

**PENGARUH PAPARAN MEDAN MAGNET 0,2 mT PADA ION LOGAM
(Al, Fe, DAN Zn) DALAM MEDIA TERHADAP PRODUKSI SELULASE
*Bacillus sp.***

(Tesis)

Oleh

**SUMINTA FRIDA HAIRISAH
NPM 2027021005**



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

PENGARUH PAPARAN MEDAN MAGNET 0,2 mT PADA ION LOGAM (Al, Fe, DAN Zn) DALAM MEDIA TERHADAP PRODUKSI SELULASE *Bacillus* sp.

Oleh

SUMINTA FRIDA HAIRISAH

Tujuan dilakukannya penelitian ini untuk mengetahui pengaruh paparan medan magnet 0,2 mT selama 10 menit pada ion logam Al, Fe dan Zn dalam media pertumbuhan *Bacillus* sp. terhadap ukuran koloni, nilai indeks selulolitik, aktivitas enzim selulase dan stabilitas enzim selulase *Bacillus* sp. terhadap suhu. Penelitian ini menggunakan rancangan acak kelompok lengkap (RAKL) dan diperoleh 8 unit perlakuan yaitu KM₀, AM₀, FM₀, ZM₀, KM₁, AM₁, FM₁ dan ZM₁. Data kuantitatif hasil penentuan ukuran koloni, indeks selulolitik dan aktivitas enzim selulase dianalisis menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan dilanjutkan dengan uji *Tukey* dengan taraf nyata 5%. Sementara itu, data hasil pengujian stabilitas enzim selulase *Bacillus* sp. disajikan dalam bentuk deskriptif yang didukung oleh gambar.

Perlakuan ion logam Al yang dipapar medan magnet menghasilkan ukuran koloni *Bacillus* sp. paling tinggi pada pH netral (pH 6) sebesar 3,85 cm dan suhu 40°C sebesar 3,79 cm. Perlakuan ion logam Fe yang dipapar medan magnet menghasilkan indeks selulolitik dan aktivitas *Bacillus* sp. yang paling tinggi, dengan indeks selulolitik *Bacillus* sp. paling baik pada pH basa (pH 10) sebesar 0,88 dan suhu 50°C sebesar 8,68 serta aktivitas selulase *Bacillus* sp. terbaik pada pH 6 sebesar 0,052 U/ml dan suhu 50°C sebesar 0,047 U/ml. Perlakuan ion logam Fe yang tidak dipapar medan magnet menghasilkan aktivitas selulase *Bacillus* sp. terhadap suhu yang lebih stabil dibandingkan perlakuan ion logam Fe yang dipapar medan magnet.

Kata kunci : selulase, *Bacillus* sp., medan magnet, ion logam

ABSTRACT

THE EFFECT OF MAGNETIC FIELD 0,2 mT ON METAL ION (Al, Fe, AND Zn) IN MEDIA FOR PRODUCTION CELLULASE OF *Bacillus sp.*

By

SUMINTA FRIDA HAIRISAH

This research was the purpose to determine the effect of exposure to a 0,2 mT magnetic field for 10 minutes on metal ions Al, Fe, and Zn in the growth medium of *Bacillus sp.* on colony size, the value of a cellulolytic index, cellulase activity, and cellulase stability of *Bacillus sp.* to temperature. This study used a completely randomized block design (RAKL) and obtained 8 treatment units, namely KM₀, AM₀, FM₀, ZM₀, KM₁, AM₁, FM₁, and ZM₁. Quantitative data from the determination of colony size, the value of the cellulolytic index, and cellulase activity were analyzed using *Analysis of Variance* (ANOVA) to determine differences between treatments followed by *Tukey's test* with a significance level of 5%. The results of testing the stability of the cellulase *Bacillus sp.* are presented in a descriptive form supported by pictures.

The treatment of metal ions Al exposed to a magnetic field resulted in the size of the colonies of *Bacillus sp.* highest at neutral pH (pH 6) of 3.85 cm and a temperature of 40°C at 3.79 cm. The treatment of metal ions Fe exposed to a magnetic field resulted in the cellulolytic index and the activity of *Bacillus sp.* the highest, with the cellulolytic index of *Bacillus sp.* the best pH alkaline (pH 10) of 0.88 and a temperature of 50°C of 8.68 and the cellulase activity of *Bacillus sp.* the best at pH 6 of 0.052 U/ml and a temperature of 50°C at 0.047 U/ml. The treatment of metal ions Fe that were not exposed to a magnetic field resulted in the cellulase activity of *Bacillus sp.* to a more stable temperature than the treatment of metal ions Fe exposed to a magnetic field.

Keywords: cellulase, *Bacillus sp.*, magnetic field, metal ions

**PENGARUH PAPARAN MEDAN MAGNET 0,2 mT PADA ION LOGAM
(Al, Fe, DAN Zn) DALAM MEDIA TERHADAP PRODUKSI SELULASE
*Bacillus sp.***

Oleh

SUMINTA FRIDA HAIRISAH

Tesis

**Sebagai Salah Satu Syarat Mencapai Gelar
MAGISTER SAINS**

pada

**Program Pascasarjana Magister Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

Judul Tesis : **PENGARUH PAPARAN MEDAN MAGNET
0,2 mT PADA ION LOGAM (Al, Fe DAN Zn)
DALAM MEDIA TERHADAP PRODUKSI
SELULASE *Bacillus* sp.**

Nama Mahasiswa : **Suminta Frida Hairisah**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2027021005**

Program Studi : **Magister Biologi**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Sumardi, M.Si.

NIP 19650325 199103 1 003

Rochmah Agustrina, S.U., Ph.D.

NIP 19610803 198903 2 002

2. Ketua Program Studi Magister Biologi

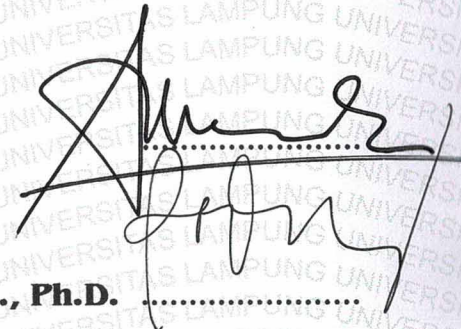
Dr. Nuning Nurcahyani, M.Sc.

NIP 19660305 199103 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Sumardi, M.Si.



Sekretaris : Rochmah Agustina, S.U., Ph.D.

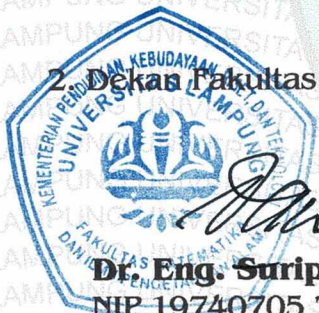


**Penguji
Bukan Pembimbing 1 : Prof. Sutopo Hadi, Ph.D.**



**Penguji
Bukan Pembimbing 2 : Dr. Bambang Irawan, M.Sc.**

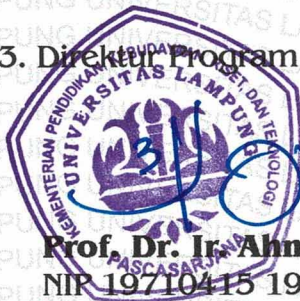
2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Sripto Dwi Yuwono, M.T.
NIP 19740705 200003 1 001



3. Direktur Program Pascasarjana



Prof. Dr. Ir. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T.
NIP 19710415 199803 1 005



Tanggal Lulus Ujian Tesis : 11 Agustus 2022

PERNYATAAN HASIL KARYA

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa :

1. Tesis dengan judul “Pengaruh Paparan Medan Magnet 0,2 mT pada Ion Logam (Al, Fe, dan Zn) dalam Media Terhadap Produksi Selulase *Bacillus* sp.” adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atas karya orang lain dengan cara yang tidak sesuai dengan etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiarism.
2. Hak intelektual atas karya ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung

Demikian pernyataan ini saya buat, apabila diketahui dikemudian hari terdapat ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, Agustus 2022
Yang menyatakan



Suminta Frida Hairisah
NPM. 2027021005

RIWAYAT HIDUP



SUMINTA FRIDA HAIRISAH, dilahirkan di Way Tenong, Lampung Barat pada tanggal 13 Februari 1996. Penulis adalah anak pertama dari pasangan Bapak M. Hairudin, S.P. dan Ibu Rita Handayani. Penulis menempuh pendidikan di SDN 1 Sukananti, Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Way Tenong dan Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Way Tenong. Pada tahun 2018 penulis telah menyelesaikan Pendidikan Tinggi S1 (S.Si) di Universitas Lampung dari Program Studi Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam dengan Skripsi yang berjudul “Produksi dan Karakterisasi Enzim Xilanase Isolat *Bacillus* sp. UJ-131 sebagai Kandidat Probiotik dari Hutan Mangrove Margasari Lampung Timur”. Pada tahun 2020, penulis melanjutkan pendidikan di Program Studi Magister Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah SWT. yang selalu menunjukkan jalan kebaikan dan melimpahkan nikmat sehat, sehingga atas Ridho-Nya karya ini dapat diselesaikan dengan baik.

Kupersembahkan karya ini sebagai tanda cinta dan kasihku kepada:

Kedua orangtuaku tercinta,

Ayahanda M. Hairudin, S.P. dan Ibunda Rita Handayani yang selalu memberikan segalanya dan yang menjadi sumber kekuatan terbesar untuk melakukan yang terbaik dalam hidup.

Adik-adikku tercinta,

Sumita Aprilina Hairisah, Amd. Kes., Sumita Novera Hairisah dan Vensy Zakhirah Hairisah yang selalu mendoakan, memberikan semangat, dukungan, motivasi tiada hentinya.

Serta,

Almamater tercinta

Menyia-nyiakan waktu merupakan suatu bentuk tindak kriminal bunuh diri secara lambat yang dilakukan di hadapan orang banyak, dan tidak ada seorangpun yang dijatuhi hukuman karenanya. Siapa yang membunuh waktunya, maka ia telah membunuh dirinya sendiri.

(Yusuf Al-Qardhawi)

Jika hendak mengenal orang yang berbangsa,
Lihat kepada budi dan bahasa
Jika hendak mengenal orang yang berbahagia,
Sangat memeliharakan yang sia-sia
Jika hendak mengenal orang mulia,
Lihatlah pada kelakuan dia
Jika hendak mengenal orang yang berilmu,
Bertanya dan belajar tiadalah jemu
Jika hendak mengenal orang yang berakal,
Di dalam dunia membawa bekal
Jika hendak mengenal orang yang baik perangai,
Lihatlah ketika bercampur dengan orang ramai.
(Raja Ali Haji dalam “Gurindam Dua Belas”)

SANWACANA

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT. yang telah memberikan rahmat serta karunia dengan kehendak-Nya penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul “Pengaruh Paparan Medan Magnet 0,2 mT pada Ion Logam (Al, Fe, dan Zn) dalam Media Terhadap Produksi Selulase *Bacillus* sp.”.

Pada kesempatan ini ucapan terima kasih yang tidak akan pernah lupa penulis sampaikan kepada Bapak **Dr. Sumardi, M. Si.** selaku pembimbing I sekaligus pembimbing akademik dan Ibu **Rochmah Agustrina, S. U., Ph.D.** selaku pembimbing II, yang senantiasa membimbing, memberikan ilmu, motivasi, saran dan kritik baik selama perkuliahan maupun dalam proses penyelesaian tesis ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Bapak **Prof. Sutopo Hadi, Ph.D.** selaku pembahas I dan Bapak **Dr. Bambang Irawan, M. Sc.** selaku pembahas II, yang telah memberikan ilmu, kritik, saran, dan nasihat kepada penulis hingga selesainya tesis ini.

Penulis mendapatkan banyak sekali bantuan dari beberapa pihak, sehingga dalam kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Karomani, M. Si., selaku Rektor Universitas Lampung;
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T., selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung;
3. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung;
4. Ibu Dr. Nuning Nurcahyani, M. Sc. selaku Ketua Program Studi Magister Biologi Universitas Lampung;

5. Bapak Drs. M. Kanedi, M. Si. selaku Ketua Jurusan Biologi FMIPA Universitas Lampung;
6. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Biologi atas semua bimbingan pengajaran, pelayanan dan bantuan yang telah diberikan;
7. Ibu Oni Mastuti, S. Si. selaku Laboran Laboratorium Mikrobiologi jurusan Biologi FMIPA Universitas Lampung, yang selalu memberikan motivasi dan dukungan kepada penulis selama melaksanakan penelitian;
8. Keluarga besar Tim Mikrobiologi, terimakasih atas pengetahuan, kerjasama, dukungan, canda dan tawa selama ini yang telah kalian berikan;
9. Teman-teman Magister Biologi 2020, terima kasih atas semangat serta kekeluargaannya yang telah terjalin selama ini;
10. Keluarga besarku. Nenek, Mamang, Endis, Pakcik, Makcik dan adik-adikku. Terimakasih karna selalu memberikan semangat dan bantuan yang tak terhingga;
11. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam proses perkuliahan;
12. Serta almamater tercinta, Universitas Lampung.

Demikianlah, semoga tesis ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua. *Amin*
Ya Robbal Alamin.

Bandar Lampung, Agustus 2022
Penulis,

Suminta Frida Hairisah

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Kerangka Pikir.....	3
1.4 Hipotesis.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 <i>Bacillus</i> sp	6
2.2 Enzim	8
2.2.1 Pengertian Enzim	8
2.2.2 Jenis Enzim dan Mekanisme Kerja Enzim	10
2.3 Enzim Selulase	12
2.4 Medan Magnet.....	15
III. METODE PENELITIAN	20
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	20
3.2 Alat dan Bahan	20
3.3 Rancangan Penelitian.....	21
3.4 Pelaksanaan Penelitian	24
3.4.1 Peremajaan Bakteri <i>Bacillus</i> sp.....	24
3.4.2 Penentuan Ukuran Koloni <i>Bacillus</i> sp.....	24
a. Ukuran Koloni <i>Bacillus</i> sp. pada pH Tertentu	24
b. Ukuran Kloni <i>Bacillus</i> sp. pada suhu Tertentu	24
3.4.3 Penentuan Indeks Selulolitik <i>Bacillus</i> sp.	25
a. Uji Selulolitik <i>Bacillus</i> sp. pada pH Tertentu	25
b. Uji Selulolitik <i>Bacillus</i> sp. pada suhu Tertentu	25
3.4.4 Aktivitas Enzim Selulase <i>Bacillus</i> sp.	26
a. Pembuatan Starter Isolat <i>Bacillus</i> sp.....	26
b. Produksi Ekstrak Kasar Enzim Selulase.	27

c. Penentuan Gula Standar Glukosa.....	27
d. Uji Aktivitas Selulase.....	28
e. Uji Aktivitas Selulase <i>Bacillus</i> sp. pada pH Tertentu.....	30
f. Uji Aktivitas Selulase <i>Bacillus</i> sp. pada Suhu Tertentu	30
3.4.5 Pengujian Stabilitas Enzim.....	30
3.4.6 Analisis Data.....	31
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Hasil Penelitian	32
4.1.1 Ukuran Koloni <i>Bacillus</i> sp.....	32
a. Ukuran Koloni <i>Bacillus</i> sp. pada pH yang Berbeda.....	32
b. Ukuran Koloni <i>Bacillus</i> sp. pada Suhu yang Berbeda.	33
4.1.2 Indeks Selulolitik <i>Bacillus</i> sp. pada Media Padat Mandels Modifikasi.....	35
a. Indeks Selulolitik <i>Bacillus</i> sp. pada pH yang Berbeda.....	35
b. Indeks Selulolitik <i>Bacillus</i> sp. pada Suhu yang Berbeda ..	37
4.1.3 Aktivitas Enzim Selulase <i>Bacillus</i> sp. pada Media Cair Mandels Modifikasi.....	39
a. Aktivitas Selulase <i>Bacillus</i> sp. pada pH yang Berbeda.	39
b. Aktivitas Selulolitik <i>Bacillus</i> sp. pada Suhu yang Berbeda	40
4.1.4 Stabilitas Enzim Selulase <i>Bacillus</i> sp. pada Suhu	42
4.2 Pembahasan	43
4.2.1 Ukuran Koloni <i>Bacillus</i> sp.....	44
4.2.2 Indeks Selulolitik dan Aktivitas Selulase <i>Bacillus</i> sp.....	47
4.2.3 Stabilitas Enzim Selulase <i>Bacillus</i> sp. pada Suhu	50
V. KESIMPULAN DAN SARAN	52
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Table 2.1 Penggolongan enzim	11
Tabel 3.1 Rancangan percobaan	21
Tabel 3.2 Penentuan larutan standar	27
Tabel 3.3 Uji aktivitas enzim selulase	29
Tabel 4.1 Pengaruh pH terhadap ukuran koloni <i>Bacillus</i> sp.....	33
Tabel 4.2 Indeks selulolitik <i>Bacillus</i> sp.pada semua perlakuan yang diinkubasi pada pH yang berbeda	36
Tabel 4.3 Aktivitas selulase <i>Bacillus</i> sp. pada pH yang berbeda.....	40
Tabel 4.4 Aktivitas selulase <i>Bacillus</i> sp. pada suhu yang berbeda.....	41

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 <i>Bacillus</i> sp.	7
Gambar 2.2 Struktur kuarteren enzim.....	9
Gambar 2.3 (a) Teori Gembok dan Kunci dan (b) Teori Kecocokan yang Terinduksi	11
Gambar 2.4 Struktur selulosa.....	12
Gambar 2.5 Mekanisme penguraian selulosa.....	13
Gambar 2.6 Arah domain diamagnetik, paramagnetik, dan ferromagnetik...	16
Gambar 2.7 Morfologi <i>Bacillus</i> sp. A) kontrol (tidak dipapar medan magnet dan penambahan ion logam) B) tidak dipapar medan magnet, penambahan ion Al C) penambahan ion Al dan pemaparan medan magnet 0,2 mT selama 10 menit	18
Gambar 3.1 Bagan alir penelitian.....	23
Gambar 3.2 Pengukuran zona bening.....	26
Gambar 4.1 Ukuran koloni <i>Bacillus</i> sp yang diinkubasi pada suhu ruang (A), suhu 40°C (B) dan suhu 50°C (C) sebagai respon terhadap perlakuan interaksi medan magnet dan ion logam	34
Gambar 4.2 Zona jernih isolat <i>Bacillus</i> sp. pada media Mandels yang dimodifikasi, mengandung <i>Carboxymethyl Cellulose</i> (CMC) yang a) diinkubasi pada pH netral dan b) pada pH basa.....	36
Gambar 4.3 Indeks selulolitik hasil perlakuan interaksi medan magnet dan ion logam yang diinkubasi pada suhu ruang (A), suhu 40°C (B) dan suhu 50°C (C).....	37

Gambar 4.4 Zona jernih isolat <i>Bacillus</i> sp. pada media Mandels yang dimodifikasi, mengandung <i>Carboxymethyl Cellulose</i> (CMC) yang diinkubasi pada a) suhu ruang, b) suhu 40°C dan c) suhu 50°C.....	38
Gambar 4.5 Aktivitas selulase <i>Bacillus</i> sp. pada berbagai pH.....	39
Gambar 4.6 Aktivitas selulase <i>Bacillus</i> sp. pada berbagai suhu	41
Gambar 4.7 Stabilitas enzim selulase <i>Bacillus</i> sp. pada suhu: A) suhu 60°C, B) suhu 70°C, C) suhu 80°C, D) suhu 90°C B) dan D) suhu 100°C.....	43

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kekayaan megabiodiversitas baik berupa mikroba maupun biomasa yang berlimpah dan potensial untuk dimanfaatkan sebagai sumber enzim. Enzim sebagai biokatalisator yang efisien dan selektif dalam mengkatalis reaksi kimia tanpa efek samping dan ramah lingkungan menyebabkan enzim menjadi salah satu faktor penting dalam perkembangan industri. Kemajuan bioteknologi, teknologi fermentasi, rekayasa genetika, dan aplikasi enzim menyebabkan penggunaan enzim semakin luas salah satunya adalah penggunaan enzim selulase (LIPI, 2020).

Selulase adalah enzim yang dapat menghidrolisis selulosa dengan memutus ikatan glikosidik β -1.4 dalam selulosa, selodektrin, selobiosa, dan turunan selulosa lainnya menjadi gula sederhana, glukosa. Mikroorganisme penghasil enzim selulase dapat berupa *fungi* dan bakteri. Kelompok bakteri menjadi pilihan utama karena pertumbuhannya yang cepat sehingga waktu yang dibutuhkan untuk memproduksi selulase lebih pendek (Nababan *et al.*, 2019). Pada kelompok bakteri, selulase dapat diproduksi oleh *Bacillus*. *Bacillus* sp. merupakan mikroorganisme golongan bakteri yang sering digunakan di dunia industri, karena mudah ditumbuhkan, tidak memerlukan substrat yang mahal, tidak menghasilkan toksik dan mampu bertahan pada tinggi 50°C (Qin *et al.*, 2009).

Produksi selulase oleh bakteri dipengaruhi beberapa faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhannya. Suhu dan pH merupakan faktor lingkungan yang memiliki pengaruh signifikan terhadap produksi enzim selulase. Faktor lingkungan tersebut harus dikendalikan sedemikian rupa agar pertumbuhan

bakteri selulolitik optimum. Terdapat faktor lingkungan lain yang akhir-akhir ini banyak diteliti pengaruhnya terhadap pertumbuhan mikroba dan produk enzim yang dihasilkannya yaitu medan magnet (Rodiah, 2018). Muhammad *et al.* (1997) menyebutkan bahwa medan magnet dapat mempengaruhi komponen protein dan lipid membrane sel mikroorganisme, sehingga dapat meningkatkan aktivitas enzim. Sumardi *et al.* (2019) menambahkan medan magnet dapat mempengaruhi permeabilitas dinding sel *Bacillus* sp. namun tidak mempengaruhi pertumbuhan bakteri *E. coli*. Paparan medan magnet 0,1 mT dan 0,2 mT meningkatkan ukuran sel *Bacillus* sp., karena *Bacillus* sp. merupakan bakteri Gram-positif yang memiliki kandungan protein peptidoglikan jauh lebih banyak dibandingkan pada bakteri gram negatif. Keberadaan protein pada dinding sel meningkatkan proliferasi sel bakteri setelah dipapar medan magnet 0,1 mT dan 0,2 mT. Selain itu, diketahui juga bahwa kandungan ion logam dapat mempengaruhi aktivitas dan produksi enzim pada mikroba (Selfiana, 2016).

Reaksi enzim selulase dipengaruhi oleh keberadaan ion-ion logam yang dapat berfungsi sebagai aktivator atau inhibitor. Al, Fe dan Zn adalah logam-logam yang mempunyai sifat kemagnetan yang berbeda. Logam Aluminium (Al) memiliki sifat kemagnetan paramagnetik (Sutresna, 2006), logam Besi (Fe) bersifat feromagnetik (Wiyanto, 2008) dan logam Zn memiliki sifat kemagnetan diamagnetik (Reitz *et al.*, 1994). Logam-logam tersebut apabila diberi perlakuan medan magnet akan memberikan respon yang berbeda juga, sehingga memberikan pengaruh yang berbeda pula pada proses metabolisme sel termasuk produksi selulase. Penambahan ion logam yang dipapar medan magnet dapat mempengaruhi produksi dan aktivitas enzim mikroba, karena beberapa enzim membutuhkan ion logam sebagai kofaktor untuk dapat berfungsi sebagai katalis secara efisien (Sumardi *et al.*, 2018). Grubner (2011) menjelaskan bahwa medan magnet diketahui dapat meningkatkan laju pergerakan ion, sehingga mengakibatkan perubahan transportasi pada membrane sel dan aktivitas metabolisme sel termasuk meningkatkan atau menurunkan aktivitas enzim. Daerah interaksi medan magnet adalah daerah yang dipengaruhi oleh medan magnet. Ion-ion membawa efek medan magnet dari daerah interaksi ke jaringan dan organ lainnya. Energi dapat ditransfer pada aktivitas metabolik secara khusus

dari medan magnet ke ion-ion pada bakteri. Perpindahan energi ke ion memberikan efek peningkatan kecepatan dan aliran ion-ion melewati membran sel (Sari *et al.*, 2012). Hasil penelitian lainnya juga membuktikan medan magnet mengubah organisasi dan struktur membran (Morelli *et al.*, 2013).

Berdasarkan kajian tersebut, diajukan kajian lanjut untuk mengetahui pengaruh paparan medan magnet 0,2 mT pada ion logam Al, Fe dan Zn dalam media pertumbuhan terhadap produksi selulase *Bacillus* sp., karena pengaruh medan magnet terhadap produksi enzim selulase pada *Bacillus* sp. belum banyak diteliti.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini untuk mengetahui :

- a. pengaruh paparan medan magnet 0,2 mT pada ion logam Al, Fe dan Zn terhadap ukuran koloni *Bacillus* sp.
- b. pengaruh paparan medan magnet 0,2 mT pada ion logam Al, Fe dan Zn terhadap indeks selulolitik *Bacillus* sp.
- c. pengaruh paparan medan magnet 0,2 mT pada ion logam Al, Fe dan Zn terhadap aktivitas enzim selulase *Bacillus* sp.
- d. pengaruh suhu terhadap stabilitas enzim selulase *Bacillus* sp.

1.3 Kerangka Pemikiran

Enzim selulase merupakan enzim ekstraseluler yang induktif, yaitu hanya dihasilkan apabila terdapat induser berupa substratnya yaitu selulosa. Terdapat tiga jenis enzim selulase yang bekerja pada proses degradasi selulosa yaitu enzim endoglukanase, eksoglukanase dan endo β -glukosidase. Endoglukanase memotong ikatan rantai dalam selulosa menghasilkan molekul selulosa yang lebih pendek, eksoglukanase memotong ujung rantai selulosa menghasilkan molekul selobiosa, sedangkan endo β -glukosidase memotong molekul selobiosa menjadi dua molekul glukosa.

Enzim selulase adalah enzim yang memegang peran penting dalam proses biokonversi limbah-limbah organik yang mengandung selulosa menjadi glukosa, produksi protein sel tunggal, dan suplemen dalam industri makanan ternak. Enzim selulase telah digunakan secara luas dalam industri tekstil, deterjen, pulp dan kertas. Selain itu, selulase juga digunakan dalam industri farmasi sebagai zat untuk membantu fungsi sistem pencernaan. Saat ini enzim selulase juga digunakan sebagai pengganti bahan kimia pada proses pembuatan alkohol dari bahan yang mengandung selulosa. Enzim selulase diekskresikan mikroba salah satunya oleh bakteri selulolitik antara lain *Bacillus* sp. *Bacillus* sp. merupakan spesies mikroba penghasil selulase yang potensial karena tidak menghasilkan toksin, mudah ditumbuhkan, tidak memerlukan substrat yang mahal, dan mampu bertahan pada suhu tinggi. Produksi enzim oleh bakteri memiliki keunggulan yaitu pertumbuhannya yang cepat dibandingkan dengan mikroba lainnya seperti jamur sehingga waktu memproduksi enzim selulase lebih pendek.

Produksi enzim selulase oleh bakteri selulolitik dapat ditingkatkan dengan cara mengoptimalkan faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhannya, salah satunya adalah medan magnet. Medan magnet telah banyak diteliti pengaruhnya terhadap metabolisme organisme baik pada hewan, tumbuhan maupun mikroba. Pada mikroba, medan magnet mempengaruhi sifat kimia unsur-unsur yang terkandung dalam medium kultur antara lain: ion-ion logam. Ion-ion logam membawa efek medan magnet dari daerah interaksi ke jaringan dan organ lainnya. Daerah interaksi medan magnet adalah daerah yang dipengaruhi oleh medan magnet. Energi dapat ditransfer pada aktivitas metabolik secara khusus dari medan magnet ke ion-ion pada bakteri. Perpindahan energi ke ion memberikan efek peningkatan kecepatan dan aliran ion-ion melewati membran sel. Semua logam memiliki sifat kemagnetan yang dibagi dalam kelompok ferromagnetik, paramagnetik dan diamagnetik. Sifat kemagnetan pada logam tersebut mengakibatkan keberadaannya dalam media sangat dipengaruhi oleh energi medan magnet. Akibatnya mikroba memberikan respon yang berbeda terhadap pengaruh magnet luar.

Hasil penelitian sebelumnya diketahui bahwa ion logam Al dan Fe yang diberi medan magnet mampu meningkatkan aktivitas protease yang dihasilkan *Bacillus* sp., sedangkan ion logam Zn yang dipapar medan magnet menurunkan aktivitas protease *Bacillus* sp. Sehingga medan magnet diketahui dapat meningkatkan laju pergerakan ion, yang mengakibatkan perubahan transportasi pada membrane sel dan aktivitas metabolisme sel termasuk meningkatkan atau menurunkan aktivitas enzim selulase. Dalam penelitian ini akan diuji pengaruh ion logam Al, Fe dan Zn yang dipapar medan magnet dalam media terhadap aktivitas selulolitik yang dihasilkan *Bacillus* sp.

1.4 Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini yaitu

- a. terdapat pengaruh paparan medan magnet 0,2 mT pada ion logam Al, Fe dan Zn pada ukuran koloni *Bacillus* sp.
- b. terdapat pengaruh paparan medan magnet 0,2 mT pada ion logam Al, Fe dan Zn pada indeks selulolitik *Bacillus* sp.
- c. terdapat pengaruh paparan medan magnet 0,2 mT pada ion logam Al, Fe dan Zn pada aktivitas enzim selulase *Bacillus* sp.
- d. terdapat pengaruh paparan medan magnet 0,2 mT pada ion logam Al, Fe dan Zn pada stabilitas enzim selulase *Bacillus* sp. terhadap suhu

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Bacillus* sp.

Bacillus sp. adalah bakteri yang berbentuk batang, dapat digolongkan sebagai bakteri gram positif pada kultur muda, motil (reaksi non motil kadang terjadi), mampu menghasilkan spora yang umumnya resisten terhadap panas, bersifat aerob (beberapa spesies bersifat anaerob fakultatif), katalase positif, dan oksidasi bervariasi. Suhu optimum untuk pertumbuhan *Bacillus* sp. yaitu pada rentang suhu 45 – 60°C dengan pH optimum antara 5.8 – 7.2 (Habibie *et al.*, 2014).

Menurut Whitman (2009) *Bacillus* sp. memiliki klasifikasi sebagai berikut:

Kingdom	: Bacteria
Phylum	: Firmicutes
Class	: Bacili
Ordo	: Bacillales
Family	: Bacillaceae
Genus	: <i>Bacillus</i>
Spesies	: <i>Bacillus</i> sp.



Gambar 2.1 *Bacillus* sp. (Aryal, 2021)

Bacillus memiliki morfologi koloni beragam dengan bentuk *circular* sampai *irregular*. Tepi koloni dibedakan menjadi *entire*, *undulate*, *crenate* atau *fimbriat* dengan tekstur granul dan elevasinya berupa *raised* hingga *convex*. Koloni bakteri dari genus *Bacillus* memiliki penampakan yang mirip seperti pada *Bacillus anthracis* dan *Bacillus cereus*. Kebanyakan koloninya lembab, mengkilat dan berwarna putih atau krim keabu-abuan, namun beberapa memiliki pigmen berwarna hitam, coklat, orange, merah muda atau kuning (Bergey, 2009).

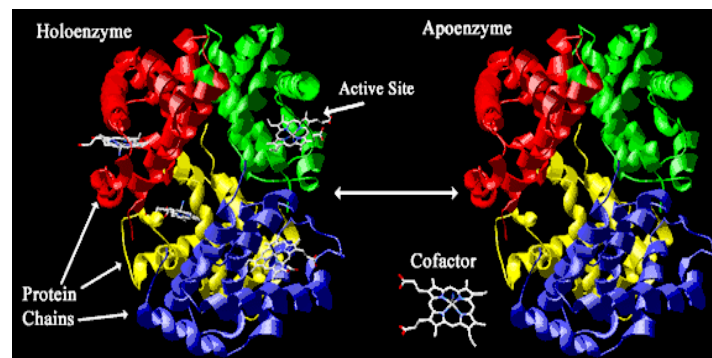
Bacillus mempunyai sifat fisiologis yang khas diantaranya: (1) mampu menghasilkan antibiotik, dan (2) berperan dalam proses nitrifikasi, denitrifikasi dan fiksasi nitrogen di alam, (3) mampu mendegradasi bahan organik yang diperoleh dari tumbuhan dan hewan seperti selulosa, pati, pektin, agar-agar, hidrokarbon dan protein yang merupakan fungsi dari enzim (Yusufa *et al.*, 2013). Menurut Yuniati *et al.* (2015) mikroorganisme merupakan sumber penghasil enzim yang paling potensial dibandingkan tanaman dan hewan. Penggunaan mikroorganisme lebih menguntungkan karena pertumbuhannya cepat, dapat tumbuh pada substrat yang murah, lebih mudah ditingkatkan hasilnya melalui pengaturan kondisi pertumbuhan dan rekayasa genetik. Enzim yang dihasilkan oleh *Bacillus* sp. antara lain enzim selulase, amilase, protease dan xilanase. Banyak penelitian yang telah berhasil mendapatkan enzim selulase dari *Bacillus* sp. seperti *Bacillus* sp. dari usus ayam (Tarigan dan Sumardi, 2015), *Bacillus* sp. UJ132 (Sumardi *et al.*, 2019), *Bacillus* sp. IBK₃ (Sumardi *et al.*, 2021), *Bacillus circulans* (Suhardi, 2010), *Bacillus subtilis* (Verma *et al.*, 2012), *Bacillus*

coagulans (Darliana, 2020). Laju pertumbuhannya yang cepat, kompleksitas enzim yang dihasilkannya, serta variabilitas habitat yang mendukung menyebabkan bakteri selulolitik banyak menarik minat orang untuk menumbuhkannya (Nurrochman, 2015), terutama terhadap produksi dan aktivitas enzim selulasenya.

2.2 Enzim

2.2.1 Pengertian Enzim

Enzim merupakan molekul *biopolymer polypeptide* yang tersusun dari rangkaian monomer asam amino dalam komposisi dan susunan yang teratur dan tetap. Sebagai biokatalis, enzim dapat meningkatkan laju reaksi berlipat kali dibandingkan reaksi kimia normal dengan spesifikasi yang tinggi. Dengan demikian, pemanfaatan enzim dapat memberikan keuntungan secara ekonomi tanpa merusak lingkungan. Enzim memiliki sifat antara lain: (1) bekerja secara spesifik, sehingga tidak memerlukan banyak proses; (2) dapat dimobilisasi dan digunakan beberapa kali; (3) dapat menguraikan limbah yang mengandung senyawa berbahaya; dan (4) secara alami dapat didekomposisi oleh dekomposer (Andualema dan Gessesse, 2012). Kata enzim ini berasal dari Bahasa Yunani yang memiliki arti ragi. Percobaan fermentasi alkohol yang dilakukan oleh Louis Pasteur menjadi tonggak atas kaitannya dengan penemuan enzim. Enzim merupakan sebuah senyawa yang tersusun atas protein (apoenzim) serta juga senyawa non protein (kofaktor). Sifat katalitik merupakan ciri khas enzim yang membedakan antara enzim dengan protein lainnya. Sifat katalitik tersebut diperoleh dari gugus kofaktor yang bisa berupa senyawa organik (koenzim serta gugus prostetik), ataupun senyawa anorganik (ion logam).



Gambar 2.2 Struktur kuartener enzim (Noor, 2014)

Kebanyakan protein merupakan enzim atau subunit enzim. Komponen utama enzim adalah protein sehingga sintesis enzim sangat terkait dengan proses ekspresi genetik. Oleh karena itu, pengaturan sintesis enzim pada dasarnya adalah pengaturan ekspresi genetik. Mekanisme pengaturan sintesis enzim telah banyak dipelajari pada bakteri dengan menggunakan model operon. Operon terdiri atas serangkaian gen struktural yang mengkode protein yang terlibat dalam proses metabolisme tertentu. Situs operator ialah sekuen DNA yang mengatur transkripsi gen struktural dan gen regulator yang mengkode protein yang mengenali daerah operator. Pada bakteri, gen-gen struktural yang menentukan sintesis enzim dalam suatu lintasan metabolik tertentu ditempatkan menurut urutan sesuai dengan rangkaian reaksi pada lintasan tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa urutan reaksi pada lintasan metabolik dikendalikan oleh kromosom (Murray, 2003). Sintesis enzim merupakan proses terbentuknya enzim sebagai protein yang terdiri dari 2 tahap yaitu tahap transkripsi dan tahap translasi. Tahap transkripsi adalah tahap dimana pada saat pembentukan mRNA di dalam nukleus dari DNA template dengan dibantu oleh enzim polimerase. Tahap translasi adalah tahap dimana mRNA keluar dari inti sel dan bertemu dengan tRNA lalu dibantu oleh Ribosom yang terdiri dari sub unit besar dan sub unit kecil (Marzuki, 2014).

Enzim telah dimanfaatkan secara luas pada berbagai industri produk pertanian, kimia dan industri obat-obatan sebagai biokatalisator. Sifat utama biokatalisator adalah bekerja spesifik untuk menaikkan kecepatan reaksi dan berperan sebagai

kontrol kinetik (Akhdiya, 2003). Aktivitas bakteri dalam memproduksi enzim dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan diantaranya pH, suhu, jumlah enzim atau produk, substrat serta ion-ion logam (Mittal, 2007). Faktor lingkungan enzim dapat mempengaruhi stabilitas enzim, sehingga lingkungan menjadi kendala yang sering dihadapi dalam industri. Stabilitas enzim didefinisikan sebagai kestabilan aktivitas enzim selama disimpan dan digunakan, serta ketika bereaksi dengan senyawa yang bersifat merusak seperti pelarut tertentu (asam, basa), dan bereaksi dalam kondisi temperatur dan pH ekstrim (Dosanjh dan Kaur, 2002). Setiap enzim memiliki suhu dan pH optimum yang spesifik. Sifat spesifik enzim didefinisikan sebagai kemampuan suatu enzim untuk mendiskriminasikan substratnya berdasarkan perbedaan afinitas substrat-substrat untuk mencapai sisi aktif enzim (August, 2000). Sifat spesifik ini dapat dimanfaatkan untuk tujuan reaksi atau jenis produk yang diharapkan. Oleh karena itu penggunaan enzim menjadi sangat menguntungkan karena tidak akan dijumpai reaksi-reaksi samping dan juga karena lebih ramah lingkungan.

2.2.2 Jenis Enzim dan Mekanisme Kerja Enzim

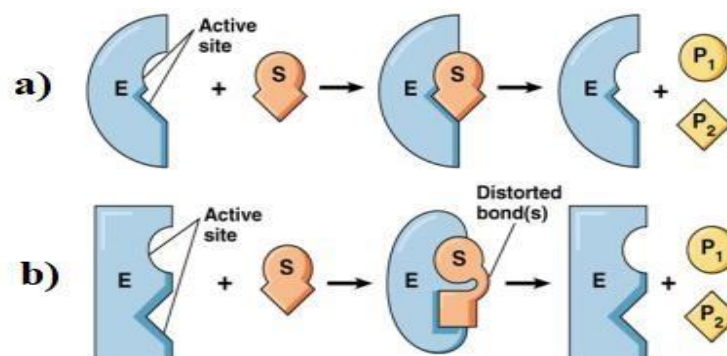
Pada Campbell dan Farrell (2013) menjelaskan bahwa berdasarkan aktivitasnya, enzim dibagi menjadi 2 golongan, yaitu pertama, endoenzim adalah enzim yang dihasilkan di dalam sel dan melakukan proses metabolisme di dalam sel dan kedua, eksoenzim adalah enzim yang dihasilkan di dalam sel kemudian dikeluarkan melalui dinding sel ke media tumbuh bakteri kemudian bereaksi dengan substrat organik yang didegradasinya tanpa bergantung pada selnya. Enzim ekstraseluler berperan untuk menghidrolisis molekul seperti selulosa, hemiselulosa, lignin di media tumbuhnya. Enzim ekstraseluler dapat dipisahkan dari medium tempat pertumbuhannya dengan filtrasi ataupun sentrifugasi, sedangkan enzim intraseluler dapat diekstrak dari dalam sel lewat proses pemecahan sel (Dessy, 2008). Menurut Poedjadi *et al.* (2005) enzim yang dibagi kedalam enam golongan. Penggolongan enzim dapat dilihat seperti terdapat dalam Tabel 2.1 berikut.

Table 2.1 Penggolongan enzim

Kelas	Jenis Reaksi yang dikatalis
<i>Oksidoreduktase</i>	Pemindahan elektron
<i>Transferase</i>	Reaksi pemindahan gugus fungsional
<i>Hidrolase</i>	Reaksi hidrolisis (pemindahan gugus fungsional ke air)
<i>Liase</i>	Penambahan gugus ke ikatan ganda atau sebaliknya
<i>Isomerase</i>	Penambahan gugus di dalam molekul menghasilkan bentuk isomer
<i>Ligase</i>	Pembentukan ikatan C-C, C-S, C-O dan C-N oleh reaksi kondensasi yang berikatan dengan penguraian ATP

Proses katalis enzim dalam suatu reaksi dimulai dengan migrasi substrat ke sisi aktif enzim membentuk kompleks enzim-substrat. Setelah reaksi berlangsung akan dihasilkan produk (P) sementara enzim (E) kembali ke bentuk semula. Molekul enzim umumnya lebih besar dari substrat, dan kombinasi enzim substrat terbentuk melalui ikatan lemah, seperti ikatan hidrogen, gaya *van der waals* dan interaksi hidrofobik (Madigan dan Martinko, 2006).

Banyak reaksi organik yang membutuhkan asam, basa atau ion logam sebagai katalis. Sisi aktif dapat menyediakan gugus asam atau basa tanpa mengganggu pH lingkungan dalam cairan tubuh. Setelah reaksi kimia selesai, molekul enzim dan substrat terpisah dan enzim mengkatalisis substrat yang lain (Isnaeni, 2020).

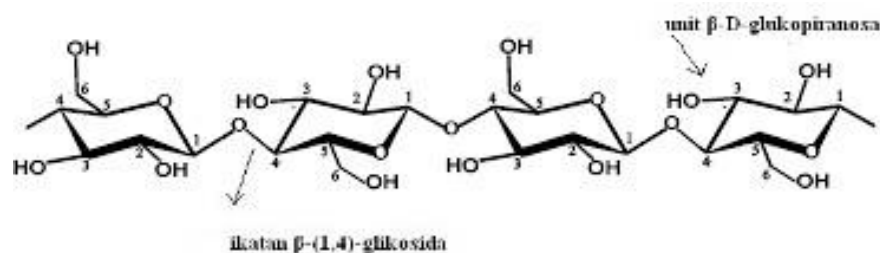


Gambar 2.3 (a) Teori Gembok dan Kunci dan (b) Teori Kecocokan yang Terinduksi (Putri, 2019)

Menurut Mittal (2007) terdapat dua teori yang menjelaskan mekanisme kerja enzim sebagai katalis yaitu, Teori Kunci-Gembok (*Lock and Key Theory*) dan Teori Kecocokan Induksi (*Induced Fit Theory*). Teori gembok-kunci menjelaskan bahwa substrat yang spesifik (polar) akan terikat pada sisi aktif enzim (non-polar) dengan bentuk dan muatan pasangan substrat. Rantai peptida yang mengandung rantai residu pada protein (enzim) menuntun substrat untuk berinteraksi dengan residu katalitik. Teori kecocokan induksi menjelaskan bahwa enzim bersifat fleksibel dan akan terinduksi untuk menyesuaikan bentuknya dengan bentuk substrat

2.3 Enzim Selulase

Enzim selulase termasuk kedalam enzim hidrolase yang bekerja pada substrat selulosa. Enzim selulase memecah ikatan (1-4) glikosida pada selulosa menjadi selobiosa dan didegradasi kembali menjadi monomer glukosa. Enzim selulase termasuk enzim ekstraseluler yang dihasilkan di dalam sel dan dikeluarkan ke media tumbuhnya untuk mendegradasi senyawa polimer (Aryani, 2012). Produksi enzim selulase secara *in vitro* dapat dilakukan dengan menggunakan media *Carboxy Methyl Cellulosa* (CMC) karena media tersebut mengandung selulosa sebagai substrat selulase (Meryandini *et al.*, 2010).

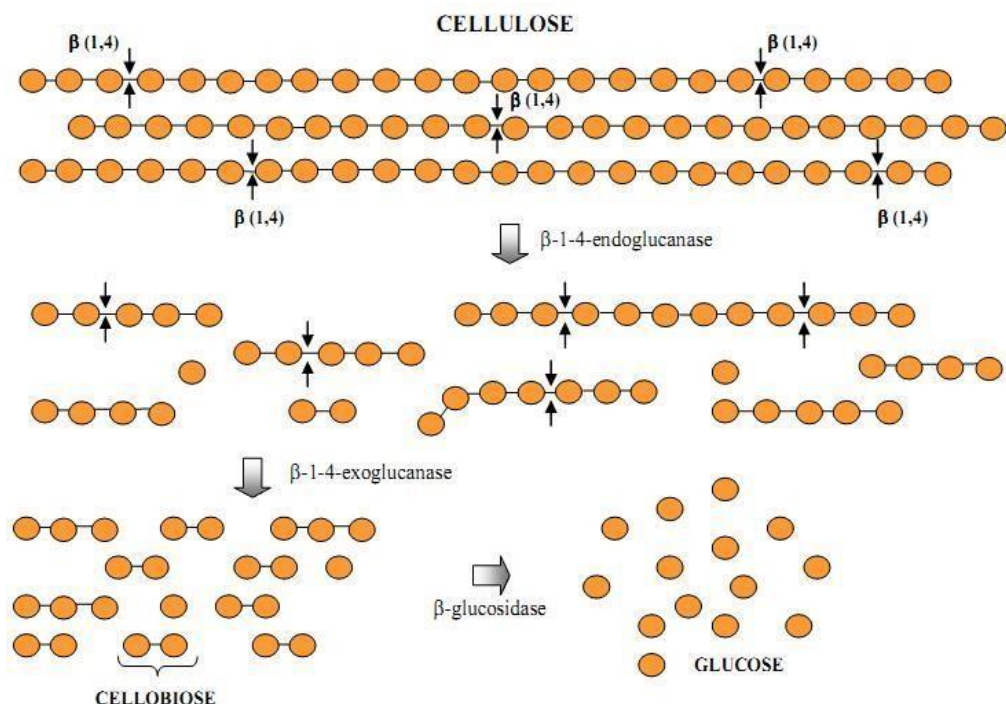


Gambar 2.4 Struktur selulosa (Fatriasari *et al.*, 2019)

Selulosa adalah biopolimer yang ketersediaannya melimpah di alam. Selulosa tergolong kedalam jenis homopolimer D-glukosa yang tersusun secara linear. Selulosa tersusun dari monomer-monomer glukosa yang terhubung oleh ikatan 1,4 glikosidik. Selulosa dengan struktur yang kriptalin terdegradasi oleh enzim selulase yang memutus ikatan 1,4 glikosidik (Setyoko dan Utami, 2016). Selulosa

merupakan komponen jaringan tanaman pembentuk dinding sel. Selulosa dalam pembentukan dinding sel tanaman berasosiasi dengan polimer lain seperti polimer hemiselulosa dan polimer lignin (Hatefi *et al.*, 2017).

Enzim selulase merupakan enzim kompleks yang terdiri dari tiga komponen enzim yaitu endoglukanase, eksoglukanase, dan β -glukosidase yang bekerja sama untuk menghidrolisis selulosa tidak larut menjadi glukosa (Putri, 2016). Pada tahap pertama enzim *endoselulase* memecah ikatan kristal selulosa yang semula berupa ikatan silang menjadi ikatan selulosa rantai lurus. Pada tahap kedua, enzim *eksoselulase* memecah selulosa berantai lurus menjadi selobiose, yaitu senyawa yang terdiri dari dua molekul glukosa. Pada tahap terakhir, enzim *selobiase* mengubah selobiose menjadi molekul-molekul glukosa (Saha, 2003). Sedikitnya ada tiga enzim yang terlibat dalam degradasi atau hidrolisis selulosa, yaitu endo- β -glukanase, ekso- β -glukanase, dan β -glukosidase (Silva *et al.*, 2005).



Gambar 2.5. Mekanisme penguraian selulosa (Mussatto dan Teixeira, 2010)

Pengelompokan nama lain dan fungsi enzim selulase adalah sebagai berikut.

- a. Enzim endo- β -1,4-glukanase (β -1,4-D-glukan-4-glukano hidrolase) menghidrolisis ikatan glikosidik β -1,4 secara acak terutama pada daerah amorf serat selulosa. Enzim ini dapat bereaksi dengan selulosa kristal tetapi kurang aktif. Selain itu, endo- β -1,4-glukanase tidak menyerang selobiosa, tapi menghidrolisis selodekstrin dan selulosa yang telah dilunakkan dengan asam fosfat dan selulosa yang telah disubstitusi (seperti CMC). Enzim ini secara umum dikenal sebagai CMC-ase atau selulaseCx.
- b. Enzim β -1-glukanase atau secara umum dikenal dengan selulase C1, menyerang ujung rantai selulosa non pereduksi dan membebaskan selobiosa tetapi tidak menyerang selulosa yang disubstitusi.
- c. Enzim β -1,4-glukosidase atau selobiase menghidrolisis selobiosa dan rantai pendek selo-oligosakarida yang menghasilkan glukosa.

Enzim selulase umum digunakan dalam berbagai industri seperti industri pangan, tekstil, pakan ternak, pertanian, dan industri lembaga (Kovács, 2009). Penggunaan selulase semakin luas di bidang industri kertas maupun industri energi terbarukan (Flimban *et al.*, 2019). Selain dalam bidang pangan dan industri, pemanfaatan enzim selulase dari bakteri dapat memberikan solusi dalam masalah pencemaran yakni mengurangi jumlah limbah selulosa seperti timbunan daun di area pembuangan akhir, limbah pertanian, rumput laut ditepi pantai serta dapat menjadi nilai tambah terhadap pemanfaatan limbah menjadiolahan pupuk organik. Enzim selulase umum digunakan dalam pembuatan bioetanol (Chasanah *et al.*, 2013), dalam proses memperhalus bubur kertas industri kertas, untuk menjaga warna kain agar tetap cemerlang, meningkatkan kualitas pangan, sebagai dekomposer bahan-bahan organik dan untuk meningkatkan nutrisi pakan ternak (Huwae dan Pingkan, 2020). Selulase berperan penting dalam biokonversi selulosa menjadi berbagai komoditas senyawa kimia yang terkandung dalam berbagai limbah dan dapat mengurangi dampak negatif dari polusi limbah terhadap lingkungan (Hartanti, 2010). Beberapa penerapan produk organik yang bermanfaat untuk pertanian diantaranya MOL (*Local Microorganism*), POC

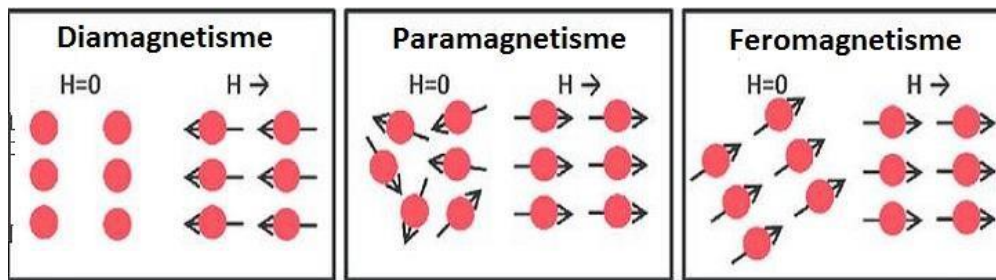
(Pupuk Organik Cair), pupuk organik padat dan bokasi serta pestisida organik (Murtiyaningsih dan Hazmi, 2017). Pengaplikasian suatu enzim harus memiliki kestabilan, seperti pada enzim selulase kestabilan pH dan stabilitas suhu sangat diperlukan dalam bidang industri (Hatefi *et al.*, 2017). Stabilitas enzim dalam bidang industri menjadi faktor penting seperti dalam industri pembangkit listrik melalui sistem MFC (*Microbial Fuel Cells*) (Manzoor *et al.*, 2018).

2.4 Medan Magnet

Medan magnet adalah suatu medan atau area yang dipengaruhi oleh gaya magnetik. Medan magnet tidak dapat dilihat, namun keberadaannya dapat dijelaskan dengan mengamati gejala-gejala pengaruhnya pada benda lain. Misalnya pada serbuk besi yang ditaburkan di sekitar magnet (Aryono, 1980). Magnet secara umum dapat dibedakan menjadi dua (a) Magnet alami yaitu bahan yang menghasilkan medan magnet dengan besaran yang tetap, (b) magnet buatan merupakan bahan yang menghasilkan medan magnet dengan sifat kemagnetan sementara dan besarnya medan magnet yang diinginkan dapat dibuat dengan cara menyesuaikan sumber penghasil medan magnetnya (Angraini, 2012).

Gaya magnetik dapat ditimbulkan oleh arus listrik yang dialirkan pada kumparan kawat yang dililitkan secara rapat pada sebuah batang besi. Kumparan kawat yang dialiri arus listrik tersebut kemudian disebut solenoida, yang dapat menimbulkan induksi magnetik. Induktansi solenoida bergantung pada sifat bahan, banyaknya lilitan dan luas penampang (Halliday dan Resnick, 1999). Menurut Ishag (2007) induksi magnetik adalah perubahan medan magnetik yang menimbulkan arus listrik, dan sebaliknya aliran arus listrik pada sebuah kawat juga dapat menimbulkan medan magnet.

Semua benda atau unsur memiliki sifat kemagnetan, termasuk unsur-unsur pada organisme. Bahan atau unsur yang berada di alam dibedakan ke dalam bahan atau unsur yang memiliki sifat kemagnetan feromagnetik, paramagnetik, dan diamagnetik. Dengan demikian setiap organisme dipengaruhi oleh keberadaan medan magnet.



Gambar 2.6 Arah domain diamagnetik, paramagnetik, dan ferromagnetik (Tedi, 2022)

a. Ferromagnetik

Ferromagnetik adalah sifat magnetik dimana suatu material dapat mengalami magnetisasi secara spontan dan merupakan bentuk kemagnetan yang paling kuat. Benda ferromagnetik memiliki permeabilitas jauh lebih besar dari satu. Benda yang mudah dilewati garis gaya magnet disebut memiliki permeabilitas tinggi. Permeabilitas udara dan ruang hampa dianggap sama dengan satu. Benda-benda yang memiliki permeabilitas tinggi bila terletak di dalam medan magnet, garis-garis gaya magnet cenderung lewat pada benda tersebut. Dengan demikian benda-benda ferromagnetik mudah ditarik oleh magnet dan mudah dibuat magnet buatan. Contoh benda ferromagnetik antara lain ialah Kobal (Co), Besi (Fe), Nikel (Ni), logam paduan seperti *alnico* dan *permalloy*. Kutub magnet, inti transformator dan bagian-bagian yang berhubungan dengan kemagnetan dibuat dari bahan ferromagnetik.

b. Paramagnetik

Benda paramagnetik memiliki permeabilitas sedikit lebih besar dari satu. Benda yang mudah dilewati garis gaya magnet disebut memiliki permeabilitas tinggi. Permeabilitas udara dan ruang hampa dianggap nilainya sama dengan satu. Benda-benda yang tergolong jenis paramagnetik tidak begitu kuat ditarik magnet dan bila terletak di dalam medan magnet, fluks yang mengalir di dalamnya sama dengan fluks magnet yang mengalir di dalam udara biasa. Contoh benda paramagnetik antara lain ialah Aluminium (Al), Magnesium (Mg), Natrium (Na), Titan (Ti), Tungsten (W), dan oksigen (O) (1 atm).

c. Diamagnetik

Benda-benda yang tergolong jenis diamagnetik sukar di tarik magnet dan bila terletak di dalam medan magnet cenderung dihindari oleh gaya magnet.

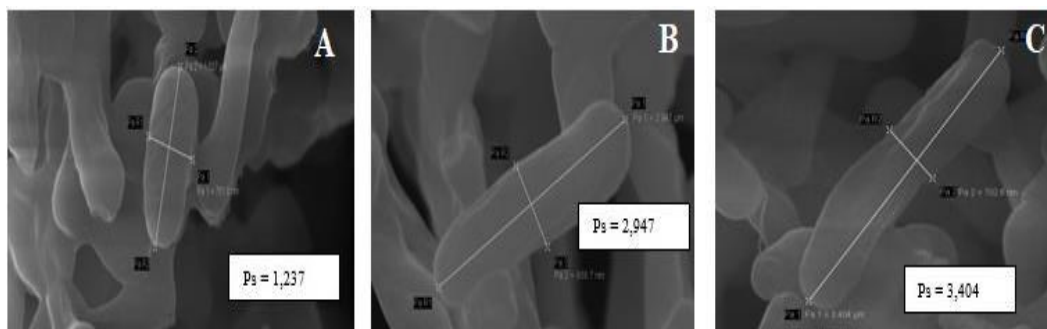
Contoh benda diamagnetik ialah Bismut (Bi), Seng (Zn), Tembaga (Cu), Intan, Air Raksa (Hg), Perak (Ag), Emas (Au), Hidrogen (H) (1 atm), Nitrogen (N) (1 atm) dan Karbondioksida (CO₂) (1 atm) (Mardiansyah, 2012).

Penelitian tentang pengaruh medan magnet terhadap sistem biologis telah banyak dilakukan (Panagopoulos *et al.*, 2002) baik pada organisme prokariot maupun eukariot. Kajian pengaruh medan magnet pada organisme prokariot, contohnya adalah kajian efek medan magnet pada pertumbuhan dan produksi protease *Bacillus* sp. (Markov *et al.*, 2004 dan Sumardi *et al.*, 2018). Pada organisme eukariot seperti tumbuhan, medan magnet banyak digunakan untuk melihat pengaruhnya terhadap laju pertumbuhan. Penelitian sebelumnya membuktikan bahwa perlakuan medan magnet 0,2 mT mampu meningkatkan vigor benih lama vegetatif tomat sehingga pertumbuhan, kandungan klorofil dan kandungan karbohidrat sama dengan pada tanaman tomat dari benih baru (Agustrina *et al.*, 2019).

Medan magnet mempengaruhi pertumbuhan bakteri. Pemaparan medan magnet dapat meningkatkan metabolisme dalam sel mikroorganisme terutama dalam penyerapan nutrisi sehingga pertumbuhannya juga meningkat. Akan tetapi, setiap mikroorganisme memiliki karakter yang unik, sehingga responnya terhadap pengaruh medan magnet pun akan berbeda tergantung pada lama paparan dan kuat medan magnet yang diberikan. Selain dampak positif, dampak negatif pemberian medan magnet juga bisa terjadi pada mikroorganisme bila perlakuan yang diberikan tidak sesuai. Dampak negatif yang terjadi antara lain penurunan aktivitas metabolisme atau hilangnya kemampuan hidup mikroorganisme. Pengaruh medan magnet terhadap karakteristik pertumbuhan bakteri melalui ekspresi gen, sintesis mRNA, sintesis protein, dan aktivitas enzim (Setyasih *et al.*, 2013). Yang *et al.* (2020) menjelaskan bahwa DNA terdiri dari ion negatif dan bergerak memutar yang berarti ion-ion negatif pada DNA tersebut juga bergerak

memutar. Saat bergerak memutar, ion-ion negatif tersebut mengalami gaya sentripetal dan berpotensi memutuskan ikatan antar asam ketika medan magnet yang diberikan semakin besar.

Sumardi *et al.* (2020) menyatakan bahwa pemberian ion logam $AlCl_3$ yang sebelumnya dipapar medan magnet 0,2 mT selama 10 menit pada media Mandels menyebabkan *Bacillus* sp. mengalami peningkatan panjang sel, indeks proteolitik dan aktivitas enzim protease dibandingkan dengan *Bacillus* sp. dari perlakuan kontrol.



Gambar 2.7 Morfologi *Bacillus* sp. A) kontrol (tidak dipapar medan magnet dan penambahan ion logam) B) tidak dipapar medan magnet, penambahan ion Al C) penambahan ion Al dan pemaparan medan magnet 0,2 mT selama 10 menit (Sumardi *et al.*, 2020)

Isolat *Bacillus* sp. yang ditumbuhkan pada media dan diberi ion logam $FeCl_2$ yang telah dipapar medan magnet juga memiliki nilai indeks proteolitik yang tinggi. Aktivitas protease meningkat dan berbanding lurus dengan peningkatan jumlah sel hidup *Bacillus* sp. ketika dipapar medan magnet 0,2 mT selama 10 menit. Sementara itu, pemberian ion $ZnCl_2$ tidak ada pertumbuhan *Bacillus* sp., begitupula pada penambahan ion $ZnCl_2$ dan pemaparan medan magnet 0,2 mT selama 10 menit juga tidak memberikan pengaruh terhadap aktivitas *Bacillus* sp. (Sumardi *et al.*, 2018). Berdasarkan data diatas maka diduga bahwa ion logam yang terdapat dalam $ZnCl_2$ merusak permeabilitas membran sel bakteri sehingga menyebabkan pertumbuhan bakteri menjadi terhambat dan produksi enzimnya menurun (Trianie dan Rustanti, 2014).

Menurut Sudarti *et al.* (2014) medan magnet mempengaruhi arah migrasi dan mengubah laju pertumbuhan, mengubah aliran ionik yang melalui membran sehingga mengakibatkan perubahan kecepatan reproduksi sel. Beberapa peneliti menduga bahwa tempat reaksi medan magnet dalam sistem biologi adalah plasma membran karena bersifat elektromagnetik (Setyasih *et al.*, 2013). Pratiwi (2016) menjelaskan bahwa paparan medan magnet 0,2 mT selama 10 menit pada komponen media Mandels yang dimodifikasi meningkatkan aktivitas enzim protease dan jumlah sel hidup *Bacillus* sp. pada media yang mengandung NaCl sebesar 0.067 U/ml dan 9.684 sel/ml. Sementara itu, Hernawati *et al.* (2015) menunjukkan bahwa medan magnet mempengaruhi pertumbuhan *Bacillus* sp. dalam menghasilkan selulase, semakin lama waktu pemaparan medan magnet 0,2 mT yang diberikan pada media, maka koloni semakin luas.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada November 2021–April 2022 di Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat gelas, ose bulat, *shaker incubator*, sentrifuse, pH meter, spektrofotometer, rak tabung reaksi, oven, pembakar bunsen, timbangan digital, *freeze drying*, inkubator untuk menginkubasi bakteri pada suhu yang terkontrol, laminar airflow untuk perlakuan yang memerlukan kondisi aseptik dan inokulasi bakteri, *hot plate stirrer*, *water bath shaker*, mikropipet dan tip, *autoclave*, *stopwatch*, *thermometer*, kumparan medan magnet sebesar 0,2 mT untuk pemberian perlakuan pada *Bacillus* sp.

Bahan-bahan yang digunakan adalah isolat bakteri *Bacillus* sp. diperoleh dari koleksi dari Laboratorium Mikrobiologi FMIPA Unila, media Mandels yang dimodifikasi (Lampiran 1), *Carboxymethyl Cellulose (CMC)*, *congo red* 0,1%, NaCl 1 M, alumunium foil, spiritus, alkohol 70%, *buffer* sitrat pH 4, pH 5, *buffer* posfat pH 6, pH 7, *Buffer* tris pH 8, pH 9, *buffer glycan-NaOH* pH 10, pereaksi DNS, *ice pack*, ion logam dalam bentuk garam yaitu AlCl₃, FeCl₂ dan ZnCl₂ yang digunakan untuk menguji pertumbuhan dan aktivitas *Bacillus* sp. dalam menghasilkan enzim selulase.

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian dilaksanakan menggunakan rancangan acak kelompok lengkap (RAKL) yang terdiri dari dua faktor. Faktor pertama yaitu medan magnet yang terdiri dari paparan medan magnet 0,2 mT selama 10 menit (M_1) dan tanpa paparan medan magnet (M_0). Faktor kedua yaitu jenis ion logam yang terdiri dari Al, Fe dan Zn. Dengan demikian diperoleh 8 unit perlakuan dan setiap unit perlakuan diulang 3 kali. Perlakuan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Rancangan percobaan

Faktor medan magnet	Faktor jenis ion logam			
	K	Al	Fe	Zn
M_0	KM_0	AM_0	FM_0	ZM_0
M_1	KM_1	AM_1	FM_1	ZM_1

Keterangan :

Perlakuan KM_0 adalah perlakuan kontrol yaitu media Mandels yang dimodifikasi tanpa penambahan logam dan paparan medan magnet.

Perlakuan KM_1 adalah perlakuan kontrol yaitu media Mandels yang dimodifikasi tanpa penambahan logam tetapi dipapar medan magnet 0,2 mT selama 10 menit.

Perlakuan 3 AM_0 adalah perlakuan media Mandels yang dimodifikasi dengan penambahan $AlCl_3$ dan tidak dipapar medan magnet.

Perlakuan 4 AM_1 adalah perlakuan media Mandels yang dimodifikasi dan diberi logam $AlCl_3$ yang dipapar medan magnet 0,2 mT selama 10 menit sebelum ditambahkan ke media.

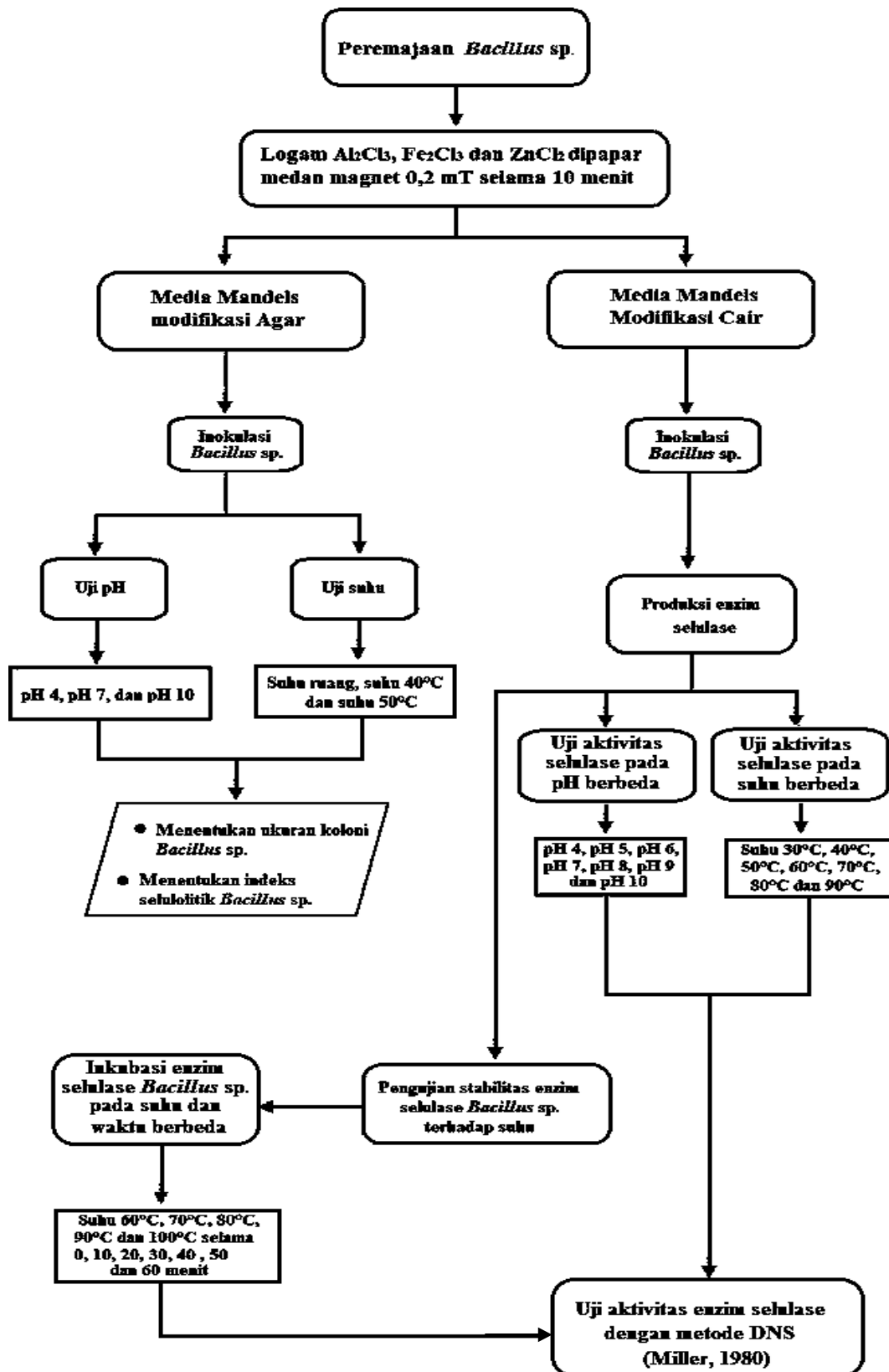
Perlakuan 5 FM_0 adalah perlakuan media Mandels yang dimodifikasi dengan penambahan $FeCl_2$ dan tidak dipapar medan magnet.

Perlakuan 6 FM₁ adalah perlakuan media Mandels yang dimodifikasi dan diberi logam FeCl₂ yang dipapar medan magnet 0,2 mT selama 10 menit sebelum ditambahkan ke media.

Perlakuan 7 ZM₀ adalah perlakuan media Mandels yang dimodifikasi dengan penambahan ZnCl₂ dan tidak dipapar medan magnet.

Perlakuan 8 ZM₁ adalah perlakuan media Mandels yang dimodifikasi dan diberi logam ZnCl₂ yang dipapar medan magnet 0,2 mT selama 10 menit sebelum ditambahkan ke media.

Tahapan penelitian dalam bentuk bagan alir seperti pada Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1 Bagan alir penelitian

3.4 Paksanaan Penelitian

Bacillus sp. ditumbuhkan pada media mengandung logam $AlCl_3$, $FeCl_2$ dan $ZnCl_2$ baik yang tidak dipapar medan magnet dan dipaparan medan magnet 0,2 mT selama 10 menit. Konsentrasi ion logam yang digunakan $AlCl_3$ dan $FeCl_2$ adalah 0,01% sedangkan logam $ZnCl_2$ dengan konsentrasi 0,005% (Selfiana, 2016). Tahap-tahap penelitian yang dilakukan sebagai berikut :

3.4.1 Peremajaan Bakteri *Bacillus* sp.

Peremajaan bakteri *Bacillus* sp. dilakukan pada media agar miring. Sebanyak satu ose isolat diambil secara aseptis dan diinokulasi pada media miring Mandels modifikasi (Lampiran 1) dalam tabung reaksi steril. Isolat kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam (Rodiah, 2018).

3.4.2 Penentuan Ukuran Koloni *Bacillus* sp.

Penentuan ukuran koloni *Bacillus* sp. dilakukan pada bakteri yang diinkubasi pada suhu dan pH berbeda.

a. Ukuran Koloni *Bacillus* sp. pada pH Tertentu

Isolat *Bacillus* sp. umur 24 jam diinokulasikan dengan metode titik pada media agar Mandels modifikasi yang telah ditambahkan 0,5% *Carboxymethui Celulose* (CMC) pada variasi pH 4, pH 7, dan pH 10. Koloni bakteri diukur diameternya setelah diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C (Sumardi *et al.*, 2021).

b. Ukuran Koloni *Bacillus* sp. pada suhu Tertentu

Isolat *Bacillus* sp. umur 24 jam diinokulasikan dengan metode titik pada media agar Mandels modifikasi yang telah ditambahkan 0,5% *Carboxymethui Celulose* (CMC) (Sumardi *et al.*, 2021) pada variasi suhu ruang, 40°C dan 50°C. Koloni bakteri diukur diameternya setelah diinkubasi selama 24 jam.

3.4.3 Penentuan Indeks Selulolitik *Bacillus* sp.

Adapun penentuan Indeks Selulolitik (IS) bakteri selulolitik dilakukan pada pH dan suhu yang berbeda :

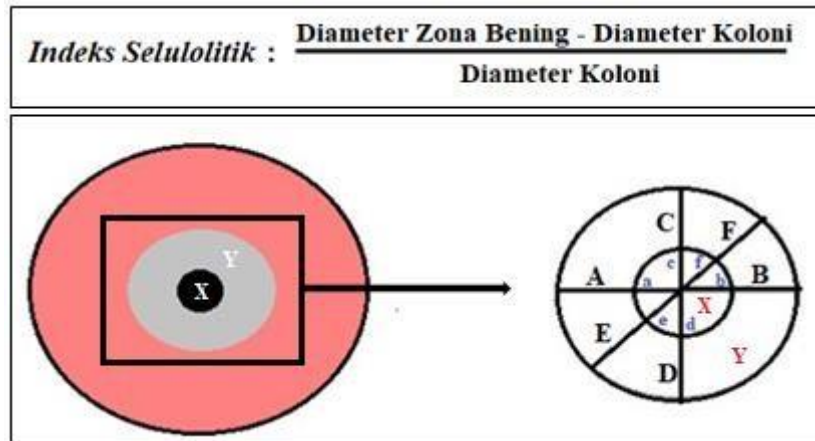
a. Uji Selulolitik *Bacillus* sp. pada pH Berbeda

Isolat bakteri umur 24 jam diinokulasikan dengan metode titik pada media Mandels agar modifikasi yang telah ditambahkan 0,5% *Carboxymethui Celulose* (CMC) dengan variasi pH 4, pH 7, dan pH 10. Pengamatan keberadaan zona jernih yang terbentuk di sekitar koloni bakteri dilakukan setelah kultur bakteri diinkubasi selama 24 jam pada 37°C (Sumardi *et al.*, 2021).

b. Uji Selulolitik *Bacillus* sp. pada Suhu Berbeda

Isolat bakteri umur 24 jam diinokulasikan dengan metode titik pada media Mandels agar modifikasi yang telah ditambahkan 0,5% *Carboxymethui Celulose* (CMC) (Sumardi *et al.*, 2021) dengan variasi suhu ruang, 40°C dan 50°C. Pengamatan keberadaan zona jernih yang terbentuk di sekitar koloni bakteri dilakukan setelah kultur bakteri diinkubasi selama 24 jam.

Koloni bakteri dan zona jernih yang terbentuk di sekitar koloni bakteri diukur diameternya dan selanjutnya ditentukan Indeks Selulolitik (IS). Penentuan indeks selulolitik dapat dihitung menggunakan rumus oleh Rosa *et al.* (2020) sebagai berikut.



Gambar 3.2 Pengukuran zona jernih

Keterangan :

X	: Koloni bakteri
Y	: Zona jernih
AB, CD, EF	: Diameter zona bening
ab, cd, ef	: Diameter koloni
Rata-rata diameter zona (Dz)	: $AB + BC + CD / 3$
Rata-rata diameter koloni (Dk)	: $ab + bc + cd / 3$
Rata-rata diameter zona bening total (RDz)	: $Dz1 + Dz2 + Dz3 / 3$
Rata-rata diameter koloni total (RDk)	: $Dk1 + Dk2 + Dk3 / 3$

3.4.4 Aktivitas Enzim Selulase *Bacillus* sp.

Aktivitas selulase diukur pada enzim yang dihasilkan dari bakteri *Bacillus* sp. yang diinkubasi pada suhu dan pH yang berbeda. Berikut tahap-tahap penentuan aktivitas selulase *Bacillus* sp. :

a. Pembuatan Starter Isolat *Bacillus* sp.

Isolat bakteri *Bacillus* sp. yang sudah diremajakan pada media Mandels diambil 1 ose dan diinokulasikan kedalam Erlenmeyer 100 ml yang berisi 50 ml media cair Mandels modifikasi. Kemudian diinkubasi selama 24 jam diatas *shaker orbital* 120 rpm pada suhu ruang (Rodiah, 2018).

b. Produksi Ekstrak Kasar Enzim Selulase

Produksi ekstrak kasar enzim selulase dilakukan dengan modifikasi metode Hernawati *et al.* (2015). Ekstra kasar enzim diproduksi dengan menginokulasikan inokulum sebanyak 10% starter ke 45 ml media cair Mandels modifikasi yang telah ditambahkan 0,5% *Carboxymethui Celulose (CMC)*, lalu diinkubasi di *shaker orbital* 120 rpm pada suhu ruang selama 24 jam. Enzim selulase yang diproduksi isolat dari masing-masing perlakuan diekstraksi dari media cair dengan cara menyentrifugasi media cair pada kecepatan 7500 rpm selama 15 menit dan suhu 4°C. Sentrifugasi media cair akan mengendapkan sel *Bacillus* sp. sebagai akibat gaya gravitasi. Supernatan hasil ekstraksi mengandung enzim yang dieksresi *Bacillus* sp. digunakan sebagai sampel uji aktivitas enzim selulase (Tabel 3.3). Aktivitas selulasenya menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 575 nm.

c. Penentuan Gula Standar Glukosa

Sebagai larutan standar digunakan deret glukosa pada konsentrasi 0 µg/mL, 200 µg/mL, 400 µg/mL, 600 µg/mL, 800 µg/mL, dan 1000 µg/mL. Pengujian gula standar dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut:

Tabel 3.2. Penentuan larutan standar (Tarigan dan Sumardi, 2015).

Bahan	Glukosa (µg/ml)					
	0	200	400	600	800	1000
Gula standar (ml)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Larutan <i>buffer</i> (ml)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
DNS (ml)	1	1	1	1	1	1

Larutan dipanaskan dalam air mendidih selama 15 menit. Selanjutnya didinginkan di air dingin selama 20 menit, kemudian diukur nilai absorbansi menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 575 nm

Nilai absorbansi yang telah didapatkan digunakan untuk menentukan kadar glukosa dengan rumus persamaan regresi linier $Y = bx+a$ (Berfeld, 1955), dimana nilai a dan b diperoleh setelah dilakukan pengukuran gula standar sedangkan Y merupakan nilai absorbansi yang dihasilkan dari pengukuran pada panjang gelombang 575 nm dan x adalah kadar glukosa yang dihasilkan. Setelah mendapatkan nilai absorbansi gula standar, untuk mendapatkan nilai a dan b dapat dilakukan perhitungan menggunakan rumus berikut:

$$a = \frac{(\sum Y) (\sum X^2) - (\sum X) (\sum XY)}{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X) (\sum Y)}{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

Keterangan :

- n : Jumlah sampel
- x : Kadar gula
- y : Nilai absorbansi
- a : Konstanta
- b : Koefisien regresi

d. Uji Aktivitas Selulase

Uji ini dilakukan dengan menggunakan metode DNS (Miller, 1980). Pertama-tama dimasukkan 0,5 ml CMC ke dalam buffer sitrat pH ke dalam tabung reaksi. Sebanyak 0,5 ml ekstrak kasar enzim dimasukkan ke dalam tabung sampel, untuk kontrol tabung sampel tidak diisi enzim. Tutup masing-masing tabung dengan aluminium foil kemudian diinkubasi dalam *shaker water bath* selama 30 menit. Setelah diinkubasi, dimasukkan 1 ml pereaksi DNS ke dalam tabung sampel untuk mengikat gula pereduksi dan membentuk warna indikator yang spesifik sehingga dapat terdeteksi pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 575 nm. Pada tabung kontrol dimasukkan 0,5 ml enzim, kemudian dengan segera dimasukkan pereaksi DNS sebanyak 1 ml. Tabung reaksi kemudian dipanaskan di dalam air mendidih selama 15 menit. Pendinginan tabung reaksi dilakukan dalam

air dingin selama 20 menit agar enzim menjadi inaktif dan stabil pada saat dilakukan pengukuran absorbansinya. Pengukuran absorbansi sampel dengan spektrofotometer dilakukan pada panjang gelombang (λ) 575 nm. Pengukuran aktivitas enzim dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Uji aktivitas enzim selulase (Miller, 1980)

Bahan	Kontrol (ml)	Uji (ml)
Enzim	-	0,5
0,5% CMC dalam buffer pH	0,5	0,5
Diinkubasi selama 30 menit pada suhu 37°C. Tabung yang berisi larutan dimasukkan ke dalam air es (untuk menghentikan aktivitas enzim)		
Perekasi DNS	1	1
Enzim	0,5	-
Dipanaskan dalam air mendidih selama 15 menit. Lalu dinginkan di air dingin selama 20 menit, kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer padapanjang gelombang 575 nm		

Kadar glukosa (μg glukosa) dihitung dengan menggunakan persamaan kurva standar glukosa. Aktivitas enzim selulase ini ditentukan berdasarkan pembentukan produk glukosa (Tabel 3.2). Nilai absorbansi yang telah diperoleh dari pengukuran tersebut, digunakan untuk menentukan kadar glukosa. Setelah kadar glukosa diketahui maka aktivitas enzim sudah dapat ditentukan. Aktivitas enzim selulase ini ditentukan berdasarkan, yaitu berdasarkan pembentukan produk glukosa. Penentuan aktivitas enzim glukosa per unit dapat ditentukan menggunakan rumus berdasarkan Hernawati *et al.* (2015) sebagai berikut :

$$\text{Aktivitas Enzim (U/mL)} = \frac{\text{kadar glukosa } (\mu\text{g}) \times \text{faktor pengenceran}}{\text{BM glukosa} \times \text{waktu inkubasi}}$$

Data yang disajikan dalam aktivitas relatif enzim (%) yang ditentukan berdasarkan aktivitas enzim melalui rumus oleh Hernawati *et al.* (2015) berikut:

$$\text{Aktivitas relatif (\%)} = \frac{\text{Aktivitas enzim yang diperoleh} \times 100\%}{\text{Aktivitas enzim tertinggi}}$$

Keterangan :

BM glukosa : 180,156 g/mol
 Waktu inkubasi : 30 menit
 Kadar glukosa : x µg/mol

e. Uji Aktivitas Selulase *Bacillus* sp. pada pH Tertentu

Uji aktivitas selulase *Bacillus* sp. pada pH dilakukan dengan menggunakan modifikasi metode Pasaribu (2017). Enzim diuji aktivitasnya dengan beberapa jenis *buffer* pH tertentu. *Buffer* yang digunakan pada uji ini antara lain *buffer* sitrat pH 4, pH 5, *buffer* posfat pH 6 dan pH 7, *Buffer* tris pH 8, pH 9, *buffer glycan*-NaOH pH 10 dengan waktu inkubasi 30 menit.

f. Uji Aktivitas Selulase *Bacillus* sp. pada Suhu Tertentu

Uji aktivitas selulase *Bacillus* sp. pada suhu dilakukan dengan menggunakan modifikasi metode Pasaribu (2017). Enzim selulase diuji aktivitasnya melalui proses inkubasi enzim dengan variasi suhu yang digunakan yaitu 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C dan 90°C dengan waktu inkubasi 30 menit.

3.4.5 Pengujian Stabilitas Enzim

Pengujian stabilitas enzim dilakukan dengan menggunakan modifikasi metode Fawzya *et al.* (2013). Penentuan stabilitas enzim selulase *Bacillus* sp. terhadap suhu dilakukan dengan menginkubasi enzim pada suhu 60°C, 70°C, 80°C, 90°C dan 100°C selama 10, 20, 30, 40, 50 dan 60 menit. Setelah diinkubasi, enzim segera didinginkan dalam air es. Enzim selulase kemudian diuji aktivitas sisanya (Tabel 3.3) dengan menginkubasinya pada kondisi pH dan suhu optimum selama 30 menit. Aktivitas enzim selulase dinyatakan dalam aktivitas relatif (%) terhadap aktivitas enzim yang tidak mengalami perlakuan panas.

3.4.6 Analisis Data

Data kuantitatif hasil penentuan ukuran koloni, indeks selulolitik dan aktivitas enzim selulase dianalisis menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan dilanjutkan dengan uji *Tukey* dengan taraf nyata 5%. Sementara itu, data hasil pengujian stabilitas enzim selulase *Bacillus* sp. disajikan dalam bentuk deskriptif yang didukung oleh gambar.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh simpulan

1. Perlakuan ion logam Al yang dipapar medan magnet menghasilkan ukuran koloni *Bacillus* sp. paling tinggi pada pH netral (pH 6) sebesar 3,85 cm dan suhu 40°C sebesar 3,79 cm.
2. Perlakuan ion logam Fe yang dipapar medan magnet menghasilkan indeks selulolitik *Bacillus* sp. paling tinggi pada pH basa (pH 10) sebesar 0,88 dan suhu 50°C sebesar 8,68.
3. Perlakuan ion logam Fe yang dipapar medan magnet menghasilkan aktivitas selulase *Bacillus* sp. paling tinggi pada pH 6 sebesar 0,052 U/ml dan suhu 50°C sebesar 0,047 U/ml.
4. Perlakuan ion logam Fe yang tidak dipapar medan magnet menghasilkan aktivitas selulase *Bacillus* sp. terhadap suhu yang lebih stabil dibandingkan perlakuan ion logam Fe yang dipapar medan magnet.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lanjut untuk mengetahui pengaruh ion logam yang dipapar medan magnet pada masing-masing kelompok paramagnetik, feromagnetik dan diamagnetik terhadap ukuran koloni, indeks selulolitik, aktivitas selulase dan stabilitas enzim selulase pada *Bacillus* sp.
2. Enzim selulase *Bacillus* sp. yang ditambahkan ion logam pada media pertumbuhan baik dipapar medan magnet maupun tidak dipapar medan magnet perlu dilakukan elektroforesis.

DAFTAR PUSTAKA

- Afsahi, B., Kazemi, A., Kheirloom, A. and Nejati, S. 2007. Immobilization of Cellulase on Non-Porous Ultra Fine Silica Particels. *Scientia Iranica*. Vol. 14 (4): 379-383.
- Agustrina, R., Handayani, T. T., dan Sumardi. 2013. Observation of The Effect of Static Magnetic Field 0.1 mT on α -Amylase Activity in Legume Germination. *2nd International Conference on Engineering and Technology Development (ICETD 2013)*.
- Agustrina, R., Irawan, B., dan Novitasari, V. 2019. Pertumbuhan Vegetatif Tanaman Tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill.) dari Benih Lama yang Diinduksi Kuat Medan Magnet 0,1 mT, 0,2 mT, dan 0,3 mT. *Jurnal Biologi Indonesia*. Vol. 15(2): 219-225.
- Akhdiya, A. 2003. Isolasi Bakteri Penghasil Enzim Protease Alkalin Termotabil. *Buletin Plasma Nutfah*. Vol. 9 (2): 38-44.
- Alonso, M dan Finn, E. D. 1992. *Dasar-Dasar Fisika Universitas Jilid 2 Medan Magnet dan Gelombang Edisi ke 2*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Allen, S. J., and Brown, P. A. 1995. Isotherm analyses for single component and multi-component metal sorption onto lignite. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental AND Clean Technology*. Vol. 62(1): 17-24.
- Andualema, B. and Gessesse, A. 2012. Microbial Lipases and Their Industrial Applications: Review. *Biotechnology*. Vol. 11(3): 100-118.
- Anggriani, R., Iskandar, dan Taofiqurohman, A. 2012. Efektivitas Penambahan *Bacillus* sp. Hasil Isolasi dari Saluran Pencernaan Ikan Patin pada Pakan Komersial Terhadap Kelangsungan Hidup dan Pertumbuhan Benih Ikan Nila Merah *Oreochromis niloticu*. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*. Vol. 3 (3): 75-83.
- Apriani, K., Haryani, Y., dan Kartika, G. 2014. Produksi dan Uji Aktivitas Selulase dari Isolat Bakteri Selulolitik Sungai Indragari. *JOM FMIPA*. Vol. 1(2):261- 267.

- Aryal, S. 2021. Biochemical Test of *Bacillus subtilis*. <https://microbenotes.com/biochemical-test-of-bacillus-subtilis/> (Diakses pada 2 Oktober 2021 pukul 19.00)
- Aryani, S.W. 2012. Isolasi dan Karakterisasi Ekstrak Kasar Enzim Selulase dari Kapang Selulolitik *Mucor sp.* *Skripsi*. Universitas Airlangga. Jawa Timur.
- Aryono, D. 1980. *Listrik dan Magnet*. Penerbit Alumni. Bandung.
- Astriani, M. 2017. Skrining Bakteri Selulolitik Asal Tanah Kebun Pisang (*Musa paradisiaca*). *Jurnal Biota*. Vol. 3(1): 6–10.
- August, E. G. 2000. Kajian Lipase Amobil dari *Aspergillus Niger* pada Pembuatan MAG yang Bersifat Antibakteri dari Minyak Kelapa. *Tesis*. Program Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Baehaki, A., Rinti., dan Budiman, A. 2011. Isolasi dan Karakterisasi Protease dari Bakteri Tanah Rawa Indralaya, Sumatera Selatan. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, Vol. 22 (1) : 10-16.
- Baharuddin, M., Patong, A. R., Ahmad, A., Lanafie, N. 2014. Pengaruh Suhu dan pH Terhadap Hidrolisis CMC oleh Enzim Selulase dari Isolat Bakteri Larva Kupu-Kupu *Cossus cossus*. *Jurnal Teknosains*. Vol. 8(3): 343-356
- Belitz, H. D., Groth, W., and Schieberle, P. 2008. *Food Chemistry*. 4th ed Springer Verlag. Berlin.
- Bergey, D. H and Boone, D. R. 2009. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*.
- Bintarti, A. N. dan Bambang, E. H. B. 2006. Pengaruh Garam $Al(NO_3)_3$ terhadap Ekstraksi Itrium dari Konsentrat Logam Tanah Jarang. *Prosiding PPI-PDIPTN 2006 Pustek Akselerator dan Proses Bahan-BATAN*.
- Campbell, M. K. and Farrell, S. O. 2013. *Biochemistry*. Ed ke-8. USA. Graphic World Inc.
- Chasanah, E., Dini, I. R., dan Mubarik, N. R. 2013. Karakterisasi Enzim Selulase PMP 0126Y dari Limbah Pengolahan Agar. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*. Vol. 8(2): 103-113.
- Darlina, I. 2020. Biodegradasi Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) Menggunakan Konsorsium Bakteri Penghasil Enzim Selulase. *Wanamukti*. Vol. 23 (1): 1-9.

- Darnall, D. W., Greene, B., Henzl, M. T., Hosea, J. M., McPherson, R. A., Sneddon, J., & Alexander, M. D. 1986. Selective recovery of gold and other metal ions from an algal biomass. *Environmental Science & Technology*. Vol. 20(2): 206-208.
- Dessy, C. S. 2008. Isolasi Bakteri dan Uji Aktivitas Amilase Kasar Termofilik dari Sumber Air Panas Panen Sibirubiru Sumatera Utara. *Skripsi*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Devi, S. R and Prasad, M. N. V. 1999. Membrane Lipid Alterations in Heavy Metal Exposed Plants. *Springer-Verlag*. 99–116.
- Diah, A. N. M. 2007. Studi Aktivitas Spesifik Selulase dari *Lactobacillus collinoides* yang Dimurnikan dengan Pengendapan Bertingkat Amonium Sulfat. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Brawijaya.
- Dosanjh, N. S., and Kaur, J. 2002. Immobilization, Stability, and Esterification Studies of A Lipase from *Bacillus* sp. *Journal Biotechnology and Applied Biochemistry*. Vol. 36(1): 7-12.
- Erika, R., Agustrina, R., Sumardi, dan Mulyono. 2016. Optimasi Media Produksi Xilanase dari *Bacillus* sp. *Jurnal selulosa*. Vol. 6(1): 19–26.
- Fatriasari, W., Masruchin, N., dan Hermiati, E. 2019. *Selulosa, karakteristik dan pemanfaatannya*. LIPI Press. Jakarta.
- Fawzuya, Y. N., Putri, S., Noriko, N., and Patantis, G. 2013. Identification of SGS 1609 Cellulolytic Bacteria Isolated from *Sargassum spec.* and Characterization of The Cellulase Produced. *Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology*. Vol. 8(2): 57-68.
- Flimban, S., Oh, S. E., Joo, J. H., and Hussein, K. A. 2019. Characterization and Identification of Cellulose Degrading Bacteria Isolated from a Microbial Fuel Cell Reactor. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*. Vol. 24(4): 622–631.
- Farida, A. N. 2016. Peran Bakteri *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas putida* dalam Bioremediasi Logam Berat (Fe, Cu, dan Zn) pada Tanah Tercemar Minyak Bumi. *Doctoral dissertation*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Gaafar., El-Sayed, A., Magda S. H., Eman, Y. T., and Mona, H. I. 2006. Stimulation and Control of *E.coli* by Using an Extremely Low Frequency Magnetic Field. *Journal Biophys*. Vol. 16 (4) : 283-296.
- Gao, M., Zhang, J., dan Feng, H. 2011. Extremely Low Frequency Magnetic Field Effects on Metabolite of *Aspergillus niger*. *Bioelectromagnetics*. 72-78.

- Grubner, S. J. 2011. Peningkatan Proliferasi Kultur Sel Punca Mesenkim Asal Darah Tepi Melalui Pemaparan Medan Magnet Disk Permanen 200 mT selama Dua dan Empat Jam per Hari. *Tesis*. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Habibie, M. F., Wardani, A. K., dan Nurcholis, M. 2014. Isolasi dan Identifikasi Mikroorganisme Termofilik Penghasil Xilanase. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*. Vol. 2(4): 231-238.
- Halliday, D and Resnic, D. 1999. *Fisika Dasar*. Erlangga. Jakarta.
- Hartanti. 2010. Termofilik dari Kawah Air Panas. *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Hatefi, A., Makhdoumi, A., Asoodeh, A., and Mirshamsi, O. 2017. Characterization of A Bi Functional Cellulase Produced by A Gut Bacterial Resident of Rosaceae Branch Borer Beetle *Osphranteria coerulescens* (Coleoptera: Cerambycidae). *International Journal of Biological Macromolecules*. Vol. 103(1): 158–164.
- Hernawati W, Sumardi, and Rochmah, A. 2015. Effect of Magnetic Field Exposure on Modified of Media Mandels to The Growth and Activity of The Enzyme Cellulase *Bacillus* sp. *Jurnal Penelitian pertanian Terapan*. Vol. 16(2): 76-84.
- Huwae, L. M. C. dan Pingkan, A. 2020. Isolasi dan Identifikasi Bakteri Termofilik Penghasil Enzim Selulase dari Sumber Air Panas Sila. *Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan Papua*. Vol. 3(1): 32-35.
- Ika, T., dan Said, I. 2012. Analisis Logam Timbal (Pb) dan Besi (Fe) dalam Air Laut di Wilayah Pesisir Pelabuhan Ferry Taipa Kecamatan Palu Utara. *Jurnal Akad. Kim*. Vol. 1(4): 181-186.
- Ishaq, M. 2007. *Fisika Dasar: Elektrisitas dan Magnetisme*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Isnaeni, N. 2020. Klasifikasi dan Tata Nama Enzim. https://www.researchgate.net/figure/Gambar-21-Skema-reaksi-enzimatis_fig3_341152443. (Diakses pada 4 Oktober 2021 pukul 15. 00)
- Jo, W. S., Park, H. N, Cho, D. H., Yoo, Y. B., and Park, S. C. 2011. Optimal Media Conditions for the Detection of Extracellular Celluase Activity in *Ganoderma neo-japonicum*. *Journal of Mycobiologi*. Vol. 39(2): 129-132.
- Kovács, K. 2009. Production of Cellulolytic Enzymes with *Trichoderma atroviride* Mutants for The Biomass to Bioethanol Process. *Thesis*. ELTE Institute of Chemistry.

- Lay, B. W. 1994. *Analisis Mikroba Di Laboratorium*. Jakarta: PT. Raja Grafindo Persada.
- Leahy, J. G., dan Colwell, R. R. 1990. Microbial Degradation of Hydrocarbons in The Environment. *Microbiological reviews*. Vol. 54(3): 305-315
- LIPI. 2020. Penemuan dan Pengembangan Enzim Asli dari Bioresources Indonesia Untuk Industri Makanan. <https://biotek.lipi.go.id/2020/07/16/penemuan-dan-pengembangan-enzim-asli-dari-bioresources-indonesia-untuk-industri-makanan/> (Diakses pada 16 Oktober 2021 pukul 19.00)
- Madigan, M and Martinko, J (editors). 2006. *Brock Biology of Microorganism. (11th ed.)*. Prentice Hall. USA.
- Mandels, M., Andreotti, R., and Roche, C. 1976. Measurement of Saccharifying Cellulase. *Biotechnol and Bioeng Symp*. Vol. 6(1): 21-33.
- Manzoor, N., Cao, L., Deng, D., Liu, Z., Jiang, Y., and Liu, Y. 2018. Cellulase Extraction from Cellulolytic Bacteria Promoting Bioelectricity Production by Degrading Cellulose. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. Vol. 829: 241–248.
- Mardiansyah, R. 2012. Potensi Medan Elektromagnetik Sebagai Sumber Pembangkit Tenaga Listrik. *Skripsi*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok.
- Markov, M., Hazlewood, C., and Ericsson, A. 2004. Systemic Effect A Plausible Explanation of the Benefit of Magnetic Field Therapy. *Proceedings of Biological Effects of EMFs*. 3rd International Workshop: 673-681.
- Marpaung, M dan Ahmad, U. 2015. Pelapis nanokomposit untuk pengawetan salak pondoh terolah minimal. *Jurnal Keteknik Pertanian*. 3(1): 73-80
- Marzuki, I. 2014. *Enzim Struktur, Nomenklatur dan Mekanisme Kerja Enzim*. UI Press. Jakarta.
- Meryandini, A., Widosari, W., Maranatha, B., dan Sunarti, T. 2010. Isolasi Bakteri Selulolitik dan Karakterisasi Enzimnya. *Jurnal Sains*. Vol. 13 (1): 33-38.
- Miller, G. L. 1980. Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Journal Anal Chemistry*. 31: 426-428.
- Mittal, A. 2007. *Microbial Physiology and Biochemistry*. Department of Biochemical Engineering & Biotechnology. Indian Institute of Technology. India.

- Morejon, L P., Palacio, Castro, J. C., Abad, V., and Govea, A. P. 2007. Stimulan of *Pinus tropicalis* M. Seeds by Magnetically Treated Water. *International Journal Agrophysics*. Vol. 21: 173-177.
- Morelli, A., Ravera, S., Panfoli, I., dan Pepe, I. M. 2005. Effects of Extremely Low Requency Electromagnetic Fields on Membrane Associated Enzymes. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 441: 191–198.
- Muhammad, A. A., F. M. Ali, E. A. Gaafar, and H. R. Magda. 1997. Effects of Magnetic Field on the Biophysical, Biochemical Properties and Biological Activity of *Salmonella typhi*. *Master thesis submitted for Biophysics department, Faculty of science*. Cairo University. Egypt.
- Murray, R. K. 2003. *Harper's Illustrated Biochemistry 26th Edition*. USA. McGraw-Hill Companies.
- Murtiyaningsih, H., dan Hazmi, M. 2017. Isolasi dan Uji Aktivitas Enzim Selulase pada Bakteri Selulolitik Asal Tanah Sampah. *Agritop*. Vol. 15(2): 293–308.
- Mussatto, S. I., and Teixeira, J. A. 2010. Lignocellulose as Raw Material in Fermentation Processes. *Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*. 897-907
- Nababan, M., Gunam, I. B. W., dan Wijaya, I. M. M. 2019. Produksi Enzim Selulase Kasar dari Bakteri Selulolitik. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*. Vol. 7(2): 190-199.
- Neilands, J.B. 1995. Siderophores: Structure and Function of Microbial Iron Transport Compouds. *The journal Biol. Chemistry*. Vol. 270: 26723-26725.
- Noor, R. 2014. Klasifikasi Enzim. http://wanenoor.blogspot.com/2014/11/klasifikasi-enzim.html#.YXQLb_1BzIU (Diakses pada 30 September 2021 pukul 19. 00)
- Nurrochman, F. 2015. Eksplorasi Bakteri Selulolitik dari Tanah Hutan Mangrove Barus, Kretek, Batul Yogyakarta. *Skripsi*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Organawati, K. 2002. Konsep Ekotoksikologi Limbah B-3 dan Kesehatan. *Diklat Pengelolaan Limbah B3*. Serpong.
- Pamungkas, A. dan Zulaika, E. 2015. Viabilitas *Azotobacter* pada Medium yang Terpapar Logam Besi. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. Vol. 4(1): 2337-3520.
- Panagopoulos, D. J., and Margaritis, L. H. 2002. Theoretical Considerations for the Biological Effects of Electromagnetic Fields. *In Stavroulakis. P. Biological Effects of Electromagnetic Fields*. Springer Verlag Berlin.

- Pasaribu, Y. S. 2017. Karakterisasi Enzim Protease dari *Bacillus* sp. pada Media yang Diberi FeCl₃ Hasil Paparan Medan Magnet 0,2 mT. *Skripsi*. Universitas Lampung
- Pelczar dan Chan. 1989. *Dasar-Dasar Mikrobiologi Jilid II*. Universitas Indonesia. Jakarta
- Pertiwi, P.N. 2017. Karakterisasi Enzim Selulase yang Dihasilkan Khamir *Candida utilis*. *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Alauddin. Makassar.
- Poedjadi, A. F. M., dan Supriyantini, T. 2005. *Dasar-dasar Biokimia*. UI Press. Jakarta
- Prasad, M.N.V. and Strzalka, K. 2002. *Physiology and biochemistry of metal toxicity and tolerance in plants*. Dordrecht. Kluwer Academic Publishers
- Pratiwi, A. 2016. Pengaruh Paparan Medan Magnet Pada Media Terhadap Produksi Enzim Protease oleh *Bacillus* sp. *Tesis*. Magister Biologi FMIPA Universitas Lampung
- Putera, R. I. 2018. Uji Kemampuan Bakteri *Burkholderia pseudomallei* untuk Menyisihkan Logam Besi (Fe). *Skripsi*. Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Putri, S. 2016. Karakterisasi Enzim Selulase yang Dihasilkan oleh *Lactobacillus plantarum* pada Variasi Suhu, pH, dan Konsentrasi Subtrat. *Skripsi*. UIN Malang.
- Putri, K. 2019. Definisi Umum Enzyme Karakteristik Enzyme Bagian-Bagian Enzim Klasifikasi Tatanama Enzim Kelas-Kelas Enzim Karakteristik Sisi Aktif Enzim. <https://duniakumu.com/definisi-umum-enzyme-karakteristik-enzyme-bagian-bagian-enzim-klasifikasi-tatanama-enzim-kelas-kelas-enzim-karakteristik-sisi-aktif-enzim/> (Diakses pada 2 Oktober 2021 pukul 21. 34)
- Qin, J., Zhao, B., Wang, X., and Wang, L. 2009. Non-Sterilized Fermentative Production of Polymer-Grade L-Lactic Acid by a Newly Isolated Thermophilic Strain *Bacillus* sp. *L-Lactic Acid Production*. Vol. 4(2): 1-7.
- Reitz, J.R., Mildford, F.J., and Cristy, R.W. 1994. *Dasar-dasar Teori Listrik Magnet*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Rodiah, S. 2018. Pengaruh Paparan Medan Magnet 0,2 mT pada Media yang Mengandung Logam (Al, Pb, Cd, dan Cu) Terhadap Aktivitas *Bacillus* sp. dalam Menghasilkan Enzim Protease. *Tesis*. Program Pascasarjana Magister Biologi.FMIPA . Universitas Lampung.

- Rosa, E., Ekowati, C. N., Handayani, T. T., Ikhsanudin, A., Apriliani, F., and Arifiyanto, A. 2020. Characterization of Entomopathogenic Fungi as A Natural Biological Control of American Cockroaches (*Periplaneta americana*). *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. Vol. 21(11): 5276-5282.
- Saha, B. C. 2003. Hemicellulose bioconversion. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*. Vol 30(5): 279-291.
- Sabrini, K. 2012. Biodegradasi Pyrena Menggunakan *Bacillus subtilis* C19. *Skripsi*. Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.
- Sari, E. K. N., Bambang, S., dan Sumardi, H. S. 2012. Proses Pengawetan Sari Buah Apel (*malus sylvestris* mill) Secara Non-Termal Berbasis Teknologi *Oscillating magneting field* (omf). *Jurnal Teknologi Pertanian Vol. 13 No. 2*. Universitas Brawijaya. Malang.
- Segatore, B. D., Setacci, F., Bennato, R., Cardigno, G., Amicosante., dan Iorio, R. 2012. Evaluations of the Effects of Extremely Low-Frequency Electromagnetic Fields on Growth and Antibiotic Susceptibility of *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa*. *International Journal of Microbiology*.
- Selfiana, I. 2016. Pengaruh Paparan Medan Magnet 0,2 mT pada Ion Logam Fe dan Zn terhadap Aktivitas *Bacillus* sp. dalam Menghasilkan Enzim Protease. *Tesis*. Program Pascasarjana Magister Biologi.FMIPA . Universitas Lampung.
- Setyasih, N., Agustrina, R., Handayani, T. T., dan Ernawati, E. 2013. Pengaruh Medan Magnet 0,3 mT terhadap Stomata Daun Tanaman Tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*. Vol. 1(1): 433-438
- Setyoko, H., dan Utami, B. 2016. Isolasi dan Karakterisasi Enzim Selulase Cairan Rumen Sapi untuk Hidrolisis Biomassa. *Seminar Nasional XIII Pendidikan Biologi FKIP UNS 863*. Vol. 13(1): 863–867.
- Silva, R., Lago, E. S., Merheb, C. W., Machione, M. M., Park, Y. K., and Gomes, E. 2005. Production of xylanase and CMCase on Solid State Fermentation in Different Residues By *Thermoascus auranticus*. *Brazilian Journal Microbiology* Vol. 36(3): 235-241.
- Sudarti, N, Ruriani, E., and Hersa, V. T. 2014. Prevalence of *Salmonella Typhimurium* on Gado-Gado Seasoning by Treatment of Extremely Low Frequency (ELF) Magnetic Field. *Prosiding Seminar Nasional Nutrisi, Keamanan Pangan dan Produk Halal*. Jember University. 26-37

- Suhardi, W. 2010. Isolasi dan Karakterisasi Ekstrak Kasar Sistem Selulase dari *Bacillus circulans*. *Skripsi*. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Malang.
- Sukmana, M. E, Sutrisno., dan Roosdiana, A. 2014. Pengaruh Suhu dan Lama Penyimpanan Terhadap Kestabilan Enzim Xilanase dari *Trichoderma viride*. *Kimia Student Journal*. Vol. 2 (1): 340 -344.
- Sumardi, S., Agustrina, R., Irawan, B., dan Indah, S. 2018. Pengaruh Paparan Medan Magnet 0,2 mT Pada Ion Logam Fe dan Zn dalam Media Pertumbuhan Terhadap Produksi Protease *Bacillus*. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. Vol. 16(2): 173-177.
- Sumardi, S., Ekowati, C. N., dan Rismayanti. 2019. The Activity Assay of Protease, Cellulase, Amylase, Xylanase and Mannanase From *Bacillus* sp. As a Candidate of Probiotic. *World Journal of Pharmaceutical*. Vol. 5(3): 88-93.
- Sumardi, S., Agustrina, R., Rizani, O. P., and Hartono, M. 2019. The Effect of Magnetic Field on Antibiotic Inhibition for *Escherichia coli* And *Bacillus* sp. *Jurnal Kedokteran Hewan*. Vol. 13(1): 5-9
- Sumardi, S., Agustrina, R., Irawan, B., dan Rodia, S. 2020. Pengaruh Pemaparan Medan Magnet 0,2 mT pada Media yang Mengandung Logam (Al, Pb, Cd, Dan Cu) Terhadap *Bacillus* sp. dalam Menghasilkan Protease. *Berita Biologi*. Vol. 19(1): 47-58.
- Sumardi, S., Ekowati, C. N., Farisi, S., and Listiyorini, C. I. 2021. Isolation and Characterization *Bacillus* sp. Producing Cellulase Enzymes from Hanura Mangrove. *Proceedings of the International Conference on Sustainable Biomass (ICSB 2019)*. Vol. 202(1): 21-25.
- Suriani, S., Soemarno, dan Suharjono, 2013. Pengaruh Suhu dan pH terhadap Laju Pertumbuhan Lima Isolat Bakteri Anggota Genus *Pseudomonas* yang Diisolasi dari Ekosistem Sungai Tercemar Deterjen di Sekitar Kampus Universitas Brawijaya. *Jurnal Pembangunan dan Alam Lestari*. Vol. 2(3)
- Sutresna, N. 2006. *Kimia*. Grafindo Media Pratama. Jakarta.
- Talley, J.W and Sleeper, P. M. 1997. Roadblocks to the Implementation of Biotreatment Strategies. *Bioremediation of Surface and Subsurface Contamination*. The New York Academy of Science. New York.
- Tarigan, W. F., dan Sumardi, S. 2015. Karakterisasi Enzim Selulase dari Bakteri Selulolitik *Bacillus* sp. *Proseding seminar nasional sains dan teknologi VI* . Lembaga Penelitian dan Pengabdian Unila.

- Tedi. 2022. Perbedaan Diamagnetisme, Paramagnetisme, dan Feromagnetisme. <https://perbedaan.budisma.net/tag/medan-magnet> (Diakses pada 17 Maret 2022 pukul 20.00)
- Trianie, F.A., dan Rustanti, N. 2014. Pengaruh Fortifikasi Besi dan Zinc terhadap Total Bakteri Asam Laktat, pH, dan Organoleptik Yoghurt Susu Kambing Sinbiotik. *Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro Semarang*. Vol. 3(4): 517-522.
- Verma, V., Verma, A., and Kushwaha, A. 2012. Isolation and Production of Cellulase Enzyme from Bacteria Isolated from Agricultural Fields in District Hardoi, Uttar Pradesh, India. *Advance In Applied Science Research*. Vol. 3(1): 171-174.
- Whitman. 2009. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology Second Edition Volume three The Firmicutes*. Springer Dordrecht Heidelberg. New York.
- William, C. S., Liou, H. C., Tuomanen, E. I., dan Baltimore, D. (1995). Targeted disruption of the p50 subunit of NF- κ B leads to multifocal defects in immune responses. *Cell*. Vol. 80(2)-321-330.
- Wiyanto. 2008. *Elektromagnetika*. Graha ilmu. Yogyakarta.
- Yang, X., Li1, Z., Polyakova, T., Dejneka, A., Zablotskii, V., and Zhang, X. 2020. Effect of Static Magnetic Field on DNA Synthesis: The Interplay Between DNA Chirality and Magnetic Field Left-right Asymmetry. *FASEB BioAdvances*. Vol. 2:254–263
- Yuniati, R., Nugroho, T. T., dan Puspita, F. 2015. Uji Aktivitas Enzim Protease dari Isolat *Bacillus* sp. Galur Lokal Riau. *Doctoral dissertation*. Riau University.
- Yusufa, M. H., Padaga, M. C., Dyah, A., dan Octavianie. 2013. *Identifikasi dan Studi Aktivitas Protease Bacillus sp. Asal Limbah Cair Rumah Potong Ayam Tradisional sebagai Kandidat Penghasil Biodeterjen*. Universitas Brawijaya. Malang.
- Zhang, Y., Himmel, M., and Mielenz, J. 2006. Outlook for Cellulase Improvement: Screening and Selecton Strategis. *Biotechnology advances*. Vol. 24(5): 452-481.