories* nya aja. Jadi berjuanglah untuk diri sendiri meskipun gak ada yang tepuk tangan, kelak diri kita di masa depan akan sangat bangga dengan apa yang kita perjuangkan hari ini.  
Jadi tetap berjuang ya!”

“Jadikan masa remaja sebagai *first impression of your life*, karena masa remaja tidak datang dua kali, carilah momen indah dimasa mudamu”

## PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan penuh rasa syukur kepada **Allah SWT**, saya mengucapkan banyak terima kasih kepada-Nya, karena berkat izin dan ridho nya saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik sampai selesai.

Skripsi ini saya persembahkan untuk kedua orang tua saya, **Bapak Istanto dan Ibu Siti Anisyah** yang sangat saya cintai dan sayangi. Terima kasih untuk doa, perjuangan, pengorbanan, dukungan, semangat, serta motivasi yang diberikan sehingga saya dapat menyelesaikan tanggungjawab saya hingga akhir.

&

**Universitas Lampung – Almamater Tercinta**

## SANWACANA

Puji syukur penulis haturkan atas kehadiran Allah SWT, karena telah memberikan limpahan dan hidayah-Nya skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi yang berjudul **“Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Termofilik Pada Kompos Dasar Fase Dekomposisi di *Compost Plant* PT. Great Giant Pineapple”** adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Universitas Lampung.

Selama proses penyusunan skripsi, penulis menyadari banyak pihak yang sangat membantu, mendukung dan memberi semangat dalam pelaksanaan penelitian hingga penyusunan skripsi. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM., ASEAN Eng., 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, S.Si., M.Si, selaku Ketua Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
4. Ibu Gina Dania Pratami, S.Si., 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 Dosen Pembimbing I yang dengan penuh kesabaran dan perhatian telah membimbing penulis hingga sampai pada titik ini. Terima kasih telah selalu percaya, membantu, mengerti, membimbing, dan selalu mengingatkan penulis untuk meminta doa orangtua disetiap akan melakukan seminar/sidang. Sehat selalu, Pak!

6. Bapak Wawan Abdullah Setiawan, S.Si., M.Si, selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing penulis dengan baik, selalu memberikan rasa *enjoy* agar tidak terlalu larut memikirkan hal-hal yang belum tentu terjadi.
7. Ibu Rochmah Agustrina, Ph.D, selaku Dosen Pembahas yang luar biasa sangat baik kepada penulis. Penulis amat sangat bersyukur mendapatkan beliau sebagai Dosen Penguji. Beliau begitu tulus, sabar, dan baik kepada penulis, membimbing penulis yang begitu banyak salah dan kurangnya, hingga akhirnya penulis bisa menyelesaikan tulisan ilmiah ini. Terima kasih bu, semoga kesehatan dan kebahagiaan selalu menyertaimu!
8. Ibu Lili Chrisnawati, S.Pd., M.Si, selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingannya kepada penulis selama menempuh pendidikan di Jurusan Biologi.
9. Kepada seluruh dosen Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan yang telah memberikan ilmu dengan tulus dan ikhlas.
10. Teristimewa untuk keluarga tercinta, Bapak Istanto, Ibu Siti Anisyah, dan Mba Senja Ayu Pratiwi, S.E, yang selalu menjadi rumah terhangat dalam setiap langkah hidup penulis. Terima kasih yang sangat tulus dan tak terhingga atas cinta tanpa syarat, doa yang tak pernah putus, serta keyakinan yang begitu besar terhadap langkah penulis. Terima kasih ya Pak, Bu, Mba, semoga penulis bisa membalas semua nya dengan kesuksesan di masa yang akan datang dengan izin Allah.
11. Teman-teman ku “Keluarga Cemara” Tia, Yogi, Sasa, dan Anggita yang telah menjadi teman terbaik penulis selama berada di bangku perkuliahan ini. Terima kasih atas segala kebaikan dan ketulusan kalian. Aku selalu bersyukur bisa menjadi bagian dari cerita hidup kalian.
12. Sahabat ku Adinda Maharani, Jeni Ernilia, Temy Wulan Agustin, dan Regina Salsabila Ashari, terima kasih sudah menjadi teman baik penulis sejak berada di bangku sekolah menengah. Terima kasih karena selalu bisa menjaga pertemanan ini sampai sekarang.
13. Teman-teman seperjuangan penelitianku di PT. Great Giant Pineapple “GPP GIRLS” Alvina, Okta, Ronna, Zaskia, dan Khairunnisa, terima kasih sudah mau berjuang bersama, merantau jauh dari rumah demi sebuah tugas

akhir yang menjadi pilihan dan tanggungjawab kita, walau begitu banyak masalah, air mata, kegagalan, kesulitan, kita sudah berhasil melalui itu semua. Bahagia selalu ya!

14. Kepada Ibu Ratdiana, mba Devi, mba Diana, mba Dina, mas Sulthon, Bu Elly, Mbah Pujo dan rekan-rekan lainnya di Laboratorium *Research and Development* PT. Great Giant Pineapple terima kasih atas kesempatan pengalaman yang sangat luar biasa, semoga ilmu yang diberikan akan selalu bermanfaat untuk penulis kedepannya.
15. Kepada Ibu Oni Mastuti, S.Si, yang telah sangat baik kepada penulis. Beliau telah mengajarkan penulis bagaimana hidup secara disiplin dan menghargai waktu. Terima kasih bu!
16. *Last but not least*, untuk Shalsabilla Septiani, yaitu diriku sendiri. Terima kasih sudah sanggup untuk bertahan sampai saat ini. Terima kasih sudah berjuang dengan baik, mampu menguatkan diri dari berbagai masalah dan tekanan, juga tak pernah menyerah walau sesulit apapun itu keadaan yang kamu rasakan. Kelak, jika kamu merasa dirimu “jatuh” ingat selalu bahwa disetiap masa kamu juga akan merasakan nya, karena itu adalah bukti bahwa kamu hidup dan ingat bahwa kamu selalu sanggup dan bisa bertahan. Tumbuh dengan baik dan jangan lupa selalu ingat Allah, Orang tua, dan Mba mu ya. Jika nanti kamu sudah menggapai mimpi mu dan sukses, jangan lupakan mereka.

Semoga Allah SWT senantiasa membalas semua kebaikan dari berbagai pihak yang telah membantu. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Bandar Lampung, 19 Juli 2025

Penulis,

Shalsabilla Septiani

## DAFTAR ISI

Halaman

|                           |              |
|---------------------------|--------------|
| <b>DAFTAR TABEL .....</b> | <b>xviii</b> |
|---------------------------|--------------|

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b> | <b>xix</b> |
|---------------------------|------------|

|                             |          |
|-----------------------------|----------|
| <b>I. PENDAHULUAN .....</b> | <b>1</b> |
|-----------------------------|----------|

|                         |   |
|-------------------------|---|
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
|-------------------------|---|

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| 1.2 Tujuan Penelitian ..... | 3 |
|-----------------------------|---|

|                          |   |
|--------------------------|---|
| 1.3 Kerangka Pikir ..... | 4 |
|--------------------------|---|

|                                  |          |
|----------------------------------|----------|
| <b>II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b> | <b>5</b> |
|----------------------------------|----------|

|                 |   |
|-----------------|---|
| 2.1 Kompos..... | 5 |
|-----------------|---|

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| 2.2 Proses Pengomposan..... | 5 |
|-----------------------------|---|

|                           |   |
|---------------------------|---|
| 2.2.1 Fase Mesofilik..... | 6 |
|---------------------------|---|

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| 2.2.2 Fase Termofilik ..... | 7 |
|-----------------------------|---|

|                                               |   |
|-----------------------------------------------|---|
| 2.2.3 Fase Pendinginan atau Mesofilik II..... | 7 |
|-----------------------------------------------|---|

|                            |   |
|----------------------------|---|
| 2.2.4 Fase Pematangan..... | 8 |
|----------------------------|---|

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| 2.3 Mikroorganisme Pengomposan ..... | 8 |
|--------------------------------------|---|

|                   |   |
|-------------------|---|
| 2.3.1 Jamur ..... | 8 |
|-------------------|---|

|                     |   |
|---------------------|---|
| 2.3.2 Bakteri ..... | 9 |
|---------------------|---|

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 2.4 Biologi Bakteri Termofilik ..... | 10 |
|--------------------------------------|----|

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| 2.5 Enzim yang Dihasilkan Bakteri Termofilik ..... | 13 |
|----------------------------------------------------|----|

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 2.5.1 Enzim Amilase ..... | 13 |
|---------------------------|----|

|                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.5.2 Enzim Protease.....                                            | 14        |
| 2.5.3 Enzim Selulase.....                                            | 15        |
| 2.5.4 Enzim Katalase .....                                           | 16        |
| <b>III. METODE PENELITIAN.....</b>                                   | <b>17</b> |
| 3.1 Waktu dan Tempat.....                                            | 17        |
| 3.2 Alat dan Bahan .....                                             | 17        |
| 3.3 Rancangan Penelitian.....                                        | 18        |
| 3.4 Prosedur Kerja .....                                             | 18        |
| 3.4.1 Pengambilan Sampel.....                                        | 18        |
| 3.4.2 Pengenceran Berseri.....                                       | 18        |
| 3.4.3 Isolasi Bakteri Termofilik .....                               | 18        |
| 3.4.4 Pemurnian Bakteri Termofilik.....                              | 19        |
| 3.4.5 Identifikasi Karakter Makroskopis.....                         | 19        |
| 3.4.6 Identifikasi Karakterisasi Mikroskopis.....                    | 20        |
| 3.4.7 Identifikasi Karakterisasi Fisiologis.....                     | 21        |
| 3.5 Analisis Data.....                                               | 24        |
| 3.6 Diagram Alir .....                                               | 25        |
| <b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>                                 | <b>26</b> |
| 4.1 Hasil Penelitian.....                                            | 26        |
| 4.1.1 Isolasi dan Karakterisasi Makroskopis Bakteri Termofilik ..... | 26        |
| 4.1.2 Karakterisasi Mikroskopis .....                                | 27        |
| 4.1.3 Karakterisasi Fisiologis Enzimatik Bakteri Termofilik .....    | 30        |
| 4.2 Pembahasan .....                                                 | 37        |
| 4.2.1 Karakteristik Makroskopis.....                                 | 37        |
| 4.2.2 Identifikasi Karakteristik Mikroskopis .....                   | 38        |
| 4.2.3 Karakteristik Fisiologis .....                                 | 40        |
| <b>V. SIMPULAN DAN SARAN .....</b>                                   | <b>47</b> |
| 5.1 Simpulan.....                                                    | 47        |
| 5.2 Saran.....                                                       | 47        |

|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b> | <b>48</b> |
|-----------------------------|-----------|

**LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

| Tabel                                                    | Halaman |
|----------------------------------------------------------|---------|
| 1. Karakter Makroskopis Bakteri Termofilik.....          | 27      |
| 2. Uji KOH 3% Bakteri Termofilik.....                    | 28      |
| 3. Pewarnaan Gram Bakteri Termofilik.....                | 28      |
| 4. Pewarnaan Endospora Bakteri Termofilik .....          | 29      |
| 5. Indeks Enzimatik Amilase pada Bakteri Termofilik..... | 32      |
| 6. Indeks Enzimatik Protease Bakteri Temofilik .....     | 34      |
| 7. Indeks Enzimatik Selulase Bakteri Termofilik .....    | 36      |

## DAFTAR GAMBAR

| Gambar                                                                                                                                                                                                                                                          | Halaman |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1. Struktur bakteri. ....                                                                                                                                                                                                                                       | 10      |
| 2. Hasil positif uji enzim amilase.....                                                                                                                                                                                                                         | 14      |
| 3. Hasil positif uji protease.....                                                                                                                                                                                                                              | 14      |
| 4. Hasil positif uji selulase .....                                                                                                                                                                                                                             | 15      |
| 5. Hasil positif uji katalase .....                                                                                                                                                                                                                             | 16      |
| 6. Morfologi Bakteri .....                                                                                                                                                                                                                                      | 20      |
| 7. Diagram Alir Penelitian .....                                                                                                                                                                                                                                | 25      |
| 8. Empat koloni bakteri termofilik dengan karakteristik .....                                                                                                                                                                                                   | 26      |
| 9. Hasil pengamatan bentuk sel dan sifat Gram 4 isolat bakteri termofilik<br>yaitu SL1: bentuk sel basil, Gram positif (A); SL2:.....                                                                                                                           | 29      |
| 10. Hasil pengamatan bentuk spora dan warna spora 4 isolat bakteri<br>termofilik yaitu SL1: bentuk sel basil, warna hijau (A); SL2: bentuk<br>sel basil, warna hijau(B); SL3: bentuk sel basil, warna hijau (C); SL4:<br>bentuk sel basil, warna hijau(D) ..... | 30      |
| 11. Hasil uji enzim amilase pada isolat bakteri termofilik.....                                                                                                                                                                                                 | 31      |
| 12. Hasil uji enzim protease pada isolat bakteri termofilik yaitu SL1:<br>negatif (A), SL2: positif (B), SL3: negatif (C), SL4: negatif (D) .....                                                                                                               | 33      |
| 13. Hasil uji enzim selulase pada isolat bakteri termofilik yaitu SL1:<br>positif (A), SL2: positif (B), SL3: positif (C), SL4: positif (D).....                                                                                                                | 35      |
| 14. Hasil uji enzim katalase pada isolat bakteri termofilik yaitu SL1:<br>positif (A), SL2: positif (B), SL3: positif (C), SL4: positif (D).....                                                                                                                | 37      |

## **LAMPIRAN**

### Lampiran

1. Hasil Uji KOH 3%
2. Dokumentasi proses sampling
3. Dokumentasi proses isolasi

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pengomposan merupakan proses daur ulang limbah organik. Pengomposan adalah salah satu contoh proses pengolahan sampah secara aerobik dan anaerobik yang berjalan saling mendukung dan akan menghasilkan pupuk organik berupa kompos. Kompos dibuat dari semua jenis bahan organik yang memiliki sifat mudah terurai. Pengomposan sering didefinisikan sebagai suatu proses biologis yang memanfaatkan mikroorganisme hidup untuk mengubah material organik seperti kotoran hewan, sisa tumbuhan, serasah daun, dan sisa makanan menjadi kompos. Selain itu pengomposan juga bisa disebut dengan proses penguraian senyawa yang terkandung dalam bahan organik dengan perlakuan khusus. Pemanfaatan material organik sebagai bahan pembuatan kompos dikarenakan sifat material tersebut sudah tidak memiliki nilai ekonomis lagi (Maula *et al.*, 2024).

Secara ilmiah proses pengomposan dibedakan menjadi empat fase utama, yaitu fase mesofilik, fase termofilik, fase pendinginan atau mesofilik II, dan fase pematangan (Papale *et al.*, 2021). Faktor yang perlu diperhatikan pada proses pengomposan adalah suhu, kadar air, pH, dan waktu, karena faktor-faktor tersebut akan memengaruhi proses serta hasil pengomposan. Pada fase mesofilik, suhu kompos naik sampai mencapai sekitar 40<sup>0</sup> C karena adanya bakteri pembentuk asam. Selanjutnya saat memasuki fase termofilik suhu naik hingga mencapai antara 40 – 70<sup>0</sup> C. Pada fase termofilik, kompos akan didominasi oleh bakteri termofilik yang mampu bertahan pada suhu ekstrem. Selama fase termofilik, proses degradasi material organik berlangsung secara maksimal. Memasuki fase pendinginan suhu akan menurun secara

bertahap menjadi sekitar 40 – 45<sup>0</sup> C. Kemudian pada fase pematangan suhu kembali menurun perlahan dan terjadi stabilisasi pH sehingga kompos yang terbentuk akan bersifat stabil (Saraswati dan Praptana, 2017).

Bakteri termofilik adalah sekelompok bakteri yang dapat bertahan hidup dan tumbuh pada suhu antara 40 – 70<sup>0</sup> C. Bakteri termofilik memiliki peran penting dalam proses penguraian bahan organik secara cepat dan efisien. Bakteri termofilik memiliki enzim ekstraseluler yang bersifat termostabil sehingga efektif dan tidak akan rusak oleh suhu tinggi lingkungan. Beberapa jenis bakteri yang termasuk kedalam golongan termofilik adalah spesies *Bacillus*, spesies *Thermus*, dan *Actinobacteria* (Li *et al.*, 2021). Jenis enzim termostabil yang dihasilkan oleh bakteri termofilik diantaranya enzim lipase, amilase, protease, selulase, dan katalase yang dapat menjamin kesehatan organisme kompleks serta bermanfaat bagi tanah (Muqarramah *et al.*, 2023).

Bakteri termofilik berperan penting dalam proses pengomposan dengan meningkatkan laju penguraian bahan organik pada suhu tinggi. Bakteri termofilik hidup pada lingkungan bersuhu tinggi seperti sumber air panas, kawah gunung berapi, dan tempat pengomposan (Maula *et al.*, 2024). Bakteri spesies *Bacillus*, *Thermus*, dan *Actinobacteria* adalah bakteri termofilik yang dikenal efektif dalam penguraian bahan organik dan memiliki kemampuan menghasilkan berbagai enzim hidrolitik yang mempercepat penguraian zat-zat kompleks seperti protein dan selulosa (Li *et al.*, 2021). Spesies *Bacillus* dapat dijumpai pada sisa-sisa tanaman. Spesies *Bacillus* mampu menghasilkan enzim yang dapat menguraikan substrat alami yang membantu menjaga keseimbangan nutrisi (Maula *et al.*, 2024). Enzim yang dihasilkan dari *Bacillus* seperti protease dan selulase, bekerja dengan cara menghidrolisis ikatan kimiawi pada bahan organik, sehingga terjadi proses penguraian yang lebih efisien.

PT. Great Giant Pineapple memanfaatkan limbah tanaman nanas yang mengandung enzim bromelain (Haura *et al.*, 2021) sebagai bahan dasar untuk pengaplikasian pada proses pembuatan kompos. Kulit nanas mengandung

81,72% air; 20,87% serat kasar; 17,53% karbohidrat dan 4,41% protein. Kompos yang mengandung bromelain akan mengalami proses dekomposisi. Proses dekomposisi bahan organik akan mengakibatkan terjadinya perubahan struktur fisik dan enzim yang dilakukan oleh agen dekomposer (Andriyanto, 2019). Proses dekomposisi dimulai dari proses penghancuran atau pemecahan struktur fisik yang dilakukan oleh fauna tanah dan menjadi serasah. Bakteri termofilik pada kompos akan memproses secara enzimatik partikel-partikel bahan organik yang ada. Bakteri termofilik akan mengeluarkan enzim protease, selulase, amilase untuk menghancurkan molekul-molekul organik kompleks seperti protein dan karbohidrat dari serasah sehingga proses pengomposan akan terjadi secara cepat.

Penelitian mengenai pentingnya peran bakteri termofilik sebagai inokulum yang berpotensi untuk mempercepat proses pengomposan masih belum banyak dilakukan. Oleh karena itu penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai keberadaan jenis bakteri termofilik beserta karakteristik nya yang meliputi makroskopis, mikroskopis, dan fisiologis enzimatik yang terdapat di tumpukan kompos bagian dasar kedalaman 2 meter pada fase dekomposisi di *Compost Plant* PT. Great Giant Pineapple.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengisolasi bakteri termofilik pada dasar tumpukan kompos kedalaman 2 meter fase dekomposisi di *Compost Plant* PT. Great Giant Pineapple.
2. Mengetahui karakter morfologi makroskopis, mikroskopis, serta fisiologis enzimatik bagian dasar fase dekomposisi di *Compost Plant* PT. Great Giant Pineapple.

### 1.3 Kerangka Pikir

Pengomposan adalah suatu proses biologis yang memanfaatkan mikroorganisme hidup untuk mengubah bahan organik seperti kotoran hewan, sisa-sisa tanaman, dan serasah daun menjadi kompos. Kompos dibuat dari bahan organik yang memiliki sifat mudah terurai. Pengomposan dibedakan menjadi empat fase utama, yaitu fase termofilik, fase mesofilik, fase pendinginan, dan fase pematangan. Fase mesofilik terjadi apabila suhu kompos mencapai sekitar 40<sup>0</sup> C karena adanya bakteri pembentuk asam. Selanjutnya saat memasuki fase termofilik suhu akan meningkat mencapai 70<sup>0</sup> C, fase termofilik didominasi oleh bakteri termofilik yang memiliki kemampuan untuk hidup pada suhu ekstrem. Selama fase termofilik berlangsung, bahan organik akan terdegradasi secara maksimal. Lalu saat fase pematangan suhu akan menurun secara perlahan dan terjadi stabilisasi pH sehingga kompos yang dihasilkan akan bersifat stabil.

Bakteri termofilik dapat bertahan hidup pada lingkungan yang bersuhu tinggi seperti sumber air panas, kawah gunung berapi, dan proses pengomposan. Bakteri termofilik memiliki enzim ekstraseluler yang bersifat termostabil sehingga dapat bertahan hidup pada lingkungan dengan suhu yang ekstrem. Keberadaan bakteri termofilik dalam proses pengomposan memiliki peran penting yaitu untuk melakukan penguraian bahan organik secara cepat dan efisien serta menghasilkan kompos dengan kualitas yang baik.

Bakteri termofilik memiliki potensi untuk dijadikan sebagai inokulum untuk mempercepat proses pengomposan karena menghasilkan enzim yang bersifat termostabil. Enzim yang dihasilkan oleh bakteri termofilik berperan dalam mendegradasi polimer bahan organik sehingga terurai secara cepat dan baik. Oleh karena itu perlu dilakukan isolasi dan karakterisasi makroskopis, mikroskopis, dan fisiologis enzimatik bakteri termofilik yang diisolasi dari bagian dasar tumpukan kompos kedalaman 2 meter pada fase dekomposisi di *Compost Plant* PT. Great Giant Pineapple.

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Kompos**

Kompos merupakan sisa hasil bahan organik yang umumnya berasal dari kotoran hewan dan sisa tanaman yang sudah tidak terpakai. Bahan organik yang dimanfaatkan menjadi kompos umumnya akan melewati tahapan dekomposisi. Dekomposisi merupakan proses perubahan komposisi pada bahan organik dengan bantuan mikroorganisme pada suhu tertentu. Proses dekomposisi akan merubah senyawa organik pada bahan organik tersebut menjadi lebih sederhana (Ifa *et al.*, 2020).

Kompos banyak dimanfaatkan karena memiliki beberapa kelebihan seperti tidak merusak lingkungan, tidak memerlukan biaya yang besar, serta proses pembuatannya yang mudah untuk dilakukan. Kompos dapat dijadikan sebagai sumber penyedia unsur hara makro dan mikro mineral. Kompos mampu meningkatkan kapasitas tukar kation tanah, meningkatkan aktivitas bahan mikroorganisme tanah, dan penggunaan kompos tidak menyebabkan polusi bagi tanah dan air (Kolo & Sio, 2020). Selain itu kompos dapat mengurangi erosi dengan memungkinkan lebih banyak udara yang masuk ke dalam tanah.

### **2.2 Proses Pengomposan**

Proses pengomposan merupakan tindakan khusus yang dilakukan oleh mikroba. Temperatur, pH, rasio karbon terhadap nitrogen (C/N), oksigen atau aerasi, dan kelembaban substrat merupakan contoh faktor internal yang akan mempengaruhi proses pengomposan. Faktor eksternal yang

mempengaruhi pengomposan meliputi kondisi lingkungan, metode yang dipilih, dan bahan awal. Pertumbuhan dan reproduksi mikroba yang terlibat dalam pengomposan dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk tingkat aerasi atau oksigen, suhu, pH, kelembaban substrat, dan rasio karbon terhadap nitrogen (C/N). Faktor-faktor tersebut secara kolektif berkontribusi pada kondisi optimal untuk aktivitas mikroorganisme selama proses pengomposan berlangsung (Flomo *et al.*, 2023).

Proses pengomposan berlangsung secara aerob (memerlukan oksigen) dan anaerob (tanpa oksigen). Pengomposan secara aerob akan menghasilkan senyawa berupa  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , unsur hara, dan sebagian asam humat (humus). Sedangkan pengomposan secara anaerob akan menghasilkan senyawa  $\text{CH}_4$  dan  $\text{CO}_2$  serta beberapa senyawa yang akan menimbulkan bau busuk. Bau busuk yang ada pada kompos berasal dari senyawa  $\text{H}_2\text{S}$  dan sulfur organik seperti merkaptan. Energi yang dihasilkan dalam proses pengomposan secara aerob jauh lebih besar (484 – 674 kcal/mol glukosa) dibanding secara anaerob (26 kcal/mol glukosa), sehingga proses pengomposan secara aerob berlangsung lebih cepat dibandingkan anaerob. Secara ilmiah proses pengomposan dicirikan oleh empat fase, yaitu fase mesofilik, fase termofilik, fase pendinginan atau mesofilik II, dan fase pematangan (Papale *et al.*, 2021).

### 2.2.1 Fase Mesofilik

Fase mesofilik merupakan fase atau tahapan awal pada proses pengomposan. Pada fase ini terjadi peningkatan suhu dengan cepat sekitar  $45^0\text{C}$ . Peningkatan suhu terjadi karena adanya mikroba berupa bakteri dan fungi pembentuk asam. Fase mesofilik juga merupakan penentu dimulainya degradasi dari bahan organik. Pada fase ini, gula yang larut dan pati akan dipecah oleh bakteri dan jamur. Durasi proses fase mesofilik terjadi antara 24 sampai 72 jam. Suhu pada proses ini akan terus meningkat ke tahapan fase termofilik selama 7 – 14 hari (Finore *et al.*, 2023). Jumlah organisme pada fase mesofilik tiga kali lebih tinggi dari pada jumlah organisme pada fase termofilik.

### 2.2.2 Fase Termofilik

Fase termofilik ditandai dengan peningkatan suhu antara 45 – 70<sup>0</sup> C. Fase ini akan berlangsung dari beberapa hari hingga beberapa minggu. Pada tahapan fase termofilik kondisi tersebut didominasi oleh bakteri jenis termofilik (tahan panas). Pada kisaran suhu termofilik, proses terjadinya degradasi dan stabilisasi bahan organik akan berlangsung secara maksimal. Suhu pada fase termofilik akan tetap konstan selama beberapa hari menyesuaikan dengan sifat dari bahan organik pembuatan kompos (Saraswati & Praptana, 2017).

Menurut Finore *et al.* (2023) bakteri dapat terlibat langsung dalam fase termofilik dari proses pengomposan untuk mengolah limbah padat organik. Finore *et al.* (2023) menjelaskan dalam jurnal nya bahwa genus bakteri *Bacillus*, *Termus*, dan *Clostridium* mampu hidup dan menunjukkan aktivitas metabolisme nya pada suhu diatas 60<sup>0</sup> C. Spesies dari genus bakteri *Bacillus* diantaranya adalah *Bacillus stearothermophilus*, *Bacillus subtilis*, dan *Bacillus coagulans* mampu bertahan pada suhu diatas 70<sup>0</sup> C.

### 2.2.3 Fase Pendinginan atau Mesofilik II

Fase pendinginan akan terjadi penurunan suhu secara bertahap. Fase pendinginan ditandai dengan penurunan aktivitas mikroorganisme pada hari ke-14 sampai hari ke-28. Aktivitas ini ditandai dengan penurunan suhu pengomposan sampai sama dengan suhu lingkungan yaitu sekitar 40 - 45<sup>0</sup> C. Selama tahap pendinginan, akan terjadi penguapan air dari material yang sedang terjadi proses pengomposan (Saraswati & Praptana, 2017). Pada fase ini jumlah bakteri akan menurun dan terjadi peningkatan pada jamur yang memecah agar serta residu lignin. Fase ini berlangsung dari beberapa hari sampai beberapa bulan, yaitu sampai terjadinya penguraian senyawa karbon berlangsung, dan berakhir ketika kompos yang stabil dan matang

diperoleh dengan C/N yang lebih rendah dan nilai pH berupa basa ringan.

#### **2.2.4 Fase Pematangan**

Selama fase pematangan suhu tumpukan kompos akan turun ke tingkat suhu lingkungan (20-30<sup>0</sup> C). Selama fase ini akan terjadi proses kondensasi senyawa karbon dan polimerisasi, yang selanjutnya membantu dalam formulasi asam fulvik dan humat (Meena *et al.*, 2021).

### **2.3 Mikroorganisme Pengomposan**

Mikroorganisme yang ditemukan dalam kompos sebagian besar adalah golongan jamur dan bakteri. Semua mikroorganisme yang ada dalam kompos ditemukan dalam kondisi alami normal lingkungannya berasal (Nemet *et al.*, 2021).

#### **2.3.1 Jamur**

Jamur merupakan organisme yang memiliki peranan sangat penting karena mampu membantu proses dekomposisi suatu senyawa organik yang kompleks menjadi lebih sederhana. Jamur memiliki inti sel, berspora, tidak berklorofil seperti bakteri, memiliki dinding sel berupa khitin, dan umumnya berkembang biak secara seksual dan aseksual. Jamur bersifat heterotroph karena bertahan hidup dengan cara memanfaatkan zat-zat yang berasal dari organisme lain. Jamur umumnya dapat dikelompokkan menjadi jamur mikroskopis dan makroskopis termasuk yang dapat kita konsumsi sehari-hari (Lingga *et al.*, 2021).

Jamur diketahui hanya dapat tumbuh pada waktu dan kondisi tertentu, karena kemampuan untuk bertahan hidupnya terbatas. Menurut Norfajrina *et al.* (2021) pertumbuhan jamur dipengaruhi oleh faktor

lingkungan yakni faktor biotik dan abiotik. Faktor biotik berhubungan dengan persaingan sesama jamur itu sendiri untuk mendapatkan makanan atau tempat wilayah hidupnya. Sedangkan faktor abiotik adalah kondisi lingkungan tempat tinggal seperti kelembaban udara, suhu, pH, dan intensitas cahaya.

Jamur makroskopis secara umum dapat dijumpai di lingkungan dengan suhu yang lembab. Jamur tersebut dapat tumbuh di tempat-tempat yang basah atau lembab, batang pohon, makanan yang sudah basi, ataupun tempat yang memiliki kandungan zat organik yang tinggi. Jamur dapat tumbuh dengan cepat karena tidak terlalu memerlukan sinar matahari dalam proses pertumbuhannya (Hanifa *et al.*, 2022).

### 2.3.2 Bakteri

Bakteri merupakan organisme yang secara struktural paling sederhana dan paling melimpah di bumi. Bakteri memiliki peran penting dalam produktivitas dan mendaur ulang zat-zat yang penting bagi semua bentuk kehidupan. Bakteri sebagian besar berbentuk sederhana, dengan struktur dasar seperti basil, *coccus*, dan spiral (Fifendy, 2017).

#### a. Basil

Bakteri yang berbentuk seperti batang dapat disebut dengan basil. Bentuk basil bakteri dapat dibedakan atas 3 jenis yaitu basil tunggal (bakteri hanya berbentuk satu batang tunggal), diplobasil (bakteri berbentuk dua batang tunggal), dan streptobasil (bakteri dengan bentuk batang bersusun membentuk rantai).

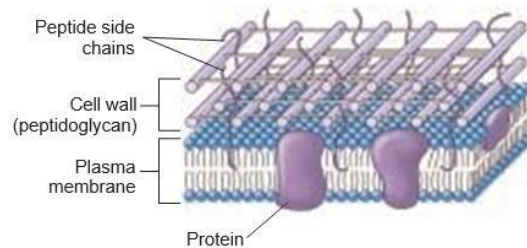
#### b. *Coccus*

Bakteri berbentuk bulat atau bola dikenal juga dengan sebutan *coccus*. Bakteri bentuk ini dibedakan menjadi 5 jenis yaitu *monococcus* (berbentuk bola tunggal), *diplococcus* (bentuk dua bola berhimpit), sarkina (berbentuk kelompok empat empat sehingga menyerupai kubus), *streptococcus* (bakteri bentuk bola

namun memanjang seperti rantai), dan *staphylococcus* (berbentuk bola yang berkoloni membentuk tidak teratur).

c. Spiral

Bakteri berbentuk spiral memiliki tiga macam jenis yaitu spiral, vibrio, dan spirosetag.



**Gambar 1.** Struktur bakteri (Mohanna, 2016)

Bakteri terbungkus dalam dinding sel yang terdiri dari satu atau lebih lapisan polisakarida. Dinding sel bakteri merupakan struktur penting karena mampu mempertahankan bentuk sel dan melindungi sel dari pembengkakan. Dinding sel bakteri biasanya terdiri dari peptidoglikan. Pada beberapa jenis bakteri, peptidoglikan akan membentuk jaringan tebal dan kompleks disekitar permukaan luar sel. Jenis bakteri dapat diidentifikasi menggunakan proses pewarnaan Gram. Bakteri golongan Gram positif memiliki dinding peptidoglikan yang lebih tebal dan diberi cat utama berupa *crystal violet* yang berwarna ungu. Bakteri Gram negatif yang lebih umum mengandung sedikit peptidoglikan tidak akan mampu mempertahankan warna dari *Crystal violet*, tetapi akan mempertahankan warna merah dari safranin (Mohanna, 2016).

## 2.4 Biologi Bakteri Termofilik

Bakteri termofilik dikenal sebagai bakteri yang toleran terhadap suhu tinggi, sehingga mampu bertahan hidup pada suhu panas atau ekstrem (Indriati *et al.*, 2023). Menurut Mohammad *et al.* (2017) bakteri termofilik dapat dikategorikan menjadi termofil sedang (pertumbuhan optimum, 50-60<sup>0</sup> C),

termofil ekstrem (pertumbuhan optimum, 60-80<sup>0</sup> C), dan hypertermofil (pertumbuhan optimum, 80-110<sup>0</sup> C). Bakteri termofilik dapat hidup dalam kondisi aerob atau anaerob, juga beberapa diantaranya dapat membentuk spora. Bakteri termofilik menunjukkan fungsi dan metabolisme normal di lingkungan dengan kondisi yang panas. Menurut Bahri *et al.* (2021) fisiologi bakteri termofilik memiliki beberapa karakteristik utama yang memungkinkan mereka bertahan dan berfungsi di lingkungan dengan suhu yang tinggi, yaitu:

1. Bakteri termofilik memiliki fase yang khas, yakni fase lag untuk beradaptasi pada lingkungan nya selama beberapa jam awal, lalu diikuti fase eksponensial dengan pertumbuhan yang cepat dan berakhir pada fase stasioner saat pertumbuhan melambat atau berhenti.
2. Bakteri termofilik memiliki membran lipid sel yang mengandung banyak asam lemak jenuh dan membentuk ikatan hidrofobik yang cukup kuat, sehingga membran tetap stabil dan fungsional pada suhu tinggi.
3. Bakteri termofilik memiliki kandungan enzim dan protein yang lebih stabil serta optimal pada suhu tinggi. Bakteri termofilik memiliki ikatan ionik yang kuat dan struktur hidrofobik yang akan menurunkan risiko denaturasi.

Secara keseluruhan, fisiologi bakteri termofilik didukung oleh struktur pada membran, protein, dan DNA yang memungkinkan mereka bertahan dan berfungsi optimal pada suhu yang tinggi (Zuraidah *et al.*, 2020).

Morfologi bakteri termofilik umumnya memiliki bentuk sel berupa batang (basil) yang bersifat Gram positif (Zuraidah *et al.*, 2020). Secara makroskopis bakteri termofilik kebanyakan akan menunjukkan pigmentasi warna antara putih, krem, atau krem kekuningan (Kasi *et al.*, 2020). Hasil isolasi bakteri termofilik biasanya akan menghasilkan bentuk koloni, tepi koloni, serta elevasi koloni yang berbeda-beda. Bentuk koloni bakteri termofilik dapat berupa *wrinkled* (bentuk koloni berkerut), *round* (bentuk koloni bulat), *filamentous* (koloni berfilamen). Tepi koloni dari bakteri termofilik umumnya beragam seperti *irregular* (tepi koloni tidak beraturan),

*undulate* (tepi koloni sedikit bergelombang), *cilliate* (tepi koloni berserabut) ataupun *entire* (tepi koloni rata). Sedangkan elevasi koloni biasanya akan datar atau timbul, serta permukaan koloni ada yang licin, halus mengkilap, dan kasar (Kolwzan *et al.*, 2011).

Bakteri termofilik merupakan kelompok bakteri yang mampu hidup pada suhu tinggi. Bakteri termofilik memiliki peran di dalam ekosistem sebagai agen biodegradasi berbagai macam bahan organik, hal ini dikarenakan bakteri termofilik memiliki kemampuan untuk menghasilkan berbagai jenis enzim ekstraseluler seperti protease, amilase, atau selulase. Bakteri termofilik banyak ditemukan di berbagai habitat seperti sumber air panas, gunung berapi, kompos, laut dalam dan di berbagai area geothermal. Kawasan area yang bersuhu panas atau tinggi banyak dihuni oleh kelompok bakteri dan archae, diantaranya kelompok bakteri aerob yaitu *Thermomicrobium*, *Thermoleophyllum*, dan juga kelompok bakteri anaerob *Thermoshipo* dan *Thermotoga* (Rukmi *et al.*, 2018).

Klasifikasi bakteri termofilik umumnya didasarkan pada suhu pertumbuhan optimal serta filum. Klasifikasi bakteri berdasarkan suhu pertumbuhan optimal terbagi menjadi tiga, yakni: (1) termofilik sederhana, yang mampu tumbuh optimal pada suhu 45<sup>0</sup> C – 64<sup>0</sup> C; (2) termofilik ekstrem, mampu tumbuh optimal pada suhu 65<sup>0</sup> C – 79<sup>0</sup> C; dan (3) hypertermofilik, tumbuh optimal pada suhu diatas 80<sup>0</sup> C - 110<sup>0</sup> C, dan tidak akan tumbuh dibawah suhu 45<sup>0</sup> C (Corneles *et al.*, 2023).

Selain klasifikasi berdasarkan suhu, bakteri termofilik dapat diklasifikasikan secara taksonomi ke dalam beberapa genus dan filum. Filum Firmicutes diketahui sebagai kelompok bakteri yang dapat hidup pada suhu tinggi atau termofilik. Salah satu kelas dari filum ini yaitu dari genus *Bacilli*, misalnya *Bacillus thermoleovorans* dan *Bacillus subtilis*. *Bacillus* digolongkan sebagai bakteri termofilik, psikrofilik, asidofilik, alkalifilik, dan halofilik yang mampu beradaptasi pada kisaran suhu, pH, dan juga konsentrasi garam

yang tinggi (Pandey *et al.*, 2015). Filum Actinobacteria, contohnya genus *Actinomadura* sp. termasuk bakteri termofilik yang dapat hidup pada suhu panas mencapai 55<sup>0</sup> C (Chaudhary & Prabu, 2016).

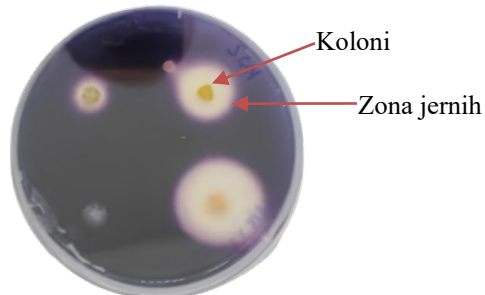
## 2.5 Enzim yang Dihasilkan Bakteri Termofilik

Mayoritas enzim yang diproduksi oleh bakteri termofilik bersifat termostabil, yang artinya enzim tersebut tahan terhadap denaturasi pada suhu tinggi (Cornejo *et al.*, 2024). Enzim termostabil merupakan enzim yang sangat efektif pada suhu tinggi dan tidak akan rusak oleh suhu ekstrim. Enzim termostabil menunjukkan tingkat ketahanan yang lebih tinggi terhadap protein denaturasi, pH ekstrem, dan pelarut organik jika dibandingkan dengan enzim mesofilik (Indriati *et al.*, 2023). Bakteri termofilik menghasilkan enzim termostabil ekstraseluler, seperti protease, amilase, selulase, katalase, dan lainnya. Bakteri ini dapat mengubah lipid dan karbohidrat disekitarnya menjadi sumber energi dan karbon, dengan ini bakteri termofilik lebih cepat tumbuh daripada bakteri mesofilik (Toh *et al.*, 2023).

### 2.5.1 Enzim Amilase

Amilase merupakan enzim komersial yang dapat menghidrolisis amilosa dan menghasilkan glukosa. Amilase yang berasal dari bakteri termofilik memiliki stabilitas termal yang tinggi, dapat stabil dalam kondisi lingkungan yang lembab, dan dapat bereaksi dengan substrat. Produksi enzim ini dipengaruhi oleh suhu, pH, konsentrasi enzim, konsentrasi substrat, dan efek inhibitor (Budiharjo *et al.*, 2024). Bakteri termofilik memiliki kandungan berupa enzim salah satunya yaitu enzim amilase. Enzim amilase dapat dilakukan uji dengan menumbuhkan sampel diatas media selektif yang nantinya akan ditandai dengan terbentuknya zona jernih pada media. Zona jernih yang terbentuk disekeliling koloni diindikasikan sebagai isolat

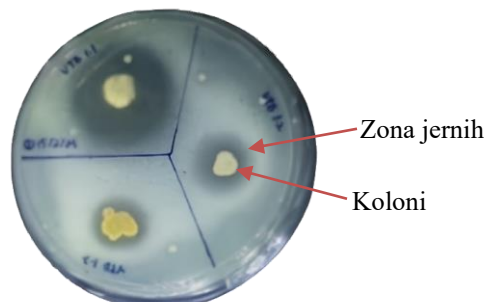
bakteri termofilik penghasil enzim amilase karena dapat menghidrolisis pati di sekeliling koloni.



**Gambar 2.** Hasil positif uji enzim amilase (Novitasari *et al.*, 2021)

### 2.5.2 Enzim Protease

Enzim protease adalah enzim yang mampu menghidrolisis suatu protein menjadi senyawa yang lebih sederhana seperti ikatan peptida dan asam amino dengan bantuan dari molekul air. Enzim protease memiliki kemampuan tahan terhadap panas atau lingkungan yang ekstrem. Lingkungan ekstrem ini meliputi suhu lingkungan yang tinggi seperti yang dicirikan oleh bakteri termofilik. Enzim protease dapat dilakukan uji keberadaannya pada bakteri termofilik dengan menumbuhkannya pada media yang selektif dan mengandung 3% susu skim. Hasil akhir positif dari uji enzim amilase adalah terbentuknya zona jernih disekitar koloni yang disebabkan oleh bakteri karena mensekresikan protease netral ke lingkungannya sehingga protease susu akan terhidrolisis dan menyebabkan terbentuknya zona jernih tersebut (Firliani *et al.*, 2015).

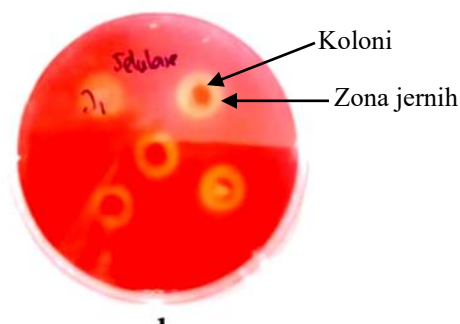


**Gambar 3.** Hasil positif uji protease (Amanina *et al.*, 2022)

Menurut Amanina *et al.* (2022) terdapat dua faktor yang memengaruhi hasil uji enzim protease. Pertama adalah kandungan media yang digunakan sebagai sumber nutrisi bagi perkembangan bakteri. Pada uji ini digunakan penambahan berupa *Skim Milk Agar* (SMA) dengan tujuan memiliki nutrisi seperti kasein, kalsium, kalium, magnesium, fosfor, dan lain-lain. Zona jernih yang terbentuk menunjukkan bahwa protease mampu menghidrolisis molekul kasein pada substrat menjadi peptida dan asam amino. Faktor kedua adalah suhu, bakteri termofilik mampu tumbuh pada suhu diatas 50<sup>0</sup> C dan mampu menghasilkan zona jernih pada media.

### 2.5.3 Enzim Selulase

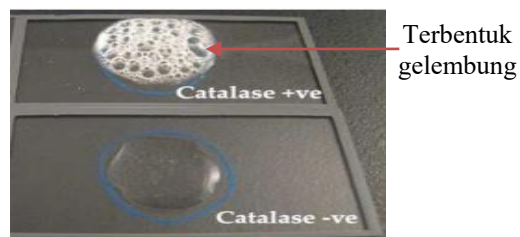
Selulase merupakan enzim kompleks yang digunakan untuk memecah selulosa menjadi glukosa. Bakteri termofilik memiliki kandungan enzim selulase didalamnya. Enzim selulase memiliki kestabilan dan ketahanan yang tinggi pada suhu panas. Suhu panas merupakan ciri khas dari tanda kehidupan oleh bakteri termofilik, yang artinya enzim jenis selulase akan ada di bakteri termofilik. Pengujian adanya kandungan enzim selulase pada bakteri termofilik dilakukan dengan menumbuhkannya pada media selektif yang ditambahkan dengan CMC (*Carboxymethyl cellulose*) (Huwae & Aditiawati, 2020).



**Gambar 4.** Hasil positif uji selulase (Huwae & Aditiawati, 2020)

#### 2.5.4 Enzim Katalase

Katalase merupakan enzim yang mengkatalis penguraian hidrogen peroksida menjadi  $H_2O$  dan  $O_2$ . Enzim katalase umumnya mampu bertahan hidup dalam oksigen dan merupakan enzim yang paling umum ditemukan di organisme utamanya bakteri. Pengujian enzim katalase pada bakteri termofilik dilakukan tanpa menggunakan media, akan tetapi ditetaskan dengan larutan berupa hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ). Hasil positif dari uji ini ditandai dengan terbentuknya gelembung gas (Khatoon *et al.*, 2022).



**Gambar 5.** Hasil positif uji katalase (Khatoon *et al.*, 2022)

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2024 hingga Maret 2025. Sampel kompos diambil dari *Compost Plant* PT. Great Giant Pineapple. Isolasi bakteri dari sampel kompos dilaksanakan di Laboratorium Riset PT. Great Giant Pineapple.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian untuk isolasi dan karakterisasi bakteri termofilik meliputi plastik steril, botol steril, autoklaf, oven, inkubator, cawan petri, tabung reaksi, rak tabung reaksi, *vortex mixer*, pipet tetes, *hotplate*, *magnetic stirrer*, neraca analitik, gelas beaker, gelas ukur, lampu spiritus, korek api, mikropipet, *drigalski*, ose bulat, *Biological Safety Cabinet*, sendok, *aluminium foil*, mikroskop, *object glass* dan *cover glass*.

Sedangkan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sampel dari tumpukan kompos di *Compost Plant* PT. GGP yang di ambil pada saat fase dekomposisi, larutan NaCl 0,9%, aquades, alcohol 70%, larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 3%, susu skim 3%, media *Nutrient Agar* (NA), *Nutrient Broth* (NB), *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) 1%, media agar pati (*Agar Starch*), larutan iodium 1%, *congo red*, KOH 3%, cat Gram (larutan *Crystal violet*, lugol iodin, alcohol, dan safranin), *plastic wrap*, kertas label, dan tisu.

### 3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif eksploratif untuk mengetahui jenis-jenis bakteri termofilik yang terdapat pada bagian dasar tumpukan kompos saat fase 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 Kerja

#### 3.4.1 Pengambilan Sampel

Sampel kompos diambil dari bagian dasar tumpukan *Compost Plant* di PT. GGP dengan terlebih dahulu menggali kompos sampai dengan kedalaman 2 m dari permukaan. Sampel kompos diambil dari 1 titik sebanyak 25 gr, lalu dimasukkan ke dalam plastik tahan panas yang steril. Sampel kompos disimpan di dalam *cooler box* untuk dilakukan isolasi di laboratorium.

#### 3.4.2 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).

#### 3.4.3 Isolasi Bakteri Termofilik

Isolasi bakteri dilakukan dengan metode *spread plate* pada media *Nutrient Broth* + Agar 5% dengan pH media 4,7. Sebanyak 0,1 mL diambil dari pengenceran  $10^{-6}$  hingga  $10^{-10}$  menggunakan mikropipet kemudian diinokulasi ke dalam cawan petri yang berisi media NB +

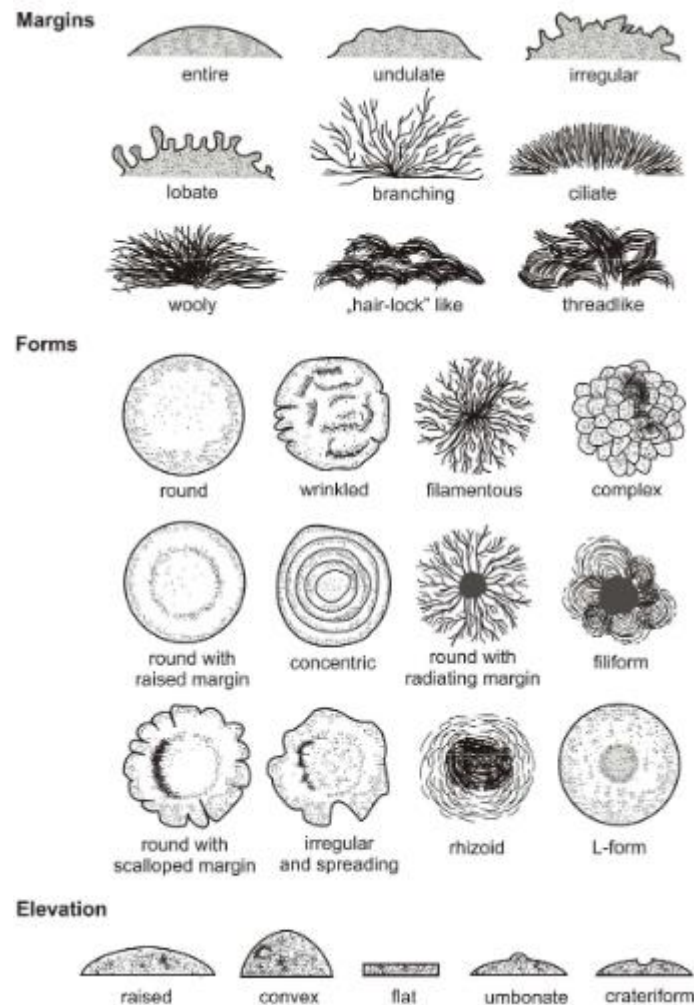
Agar 5% kemudian diratakan dengan menggunakan *drigalski*. Isolasi bakteri diulang sebanyak dua kali untuk masing-masing pengenceran dan diinkubasi pada suhu 50<sup>0</sup> C selama 24 jam (Saidan *et al.*, 2024).

#### **3.4.4 Pemurnian Bakteri Termofilik**

Pemurnian bakteri dilakukan dengan mengambil koloni tunggal yang tumbuh dari cawan petri hasil isolasi. Pemurnian bakteri dilakukan dengan metode *streak plate*. Sebanyak 1 ose koloni dari hasil isolasi digoreskan pada permukaan media NA. Kemudian di inkubasi pada suhu 50<sup>0</sup> C selama 24 jam. Tujuan dilakukannya pemurnian adalah agar didapatkan koloni tunggal. Koloni tunggal yang diperoleh kemudian diinokulasikan sebanyak 1 ose pada media agar miring sebagai stok untuk dilakukan identifikasi dan karakterisasi secara makroskopis, mikroskopis, dan aktivitas enzimatik (Saidan *et al.*, 2024).

#### **3.4.5 Identifikasi Karakterisasi Makroskopis**

Pengamatan morfologi bakteri secara makroskopis pada media agar meliputi bentuk, elevasi, tepian, dan warna koloni yang tumbuh. Pengamatan ini dilakukan setelah 24 jam masa inkubasi.



**Gambar 6.** Morfologi Bakteri (Kolwzan *et al.*, 2011)

### 3.4.6 Identifikasi Karakterisasi Mikroskopis

Identifikasi karakterisasi mikroskopis bakteri termofilik dilakukan dengan uji KOH 3%, pewarnaan Gram, dan pewarnaan endospora.

#### a) Uji KOH 3%

Uji KOH 3% dilakukan dengan meneteskan sebanyak 1 tetes larutan KOH 3% pada *object glass* kemudian diambil 1 ose isolat bakteri berumur 24 jam, lalu diratakan dan kemudian diamati. Hasil uji positif ditandai dengan terbentuknya lendir pada *object glass* yang menandakan bakteri yang diuji memiliki sifat Gram negatif, namun sebaliknya apabila tidak menghasilkan lendir

maka uji dinyatakan negatif dan menandakan bakteri memiliki sifat Gram positif. Tujuan dilakukannya uji KOH yaitu untuk mengetahui bakteri yang didapatkan merupakan golongan Gram negatif atau Gram positif (Dash & Payyapilli, 2016).

#### **b) Pewarnaan Gram**

Biakan bakteri diambil sebanyak 1 ose ke atas *object glass* secara aseptik lalu diratakan dan dilakukan fiksasi. Preparat lalu ditetesi *crystal violet* dan didiamkan selama 1 menit, kemudian dibilas dengan aquades mengalir dan dikeringanginkan. Preparat ditetesi lugol iodin dan didiamkan selama 1 menit kemudian bilas dengan aquades mengalir dan dikeringanginkan. Preparat ditetesi alkohol 70% dan diamkan 30 detik hingga lapisan tampak lebih pucat. Terakhir preparat ditetesi dengan safranin, lau diamkan selama 1 menit kemudian bilas dengan aquades mengalir dan dikeringanginkan.

#### **c) Pewarnaan Endospora**

Biakan bakteri diambil sebanyak 1 ose ke atas *object glass* secara aseptik lalu diratakan dan difiksasi. Preparat kemudian ditetesi *malachite green* selama 10 menit lalu dibilas dengan aquades mengalir dan dikeringanginkan. Preparat lalu ditetesi safranin selama 10 detik, kemudian dibilas dengan aquades mengalir dan dikeringanginkan. Selanjutnya preparat dapat diamati dibawah mikroskop mulai dari perbesaran terkecil hingga terbesar (Agustina dkk., 2013).

### **3.4.7 Identifikasi Karakterisasi Fisiologis**

Identifikasi karakterisasi fisiologis enzimatik yang dilakukan meliputi uji enzim amilase, protease, selulase, dan katalase.

**a) Uji Aktivitas Enzim Amilase**

Uji aktivitas enzim amilase dilakukan untuk mengetahui kelompok bakteri yang menghasilkan enzim amilase. Biakan bakteri hasil pemurnian digoreskan 1 ose kemudian diinokulasi dengan metode titik pada media agar pati dan diinkubasi pada suhu 50<sup>0</sup> C selama 24 jam. Setelah diinkubasi isolat tersebut disiram dengan 1% larutan iodin. Hasil positif uji enzim amilase ditandai dengan terbentuknya zona bening di sekitar koloni yang tumbuh (Saidan *et al.*, 2024).

**b) Uji Aktivitas Enzim Protease**

Uji aktivitas enzim protease dilakukan untuk mengetahui kelompok bakteri yang menghasilkan enzim protease. Biakan bakteri hasil pemurnian digoreskan 1 ose kemudian diinokulasi dengan metode titik pada media NA yang mengandung 3% susu skim dan diinkubasi pada suhu 60<sup>0</sup> C selama 24 jam. Hasil positif uji enzim protease ditandai dengan terbentuknya zona bening disekitar koloni yang tumbuh (Saidan *et al.*, 2024).

**c) Uji Aktivitas Enzim Selulase**

Uji aktivitas enzim selulase dilakukan untuk mengetahui kelompok bakteri yang menghasilkan enzim selulase. Biakan bakteri hasil pemurnian digoreskan 1 ose kemudian diinokulasi dengan metode titik pada media NB + agar 5% yang mengandung 1% CMC dan diinkubasi pada suhu 60<sup>0</sup> C selama 24 jam. Setelah diinkubasi isolat tersebut disiram dengan larutan *congo red* selama 15 menit, kemudian dibuang dan dibilas dengan NaCl 1 M selama 15 menit. Hasil positif uji enzim selulase ditandai dengan terbentuknya zona bening (Saidan *et al.*, 2024).

#### d) Uji Aktivitas Enzim Katalase

Uji aktivitas enzim katalase dilakukan untuk melakukan identifikasi kelompok bakteri yang menghasilkan enzim katalase. Dilakukan dengan cara *object glass* ditetesi satu tetes larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 3%, kemudian ditambahkan biakan koloni bakteri dan dihomogenkan. Hasil uji enzim katalase dinyatakan positif apabila terbentuk gelembung dan negatif apabila tidak terbentuk gelembung (Khatoon *et al.*, 2022).

#### e) Penentuan Indeks Enzimatik

Besarnya aktivitas fisiologis dari enzim protease, enzim amilase, dan enzim selulase 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.

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

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

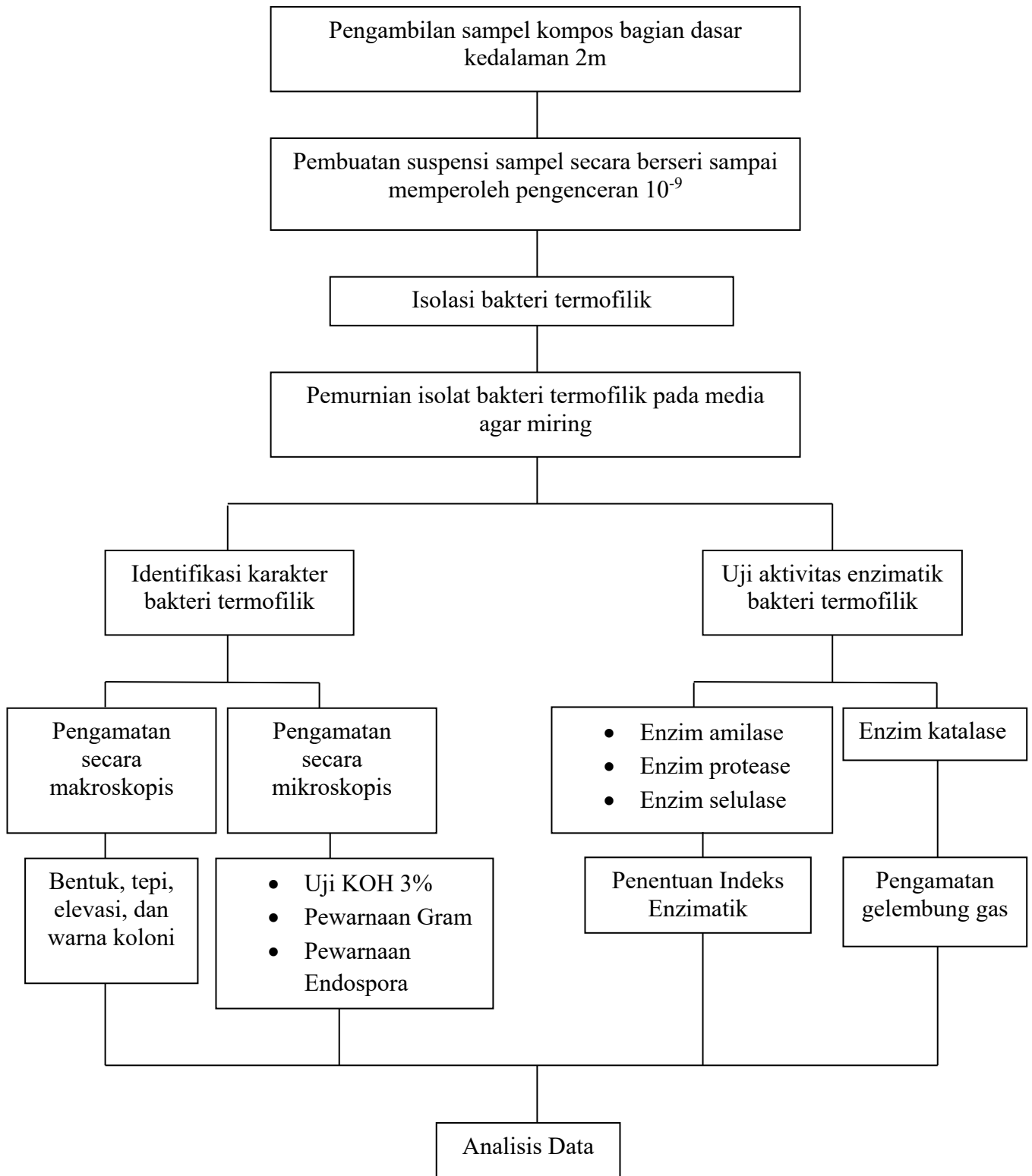
5. Hasil perhitungan kemudian dimasukkan kedalam rumus indeks enzimatik :

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

### **3.5 Analisis Data**

Data karakter makroskopis dan mikroskopis yang diperoleh dibandingkan secara visual dengan referensi yang ada. Data karakter fisiologis yaitu aktivitas enzim ditentukan dengan mengamati zona jernih yang terbentuk pada media di sekitar koloni. Hasil pengamatan zona jernih kemudian diukur untuk menentukan indeks enzimatisnya. Keseluruhan data yang diperoleh selanjutnya dianalisis dan diuraikan secara deskriptif kualitatif.

### 3.6 Diagram Alir



**Gambar 7.** Diagram Alir Penelitian

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kesimpulan yang didapatkan adalah sebagai berikut.

1. Didapatkan empat isolat bakteri termofilik pada kompos dasar fase dekomposisi dengan kode isolat SL1, SL2, SL3, dan SL4.
2. Karakteristik makroskopis dari empat isolat yang didapat memiliki morfologi yang berbeda dengan warna koloni krem, SL1 bentuk koloni *wrinkled*, tepi koloni *irregular*, elevasi *flat*; SL2 bentuk koloni *round*, tepi koloni *undulate*, elevasi *flat*; SL3 bentuk koloni *round*, tepi koloni *cilliate*, elevasi *flat*; SL4 bentuk koloni *round*, tepi koloni *entire*, elevasi *flat*. Karakteristik mikroskopis empat isolat yakni bentuk sel basil, bersifat Gram positif, dan memiliki endospora. Keempat isolat mampu menghasilkan enzim katalase. Isolat SL1, SL2, SL3, SL4 mampu menghasilkan enzim amilase dengan Indeks Enzimatik tertinggi 6,06 oleh isolat SL1. Isolat SL2 dan SL4 mampu menghasilkan enzim protease dengan IE tertinggi 11,11 oleh isolat SL4. Isolat SL1, SL2, SL3, SL4 mampu menghasilkan enzim selulase dengan IE tertinggi 2,03 oleh isolat SL2.

### 5.2 Saran

Perlu dilakukan uji oksidase untuk mengidentifikasi genus atau spesies isolat bakteri termofilik serta mengetahui potensi enzim yang dihasilkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aristoteles., Miswar, D., Bernando., Prayoga, A., Wulandari, N., Yasami, I., Prambudiningtyas, D., Laksono, K., & Hutaeruk, G. 2021. Pembuatan Pupuk Kompos Dari Limbah Organic Rumah Tangga Di Desa Gedung Harapan, Kecamatan Jati Agung, Lampung Selatan. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. 1(1):17-24.
- Afriani, A., Hasanuddin., & Lisnawita. 2017. Pengaruh Metode Sterilisasi Dan Konsentrasi Filtrat Bakteri Endofit Tanaman Tebu Untuk Mengendalikan Penyakit Blendok (*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Savulescu 1947). *Jurnal Pertanian Tropik*. 4(1): 20-39.
- Agustina, D., Yulvizar, C., dan Nursanty, R. 2013. Isolasi Dan Karakterisasi Bakteri Pada Ikan Kembung (*Rastrelliger* sp.) Asin Berkitosan. *Biospecies*. 6(1): 15-19.
- Agung, L, A., Hermawan, D., dan Herjayanto, M. 2024. Identifikasi Awal Bakteri Kandidat Probiotik Asal Usus Ikan Nila Dengan Metode Uji Gram Menggunakan KOH 3%. *Jurnal Untirta*. 5(1): 369-373.
- Amanina, F,T., Muskananfolo, M., & Ayuningrum, D. 2022. Isolasi Dan Penapisan Aktinomisetes Yang Berpotensi Menghasilkan Enzim Protease Dari Tambak Ikan Bandeng (*Chanos chanos*) di Kecamatan Tugu, Semarang. *Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*. 18(4): 188-194.
- Andriyanto. 2019. Dekomposisi Bahan Organik Pada Sedimen Di Area Mangrove Pasir Morosari, Kabupaten Demak Pada Skala Laboratorium. *Journal Of Maquares*. 8(3): 139-146.
- Ardhi, A., Sidauruk, A., Suraya, N., Pratiwi, N., Pato, U., and Saryono. 2020. Molecular Identification Of Amylase-Producing Thermophilic Bacteria Isolated from Bukit Gadang Hot Spring, West Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*. 21(3): 994-1000.
- Apriani *et al.* 2014. *Bakteriologi Untuk Mahasiswa Kesehatan*. Makassar: Masagena Mandiri Medica.

- Bachtiar, B., & Ahmad, A, H. 2019. Analisis Kandungan Hara Kompos Johar *Cassiasamea* dengan Penambahan Activator Promi. *Bioma: Jurnal Biologi Makassar*. 4(1): 68-76.
- Bahri, S., Fidiantara, F., Muksin, Y, D., Tamami, F., Handayani, T., & Hermansyah. 2021. Eksplorasi Bakteri Termofilik Dari Sumber Air Panas Aik Sebau Di Kawasan Taman Nasional Gunung Rinjani Kabupaten Lombok Timur. *Jurnal Pijar MIPA*. 16(2): 235-241.
- Brodie, R. 2014. *Virus Akal Budi*. Gramedia: Jakarta.
- Budiharjo, A., Wulandari, D., Shabrina, J., Mawarno, R., Maulana, A., & Nurhayati. 2024. Bioprospecting And Molecular Identification Of Amylase And Cellulase Producing Thermophilic Bacteria From Sediment of Nglitut Hot Springs, Kendal regency. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*. 9(3):1-13.
- Corneles, C, A., Mantiri, F., & Singkoh, M. 2023. Isolation and Identification of Thermophilic Bacteria from Lahendong Hot Spring, North Sulawesi. *Journal Bios Logos*. 13(2): 29-38.
- Chaudhary, N., & Prabhu, S. 2016. Thermophilic Actinomycetes From Hot Water Spring Capable Of Producing Enzymes Of Industrial Importance. *International Journal of Research Studies in Biosciences*. 4(6): 29-35.
- Dash, C., & Payyapilli, R, J. 2016. KOH String And Vancomycin Susceptibility Test As An Alternative Method To Gram Staining. *Journal of International Medicine and Dentistry*. 3(2): 88-90.
- Effendi, I. 2020. *Metode Identifikasi dan Klasifikasi Bakteri*. Oceanum Press: Riau.
- Fahrudin., Haedar, N., Tuwo, M. 2020. Potensi Bakteri Dari Limbah Kotoran Ternak Dalam Mendegradasi Selulosa. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*. 11(1): 16-20.
- Ferdyan, R., Lufri., & Arsih, F. 2021. Urgensi Materi Pembelajaran Tentang Virus Pada Mata Pelajaran Ipadi SMP/Mts Pada Masa Pandemi COVID-19: Rancangan Indikator Pembelajaran Dalam Bentuk Pendidikan Kesehatan Di Sekolah. *Jurnal Pendidikan Biologi*. 6(1): 50-5
- Fifendy, M. 2017. *Mikrobiologi*. Kencana: Depok.
- Firliani, W., Agustien, A., & Febria, F. 2015. Karakterisasi Bakteri Termofilik Penghasil Enzim Protease Netral. *Jurnal Biologi Universitas Andalas*. 4(1): 9-14

- Finore, I., Feola, A., Russo, L., Cattaneo, A., Donato, Nicolaus, B., Poli, A., & Romano, I. 2023. Thermophilic Bacteria And Their Thermozyms In Composting Processes: A Review. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 10(7): 2-22.
- Fuentes, A., Handley, P., Holden, A., Fox, G., & Robson, G. 2014. An Investigation Of The Biodiversity Of Thermophilic And Thermotolerant Fungal Species In Compost Using Culture Based And Molecular Techniques. *Fungal Ecology*. 11 : 131-144.
- Flomo, M., Yana, T., & Zimba, K. 2023. Composting Unearthed: A Comprehensive Review Of Challenges, Historical Evolution, Prospects, Applications, And Process. *International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT)*. 11(12):842-852.
- Firliani, W., Agustien, A., dan Febria, F. 2015. Karakterisasi Bakteri Termofilik Penghasil Enzim Protease Netral. *Jurnal Biologi Universitas Andalas*. 4(1): 9-14.
- Gracela, P. M., Ronndonuwu, S. B., & Baideng, E. 2022. Identifikasi Bakteri Secara Molekuler Dari Mesin ATM Pada Beberapa Tempat Di Kota Manado. *Journal of Biotechnology and Conservation Wallacea*. 2(2): 107-112.
- Haura, J., Irawan, B., Farisi, S., & Yulianty. 2021. Application of Bromelain Litter Solid Compost Induced By Ligninolitik Tricoderma sp. Fungus Towards Number of Leaves And Chlorophyl Content Chill Plants (*Capsicum anuum* L.). *Jurnal Ilmiah Biologi Eksperimen dan Keanekaragaman Hayati*. 8(1): 54-60.
- Hanifa, S. M., Afdhala, R. R., & Sari, S. 2022. Keanekaragaman Jamur Mikroskopis Di Kawasan Ekowisata Sarah Kabupaten Aceh Besar. *Prosiding Seminar Nasional Biotik*. 10(2): 152-175.
- Haryanta, D., Saadah, T., & Indarwati. 2024. Characterization of Composting Process And Chemical Composition Of Compost From Recycling Centers In Surabaya City, Indonesia. *Jurnal Ilmiah Pertanian*. 21(1): 51-62.
- Huwae, L. M., & Aditiawati, P. 2020. Isolasi dan Identifikasi Bakteri Termofilik Penghasil Enzim Selulase Dari Sumber Air Panas Sila. *Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan Papua*. 3(1): 32-35.
- Ifa, L., Syarif, T., Hasan, S., & Sangkala. 2020. Pembuatan Pupuk Kompos Dari Limbah Produksi Biohidrogen Yang Berbahan Baku Ampas Kelapa. *Jurnal Teknologi*. 15(2): 59-66.
- Indriati, G., & Megahati, R. 2023. Exploration of Thermophilic Bacteria:

- Systematic Literature Review. *Journal of Research Sciences Education*. 9(8): 411-416.
- Kasi, P, D., Suhaeni., & Sasa. 2020. Morphological Characterization Of Thermophilic Bacteria Isolate From Pincara Hot Springs. *Indigenous Biologi*. 3(2): 51-56.
- Khatoon, H., Anokhe, A., & Kalia,V. 2022. Catalase Test: A Biochemical Protocol For Bacterial Identification. *Agricos e-Newsletter*. 3(1): 53-55.
- Kolo, M., & Sio, S. 2020. Pengaruh Pemberian Pupuk Kompos Terhadap Pertumbuhan Rumpuk Setaria (*Setaria sphacelata*. S). *Journal of Animal Science*. 5(3): 48-50.
- Kolwzan, B., Adamiak, W., & Ribak, J. 2011. *Sanitary Biology*. Wroclaw University of Technology. Wroclaw.
- Kristianti, D., Siahaan, P., dan Tangapo, A, M. 2023. Karakterisasi Dan Uji Produksi IAA Bakteri Rizosfer Dari Tanaman Putri Malu (*Mimosa pudica* L.). *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*. 14(2): 29-37.
- Lee,Y., Ganbat, D., Oh, D., Kim, H., Jeong, G., Cha, I., Kim, S., Nam, G., Jung, Y., & Lee, S. 2022. Isolation And Characterization Of Thermophilic Bacteria From Hot Springs In Republic Of Korea. *Microorganism Journal*. 10: 2-10.
- Li. J., *et al*. 2021. Penguraian Limbah Pertanian Menggunakan Bakteri Termofilik. *Jurnal Ilmu Pertanian*. 15(2): 45-60.
- Lingga, R., Dalimunthe, N, P., Afriyansyah, B., Irwanto, R., Henri., Januardi, E., Marinah., & Safitri. 2021. Keanekaragaman Jamur Makroskopik Di Hutan Wisata Desa Tiang Tarah Kabupaten Bangka. *Bioma: Jurnal Ilmiah Biologi*. 10(2): 181-200.
- Litrinopiza, I., Budiarti, R., dan Harlis. 2021. Uji Potensi Bakteri Termofilik Penghasil Enzim Protease Dari Sumber Air Panas Desa Air Panas Sungai Abu Kerinci Sebagai Materi Mata Kuliah Mikrobiologi Terapan. *Skripsi*. Universitas Jambi: Jambi.
- Majidah, R., Lubis, S., dan Harahap, D. 2023. Potensi Enzim Selulase Dari Bakteri Termofilik Di Kawasan Wisata Ie Suum Kabupaten Aceh Besar. *Journal of Biological Sciences and Applied Biology*. 3(1): 25-34.
- Maula, S., Siswanto., Aditya, H, F.,Yusnaini, S., & Ramadhani, W, S. 2024. Pemanfaatan Kompos Dalam Peningkatan Bahan Organik Tanah Pada Perkebunan Nanas PT. Great Giant Pineapple. *Jurnal Agrotek Tropika*. 12(1): 154-161.

- Mantri, F, R., Rumende, R., & Sudewi, S. 2019. Identification of  $\alpha$ -Amylase Gene By PCR And Activity Of Thermostable A-Amylase From Thermophilic *Anoxybacillus Thermarum* Isolated From Remboken Hot Spring In Minahasa, Indonesia. *Earth and Environmental Science*. 217: 1-7.
- Meena, A., Karwal, M., Dutta, D., & Mishra, R. 2021. Composting: Phases and Factors Responsible For Efficient And Improved Composting. *Agriculture & Food: E-Newsletter*. 3(1): 85-90.
- Mohammad, B, T., Daghistani, H., Jaouani, A., Latif, S, A., & Kennes, C. 2017. Isolation And Characterization Of Thermophilic Bacteria From Jordanian Hot Springs: *Bacillus Licheniformis* And *Thermomonas Hydrothermalis* Isolates As Potential Producers Of Thermostable Enzymes. *International Journal of Microbiology*. 1-12.
- Mohanna, Moshtaq. 2016. *Bacterial Introduction*. University of Al-Qadisiyah.
- Muqarramah, M., Agustien, A., & Alamsjah, F. 2023. Isolation, Screening And Partial Characterization Of Thermophilic Bacteria Producing Protease From Bukit Gadang Hot Springs, Solok Regency. *International Journal of Progressive Science and Technologies*. 40(1): 101-107.
- Mulyasari, I., Melati., dan Sunarno, T. 2015. Isolasi, Seleksi, dan Identifikasi Bakteri Selulolitik Dari Rumput Laut *Turbinaria* sp. dan *Sargassum* sp. Sebagai Kandidat Pendegradasi Serat Kasar Pakan Ikan. *Jurnal Balai Penelitian dan Pengembangan Ikan Tawar*. 10(1): 51-60.
- Natasya, N., Mutiarawati, D, T., & Prayekti, E. 2020. Purple sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) peels extract as an alternative dye for bacteria Gram staining. *Indonesian Journal of Medical Laboratory Science and Technology*. 2(2):76-84.
- Nemet, F., Peric, K., & Loncaric, Z. 2021. Microbiological activities in the composting process—A review. *Journal of Agricultural and Environmental Sciences*. 8(2): 41-53.
- Norfajrina., Istiqamah., & Indriyani, S. 2021. Jenis-Jenis Jamur (Fungi) Makroskopis di Desa Bandar Raya Kecamatan Tamban Catur. *Al Kawnu: Science and Local Wisdom Journal*. 1(1): 17-33.
- Novitasari, D., Purnomo, P., Jati, O., Ayuningrum, D., & Sabdaningsih, A. 2021. Skrining Bakteri Penghasil Enzim Amilase Dari Sedimen Tambak Udang Vannamei (*Litopenaeus vannamei*). *Journal of Fisheries and Marine Research*. 5(2): 297-303.
- Novitasari, Y., dan Herdyastuti, N. 2014. Screening Bakteri Termofilik Penghasil Enzim Amilase Dari Sumber Air Panas Singgahan Tuban, Jawa Timur. *Journal of Chemistry*. 3(3): 189-193.

- Oktari, A., Supriatin, Y., Kamal, M., and Syafrullah. 2017. The Bacterial Endospore Stain On Schaeffer Fulton Using Variation Of Methylene Blue Solution. *Journal of Physics*. 812: 1-5.
- Paray, A., Singh, M., Mir, M., and Kaur, A. 2023. Gram Staining: A Brief Review. *International Journal of Research and Review*. 10(9): 336-341.
- Pandey, A., Dhakar, K., & Shamar, A. 2015. Thermophilic Bacteria That Tolerate A Wide Temperature And P H Range Colonize The Solderhar (95<sup>0</sup> C) And Ringigad (80<sup>0</sup> C) Hot Springs of Uttarakhand, India. *Ann Microbiol*. 65(809-816).
- Pereira, M, G., Neta, L, C., Fontes, M., Souza, A., Matos, T. 2014. An Overview Of The Environmental Applicability Of Vermicompost: From Wastewater Treatment To The Development Of Sensitive Analytical Methods. *The Scientific World Journal*. 1: 1-14.
- Pulungan, A., dan Tumangger, D. 2018. Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Endofit Penghasil Enzim Katalase Dari Daun Buasbuas (*Premna pubescens* Blume). *Jurnal Biologi Lingkungan, Industri, Kesehatan*. 5(1): 72-80.
- Pratiwi, W, M., dan Asri, M, T. 2022. Isolasi dan Identifikasi Bakteri Indigenous Pendegradasi Pestisida Profenofos Dan Klorantraniliprol di Jombang, Jawa Timur. *Jurnal Lentera Bio Berkala Ilmiah Biologi*. 11(2): 300-309.
- Papale, M., Romano, I., Finore, I., Giudice, A., Piccolo, A., Cangemi, S., Meo, V., Nicolaus, B., & Poli, A. 2021. Prokaryotic Diversity of The Composting Thermophilic Phase: The Case Of Ground Coffee Compost. *Microorganisms Journal*. 9(218): 2-19.
- Raza, A., Bashir, S., & Tabassum, R. 2019. Evaluation of Celluloses and Xylanases Production From *Bacillus* spp. Isolated From Buffalo Digestive System. *Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi*. 25(1): 39-46.
- Royanti, V., Handayani, K., Ekowati, C., & Sumardi. 2023. Isolasi dan Karakterisasi *Bacillus Lipolitik* Dari Tanah Kebun Raya Liwa. *Seminar Nasional Biologi*. 18: 40-45.
- Rori, C., Kandou, F., dan Tangapo, A. 2020. Aktivitas Enzim Ekstraseluler Dari Bakteri Endofit Tumbuhan Mangrove *Avicennia marina*. *Jurnal Bios Logos*. 10(2): 48-55.
- Rasheed, Zafar. 2018. Therapeutic Potentials Of Catalase: Mechanisms, Applications, And Future Perspective. *International Journal of Health Science*. 18(2): 1-6.
- Rukmi, I., Supriyadi, A., Lunggaini, A., & Rahardjo, B. 2018. Eksplorasi Mikroorganisme Termofilik Indigenous Dari Sumber Air Panas

- Gedongsongo Sebagai Penghasil Enzim Termostabil. *Jurnal Berkala Bioteknologi*. 1(1): 1-8.
- Sumardi., Qatrunada, V., Ekowati, C., Farisi, S., Arifiyanto, A. 2020. Aktivitas Enzim Hidrolase Pada Penapisan Isolat Actinomyces Kandidat Probiotik Udang. *Jurnal Biologi dan Pembelajaran Biologi*. 6(1): 24-36.
- 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.
- Soeka, Y, S., dan Sulistiani, S. 2017. Karakterisasi Enzim Protease Dari Bakteri *Stenotrophomonas* sp. Asal Gunung Bromo, Jawa Timur. *Jurnal Ilmu-Ilmu Hayati*. 16(2): 203-211.
- Tan, T, J., Daniel, J., Victor, H., and Sugata, M. 2023. Pengomposan Sampah Organik Dan Isolasi Bakteri Termofil Dari Kompos. *Jurnal Sains dan Teknologi*. 7(2): 121-129.
- Toh, S., Lihan, S., Leong, S., Lahuri, A., Woon, W, C., & Ng, W. 2023. Enzymatic Screening And Genotypic Characterization Of Thermophilic Bacteria From The Hot Springs of Sarawak, Malaysia. *Makara Journal of Science*. 27(4): 279- 288.
- Tuysuz, E., Baltacı, M., Ozkan, H., Taskin, M., & Adiguzel, A. 2019. Lipase Production From Thermophilic Bacteria Using Waste Frying Oil As Substrate. *Journal of Technical Sciences*. 9(3): 23-27.
- Thesiwati, A. 2018. Peranan Kompos Sebagai Bahan Organik Yang Ramah Lingkungan. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Dewantara*. 1(1): 27-33.
- Ullah, I., Khan, M., Khan, S., Ahmad, W., Zheng, L., Shah, S., Ullah, M., and Iqbal. 2021. Identification and Characterization Of Thermophilic Amylase Producing Bacterial Isolates From The Brick Kiln Soil. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 28(1): 970-979.
- Wahyuni, D. 2017. Karakterisasi Morfologi Dan Uji Aktivitas Bakteri Termofilik Yang Terdapat Di Kawasan Wisata Ie Suum Kecamatan Mesjid Raya Sebagai Penunjang Praktikum Mikrobiologi. *Skripsi*. Universitas Ar-Raniry.
- Zuraidah., Wahyuni, D., & Astuty, E. 2020. Karakteristik Morfologi Dan Uji Aktivitas Bakteri Termofilik Dari Kawasan Wisata Ie Seuum (air panas). *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*. 11(2): 40-47.