

**SELEKSI DAN KARAKTERISASI ENZIM SELULASE BAKTERI
PROBIOTIK (*Bacillus* sp.)**

(SKRIPSI)

Oleh

VIVIN STEVANI

NPM 2117061029



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

**SELEKSI DAN KARAKTERISASI ENZIM SELULASE BAKTERI
PROBIOTIK (*Bacillus* sp.)**

**Oleh
VIVIN STEVANI**

Skripsi

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

Pada

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



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

2025

ABSTRAK

SELEKSI DAN KARAKTERISASI ENZIM SELULASE BAKTERI PROBIOTIK (*Bacillus* sp.)

Oleh

Vivin Stevani

Udang Vannamei merupakan sektor penting dalam pasar perikanan akuakultur di Indonesia. Peningkatan budidaya udang vannamei perlu didorong oleh beberapa hal seperti penentuan dimensi area kolam, menetapkan kualitas air dan kebutuhan pakan yang baik. Upaya lain yang dapat memberikan keuntungan baik dalam menjaga kualitas air dan mereduksi limbah sisa pakan adalah dengan menggunakan probiotik dalam budidaya udang vannamei. Pemberian probiotik sendiri adalah untuk mendegradasi sisa pakan dan feses yang menumpuk dalam bentuk limbah organik. Selulosa merupakan bahan organik penghasil energi yang dihasilkan dari sisa pakan udang, namun sulit dicerna oleh udang. Proses dekomposisi selulosa agar mudah dicerna oleh udang diperlukan bakteri probiotik yang mampu menghasilkan enzim selulase. Penelitian ini bertujuan untuk menyeleksi dan karakterisasi enzim selulase yang dihasilkan oleh bakteri probiotik (*Bacillus* sp.). Aktivitas enzim selulase secara kuantitatif ditentukan dengan metode DNS. Aktivitas enzim selulase diuji dalam rentang suhu 30 °C, 40 °C, 50 °C dan 60 °C serta rentang pH 4, 5, 6, 7, 8, dan 9. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa *Bacillus* sp. dengan kode IBK 3 mampu menghasilkan enzim selulase. Aktivitas enzim selulase memiliki karakteristik optimum pada suhu 50 °C dan pH 5 dengan aktivitas enzim sebesar 0.028 CFU/mL

Kata Kunci: *Bacillus* sp., Selulase, Probiotik

ABSTRACT

SELECTION AND CHARACTERIZATION OF CELLULASE ENZYMES OF PROBIOTIC BACTERIA (*Bacillus* sp.)

By

Vivin Stevani

Vannamei shrimp is an important sector in Indonesia's aquaculture market. The increase in vannamei shrimp farming needs to be driven by several factors, such as determining the size of the pond area, establishing good water quality and feed requirements. Another effort that can provide benefits in maintaining water quality and reducing feed waste is the use of probiotics in vannamei shrimp farming. Probiotics are administered to degrade feed residues and feces that accumulate in the form of organic waste. Cellulose is an energy-producing organic material derived from shrimp feed residues, but it is difficult for shrimp to digest. The decomposition process of cellulose to make it easily digestible by shrimp requires probiotic bacteria capable of producing cellulase enzymes. This study aims to select and characterize cellulase enzymes produced by probiotic bacteria (*Bacillus* sp.). The activity of cellulase enzymes is quantitatively determined using the DNS method. Cellulase enzyme activity was tested at temperatures ranging from 30°C to 60°C and pH levels ranging from 4 to 9. The results of this study showed that *Bacillus* sp. with the code IBK 3 was capable of producing cellulase enzymes. Cellulase enzyme activity has optimal characteristics at a temperature of 50°C and a pH of 5, with an enzyme activity of 0.028 CFU/mL.

Keyword : *Bacillus* sp., Cellulase, Probiotic

Judul Skripsi : **SELEKSI DAN KARAKTERISASI ENZIM
SELULASE BAKTERI PROBIOTIK
(BACILLUS SP.)**

Nama Mahasiswa : Vivin Stevani

Nomor Pokok Mahasiswa : 2117061029

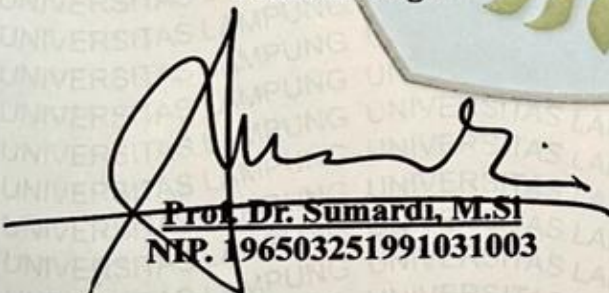
Program Studi : S1 Biologi Terapan

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

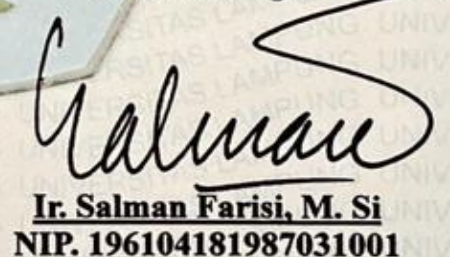


1. Komisi Pembimbing

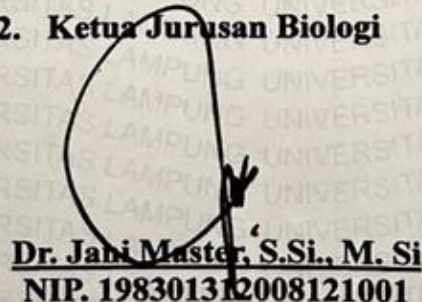
Pembimbing 1


Prof. Dr. Sumardi, M.Si
NIP. 196503251991031003

Pembimbing 2


Ir. Salman Farisi, M. Si
NIP. 196104181987031001

2. Ketua Jurusan Biologi


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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Dr. Sumardi, M.Si

Sekretaris : Ir. Salman Farisi, M.Si

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



[Handwritten signature of Prof. Dr. Sumardi, M.Si]
.....
[Handwritten signature of Ir. Salman Farisi, M.Si]
.....

[Handwritten signature of Dr. Kusuma Handayani, S.Si, M.Si]
.....

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 08 Oktober 2025

SURAT PERNYATAAN KASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Vivin Stevani
NPM : 2117061029
Jurusan : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa skripsi saya berjudul :

“SELEKSI DAN KARAKTERISASI ENZIM SELULASE BAKTERI PROBIOTIK (*Bacillus* sp.)”

secara keseluruhan baik data, hasil, maupun penelusuran kajian ilmiah adalah benar hasil karya saya sendiri yang disusun dengan mengikuti norma dan etika akademik yang berlaku. Saya memastikan bahwa tidak terdapat duplikasi dari karya ilmiah orang lain, kecuali terdapat pendapat yang tertulis jelas sebagai acuan untuk mendukung bulasan dengan menuliskan nama penulis dan dicantumkan di daftar pustaka. Jika kelak terbukti bahwa pernyataan yang saya buat ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar sarjana maupun tuntutan hukum yang sedang berlaku.

Bandarlampung, 30 September 2025

Yang menyatakan



Vivin Stevani

NPM. 2117061029

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandarlampung pada tanggal 25 September 2003, merupakan anak terakhir dari pasangan Bapak Ferry dan Ibu Hernita. Penulis mengawali pendidikannya sebagai murid di TK Setia Budi dari tahun 2008-2009. Penulis melanjutkan mendidikan Sekolah Dasar (SD) di SD Setia Budi pada tahun 2009-2015. Kemudian melanjutkan pendidikan ke jenjang Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP IMMANUEL Bandarlampung dari tahun 2015-2018 dan melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA IMMANUEL Bandarlampung pada tahun 2018-2021. Kemudian penulis diterima sebagai mahasiswa Program Studi Biologi Terapan, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung pada tahun 2021 melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menempuh pendidikan akademik di Jurusan Biologi, penulis pernah mengikuti kegiatan sosial seperti Karya Wisata Ilmiah (KWI) Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) FMIPA Unila pada tahun 2021. Penulis pernah mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Biologi (HIMBIO) sebagai anggota Bidang Kesekretariatan dan Logistik pada periode 2021/2022. Pada bulan Desember 2023-Februari 2024, penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di BIOME Universitas Airlangga dengan judul “Uji Senyawa Antibakteri Yang Dihasilkan Isolat Bakteri Dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (Ipal) Rumah Sakit Di Surabaya”. Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi asisten praktikum di mata kuliah Keterampilan Kerja Laboratorium, Genetika, Biokonservasi pada

tahun akademik 2023/2024, Mikrobiologi Lingkungan pada tahun akademik 2024/2025, Teknik Pengujian Mikroba pada tahun akademik 2025/2026 di Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas lampung.a

MOTTO

“the best way to predict your future is to create it”

“Sebab Aku ini mengetahui rancangan-rancangan apa yang ada pada-Ku mengenai kamu, demikianlah firman Tuhan, yaitu rancangan damai sejahtera dan bukan rancangan kecelakaan, untuk memberikan kepadamu hari depan yang penuh harapan.”

(Yeremia 29: 11)

PERSEMBAHAN

Puji syukur kepada Tuhan Yesus yang ada di sorga atas segala berkatnya setiap hari

Kupersembahkan sebuah karya yang sederhana kepada kedua orang tuaku tercinta Bapak Ferry dan Ibu Henita yang telah melahirkanku dan menyayangiku dengan tulus.

Bapak dan Ibu dosen pembimbing yang senantiasa telah membimbing, mengarahkan, memberikan ilmu dengan penuh kesabaran.

Terimakasih kepada teman-temanku yang selalu membantu, memberikan semangat dan motivasi.

Almamater Tercinta, Universitas Lampung

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Allah, karena atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya dengan judul “**Seleksi Dan Karakterisasi Enzim Selulase Bakteri Probiotik (*Bacillus sp.*)**” sebagai 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. Ibu Prof. Dr. Sumardi, M.Si, selaku Dosen Pembimbing I yang telah sabar membimbing, mendukung, memberikan ilmu pengetahuan serta kritik dan saran selama proses penelitian dan penyusunan skripsi dengan baik.
6. Bapak Ir. Salman Farisi, M.Si, selaku Dosen Pembimbing II yang turut membimbing, mendukung, memberikan ilmu pengetahuan serta kritik dan saran selama proses penelitian dan penyusunan skripsi dengan baik.

7. Ibu Dr. Kusuma Handayani, S.Si., M.Si, selaku Dosen Penguji yang telah turut memberikan ilmu, kritik dan saran serta bimbingan kepada penulis selama proses penyusunan skripsi.
8. Bapak Prof. Drs. Tugiyono, Ph.D., selaku dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan dan bantuan selama berada di bangku perkuliahan.
9. Seluruh Bapak/Ibu dosen Jurusan Biologi FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu bermanfaat selama mengikuti perkuliahan.
10. Ibu Oni Mastuti, S.Si., selaku Laboran Lab. Mikrobiologi FMIPA Universitas Lampung atas bantuan, motivasi, semangat, dan mendoakan penulis serta seluruh rekan-rekan peneliti di bidang mikrobiologi.
11. Oktavia Chandar Djaja dan Vanessa Florencia yang selalu menjadi tempat berbagi suka duka, memberikan doa, semangat, motivasi, bantuan.
12. Sahabat seperjuangan “Hidup seperti pupa”, Umi Yulia Sari, Septi Wahyu Lestari, Nur Eka Darmayanti, Ronna Assyifa, Yulia Puspita Dewi, dan Lathifa Rahma Rosyida yang selalu membantu, memberikan semangat, motivasi, dukungan, doa, dan menemani penulis selama menempuh perkuliahan.
13. Partner penelitian di Laboratorium Mikrobiologi, Jeni Ayu Maulika dan Umi Yulia Sari yang selalu membantu dan memberikan semangat selama penelitian berlangsung.
14. Kepada diri saya sendiri

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat banyak kesalahan dan kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diperlukan dalam penyusunan karya tulis ilmiah yang akan ditulis di kemudian hari.

Bandar Lampung, Oktober 2025
Penulis

Vivin Stevani

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	v
--------------------	---

DAFTAR GAMBAR	vi
---------------------	----

I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Kerangka Pikir.....	3
1.4 Hipotesis.....	4

II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pengertian Enzim	5
2.1.1. Enzim ekstraseluler	5
2.1.2. Cara kerja enzim.....	5
2.1.3. Faktor yang Mempengaruhi Reaksi Enzimatik	7
2.2 Enzim Selulase	8
2.3 <i>Bacillus</i> sp	10
2.3.1 Klasifikasi <i>Bacillus</i> sp.	10
2.3.2 Morfologi <i>Bacillus</i> sp.	11
2.4 Bakteri Probiotik	11
2.5 Reagen DNS (Dinitrosalicylic acid).....	12
2.6 Analisis Gula Reduksi.....	12

III. METODE PENELITIAN.....	14
3.1 Waktu dan Tempat.....	14
3.2 Alat dan Bahan.....	14
3.3 Rancangan Penelitian.....	14
3.4 Prosedur Penelitian	15
3.4.1. Pembuatan Media Sea Water Complate	15
3.4.2. Seleksi Bakteri Selulolitik.....	15
3.4.3. Pengukuran Zona Bening Selulase	15
3.4.4. Persiapan Starter Bakteri.....	16
3.4.5. Produksi Enzim	16

3.4.6. Uji Aktivitas Enzim Selulase	17
3.4.7. Diagram Alir Penelitian	18
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	20
4.1 Uji Kualitatif Selulolitik <i>Bacillus</i> sp.	20
4.2. Analisis Aktivitas Enzim Selulase.....	21
4.3. Pengaruh Suhu pada Enzim Selulase	23
4.4. Pengaruh pH pada Enzim Selulase	25
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	29
5.1 Kesimpulan	29
5.2 Saran.....	29
DAFTAR PUSTAKA.....	30
LAMPIRAN.....	35

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Rentang Aktivitas Unit Enzim Selulase.....	18
2. Hasil Seleksi Isolat <i>Bacillus</i> sp dengan berbagai kode	20
3. Perbandingan Aktivitas Enzim Selulase.....	22
4. Uji Aktivitas Enzim dengan Suhu Optimum.....	42
5. Uji Aktivitas Enzim dengan Suhu Optimum.....	42
6. Penentuan Kurva Standar.....	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Tiga Dimensi Enzim	6
2. Hubungan Suhu dengan Aktivitas Enzim	7
3. Hubungan pH dengan Aktivitas Enzim.....	8
4. Struktur Molekul Selulosa.....	8
5. Mekanisme Kerja Selulase.....	9
6. Mikroskopis <i>Bacillus</i> sp.....	11
7. Gugus Aldehid dan Keton.....	13
8. Reaksi Gula Pereduksi dan DNS.....	13
9. Uji Kualitatif Selulolitik.....	21
10. Pengaruh Suhu pada Aktivitas Selulase.....	23
11. Pengaruh pH pada Aktivitas Selulase.....	26
12. Pembuatan Media <i>Sea Water Complate</i>	37
13. Seleksi Bakteri Selulolitik.....	37
14. Pengukuran Zona Bening Selulase.....	38
15. Pembuatan Kultur <i>Bacillus</i> sp.....	38
16. Produksi Ekstrak Kasar Enzim Selulosa.....	39
17. Uji Aktivitas Enzim dengan Suhu Optimum.....	39
18. Uji Aktivitas Enzim pada pH Optimum.....	40
19. Uji Aktivitas Enzim Selulase Sebelum Dipanaskan.....	40
20. Uji Aktivitas Enzim Selulase Sesudah Dipanaskan.....	41
21. Uji Gula Standar.....	41
22. Kurva Standar Glukosa.....	43

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Udang Vaname merupakan sektor penting dalam pasar perikanan akuakultur di Indonesia. Produksi udang nasional pada tahun 2021 sebesar 768.834,605 ton sedangkan pada tahun 2022 sebesar 731.253,815 ton mengalami penurunan sebesar 37.580,790 ton (KKP, 2024). Penurunan produksi udang vaname dapat disebabkan oleh faktor internal maupun eksternal. Faktor internal berasal dari udang vanamei itu sendiri seperti genetik, umur, dan ketahanan pada penyakit. Faktor eksternal berasal dari penangan dan lingkungan budidaya (Akbarurrasyid dkk., 2024).

Upaya peningkatan budidaya udang vanamei perlu didorong oleh faktor internal dan eksternal. Faktor-faktor tersebut seperti mengoptimalkan pengelolaan media untuk budidaya, pemilihan konstruksi media pemelihara, penentuan dimensi area kolam, menetapkan kedalaman air dan kebutuhan pakan yang baik (Rizky dkk., 2022). Ketersediaan pakan yang berkualitas dapat menjadi nutrisi yang digunakan sebagai sumber energi untuk pertumbuhan dan berkembang biak. Upaya lain yang dapat memberikan keuntungan baik dalam menjaga kualitas air dan mereduksi limbah sisa pakan adalah dengan menggunakan probiotik dalam budidaya udang vanamei (Usman dkk., 2023).

Aplikasi pemberian probiotik memiliki manfaat dalam menjaga kualitas lingkungan dan juga menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen. Menurut Dewi dkk (2023), Keberadaan *Bacillus sp.* sebagai probiotik dapat berfungsi mengatur keseimbangan mikroba pada saluran pencernaan dan menghambat pertumbuhan mikroba patogen pada saluran pencernaan udang. Penambahan probiotik *Bacillus sp.* memberikan laju pertumbuhan yang meningkat. Hal ini disebabkan karena probiotik dapat meningkatkan respon imun udang dan ditambah dengan tereliminasi bakteri patogen yang masuk ke usus udang lewat media air. Menurut Andriani dan Maudy (2025), Pemberian probiotik *Bacillus sp.* dapat meningkatkan kualitas pakan, dapat memonitoring kualitas air, serta mampu mempercepat proses *molting* pada cangkang udang.

Idealnya, probiotik *Bacillus sp.* yang akan diaplikasikan memiliki kemampuan selulolitik untuk memecah senyawa makromolekul yang ada di pakan udang. Menurut Nunes (2022) komposisi pakan udang yang baik mengandung protein dan asam amino 57,86 %, karbohidrat 33 %, lemak 3,35 %, vitamin dan mineral 5,29 % dan non-nutrient 0,50 %. Salah satu makromolekul yang terdapat di pakan udang adalah selulosa. Selulosa merupakan bahan organik penghasil energi, namun juga sulit dicerna oleh udang. (Ratnasari., 2018). Proses dekomposisi selulosa agar mudah dicerna oleh udang diperlukan *Bacillus sp.* yang mampu menghasilkan enzim selulase. Enzim selulase yang terdapat dalam usus berperan dalam mendegradasi selulosa menjadi molekul yang lebih kecil seperti glukosa, sehingga akan mudah dicerna oleh udang. Selulase yang berada diluar tubuh udang berperan dalam mendegradasi sisa pakan dan feses yang menumpuk dalam bentuk limbah organik, sehingga jumlah pakan yang tersisa tidak mempengaruhi kualitas air dan dapat meningkatkan laju pertumbuhan udang vanamei (Dewi dkk., 2023).

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari Listiyorini dkk (2019). Laboratorium mikrobiologi, FMIPA Unila memiliki beberapa koleksi

bakteri *Bacillus* sp. dari hutan mangrove Hanura. Bakteri tersebut telah dikarakterisasi, namun karakterisasi enzim selulase belum dilakukan. Oleh karena itu, dilakukan penelitian lanjutan seleksi dan karakterisasi enzim selulase yang dihasilkan oleh bakteri probiotik *Bacillus* sp.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyeleksi enzim selulase yang dihasilkan bakteri probiotik (*Bacillus* sp.)
2. Mengkarakterisasi enzim selulase yang dihasilkan oleh bakteri probiotik (*Bacillus* sp.)

1.3 Kerangka Pikir

Bacillus sp. probiotik merupakan mikroorganisme yang mendukung kehidupan bagi inangnya. Probiotik dapat menjalin hubungan dengan inangnya untuk tujuan memperbaiki nutrisi dan kesehatan inangnya. Pada udang, probiotik digunakan untuk meningkatkan respon terhadap bakteri patogen penyebab penyakit dan juga membantu udang dalam mencerna pakan dengan kandungan serat yang tinggi. Penambahan *Bacillus* sp. yang bersifat selulolitik pada pakan bertujuan untuk membantu mencerna selulosa secara ekstrasel.

Bacillus sp. yang akan diberikan dalam pakan udang perlu memiliki syarat yaitu menghasilkan enzim ektaseluler yang baik yaitu selulase. Enzim selulase yang dihasilkan *bacillus* sp. berperan dalam proses pencernaan udang. Enzim selulase akan membantu menguraikan selulosa yang terdapat pada pakan udang menjadi molekul yang sederhana seperti glukosa yang mudah diserap oleh tubuh udang. Hal ini dapat meningkatkan dan membantu laju pertumbuhan udang menjadi lebih tinggi akibat penyerapan nutrisi yang meningkat.

Bacillus sp. yang akan diteliti merupakan koleksi Laboratorium Mikrobiologi yang diisolasi dari Hutan Mangrov. Aktivitas enzim selulase dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan yang mencakup suhu, pH, substrat dan kofaktor. Kebutuhan suhu dan pH optimum bagi aktivitas enzim ditentukan oleh lingkungan asal bakteri *bacillus* sp. Walaupun demikian, pada umumnya enzim memiliki aktivitas maksimum pada kondisi lingkungan tertentu. Karena itu, enzim selulase akan dilakukan seleksi dan dikarakterisasi berdasarkan pengaruh aktivitasnya terhadap suhu dan pH.

1.4 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Terdapat enzim selulase yang dihasilkan dari bakteri probiotik (*Bacillus* sp.).
2. Mendapatkan karakter dari enzim selulase melalui uji aktivitas dengan penambahan suhu dan pH.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Enzim

Enzim merupakan biokatalisator yang berperan dalam fungsi biologis. Peranan enzim adalah sebagai katalis dari suatu reaksi biokimia. Enzim sendiri terbentuk dari molekul protein yang merupakan polimer asam amino. Enzim akan bekerja secara spesifik, yang berarti akan bekerja pada substrat tertentu saja (Irnaningtyas., 2017). Enzim juga mampu menghasilkan kecepatan, spesifikasi, serta kendala terhadap pengaturan reaksi dalam tubuh (Supriyatna., 2015). Enzim dapat mempercepat reaksi sekitar 10^8 sampai 10^{11} kali lebih cepat dibandingkan tidak menggunakan katalis (Marks., 2014).

1.1.1. Enzim ekstraseluler

Enzim ekstraseluler merupakan enzim yang bekerja diluar sel. Enzim ini diproduksi oleh mikroorganisme dan dilepaskan ke lingkungan eksternal. Enzim ini bertujuan untuk memecah senyawa kompleks yang berada di luar sel menjadi senyawa yang sederhana, sehingga dapat dimanfaatkan oleh sel itu sendiri. Contoh dari enzim ekstraseluler adalah amilase, lipase, xilanase, protease, manannase, dan selulase (Fardiaz., 1992; Sumardi dkk., 2019).

1.1.2. Cara kerja enzim

Enzim bekerja dengan bantuan sisi aktif yang berbentuk celah. Enzim bekerja dengan menurunkan energi aktivasi sehingga peningkatan laju reaksi tidak memerlukan energi berlebih. Enzim

memiliki bentuk tiga dimensi (**gambar 1**) dimana sisi aktif enzim memiliki substrat yang spesifik.



Gambar 1. Tiga Dimensi Enzim (Pramanik dkk., 2021)

Enzim hanya mampu bekerja pada substrat tertentu. Mulanya, enzim akan berikatan dengan substrat setelahnya akan terbentuk produk. Enzim yang telah membentuk produk akan terlepas dari substrat dan akan menempel pada substrat baru (Irnaningtyas., 2017). Terdapat dua teori yang menjelaskan mekanisme kerja enzim, yaitu:

1.1.2.1. Teori Gembok dan Kunci

Teori ini menjelaskan bahwa mekanisme kerja enzim seperti gembok dan kuncinya. Hal ini dikarenakan bentuk sisi aktif enzim yang spesifik sehingga hanya substrat yang dapat bergabung memiliki bentuk yang sesuai. Jika sisi aktif enzim dan substrat tidak cocok, maka reaksi ikatan kompleks tidak akan terjadi. Dalam reaksi ini, substrat akan bereaksi dengan energi aktivasi yang rendah (Irnaningtyas., 2017).

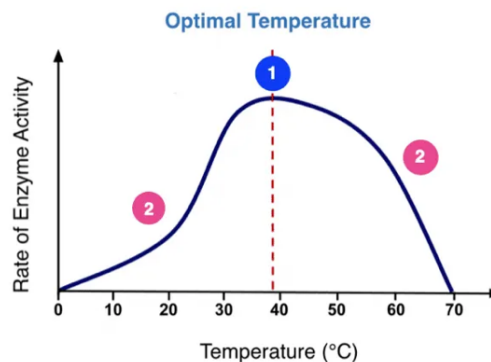
1.1.2.2. Teori Kecocokan Induksi

Teori ini berbeda dari teori diatas, hal ini dikarenakan sisi aktif enzim bersifat fleksibel sehingga mudah termodifikasi. Pada saat substrat mendekati sisi aktif enzim, maka bentuk

sisi aktif enzim tersebut akan termodifikasi dengan melingkupi substrat. Prinsip dari mekanisme kerja enzim dengan substrat tetap sama, yaitu akan membentuk ikatan kompleks. Setelah produk terbentuk, maka sisi aktif enzim akan kembali seperti semula dan akan melakukan ikatan kompleks dengan substrat yang lain (Irnaningtyas., 2019).

1.1.3. Faktor yang mempengaruhi reaksi enzimatik

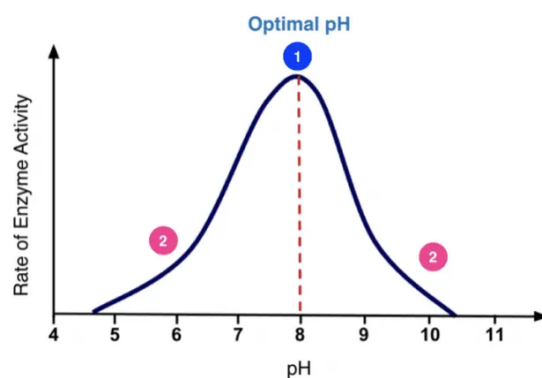
Reaksi enzimatik dari enzim sendiri dapat dipengaruhi oleh beberapa hal, salah satunya adalah pH dan suhu. Enzim memiliki suhu optimum dimana hal tersebut dapat mempengaruhi kerja enzim dengan substrat (Baynes & Dominiczak., 2019). Pada beberapa reaksi metabolisme memerlukan suhu yang tinggi untuk mencapai energi aktivasi yang besar. Enzim dapat berfungsi secara normal sebagai katalisator apabila pada suhu yang optimal. Suhu yang tinggi dapat memberikan awalan yang meningkat pada aktivitas enzim, namun aktivitas enzim akan menurun apabila suhu yang diberikan ditingkatkan menjadi lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena enzim merupakan molekul protein sehingga akan terdenaturasi pada suhu yang tinggi (Baynes & Dominiczak., 2019).



Gambar 2. Hubungan Suhu dengan Aktivitas Enzim (dikutip dari Studymind.co.uk)

Pada pH juga memiliki kesamaan dengan pengaruh suhu. Pada tiap enzim memiliki nilai pH yang berbeda untuk mencapai aktivasi yang

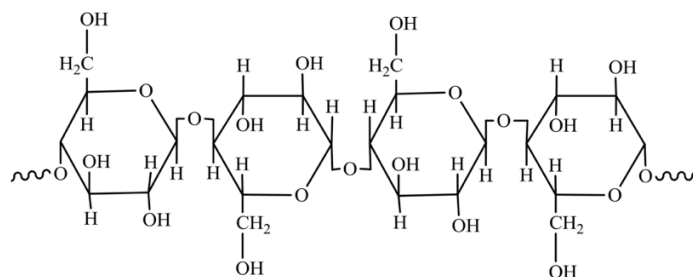
diinginkan. Sebagian enzim memiliki pH optimal sekitar 6-8. Faktor-faktor tertentu dapat membuat pH enzim menyesuaikan dengan lingkungan. Sebagai contoh adalah pepsin enzim pencernaan bekerja secara optimal pada rentang pH yang asam yaitu 2, sedangkan tripsin dalam usus bekerja paling baik pada rentang pH basa yaitu 8 (Irnanintyas., 2019). Sensitivitas pH dari enzim dipengaruhi oleh rantai samping yang memiliki muatan dari asam amino (Baynes & Dominiczak., 2019).



Gambar 3. Hubungan pH dengan Aktivitas Enzim (dikutip dari Studymind.co.uk)

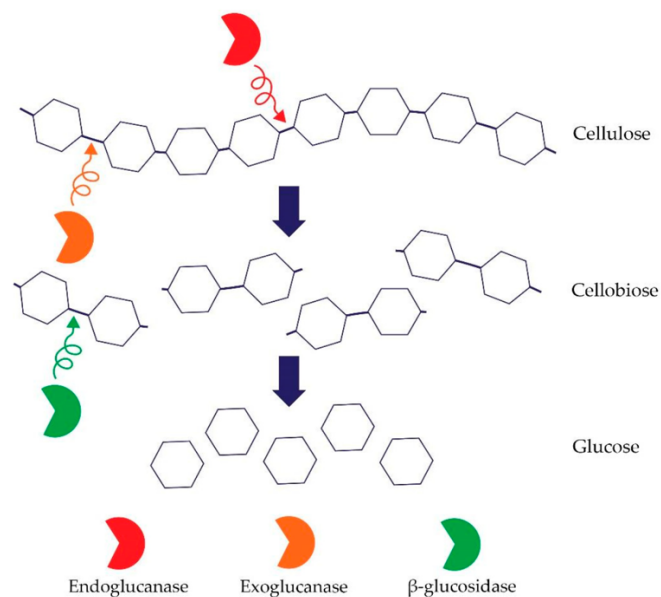
2.2 Enzim Selulase

Selulase merupakan enzim yang berperan dalam menghidrolisis selulosa. Selulosa merupakan polimer organik yang mudah dan banyak ditemukan. Selulosa memiliki peran penting dalam struktur dinding sel primer tumbuhan, beberapa alga dan oomycetes. Selulosa dapat ditemukan dalam jumlah besar dalam beberapa bahan yaitu kayu sebanyak 50 %, rami kering sebanyak 57 %, dan kapas sebanyak 90 % (Gupta dkk., 2019).



Gambar 4. Struktur Molekul Selulosa (Mulyadi., 2019)

Selulase memiliki spesifikasi untuk menghidrolisis ikatan β (1-4) glukosida dari selulosa sehingga menghasilkan selobiosa (Setyoko & Utami., 2016). Selobiosa yang telah dihasilkan, kemudian akan diubah kembali menjadi monomer glukosa. Enzim selulase memiliki 3 unit bagian enzim utama, antara lain Endo β -(1-4) glucanase yang berperan penting dalam bagian struktur rantai selulosa. Ekso β -(1-4) glucanase atau selobiohidrolase yang berperan dalam pemecahan dibagian kristal rantai selulosa. β - Glukosidase merupakan unit enzim yang berperan dalam menghasilkan produk dari selulosa menjadi glukosa (Setyoko & Utami., 2018).



Gambar 5. Mekanisme Kerja Selulase (Dobrzyn'ski dkk., 2023)

Enzim selulase didasarkan pada beberapa tiga selulase utama. Endo β -(1-4) glucanase memiliki mekanisme kerja yang didasarkan dengan degradasi acak ikatan β -1,4-glikosidik di daerah selulosa. Ekso β -(1-4) glucanase berfungsi untuk memisahkan molekul tunggal glukosan dan selobiosa dari ujung pereduksi selulosa. β - Glukosidase memiliki mekanisme kerja dengan mengubah selobiosa menjadi glukosa (**Gambar 5**).

Enzim selulase juga dapat diaplikasikan secara luas dalam berbagai bidang industri. Enzim ini dapat mempehalus kertas dan juga menjaga agar warna

kain tidak pudar pada industri tekstil (Nababan dkk., 2019). Selain itu enzim selulase dapat meningkatkan nutrisi dari pakan ternak, berperan dalam biokonservasi selulosa menjadi komoditas yang dapat mengurangi polusi limbah bagi lingkungan (Nababan dkk., 2019). Enzim ini dapat dimanfaatkan dalam proses fermentasi biomassa menjadi biofuel seperti bioetanol. Pemanfaatan enzim selulosa dalam bidang kimia seperti proses pembuatan alkohol yang menggunakan bahan yang mengandung selulosa (Nababan dkk., 2019).

2.3 *Bacillus* sp

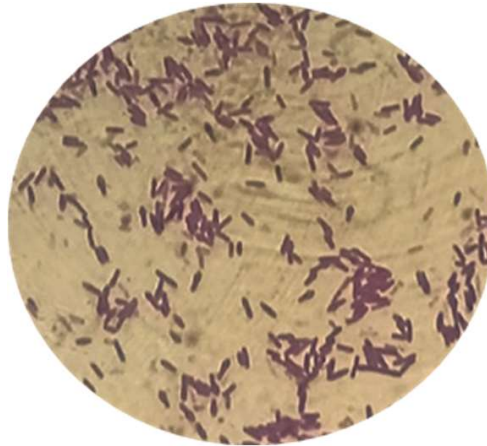
2.3.1 Klasifikasi *Bacillus* sp.

Taksonomi dari *Bacillus* sp. adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Bacteria
Phylum	: Firmicutes
Class	: Bacilli
Ordo	: Bacillales
Family	: Bacillaceae
Genus	: <i>Bacillus</i>
Species	: <i>Bacillus</i> sp. (Logan & De Vos., 2009)

2.3.2 Morfologi *Bacillus* sp.

Bacillus sp. merupakan bakteri yang berbentuk batang, Gram positif dapat dilihat pada (**gambar 6**) bersifat aerobik dan mempunyai endospora (Handayani dkk., 2023).



Gambar 6. Mikroskopis *Bacillus* sp.
(Handayani dkk., 2023)

Menurut Corbin (2004) dalam Puspita dkk. (2017) menyatakan bahwa *Bacillus* sp. memiliki bentuk koloni yang bulat dan tidak beraturan, koloni memiliki warna krem keputihan. Menurut Hatmati (2000) dalam Puspita dkk. (2017) *Bacillus* sp. memiliki tepi koloni bermacam-macam dan tidak rata dengan permukaan kasar dan tidak berlendir, bahkan cenderung kering kering dan berbubuk serta koloni besar dan tidak mengikat. *Bacillus* dapat hidup optimal pada kisaran suhu 25-35 °C dengan kisaran pH 3-10,5 (Yulma dkk., 2018).

Bacillus sp. sendiri dapat ditemukan di tanah, air, udara serta sisa-sisa tanaman. *Bacillus* sp. memiliki kemampuan untuk menghasilkan enzim serta mendegradasi substrat alami yang dapat berkontribusi dalam siklus hara (Handayani dkk., 2023).

2.4. Bakteri Probiotik

Probiotik merupakan organisme yang dapat mendukung kehidupan atau mikroorganisme yang menguntungkan bagi inangnya. Probiotik dapat menjalin simbiosis dengan inangnya untuk memperbaiki nutrisi dan pemanfaatan pakan, memperbaiki respon imun inang terhadap penyakit dan memperbaiki kualitas lingkungan (Dewi dkk., 2023).

Probiotik merupakan sumber pangan yang menguntungkan bagi organisme, dapat memperbaiki keseimbangan mikroflora, meningkatkan daya tahan, dan daya cerna (Dewi dkk., 2023). Probiotik dapat membasmi patogen berbahaya melalui mekanisme molekuler dan memodulasi respon imun inang (Anee et al., 2021).

Mekanisme kerja probiotik mencakup beberapa mekanisme. Probiotik dapat menekan laju pertumbuhan patogen dengan mengurangi penempelan patogen pada saluran cerna inang. Kemudian untuk mengeliminasi bakteri patogen, probiotik akan mengaktifkan sekresi antimikroba seperti bakteriosin. Bakteriosin dihasilkan di ribosom dan akan menempel pada membran fosfolipid patogen. Bakteriosin akan melakukan penetrasi membran patogen yang akan menyebabkan penghambatan sintesis DNA dan RNA serta kebocoran sel pada patogen (van Zyls et al., 2020).

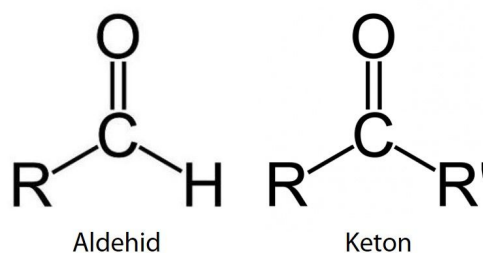
2.5. Reagen DNS (Dinitrosalicylic Acid)

Reagen DNS merupakan reagen yang sering digunakan untuk uji konsentrasi reduksi gula. Komposisi dasar reagen DNS sendiri adalah asam dinitrosalisilat, NaOH. Larutan DNS dibuat dengan cara melarutkan 1 gram DNS serbuk, 20 ml NaOH 2M, 30 g Na-K tartar sampai volumenya 100 ml (Julaeha dkk., 2016).

2.6. Analisis Gula Pereduksi

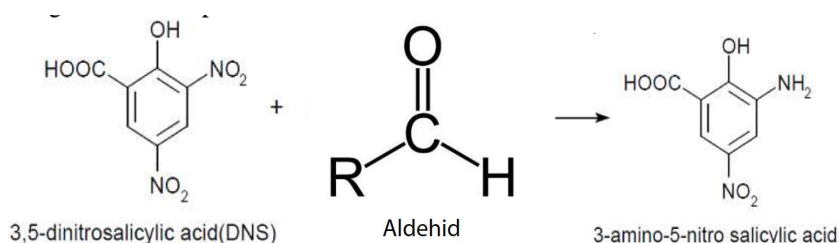
Gula reduksi merupakan gula yang memiliki kemampuan untuk mereduksi senyawa. Gula reduksi ditandai dengan adanya gugus aldehyd dan keton bebas (**Gambar 7**). Gula reduksi pada umumnya dimiliki oleh golongan monosakarida seperti glukosa, fruktosa, laktosa, maltosa, dan manosa (Wilberta et al., 2021). Sifat pereduksi dari gula ditentukan oleh ada tidaknya gugus hidroksil yang reaktif. Prinsip analisa dapat berdasarkan pada monosakarida yang memiliki kemampuan mereduksi suatu senyawa. Kandungan gula reduksi dapat

ditentukan dengan berbagai metode, baik secara kualitatif dan kuantitatif. Metode kualitatif ada beberapa uji seperti test molish, moore, bennedict, barfood, iodium dan selliwanoof. Metode kuantitatif ada Luff Schoorl, Lane Eynon, dan DNS (Afriza & Ismanilda., 2019).



Gambar 7. Gugus Aldehyd dan Keton

Salah satu metode yang sering digunakan adalah metode DNS. Prinsip dari metode DNS adalah gula pereduksi akan bereaksi dengan reagen DNS sehingga akan membentuk senyawa asam 3-amino-5-nitrosalicylic acid yang berwarna kuning kecoklatan (**Gambar 8**). Warna yang dihasilkan menentukan seberapa konsentrasi gula pereduksi dalam suatu bahan (Pratiwi dkk., 2018).



Gambar 8. Reaksi Gula Pereduksi dan DNS

Reaksi dengan DNS merupakan reaksi redok pada gugus aldehyd dan teroksidasi menjadi gugus karboksil. DNS yang berperan sebagai oksidator akan tereduksi membentuk 3-amino-5-nitrosalicylic acid (Kolo & Edi., 2018).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Februari 2025-Juli 2025.

Penelitian akan dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang akan digunakan pada penelitian ini adalah *centrifuge*, batang pengaduk, spatula, erlenmeyer, cawan Petri, tabung reaksi, gelas ukur, *beaker glass*, mikropipet, jarum ose, pipet volume, *hot plate stirrer*, neraca analitik, *shaker*, bunsen, inkubator, BSC (*Biology Safety Cabinet*), autoklaf, kertas label.

Bahan-bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sampel *Bacillus* sp., media SWC (*Sea Water Complate*) dengan komposisi Pepton (0.5 %), *Yeast Extract* (0.1 %), *Glycerol* (0.3 %), Agar (1.5 %), Aquadest (25 %), Air Laut (75 %), *congo red*, buffer fosfat, buffer asetat, DNS (*Dinitrosalicylic Acid*).

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Tahapan penelitian meliputi pembuatan media SWC, seleksi bakteri selulolitik, persiapan starter bakteri, pemurnian enzim, dan uji aktivitas enzim.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1. Pembuatan Media Sea Water Complate

Media utama yang digunakan dalam penelitian adalah media *sea water complete* (SWC) agar (*bacto peptone* 5 g/L, ekstrak *yeast* 1 g/L, gliserol 3 ml/L, 15 g/L agar, air laut 750 ml, akuades 250 ml). Pembuatan media SWC yang pertama adalah menimbang bahan-bahan media, kemudian dimasukkan kedalam erlenmeyer. Setelah itu panaskan pada *hotplate*, dan dihomogenkan dengan *magnetic stirrer*. Setelah itu, media SWC disterilakan di *autoclave* selama 20 menit dengan suhu 121 °C (**Gambar 12**) (Sumardi dkk., 2019).

3.4.2. Seleksi Bakteri Selulolitik

Bacillus sp. ditumbuhkan dalam media *Sea Water Complate* (SWC) dengan ditambahkan 1 % CMC (*Carboxmethyl cellulose*). Koloni bakteri diinkubasi selama 24 jam (**Gambar 13**). Koloni yang telah tumbuh kemudian diwarnai dengan *congo red* 1 %. Kemudian dibilas dengan NaCl 10 %, aktivitas selulolitik akan terlihat ketika terbentuknya zona bening di sekitar koloni (Sumardi dkk., 2019).

3.4.3. Pengukuran Zona Bening Selulase

Bacillus sp. yang memiliki zona bening kemudian akan dilihat kemampuan aktivitas selulasenya melalui pengukuran zona bening. Isolat bakteri yang telah diinkubasi selama 24 jam akan ditambahkan indikator *congo red* 0.5 % selama 15 menit dan dibilas dengan NaCl 1 M (**Gambar 14**) (Sipriyadi., 2019). Setelah zona bening terlihat maka dilanjutkan dengan menghitung luas zona bening dan luas koloni bakteri.

Menurut Irawan (2017) luas koloni dan luas zona bening dapat dihitung dengan metode gravimetri, dengan cara berikut:

1. Gambar pola koloni pada plastik mika bening
2. Replika koloni ditimbang pada neraca analitik

3. Membuat potongan plastik mika dengan ukuran 1 x 1 cm
4. Menghitung luas koloni dengan rumus berikut:

$$\text{Luas Koloni} = \frac{\text{Bobot Replika Koloni}}{\text{Bobot Plastik berukuran } 1 \times 1 \text{ cm}^2} \times 1 \text{ cm}^2$$

Setelah diperoleh luas koloni, maka dilanjutkan dengan menghitung indeks potensial selulase. Menurut Pertamasari dkk (2024) Indeks potensial selulase dapat diukur menggunakan rumus berikut:

$$\text{Indeks Aktivitas Enzim} = \frac{\text{Diameter Zona Bening}}{\text{Diameter Koloni Bakteri}}$$

3.4.4. Persiapan Starter Bakteri

Bacillus sp. yang telah diremajakan pada media SWC diambil sebanyak 1 ose dan diinokulasikan kedalam erlenmeyer 250 ml yang berisi 50 ml media SWC cair. Kemudian kultur diinkubasi selama 24 jam pada orbital shaker dengan suhu ruang pada kecepatan 120 rpm (**Gambar 15**).

3.4.5. Produksi Enzim

Produksi enzim dilakukan dengan menggunakan inokulum *Bacillus* sp. yang sudah diinkubasi pada media starter. Kemudian sebanyak 10 % media starter diinokulasikan ke dalam media SWC cair sebanyak 45 ml yang telah ditambahkan dengan masing-masing substrat CMC. Kemudian kultur diinkubasi pada suhu ruang selama 12 jam, 24 jam, 36 jam, 48 jam, 60 jam, dan 72 jam. Setelah diinkubasi, selanjutnya kultur disentrifuse 7500 rpm pada suhu 4 °C selama 15 menit untuk mendapatkan supernatan. Supernatan yang diambil merupakan ekstrak kasar enzim dari *Bacillus* sp.. Kemudian ekstrak kasar tersebut diuji aktivitas enzimnya (**Gambar 16**).

3.4.6. Uji Aktivitas Enzim Selulase

Pengujian aktivitas enzim selulase dilakukan dengan 2 variasi, yaitu variasi suhu dan variasi pH. Aktivitas enzim selulase diuji menggunakan metode DNS (*Dinitro Salicylic Acid*) dengan mengukur jumlah gula pereduksi yang dilepaskan CMC

- **Suhu Optimum**

Pada penentuan suhu optimum dilakukan dengan menyediakan 6 tabung reaksi yang berbeda. Setiap tabung dimasukkan dengan CMC 1 % sebanyak 1 ml dan ditambahkan dengan buffer pH optimum. Pada setiap tabung ditambahkan dengan 1 mL ekstrak kasar enzim selulase dan diinkubasi pada suhu berbeda 25 °C, 30 °C, 40 °C, dan 50 °C selama 60 menit. Reaksi dihentikan dengan menambah 1 ml reagen DNS dalam campuran reaksi. Kemudian dipanaskan dalam air pada suhu 100 °C selama 15 menit. Gula reduksi diukur dengan menggunakan spektrofotometer 575 nm. Aktivitas enzim selulase mengacu pada jumlah enzim yang melepaskan 1 µM glukosa per ml sampel per menit dalam kondisi pengujian (Sumardi dkk., 2019) (**Gambar 17**)

- **pH Optimum**

Pada penentuan pH optimum dilakukan dengan menyediakan 6 tabung reaksi yang berbeda. Setiap tabung dimasukkan dengan CMC 1 % sebanyak 1 ml dan ditambahkan dengan buffer (buffer asetat untuk pH 4, 5 dan buffer fosfat untuk pH 6, 7, 8, dan 9). Pada setiap tabung ditambahkan dengan 1 mL ekstrak kasar enzim selulase dan diinkubasi pada suhu 25 °C selama 30 menit. Reaksi dihentikan dengan menambah 1 ml reagen DNS dalam campuran reaksi. Kemudian dipanaskan dalam air pada suhu 100 °C selama 15 menit. Gula reduksi diukur dengan menggunakan spektrofotometer 575 nm. Aktivitas enzim selulase mengacu pada jumlah enzim yang melepaskan 1 µM glukosa per ml sampel per menit dalam kondisi pengujian (Sumardi dkk., 2019) (**Gambar 18**).

Aktivitas enzim selulase didapatkan ketika sudah mengetahui suhu optimum dan pH yang optimum. Setelah mendapatkan nilai absorbansi dari kedua pengaruh, maka akan dilanjutkan dengan menghitung aktivitas enzim selulase tiap unit berdasarkan rumus berikut :

$$\text{Aktivitas Unit} = \frac{\mu\text{g glukosa} \times \text{Faktor pengenceran}}{\text{BM Glukosa} \times \text{Waktu inkubasi}}$$

Keterangan :

BM Glukosa : 180

Waktu inkubasi : 30 menit

Faktor pengenceran : 1 kali

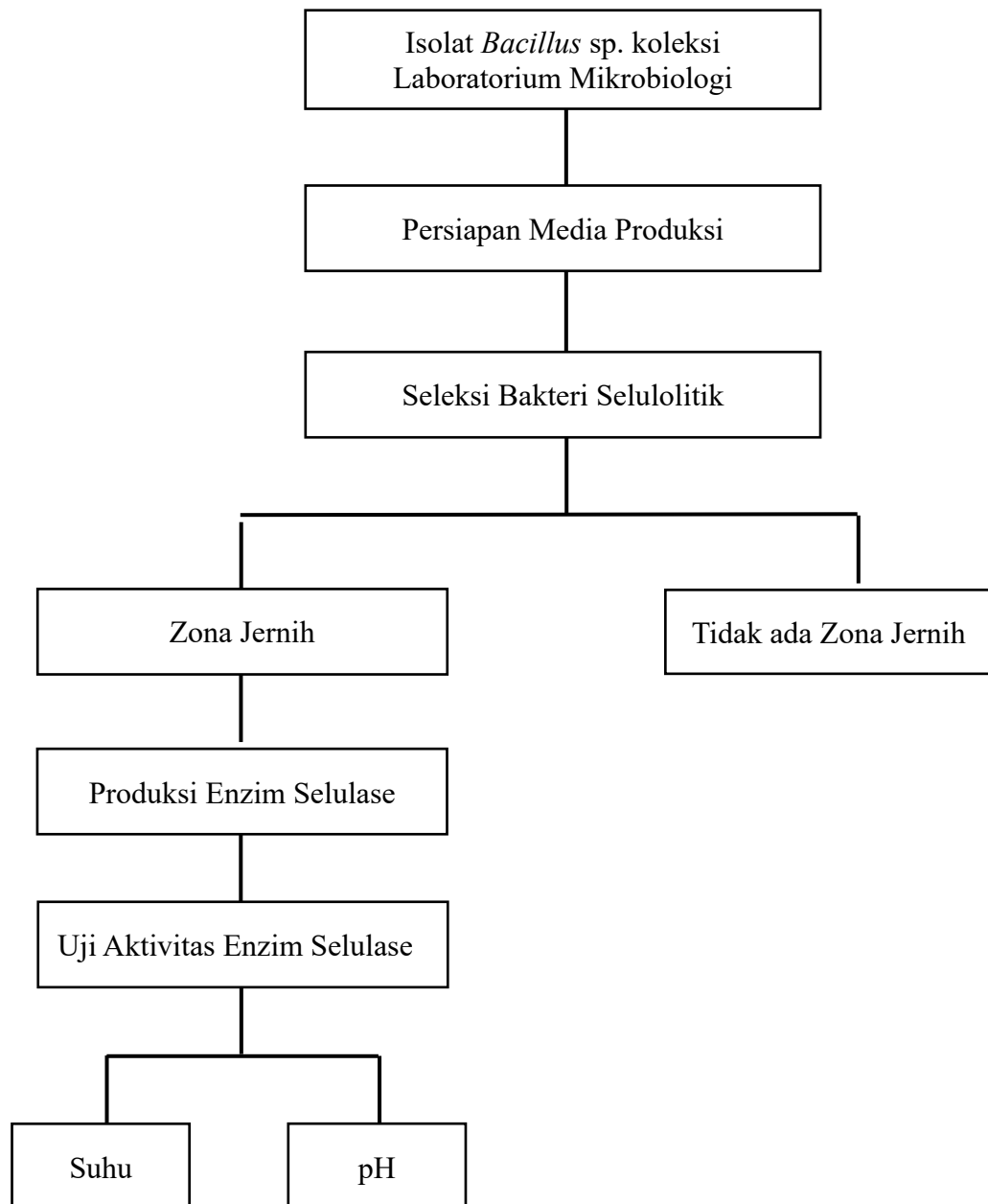
(Sumardi, dkk., 2004)

Menurut beberapa penelitian rentang Aktivitas Unit enzim selulase dapat dilihat melalui tabel berikut ini.

Tabel 1. Rentang Aktivitas Unit Enzim Selulase

Kategori	Kisaran Aktivitas	Literatur
Rendah	< 0.1 – 1 U/mL	Astuti dkk, 2022
Sedang	1 – 10 U/mL	Huang et al, 2025
Cukup Tinggi	10 – 50 U/mL	Wu dkk, 2025
Tinggi	50 – 200 U/mL	Fatema et al, 2016

3.4.7. Diagram Alir Penelitian



V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah didapatkan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Isolat *Bacillus* sp. dengan kode IBK dapat menghasilkan enzim selulase. Aktivitas enzim selulase yang dihasilkan sebesar 0,028 U/mL, yang menandakan bahwa setiap mL larutan enzim mampu mengubah 0,028 mikromol substrat per menit.
2. Karakteristik enzim selulase yang dihasilkan oleh *Bacillus* sp terhadap suhu dan pH, yaitu suhu yang optimum adalah 50 °C dengan aktivitas relatif tertinggi sebesar 100 %. pH yang optimum pada enzim selulase adalah pH 5 dengan aktivitas relatif 100 %.

5.2 Saran

Perlu dilakukan beberapa penelitian lanjutan untuk menambah informasi terkait spesies *Bacillus* sp. serta dilakukan uji lanjutan pH dan suhu optimum enzim. selain itu perlu dilakukan uji stabilitas enzim terhadap suhu dan pH optimum.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Afriza, R., & Ismanilda. 2019. Analisis perbedaan kadar gula pereduksi dengan metode lane eynon dan luff schoorl pada buah naga merah (*Hylocereus Polyrhizus*). *Jurnal Temapela*. 2(2): 90-96.
- Akbarurrasyid, M., R. R. S. Sudinno., W. P. Astiyani., & D. Sudinno. 2024. Budidaya Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) Teknologi, Pertumbuhan, Kelangsungan Hidup dan Kelayakan Usaha. *Jurnal Perikanan*. 13(1): 390-401.
- Ali N, Ting Z, Khan YH, Athar MA, Long M. 2014. Enzymatic Hydrolysis Of Cellulosic Biomass For The Production Of Biofuels, A Review. *International Journal of Engineering and Technical Research*. 2(12): 89–96.
- Andriani, Y., & G. Maudy. 2025. Kajian Efektivitas Pnambahan Probiotik Pada Budidaya Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) Sistem Bioflok Di Kolam Bundar. *Jurnal Pari*. 11 (1): 17-27.
- Anee, I. J., Alam, S., Begum, R. A., Shahjahan, R. M., & Khandaker, A. M. 2021. The Role Of Probiotics On Animal Health And Nutrition. *The Journal of Basic and Applied Zoology*. 82(1): 52.
- Aprilia, T., I. E. Effendi., I. K. B. Aprianta., & D. Febriani. 2025. Pembesaran Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) Hingga DOC 58 Pada Tambak Tanah dan Semi Beton di Kabupaten Lampung Timur, Lampung. *JAGO TOLIS: Jurnal Agrokomples Tolis*. 5(1): 40-50.
- Astuti, R. I., Y. B. P. Saju., D. Aribah., & A. T. Wahyudi. 2022. Skrining dan Identifikasi Bakteri Laut Penghasil Enzim Selulase yang Berasosiasi dengan Spons. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 27(1), 70-75.
- Bamrungpanichtavorn, T., S. Ungwiwatkul., P. Boontanom., & A. Chantarasiri. 2023. Diversity and cellulolytic activity of cellulase-producing bacteria isolated from the soils of two mangrove forests in Eastern Thailand. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 24(7): 3891-3902
- Baynes. J. W., & M. H. Dominiczak. 2019. Biokimia Kedokteran. Elsevier. Singapore.

- Bonechi, C., M. Consumi, A. Donati., G. Leone., Magnani, A., G. Tamasi., & Rossi, C. 2017. 1 - Biomass: An overview. In Dalena. F., Basile., & Rossi. C (Eds.). *Bioenergy Systems for the Future* (pp. 3–42).
- Bristow, L. A., W. Mohr., S. Ahmerkamp., & M. M. M. Kuypers. 2017. Nutrients That Limit Growth In The Ocean. *Current Biology*. 27(11): R474–R478.
- Budi, K. L., Wijanarka, W., & Kusdiyantini, E. 2018. Aktivitas Enzym Selulase Yang Dihasilkan oleh Bakteri *Serratia marcescens* Pada Substrat Jerami. *Jurnal Akademika Biologi*. 7(1): 35-42.
- Corbin, B.D. 2004. Identification and Characterization *Bacillus thuringiensis*. *J. Bacteriol*. 186: 7736–7744.
- Dewi, E. R. S. 2020. *Bioremediasi: Mikroorganisme sebagai Fungsi Bioremediasi pada Perairan Tercemar*. Repository Upgris.
- Dewi, I. C., S. Subariyanto., & E. Ernawati. 2023. Pengaruh Pemberian Probiotik *Lactobacillus* sp. dan *Bacillus* sp. dengan Dosis yang Berbeda Pada Media Pemeliharaan Terhadap Pertumbuhan dan Kelangsungan Hidup Udang Vaname (*Litopenaeus Vannamei*). *Nekton*. 3(1): 37-50.
- Dobrzyński, J., Wróbel. B., & Górka. E. B. 2023. Taxonomy, ecology, and cellulolytic properties of the genus *Bacillus* and related genera. *Agriculture*. 13(1979): 1-20.
- Fadhilah, E. A., & W. Surakusumah. 2025. Pemanfaatan Limbah Sekam Padi (*Oryza sativa* Linn.) sebagai Media Fermentasi untuk Produksi Enzim Selulase oleh *Aspergillus niger*. *Spizaetus: Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi*, 6(2), 229-238.
- Gupta, P. K., S. S. Raghunath., D. V. Prasanna., P. Venkat., V. Shree., C. Chithananthan., ... & K. Geetha. 2019. An update on overview of cellulose, its structure and applications. *Cellulose*. 201(9): 84727.
- Hamza, T. A. 2017. Bacterial Protease Enzyme: Safe And Good Alternative For Industrial And Commercial Use. *Int.J. Chem. Biomol. Sci*. 3(1):1-10.
- Handayani, K., V. Royanti, & C. N. Ekowati. 2023. Indeks Keanekaragaman Bakteri *Bacillus* sp. dari Tanah Kebun Raya Liwa. In *Gunung Djati Conference*. 18: 46-52.
- Hatmanti, A. 2000. Pengenalan *Bacillus* spp. Balitbang lingkungan laut LIPI. Jakarta. 15(1):31-41.
- Huang, L., Mo, L., Jiang, J., Huo, Y., Yu, S., Ou, J., Liu, S., Xie, X., Yan, G., Liao, C., Wu, S., Zhang, H., Huang, S., Wang, Q., & Shang, C. (2025).

Purification and characterization of cellulase produced by *Bacillus* sp. HMM. Antonie van Leeuwenhoek, 118(8), 97

Irnaningtyas. 2018. *Biologi*. Erlangga. Jakarta.

Julaeha, E., Rustiyaty, S., Fajri, N. N., Ramdani, F., & Tantra, R. 2016. Pemanfaatan Tepung Gadung (*Dioscorea Hispida* Dennst.) Pada Produksi Amilase Menggunakan *Bacillus* sp. *Edufortech*. 1(1): 45-52.

Kazemi, A., S. Rasoul-Amini., M. Shahbazi., A. Safari., & Y. Ghasemi. 2014. Isolation, identification, and media optimization of high-level cellulase production by *Bacillus* sp. BCCS A3, in a fermentation system using response surface methodology. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*. 44(2): 107-118.

KKP, K. K. dan P. 2024. statistik-KKP (Produksi Perikanan dan Kelautan).

Kolo, S. M., & Edi, E. 2018. Hidrolisis ampas biji sorgum dengan microwave untuk produksi gula pereduksi sebagai bahan baku bioetanol. *Jurnal Saintek Lahan Kering*. 1(2): 22-23.

Lestari, R. S., H. S. Nur., & W. Imaningsih. 2024. Karakterisasi Selulase termostabil Asal isolat Bakteri tanah Pertanian Pasang Surut. *Bioscientiae*. 21(1): 41-56.

Logan, N. A., & De Vos, P. 2009. Genus I. *bacillus*. *Bergey's manual of systematic bacteriology*. 3: 21-128.

Meryandini, A., W. Widosari., B. Maranatha., T. C. Sunarti., N. Rachmania., & H. Satria. 2009. Isolasi Bakteri Selulolitik dan Karakterisasinya. *Makara Journal Sains*. 13 (1):33-38.

Mulyadi, I. 2019. Isolasi dan karakterisasi selulosa. *Jurnal Saintika UNPAM. Fakultas Teknik Universitas pamulang*. 1(2): 177-182.

Nababan, M., I. B. Y. Gunam., & I. M. M. Wijaya. 2019. Produksi Enzim Selulase Kasar dari Bakteri Selulolitik. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*. 7(2): 190-199.

Permatasari, L., & H. Muliasari. 2022. Kecambah: Agen Penghidrolisis Pati yang Potensial. *Sasambo Journal of Pharmacy*. 3(2): 11-114.

Pham, T. V., Nguyen-Le, H. H., Tran-Nguyen, D. L., Nguyen, H. T. D., & Nguyen, N. A. (2025). ENHANCED PRODUCTION OF CELLULASE FROM *Bacillus* sp. D11. *Journal of Science and Technology-IUH*, 73(1).

Pramanik, S. K., S. Mahmud., G. K. Paul., T. Jabin., K. Naher., M. S. Uddin., ... & M. A. Saleh. 2021. Fermentation optimization of cellulase production from

- sugarcane bagasse by *Bacillus pseudomycoloides* and molecular modeling study of cellulase. *Current research in microbial sciences*. 2: 100013.
- Pratiwi, Y. H., Ratnayani, O., & Wirajana, I. N. 2018. Perbandingan Metode Uji Gula Pereduksi Dalam Penentuan Aktivitas?-L-Arabinofuranosidase Dengan Substrat Janur Kelapa (*Cocos Nucifera*). *Jurnal Kimia*. 134.
- Puspita, F., Ali, M., & Pratama, R. 2017. Isolasi dan karakterisasi Morfologi dan Fisiologi Bakteri *Bacillus* sp. Endofitik dari Tanaman Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Jurnal Agroteknologi Tropika*. 6(2): 44-49.
- Puspitasari, D., & M. Ibrahim. 2020. Optimasi Aktivitas Selulase Ekstraseluler Isolat Bakteri Eg 2 Isolasi Dari Bungkil Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq.). *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*. 9(1): 42-50.
- Putri, E. Z., & Denny Vitasari, S. T. 2025. *Pengaruh Variasi Waktu, Suhu, pH, dan Konsentrasi Enzim Pada Proses Hidrolisis Limbah Tepung Aren Untuk Produksi Bioetanol* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Putri, R.A.C., & Wardani, A. K. 2018. Isolasi dan Karakterisasi Parsial Enzim Selulase Bakteri Selulolitik hasil daari Limbah Padat Tapioka (Onggok). *Agroindustrial Technology Journal*. 2(2): 98-106.
- Rahim, Rukmana, M.R.A., Landu, A., Asni. 2021. Budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) super intensif dengan padat tebar berbeda menggunakan sistem zero water discharge. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 3 (3): 595-602.
- Ratnayani, O., P. E. Yulianthi., & I. N. Wirajana. 2021. Fraksinasi Selulase Mikroba Selulolitik Dengan Amonium Sulfat dan Amobilisasi Pada Agar-Agar Komersial. *Indonesian E-Journal of Applied Chemistry*. 8(1): 1-9.
- Rizky, P. N., A. B. Cahyanurani., & F. Fahrudin. 2022. Aspek Teknis (Kontruksi) Tambak Terhadap Produktivitas Budidaya Udang Vanname (*Litopenaeus Vannamei*) Secara Intensif Di PT. Andulang Shrimp Farm, Sumenep, Jawa Timur. *Grouper*. 13(1): 26–35.
- Samsuri. M., M. Gozan., Wijanarko., H. Hermansyah., Wulan PPDK., Dianursanti., M. Nasikin., B. Prasetya. 2009. Hydrolysis of bagas by cellulose and xylanase for bioethanol production in simultaneous saccharification and fermentation. *J Applied Indust Biotechnol*. 2(2): 1979-9784.
- Setyoko, H., & B. Utami. 2016. Isolasi dan Karakterisasi Enzim Selulase Cairan Rumen Sapi untuk Hidrolisis Biomassa. *Proceeding Biology Education Conference*. 13(1): 863-867.

- Soeka, Y. S., Suharna, N., Triana, E., & Yulinery, T. 2019. Characterization of cellulase enzyme produced by two selected strains of *Streptomyces macrosporeus* isolated from soil in Indonesia. *Makara Journal of Science*, 65-71.
- Sumardi, S. 2019. The Activity Assay Of Protease, Cellulase, Amylase, Xylanase And Mannanase From *Bacillus* Sp. As A Candidate Of Probiotics. *World Journal of Pharmaceutical and Life Sciences*, 5(3), 88-93.
- Ukit, U., A. Widiani., G. Islamiyah, & NS, D. L. 2022. Potensi Bakteri Endofit Limbah Daun Kayu Putih (*Melaleuca cajuputi* Powell) Terhadap Aktivitas Enzim Selulase. *Organisms: Journal of Biosciences*. 2(2): 71-84.
- Usman, Z., A. Kurniaji., A. Anton., Y. Yunarty., S. Supryady., M. S. Hamka., & H. K. Saputra. 2023. Aplikasi Berbagai Jenis Probiotik Dan Imunostimulan Komersial Pada Budidaya Udang Vaname (*Litopenaeus Vannamei*) Secara Intensif Di Tambak Plastik. *SEMAH Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Perairan*. 7(2): 72-84.
- Wilberta, N., Sonya, N. T., & Lydia, S. H. R. 2021. Analisis Kandungan Gula Reduksi Pada Gula Semut Dari Nira Aren Yang Dipengaruhi Ph Dan Kadar Air. *Bioedukasi (Jurnal Pendidikan Biologi.*, 12 (1): 101.
- Wu H, Shi C, Xu T, Dai X, Zhao D. 2025. Characterization and Optimization of Cellulose-Degrading Bacteria Isolated from Fecal Samples of *Elaphurus davidianus* Through Response Surface Methodology. *Microorganisms*. 13(2):348.