

**PRODUKSI ENZIM LIGNOSELULOLITIK DARI JAMUR TIRAM
PUTIH (*Pleurotus ostreatus*) MENGGUNAKAN SUBSTRAT
BONGGOL JAGUNG**

TESIS

**Diajukan Sebagai Syarat Untuk Memperoleh Gelar Magister Bidang
Studi Kimia**



MAFTUH GOZALI

08092682327006

**PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2025

HALAMAN PENGESAHAN

**PRODUKSI ENZIM LIGNOSELULOLITIK DARI JAMUR TIRAM PUTIH
(*Pleurotus ostreatus*) MENGGUNAKAN SUBSTRAT BONGGOL JAGUNG**

TESIS

**Diajukan Untuk Memenuhi salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Magister Kimia**

Oleh :

Maftuh Gozali

08092682327006

Pembimbing I

Pembimbing II



Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D.

NIP. 197111191997021001

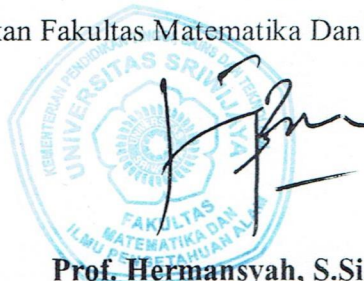


Prof. Dr. Poedji Loekitowati Harianj, M.Si.

NIP. 196808271994022001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D.

NIP. 197111191997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Tesis dengan judul “Produksi Enzim Lignoselulolitik Dari Jamur Tiram Putih (*Pleurotus Ostreatus*) Menggunakan Substrat Bonggol Jagung” telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji siding Tesis Program Studi Magister Kimia Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya Pada tanggal 24 April 2025 dan telah diperiksa, diperbaiki dan disetujui dengan saran dan masukan yang diberikan.

Palembang, 28 April 2025

Pembimbing:

1. Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D. (

NIP. 197111191997021001

2. Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si. (

NIP. 196808271994022001

Penguji:

1. Prof. Dr. Miksusanti, M.Si. (

NIP. 196807231994032003

2. Dr. Nurlisa Hidayati, M.Si. (

NIP. 197211092000032001

Mengetahui,

Dekan



Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D.

NIP. 197111191997021001

Koordinator Program Studi



Dr. Ferlinahayati, M.Si

NIP. 197402052000032001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Maftuh Gozali

NIM : 08092682327006

Program Studi/BKU : Magister (S2) Kimia / Kimia Hayati

Menyatakan bahwa tesis yang berjudul **“Produksi Enzim Lignoselulolitik Dari Jamur Tiram Putih (*Pleurotus ostreatus*) Menggunakan Substrat Bonggol Jagung”** ini adalah benar karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar magister (S2) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain.

Semua informasi yang dimuat dalam tesis ini yang berasal dari penulis lain baik yang dipublikasikan maupun tidak, telah diberikan penghargaan dengan mengutip sumber penulis secara benar. Semua isi dari tesis ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Palembang, 28 April 2025

Yang menyatakan,



Maftuh Gozali

NIM.08092682327006

**HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH
UNTUK KEPERLUAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Maftuh Gozali
NIM : 08092682327006
Prodi/ BKU : Magister (S2) Kimia/ Kimia Hayati
Jenis karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya hak bebas royalty non-eksklusif (*nonexclusively royalty- free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul **“Produksi Enzim Lignoselulolitik Dari Jamur Tiram Putih (*Pleurotus ostreatus*) Menggunakan Substrat Bonggol Jagung”** dengan hak bebas royalty non-eksklusive ini Universitas sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir atau tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Palembang, 28 April 2025

Yang menyatakan,



Maftuh Gozali

NIM.08092682327006

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim....

Syukur alhamdulillah penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan petunjuk, kemudahan, serta kelancaran dalam menyelesaikan tesis ini yang berjudul “Produksi Enzim Lignoselulolitik Dari Jamur Tiram Putih (*Pleurotus ostreatus*) Menggunakan Substrat Bonggol Jagung” dengan segala kerendahan hati, tesis ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orang tuaku tersayang Mama Ali Arta dan Ema Sunengsih, Terima kasih selalu senantiasa hadir dalam memberikan doa dukungan selama ini. Terima kasih banyak atas semua ketulusan kasih sayang yang telah diberikan selama ini, semoga sehat selalu, Amin...
2. Kakak-kakaku tercinta Ang Nani Rohani, Ang Eti Rohaeti, Ang Nur'aeni dan Ang Iis Lutfiah, A.Md.Keb., terima kasih selalu memberikan semangat dan doa sehingga saya bisa menyelesaikan tesis ini;
3. Dosen pembimbing sekaligus Dekan FMIPA, Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D. Terima kasih atas motivasi, bimbingan dan arahan yang diberikan selama proses perkuliahan dan pembuatan tesis ini;
4. Dosen pembimbing saya, Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si. Terima kasih atas motivasi, bimbingan dan arahan yang diberikan selama proses perkuliahan dan pembuatan tesis ini;
5. Dosen pembahas saya, Prof. Dr. Miksusanti, M.Si. dan Dr. Nurlisa Hidayati, M.Si. Terima kasih atas arahan dan bimbingan ibu kepada kami untuk terus belajar dan menjadi lebih baik;
6. Dosen magister (S2) kimia, terima kasih atas peran besarnya dalam memberikan ilmu yang bermanfaat dan semoga selalu diberikan kesehatan, Amin...
7. Kepada yang tersayang, Adinda Siti Khoiriyah, S.Sos., Terima kasih telah menjadi cahaya yang menerangi setiap langkah penelitian ini; kehadiranmu selalu menguatkan, cintamu membangkitkan semangat, dan kesabaranmu menuntunku melewati setiap tantangan.

8. Sahabat-sahabatku dari Kimia Hayati: Daniel Alfarado, S.Si (Suhu), Muhammad Evan, S.Pd. (Jomblo berkelas), Miftahul Jannah, S.Pd., Yunia Arum Hariyanti, S.Pd., dan Restri Diah Carissa, S.Si.
9. Teman-teman kimia : Rianda Marta Derci, S.Pd.Gr., Yollanda Nurcholifah, S.Si., Gierrald Abduch, S.Pd., Dwilia Julia, S.Pd., dan Novia Widia Ningsih, S.Si.
10. Seluruh Keluarga besar Bani Arta yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu. Terimakasih telah menjadi keluarga, teman sekaligus sahabat yang selalu mendukung proses pembuatan tesis ini;
11. Keluarga besar SMA Negeri 3 Palembang, terkhusus kepada para guru-guru dan siswa/siswi yang senantiasa memberikan dukungan dalam pembuatan tesis ini;
12. Sebagai penutup, izinkan saya menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang tulus kepada almamater tercinta, Universitas Sriwijaya. Kampus ini telah menjadi benteng ilmu dan karakter, membimbing saya menapaki setiap tantangan akademik dengan semangat kebersamaan dan integritas. Semoga nilai-nilai luhur dan ikatan kebangsaan yang diwariskan oleh Universitas Sriwijaya senantiasa menjadi pijakan kokoh bagi setiap alumninya untuk berkarya dan memberi manfaat bagi nusa, bangsa, serta umat manusia.

SUMMARY

LIGNOCELLULOLYTIC ENZYME PRODUCTION FROM WHITE OYSTER MUSHROOM (*Pleurotus ostreatus*) USING CORN COB SUBSTRATE

Maftuh Gozali : supervised by Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D dan Prof.Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si.

Master of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University.

xiii + 113 pages, 16 pictures, tables 21, 7 attachments.

This study discusses the study of environmentally friendly lignocellulolytic enzyme production to utilize agricultural waste into high-value products. Lignocellulolytic enzymes, manganese peroxidase (MnP), such as laccase, and cellulase, have wide applications in the biofuel, waste treatment, and textile industries. *Pleurotus ostreatus* was chosen as an enzyme producer because of its ability to degrade lignocellulose efficiently. Corn cob (BJ) and rice bran (DP) substrates were used because of their abundant availability and lignocellulose composition that supports enzyme production. This study aims to optimize the production of lignocellulolytic enzymes through, specific activity testing and optimization with the RSM approach using CCD design. The optimized parameters include substrate concentration, temperature, and reaction time.

The study began with the preparation of materials and inoculum, the creation of fungal growth curves, enzyme extraction and fractionation using ammonium sulfate, enzyme activity testing and determination of protein content using the lowry method and SDS-PAGE to estimate protein size.

The results showed the highest enzyme activity in the 0–20% ammonium sulfate precipitation fraction, with MnP activity of 21.19 ± 0.21 U/mL with a specific activity of 119.18 ± 0.15 U/mg, laccase 13.70 ± 0.05 U/mL with a specific activity of 76.25 ± 0.09 U/mg, and cellulase 2446.62 ± 0.68 U/mL with a specific activity of 13729.49 ± 1.4 U/mg. SDS-PAGE analysis revealed the molecular weight of MnP around 40–45 kDa, laccase 30–35 kDa, and cellulase 50–55 kDa, in accordance with the characteristics of previously reported lignocellulolytic enzymes.

The optimal conditions of the MnP enzyme, namely in the RSM analysis revealed that the optimal conditions were MnSO_4 concentration of 1.12 mM, incubation temperature of 27.79°C, and reaction time of 27 minutes, which produced a predicted MnP activity of 17.4 U/mL, ABTS laccase enzyme concentration of 0.05 mM, incubation temperature of 22.21°C, and reaction time of 28.64 minutes, predicted laccase activity of 13.99 U/mL, CMC content of 1%, incubation temperature of 55°C, and reaction time of 30 minutes, which produced a predicted cellulase activity of 6.64×10^2 U/mL.

Keywords: *Pleurotus ostreatus*, Lignocellulolytic, Enzyme, RSM, SDS-PAGE.

RINGKASAN

PRODUKSI ENZIM LIGNOSELULOLITIK DARI JAMUR TIRAM PUTIH (*Pleurotus ostreatus*) MENGGUNAKAN SUBSTRAT BONGGOL JAGUNG

Maftuh Gozali : dibimbing oleh Prof. Hermansyah, S.Si, M.Si, Ph.D dan Prof.Dr. Poedji
Loekitowati Hariani, M.Si.

Program Studi Magister Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Sriwijaya.

xiii + 113 halaman, 16 gambar, tabel 21, 7 lampiran.

Penelitian ini membahas tentang studi produksi enzim lignoselulolitik yang ramah lingkungan untuk memanfaatkan limbah pertanian menjadi produk bernilai tinggi. Enzim lignoselulolitik, mangan peroksidase (MnP), seperti lakase, dan selulase, memiliki aplikasi yang luas dalam industri biofuel, pengolahan limbah, dan tekstil. *Pleurotus ostreatus* dipilih sebagai penghasil enzim karena kemampuannya dalam mendegradasi lignoselulosa secara efisien. Substrat bonggol jagung (BJ) dan dedak padi (DP) digunakan karena ketersediaannya yang melimpah dan komposisi lignoselulosa yang mendukung produksi enzim. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan produksi enzim lignoselulolitik melalui, uji aktivitas spesifik dan optimasi dengan pendekatan RSM menggunakan desain CCD. Parameter yang dioptimasi meliputi konsentrasi substrat, suhu, dan waktu reaksi.

Penelitian diawali dengan persiapan bahan dan Inokulum, pembuatan kurva pertumbuhan jamur, ekstraksi dan fraksinasi Enzim menggunakan amonium sulfat, pengujian aktivitas enzim dan penentuan kadar protein dengan metode lowry dan SDS-PAGE untuk memperkirakan ukuran protein.

Hasil menunjukkan aktivitas enzim tertinggi pada fraksi 0–20% presipitasi amonium sulfat, dengan aktivitas MnP sebesar $21,19 \pm 0,21$ U/mL dengan aktivitas spesifik sebesar $119,18 \pm 0,15$ U/mg, lakase $13,70 \pm 0,05$ U/mL aktivitas spesifik sebesar $76,25 \pm 0,09$ U/mg, dan selulase $2446,62 \pm 0,68$ U/mL aktivitas spesifik sebesar $13729,49 \pm 1,4$ U/mg. Analisis SDS-PAGE mengungkapkan berat molekul MnP sekitar 40–45 kDa, lakase 30–35 kDa, dan selulase 50–55 kDa, sesuai dengan karakteristik enzim lignoselulolitik yang dilaporkan sebelumnya.

Kondisi optimal dari enzim MnP yakni pada Analisis RSM mengungkapkan bahwa kondisi optimal adalah konsentrasi MnSO_4 sebesar 1,12 mM, suhu inkubasi 27,79°C, dan waktu reaksi 27 menit, yang menghasilkan aktivitas MnP yang diprediksi sebesar 17,4 U/mL, enzim lakase konsentrasi ABTS sebesar 0,05 mM, suhu inkubasi 22,21°C, dan waktu reaksi 28,64 menit, aktivitas lakase yang diprediksi sebesar 13,99 U/mL, Kadar CMC sebesar 1%, suhu inkubasi 55°C, dan waktu reaksi 30 menit, yang menghasilkan aktivitas selulase yang diprediksi sebesar $6,64 \times 10^2$ U/mL.

Kata Kunci : *Pleurotus ostreatus*, Lignoselulolitik, Enzim, RSM, SDS-PAGE.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	iv
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
SUMMARY	viii
RINGKASAN	ix
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	14
1.1 Latar Belakang	14
1.2 Rumusan Masalah	16
1.3 Tujuan Penelitian	17
1.4 Hipotesis Penelitian	17
1.5 Manfaat Penelitian	17
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	19
2.1 Biomassa Lignoselulosa	19
2.2 Selulosa	21
2.3 Hemiselulosa	21
2.4 Lignin	23
2.5 Jamur Tiram Putih	24
2.6 Bonggol Jagung	26
2.7 Enzim Lignoselulotik	27
2.7.1 Manganese Perokidase (MnP)	27
2.7.2 Lakase	28
2.7.3 Selulase	28
2.8 Enzim Ekstraseluler	29
2.9 Waktu Hidrolisis	30
2.10 Konsentrasi Substrat	30
2.11 Suhu	30

2.12 Derajat Keasaman (pH).....	31
2.13 Aktivitas Enzimatik.....	31
2.14 Penelitian Terkait.....	32
2.15 <i>Response Surface Methodology</i> (RSM)	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	34
3.1 Waktu Penelitian.....	34
3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian	34
3.2.1 Bahan Penelitian	34
3.2.2 Alat Penelitian.....	34
3.3 Prosedur Penelitian.....	34
3.3.1 Sampel penelitian	34
3.3.2 Sterilisasi Alat dan bahan.....	35
3.3.3 Pembuatan media PDA Strain dan persiapan inokulum (F ₁).....	35
3.3.4 Persiapan Substrat dan Inokulasi	35
3.3.5 Penentuan Laju Pertumbuhan Jamur	36
3.3.6 Ekstraksi Enzim	36
3.3.7 Uji Aktivitas Enzimatik.....	37
3.3.8 Aktivitas Enzim Spesifik.....	40
3.3.9 Analisis SDS-PAGE.....	40
3.3.10 Desain Optimasi Metode RSM.....	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Pertumbuhan Jamur	43
4.1.1 Pertumbuhan jamur pada media PDA	43
4.1.2 Pertumbuhan pada Substrat.....	44
4.2 Proses ekstraksi dan fraksinasi	46
4.3 Kadar protein	48
4.4 Aktivitas Enzimatik	50
4.4.1 Aktivitas Enzim MnP	50
4.4.2 Aktivitas Enzim Lakase	54
4.4.3 Aktivitas Enzim Selulase	56
4.5 Aktivitas Spesifik	60
4.6 SDS-PAGE	61
4.7 Analisis RSM.....	64
4.7.1 Enzim MnP	64

4.7.2 Enzim Lakase.....	70
4.7.3 Enzim Selulase.....	76
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	83
5.1 Kesimpulan	83
5.2 Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA	84
LAMPIRAN	91

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Struktur Biomassa Lignoselulosa.....	19
Gambar 2. Struktur selulosa	21
Gambar 3. Struktur Hemiselulosa.....	23
Gambar 4. Struktur lignin.....	24
Gambar 5. Jamur tiram (<i>P. ostreatus</i>)	25
Gambar 6. Pertumbuhan jamur tiram putih pada berbagai komposisi substrat	26
Gambar 7. Pertumbuhan jamur <i>P. ostreatus</i>	43
Gambar 8. Kurva pertumbuhan jamur <i>P. ostreatus</i> pada medium PDA.....	44
Gambar 9. Kurva pertumbuhan Jamur pada media.	46
Gambar 10. Grafik perbandingan aktivitas enzim MnP setiap ekstrak.	53
Gambar 11. Grafik perbandingan aktivitas lakase pada tiap fraksi.	55
Gambar 12. Grafik perbandingan aktivitas selulase pada setiap fraksi.....	59
Gambar 13. Hasil Analisis SDS-PAGE dengan ukuran protein.	63
Gambar 14. Hasil interaksi antar variabel enzim MnP.	68
Gambar 15. Hasil interaksi antar variabel enzim lakase.	74
Gambar 16. Hasil interaksi antar variabel enzim selulase.	80

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Variabel beserta level pada RSM uji MnP.....	41
Tabel 2. Variabel beserta level pada RSM uji lakase.	41
Tabel 3. Variabel beserta level pada RSM uji selulase.	41
Tabel 4. Hasil ekstraksi dan Fraksinasi Jamur <i>P. ostreatus</i>	47
Tabel 5. Hasil penentuan kadar protein dengan metode Lowry.....	49
Tabel 6. Hasil Aktivitas spesifik enzim MnP, lakase, dan selulase.	60
Tabel 7. Hasil <i>running</i> aktivitas MnP menggunakan CCD.....	64
Tabel 8. Hasil analisis <i>ANOVA for Quadratic</i> model MnP.....	65
Tabel 9. Hasil <i>ANOVA Fit Statistics</i> MnP.....	66
Tabel 10. Hasil prediksi model enzim MnP.	69
Tabel 11. Hasil konfirmasi <i>Post Analysis</i> MnP.	69
Tabel 12. Hasil analisis <i>ANOVA for Quadratic</i> model lakase.	71
Tabel 13. Hasil <i>ANOVA Fit Statistics</i> lakase.	71
Tabel 14. Hasil <i>running</i> aktivitas lakase menggunakan CCD.	72
Tabel 15. Hasil prediksi model enzim lakase.....	76
Tabel 16. Hasil analisis konfirmasi <i>Post Analysis</i> lakase.....	76
Tabel 17. Hasil <i>running</i> aktivitas selulase menggunakan CCD.....	77
Tabel 18. Hasil analisis <i>ANOVA for Quadratic</i> model selulase.....	78
Tabel 19. Hasil <i>ANOVA Fit Statistics</i> selulase.....	78
Tabel 20. Hasil prediksi model enzim selulase.	81
Tabel 21. Hasil analisis konfirmasi <i>Post Analysis</i> selulase.....	82

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Pertumbuhan jamur (<i>P. ostreatus</i>) dan diagram alir.	92
Lampiran 2. Uji Kadar Protein dengan metode lowry.	99
Lampiran 3. Fraksinasi Amonium sulfate.	101
Lampiran 4. Uji Aktivitas Enzim Mangan peroksidase (MnP).	102
Lampiran 5. Uji Aktivitas Enzim Lakase.	104
Lampiran 6. Uji aktivitas Selulase.	106
Lampiran 7. Pembuatan Buffer Larutan dan (λ maks)	110

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara penghasil jagung terbanyak di Asia Tenggara, dan berada di urutan ke-8 sebagai negara penghasil jagung terbanyak di dunia. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS), pada tahun 2023 produksi jagung pipilan kering sebesar 14,46 juta ton, dengan luas panen 2,49 juta hektare, jagung pipilan kering ini memiliki kadar air 14%. Bonggol jagung merupakan limbah pertanian yang melimpah di Indonesia. Bonggol jagung merupakan biomasa lignoselulosa yang mengandung selulosa sekitar 40-45%, hemiselulosa 30-35% dan lignin 10-20%, sedangkan abu bonggol jagung mengandung silika lebih dari 60% dengan sejumlah kecil unsur-unsur logam (Hermansyah *et al.*, 2022). Penelitian ini berfokus pada Bonggol jagung dengan dedak padi sebagai pembanding. Bonggol jagung dapat menjadi substrat yang potensial untuk menghasilkan enzim lignoselulolitik, karena memiliki ketersediaan yang tinggi, biaya yang rendah, dan komposisi yang sesuai.

Biomassa lignoselulosa merupakan biomassa yang tersusun dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Selain bonggol jagung, Lignoselulosa banyak terdapat pada limbah pertanian, misalnya jerami padi, batang tebu, tandan kosong kelapa sawit, dan lain-lain. Limbah pertanian ini memiliki potensi sebagai sumber energi terbarukan, karena dapat diubah menjadi bioetanol, biogas, atau bahan kimia lainnya. Namun, untuk mengubah lignoselulosa menjadi produk yang berguna, diperlukan proses pendahuluan yang disebut pretreatment. pretreatment yaitu proses untuk menghilangkan atau mengurangi kandungan lignin yang menghambat akses enzim terhadap selulosa dan hemiselulosa (Ilmi *et al.*, 2013). Salah satu metode pretreatment yang ramah lingkungan dan ekonomis adalah secara enzimatik menggunakan enzim lignoselulolitik, yaitu enzim yang mampu mendegradasi lignoselulosa menjadi komponen penyusunnya. Enzim lignoselulolitik dapat diproduksi oleh berbagai mikroorganisme dan jamur.

Jamur dapat tumbuh secara saprofit pada kayu lapuk atau kayu yang sedang mengalami proses pelapukan. Jamur memproduksi enzim ekstraseluler yang berfungsi menghidrolisis senyawa-senyawa selulosa, hemiselulosa, dan lignin dalam kayu yang berbobot molekul tinggi menjadi senyawa yang lebih sederhana. Jamur tiram putih (*Pleurotus Ostreatus*) dapat menghasilkan enzim lignoselulolitik, seperti lignin peroksidase (LiP), selulase, mangan peroksidase (MnP), dan lakase, yang dapat mendegradasi lignin secara efektif (Muzakky and Rubianto 2023). MnP mengkatalisis proses oksidasi lignin menggunakan ion mangan dan hidrogen peroksida, lakase mengkatalisis senyawa aromatik menggunakan oksigen, sementara selulase memecah selulosa menjadi glukosa melalui pemutusan ikatan β -1,4 glikosidik (Vrsanska *et al.*, 2016).

Enzim lignoselulolitik banyak dimanfaatkan pada industri makan, tekstil, biofuel, dan lain-lain sehingga banyak peneliti yang melakukan penelitian terkait dengan enzim lignoselulolitik ini. Dalam industri, produksi enzim mangan peroksidase (MnP), lakase, dan selulase umumnya dilakukan melalui fermentasi mikroorganisme seperti jamur dan bakteri (Nababan *et al.*, 2019). Ergun & Urek (2017) berhasil memproduksi enzim lignoselulolitik menggunakan proses sonifikasi media dalam buffer, dimana enzim MnP maupun lakase optimum setelah 17 hari inkubasi. Selama fase pertumbuhan miselium *P. ostreatus*, aktivitas enzim lignoselulolitik terpantau. Hasilnya menunjukkan bahwa tingkat degradasi lignin menurun saat tubuh buah mulai terbentuk, dibandingkan dengan fase somatik sebelumnya. Selain itu, pola aktivitas enzim ini terpengaruh oleh umur kultur jamur dan tahapan perkembangan yang sedang dialami (Widiastuti *et al.*, 2008). Beberapa hasil penelitian menunjukkan enzim lakase pada substrat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) tinggi pada minggu pertama inkubasi sedangkan MnP dan LiP tinggi setelah minggu kedua dan keempat inkubasi. Penelitian lain yang memanfaatkan Jamur *P. ostreatus* menghasilkan aktivitas lignin peroksidase tertinggi diperoleh pada medium dengan komposisi 50% Aktivitas enzimnya sebesar 1,72 U/mL. Aktivitas mangan peroksidase tertinggi diperoleh pada medium komposisi 100%, sebesar 23,00 U/mL, dan lakase tertinggi pada medium komposisi 100%, sebesar 0,14 U/mL (Perwitasari *et al.*, 2018).

Dalam produksi enzim-enzim, perlu dilakukan optimasi berbagai *variable* yang mempengaruhi produksi tersebut. Metode *Response Surface Methodology* (RSM) merupakan teknik statistik dan matematik yang digunakan untuk mengoptimalkan proses industri, termasuk dalam bioteknologi untuk produksi enzim (Kusumaningrum *et al.*, 2019). Metode RSM membantu dalam memodelkan dan menganalisis pengaruh beberapa variabel independen terhadap respon yang diinginkan. Pada penelitian ini, RSM dapat digunakan untuk mengoptimalkan kondisi pertumbuhan jamur tiram putih dan produksi enzim lignoselulolitik dengan mengevaluasi faktor-faktor pH, suhu, dan konsentrasi substrat. Optimasi ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi produksi enzim dan memaksimalkan aktivitas enzimatik, yang pada akhirnya dapat meningkatkan yield dan kualitas produk akhir.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini memproduksi enzim ekstraseluler enzim lignoselulolitik, seperti mangan peroksidase (MnP), lakase, dan selulase memanfaatkan bonggol jagung sehingga, dapat mengoptimalkan pemanfaatan limbah bonggol jagung melalui penelitian enzim lignoselulolitik dari jamur tiram putih (*P. ostreatus*). Penelitian ini menguji pengaruh pH, suhu, dan konsentrasi substrat terhadap produksi dan aktivitas enzim lignoselulolitik, enzim mangan peroksidase (MnP), lakase, dan selulase dengan metode optimasi RSM. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif dalam mengatasi masalah limbah dan memperluas pemahaman kita tentang enzim lignoselulolitik.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

- a. Bagaimana pengaruh variasi substrat bonggol jagung dan dedak padi terhadap aktivitas enzim lignoselulolitik yang dihasilkan oleh *P. ostreatus*?
- b. Bagaimana karakteristik enzim lignoselulolitik yang dihasilkan, termasuk aktivitas spesifik dan berat molekulnya?
- c. Bagaimana pengaruh konsentrasi substrat, suhu, dan waktu inkubasi dalam produksi enzim lignoselulolitik yang dioptimasi menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini yaitu:

- a. Menganalisis pengaruh variasi substrat limbah pertanian, yaitu bonggol jagung dan dedak padi, terhadap produksi enzim lignoselulolitik oleh *P. ostreatus*.
- b. Mengkarakterisasi enzim lignoselulolitik yang dihasilkan, termasuk aktivitas spesifik dan berat molekulnya.
- c. Mengetahui kondisi optimal dari produksi enzim lignoselulolitik yang dioptimasi menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM).

1.4 Hipotesis Penelitian

Hipotesis dari penelitian ini yaitu:

- a. Perbedaan variasi substrat bonggol jagung dan dedak padi secara signifikan mempengaruhi aktivitas enzim lignoselulolitik yang dihasilkan, di mana variasi substrat yang optimal akan menghasilkan aktivitas enzim yang lebih tinggi.
- b. Faktor konsentrasi, suhu inkubasi memiliki pengaruh signifikan terhadap produksi enzim, dengan suhu optimal yang mendukung aktivitas enzim yang maksimal. Lama waktu inkubasi berpengaruh signifikan terhadap produksi enzim, sehingga terdapat waktu optimal yang memaksimalkan aktivitas enzim.
- c. Penggunaan *Response Surface Methodology* (RSM) dengan desain Central Composite Design (CCD) dapat menghasilkan model kuadratik yang signifikan dan akurat dalam memprediksi kondisi optimal produksi enzim, yang ditandai dengan nilai R^2 tinggi dan selisih antara *Adjusted R^2* dan *Predicted R^2* yang kecil.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

- a. Memberi informasi mengenai pengaruh pH, suhu, dan konsentrasi substrat terhadap produksi dan aktivitas enzim lignoselulolitik berupa enzim mangan peroksidase (MnP), lakase dan selulase dari jamur tiram putih pada bonggol jagung.

- b. Dengan menggunakan metode RSM, dapat menentukan kondisi optimal untuk produksi enzim yang efisien, yang penting untuk aplikasi industri.
- c. Memanfaatkan limbah bonggol jagung menjadi produk yang bernilai seperti enzim

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, M., Tias, A., & Chotimatul, A. (2011). *Panduan lengkap jamur*. Penebar Swadaya Grup. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:88881817>
- Adiandri, R. S. R., Purwadi, Hoerudin, & Setiadi. (2022). Recent methods in the pretreatment of corncob wastes for value-added bioproducts carbon sources. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1024(1), 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1024/1/012032>
- Argaw, B., Tesfay, T., Godifey, T., & Asres, N. (2023). Growth and yield performance of oyster mushroom (*P. ostreatus* [Jacq.: Fr.] Kummer) using waste leaves and sawdust. *International Journal of Agronomy*, 2023, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2023/8013491>
- Arregui, L., Ayala, M., Gómez-Gil, X., Gutiérrez-Soto, G., Hernández-Luna, C. E., Herrera de los Santos, M., Levin, L., et al. (2019). Laccases: Structure, function, and potential application in water bioremediation. *Microbial Cell Factories*, 18(1), 200. <https://doi.org/10.1186/s12934-019-1248-0>
- Barton, R. R. (2013). Response surface methodology. In S. I. Gass & M. C. Fu (Eds.), *Encyclopedia of operations research and management science* (pp. 1307–1313). Boston, MA: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1153-7_1143
- Baruah, J., Nath, B. K., Sharma, R., Kumar, S., Deka, R. C., Baruah, D. C., & Kalita, E. (2018). Recent trends in the pretreatment of lignocellulosic biomass for value-added products. *Frontiers in Energy Research*, 6, 141. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2018.00141>
- Bezerra, M. A., Santelli, R. E., Oliveira, E. P., Villar, L. S., & Escaleira, L. A. (2008a). Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. *Talanta*, 76(5), 965–977. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2008.05.019>
- Bezerra, M. A., Santelli, R. E., Oliveira, E. P., Villar, L. S., & Escaleira, L. A. (2008b). Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. *Talanta*, 76(5), 965–977. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2008.05.019>

- Burboa-Charis, V. A., Moreno-Román, E. J., Vidales Contreras, J. A., & García-Gómez, C. (2019). Simultaneous removal of Cd²⁺ and Zn²⁺ from aqueous solution using an upflow Al-electrocoagulation reactor: Optimization by response surface methodology. *Water Science and Technology*, 79(7), 1297–1308. <https://doi.org/10.2166/wst.2019.123>
- Buswell, J. A., Cai, Y., & Chang, J.-J. (1995). Effect of nutrient nitrogen and manganese on manganese peroxidase and laccase production by *Lentinula (Lentinus) edodes*. *FEMS Microbiology Letters*, 128, 81–88.
- Cano, A., Maestre, A. B., Hernández-Ruiz, J., & Arnao, M. B. (2023). ABTS/TAC methodology: Main milestones and recent applications. *Processes*, 11(1), 185. <https://doi.org/10.3390/pr11010185>
- Chang, Y., Yang, D., Li, R., Wang, T., & Zhu, Y. (2021). Textile dye biodecolorization by manganese peroxidase: A review. *Molecules*, 26(15), 4403. <https://doi.org/10.3390/molecules26154403>
- Chitraichamy, V., Kalamdhad, A., & Gilroyed, B. (2017). Advanced pretreatment strategies for bioenergy production from biomass and biowaste. In *Biomedis* (Vol. 960, pp. 1–17). https://doi.org/10.1007/978-3-319-58538-3_45-1
- Chukwuemeka, N., Abiodun, A.-O., & Kelly, O. (2023). Face centered–central composite design technique in modeling the effects of delay after mixing on the elastic modulus of metakaolin modified black cotton soils. *Journal of Architecture and Civil Engineering*, 8(4), 38–50.
- Dimawarnita, F., & Panji, T. (2019). Aktivitas enzim ligninolitik *Pleurotus ostreatus* pada media yang mengandung TKKS dan aplikasinya untuk dekolonisasi zat warna. *Menara Perkebunan*. <https://doi.org/10.22302/IRIBB.JUR.MP.V87I1.328>
- Duong-Ly, K. C., & Gabelli, S. B. (2014a). Salting out of proteins using ammonium sulfate precipitation. In *Methods in Enzymology* (Vol. 541, pp. 85–94). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-420119-4.00007-0>
- Duong-Ly, K. C., & Gabelli, S. B. (2014b). Chapter seven: Salting out of proteins using ammonium sulfate precipitation. In J. Lorsch (Ed.), *Methods in Enzymology* (Vol. 541, pp. 85–94). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-420119-4.00007-0>
- Efrinalia, W., Novia, N., & Melwita, E. (2022). Kinetic model for enzymatic hydrolysis of cellulose from pre-treated rice husks. *Fermentation*, 8(9), 417. <https://doi.org/10.3390/fermentation8090417>

- Goodman, B. A. (2020). Utilization of waste straw and husks from rice production: A review. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 5(3), 143–162. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2020.07.001>
- Gwon, J.-H., Park, H., & Eom, A.-H. (2022). Effect of temperature, pH, and media on the mycelial growth of *Tuber koreanum*. *Mycobiology*, 50(4), 238–243. <https://doi.org/10.1080/12298093.2022.2112586>
- Halima Hanum, S., Poernomo, A. T., Sudjarwo, & Rosyidah, S. (2022). Effect of pH, temperature, and metalactivator on the activity of fibrinolytic enzymes produced by *Pseudomonas aeruginosa* Ts 6.4. *Berkala Ilmiah Kimia Farmasi*, 9(1), 9–12. <https://doi.org/10.20473/bikfar.v9i1.40890>
- Hamzah, P., Syaifuddin, S., Rachmat, R., & Agus, A. (2022). Analisis pertumbuhan miselium bibit F1 jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*) dengan menggunakan media biji jagung dan biji padi. *JASATHP: Jurnal Sains dan Teknologi Hasil Pertanian*, 2(2), 67–77. <https://doi.org/10.55678/jasathp.v2i2.807>
- Hermansyah, H., Umar, T. D. J., & Rasdiati, R. (2022). Pemanfaatan bonggol jagung sebagai bahan tambah dalam campuran beton. *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 5(1), 131. <https://doi.org/10.31602/jk.v5i1.7266>
- Hernández-Beltrán, J. U., Hernández-De Lira, I. O., Cruz-Santos, M. M., Saucedo-Luevanos, A., Hernández-Terán, F., & Balagurusamy, N. (2019). Insight into pretreatment methods of lignocellulosic biomass to increase biogas yield: Current state, challenges, and opportunities. *Applied Sciences*, 9(18), 3721. <https://doi.org/10.3390/app9183721>
- Ilmi, I. M., Kuswyasari, N. D., & Hakim, J. R. (2013). Aktivitas enzim lignin peroksidase oleh *Gliomastix sp.* T3.7 pada limbah bonggol jagung dengan berbagai pH dan suhu. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 2(1), 2337–3520.
- Jayakumar, M., Gindaba, G. T., Gebeyehu, K. B., Periyasamy, S., Jabesa, A., Baskar, G., John, B. I., & Pugazhendhi, A. (2023). Bioethanol production from agricultural residues as lignocellulosic biomass feedstock's waste valorization approach: A comprehensive review. *Science of The Total Environment*, 879, 163158. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163158>
- Karch, J. (2020). Improving on adjusted R-squared. In D. Van Ravenzwaaij & D. Van Ravenzwaaij (Eds.), *Collabra: Psychology*, 6(1), 45. <https://doi.org/10.1525/collabra.343>

- Kurien, B. T., & Scofield, R. H. (2012). Accelerated Coomassie blue staining and destaining of SDS-PAGE gels with application of heat. In B. T. Kurien & R. H. Scofield (Eds.), *Protein electrophoresis: Methods and protocols* (pp. 471–479). Totowa, NJ: Humana Press. https://doi.org/10.1007/978-1-61779-821-4_41
- Kusumaningrum, A., Gunam, I. B. W., & Wijaya, I. M. M. (2019). Optimasi suhu dan pH terhadap aktivitas enzim endoglukanase menggunakan response surface methodology (RSM). *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*, 7(2), 243. <https://doi.org/10.24843/JRMA.2019.v07.i02.p08>
- Kuwahara, M., Glenn, J. K., & Morgan, M. A. (1984). Separation and characterization of two extracellular H₂O₂-dependent oxidases from ligninolytic cultures of *Phanerochaete chrysosporium*. *FEMS Microbiology Letters*, 169, 247–250.
- Luz, J. M. R. D., Nunes, M. D., Paes, S. A., Torres, D. P., Silva, M. D. C. S., & Kasuya, M. C. M. (2012). Lignocellulolytic enzyme production of *Pleurotus ostreatus* growth in agroindustrial wastes. *Brazilian Journal of Microbiology*, 43(4), 1508–1515. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822012000400035>
- Mankar, A. R., Pandey, A., Modak, A., & Pant, K. K. (2021). Pretreatment of lignocellulosic biomass: A review on recent advances. *Bioresource Technology*, 334, 125235. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125235>
- Mulyani, P. D., Albab, M. R. U., & Purwestri, Y. A. (2021). Characterization of lignocellulolytic bacteria from gut of termite (Isoptera: Rhinotermitidae and Termitidae). *Jurnal Biologi Tropis*, 21(2), 543–550. <http://dx.doi.org/10.29303/jbt.v21i2.2737>
- Muzakky, R. A., & Rubianto, L. (2023). Pengaruh jumlah massa bonggol jagung dan lama waktu pengadukan hidrolisis HCl terhadap nilai glukosa pada pembuatan bioetanol. *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, 8(4), 777–782. <https://doi.org/10.33795/distilat.v8i4.448>
- Nababan, M., Gunam, I. B. W., & Wijaya, I. M. M. (2019). Produksi enzim selulase kasar dari bakteri selulolitik. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*, 7(2), 190. <https://doi.org/10.24843/JRMA.2019.v07.i02.p03>
- Nguyen, L. N., Vu, M. T., Johir, M. A. H., Pathak, N., Zdarta, J., Jesionowski, T., Semblante, G. U., Hai, F. I., Nguyen, H. K. D., & Nghiem, L. D. (2020). A novel approach in crude enzyme laccase production and application in emerging contaminant bioremediation. *Processes*, 8(6), 648. <https://doi.org/10.3390/pr8060648>

- Noble, J. E., & Bailey, M. J. A. (2009). Chapter 8: Quantitation of protein. In R. R. Burgess & M. P. Deutscher (Eds.), *Methods in Enzymology*, 463 (pp. 73–95). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(09\)63008-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(09)63008-1)
- Novia, N., Hasanudin, H., Hermansyah, H., & Fudholi, A. (2022). Kinetics of lignin removal from rice husk using hydrogen peroxide and combined hydrogen peroxide–aqueous ammonia pretreatments. *Fermentation*, 8(4), 157. <https://doi.org/10.3390/fermentation8040157>
- Nurkhotimah, N., Yuliati, E., & Rahmawati, A. (2017). Pengaruh suhu dan pH terhadap aktivitas enzim fosfatase bakteri termofilik sungai gendol pasca erupsi merapi. *Kingdom (The Journal of Biological Studies)*, 6(8), 465–471. <https://doi.org/10.21831/kingdom.v6i8.7891>
- Octaviani, M. A., Dewi, D. R. S., & Asrini, L. J. (2017). Optimasi faktor yang berpengaruh pada kualitas lilin di UD.X dengan metode response surface. *Jurnal Ilmiah Widjaya Teknik*, 16(1), 29–38.
- Oktaviani, L., Taufik, I., & Abduh, M. Y. (2019). Produksi konsentrat pakan ruminansia dari kulit kopi dan dedak yang difermentasi menggunakan jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*). *Jurnal Mikologi Indonesia*, 1(3), 10–24. Retrieved from <http://www.mikoina.or.id>
- Ozcirakergun, S., & Ozturk Urek, R. (2017). Production of ligninolytic enzymes by solid state fermentation using *Pleurotus ostreatus*. *Annals of Agrarian Science*, 15(2), 273–277. <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2017.04.003>
- Perwitasari, U., Dimawarnita, F., & Ratnakomala, S. (2018). Optimasi produksi enzim ligninolitik dari medium limbah produksi *Pleurotus ostreatus* menggunakan metode respons permukaan [Optimization of ligninolytic enzyme production from *Pleurotus ostreatus* medium waste production using surface response methodology]. *E-Journal Menara Perkebunan*, 86(1). <https://doi.org/10.22302/iribb.jur.mp.v1i1.278>
- Quereshi, S., Ejaz, A., Pant, K., & Dutta, S. (2019). Insights into microwave-assisted synthesis of 5-ethoxymethylfurfural and ethyl levulinate using tungsten disulfide as catalyst. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(4), 1721–1729. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b03231>
- Riveromeza, S. L., Cañizares, L., Dannenberg, B., Bueno Peres, B., Rodrigues, L. A., Mardade, C., de Leon, M. A., Gaioso, C. A., Egea, I., & de Oliveira, M. (2024). Sustainable rice bran protein: Composition, extraction, quality properties and applications. *Trends in Food Science & Technology*, 145, 104355. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104355>

- Sánchez-Corzo, L. D., Álvarez-Gutiérrez, P. E., Meza-Gordillo, R., Villalobos-Maldonado, J. J., Enciso-Pinto, S., & Enciso-Sáenz, S. (2021). Lignocellulolytic enzyme production from wood rot fungi collected in Chiapas, Mexico, and their growth on lignocellulosic material. *Journal of Fungi*, 7(6), 450. <https://doi.org/10.3390/jof7060450>
- Strong, J., & Claus, H. (2011). Laccase: A review of its past and its future in bioremediation. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(1), 373–434. <https://doi.org/10.1080/10643380902945706>
- Suharno, S. H. P., Wasyilah, T. W., & Nugrahani, R. A. (2019). Pengaruh konsentrasi amonium sulfat terhadap rendemen isolat protein defatted dedak padi pada ekstraksi menggunakan air. *Jurnal UMJ*, 2460–8416. Retrieved from <http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek>
- Sulyman, A. O., Igunnu, A., & Malomo, S. O. (2020). Isolation, purification and characterization of cellulase produced by *Aspergillus niger* cultured on *Arachis hypogaea* shells. *Heliyon*, 6(12), e05668. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05668>
- Viikari, L., Suurnäkki, A., Grönqvist, S., Raaska, L., & Ragauskas, A. (2009). Forest products: Biotechnology in pulp and paper processing. In M. Schaechter (Ed.), *Encyclopedia of Microbiology* (3rd ed., pp. 80–94). Oxford: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012373944-5.00123-1>
- Vrsanska, M., Voberkova, S., Langer, V., Palovcikova, D., Moulick, A., Adam, V., & Kopel, P. (2016). Induction of laccase, lignin peroxidase and manganese peroxidase activities in white-rot fungi using copper complexes. *Molecules*, 21(11), 1553. <https://doi.org/10.3390/molecules21111553>
- Wang, W., Li, Y., Dang, P., Zhao, S., Lai, D., & Zhou, L. (2018). Rice secondary metabolites: Structures, roles, biosynthesis, and metabolic regulation. *Molecules*, 23(12), 3098. <https://doi.org/10.3390/molecules23123098>
- Waters, C. L., Janupala, R. R., Mallinson, R. G., & Lobban, L. L. (2017). Staged thermal fractionation for segregation of lignin and cellulose pyrolysis products: An experimental study of residence time and temperature effects. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 126(July), 380–389. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2017.05.008>
- Widiastuti, H., Suharyanto, S., Wulaningtyas, A., & Sutamihardja. (2008). Activity of ligninolytic enzymes during growth and fruiting body development of white rot fungi *Omphalina sp.* and *Pleurotus ostreatus*.

- Hayati Journal of Biosciences*, 15(4), 140–144.
<https://doi.org/10.4308/hjb.15.4.140>
- Wirajana, I. N., Sirait, R. R., & Suarya, P. (2021). Pemurnian amilase mikroba amilolitik dengan fraksinasi amonium sulfat dan amobilisasi pada agar-agar komersial. *Jurnal Kimia*, 15(1), 41.
<https://doi.org/10.24843/JCHEM.2021.v15.i01.p07>
- Yehia, R. S. (2014). Aflatoxin detoxification by manganese peroxidase purified from *Pleurotus ostreatus*. *Brazilian Journal of Microbiology*, 45(1), 127–134. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822014005000026>
- Yuniati, R., Nugroho, T. T., & Puspita, F. (2015). Uji aktivitas enzim protease dari isolat *Bacillus sp.* galur lokal Riau. *Jom Fmipa*, 1(3).
- Zahira, C. R. (2023). Optimasi aktivitas enzim selulase yang dihasilkan oleh bakteri selulolitik.
- Zakzeski, J., Bruijninx, P. C. A., Jongerius, A. L., & Weckhuysen, B. M. (2010). The catalytic valorization of lignin for the production of renewable chemicals. *Chemical Reviews*, 110(6), 3552–3599.
<https://doi.org/10.1021/cr900354u>
- Zhang, C., & Wang, F. (2020). Catalytic lignin depolymerization to aromatic chemicals. *Accounts of Chemical Research*, 53(2), 470–484.
<https://doi.org/10.1021/acs.accounts.9b00573>
- Zhang, Y. H. P., Hong, J., & Ye, X. (2009). Cellulase assays. In J. R. Mielenz (Ed.), *Biofuels* (pp. 213–231). Totowa, NJ: Humana Press.
https://doi.org/10.1007/978-1-60761-214-8_14
- Zhao, X.-Q., Zi, L.-H., Bai, F.-W., Lin, H.-L., Hao, X.-M., Yue, G.-J., & Ho, N. W. Y. (2012). Bioethanol from lignocellulosic biomass. In F.-W. Bai, C.-G. Liu, H. Huang, & G. T. Tsao (Eds.), *Biotechnology in China III: Biofuels and bioenergy* (pp. 25–51). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/10_2011_129
- Zoghalmi, A., & Paës, G. (2019). Lignocellulosic biomass: Understanding recalcitrance and predicting hydrolysis. *Frontiers in Chemistry*, 7, 874.
<https://doi.org/10.3389/fchem.2019.00874>
- Zullaikah, S., Jannah, A., & Pramujati, B. (2021). Teknologi pembuatan pakan ternak ruminansia murah dan mudah berbasis limbah pertanian yang ramah lingkungan. *Jurnal DRPM-ITS*, 5(1).