

**OPTIMASI PRODUKSI ENZIM SELULASE DARI SERASAH
Acasia mangium Willd. OLEH FUNGI SELULOLITIK**

TUGAS AKHIR/SKRIPSI

Diajukan oleh:

NAWALUSY SYIEA

190703008

**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Biologi**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2024 M/1445 H**

LEMBAR PERSETUJUAN

**OPTIMASI PRODUKSI ENZIM SELULASE DARI SERASAH
Acasia mangium Willd. OLEH FUNGI SELULOLITIK**

TUGAS AKHIR/SKRIPSI

Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Salah Satu satu Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana (S1)
dalam ilmu/Prodi Biologi

Oleh:

NAWALUSY SYIFA

190703008

Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Biologi
Disetujui Untuk Dimunaqasyahkan Oleh :

Pembimbing Skripsi

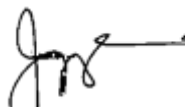

Diannita Harahap, M.Si

Δ NIDN: 2022038701

Acc Ridang
14/8 '24

Mengetahui,

Ketua Program Studi



Dr. Muslich Hidayat, M.Si

NIDN: 2002037902

LEMBAR PENGESAHAN

**OPTIMASI PRODUKSI ENZIM SELULASE DARI SERASAH
Acasia mangium Willd. OLEH FUNGI SELULOLITIK**

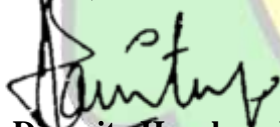
TUGAS AKHIR/SKRIPSI

Telah Diuji Oleh Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh dan Dinyatakan Lulus
Serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
Dalam Prodi Biologi

Pada Hari/Tanggal : Kamis, 22 Agustus 2024
17 Safar 1446 H
Di Darussalam, Banda Aceh


Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir / Skripsi Oleh :

Ketua,



Diannita Harahap, M.Si
NIDN.2022038701

Sekretaris,



Jamaluddinsyah, M.Si
NIDN.

Penguji I,



Syafrina Sari Lubis, M.Si
NIDN.2025048003

Penguji II,



Raudhah Hayatillah, M.Sc
NIDN.2025129302

Mengetahui

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Ar-Raniry Banda Aceh



Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU.

NIDN.0002106203

LEMBAR KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nawalusy Syifa
NIM : 190703008
Program Studi : Biologi
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul : "Optimasi Produksi Enzim Selulase dari Serasah *Acasia mangium* Willd. oleh Fungi Selulolitik".

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan tugas akhir/skripsi ini, saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggungjawabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggungjawab atas karya ini.

Bila dikemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

جامعة الرانيري

AR - RANIRY

Banda Aceh, 12 Agustus 2024
Yang Menyatakan



(Nawalusy Syifa)

ABSTRAK

Nama : Nawalusy Syifa
NIM : 190703008
Program Studi : Biologi
Judul : Optimasi Produksi Enzim Selulase dari Serasah *Acasia mangium* Willd. oleh Fungi Selulolitik
Tanggal Sidang : 22 Agustus 2024
Jumlah Halaman : 84 Halaman
Pembimbing Skripsi : Diannita Harahap, M.Si

Enzim selulase memiliki kemampuan untuk mendegradasi gula pereduksi, sehingga dapat digunakan dalam produksi produk pangan. Tanaman akasia merupakan tanaman hutan industri utama di Indonesia, bagian tanaman akasia yang dapat dimanfaatkan adalah serasah. Fungi selulolitik dapat mengurai selulosa dan menghasilkan selulase yang akan dirombak menjadi molekul yang lebih sederhana. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik fungi selulolitik dari serasah akasia (*Acasia mangium*), aktivitas enzim selulase pada daun serasah akasia yang dipengaruhi oleh fungi selulolitik dan kondisi optimum pH dan suhu terbaik dari aktivitas enzim dari serasah akasia. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode kualitatif dengan mengidentifikasi fungi selulolitik yang terdapat pada serasah akasia, dan metode kuantitatif berupa pengukuran pertumbuhan fungi, menentukan waktu inkubasi optimal, dan pengukuran aktivitas enzim selulase. Hasil identifikasi didapatkan 5 isolat fungi selulolitik yang mendegradasi selulosa. Fungi selulolitik dengan kode isolat FS1 termasuk genus *Mucor* sp., FS2 termasuk genus *Alternaria* sp., FS3A termasuk genus *Acremonium* sp., FS3B termasuk genus *Clasdoporium* dan FS4 termasuk genus *Rhizopus* sp. Terdapat 2 hasil uji zona bening terbaik pada media CMC yaitu FS1 dengan nilai indeks selulolitik 1,29 dan FS2 dengan nilai indeks selulolitik 1,05. Serta aktivitas enzim bagi fungi FS1 (*Mucor* sp.) mencapai 0,266 U/mL dan nilai aktivitas spesifik enzimnya mencapai 0,0650 U/mg dengan kondisi optimum pH 5,0 dan suhu 30 °C. Dan Aktivitas enzim bagi fungi FS2 (*Alternaria* sp.) mencapai 0,301 U/mL, dengan nilai aktivitas spesifik enzimnya mencapai 0,0697 U/mg dengan kondisi optimum pH 6.0 dan suhu 40 °C.

Kata Kunci: Enzim Selulase, Fungi selulolitik, Serasah Akasia, dan Aktivitas Enzim.

ABSTRACT

Name : Nawalusy Syifa
NIM : 190703008
Study Program : Biology
Title : Optimization of Cellulase Enzyme Production from *Acacia mangium* Willd Litter by Cellulolytic Fungi
Trial date : 22 August 2024
Number of Pages : 84 pages
Thesis Supervisor : Diannita Harahap, M.Si

*Cellulase enzymes have the ability to degrade reducing sugars, so they can be used in the production of food products. Acacia plants are the main industrial forest plants in Indonesia, the part of the acacia plant that can be utilized is litter. Cellulolytic fungi can break down cellulose and produce cellulase which will be broken down into simpler molecules. This study aims to determine the characteristics of cellulolytic fungi from acacia litter (*Acacia mangium*), cellulase enzyme activity in acacia litter leaves influenced by cellulolytic fungi and the best optimum conditions of pH and temperature of enzyme activity from acacia litter. This research was conducted using qualitative methods by identifying cellulolytic fungi found in acacia litter, and quantitative methods in the form of measurements of cellulase enzyme activity in acacia litter growth, determining the optimal incubation time, and measuring cellulase enzyme activity. The identification results obtained 5 isolates of cellulolytic fungi that degrade cellulose. Cellulolytic fungi with isolate code FS1 including genus *Mucor* sp., FS2 including genus *Alternaria* sp., FS3A including genus *Acremonium* sp., FS3B including genus *Cladoporium* and FS4 including genus *Rhizopus* sp. There are 2 best clear zone test results on CMC media, namely FS1 with a cellulolytic index value of 1.29 and FS2 with a cellulolytic index value of 1.05. And the enzyme activity for the FS1 fungus (*Mucor* sp.) reached 0.266 U/mL and the specific enzyme activity value reached 0.0650 U/mg with optimum conditions of pH 5.0 and temperature 30 °C. And the enzyme activity for FS2 fungi (*Alternaria* sp.) reached 0.301 U/mL, with the specific enzyme activity value reaching 0.0697 U/mg with the optimum conditions of pH 6.0 and temperature of 40 °C.*

Keywords: Cellulase Enzyme, Cellulolytic Fungi, Acacia Litter, and Enzyme Activity.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Optimasi Produksi Enzim Selulase dari Serasah *Acasia mangium* Willd. oleh Fungi Selulolitik.” Dan tidak lupa salawat beriringkan salam kepada baginda nabi besar Muhammad SAW yang telah membawa kita dari alam jahiliyah ke masa yang penuh ilmu pengetahuan seperti sekarang ini. Adapun maksud dan tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana (S1) pada prodi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan serta bimbingannya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini. Ucapan banyak terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
2. Dr. Muslich Hidayat, M.Si selaku Ketua Program Studi Prodi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
3. Syafrina Sari Lubis, M.Si selaku Sekretaris Program Studi Prodi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
4. Dr. Muslich Hidayat, M.Si selaku Penasehat Akademik yang telah membimbing penulis dari awal perkuliahan sampai sekarang.
5. Dianita Harahap, M.Si selaku Pembimbing 1 yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam menyelesaikan proposal/tugas akhir.
6. Seluruh dan Staf Prodi yang telah membantu segala keperluan mahasiswa selama perkuliahan.
7. Firman Rija Arhas, M.Si. selaku Laboran Program Studi Prodi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.

8. Orang tua tercinta Alm. bapak Dr. Nasrullah M.Ag. dan ibu Kemala Hayani M.Pd., kedua adik tersayang M. Fathis Surur dan Safira Mustaqilla beserta keluarga besar yang telah mendoakan dan memberi dukungan setiap saat kepada penulis dari awal masa studi hingga akhir penyelesaian studi di Program Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
9. Kepada Zuhra, fairuz, Dean, Alifa, Muna, yang telah banyak membantu dan memberi dukungan dalam menyelesaikan segala keperluan dan kebutuhan tugas akhir. Dan tidak lupa pula kepada Tazkia partner penelitian yang telah banyak membantu, memberi dukungan serta dorongan untuk sama-sama menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Kepada Icut, Zahara, Magfirah, dan Zahra yang telah banyak meluangkan waktu untuk membantu penulis dalam menyelesaikan segala kebutuhan tugas akhir.
11. Seluruh teman-teman seperjuangan angkatan 2019 dan mahasiswa Program Studi Biologi.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu dengan hati terbuka, penulis mengharapkan kritikan serta saran yang membangunkan kesempurnaan Skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

AR - RANIR Banda Aceh, 9 Agustus 2023

Yang Menyatakan



(Nawalusy Syifa)

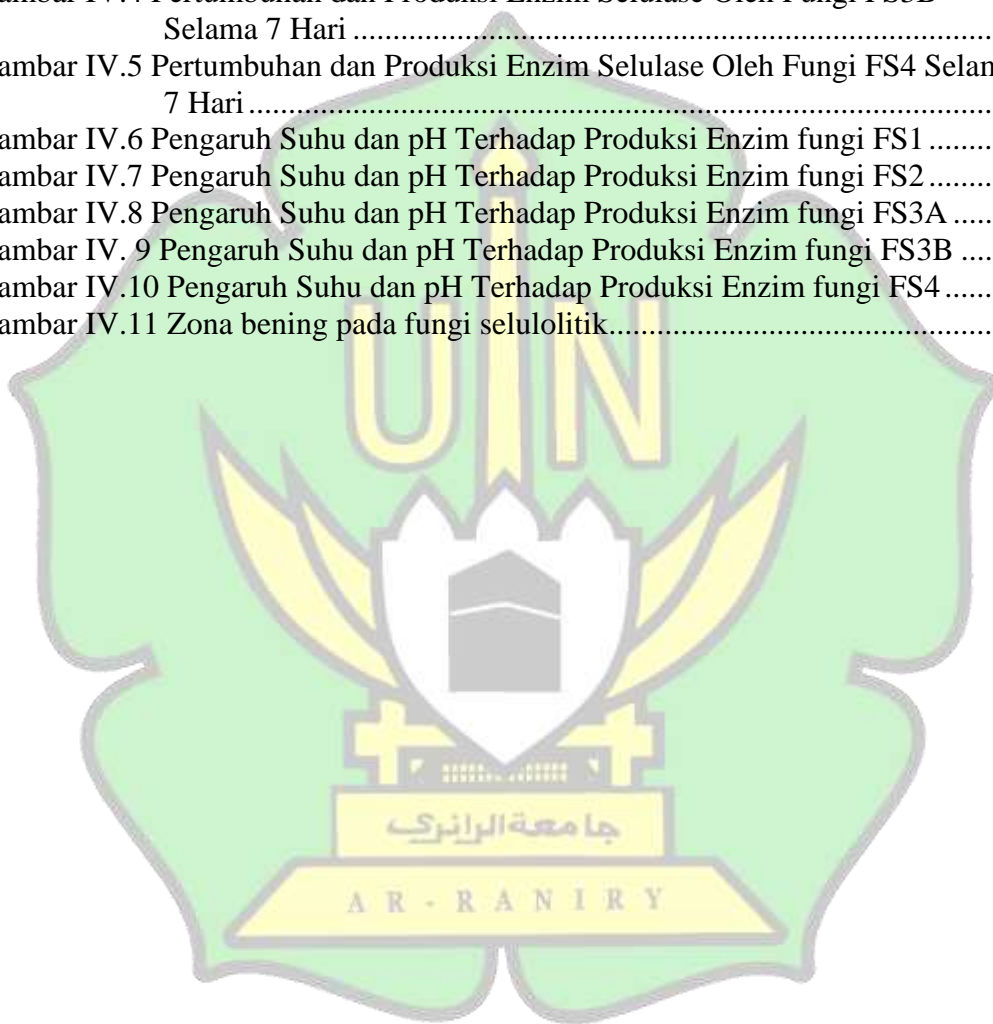
DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR SINGKATAN	xiii
DAFTAR LAMBANG	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	4
I.3 Tujuan Penelitian.....	4
I.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
II.1 Enzim Selulase.....	6
II.2 Tanaman Akasia.....	7
II.3 Fungi Selulolitik.....	9
II.4 Optimasi Kerja Enzim.....	9
BAB III METODELOGI PENELITIAN	11
III.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	11
III.2 Jadwal Pelaksanaan Penelitian	11
III.3 Objek Penelitian.....	11
III.4 Isolat Fungi yang Digunakan.....	12
III.5 Alat dan Bahan Penelitian	12
III.5.1 Alat	12
III.5.2 Bahan	12
III.6 Metode Penelitian	12
III.7 Prosedur Kerja	12
III.7.1 Persiapan Sampel serasah Akasia.....	12
III.7.2 Isolasi dan Identifikasi Fungi Selulolitik dari Serasah Akasia	13
III.7.3 Pengamatan Pertumbuhan Fungi dan Waktu Inkubasi.....	14
III.7.4 Penentuan Suhu dan pH optimum Produksi Enzim.....	14

III.7.5 Indeks Selulolitik	14
III.7.6 Ekstrak Kasar Enzim	15
III.7.7 Uji Aktivitas Selulase	15
III.7.8 Uji Standar Glukosa.....	16
III.7.9 Uji Kadar Protein	16
III.7.10 Pengukuran Aktivitas Spesifik Enzim	17
III.7.11 Analisis Data.....	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	18
IV.1. Hasil Pengamatan	18
IV.1.1 Karakteristik Fungsi Selulolitik Dari Serasah Akasia	18
IV. 1.2 Pertumbuhan Fungsi dan Waktu Inkubasi pada Kondisi Optimum pH dan Suhu Terhadap Aktivitas Enzim Selulase	21
IV. 1.3 Indeks Selulolitik dan Aktivitas Enzim Selulase Oleh Fungsi Selulolitik pada Serasah Akasia (<i>Acasia mangium</i>).....	30
IV.2. Pembahasan	31
IV. 2.1 Karakteristik Fungsi Selulolitik dari Serasah Daun Akasia	31
IV.2.2 Pertumbuhan Fungsi dan Waktu Inkubasi pada Kondisi Optimum pH dan Suhu Terhadap Aktivitas Enzim Selulase	35
IV. 2.3 Indeks Selulolitik dan Aktivitas Enzim Selulase Oleh Fungsi Selulolitik pada Serasah Akasia (<i>Acasia mangium</i>).....	41
BAB V PENUTUP.....	45
V. 1. Kesimpulan	45
V.2. Saran	45
DAFTAR PUSTAKA.....	46
LAMPIRAN.....	53

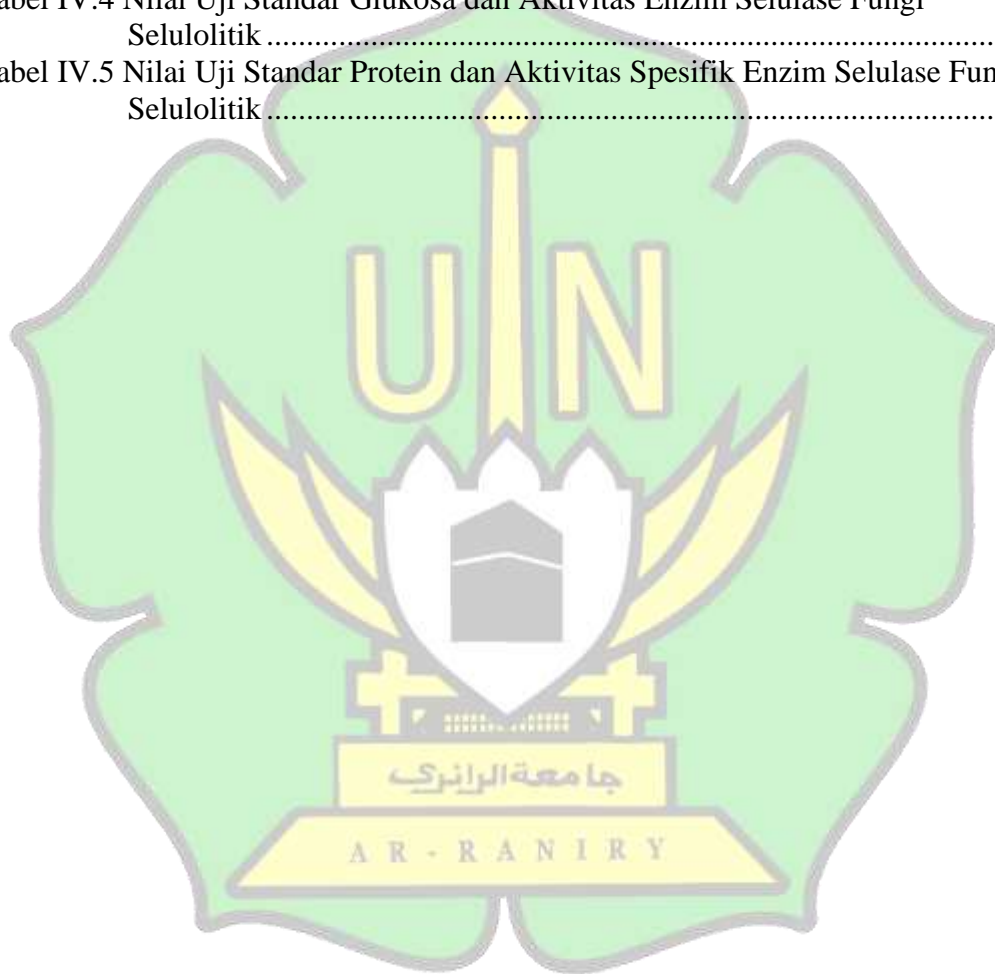
DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Pohon dan daun <i>Acasia mangium</i> Willd.....	8
Gambar IV.1 Pertumbuhan dan Produksi Enzim Selulase Oleh Fungi FS1 Selama 7 Hari	21
Gambar IV.2 Pertumbuhan dan Produksi Enzim Selulase Oleh Fungi FS2 Selama 7 Hari	22
Gambar IV.3 Pertumbuhan dan Produksi Enzim Selulase Oleh Fungi FS3A Selama 7 Hari	23
Gambar IV.4 Pertumbuhan dan Produksi Enzim Selulase Oleh Fungi FS3B Selama 7 Hari	23
Gambar IV.5 Pertumbuhan dan Produksi Enzim Selulase Oleh Fungi FS4 Selama 7 Hari	24
Gambar IV.6 Pengaruh Suhu dan pH Terhadap Produksi Enzim fungi FS1	25
Gambar IV.7 Pengaruh Suhu dan pH Terhadap Produksi Enzim fungi FS2	26
Gambar IV.8 Pengaruh Suhu dan pH Terhadap Produksi Enzim fungi FS3A	27
Gambar IV. 9 Pengaruh Suhu dan pH Terhadap Produksi Enzim fungi FS3B	28
Gambar IV.10 Pengaruh Suhu dan pH Terhadap Produksi Enzim fungi FS4	29
Gambar IV.11 Zona bening pada fungi selulolitik.....	30



DAFTAR TABEL

Tabel III.1 Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	11
Tabel IV.1 Karakteristik Morfologi Makroskopis dan Mikroskopis Sampel Serasah Daun Akasia.....	18
Tabel IV.2 Identifikasi Fungi Selulolitik dari Serasah Daun Akasia.....	19
Tabel IV.3 Diameter Koloni dan Diameter Zona Bening Fungi Selulolitik.....	30
Tabel IV.4 Nilai Uji Standar Glukosa dan Aktivitas Enzim Selulase Fungi Selulolitik.....	31
Tabel IV.5 Nilai Uji Standar Protein dan Aktivitas Spesifik Enzim Selulase Fungi Selulolitik.....	31



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Keterangan Penetapan Bimbingan.....	53
Lampiran 2. Surat Izin Penelitian.....	54
Lampiran 3. Surat Selesai Laboratorium.....	55
Lampiran 4. Skema Kerja.....	56
Lampiran 5. Dokumentasi Kegiatan.....	57
Lampiran 6. Rumus Perhitungan.....	64
Lampiran 7. Daftar Harga Alat dan Bahan Penelitian.....	69



DAFTAR SINGKATAN

SINGKATAN	Nama	Pemakaian pertama kali pada halaman
CBH	Selobiohidrolase	6
PDA	<i>Potato Dextrose Agar</i>	8
CMC	<i>Carboxymethyl cellulose</i>	4
reagen DNS	Asam Dinitro Salisilat	12
BSA	<i>Bovine Serum Albumin</i>	12
PDB	<i>Potato Dextrose Broth</i>	12
m ³	Meter kubik	3
U	<i>Unit</i>	4
mL	mili Liter	4
mg	mili gram	4
Cm	<i>Centi meter</i>	8
g	gram	12



DAFTAR LAMBANG

		Pemakaian Pertama
%	Persen	2
°C	Derjat Celcius	6
β	Beta	6
$\hat{\alpha}$	Alpha	9
λ	Lambda	15



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Enzim adalah katalis biologis yang bertindak dengan cara mempercepat reaksi senyawa kimia dalam sel tanpa habis bereaksi. Penggunaan enzim telah mengalami perkembangan pesat di berbagai sektor, terutama karena kemampuannya dalam mempercepat reaksi kimia. Oleh karena itu, enzim sering digunakan sebagai katalis dalam laboratorium dan berbagai industri (Kurniawati *et al.*, 2021). Industri pangan juga telah mengadopsi penggunaan enzim, seperti enzim selulase, yang memiliki peran penting dalam mengkonversi bahan organik. Contohnya, dalam pemanfaatan ampas tebu sebagai bahan pakan ikan dengan bantuan enzim selulase. Enzim selulase memiliki kemampuan untuk mendegradasi gula pereduksi, sehingga dapat digunakan dalam produksi produk pangan (Nafiqoh & Suryaningrum, 2020).

Menurut Kognou *et al.* (2022) selulase merupakan salah satu dari enzim komersial yang memiliki permintaan tertinggi ketiga di pasar global. Keberhasilan selulase terutama terlihat dalam sektor industri, di mana enzim ini digunakan untuk menguraikan biomassa lignoselulosa. Data yang lain yang tercantum juga menggambarkan permintaan selulase dalam berbagai sektor industri. Sebagai contoh, pada tahun 2016, permintaan selulase mencapai 29,17% di sektor industri pakan ternak, 26,37% di sektor industri makanan dan minuman, dan 13,77% di sektor industri tekstil. Selain itu, laporan ini juga melakukan proyeksi bahwa penggunaan selulase diprediksi akan mencapai angka sekitar 2.300 juta USD pada akhir tahun 2025, dengan pertumbuhan rata-rata sekitar 5,5% setiap tahun selama periode 2018-2025.

Kebutuhan akan selulase dalam sektor industri tinggi, dan proses produksinya cenderung memakan waktu. Untuk mengatasi tantangan ini, penting untuk mengidentifikasi kondisi optimal produksi selulase agar enzim tersebut dapat dihasilkan dalam jumlah besar dalam waktu yang lebih singkat. Optimasi produksi selulase dari mikroorganisme yang memiliki kemampuan untuk menguraikan

selulosa diharapkan dapat menjadi solusi alternatif untuk memenuhi permintaan yang terus meningkat akan selulase (Rohmah & Setyaningsih, 2019).

Tanaman akasia merupakan tanaman hutan industri utama di Indonesia. Berdasarkan data statistik produksi kehutanan 2019, produksi kayu bulat di Indonesia mencapai 57,93 juta m³ dengan akasia menyumbang 56,43%. Daerah utama penghasil kayu akasia di Indonesia ialah Riau, Sumatera Utara dan Kalimantan. Tanaman akasia dapat dijadikan sebagai tanaman peneduh dan tanaman hutan kota (Duryat *et al.*, 2023). Akasia (*Acacia mangium* Willd.) adalah jenis legum yang cepat tumbuh pada kondisi lingkungan kurang subur yang miskin hara, dapat beradaptasi dengan lingkungan tanah masam, dan memiliki keunggulan sebagai bahan baku pulp, serta relatif tahan terhadap hama dan penyakit (Kartikaningtyas *et al.*, 2017). Kayu *Acacia mangium* mengandung selulosa sebesar 51,46% dan lignin sebesar 27,66%, semakin tinggi kandungan selulosa maka semakin kecil kandungan ligninnya. Perbedaan kandungan selulosa pada setiap tumbuhan dapat disebabkan oleh perbedaan kondisi lingkungan tempat tumbuhnya (Putri & Poeni, 2020).

Salah satu bagian tanaman akasia yang dapat dimanfaatkan adalah serasah. Serasah merupakan bagian dari tumbuhan yang jatuh ke permukaan tanah yang akan mengalami dekomposisi (Kusmana & Retno, 2021). Serasah terurai menjadi unsur hara yang tersedia di dalam tanah untuk menjamin kelangsungan pertumbuhan tanaman. Pengurai memainkan peran yang sangat penting dalam menjaga lingkungan agar tetap bersih. Nutrisi kemudian akan kembali lagi ke dalam tanah dalam bentuk sampah yang dilarutkan melalui kegiatan pengurai, hal ini disebut dengan dekomposisi. Dekomposisi merupakan salah satu tingkatan yang paling penting dalam daur biogeokimia (Mali, M *et al.*, 2021).

Fungi termasuk salah satu mikroorganisme yang memiliki peran penting dalam proses penguraian kandungan selulosa pada suatu bahan. Fungi dapat menguraikan selulosa dengan menghasilkan selulase sehingga selulosa akan dirombak menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana (Krishaditersanto, 2018). Fungi yang dapat memproduksi enzim selulase adalah jenis Filamentous Fungi (fungi berfilamen) seperti *Aspergillus*, *Biosporus*, *Colletotricum*, *Cladosporium*,

Eurotium, *Fusarium*, *Neurospora*, *Trichoderma*, *Penicillium* dan *Rhodotorul* (Hakim & Kasiamdari, 2023). Sebagian besar fungi selulolitik adalah anggota kelompok *Ascomycota* dan *Basidiomycota* dimana spesies *Trichoderma reseei* dan *Penicillium funiculosum* merupakan penghasil selulase yang banyak digunakan di industri secara komersial karena besarnya kapasitas enzim yang bisa dihasilkan. Deteksi dari keberadaan enzim ini menggunakan media yang diperkaya *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) yang ditandai dengan terbentuknya zona bening atau kekuningan disekitar koloni fungi (Gao *et al.*, 2018).

Penelitian yang dilakukan oleh Utami *et al.* (2019) berhasil mengisolasi jamur *penicillium* sp. dari serasah daun salak. Produksi enzim selulase jamur *Penicillium* sp. SLL 06 optimum pada waktu inkubasi 3 hari, pH 5,5 dan suhu 30°C dengan nilai aktivitas enzim sebesar 0,4006 U/mL dan nilai aktivitas spesifik enzim selulase yang dihasilkan oleh jamur *Penicillium* sp. SLL 06 sebesar 0,9995 U/mg. Enzim selulase dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti tumbuhan, khamir, bakteri, dan jamur selulolitik. Jamur memiliki kemampuan khusus dalam menghasilkan enzim lignoselulolitik karena mampu mengurai selulosa yang terdapat dalam jaringan tumbuhan.

Rohmah *et al.* (2019) berhasil mengisolasi fungi selulolitik dari serasah daun salak. Produksi enzim selulase oleh *Thielaviopsis ethacetica* SLL10 diketahui dari aktivitas enzimatis yang dihasilkan. Aktivitas enzim tertinggi diperoleh sebesar 0,8250 U/mL yang didapatkan pada waktu inkubasi 10 hari, pada suhu 40°C dan pH 5,5. Aktivitas puncak tersebut terjadi pada saat fungi mengalami fase eksponensial. Dan nilai aktivitas spesifik enzim selulase dari *T. ethacetica* SLL10 sebesar 3,1578 U/mg. Semakin tinggi nilai aktivitas spesifik enzim, semakin murni enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme. Mikroorganisme lebih banyak memproduksi enzim dibandingkan dengan produksi protein lain selama masa pertumbuhannya. Sebaliknya, semakin rendah nilai aktivitas spesifik enzim, semakin banyak protein lain yang turut diproduksi oleh mikroorganisme selama masa pertumbuhannya. Hal ini menandakan bahwa pertumbuhan fungi sudah didukung oleh faktor lingkungan yang optimum.

Berdasarkan latar belakang di atas penulis tertarik melakukan penelitian dengan judul ”**Optimasi Produksi Enzim Selulase Dari Serasah *Acasia mangium* Willd. Oleh Fungi Selulolitik**” yang bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum terbaik dari fungi selulolitik penghasil enzim selulase. Penelitian ini diharapkan dapat menemukan kondisi terbaik isolat jamur selulolitik penghasil enzim selulase yang didapatkan dari serasah *Acasia mangium*.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik fungi selulolitik dari serasah akasia (*Acasia mangium*)?
2. Bagaimana pertumbuhan fungi dan waktu inkubasi pada kondisi optimum pH dan suhu terhadap aktivitas enzim selulase ?
3. Bagaimana indeks selulolitik dan aktivitas enzim selulase oleh fungi selulolitik pada serasah akasia (*Acasia mangium*)?

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui karakteristik fungi selulolitik dari serasah akasia (*Acasia mangium*).
2. Untuk mengetahui pertumbuhan fungi dan waktu inkubasi pada kondisi optimum pH dan suhu terhadap aktivitas enzim selulase.
3. Untuk mengetahui indeks selulolitik dan aktivitas enzim selulase oleh fungi selulolitik pada serasah akasia (*Acasia mangium*).

I.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Dapat memberikan informasi khususnya kepada mahasiswa dibidang mikrobiologi mengenai optimasi produksi enzim selulase dari serasah akasia (*Acasia mangium*) oleh fungi selulolitik.
2. Dapat dijadikan alternatif penghasil enzim selulase dengan memanfaatkan serasah akasia (*Acasia mangium*) oleh fungi selulolitik.

3. Dapat menambah wawasan, pengalaman, serta sebagai acuan untuk penelitian selanjutny



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Enzim Selulase

Selulosa adalah suatu jenis polimer karbohidrat polisakarida yang terdiri dari rantai panjang dan terbuat dari β -glukosa. Dalam tanaman, selulosa adalah karbohidrat utama yang diproduksi, dan hampir mencakup 60% dari komponen yang membentuk struktur tanaman. Manusia tidak mampu mencernanya, dan selulosa tidak dapat larut dalam air. Biasanya, selulosa terdapat di dinding sel yang melindungi tanaman, terutama di bagian tangkai, batang, dahan, dan berbagai bagian berbahan kayu dalam jaringan tumbuhan. Selulase adalah enzim yang berperan dalam proses penguraian selulosa, yang merupakan polisakarida yang terdiri dari glukosa. Enzim selulase umumnya beroperasi pada selulosa yang memiliki rantai lebih pendek daripada komponen kayu lainnya seperti selulosa, hemiselulosa, lignin, ekstraktif, dan mineral. Selulase terdiri dari tiga komponen enzim utama, yaitu selobiohidrolase (CBH), endoglukanase, dan β -glukosidase, yang bekerja sama untuk menguraikan selulosa dan berbagai limbah pertanian dalam lingkungan alam (Hidayat, 2022).

Kinerja enzim dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk suhu, tingkat keasaman (pH), hasil produk akhir, konsentrasi enzim dan substrat, serta zat penghambat. Enzim adalah protein, sehingga suhu memengaruhi aktivitas mereka. Suhu dapat mempengaruhi pergerakan molekul. Pada suhu yang optimal, reaksi antara enzim dan substrat berlangsung pada tingkat tertinggi. Setiap enzim memiliki suhu optimum di mana aktivitasnya puncak. Suhu yang jauh di atas suhu optimum dapat mengakibatkan denaturasi enzim, mengubah struktur dan fungsi mereka. Suhu yang jauh di bawah suhu optimum, seperti 0°C , dapat membuat enzim menjadi tidak aktif. Enzim dalam tubuh manusia beroperasi pada suhu optimal sekitar $35\text{-}40^{\circ}\text{C}$, mendekati suhu tubuh normal. Bakteri yang hidup di lingkungan air panas, sebaliknya, memiliki enzim yang berfungsi paling baik pada suhu sekitar 70°C . Enzim juga memiliki tingkat keasaman optimal yang disebut sebagai pH optimum. Keasaman optimal untuk aktivitas enzim biasanya berada dalam kisaran netral sekitar 6-8. Di luar kisaran ini, aktivitas enzim dapat terganggu bahkan

mengalami denaturasi. Pada tingkat keasaman yang jauh di atas pH optimum, enzim dapat mengalami denaturasi dan tidak dapat berfungsi dengan baik (Wahyudiati, 2017).

Ketika konsentrasi substrat rendah, enzim akan mengalami kesulitan dalam mencapai tingkat konversi maksimum, karena substrat yang akan diubah reaksinya sulit ditemukan oleh enzim. Namun, seiring dengan peningkatan konsentrasi substrat, kecepatan reaksi juga akan meningkat karena semakin banyak substrat yang dapat berikatan dengan enzim. Namun, pada titik-titik jenuh, peningkatan konsentrasi substrat tidak akan lagi meningkatkan laju reaksi lebih lanjut (Saputra *et al.*, 2022).

Beberapa senyawa kimia dapat mempengaruhi kinerja enzim, seperti merkuri dan sianida yang terdapat dalam garam. Ada tiga jenis zat penghambat atau inhibitor, yang pertama adalah inhibitor kompetitif yang memiliki struktur serupa dengan substrat, sehingga terjadi persaingan antara inhibitor dan substrat untuk berikatan dengan situs aktif enzim. Penghambatan ini dapat diatasi dengan meningkatkan konsentrasi substrat. Kemudian, terdapat inhibitor nonkompetitif yang berikatan dengan enzim di luar situs aktif, mengakibatkan enzim kehilangan aktivitasnya sehingga situs aktif tidak dapat berinteraksi dengan substrat. Terakhir, ada juga inhibitor umpan-balik yang muncul sebagai produk akhir dari reaksi tertentu dan dapat menghambat aktivitas enzim dalam reaksi tersebut (D. M. Putri *et al.*, 2023).

II.2 Tanaman Akasia

Akasia (*Acacia mangium* Willd.) merupakan salah satu jenis tanaman yang mampu tumbuh dengan cepat dan jenis kayunya dapat digunakan sebagai bahan baku kertas. Mangium memiliki fungsi ekologis. Sebagai jenis pohon yang selalu hijau, mangium dapat menjadi penayang bagi tanaman lain dan dapat hidup serta mampu meningkatkan kondisi kimia-fisik tanah (Hidayati *et al.*, 2015). Dikenal dengan sebutan mangium karena tergolong dalam salah satu jenis pohon cepat tumbuh dan tetap hidup pada lahan yang tidak subur, seperti tahan terhadap kondisi

tanah alkalin dan miskin hara sehingga dapat tumbuh di lahan bekas penambangan batu kapur (Aprillia *et al.*, 2019).

Adapun klasifikasi tanaman akasia sebagai berikut (ITIS. gov, 2011).

Kingdom : Plantae
Division : Tracheophyta
Class : Magnoliopsida
Ordo : Fabales
Family : Fabaceae
Genus : *Acasia*
Spesies : *Acasia mangium* Willd.



(a)

(b)

Gambar II.1 (a) Pohon dan (b) daun *Acasia mangium* Willd. (Saputra, 2023).

Pohon akasia merupakan pohon yang memiliki pembentukan batang tegak dengan ranting yang pada setiap tajuk tangkai terdapat duri menempel di tepi tepi tangkai. Pohon akasia tergolong dalam model arsitektur troll. Penggolongan tersebut di dasarkan pada ciri morfologi tanaman akasia dengan batang simpodial dimana batang utama tidak terlihat jelas dengan cabang cabang plagiotropik, tinggi batang dapat tumbuh mencapai 15 m, pohon dengan tesktur batang berkulit tebal dan halus berwarna coklat kelabu. Daun dari tanaman akasia berbentuk majemuk menyirip, berbentuk lonjong dengan bagian tepi daun rata, panjang dari daun akasia bisa mencapai 5 - 20 cm dengan lebar 1 – 2 cm. Buah akasia berbentuk polong berwarna hijau ketika masih muda dan berubah menjadi coklat ketika sudah tua, berbiji lonjong dan pipih berwarna coklat (Isabela *et al.*, 2022).

II.3 Fungi Selulolitik

Fungi selulolitik merupakan mikroorganisme yang mampu menghidrolisis selulosa menjadi produk yang sederhana. Fungi selulolitik diketahui mampu mensekresikan enzim selulase yang dapat memutus ikatan α -1-4 glikosidik yang menghubungkan monomer D-glukosa dalam molekul selulosa (Agustinur & Yusrizal, 2021). Secara umum, beberapa genera fungi selulolitik yang dapat menghasilkan selulase dan sering terdapat pada serasah daun meliputi, *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Penicillium* dan *Trichoderma* (Saputri, 2024). Mahardika *et al.* (2021) juga menyatakan bahwa beberapa jenis fungi yang terdapat pada serasah daun di antara lain, *Aspergillus*, *Culvularia*, *Alternaria*, dan *Penicillium*.

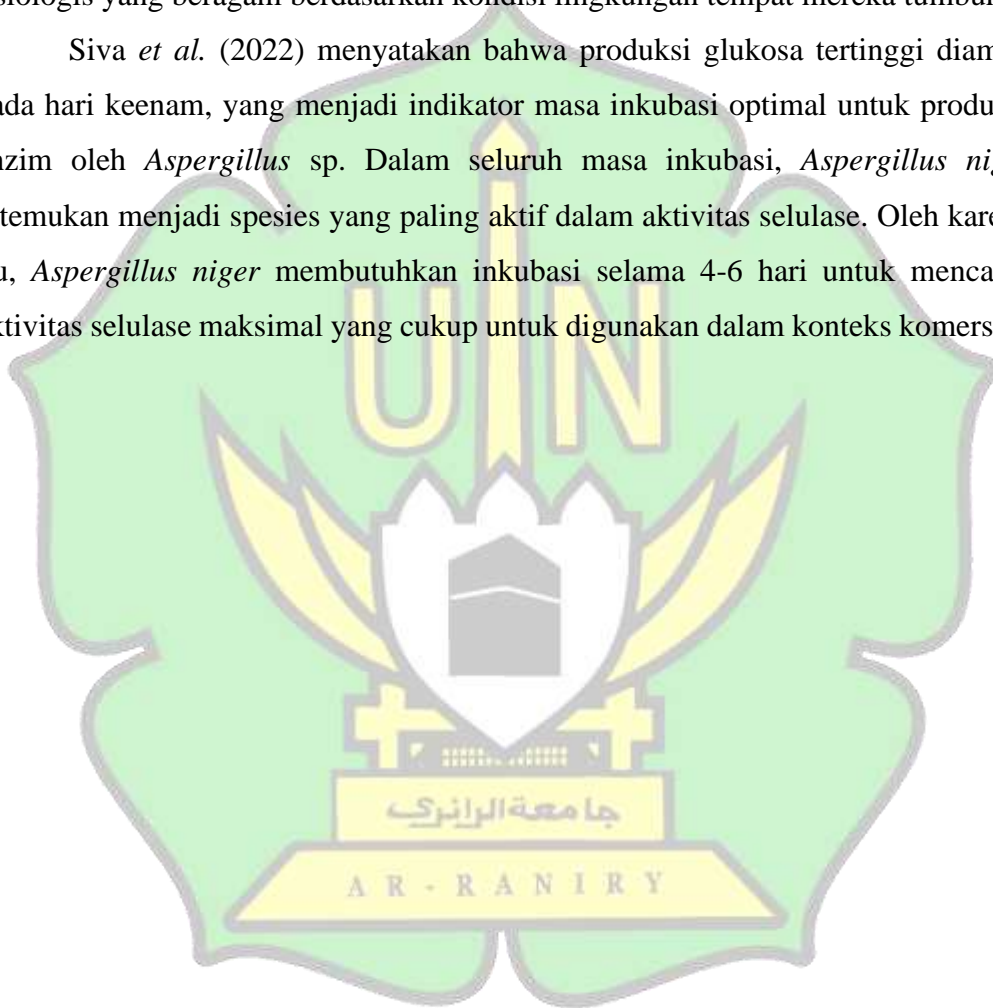
Media yang digunakan adalah media CMC karena media ini merupakan media selektif yang hanya bisa ditumbuhi oleh mikroorganisme yang mampu menghidrolisis selulosa. Oleh sebab itu, isolat jamur yang mampu tumbuh pada media ini memiliki kemampuan selulolitik dengan memanfaatkan selulosa di dalam media sebagai satu-satunya sumber karbon (Arifin *et al.*, 2021). Media yang juga digunakan dalam studi ini adalah *Potato Dextrose Agar* (PDA). Secara komposisi, PDA dapat diklasifikasikan sebagai media semi-sintetik karena menggabungkan unsur-unsur alami seperti kentang dengan bahan sintetik seperti *dextrose* dan *agar*. Kentang berperan sebagai sumber karbon (karbohidrat), vitamin, dan sumber energi. *Dextrose* digunakan sebagai sumber gula dan energi. Ketiga komponen ini memegang peranan penting dalam menjaga stabilitas dan konsistensi media PDA, yang sangat diperlukan untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme, terutama jamur (Arifah, 2019). Gandi *et al.* (2019) juga menyatakan bahwa PDA memiliki tingkat keasaman yang rendah dan tingkat kandungan gula yang tinggi, terutama dari *dextrose*.

II.4 Optimasi Kerja Enzim

Fungi yang dapat memproduksi enzim selulase salah satunya adalah *Aspergillus*. Kondisi optimal untuk mencapai aktivitas selulase maksimum dari *Aspergillus niger* terlihat ketika pH berada pada angka 6 dan suhu sekitar 30 °C

(Maftukhah, 2019). Dalam studi yang dilakukan oleh Hakim *et al.* (2020) mereka menyatakan bahwa *Aspergillus niger* tumbuh paling baik pada suhu sekitar 30°C, mungkin karena dikategorikan sebagai jamur mesofilik yang tumbuh optimal pada suhu antara 29 hingga 31 °C. Selain itu, beberapa spesies *Aspergillus* lainnya memiliki rentang pH optimal antara 5 hingga 7, dengan batas pH terendahnya pada angka 10. Hal ini mengindikasikan bahwa jamur-jamur ini memiliki karakteristik fisiologis yang beragam berdasarkan kondisi lingkungan tempat mereka tumbuh.

Siva *et al.* (2022) menyatakan bahwa produksi glukosa tertinggi diamati pada hari keenam, yang menjadi indikator masa inkubasi optimal untuk produksi enzim oleh *Aspergillus* sp. Dalam seluruh masa inkubasi, *Aspergillus niger* ditemukan menjadi spesies yang paling aktif dalam aktivitas selulase. Oleh karena itu, *Aspergillus niger* membutuhkan inkubasi selama 4-6 hari untuk mencapai aktivitas selulase maksimal yang cukup untuk digunakan dalam konteks komersial.



BAB III
METODELOGI PENELITIAN

III.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian telah dilaksanakan di Gedung Multifungsi Laboratorium Mikrobiologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh pada bulan Juni sampai Juli 2024.

III.2 Jadwal Pelaksanaan Penelitian

Jadwal pelaksanaan penelitian dimulai pada Juni sampai Juli 2024. Adapun jadwal pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel III.1 Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No	Kegiatan	Juni				Juli			
		1	2	3	4	1	2	3	4
1	Persiapan Alat dan Bahan								
2	Penyiapan Sampel serasah Akasia								
3	Pembuatan Ekstrak serasah Akasia								
4	Isolasi dan Identifikasi Fungi Selulolitik								
5	Pengamatan Pertumbuhan Fungi dan Waktu Inkubasi								
6	Penentuan Suhu dan pH optimum Produksi Enzim								
7	Uji Aktivitas Selulase								
8	Uji Standar Glukosa								
9	Uji Kadar Protein								
10	Pengukuran Aktivitas Spesifik Enzim								
11	Analisis Data								

III.3 Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah produksi enzim selulase dari fungi selulolitik yang diisolasi dari serasah akasia.

III.4 Isolat Fungi yang Digunakan

Isolat fungi yang digunakan yaitu isolat fungi selulolitik yang diperoleh dari hasil isolasi serasah akasia.

III.5 Alat dan Bahan Penelitian

III.5.1 Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *Incubator*, *Jarum Ose*, *Penjepit*, *Bunsen*, *Timbangan Analitik*, *Hot Plate*, *Magnetic Stirrer*, *Tabung Ependorf*, *Pipet Tetes*, *Pipet Mikro*, *Thermometer*, *Tabung Reaksi*, *Gelas ukur*, *Erlemeyer*, *Vortex*, *Cawan Petri*, *pH Meter*, *Laminar Air Flow (LAF)*, *Spektrofotometer UV-Vis*, *Sentrifuge*, dan *Water Bath*.

III.5.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah CMC merk HIMEDIA (*Carboxymethyl cellulose*), serasah akasia, glukosa, Media PDA (*Potato Dextrose Agar*), reagen *Bradford*, *aquadest*, reagen DNS (*asam dinitro salisilat*), BSA (*Bovine Serum Albumin*) 0,01 g, kapas, Media PDB (*Potato Dextrose Broth*), Alkohol, Tisu, Kertas label, Kapas, *Aluminium Foil*, dan *Buffer Natrium Sitrat*.

III.6 Metode Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode kualitatif dan kuantitatif. Metode kualitatif digunakan untuk identifikasi fungi selulolitik yang terdapat pada serasah akasia, sementara metode kuantitatif digunakan untuk mengukur aktivitas enzim selulase, memantau pertumbuhan fungi, dan menentukan waktu inkubasi optimal, uji standar glukosa, uji kadar protein dan uji aktivitas spesifik enzim.

III.7 Prosedur Kerja

III.7.1 Persiapan Sampel serasah Akasia

Sampel serasah akasia diperoleh dari Hutan BNI, kecamatan Syiah Kuala, Kota Banda Aceh. Pengambilan sampel dilakukan berdasarkan Kusmana & Yentiana (2021) yang telah dimodifikasi pengambilan serasah dilakukan secara langsung dengan mengambil serasah yang jatuh secara alami di dibawah tegakan pohon di lokasi penelitian. Pengambilan sampel serasah dilakukan secara acak dan dimasukkan ke plastik sampel.

III.7.2 Isolasi dan Identifikasi Fungi Selulolitik dari Serasah Akasia

Isolasi sampel dilakukan berdasarkan Ling *et al.* (2016) yang telah dimodifikasi sampel daun serasah Akasia dipotong dengan ukuran 1x1 cm menggunakan gunting steril. Permukaan serasah daun akasia dicuci dengan aquades steril yang mengalir. Potongan daun serasah akasia direndam selama 1 menit dengan NaOCl 1% dan dimasukkan ke dalam alkohol 70% selama 1 menit, dilakukan berulang sampai potongan daun serasah akasia habis. Sampel serasah selanjutnya diletakkan pada media CMC pada masing-masing cawan petri berisi 2 sampel. Kemudian diinkubasi selama 7 hari pada suhu 25-30 C. Isolasi dilakukan secara duplo.

Proses isolasi fungi dilakukan di dalam meja steril yang disebut *Laminar Air Flow* (LAF). Sebelum memulai pekerjaan, *Laminar Air Flow* disiapkan terlebih dahulu dengan cara menyemprotkan alkohol 70% ke atas meja steril, kemudian lampu *UV* dihidupkan dan dibiarkan menyala selama 1 jam. Selanjutnya, tangan disterilkan dengan menyemprotkan alkohol 70%, dan semua peralatan dan bahan yang diperlukan, seperti yang sudah disterilkan sebelumnya, media PDA, bunsen, alkohol, jarum ose, kertas label, plastik wrap, *scalpel*, dan biakan murni jamur diletakkan ke dalam *Laminar Air Flow* (Arifah, 2019).

Pertama-tama, media PDA disiapkan terlebih dahulu. Kemudian, sebanyak 100 µl suspensi sampel yang telah diencerkan pipetkan dan dimasukkan ke dalam cawan petri. Setelah itu, media PDA yang masih cair dituangkan ke dalam cawan petri yang berisi sampel yang telah diencerkan. Selanjutnya, media yang telah diinokulasikan diinkubasi pada suhu 25-27°C selama 7 hari. Setelah proses inkubasi selama 7 hari selesai, dilakukan pengamatan secara makroskopis dan mikroskopis. Ini melibatkan mengidentifikasi pertumbuhan jamur pada media, serta memeriksa perubahan warna pada media PDA. Selain itu, beberapa pengamatan tambahan perlu dilakukan (Fitria *et al.*, 2023). Untuk mengidentifikasi jenis jamur yang tumbuh, buku "*Illustrated Genera Of Imperfect Fungi*" dapat digunakan sebagai referensi (Hunter, 1969).

III.7.3 Pengamatan Pertumbuhan Fungi dan Waktu Inkubasi

Pertumbuhan sel diamati berdasarkan kuantitas sel kering dan produksi enzim yang dihasilkan. Metode pengukuran sel kering dan aktivitas enzim selulase melibatkan inokulasi 1 ose spora sebagai inokulum ke dalam 50 ml media produksi dan menjalankannya dalam *inkubator shaker* dengan kecepatan pengadukan 120 rpm pada suhu 30°C. Pengambilan sampel dilakukan pada interval 24 jam selama 168 jam (7 hari). Setelah itu, biomassa dan supernatan dipisahkan dengan menggunakan sentrifugasi. Kemudian, berat kering biomassa dioven dan aktivitas enzim dalam supernatan diukur (Utami *et al.*, 2019).

III.7.4 Penentuan Suhu dan pH optimum Produksi Enzim

Sebuah isolat jamur dari media PDA telah dipindahkan ke dalam tabung reaksi berisi 10 ml media PDB dan dihomogenkan (Hakim, 2020). Selanjutnya, isolat ini diinkubasi pada suhu yang berbeda, yaitu 20°C, 30°C, dan 40°C. Selain itu, isolat jamur yang sama dari media PDA juga dipindahkan ke dalam tabung reaksi berisi 10 ml media PDB yang telah mengalami modifikasi pada pH-nya untuk menyesuaikan variasi pH yang berbeda, yaitu 5,0; 5,5; dan 6,0. Kedua perlakuan tersebut dibiarkan diinkubasi selama 7 hari (Utami *et al.*, 2019).

II.7.5 Indeks Selulolitik

Pengujian isolat jamur yang memiliki potensi mendegradasi selulosa dilakukan dengan mengetahui adanya zona bening (*clear zone*) di sekitar koloni jamur pada media selektif. Pengujian aktivitas degradasi selulosa setiap isolat jamur dilakukan dengan cara isolat jamur yang telah dimurnikan ditumbuhkan dengan menggunakan ose bulat dan meletakkan satu ose inokulum pada media selektif yaitu media *carboxymethyl cellulose* (CMC). Isolat yang ditumbuhkan pada media CMC diinkubasi pada suhu ruang selama 3 hari. Isolat yang tumbuh pada media CMC kemudian digenangi dengan 2 ml pewarna Congo red 0,1% selama 10 menit, dan dibilas dengan larutan NaCl 1 M (Sumerta & Atit, 2016).

Zona bening yang terbentuk disekitar koloni jamur menunjukkan bahwa isolat jamur tersebut mampu mendegradasi selulosa. Pengukuran diameter zona

bening yang terbentuk dan diameter koloni jamur dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui indeks aktivitas selulolitik isolat jamur. Menurut Sutari (2020) indeks aktivitas selulolitik dihitung berdasarkan rumus, sebagai berikut:

$$IS = \frac{\text{Diameter zona bening (DB)} - \text{diameter koloni (DK)}}{\text{Diameter koloni (DK)}}$$

Kriteria indeks selulolitik (IS) :

Indeks <1 : tergolong rendah

$1 \leq \text{indeks} \leq 2$: tergolong sedang

Indeks >2 : tergolong tinggi.

III.7.6 Ekstrak Kasar Enzim

Ekstrak kasar selulase dapat diperoleh berdasarkan yang telah dimodifikasi Talantan *et al.* (2018) dengan cara menumbuhkan isolat jamur yang telah didapatkan pada media cair PDB, diinkubasi selama 120 jam atau 5 hari pada suhu pada 30 °C dengan kecepatan 120 rpm. kemudian sentrifugasi pada sampel dengan kecepatan 4000 rpm, selama 10 menit. Hal ini dilakukan untuk memisahkan sel-sel yang ada pada mikroorganisme yang mengendap dan supernatan yang merupakan cairan berisi enzim. Selanjutnya difiltrasi dengan menggunakan kertas saring sehingga diperoleh filtrat jernih yang merupakan ekstrak kasar selulase. Filtrat tersebut selanjutnya digunakan untuk menganalisis aktivitas enzim selulase.

III.7.7 Uji Aktivitas Selulase

Pengukuran pelepasan gula pereduksi dilakukan dengan mencampurkan 0,5 ml ekstrak kasar enzim dan 1 ml larutan CMC 1% dalam larutan buffer natrium sitrat 50 ml pH 4,8. Setelah itu, ditambahkan reagen DNS sebanyak 1 ml. Proses inkubasi dilakukan pada suhu 30 °C selama 10 menit. Akhirnya, sampel diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang $\lambda = 540$ nm (Utami *et al.*, 2019).

$$AE = \frac{C}{BM \text{ glukosa} \times t} \times \frac{H}{E}$$

Keterangan :

AE : Aktivitas enzim (Unit/ml)
C : Konsentrasi glukosa
t : Waktu inkubasi
BM : Berat molekul glukosa (180g/mol)
H : Volume total enzim substrat (ml)
E : Volume enzim (ml)

III.7.8 Uji Standar Glukosa

Konsentrasi gula dalam kurva standar diukur menggunakan metode DNS. Untuk melakukannya, 1 ml larutan glukosa standar dimasukkan ke dalam 6 tabung reaksi dengan konsentrasi berturut-turut (200, 400, 600, 800 dan 1000 mg/ml), sementara 1 tabung reaksi tambahan berisi 1 ml air murni digunakan sebagai kontrol (Azizah, 2017). Selanjutnya, 1 ml reagen DNS ditambahkan ke masing-masing larutan standar glukosa tersebut. Larutan standar ini kemudian dipanaskan dalam *waterbath* selama 5 menit. Setelah pemanasan, absorbansi dari setiap larutan diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang $\lambda = 540$ nm. Kurva standar dibuat untuk memahami relasi antara konsentrasi larutan dan nilai absorbansi (Hasanah & Iwan, 2015).

III.7.9 Uji Kadar Protein

Kandungan protein dalam enzim selulase diidentifikasi menggunakan metode Bradford. Untuk menyiapkan larutan standar protein, awalnya, 0,01 g BSA (*Bovine Serum Albumin*) ditimbang, dan kemudian dilarutkan dalam 10 mL air steril, menghasilkan larutan stok BSA dengan konsentrasi 1000 ppm. Setelah itu, larutan stok BSA dengan konsentrasi 1000 ppm diencerkan dengan mengambil 0,5 mL larutan stok dan mencampurkannya dengan 4,5 mL air steril, menghasilkan larutan stok BSA dengan konsentrasi 100 ppm. Dari larutan stok tersebut, dilakukan pengukuran pada berbagai larutan standar protein dengan konsentrasi 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, dan 1 (mg/ml). Untuk mengukur ini, 0,1 mL dari setiap larutan standar tersebut ditambahkan ke dalam 5 mL reagen Bradford. Larutan kemudian diaduk dan diinkubasi pada suhu ruang selama 10-60 menit. Kemudian, absorbansi larutan diukur pada panjang gelombang $\lambda = 540$ nm.

Kandungan protein yang larut dalam enzim selulase diukur dengan cara mencampurkan 5 mL reagen Bradford dengan 0,2 mL filtrat enzim, lalu diaduk. Absorbansi larutan ini diukur pada panjang gelombang $\lambda = 540$ nm. Konsentrasi protein dalam sampel enzim diperoleh dengan merujuk pada kurva standar yang disusun menggunakan larutan *Bovine Serum Albumin* (BSA) (Hasanah & Iwan, 2015).

III.7.10 Pengukuran Aktivitas Spesifik Enzim

Setelah menentukan kadar protein yang larut, aktivitas spesifik enzim dapat dihitung dengan metode berikut:

$$AS = \frac{AE}{K}$$

Keterangan :

AS : Aktivitas spesifik enzim (Unit/mg)

AE : Aktivitas enzim (Unit/ml)

K : Kadar protein terlarut (mg/ml) (Utami *et al.*, 2019).

III.7.11 Analisis Data

Penelitian ini menggabungkan metode deskriptif dan metode eksperimen. Data yang dikumpulkan mencakup data kualitatif dan kuantitatif. Analisis data kualitatif dilakukan secara deskriptif dengan mempertimbangkan jumlah isolat serta karakteristik morfologi jamur, baik dari segi mikroskopis maupun makroskopis. Informasi ini juga diperkuat dengan gambar-gambar yang disajikan. Selanjutnya, identifikasi fungi dilakukan dengan merujuk kepada jurnal-jurnal terkait dan buku identifikasi "*Illustrated Genera Of Imperfect Fungi*". Sementara itu, pengujian optimasi, termasuk suhu, pH dan waktu inkubasi, dianalisis menggunakan Excel untuk data kuantitatif. Data kuantitatif dianalisis dengan mempertimbangkan hasil pengukuran diameter zona bening, diameter koloni, perhitungan aktivitas enzim, pengukuran nilai absorbansi, uji standar glukosa, uji protein dan uji aktivitas spesifik enzim.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. Hasil Pengamatan

IV.1.1 Karakteristik Fungi Selulolitik Dari Serasah Akasia



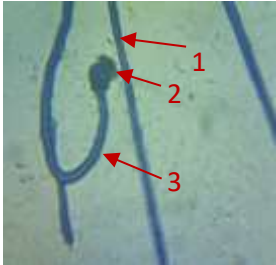


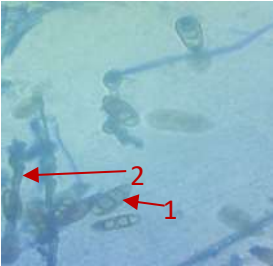
Berdasarkan hasil isolasi fungi selulolitik secara duplo pada serasah daun akasia dengan kode isolat FS1, FS2, FS3 dan FS4 diperoleh 5 jenis fungi selulolitik yang berbeda yang telah diinkubasi selama 7 hari. Hasil pengamatan terdapat 5 jenis fungi selulolitik berbeda dengan kode isolat FS1, FS2, FS3A, FS3B, dan FS4. Semua isolat tersebut memiliki karakteristik yang berbeda-beda baik secara makroskopis maupun mikroskopis. Berikut tabel karakteristik fungi selulolitik dari serasah daun Akasia (Tabel IV. 1) dan tabel identifikasi fungi selulolitik dari serasah daun Akasia (Tabel IV. 2).



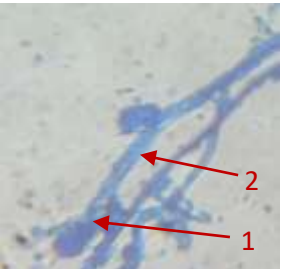





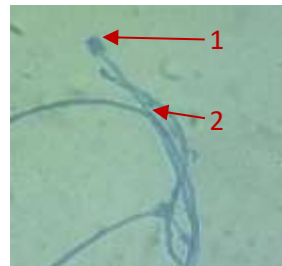
Tabel IV.1 Karakteristik Morfologi Makroskopis dan Mikroskopis Sampel Serasah Daun Akasia

Karakter	Kode Isolat				
	FS1	FS2	FS3A	FS3B	FS4
Makroskopis					
Warna Koloni	Coklat	Putih	Putih	Putih	keabuan
Tampak Atas	keabuan	Keabuan			
Warna Koloni Tampak Bawah	Kekuningan	Abu kehitaman	Putih Cream	Keorenan	Abu Kehitaman
Tekstur Koloni	Beludru	Beludru	Kapas	Kapas	Beludru
Bentuk Koloni	Bulat	Bulat	Tidak Beraturan	Tidak Beraturan	Bulat
Mikroskopis					
Bentuk Hifa	Tidak Berseptata	Berseptata	Bersekata	Berseptata	Bersekata
Bentuk Konodia	Bulat	Elips	Bulat Lonjong	Elips	Bulat
Bentuk Konodiofor	Tunggal	Oval	Memanjang Sederhana	Lateral Bercabang	Tunggal

Keterangan FS : Fungi Selulolitik

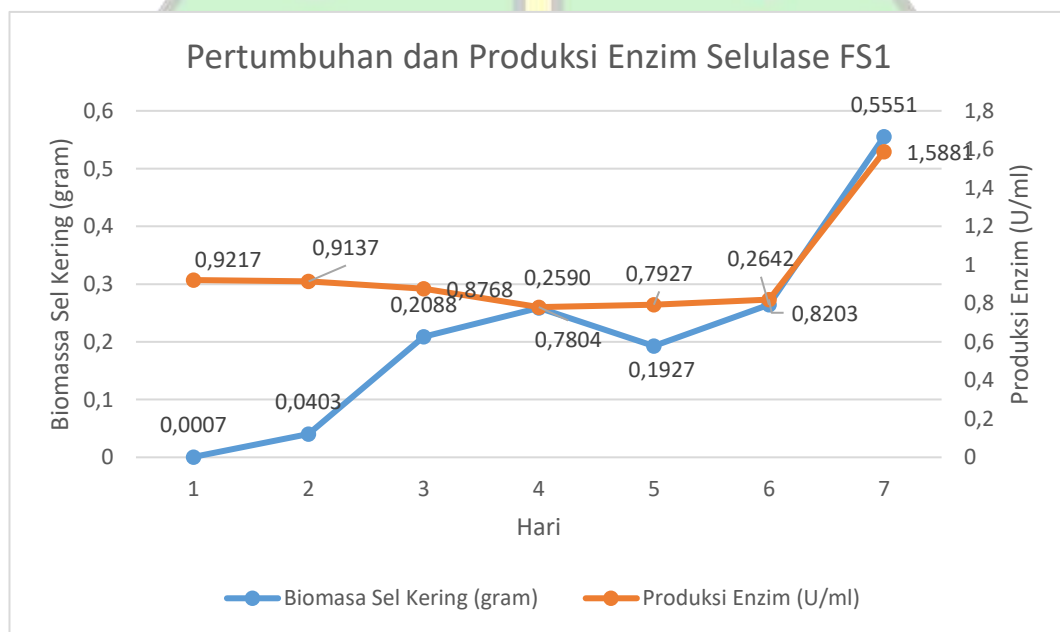
Tabel IV.2 Identifikasi Fungi Selulolitik dari Serasah Daun Akasia

No	Kode Isolat	Koloni Tampak Atas	Koloni Tampak Bawah	Gambar Mikroskopis	Keterangan
1.	FS1 (<i>Mucor</i> sp.)				<ol style="list-style-type: none"> 1. Hifa 2. Kolumella 3. Sporangiofor
2.	FS2 (<i>Alternaria</i> sp.)				<ol style="list-style-type: none"> 1. Konidia 2. Konidiofor

No	Kode Isolat	Koloni Tampak Atas	Koloni Tampak Bawah	Gambar Mikroskopis	Keterangan
3.	FS3A (<i>Acremonium</i> sp.)				1. Konidia 2. Konidiofor
4.	FS3B (<i>Clasdosporium</i> sp.)				1. Konidia 2. Konidiofor
5.	FS4 (<i>Rhizopus</i> sp.)				1. Kolumela 2. Sporangiofora

IV. 1.2 Pertumbuhan Fungi dan Waktu Inkubasi pada Kondisi Optimum pH dan Suhu Terhadap Aktivitas Enzim Selulase

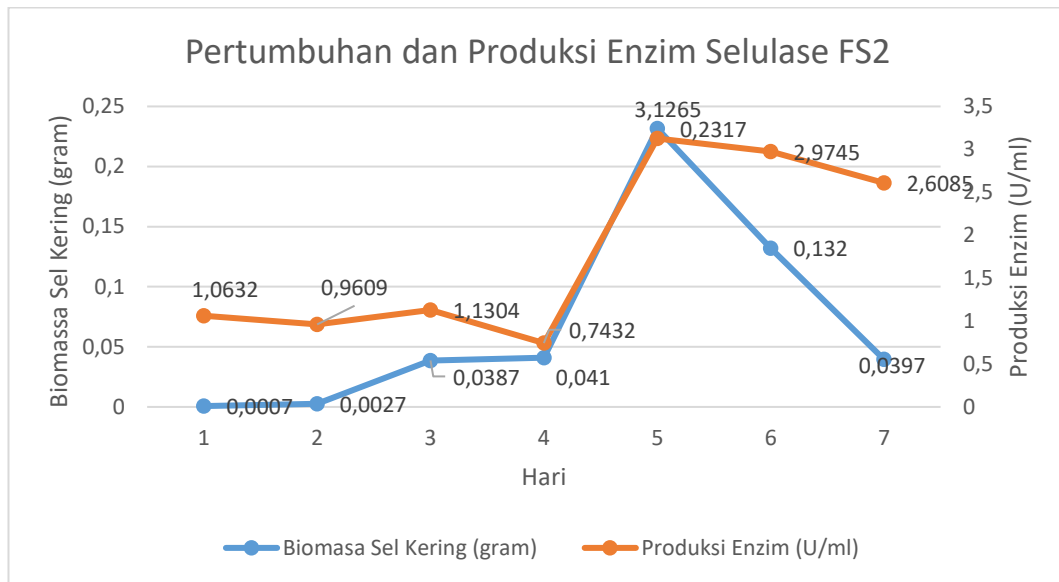
Kurva pertumbuhan ini dibuat untuk mengetahui kondisi optimum fungi selulolitik akasia dalam memproduksi enzim selulase. Hasil penelitian dari perlakuan pada isolat FS1, FS2, FS3A, FS3B dan FS4 yang diinkubasi menggunakan shaker inkubator dengan kecepatan 121 rpm pada suhu 30 °C. Kemudian kultur diambil sesuai waktu interval pengamatan dan disentrifugasi untuk memisahkan pellet dan supernatan. Pellet kemudian dioven untuk mendapatkan hasil biomassa sel kering dan supernatan diukur absorbansinya menggunakan spektro *Uv-Vis* untuk mendapatkan nilai produksi enzim. Hasil pertumbuhan dan produksi enzim pada setiap isolat dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar IV.1 Pertumbuhan dan Produksi Enzim Selulase oleh Fungi FS1 Selama 7 Hari

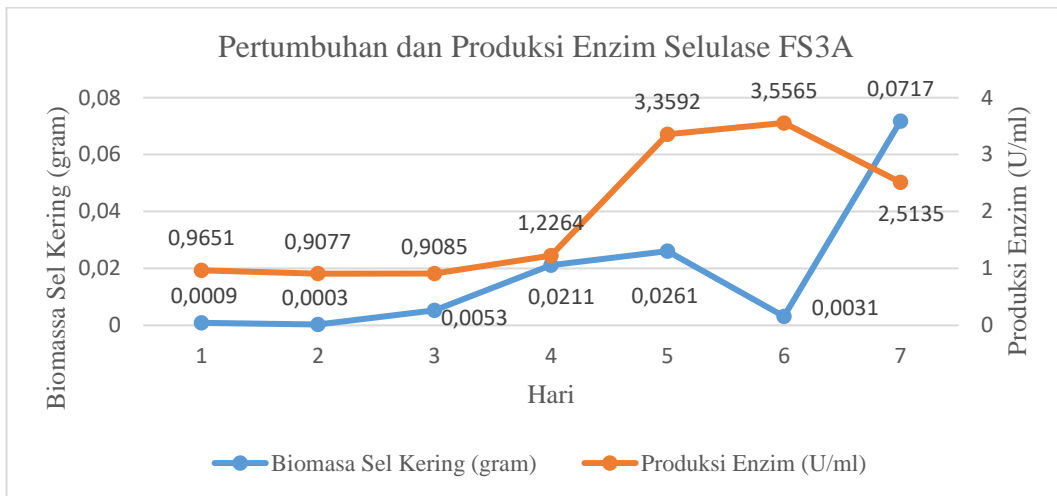
Biomassa sel kering fungi FS1 pada hari ke 1-5 berada pada fase lag yang dimulai pertumbuhan sebesar 0,0007 yang mengalami kenaikan hingga hari ke 4 sebesar 0,2590 dan mengalami penurunan pada hari ke 5 dengan nilai 0,1927. Fase log fungi FS1 terjadi pada hari ke 6-7 yang ditandai dengan kelonjakan pertumbuhan fungi hingga mencapai 0,5551. Produksi enzim fungi FS1 dimulai

dari 0,9217 U/ml pada hari ke 1 dan mendapatkan nilai tertinggi pada hari ke 7 sebesar 1,5881 U/ml pada saat fungi berada pada fase log.



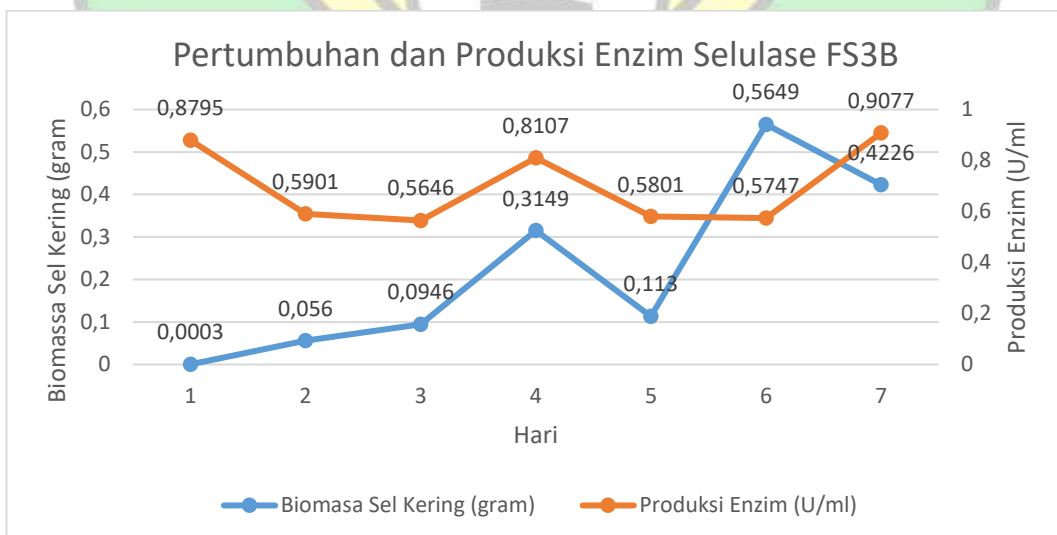
Gambar IV.2 Pertumbuhan dan Produksi Enzim Selulase oleh Fungi FS2 Selama 7 Hari

Biomassa sel kering hari ke 1-3 berada pada fase lag, fase log 4-5, stasioner tidak berlangsung lama dan mengalami fase kematian pada hari ke 7. Produksi enzim dimulai dari 1,0632 U/ml pada hari ke 1 meningkat pada fase log yakni pada hari ke 4-5 hingga mendapati nilai tertinggi yakni 3,1265 U/ml dan mengalami penurunan seiring dengan penurunan biomassa kering yang berlangsung pada fase kematian hari ke 7 didapati 2,6085 U/ml.



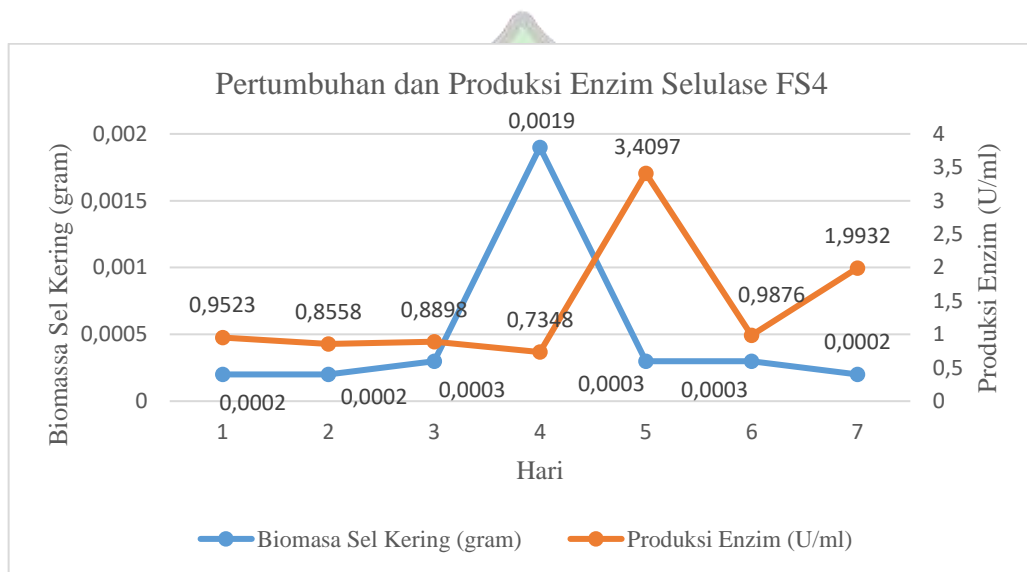
Gambar IV.3 Pertumbuhan dan Produksi Enzim Selulase oleh Fungi FS3A Selama 7 Hari

Biomassa sel kering hari ke 1-6 berada pada fase lag, jamur ini lebih lama beradaptasi pada lingkungan dan pada hari ke 7 berada pada fase log mengalami kenaikan hingga 0,0717. Produksi enzim meningkat pada hari ke 5 hingga mendapati 3,3592 U/ml saat berada pada fase lag, mendapatkan nilai tertinggi pada hari ke 6 hingga mencapai 3,5565 U/ml, dan mengalami penurunan nilai produksi enzim pada hari ke 7 dengan nilai 2,5135 U/ml.



Gambar IV.4 Pertumbuhan dan Produksi Enzim Selulase oleh Fungi FS3B Selama 7 Hari

Biomassa sel kering hari ke 1-5 berada pada fase lag, berada pada fase log pada hari ke 6 mengalami kenaikan hingga 0,5649, dan menuju fase stasioner pada hari ke 7. Produksi enzim mengalami penurunan pada hari ke 2 dan ke 3 hingga mendapati nilai 0,5646 U/ml, kembali meningkat 0,8107 U/ml, turun hingga hari ke 6 dengan nilai 0,5747 U/ml, dan melonjak naik pada hari ke 7 dengan nilai 0,9077 U/ml.

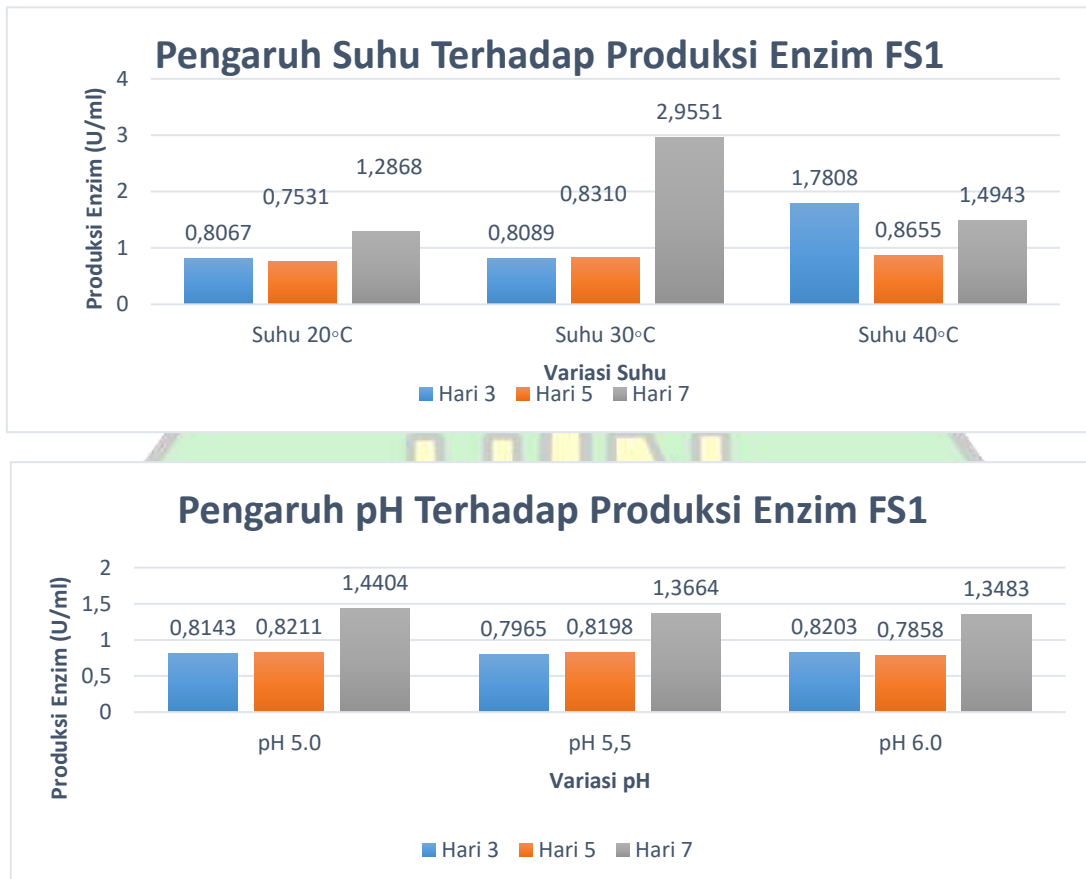


Gambar IV.5 Pertumbuhan dan Produksi Enzim Selulase oleh Fungi FS4 Selama 7 Hari

Biomassa sel kering hari ke 1-3 berada pada fase lag, berada pada fase log pada hari ke 4, mengalami fase stasioner pada hari ke 5-6, dan pada hari ke 7 inkubasi didapati fase kematian. Produksi enzim memuncak pada hari ke 5 yakni pada fase pertumbuhan stasioner jamur yakni sebesar 3,4097 dan kembali turun pada hari ke 6.

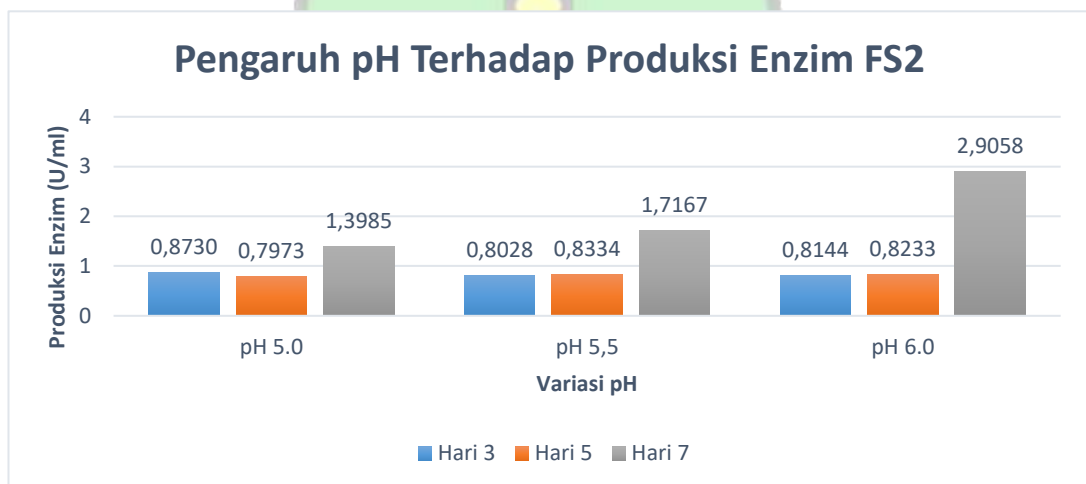
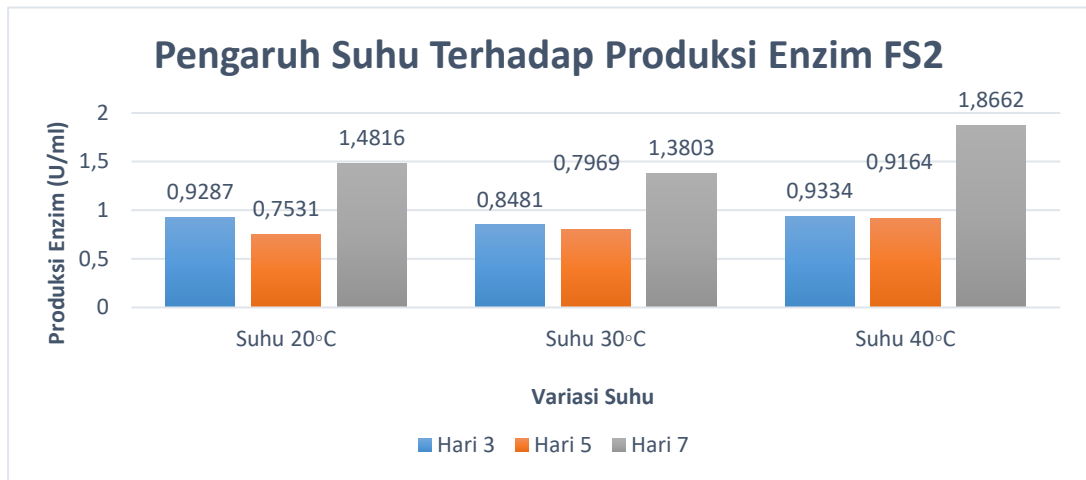
Grafik di bawah ini untuk mengetahui kondisi suhu dan pH optimum fungi selulolitik akasia dalam memproduksi enzim selulase. Hasil penelitian dari perlakuan pada isolat FS1, FS2, FS3A, FS3B dan FS4 yang diinkubasi pada suhu yang berbeda yaitu suhu 20 °C, 30 °C dan 40 °C dengan variasi pH 5,0, 5,5 dan 6,0. Isolat diinkubasi selama 7 hari, kemudian diukur absorbansinya menggunakan

spektrum *Uv-Vis* untuk mendapatkan nilai produksi enzim. Hasil produksi enzim pada setiap isolat disajikan pada gambar berikut.



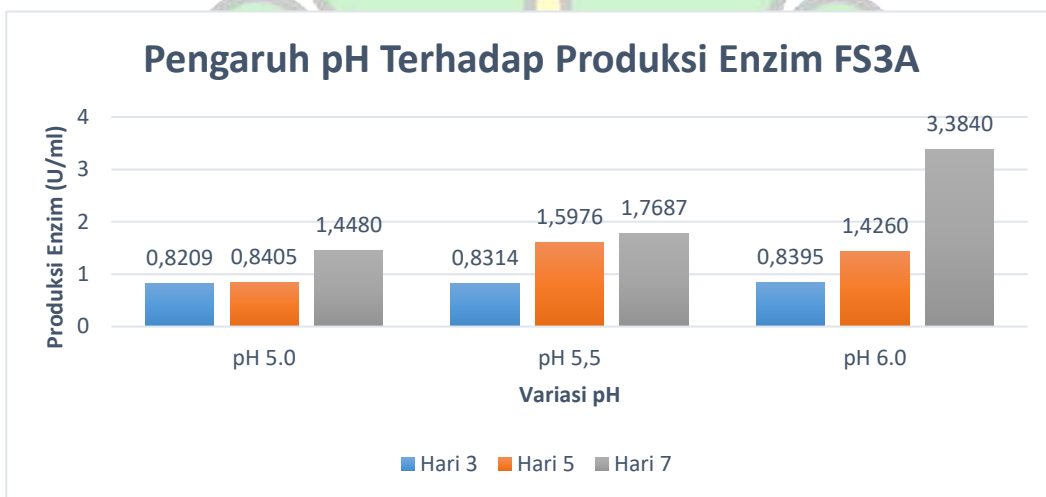
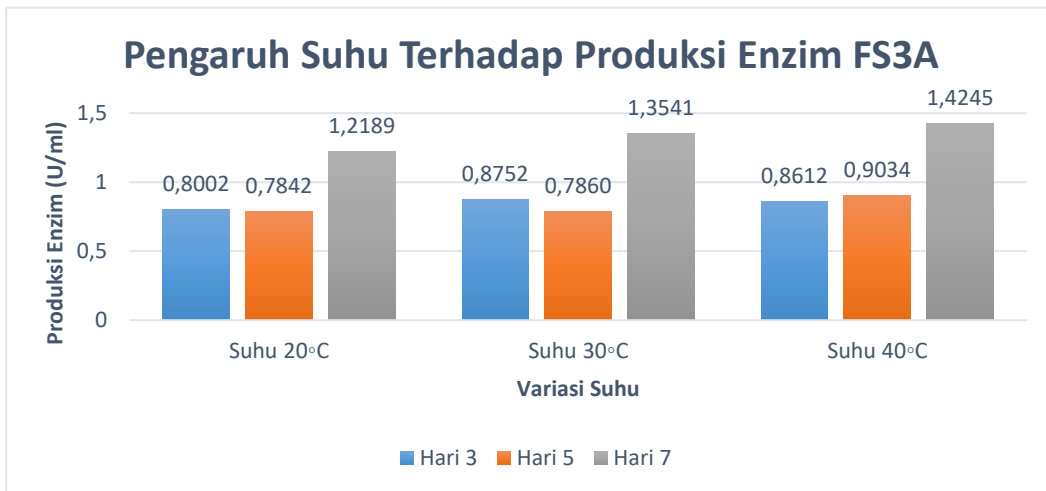
Gambar IV.6 Pengaruh Suhu dan pH Terhadap Produksi Enzim fungsi FS1

Gambar diatas menunjukkan bahwa fungsi FS1 memiliki suhu optimum untuk memproduksi enzim selulase ada pada suhu 30°C, aktivitas enzimnya sebesar 2,9551 U/mL. Pada variasi pH dapat dilihat bahwa pH 5,0 memiliki nilai produksi enzim selulase maksimum, aktivitas enzimnya mencapai 1,4404 U/mL. Pada variasi pH lainnya nilai produksi enzim selulase rendah sehingga tidak memproduksi enzim secara maksimum.



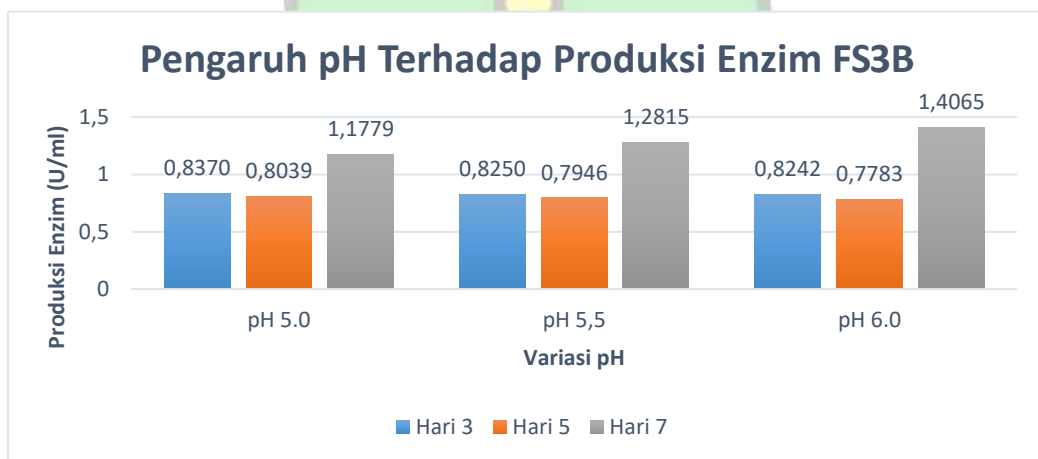
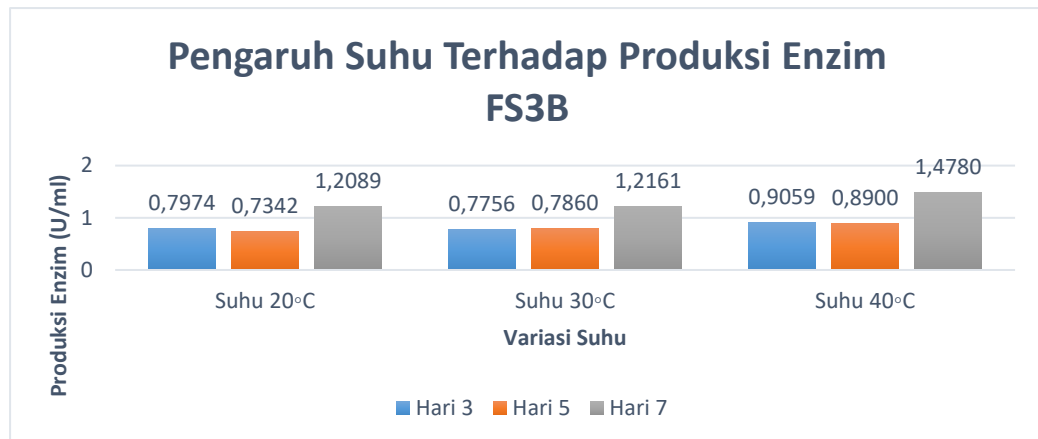
Gambar IV.7 Pengaruh Suhu dan pH Terhadap Produksi Enzim fungsi FS2

Gambar diatas menunjukkan bahwa fungsi FS2 memiliki suhu optimum untuk memproduksi enzim selulase terdapat pada suhu 40°C, aktivitas enzimnya sebesar 1,8662 U/mL. Pada variasi pH dapat dilihat bahwa pH 6,0 memiliki nilai produksi enzim selulase maksimum, aktivitas enzimnya mencapai 2,9058 U/mL. Pada variasi pH lainnya nilai produksi enzim selulase rendah sehingga tidak memproduksi enzim secara maksimum.



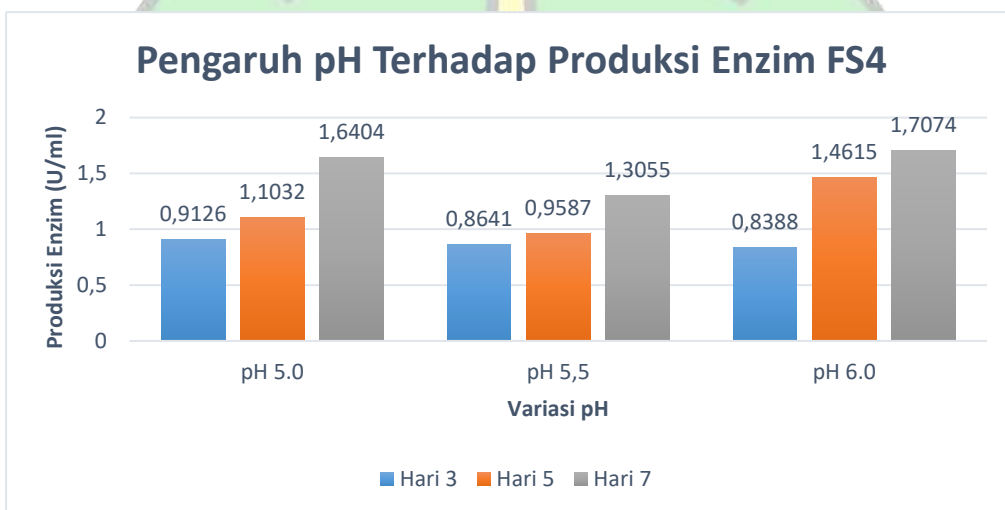
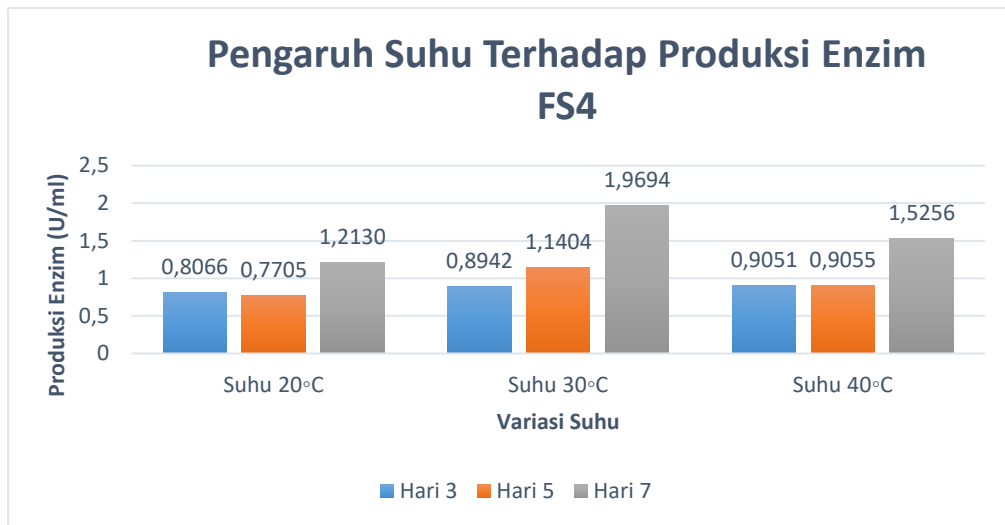
Gambar IV.8 Pengaruh Suhu dan pH Terhadap Produksi Enzim fungsi FS3A

Gambar diatas menunjukkan bahwa fungsi FS3A memiliki suhu optimum untuk memproduksi enzim selulase terdapat pada suhu 40°C, aktivitas enzimnya sebesar 1,4245 U/mL. Pada variasi pH dapat dilihat bahwa pH 6,0 memiliki nilai produksi enzim selulase maksimum, aktivitas enzimnya mencapai 3,3840 U/mL. Pada variasi pH lainnya nilai produksi enzim selulase rendah sehingga tidak memproduksi enzim secara maksimum.



Gambar IV. 9 Pengaruh Suhu dan pH Terhadap Produksi Enzim fungsi FS3B

Gambar diatas menunjukkan bahwa fungsi FS3B memiliki suhu optimum untuk memproduksi enzim selulase terdapat pada suhu 40°C, aktivitas enzimnya sebesar 1,4780 U/mL. Pada variasi pH dapat dilihat bahwa pH 6,0 memiliki nilai produksi enzim selulase maksimum, aktivitas enzimnya mencapai 1,4065 U/mL. Pada variasi pH lainnya nilai produksi enzim selulase rendah sehingga tidak memproduksi enzim secara maksimum.



Gambar IV.10 Pengaruh Suhu dan pH Terhadap Produksi Enzim fungsi FS4

Gambar diatas menunjukkan bahwa fungsi FS4 memiliki suhu optimum untuk memproduksi enzim selulase terdapat pada suhu 30°C, aktivitas enzimnya sebesar 1,9694 U/mL. Pada variasi pH dapat dilihat bahwa pH 6,0 memiliki nilai produksi enzim selulase maksimum, aktivitas enzimnya mencapai 1,7074 U/mL. Pada variasi pH lainnya nilai produksi enzim selulase rendah sehingga tidak memproduksi enzim secara maksimum.

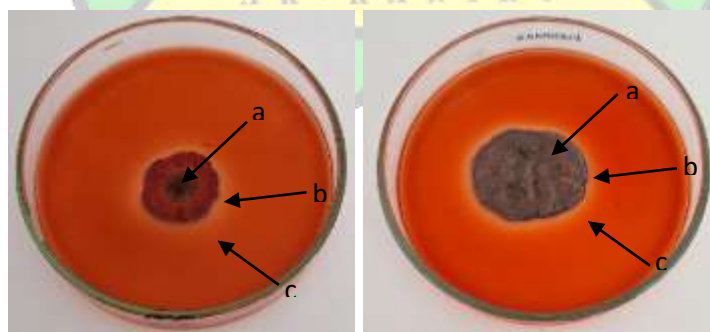
IV. 1.3 Indeks Selulolitik dan Aktivitas Enzim Selulase Oleh Fungi Selulolitik pada Serasah Akasia (*Acacia mangium*)

Uji indeks selulolitik dilakukan dengan cara isolat fungi yang telah dimurnikan ditumbuhkan dengan menggunakan ose bulat dan meletakkan satu ose inokulum pada media selektif yaitu CMC. Isolat diinkubasi selama 3 hari. Isolat yang tumbuh pada media CMC kemudian digenangi dengan 2 ml pewarna congo red 0,1% selama 10 menit dan dibilas dengan larutan NaCl 1M. Zona bening yang terbentuk disekitar koloni fungi menunjukkan bahwa fungi tersebut mampu menghasilkan selulosa. Pengukuran diameter zona bening yang terbentuk dan diameter koloni fungi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui indeks aktivitas selulolitik isolat fungi.

Tabel IV.3 Diameter Koloni dan Diameter Zona Bening Fungi Selulolitik

Kode Isolat	Diameter (mm)		Indeks Selulolitik	keterangan
	Koloni	Zona Bening		
FS1	16,12	36,90	1,29	Sedang
FS2	19,07	39,07	1,05	Sedang
FS3A	40,04	55,22	0,38	Rendah
FS3B	18,78	23,99	0,27	Rendah
FS4	32,39	42,77	0,32	Rendah

Berdasarkan hasil uji indeks selulolitik pada tabel IV.3 diketahui seluruh isolat yang membentuk indeks selulolitik dengan kategori sedang dan rendah. Isolat terbaik yaitu FS1 dengan nilai indeks selulolitik 1,29 dan FS2 dengan nilai indeks selulolitik 1,05. Kedua isolat tersebut akan diuji ke tahap lanjutan.



Gambar IV.11 Zona Bening pada Fungi Selulolitik, a). Isolat, b). Zona Bening, c). Media

Uji standar glukosa dan aktivitas enzim selulase fungi selulolitik akasia FS1 dan FS2 dilakukan untuk mengetahui nilai kadar glukosa dan aktivitas enzim, dapat dilihat dari **lampiran 6**.

Tabel IV.4 Nilai Uji Standar Glukosa dan Aktivitas Enzim Selulase Fungi Selulolitik

Kode Isolat	Kadar Glukosa (mg/mL)	Aktivitas Enzim (U/mL)
FS1	2,6865	0,266 U/mL
FS2	3,0819	0,301 U/mL

Berdasarkan hasil uji standar glukosa pada isolat FS1 memperoleh nilai 2,6865 dengan nilai aktivitas enzimnya 0,266 U/mL. Isolat FS2 memperoleh nilai 3,0819 untuk standar glukosa dan 0,301 U/mL untuk nilai aktivitas enzim.

Uji protein dan aktivitas spesifik enzim selulase fungi selulolitik akasia FS1 dan FS2 dilakukan untuk mengetahui nilai kadar protein dan aktivitas spesifik enzim, dapat dilihat dari **lampiran 6**.

Tabel IV.5 Nilai Uji Standar Protein dan Aktivitas Spesifik Enzim Selulase Fungi Selulolitik

Kode Isolat	Kadar Protein (mg/mL)	Aktivitas Spesifik Enzim (U/mg)
FS1	4,0920	0,0650 U/mg
FS2	4,3185	0,0697 U/mg

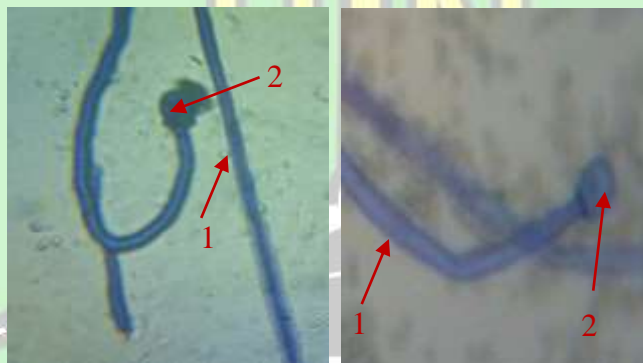
Berdasarkan hasil uji standar protein pada isolat FS1 memperoleh nilai 4,0920 dengan nilai aktivitas spesifik enzim 0,0650 U/mg. Isolat FS2 memperoleh nilai 4,3185 untuk standar protein dan 0,0697 U/mg.

IV.2. Pembahasan

IV. 2.1 Karakteristik Fungi Selulolitik dari Serasah Daun Akasia

Berdasarkan hasil pengamatan dari 5 isolat fungi selulolitik terdapat 5 jenis fungi selulolitik yaitu, *Mucor* sp., *Alternaria* sp., *Acremonium* sp., *Clasdosporium*

sp. dan *Rhizopus* sp. Karakteristik fungi yang diamati berdasarkan ciri mikroskopis dan makroskopis. Secara makroskopis makroskopis *Mucor* sp. memiliki warna koloni yaitu putih dan kemudian menjadi coklat keabuan, warna sebalik koloni yakni kekuningan. Bentuk koloni bulat dan tekstur koloni seperti beludru. Secara mikroskopis adanya hifa yang tidak bersepta dan berwarna hialin kebiruan, sporangiofor berdinding tebal, adanya kolumela. Hal Ini sejalan dengan penelitian Ristiari *et al.* (2018) mengatakan bahwa karateristik mucor yaitu koloni berwarna putih dan selanjutnya akan berubah menjadi coklat keabuan saat umur 7 hari, warna sebalik koloni yakni kekuningan. Sedangkan secara mirkoskipis memiliki hifa tidak bersepta dan berwarna hialin atau kebiruan, sporangiofor berdinding tebal, adanya kolumela, spora berdinding halus, berbentuk lonjong hingga semi bulat.

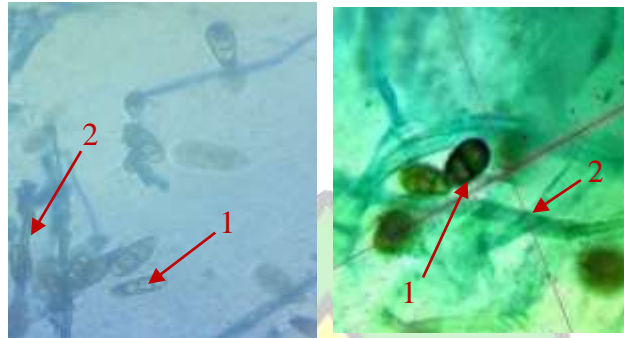


(Koleksi pribadi) 40x (Izzatinnisa' *et al.*, 2020)

Keterangan (1) : Hifa dan (2) : Kolumella

Secara makroskopis *Alternaria* sp. memiliki warna koloni abu- abu, berbentuk seperti beludru dengan permukaan agak kasar seperti kapas, pertumbuhan menyebar ke samping, bagian dasar mulanya berwarna putih kemudian berubah dengan bertambahnya umur koloni menjadi warna kehitaman. Sedangkan secara mikroskopis terdapat konidia berbentuk seperti gada, mempunyai septa. Hal Ini sejalan dengan penelitian Nuviani *et al.* (2023) mengatakan bahwa awal nya pertumbuhan koloni berwarna putih hingga keabu-abuan, koloni menyebar dan warnanya berubah dari cokelat keabu-abuan menjadi hitam, tekstur yang dimiliki seperti kapas. Sedangkan secara mikroskopis

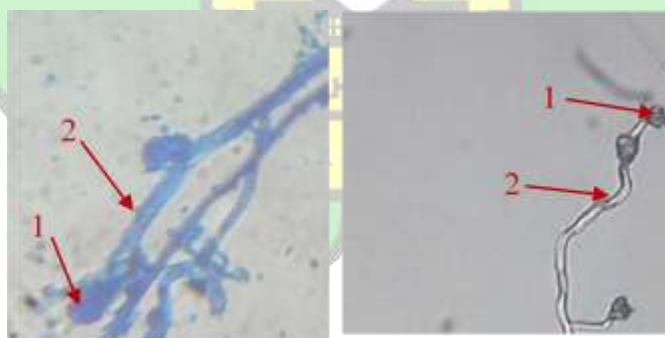
menunjukkan ciri hifa bersepta, konidia memanjang berbentuk seperti gada atau elips, terdapat septa, septa transversal dan 1-4 septa longitudinal.



(Koleksi pribadi) 40x (Al-Abbasi *et al.*, 2021)

Keterangan (1) : Konidia dan (2) Konidiofor

Secara makroskopis *Acremonium* sp. memiliki koloni berwarna putih sampai krem, tesktur koloni halus, sebaran memusat. Secara mikroskopis adanya hifa yang bersekat, tegak. Bentuk konidia bulat lonjong. Hal ini sejalan dengan penelitian Madriya (2019) mengatakan bahwa karateristik warna koloni yaitu putih dengan krem pada bagian tengah. Tekstur koloni halus dan ketebalan agak timbul, sebarannya memusat. Sedangkan secara mikroskopis menunjukkan hifa bersekat dan hialin, bentuk dari konidiofor memanjang sederhana, tegak, hialin dan konidia bersel satu.

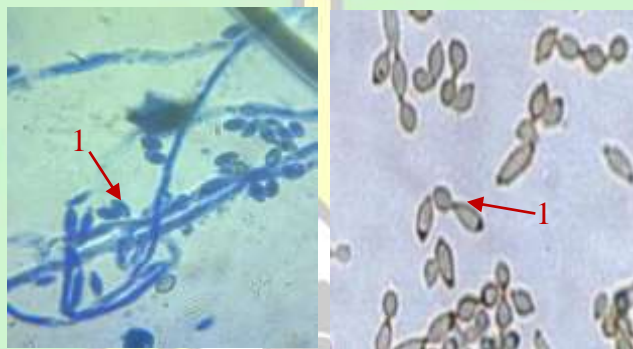


(Koleksi Pribadi) 40x

(Madriya, 2019)

Keterangan (1) : Konidia dan (2) konidiofor

Secara makroskopis *Clasdosporium* sp. memiliki ciri koloni warna awal dengan tampak atas putih krem dan tampak bawah krem keorenan kemudian beberapa hari setelah membentuk konodia warna tetap menjadi warna seperti sebelumnya, bentuk koloni bulat dan tekstrur koloni seperti beludru. Fath (2023) juga mengatakan bahwa *Clasdosporium* sp. memiliki koloni yang bulat seperti beludru. Solihin *et al.* (2021) mengatakan bahwa Pola pertumbuhan *Clasdosporium* sp. menyebar dan cepat. Ciri mikroskopis Cladosporium yaitu konidia berbentuk elips dan oval serta membentuk rantai. Konidifor memiliki konidifor lateral bercabang serta berwarna coklat dan memiliki sel konidiogenesis berbentuk makronidia bersepta satu berbentuk silinder



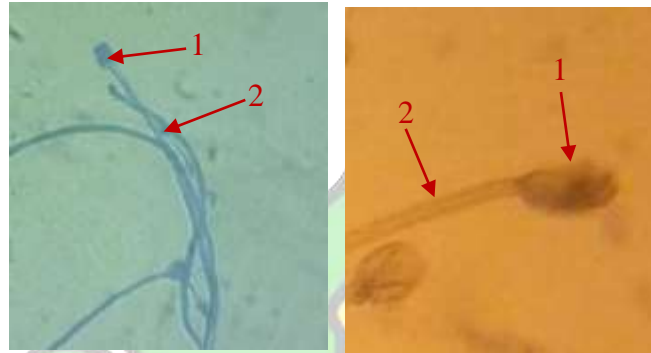
(Koleksi pribadi) 40x

(Fath, 2023)

Keterangan (1): Konidia

Secara makroskopis *Rhizopus* sp. memiliki ciri koloni warna awal dengan tampak atas dan tampak bawah putih kemudian beberapa hari setelah membentuk konodia akan berubah, tampak bawah menjadi putih keabu-abuan dan tampak bawah menjadi abu-abu kehitaman bentuk koloni tidak beraturan dan tekstrur koloni seperti kapas. Pernyataan ini sesuai dengan penelitian Aýun *et al.* (2022) memiliki miselium berwarna putih keabuan, terlihat seperti kapas, dan memiliki hifa yang panjang. Secara makroskopis memiliki koloni berwarna putih keabuan tesktur seperti kapas, pertumbuhan cepat. Secara mikroskopis hifa berhialin, tidak bersepta, adanya sporangofor. Khikmah & Haloho (2021) mengatakan bahwa karakteristik jamur rhizopus yaitu warna koloni berwarna putih keabuan hingga sampai kehitaman, tekstrur koloni seperti kapas, pertumbuhannya dengan cepat. Secara

mikroskopis mempunyai hifa tidak bersepta, sporangiofor dapat tunggal atau berkelompok, biasanya tidak bercabang. Sporangiofor menyangga sporangium yang menghasilkan sporangiospora.



(Koleksi Pribadi) 40x

(Aýun *et al.*, 2022)

Keterangan (1) : Kolumela dan (2) Sporangiospor

IV.2.2 Pertumbuhan Fungi dan Waktu Inkubasi pada Kondisi Optimum pH dan Suhu Terhadap Aktivitas Enzim Selulase

Pertumbuhan pada fungi didefinisikan sebagai pertambahan berat (jumlah) sel karena berat sel relatif sama dengan siklus sel. Pertumbuhan dapat dilihat dari kerapatan biomasanya. Ketika fungi bertambah jumlahnya atau semakin besar ukurannya dalam biakan cair terjadi peningkatan kekeruhan dalam biakan. Terdapat lima isolat fungi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu FS1 (*Mucor* sp.) FS2 (*Alternaria* sp.) FS3A (*Acremonium* sp.), FS3B (*Clasdoporium* sp.) dan FS4 (*Rhizopus* sp.).

Berdasarkan hasil perlakuan oleh fungi FS1 (*Mucor* sp.) yang ditampilkan pada Gambar IV.1 menunjukkan bahwa fungi FS1 (*Mucor* sp.) mengalami fase adaptasi (lag) dimulai antara hari ke-1 sampai hari ke-5 yang ditandai oleh berat biomassa sel kering fungi yang masih sedikit karena fungi masih beradaptasi dengan lingkungan barunya. Fase log fungi FS1 (*Mucor* sp.) terjadi pada hari ke 6-7 yang ditandai dengan kelonjakan pertumbuhan fungi hingga mencapai 0,5551. Produksi enzim fungi FS1 dimulai dari 0,9217 U/ml pada hari ke 1 dan mendapatkan nilai tertinggi pada hari ke 7 sebesar 1,5881 U/ml pada saat fungi berada pada fase log.

Sehingga didapati hasil optimasi waktu produksi enzim fungi FS1 (*Mucor* sp.) terbaik terjadi pada hari ke-7 dengan nilai produksi enzim yaitu 1,5881 U/mL yang berada pada fase log. Hasil ini didapati bahwa fase pertumbuhan spesies *Mucor* sp secara signifikan mempengaruhi aktivitas enzim selulosa, sebagaimana dibuktikan oleh penelitian Javanmard *et al.* (2023) mengemukakan bahwa *Mucor* sp. menunjukkan peningkatan produksi enzim selulolitik selama fase pertumbuhan eksponensial (log), yang mana ketersediaan nutrisi dan aktivitas metabolisme berada pada puncaknya.

Pertumbuhan fungi dan waktu inkubasi optimum bagi produksi enzim yang dihasilkan fungi FS2 (*Alternaria* sp.) adalah pada hari ke-5 pada fase log dengan biomassa sel kering sebesar 0,2317 gram dan nilai produksi enzim sebesar 3,1265 U/mL. Tidak berbeda dengan FS1 (*Mucor* sp.), produksi enzim FS2 (*Alternaria* sp.) mendapatkan nilai tertinggi juga pada fase log. Produksi enzim bertambah seiring dengan pertumbuhan biomassa sel kering dan mencapai aktivitas tertinggi menjelang fase stasioner atau diakhir fase eksponensial (log). Fase ini merupakan fase pada saat sel bertambah dengan sangat banyak, aktivitas sel sangat meningkat, merupakan fase yang penting dalam kehidupan Fungi. Hal ini terjadi karena adanya penumpukan hasil metabolit yang digunakan untuk pertumbuhan Fungi. Kondisi optimum untuk memproduksi enzim selulase terjadi pada akhir fase eksponensial. Sejauh ini masih belum terdapat referensi terbaru terkait kondisi waktu optimum *Alternaria* sp. dalam memproduksi enzim selulase.

Pertumbuhan fungi dan waktu inkubasi optimum bagi fungi FS3A (*Acremonium* sp.) adalah hari inkubasi ke-7 pada fase lag untuk biomassa sel kering mencapai 0,0717 gram sedangkan nilai optimum produksi enzim pada hari ke 6 mencapai 3,5565 U/mL. Pertumbuhan fungi dan waktu inkubasi optimum bagi fungi FS3B (*Clasdoporium* sp.) adalah hari inkubasi ke-6 pada fase stasioner dengan biomassa sel kering mencapai 0,5649 gram dan nilai optimum produksi enzim pada hari ke 7 mencapai 0,9077 U/mL. Fungi FS4 (*Rhizopus* sp.) pertumbuhan fungi dan waktu inkubasi optimum bagi adalah selama 4 hari untuk biomassa sel kering mencapai 0,0019 gram sedangkan nilai optimum produksi enzim pada hari ke 5 mencapai 3,4097 U/mL. Hal ini menunjukkan bahwa pada

fase stasioner, fungi FS3B (*Clasdosporium* sp.) dan Fungi FS4 (*Rhizopus* sp.) dapat memproduksi enzim dengan baik walaupun dikatakan fungi berada pada fase diam dan kekurangan nutrisi pada fase stasioner ini. Utami *et al.* (2019) juga mendapatkan hasil produksi maksimum enzim selulase pada fase stasioner. Namun, untuk saat ini belum didapati hasil penelitian terkini mengenai optimasi pertumbuhan dan produksi enzim selulase oleh *Acremonium* sp., *Clasdosporium* sp., dan *Rhizopus* sp.

Aktivitas enzim sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, adapun faktor utama yang harus diketahui yaitu suhu dan pH, dimana enzim dapat berkerja dan melakukan fungsinya dengan secara optimal hanya dalam kisaran suhu dan pH tertentu. Setiap isolat yang telah diamati memiliki suhu dan pH optimum yang berbeda-beda dalam memproduksi enzim. Hal ini sesuai dengan pernyataan Kartika & Ibrahim (2021) yang menyatakan bahwa pH merupakan salah satu faktor yang harus diketahui dalam melihat aktivitas enzim, dikarenakan setiap enzim akan berfungsi secara optimal hanya pada pH tertntu dan apabila pH tersebut berubah maka akan menyebabkan protein penyusun enzim akan mengalami denaturasi. Oleh karena itu, enzim yang dihasilkan oleh fungi memiliki pH optimum yang berbeda. Nilai pH optimal berada pada kisaran 5,0 hingga 8,9 untuk aktivitas fungi (Ingersoll, 2023). Abdulhadi & Ashish (2021) melanjutkan bahwa suhu optimum untuk pertumbuhan fungi dan produksi selulase diukur dalam kisaran 30 °C hingga 60 °C.

Berdasarkan hasil pengamatan yang telah dilakukan diketahui bahwa fungi FS1 (*mucor* sp.) (Gambar IV.6) memproduksi enzim sebesar 2,9551 U/mL pada suhu optimum di 30°C di hari ke 7 dan enzim selulase yang diproduksi maksimum pada pH 5,0 dengan aktivitas enzim mencapai 1,4404 U/mL di hari ke 7 masa inkubasi. Kondisi suhu dan pH tertinggi yang optimum dalam memproduksi enzim ditemukan pada suhu 40 °C dan pH 6,0 yang didapatkan dari isolat FS2 (*Alternaria* sp.) (Gambar IV.7), FS3A (*Acremonium* sp.) (Gambar IV.8) dan FS3B (*Clasdosporium* sp.) (Gambar IV.9). Isolat FS4 (*Alternaria* sp.) aktivitas enzimnya sebesar 1,8862 U/mL pada suhu 40 °C dan 2,9058 U/mL pada pH 6,0. Isolat FS3A dengan aktivitas enzim 1,4245 U/mL dan 3,3840, sementara FS3B aktivitas

enzimnya sebesar 1,4780 U/mL dan 1,4065 U/mL. Berbeda halnya dengan fungi dengan kode isolate FS4 (*Rhizopus* sp.) (Gambar IV.10) yang dapat memproduksi enzim secara optimum pada suhu 30 °C dengan aktivitas enzim sebesar 1,9694 U/mL dan 1,7074 pada pH 6,0. Sedikitnya aktivitas enzim yang diperoleh juga menurunkan aktivitas selulase, dimana hal ini dapat menyebabkan glukosa tidak banyak dihasilkan. Menurut Puspitasari & Ibrahim (2021) aktivitas selulase mengalami penurunan dikarenakan frekuensi tumbukan antara enzim dan substrat kurang, sehingga menghasilkan sedikit produk glukosa.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa fungi FS1 (*Mucor* sp.) memproduksi enzim selulase terbaik pada suhu 30 °C dengan aktivitas enzimnya sebesar 1,4404 U/mL. Hal ini sesuai dengan Abdulhadi & Ashish (2021) melaporkan bahwa *M. circinelloides* WSSDBS2F1 memiliki suhu optimum produksi selulase pada 30 °C. Berbeda halnya dengan yang diteliti oleh Behnam *et al.* (2019) bahwa suhu optimum bagi *Mucor indicus* dan *Mucor hiemalis* adalah 26,6 °C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fungi FS2 (*Alternaria* sp.) memproduksi enzim selulase terbaik pada suhu 40 °C. Aktivitas enzimnya mencapai 1,8662 U/mL. Pada variasi pH optimum terdapat pada pH 6,0 dan waktu inkubasi terbaik pada hari 7. Rathod (2022) menyatakan bahwa *Alternaria* sp. penyebab busuk daun dan buah yang ditandai dengan adanya bercak hitam. Namun, tidak semua spesies *Alternaria* merupakan hama dan patogen; beberapa diantaranya menjanjikan sebagai agen biokontrol terhadap spesies tanaman invasif. Genus tersebut kini diketahui bersifat polifiletik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa fungi FS3A (*Acremonium* sp.) memproduksi enzim selulase terbaik dalam suhu 40 °C dengan aktivitas enzimnya sebesar 1,4245 U/mL pada fase log hari ke-7. Hal ini sesuai berdasarkan Tabligo *et al.* (2022) yang menyatakan bahwa idealnya *Acremonium* sp. menunjukkan pertumbuhan yang signifikan dalam 3 hingga 7 hari. Hasil ini berbeda dari tanggapan Hou *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa suhu optimal untuk pertumbuhan *Acremonium* umumnya antara 20 °C hingga 30 °C. Sehingga diketahui bahwa *Acremonium* sp. yang didapat pada serasah *Acacia mangium* Willd. ini dapat mentolerir kisaran suhu yang lebih luas, yang memungkinkan dapat

beradaptasi dengan berbagai kondisi lingkungan. Summerbell *et al.* (2018) juga memaparkan spesies *Acremonium* yang didapat, khususnya *A. egyptiacum*, menunjukkan kisaran toleransi suhu di berbagai habitat dan kemampuan beradaptasi terhadap kondisi termal yang berbeda.

Hasil penelitian dengan variasi pH didapatkan bahwa inkubasi fungi FS3A (*Acremonium* sp.) pada pH 6.0 memiliki nilai produksi enzim selulase terbesar dengan aktivitas enzimnya mencapai 3,3840 U/mL. Hal ini didukung oleh Hou *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa fungi *Acremonium* lebih menyukai pH yang sedikit asam hingga netral, biasanya sekitar 5,5 hingga 7,0. Kisaran pH ini mendukung aktivitas metabolisme dan pertumbuhan yang optimal secara keseluruhan. *Acremonium* sp. ini ditemukan pada serasah *Acacia mangium* Willd. yang diduga sebagai substrat organik yang dimanfaatkan sebagai nutrisi sumber pertumbuhannya.

Summerbell *et al.* (2018) menjelaskan bahwa *A. egyptiacum* sering didapat dari hasil isolasi lingkungan yang beragam, termasuk tanah, bahan tanaman yang membusuk, lingkungan laut, dan sebagai endofit pada tanaman. Spesies *Acremonium* yang didapat Tong *et al.*, (2023) yakni *Acremonium capsici* dan *Acremonium guizhouense* juga diisolasi dari tanah rizosfer *Capsicum annum*, yang umumnya dikenal sebagai paprika atau cabai. Sementara itu, Qin *et al.* (2024) menemukan 68% spesies *Acremonium* berasal dari ekosistem laut, membuatnya cukup fleksibel dalam preferensi habitat *Acremonium* di samping kemunculannya di habitat darat.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa fungi FS3B (*Cladoporium* sp.) memproduksi enzim selulase terbaik dalam suhu 40 °C dengan aktivitas enzimnya sebesar 1,4780 U/mL pada hari ke-7. Berbeda halnya dengan yang disebutkan Kanj *et al.* (2023) bahwa spesies *Cladoporium* umumnya tumbuh subur dalam berbagai suhu, biasanya antara 20° C hingga 30° C (68° F hingga 86° F). Espinosa & Almaguer (2018) juga menjabarkan bahwa *Cladoporium cladoporoides* menunjukkan pertumbuhan optimal pada 25 °C diantara beberapa isolat dapat berkembang antara 25-30 °C dan tidak ada ditemukan pertumbuhan atau sporulasi yang terjadi pada suhu 37 °C. Sehingga dapat dikatakan bahwa *Cladoporium* sp.

yang diisolasi dari serasah *Acasia mangium* Willd. dapat tumbuh dengan rentang suhu yang lebih tinggi yakni 40 °C dan menghasilkan enzim selulase dengan nilai tinggi pada suhu tersebut. Lebih lanjut, Nativitas *et al.* (2023) menyatakan *Cladosporium tenuissimum* diamati menginfeksi buah persik di musim semi-kering dengan suhu berkisar antara 5-15 °C, sedangkan untuk *Cladosporium carpophilum* yang lebih menyukai suhu hangat 20-30 °C di daerah lembap.

Hasil penelitian dengan variasi pH didapatkan bahwa inkubasi fungi FS3B (*Clasdoorium* sp.) pada pH 6.0 memiliki nilai produksi enzim selulase terbesar dengan aktivitas enzimnya mencapai 1,4065 U/mL. Hal ini didukung oleh Kanj *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa pH optimal untuk pertumbuhan *Cladosporium* biasanya sekitar netral (pH 6 hingga 7). *Cladosporium* menjadi fungi yang dapat ditemukan di berbagai habitat, termasuk tanah, bahan tanaman yang membusuk, dan lingkungan dalam ruangan. Hal ini umumnya dikaitkan dengan daerah lembap dan dapat ditemukan di rumah, terutama di tempat-tempat dengan kelembaban tinggi.

Cladosporium umumnya ditemukan di berbagai lingkungan dan telah dilaporkan menyebabkan penyakit pada banyak tanaman. Nativitas *et al.* (2023) dari Meksiko melaporkan bahwa *Cladosporium tenuissimum* telah menyebabkan penyakit pada tanaman persik, stroberi, dan papaya dengan menunjukkan kemampuan beradaptasinya terhadap habitat yang berbeda. Lebih jauh, Mukhtar *et al.* (2020) mengidentifikasi *Cladosporium cladosporioides* sebagai agen penyebab hawar bunga pada *Calliandra haematocephala* di China, menyoroiti keberadaannya di habitat tanaman hias. Disisi lain, Puliga *et al.* (2023) mengisolasi *Cladosporium cladosporioides* dari tanah yang ada di lahan pertanian.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa fungi FS4 (*Rhizopus* sp.) yang diisolasi dari serasah *Acasia mangium* Willd. memproduksi enzim selulase terbaik dalam suhu 30 °C dengan aktivitas enzimnya sebesar 1,9694 U/mL pada hari ke-7. Spesies *Rhizopus* lain juga dilaporkan seperti *Rhizopus stolonifer* var. *reflexus* TP-02 Li *et al.* (2015) dan *Rhizopus oryzae* UC2 Ezeilo *et al.*, (2019) memproduksi selulase secara optimal pada suhu 30 °C. Berbeda dengan *Rhizopus oryzae* yang diteliti oleh Behnam *et al.* (2019) yang optimum dalam memproduksi enzim

selulase pada suhu 26,6° C dengan nilai 281 U/g. *Rhizopus oryzae* SN5 juga didapati Pandey & Negi (2020) memproduksi selulase secara optimum pada suhu 40 °C.

Produksi enzim selulase fungi FS4 (*Rhizopus* sp.) yang diisolasi dari serasah *Acasia mangium* Willd. optimum pada variasi pH pH 6.0 dengan nilai mencapai 1,7074 U/mL. Hasil ini tidak sesuai dengan penelitian Ezeilo *et al.* (2019) yang mendapati bahwa *Rhizopus oryzae* dalam substrat fermentasi memproduksi selulase optimum pada rentang pH 3.0-5.0. Perbedaan ini dapat dikarenakan kondisi substrat media pertumbuhan yang berbeda. Disisi lain, Pandey & Negi (2020) mendapati kondisi pH 4,8 menjadi pH optimal bagi *Rhizopus oryzae* SN5 dalam ekstraksi selulase dengan menggunakan buffer Na-sitrat.

Rhizopus sp. pada penelitian ini memanfaatkan bahan organik dari serasah *Acasia mangium* Willd. sebagai nutrisi sumber pertumbuhannya. Habitat *Rhizopus* sp. telah banyak didokumentasikan dan menunjukkan implifikasi ekologi yang luas. Janarkho *et al.* (2023) mendapati *Rhizopus* sp. dari tempe segar yang menunjukkan bahwa *Rhizopus* sp. tumbuh subur di lingkungan yang kaya bahan organik, seperti makanan fermentasi. Habitat ini mendukung pertumbuhannya dan produksi berbagai metabolit. Ghariieb *et al.* (2023) melaporkan bahwa *Rhizopus arrhizus* umumnya ditemukan di tanah dan bahan organik yang membusuk dengan persediaan nutrisi yang cocok untuk pertumbuhannya. *Rhizopus arrhizus* juga termasuk jamur endofit yang artinya juga dapat hidup di dalam jaringan tanaman. Disisi lain, *Rhizopus oryzae* ditemukan pada bahan tanaman yang membusuk dari limbah pertanian, seperti dedak gandum oleh Pandey & Negi (2020) dan perkebunan kelapa sawit oleh Ezeilo *et al.* (2019) dengan memanfaatkan substrat untuk fermentasi keadaan padat.

IV. 2.3 Indeks Selulolitik dan Aktivitas Enzim Selulase Oleh Fungi Selulolitik pada Serasah Akasia (*Acasia mangium*)

Isolasi Fungi selulolitik pada serasah daun akasia memperoleh lima isolat diseleksi dengan melakukan uji indeks selulolitik pada media CMC dengan hasil diketahui bahwa semua isolat dapat menghasilkan zona bening yang menunjukkan bahwa fungi berpotensi dalam menghasilkan enzim. Pernyataan tersebut sesuai

dengan Abdulhadi *et al.* (2021) yang mengatakan bahwa zona bening pada cawan petri merupakan indikasi adanya potensi enzim selulase. Fungi yang menghasilkan zona bening dianggap berpotensi sebagai penghasil enzim selulase. Menurut Sukmawati *et al.* (2018) zona bening pada media CMC terbentuk karena terdapat CMCase yang memutus ikatan β -1,4-glikosidik dalam media CMC serta adanya ikatan kuat antara polisakarida yang memiliki kandungan β -(1,4)-D-glukopiranosil dengan *Congo red*.

CMC yang digunakan dalam medium merupakan polimer dengan bobot molekul tinggi yang menyebabkannya tidak dapat ditranspor ke dalam sel mikroba. Enzim yang dilepaskan ke luar sel sehingga selulase yang dihasilkan oleh isolat fungi disekresikan ke luar sel dan berdifusi di permukaan agar. Tahap pewarnaan dengan *congo red* untuk mendeteksi substrat CMC pada medium yang ditandai dengan warna merah sedangkan zona bening menunjukkan substrat yang dihidrolisis oleh enzim selulase yang dihasilkan dan dikeluarkan oleh isolat fungi. Metode ini merupakan metode penapisan awal yang dapat memperoleh hasil secara cepat dan sensitif. Larutan *congo red* berinteraksi secara kuat dengan ikatan β -1,4-glikosidik (Khoirunnisa & Sjamsuridzal, 2020). Kemudian dilakukan menggunakan NaCl yang bertujuan untuk membuang *congo red* yang tidak berikatan dengan polisakarida. Siruwahni, D & Rasyidah (2023) Pembilasan dengan NaCl akan melunturkan *congo red* terutama di daerah sekitar koloni yang mengandung turunan selulase yang terhidrolisis seperti selodekstrin, selobiosa dan glukosa karena *congo red* tidak terikat dengan kuat sehingga membentuk zona bening disekitar koloni.

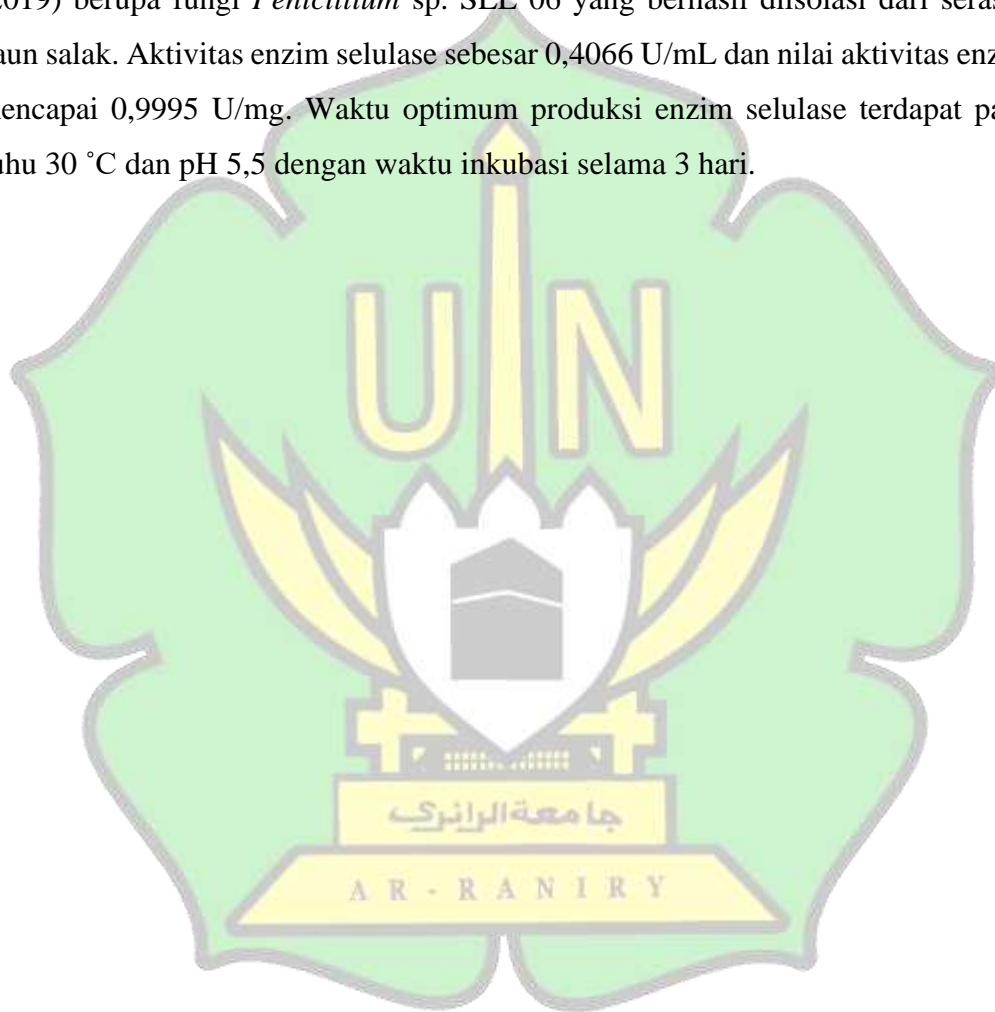
Besar kecilnya zona bening juga merupakan indikasi awal banyak sedikitnya selulase yang dihasilkan, semakin besar zona bening yang dihasilkan kemungkinan selulase yang dihasilkan semakin besar pula atau aktivitas enzimnya yang lebih tinggi (Saputri, 2024). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dua isolat yang tergolong dalam kategori sedang, yaitu FS1 (*Mucor sp.*) dan FS2 (*Alternaria sp.*) memiliki indeks selulolitik mencapai 1,29 dan 1,05. Sedangkan tiga isolat lainnya memiliki kategori lemah yaitu FS3A (*Acremonium sp.*), FS3B

(*Clasdosporium* sp.) dan FS4 (*Rhizopus* sp.) memiliki indeks selulolitik dengan nilai 0,38, 0,27 dan 0,32 dapat dilihat pada Tabel IV.3. FS1 (*Mucor* sp.) dan FS2 (*Alternaria* sp.) merupakan isolat yang membentuk indeks selulolitik terbaik dibandingkan ketiga isolat lainnya, sehingga kedua isolat tersebut yang akan diuji ke tahap selanjutnya.

Pengukuran aktivitas enzim diukur menggunakan metode DNS. Pratiwi *et al.* (2018) mengatakan bahwa metode DNS lebih banyak digunakan dalam pengukuran aktivitas enzim yang produknya berupa gula pereduksi, meskipun harga pereaksinya lebih mahal namun DNS memiliki tingkat ketelitiannya lebih tinggi sehingga dapat mengukur gula pereduksi dalam konsentrasinya. Nilai aktivitas enzim dapat diketahui dengan menggunakan kurva standar glukosa yang telah disajikan pada Lampiran 6. Kadar glukosa bagi fungi FS1 (*Mucor* sp.) sebesar 2,6865 pada hari ke 5 dengan nilai aktivitas enzimnya mencapai 0,266 U/mL dapat dilihat pada Tabel IV.4. Penentuan kadar protein dapat dilakukan dengan menggunakan kurva standar protein yang telah disajikan pada Lampiran 6. Kadar protein terlarut pada enzim selulase dari fungi FS1 (*Mucor* sp.) adalah sebesar 4,0920 mg/mL dapat dilihat pada Tabel IV.5. Setelah mengetahui kadar protein terlarut, dapat dihitung nilai spesifik enzimnya. Utami *et al.*, (2019) mengemukakan bahwa aktivitas spesifik enzim merupakan besarnya aktivitas enzim per jumlah protein yang terkandung dalam campuran enzim yang diuji, semakin tinggi nilai produksi enzimnya maka aktivitas spesifik enzim yang dihasilkan semakin tinggi. Nilai aktivitas spesifik enzim bagi fungi *Mucor* sp. mencapai 0,0650 U/mg.

Kadar glukosa bagi fungi FS2 (*Alternaria* sp.) sebesar 3,0819 pada hari ke 5 dengan nilai aktivitas enzim mencapai 0,301 U/mL dapat dilihat pada tabel Tabel IV. 4. Penentuan kadar protein dapat dilakukan dengan menggunakan kurva standar protein yang telah disajikan pada Lampiran 6. Kadar protein terlarut pada enzim selulase dari fungi FS2 (*Alternaria* sp.) sebesar 4,3185 mg/mL dapat dilihat pada Tabel IV.5. Setelah mengetahui kadar protein terlarut, dapat dihitung nilai spesifik enzimnya. Nilai aktivitas spesifik enzim bagi fungi *Alternaria* sp. sebesar 0,0697 U/mg.

Berbeda halnya dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Rohmah *et al.* (2019) yang berhasil mengisolasi fungi selulolitik dari serasah salak. Produksi enzim selulase oleh *Theilaviopsis ethacetica* SSL10 diketahui memiliki nilai aktivitas enzim sebesar 0,8250 U/mL dan nilai aktivitas spesifik enzim mencapai 3,1578 U/mg. Aktivitas puncak tersebut terjadi pada fase eksponensial pada waktu inkubasi 10 hari dengan suhu 40 °C pada pH 5,5. Hasil penelitian Utami *et al.* (2019) berupa fungi *Penicillium* sp. SLL 06 yang berhasil diisolasi dari serasah daun salak. Aktivitas enzim selulase sebesar 0,4066 U/mL dan nilai aktivitas enzim mencapai 0,9995 U/mg. Waktu optimum produksi enzim selulase terdapat pada suhu 30 °C dan pH 5,5 dengan waktu inkubasi selama 3 hari.



BAB V PENUTUP

V. 1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Terdapat 5 isolat fungi selulolitik yang mendegradasi selulosa. Fungi selulolitik dengan kode isolat FS1 termasuk genus *Mucor* sp., FS2 termasuk genus *Alternaria* sp., FS3A termasuk genus *Acremonium* sp., FS3B termasuk genus *Cladoporium* dan FS4 termasuk genus *Rhizopus* sp.
2. Kondisi optimum pH dan suhu terbaik dari fungi selulolitik *Mucor* sp. ada pada pH 5,0 dan suhu 30 °C. Dan kondisi optimum bagi fungi selulolitik *Alternaria* sp. ada pada pH 6,0 dan suhu 40 °C.
3. Terdapat 2 hasil uji zona bening terbaik pada media CMC yaitu FS1 nilai indeks selulolitik 1,29 dan FS2 nilai indeks selulolitik 1,05 dan aktivitas enzim bagi fungi FS1 (*Mucor* sp.) mencapai 0,266 U/mL dengan nilai aktivitas spesifik enzimnya mencapai 0,0650 U/mg. Dan juga Aktivitas enzim bagi fungi FS2 (*Alternaria* sp.) mencapai 0,301 U/mL dengan nilai aktivitas spesifik enzimnya mencapai 0,0697 U/mg.

V.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penambahan waktu inkubasi fungi selulolitik untuk mendapatkan fase pertumbuhan terbaik, variasi suhu termofilik dalam memproduksi enzim selulase, identifikasi molekuler jamur dan pemurnian enzim untuk pemanfaatan pengobatan anti jamur.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullahadi, Y., & Ashish, V. (2021). Production, optimization and deinking capacity of alkaline cellulase produced from *Mucor circinelloides* WSSDBS2F1. *Cellulose Chemistry and Technology*, 55(5–6), 605–618. <https://doi.org/10.35812/CelluloseChemTechnol.2021.55.49>
- Agustinur, A., & Yusrizal, Y. (2021). Eksplorasi Jamur Asal Tongkol Kosong Kelapa Sawit Yang Berpotensi Sebagai Agen Pendegradasi Selulosa. *Jurnal Agrotek Tropika*, 9(3), 533. <https://doi.org/10.23960/jat.v9i3.5128>
- Al-Abbasi, S. H. A., Al-Majmaei, A. A. M., Al-Naqib, A. T. H., Hameed, A. M., Al-Samarraie, M. Q., & Altaef, A. H. (2021). Isolation and identification of some fungi from rhizospheric soils of some wild plants at Samarra University, Iraq. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 19(5 Special Issue), 829–839. <https://doi.org/10.22124/CJES.2021.5232>
- Aprillia, D., Riniarti, M., Bintoro, A., Kehutanan, J., Pertanian, F., Lampung Jl Sumantri Brojonegoro, U., Meneng, G., & Lampung, B. (2019). Aplikasi Ektomikoriza pada Media Tanam Bekas Tambang Kapur untuk Membantu Pertumbuhan Mangium (*Acacia mangium*) The Application of Ectomycoriza In Ex-Limestone Mining Growth Media to Assist the Growth of Mangium (*Acacia mangium*). *Jurnal Sylva Lestari ISSN*, 7(3), 332–341.
- Arifah, A. A. (2019). Gula Pasir Sebagai Pengganti Dektrosa Pada Komposisi PDA Untuk Efisiensi Biaya Praktikum Dan Penelitian Di Laboratorium Fitopatologi. *Jurnal Temapela*, 2(1), 28–32. <https://doi.org/10.25077/temapela.2.1.28-32.2019>
- Arifin, Z., Ida, B., Nyoman, S., dan Y. (2021). Isolation of Cellulose Degrading Bacteria from Indoor, Outdoor. *Journal of Environment and Earth Science*, 7(1). <https://doi.org/10.7176/jees/11-11-01>
- Ayun, Q., Suryani, S., & Kurnia, C. (2022). Identifikasi Kapang Pada Tempe Bungkus Daun Pisang Dan Plastik Asal Pengrajin Tempe Jatiasih , Bekasi Pendahuluan (Radiati & Sumarto , 2016). *Star*. 10(2), 45–51.
- Azizah, N. (2017). Pemurnian Enzim Selulase Dari Isolat Khamir Jenis *Candida utilis* Menggunakan Fraksinasi Amonium Sulfat. *Biofarmasi*, 6(2), 209–212. http://eprints.uny.ac.id/47086/1/Skripsi_Titik_Pengaruh_Penambahan_Logam.pdf%0Ahttp://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/edaj
- Behnam, S., Karimi, K., & Khanahmadi, M. (2019). Cellulase Production Under Solid-State Fermentation by Ethanolic Zygomycetes Fungi : Application of Response Surface Methodology. *Nutrition and Food Sciences Research*, 6(1), 27–34.
- Dhia Salsabila Hakim, & Kasiamdari, R. S. (2023). Identifikasi dan Seleksi Fungi Endofit Daun Sirih Hijau (*Piper betle* L.) Penghasil Enzim Selulase. *Berkala Ilmiah Biologi*, 14(3), 23–31. <https://doi.org/10.22146/bib.v14i3.8714>

- Duryat, D., Maryono, T., & Vidyasari, P. A. P. (2023). Laporan Awal Penyakit Busuk Akar Ganoderma Pada Akasia Di Lampung. *Jurnal Agrotek Tropika*, 11(1), 23. <https://doi.org/10.23960/jat.v11i1.6060>
- Espinosa, K., C. . & M. A. (2018). Efecto de la temperatura sobre aislados de *Cladosporium cladosporioides* recolectados del aire de La Habana, Cuba. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, 25, 21–29.
- Ezeilo, U. R., Abdul, R., & Arafat, N. (2019). Optimization studies on cellulase and xylanase production by *Rhizopus oryzae* UC2 using raw oil palm frond leaves as substrate under solid state fermentation. *Renewable Energy*, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.11.149>
- Gao, F., Hao, Z., Sun, X., Qin, L., Zhao, T., Liu, W., Luo, H., Yao, B., & Su, X. (2018). A versatile system for fast screening and isolation of *Trichoderma reesei* cellulase hyperproducers based on DsRed and fluorescence-assisted cell sorting 06 Biological Sciences 0601 Biochemistry and Cell Biology. *Biotechnology for Biofuels*, 11(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s13068-018-1264-z>
- Gharieb, M. M., Soliman, A. M., & Omara, M. S. (2023). Biosynthesis of selenium nanoparticles by potential endophytic fungi *Penicillium citrinum* and *Rhizopus arrhizus*: characterization and maximization. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-05084-x>
- Hakim, L. Rikhsan Kurniatuhadi, R. (2020). Karakteristik Fisiologis Jamur Halofilik Berdasarkan Faktor Lingkungan Dari Sumur Air Asin Di Desa Suak, Sintang, Kalimantan Barat. *Bioma : Jurnal Biologi Makassar*, 5(2), 227–232.
- Hasanah, N. U. R., & Saskiawan, I. (2015). Aktivitas selulase isolat jamur dari limbah media tanam jamur merang Cellulase activity of isolated fungus from spent straw mushroom substrate. 1110–1115. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m010524>
- Herdinan Said Al-Fath. (2023). *Identifikasi Jamur Selulolitik Dari Lahan Tebu Terkarakterisasi PH Asam Dan Suhu Tinggi*. 25. Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Hidayat, M. (2022). Isolasi dan Penapisan Kapang-Kapang Tanah Penghasil Enzim Selulase dari Limbah Olahan Sagu. *Jurnal JBES: Journal Of Biology Education And Science*, 2(3), 25–37.
- Hidayati, N., Faridah, E., & Sumardi, S. (2015). Peran Mikoriza Pada Semai Beberapa Sumber Benih Mangium (*Acacia mangium* Willd.) Yang Tumbuh Pada Tanah Kering. *Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan*, 9(1), 13–15. <https://doi.org/10.20886/jpth.2015.9.1.13-15>
- Hou, L. W., Giraldo, A., Groenewald, J. Z., Summerbell, R. C., Huang, G. Z., Cai, L., & Crous, P. W. (2023). Redisposition of acremonium-like fungi in Hypocreales. *Studies In Mycology*, 203, 23–203. <https://doi.org/10.3114/>

sim.2023.105.02

- Hunter, H. L. B. dan B. B. (1969). Illustrated Genera Of Imperfect Fungi. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*, 1–234.
- I. Nativitas-Lima, S. G. Leyva-Mir, J. M. Tovar-Pedraza, K. Y. Leyva-Madriral, R. Nativitas-Lima, A. J. Cabrera-Hidalgo, and M. C.-T. (2023). First Report of Peach Scab Caused by *Cladosporium tenuissimum* in Mexico. *Diseases Caused by Fungi and Fungus-Like Organisms First*, 107, 3317. <https://doi.org/https://doi.org/10.1094/PDIS-11-22-2566-PDN>.
- Ingersoll, J. G. (2023). Thermophilic Fungi as the Microbial Agents of Choice for the Industrial Co-Fermentation of Wood Wastes and Nitrogen-Rich Organic Wastes to Bio-Methane. *Microorganisms*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/microorganisms11102600>.
- Isabela, K., Nurchayati, N., & Ardiyansyah, F. (2022). Studi Analisis Arsitektur Percabangan Pohon DiKawasan Savana Bekol Taman Nasional Baluran Kabupaten Situbondo. *Prosiding Seminar Nasional MIPA UNIBA*, 210–215.
- Izzatinnisa', I., Utami, U., & Mujahidin, A. (2020). Uji Antagonisme Beberapa Fungi Endofit pada Tanaman Kentang terhadap *Fusarium oxysporum* secara In Vitro. *Jurnal Riset Biologi Dan Aplikasinya*, 2(1), 18. <https://doi.org/10.26740/jrba.v2n1.p18-25>.
- Janarkho, G., Trianto, A., Sedjati, S., & Listari, R. P. (2023). Study on the anti-vibrio activity of marine fungi *Aspergillus sydowii* and *Rhizopus* sp . using OSMAC Approach. *Jurnal Kelautan Tropis*, 26(3), 536–542. <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.14710/jkt.v26i3.20451>
- Javanmard, A. S., Matin, M. M., & Bahrami, A. R. (2023). Production of Cellulase Enzymes by *Rhizomucor miehei* Isolates in the Submerged Culture Containing Wheat Bran. *Iranian Journal of Science*, 47(4), 1039–1048.
- Kanj, A. N., Guiance, I. R., Kottom, T., Choudhury, M., Limper, A. H. A. R., & Skalski, J. H. (2023). Increased *Cladosporium* Relative Abundance In Lungs Of Patients With Asthma Is Linked To Poor Asthma Control. *CHEST Honolulu*, 164(4), A52. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2023.07.091>
- Kartika, I. N., & Ibrahim, M. (2021). Efek Manipulasi pH pada Aktivitas Enzim Selulase Bakteri *Bacillus subtilis* Strain FNCC 0059 dalam Mendegradasi Selulosa. *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 10(1), 51–57. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v10n1.p51-57>
- Kartikaningtyas, D., Setyaji, T., & Nirsatmanto, A. (2017). Volume Tegakan *Acacia mangium* Pada Uji Perolehan Genetik Dengan Kerapatan Tegakan Tinggi. *Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan*, 11(2), 113–122. <https://doi.org/10.20886/jpth.2017.11.2.113-122>
- Khikmah, N., & Haloho, S. (2021). Uji Antibakteri *Rhizopus* Sp . Asal Inokulum Tempe Terhadap *Vibrio Cholerae* *Antibacterial Test of Rhizopus sp . from*

Tempeh Inoculum Against Vibrio cholerae. Sciscitatio.2(2), 82–89.

- Khoirunnisa, S. A., & Sjamsuridzal, W. (2020). *Carboxymethyl cellulose (CMC)-degrading ability of Rhizopus azygosporus UICC 539 at various temperatures. 050024(Cmc), Research Article.1–7.*
- Krishaditersanto, R. (2018). Degradasi komponen serat serbuk gergaji hasil biokonversi jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*) dengan level urea berbeda. *Jurnal Ilmu-Ilmu Peternakan, 28(2)*, 175. [https://doi.org/ 10. 21776 /ub. jiip. 2018.028.02.10.](https://doi.org/10.21776/ub.jiip.2018.028.02.10)
- Kurniawati, L., Kusdiyantini, E., & Wijanarka, W. (2021). Pengaruh Variasi Suhu Dan Waktu Inkubasi Terhadap Aktivitas Enzim Selulase Dari Bakteri *Serratia marcescens*. *Bioma : Berkala Ilmiah Biologi, 23(1)*, 33–42. [https://doi.org/ 10. 14710/bioma.23.1.33-42](https://doi.org/10.14710/bioma.23.1.33-42)
- Kusmana, C., & Yentiana, R. A. (2021). Laju Dekomposisi Serasah Daun *Shorea guiso* di Hutan Penelitian Dramaga, Bogor, Jawa Barat. *Journal of Tropical Silviculture, 12(3)*, 172–177. [https://doi.org/10.29244/j-siltrop.12.3.172-177.](https://doi.org/10.29244/j-siltrop.12.3.172-177)
- Li, S., Tang, B., & Xu, Z. (2015). Fermentation Optimization and Unstructured Kinetic Model for Cellulase Production by *Rhizopus stolonifer* var . reflexus TP-02 on Agriculture By-Products. *Appl Biochem Biotechnol.* [https://doi.org/10.1007/s12010-015-1839-0.](https://doi.org/10.1007/s12010-015-1839-0)
- Ling, O. M., Teen, L. P., Mujahid, A., Proksch, P., & Müller, M. (2016). Initial screening of *mangrove* endophytic fungi for antimicrobial compounds and heavy metal biosorption potential. *Sains Malaysiana, 45(7)*, 1063–1071.
- Madriya, Z. (2019). Potensi Antagonisme Jamur Endofit Daun Tanaman Kunyit (*Curcuma domestica* Val.) Untuk Menekan Pertumbuhan Jamur Penyebab Penyakit Bercak Daun (*Colletotrichum capsici*). *Universitas Brawijaya, 1–43.*
- Maftukhah, S. (2019). Produksi Enzim Selulase Menggunakan Metode Fermentasi Solid State Dari Limbah. *Jurnal Keilmuan Dan Aplikasi Teknik, 6(2)*, 22–27.
- Mahardika, W. A., Dion, R., Qoys Naufal, M. F., Ramadhany, W., & Lunggani, A. T. (2021). Isolasi dan Karakterisasi Kapang Filoplan serta Serasah Daun di Lingkungan Laboratorium Biologi Universitas Diponegoro Dengan Metode *Contact Plate*. *Bioma : Berkala Ilmiah Biologi, 23(1)*, 6–10. [https:// doi. org / 10.14710/bioma.23.1.6-10](https://doi.org/10.14710/bioma.23.1.6-10)
- Mali, M. I., Purnama, M. E., Mau, A. E., Program Studi Kehutanan, M., Pertanian, F., & Program Studi Kehutanan, D. (2021). Dekomposisi Serasah Daun Akasia (*Acacia auriculiformis*) di KHDTK Litbang Kehutanan Oelsonbai Kota Kupang) Decomposition of Acacia Leaf Litter (*Acacia auriculiformis*) at KHDTK Oelsonbai Forestry Research and Development Kupang City). *Jurnal Wana Lestari, 3(01)*, 93–101.
- Mokale Kognou, A. L., Chio, C., Khatiwada, J. R., Shrestha, S., Chen, X., Han, S., Li, H., Jiang, Z. H., Xu, C. C., & Qin, W. (2022). Characterization of

Cellulose-Degrading Bacteria Isolated from Soil and the Optimization of Their Culture Conditions for Cellulase Production. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 194(11), 5060–5082. <https://doi.org/10.1007/s12010-022-04002-7>

- Mukhtar, I., Ashraf, Khokhar, Huang, Q., Chen, B., & Xie, B. (2020). First Report of *Cladosporium* Blossom Blight Caused by *Cladosporium cladosporioides* on *Calliandra haematocephala* in China. *Diseases Caused by Fungi and Fungus-Like Organisms First*, 105(5). <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-20-1504-PDN.A>
- Nafiqoh, N., & Suryaningrum, L. H. (2020). Hidrolisis Ampas Tebu Menggunakan Enzim Selulase dari Bakteri *Bacillus subtilis* Dalam Upaya Pemanfaatannya Sebagai Bahan Pakan Ikan. *Balai Riset Perikanan Budidaya Air Tawar Dan Penyuluhan Perikanan (BRPBATPP)*, September, 428–435. <http://103.55.216.56/index.php/psb/article/view/16022>.
- Nuviani, E. P. I., Martosudiro, M., & Choliq, F. A. (2023). Pengaruh Beberapa Fungisida Terhadap *Alternaria solani* Penyebab Penyakit Bercak Kering Pada Tanaman Tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Di Lapangan. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan*, 11(2), 84–92. <https://doi.org/10.21776/ub.jurnalhpt.2023.011.2.4>.
- Pandey, A. K., & Negi, S. (2020). Enhanced cellulase recovery in SSF from *Rhizopus oryzae* SN5 and immobilization for multi - batch saccharification of carboxymethylcellulose. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 26, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101656>.
- Pratiwi, Y. H., Ratnayani, O., & Wirajana, I. N. (2018). Perbandingan Metode Uji Gula Pereduksi Dalam Penentuan Aktivitas Dengan Substrat Janur Kelapa (*Cocos Nucifera*). *Jurnal Kimia*, 134. <https://doi.org/10.24843/jchem.2018.v12.i02.p07>.
- Puliga, F., Zuffi, V., Baldo, D., Cavatorta, D., & Zambonelli, A. (2023). *Cladosporium cladosporioides* (strain Clc/1): a candidate for low-density polyethylene degradation. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 10(50), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s40538-023-00419-2>.
- Puspitasari, D., & Ibrahim, M. (2021). Optimasi Aktivitas Selulase Ekstraseluler Isolat Bakteri EG 2 Isolasi dari Bungkil Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* jacq.). *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 9(1), 42–50. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v9n1.p42-50>.
- Putri, D. M., Ristiani, L., & Hasanah, Q. (2023). Peran Enzim dalam Proses Metabolisme Menurut Al-Quran dan Hadist. *ISTISYFA : Journal of Islamic Guidance and Conseling*, 2(01), 194–206.
- Putri, M., & Poeni, S. (2020). Perbandingan Kandungan Selulosa dan Lignin dari Kayu *Acacia crassicarpa* dan *Acacia mangium*. *Journal Of Research On Chemistry And Engineering*, 1(1), 12–14.


- Qin, Y., Lu, H., Qi, X., Lin, M., & Gao, C. (2024). Recent Advances in Chemistry and Bioactivities of Secondary Metabolites from the Genus *Acremonium*. *Journal of Fungi*, 10(37), 1–19. <https://doi.org/10.3390/jof10010037>.
- Rathod, S. R. (2022). *Alternaria : Isolation and Identification from Different Plant Parts*. 7(12), 238–244.
- Ristiari, N. P. N., Julyasih, K. S. M., & Suryanti, I. A. P. (2018). Isolasi dan Identifikasi Jamur Mikroskopis Pada Rizofeora Tanaman Jeruk Siam (*Citrus nobilis* Lour.) di Kecamatan Kintamani, Bali. *Jurnal Pendidikan Biologi Undiksha*, 6(1), 10–19.
- Rohmah, F. H., H., & Setyaningsih, R. (2019). Optimasi produksi selulase dari fungi selulolitik *Thielaviopsis ethacetica* SLL10 yang diisolasi dari serasah daun salak (*Salacca edulis*) Optimization of cellulase production from cellulolytic fungi *Thielaviopsis ethacetica* SLL10 isolated from salak leaf l. *Universitas Sebelas Maret. Jl. Ir Sutami 36A Surakarta*, 5(2), 150–154. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m050202>
- Saputra, E. (2023). Kandungan Nutrisi Silase Daun Akasia Yang Difermentasi Menggunakan Urea, Feses Sapi, Dan Kombinasinya Sebagai Pakan Alternatif Ternak Ruminansia. In *Uin Suska Riau, Pekanbaru*.
- Saputra, E. A., Santri, A., Studi, P., Pengetahuan, I., Islam, U., Fatmawati, N., & Bengkulu, S. (2022). Peran enzim dalam metabolisme berdasarkan al - qur'an dan hadist. *Peran Enzim Dalam Metabolisme Berdasarkan Al -Qur'an Dan Hadist*, 1, 27–35.
- Siruwahni, Devi., R. (2023). Isolasi dan Aktivitas Bakteri Selulolitik pada limbah Diapers. *BIODUSAINS : Jurnal Pendidikan Biologi Dan Sains*, 6(2), 407–421.
- Siva, D., Srivethi, G., Vasan, P. T., Rajesh, D., Alfarhan, A., & Rajagopal, R. (2022). Enhanced cellulase enzyme production by *Aspergillus niger* using cellulase/iron oxide magnetic nano-composites. *Journal of King Saud University - Science*, 34(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101695>
- Solihin, A., Wawan, P., M. (2021). Eksplorasi Jamur Penyebab Penyakit Busuk Batang Pada Tanaman Buah Naga Merah (*Hylocereus polyrhizus*) Exploration Of Fungi Causing Stem Rot Disease In Dragon (*Hylocereus Polyrhizus*) 1 Program Studi Agroteknologi , Fakultas Pertanian , Universitas Negeri. *Seminar Nasional Politeknik Pertanian Negeri Pangkajene Kepulauan*, 352–360.
- Sukmawati, D., Dellanerra, D., & Risandi, A. (2018). Screening the capabilities of Indonesian indigenous mold in producing cellulase enzyme. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 434(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/434/1/012125>
- Sumerta, N., dan Atit, K. (2016). *Keaneragaman Khamir Yang Diisolasi Dari*

Sumber Daya Alam Pulau Enggano, Bengkulu Dan Potensinya Sebagai Pendegradasi Selulosa. 15(3).

- Summerbell, R. C., Gueidan, C., Guarro, J., Eskalen, A., Crous, P. W., Gupta, A. K., Gen, J., Cano-lira, J. F., Iperen, A. Van, & Starink, M. (2018). The Protean *Acremonium . A . sclerotigenum / egyptiacum* : Revision , Food Contaminant , and Human Disease. *Microorganisms*, 6(88), 1–21. <https://doi.org/10.3390/microorganisms6030088>
- Sutari, N. W. S. (2020). Isolasi dan Identifikasi Morfologi Jamur Selulolitik dari Limbah Rumah Tangga di Desa Sanur Kauh, Bali. *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*, 13(2), 100–105. <https://doi.org/10.21107/agrovigor.v13i2.7443>
- Talantan, V. M., Lambui, O., & Suwastika, I. N. (2018). Uji Aktivitas Selulase Dari Jamur Selulolitik Asal Tanah Danau Kalimpa ' a Sulawesi Tengah *Cellulase Activity Of Cellulolytic Fungi On Soil From Lake Kalimpa ' a Central Sulawesi. 7(3)*, 323–333. <https://doi.org/ISSN-p:2338-0950> ISSN-e: 2541-1969.
- Tong, S., Peng, L., & Wu, Y. (2023). new members of *Acremonium* (*Hypocreales* , *Sordariomycetes*) isolated from the rhizosphere soil of *Capsicum annuum*. *MycKeys*, 95, 1–13. <https://doi.org/10.3897/mycokeys.95.97062>.
- Utami, A. P., Setyaningsih, R., Pangastuti, A., & Lusi, S. S. A. (2019). Optimasi Produksi Enzim Selulase Dari Jamur *Penicillium* sp. SLL06 yang Diisolasi Dari Serasah Daun Salak (*Salacca edulis*). *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon*, 5(2), 145–149. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m050201>.
- Vernanda Saputri, N. (2024). Optimasi Produksi Selulase dari Kapang Selulolitik yang Diisolasi dari Serasah Daun Optimization of Cellulase Production of Cellulolytic Carnage Isolated from Leaf Litter. *BIOMA: Jurnal Biologi Dan Pembelajaran Biologi*, 9(1), 1–12. <https://doi.org/10.32528/bioma.v9i1.1369>
- Wahyudiati, D. (2017). Buku Biokimia. In *LEPPIM Mataram*.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Keterangan Penetapan Bimbingan



SURAT KEPUTUSAN DEKAN FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI UIN AR-RANIRY BANDA ACEH
Nomor: B-271/Un.08/FST/KP.07.5/05/2024

TENTANG

**PENETAPAN PEMBIMBING SKRIPSI MAHASISWA PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI UIN AR-RANIRY BANDA ACEH**

DEKAN FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI UIN AR-RANIRY BANDA ACEH

Menimbang : a. bahwa untuk kelancaran bimbingan skripsi mahasiswa Prodi Biologi pada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry, maka dipandang perlu menunjuk pembimbing dimaksud;
b. bahwa yang namanya tersebut dalam Surat Keputusan ini dianggap cakap dan mampu untuk ditetapkan sebagai pembimbing skripsi mahasiswa.

Mengingat : 1. Undang-undang Nomor 20 Tahun 2003, tentang Sistem Pendidikan Nasional;
2. Undang-undang Nomor 12 Tahun 2012, tentang Pendidikan Tinggi;
3. Peraturan Pemerintah Nomor 19 Tahun 2005 tentang Standar Nasional Pendidikan;
4. Peraturan Pemerintah Nomor 4 Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Pendidikan Tinggi dan Pengelolaan Perguruan Tinggi;
5. Peraturan Presiden RI Nomor 64 Tahun 2013 Tentang Perubahan Institut Agama Islam Negeri Ar- Raniry Banda Aceh menjadi Universitas Islam Negeri Ar- Raniry Banda Aceh;
6. Peraturan Menteri Agama RI Nomor 12 Tahun 2014, tentang Organisasi dan Tata Kerja UIN Ar-Raniry Banda Aceh;
7. Keputusan Menteri Agama Nomor 12 Tahun 2020 Tentang Statuta UIN Ar- Raniry Banda Aceh;
8. Keputusan Rektor UIN Ar- Raniry Nomor 01 Tahun 2015 Tentang Pemberian Kuasa dan Pendelegasian Wewenang Kepada Para Dekan dan Direktur Program Pascasarjana dalam Lingkungan UIN Ar- Raniry Banda Aceh;
9. Keputusan Rektor UIN Ar- Raniry Banda Aceh Nomor 48 Tahun 2022 Tentang Satuan Biaya Lainnya Tahun Anggaran 2023 di Lingkungan UIN Ar- Raniry Banda Aceh;



Memperhatikan : Keputusan Seminar Proposal Skripsi Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh tanggal 20 Desember 2023.

MEMUTUSKAN

Menetapkan :
Kesatu : Menunjuk Saudara:
I. Diannita Harahap, M. Si Sebagai Pembimbing I

Untuk membimbing Skripsi:
Nama : Nawalusy Syifa
NIM : 190703008
Prodi : Biologi
Judul Skripsi : Optimasi Produksi Enzim Selulase dari Serasah *Acasia mangium* Willd. Oleh Fungi Selulolitik

Kedua : Surat Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan sampai dengan akhir Semester Ganjil Tahun Akademik 2023/2024 dengan ketentuan bahwa segala sesuatu akan diubah dan diperbaiki kembali sebagaimana mestinya, apabila kemudian hari ternyata terdapat kekeliruan dalam penetapan ini.


Ditetapkan di Banda Aceh
Pada Tanggal 21 Mei 2024
Dekan

Muhammad Dirhamyah

Tembusan:
1. Rektor UIN Ar-Raniry di Banda Aceh,
2. Ketua Prodi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry,
3. Pembimbing yang bersangkutan untuk diteliti dan dilaksanakan,
4. Yang bersangkutan

Lampiran 2. Surat Izin Penelitian



**KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

Jl. Syekh Abdur Rauf Kopelma Darussalam Banda Aceh
Telepon : [0651- 7557321](tel:0651-7557321), Email : uin@ar-raniry.ac.id

Nomor : B-1184/Un.08/FST-I/PP.00.9/07/2024
Lamp : -
Hal : *Penelitian Ilmiah Mahasiswa*

Kepada Yth,
Kepala Laboratorium
Assalamu'alaikum Wr.Wb.
Pimpinan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry dengan ini menerangkan bahwa:

Nama/NIM : **NAWALUSY SYIFA / 190703008**
Semester/Jurusan : X / Biologi
Alamat sekarang : Rukoh

Saudara yang tersebut namanya diatas benar mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi bermaksud melakukan penelitian ilmiah di lembaga yang Bapak/Ibu pimpin dalam rangka penulisan Skripsi dengan judul *Optimasi Produksi Enzim Selulase Dari Serasah Acasia mangium Willd. Oleh Fungi Selulolitik*

Demikian surat ini kami sampaikan atas perhatian dan kerjasama yang baik, kami mengucapkan terimakasih.

Banda Aceh, 25 Juli 2024
an. Dekan
Wakil Dekan Bidang Akademik dan
Kelembagaan,



Yusran, S.Pd., M.Pd.

Berlaku sampai : 30 Agustus
2024

Lampiran 3. Surat Selesai Laboratorium



LABORATORIUM BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
Jl. Syekh Abdul Rauf Kopelma Darussalam, Banda Aceh
Web: www.biologi.fst.ar-raniry.ac.id, Email: biolab.arraniry@gmail.com



SURAT KETERANGAN BEBAS LABORATORIUM

No: B-24/Un.08/Lab.Bio-FST/PP.00.9/08/2024

Laboratorium Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh dengan ini menerangkan bahwa:

Nama : Nawalusy Syifa
NIM : 190703008
Program Studi : S1-Biologi
Fakultas : Fakultas Sains dan Teknologi
Perguruang Tinggi : Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh
Alamat : Rukoh

Benar yang namanya tersebut diatas adalah mahasiswa biologi yang melakukan penelitian dan menggunakan fasilitas Laboratorium Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh dan telah menyelesaikan kewajiban atas penggunaan fasilitas (alat dan bahan) laboratorium dalam rangka melaksanakan penelitian skripsi di Laboratorium Mikrobiologi dengan topik :

"Optimasi Produksi Enzim Selulase dari Serasah *Acasia mangium* Willd. oleh Fungi Selulolitik"

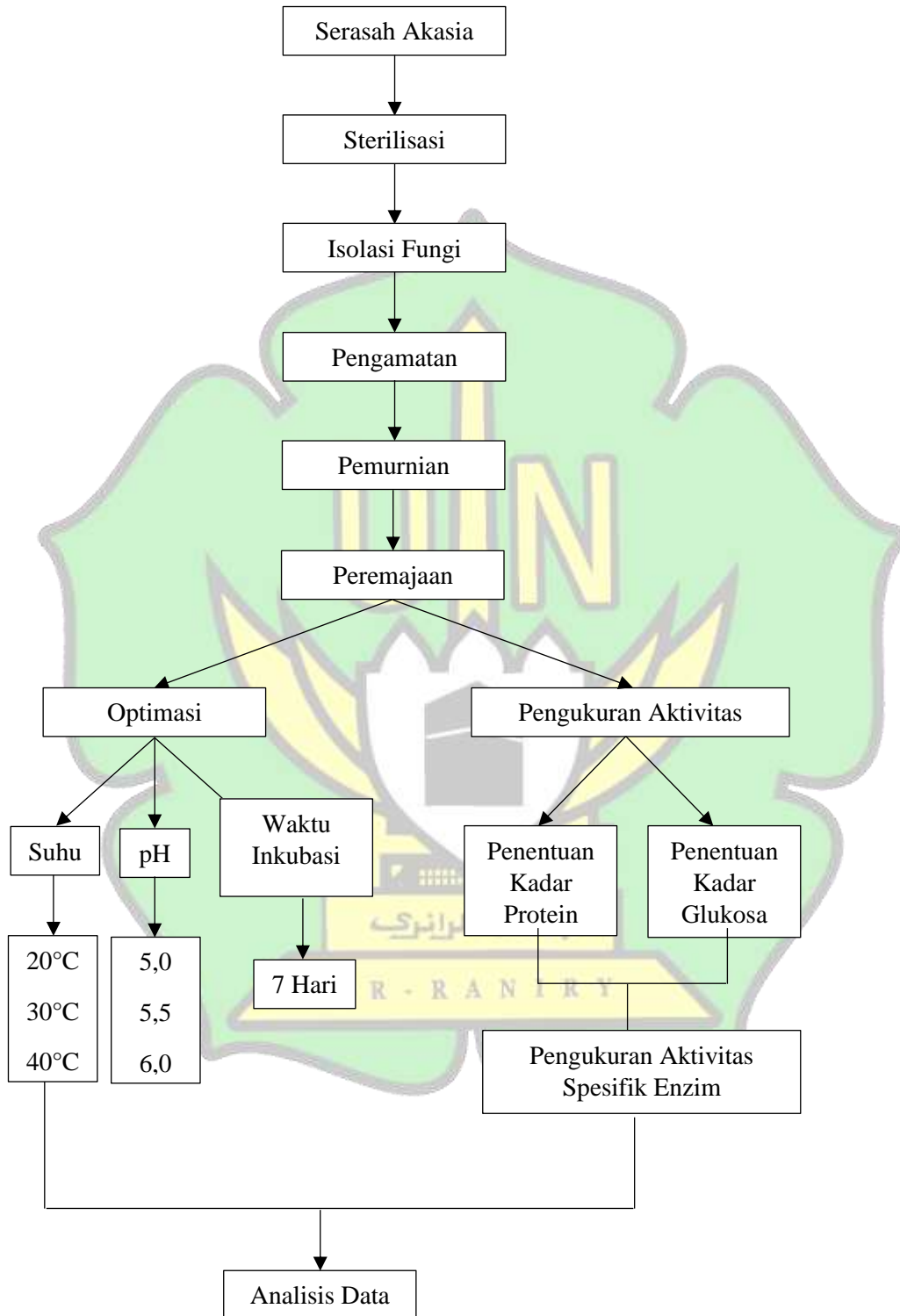
Jangka waktu : 01 Juni s.d 30 Juli 2024

Demikian surat keterangan ini dibuat, agar dapat digunakan semestinya.

Banda Aceh, 01 Agustus 2024
Laboran Biologi

Firmah Rija Arhas, S.Pd.I, M.Si

Lampiran 4. Skema Kerja (diagram alir)



Lampiran 5. Dokumentasi Kegiatan



Pengambilan sampel serasah akasia (*Acacia mangium* wild.)



Pengukuran Intensitas Cahaya



Pengukuran pH Tanah



Pengukuran suhu.



Sterilisasi sampel serasah daun untuk diisolasi.



Isolasi Fungi selulolitik Akasia (*Acacia mangium* wild.)



Pemurnian fungi Selulolitik Akasia (*Acacia mangium* wild.)










Membuat apusan sampel Fungi Selulolitik yang akan diidentifikasi.



Sampel Fungi Selulolitik yang akan diidentifikasi.

		
<p>Pengukuran diameter koloni sampel isolasi awal</p>	<p>Penyiapan media PDB untuk pengamatan pertumbuhan Fungi dan waktu inkubasi.</p>	<p>Isolat fungi yang ditambahkan ke dalam media PDB untuk pengamatan pertumbuhan fungi dan waktu inkubasi</p>
		
<p>Sampel untuk pengamatan pertumbuhan Fungi dan waktu inkubasi.</p>	<p>Sampel dishaker dengan suhu 30 °C dan kecepatan 120 rpm</p>	<p>Proses pengamatan pertumbuhan fungi dan waktu inkubasi</p>
		
<p>Sampel yang akan sentrifus</p>	<p>Sampel di sentrifus</p>	<p>Proses penyaringan sampel menggunakan kertas saring</p>

 <p>Proses pengovenan biomassa sel kering</p>	 <p>Penimbangan biomassa sel kering</p>	 <p>Proses penambahan fungsi dalam media PDB untuk uji penentuan suhu dan pH optimum produksi enzim</p>
 <p>Media PDB yang akan di inkubasi dengan suhu yang berbeda</p>	 <p>Media PDB yang telah dimodifikasi pH</p>	 <p>Proses penetesan Congo red untuk uji indeks selulolitik</p>
 <p>Proses penambahan Reagen DNS untuk uji glukosa</p>	 <p>Larutan glukosa + Reagen DNS setelah di panaskan dalam air mendidih</p>	 <p>Proses penambahan buffer natrium sitrat untuk uji aktivitas enzim Selulase</p>



Uji aktivitas enzim
Selulase FS1 dan FS2



Ekstrak kasar enzim
selulase FS1 dan FS2



Uji protein

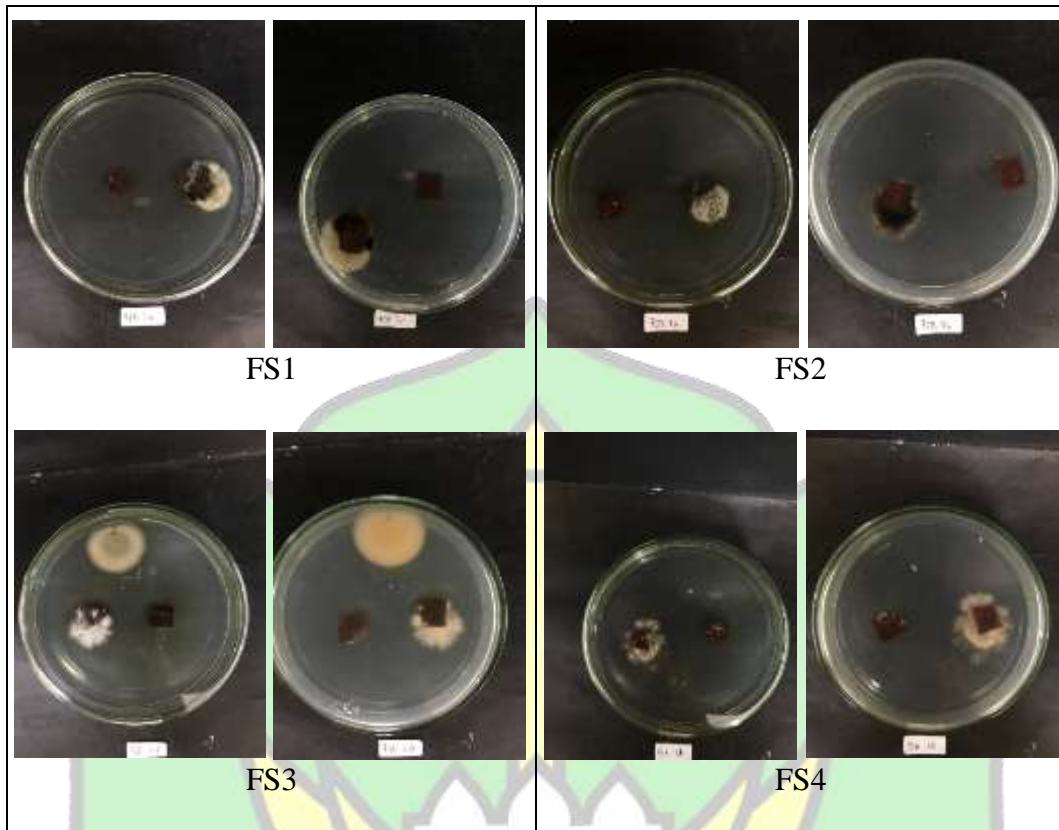


Uji protein dan sampel
ekstrak kasar enzim FS1
dan FS2



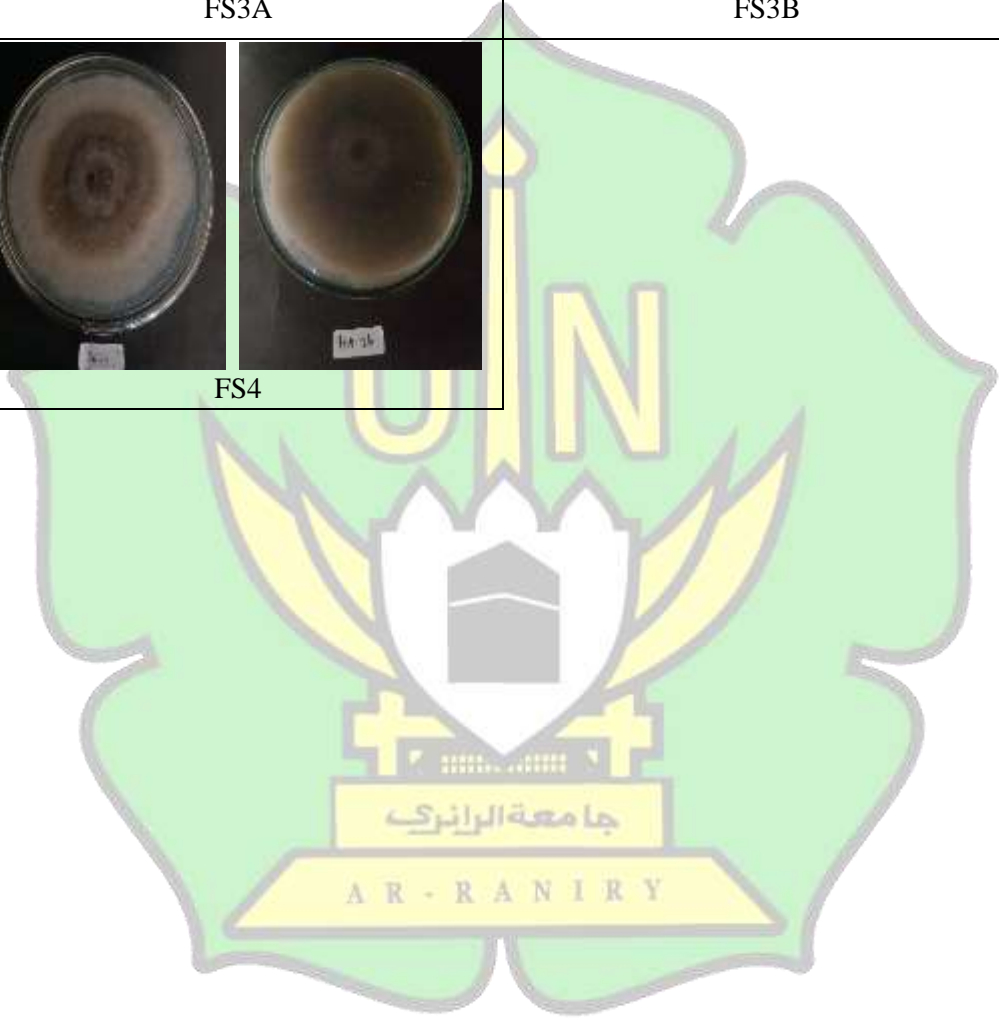
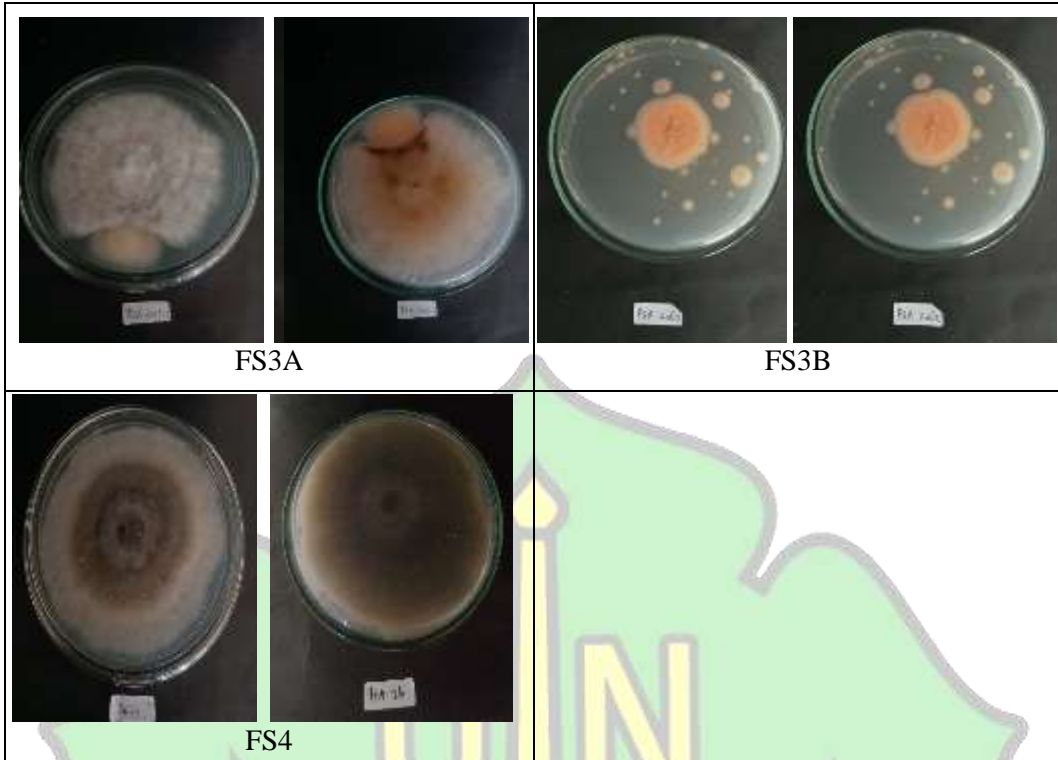
Pengecekan nilai
absorbansi menggunakan
spektro UV-Vis

Gambar Hasil Isolasi Awal Fungi Selulolitik Akasia

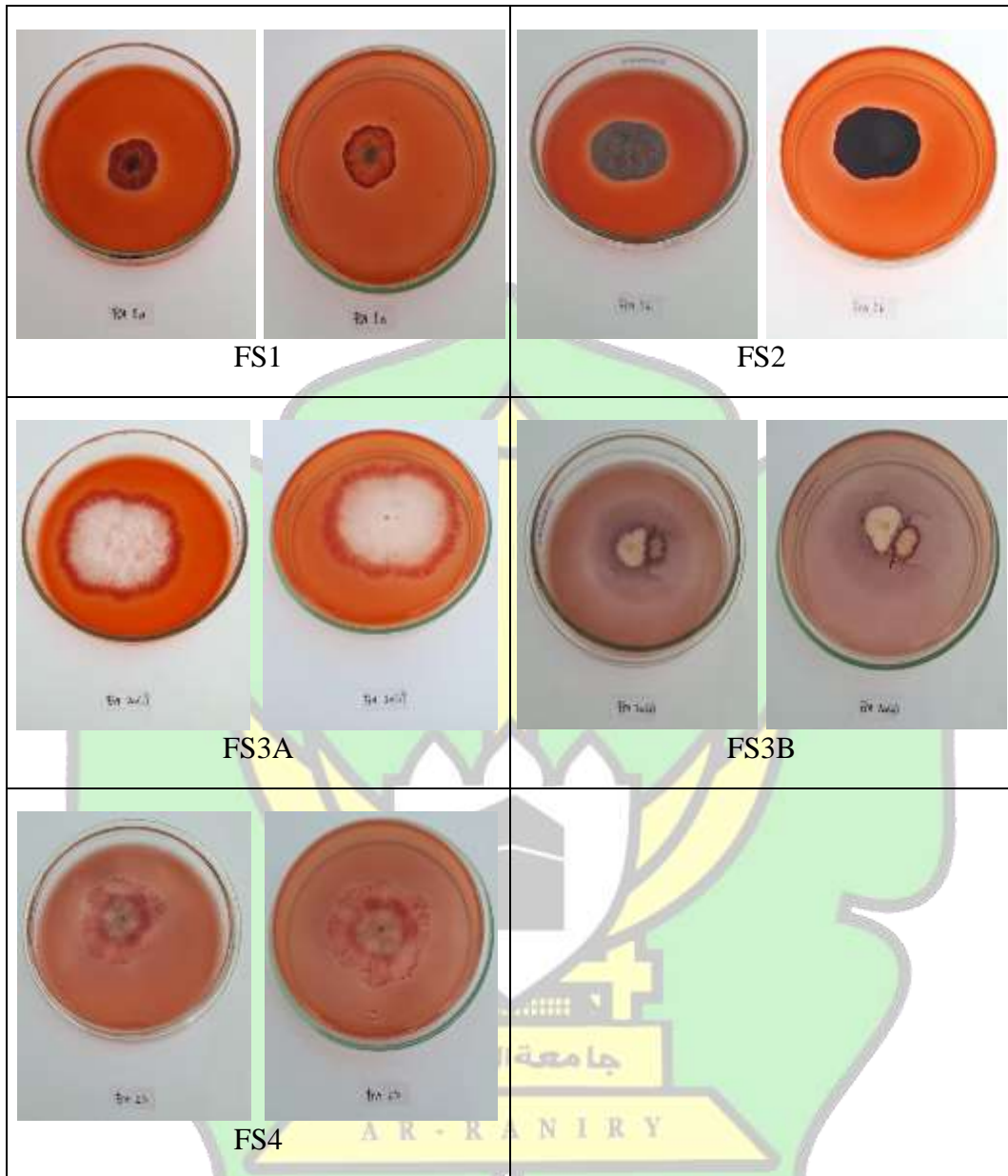


Gambar Hasil Pemurnian Fungi Selulolitik Akasia





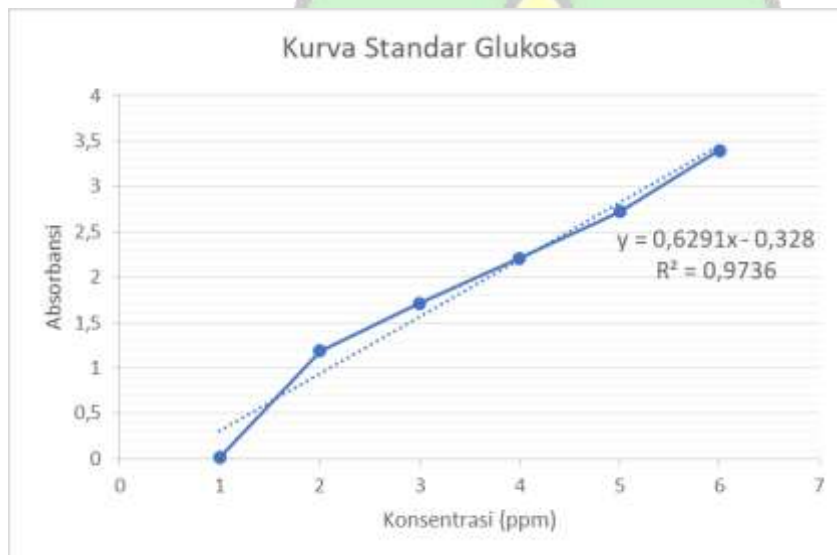
Gambar Hasil Indeks Selulolitik



Lampiran 6. Rumus Perhitungan

a. Perhitungan Larutan Stok Glukosa

Konsentrasi Glukosa	Absorbansi
kontrol	0,0107
200 ppm	1,1901
400 ppm	1,7132
600 ppm	2,2107
800 ppm	2,7236
1.000 ppm	3,3949



Setelah diperoleh kurva standar glukosa, persamaan garis $y = ax + b$ digunakan untuk mengetahui konsentrasi glukosa (x) dari sampel yang akan diukur absorbansinya. Hasil kurva standar glukosa memiliki persamaan linear $y = 0,6291x - 0,328$ dengan nilai korelasi (R^2) sebesar 0,9736. Persamaan ini digunakan untuk mengetahui konsentrasi glukosa pada sampel yang diuji.

b. Perhitungan Glukosa dan Aktivitas Enzim

Kadar Glukosa Isolat FS1

Hari ke -	Nilai Absorbansi
1	1,6526
2	1,0713
3	1,2312
4	2,3642
5	2,6865

Kadar Glukosa Isolat FS2

Hari ke -	Nilai Absorbansi
1	1,6259
2	1,4244
3	1,8074
4	1,9283
5	3,0819

Perhitungan Aktivitas Enzim Isolat FS1 dan FS2

FS1

$$y = ax + b$$

$$2,6865 = 0,6291x + (-0,328)$$

$$2,6865 + 0,328 = 0,6291x$$

$$3,0145 = 0,6291x$$

$$0,6291x = 3,0145$$

$$x = \frac{3,0145}{0,6291}$$

$$x = 4,7917$$

$$AE = \frac{C}{BM \text{ glukosa} \times t} \times \frac{H}{E}$$

$$AE = \frac{4,4791}{180 \times 10} \times \frac{5}{0,5}$$

$$AE = \frac{23,95}{900}$$

$$AE = 0,0266$$

$$AE = 2,66 \times 10^{-2} \times 10$$

$$AE = 2,66 \times 10^{-1}$$

$$AE = 0,266 \text{ U/mL}$$

FSA 1b

$$y = ax + b$$

$$3,0819 = 0,6291x + (-0,328)$$

$$3,0819 + 0,328 = 0,6291x$$

$$3,4099 = 0,6291x$$

$$0,6291x = 3,4099$$

$$x = \frac{3,4099}{0,6291}$$

$$x = 5,4202$$

$$AE = \frac{C}{BM \text{ glukosa} \times t} \times \frac{H}{E}$$

$$AE = \frac{5,4202}{180 \times 10} \times \frac{5}{0,5}$$

$$AE = \frac{27,101}{900}$$

$$AE = 0,0301$$

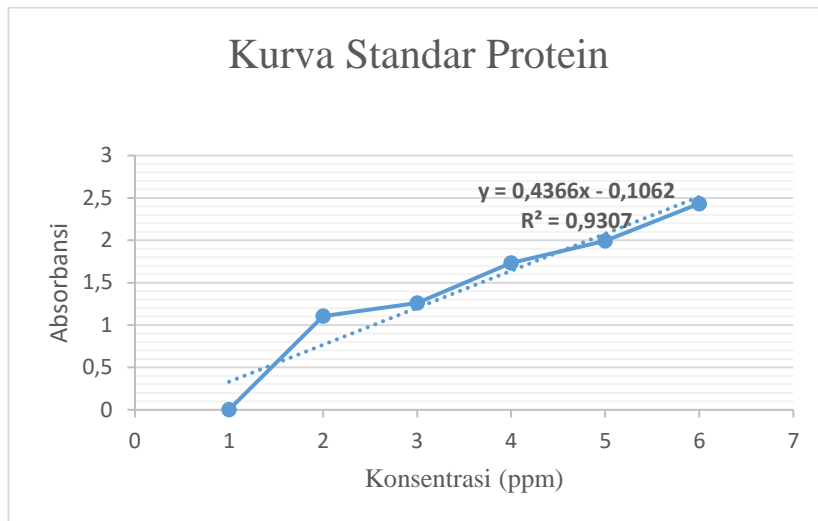
$$AE = 3,01 \times 10^{-2} \times 10$$

$$AE = 3,01 \times 10^{-1}$$

$$AE = 0,301 \text{ U/mL}$$

c. Perhitungan Larutan Stok Protein

No	Konsentrasi Protein	Absorbansi
1	kontrol	0,0028
2	0,2	1,1064
3	0,4	1,2622
4	0,6	1,7341
5	0,8	1,9926
6	1	2,4328



Hasil uji standar protein memiliki persamaan linear $y = 0,4366x - 0,1062$. dengan nilai korelasi (R^2) sebesar 0,9307.

d. Perhitungan Protein dan Spesifik Enzim

Kadar Protein Isolat FS1

Hari ke -	Nilai Absorbansi
1	3,2182
2	2,7662
3	3,1545
4	3,5457
5	4,0920

Kadar Protein Isolat FS2

Hari ke -	Nilai Absorbansi
1	3,0402
2	3,1279
3	3,1020
4	3,8130
5	4,3185

Perhitungan Spesifik Enzim Isolat FS1 dan FS2

FS1

$$AS = \frac{AE}{K}$$

$$AS = \frac{0,266 \text{ U/mL}}{4,0920}$$

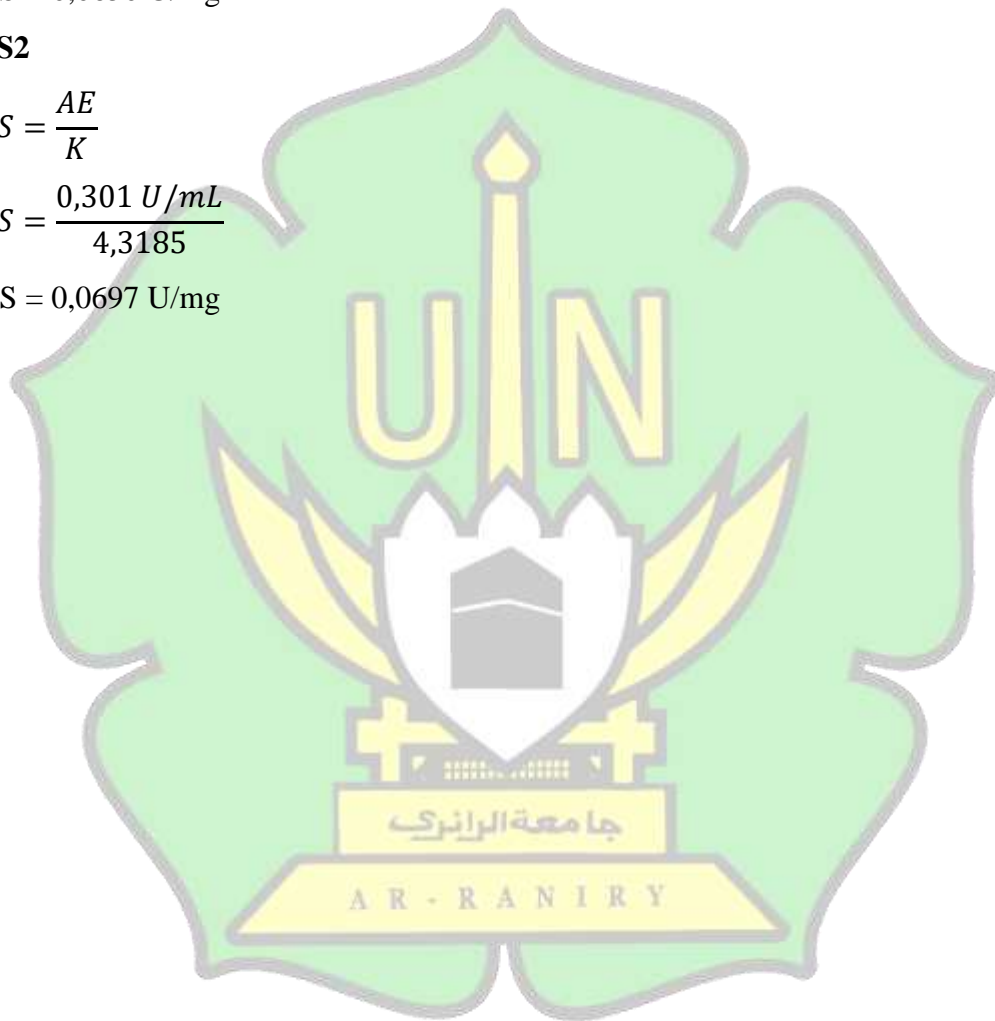
$$AS = 0,0650 \text{ U/mg}$$

FS2

$$AS = \frac{AE}{K}$$

$$AS = \frac{0,301 \text{ U/mL}}{4,3185}$$

$$AS = 0,0697 \text{ U/mg}$$



Lampiran 7. Daftar Harga Alat dan Bahan Penelitian

No	Alat dan Bahan penelitian	Jumlah	Harga Unit	Total Harga
1.	Media PDA	30 gr	Rp 4.000	Rp 120.000
2.	Akuades	10 Liter	Rp 4.000	Rp 40.000
3.	DNS (<i>Di Nitro Salisilic Acid</i>)	50 ml	Rp 125.000	Rp 125.000
4.	Cawan Petri	20 buah	Rp 3.000	Rp 60.000
5.	Sarung Tangan	1 pacs	Rp 50.000	Rp 50.000
6.	Tisu	1 pacs	Rp. 10.000	Rp. 10.000
7.	Plastik Wrap	1 pacs	Rp 20.000	Rp 20.000
8.	Kertas Label	1 pacs	Rp 12.000	Rp 12.000
9.	Masker	1 pacs	Rp 30.000	Rp 30.000
10.	Minyak spiritus	1 Liter	Rp 46.000	Rp 46.000
11.	korek	1 buah	Rp. 2.000	Rp. 2.000
12.	Bunsen	1 buah	Rp 30.000	Rp 30.000
13.	Alkohol 95%	2 liter	Rp 45.000	Rp 90.000
14.	Botol semprot 500 ml	1 buah	Rp 25.000	Rp 25.000
15.	Media BSA	10 gr	Rp 66.000	Rp 66.000
16.	Media PDB	100 ml	Rp 120.000	Rp 120.000
17.	<i>Buffer Natrium Sitrat</i>	50 ml	Rp 55.000	Rp 55.000
18.	Kapas	1 pacs	Rp 20.000	Rp 20.000
19.	<i>Aluminium foil</i>	1 buah	Rp 30.000	Rp 30.000
20.	Reagen <i>Bradford</i>	15 ml	Rp. 70.000	Rp. 70.000
		Jumlah		Rp 1.021.000

