

**PEMURNIAN ENZIM LIPASE
SEBAGAI BAHAN ADITIF BIODETERJEN
MENGUNAKAN KROMATOGRAFI PENUKAR ION**

SKRIPSI

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana Kimia**



Oleh:

Shofa

18106030050

**STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

2024



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-58/Un.02/DST/PP.00.9/01/2025

Tugas Akhir dengan judul : "PEMURNIAN ENZIM LIPASE SEBAGAI BAHAN ADITIF BIODETERJEN
MENGUNAKAN KROMATOGRAFI PENUKAR ION"

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : SHOFA
Nomor Induk Mahasiswa : 18106030050
Telah diujikan pada : Jumat, 20 Desember 2024
Nilai ujian Tugas Akhir : A-

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Dr. rer. medic. Eri Wahyu Widowati, M.Si., M. Biotech
SIGNED

Valid ID: 6784d7f547578



Penguji I

Endaruji Sedyadi, M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 676e9ef924632



Penguji II

Ika Qurrotul Afifah, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6784c3e688859



Yogyakarta, 20 Desember 2024
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Drs. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6783c0f3e3e63

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

SURAT PERSETUJUAN TUGAS AKHIR



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir

Lamp :

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Shofa

NIM : 18106030050

Judul Skripsi : Pemurnian Enzim Lipase Sebagai Bahan Aditif Biodeterjen Menggunakan Kromatografi Penukar Ion

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Kimia.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Yogyakarta, 14 Januari 2025

Pembimbing

Wid
Dr. Rer. Medic. Esti Wahyu Widowati, M. Si.
NIP: 19760830 200312 2 001

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Shofa
NIM : 18106030050
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“Pemurnian Enzim Lipase Sebagai Bahan Aditif Biodeterjen Menggunakan Kromatografi Penukar Ion”** merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjana di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 14 Januari 2025



Shofa
18106030050

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya ini dipersembahkan untuk diri sendiri dan keluarga penulis
serta Almamater penulis, Prodi Kimia UIN Sunan Kalijaga



HALAMAN MOTTO

“Kesempatan tidak akan datang dua kali untuk hal yang sama”



KATA PENGANTAR

Puji Syukur Kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Pemurnian Enzim Lipase Sebagai Bahan Aditif Biodeterjen Menggunakan Kromatografi Penukar Ion*” dengan baik sebagai salah satu syarat derajat Sarjana Kimia. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW.

Kesulitan dan hambatan banyak ditemui dalam penyelesaian skripsi ini, akan tetapi berkat pertolongan Allah SWT dan bantuan berbagai pihak penulis dapat melewati hambatan tersebut. Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam proses pembuatan skripsi ini sehingga skripsi ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya. Penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada,

1. Bapak Prof. Noorhaidi., M. A., M. Phil., Ph. D., selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Ibu Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M. Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Ibu Prof. Dr. Maya Rahmayanti, M. Si., selaku Ketua Program Studi Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
4. Bapak Sudarlin, M. Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan pengarahan selama masa studi.
5. Ibu Dr. rer. medic. Esti Wahyu Widowati, M. Si., M.Biotech., selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah meluangkan banyak waktunya untuk membimbing, mengarahkan, mengoreksi, dan memberikan motivasi selama proses penyusunan skripsi.
6. Bapak Wijayanto, S. Si., selaku Pranata Laboratorium Pendidikan (PLP) Pendamping selama melakukan penelitian di Laboratorium Kimia.
7. Ibu Ethik Susiawati Purnomo, S. Si., selaku Pranata Laboratorium Pendidikan (PLP) Pendamping selama melakukan penelitian di Laboratorium Biologi.
8. Seluruh Dosen Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi.
9. Suami tercinta yang telah memberikan kepercayaan dan afirmasi positif secara langsung selama menjalani masa penelitian.
10. Kedua orang tua, saudara kembar, tetah-tetah dan sidi-sidi tercinta yang telah memberikan dukungan baik secara material maupun non-material.
11. Reza, Azura, Ika, Adinda, Arafah, dan Gita yang telah memberikan dukungan dan semangat selama perkuliahan.
12. Nita, Jessi, Muti, Shintia, dan seluruh teman seperjuangan dalam satu kelompok bimbingan yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan motivasi.
13. Teman-teman Program Studi Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta angkatan 2018 dan 2019.
14. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebut satu persatu atas segala dukungan dan bantuan selama proses penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kesalahan sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis juga berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi almamater tercinta Program Studi Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta dan perkembangan ilmu pengetahuan khususnya ilmu kimia.

Yogyakarta, 23 Desember

2024



Shofa
18106030050



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
SURAT PERSETUJUAN TUGAS AKHIR	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
HALAMAN MOTTO	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
ABSTRAK	xi
ABSTRACT.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Batasan Masalah.....	3
C. Rumusan Masalah	3
D. Tujuan	4
E. Manfaat	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	5
A. Tinjauan Pustaka	5
B. Landasan Teori.....	8
1. Biodeterjen.....	8
2. Enzim Lipase Sebagai Bahan Aditif Biodeterjen	9
3. Pemurnian Enzim Lipase	9
4. Bentonit Alam Sebagai Fasa Diam	10
5. Aktivasi Bentonit	11
6. Uji Stabilitas Enzim Lipase Terhadap Paparan Deterjen.....	12
7. <i>Washing Test</i>	13
C. Kerangka Berfikir dan Hipotesis.....	13
BAB III METODE PENELITIAN.....	17
A. Waktu dan Tempat Penelitian	17
B. Alat dan Bahan Penelitian.....	17
C. Bahan-bahan Penelitian.....	17
D. Prosedur Kerja.....	18
1. Sterilisasi Alat.....	18
2. Preparasi Media	18
3. Preparasi Bentonit Alam	18
4. Aktivasi Bentonit Alam	19
5. Peremajaan Bakteri	19
6. Ekstraksi Enzim Lipase.....	19
7. Pemurnian Enzim Lipase	20
8. Uji Stabilitas Enzim Lipase	20

9. <i>Washing Test</i>	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	36
A. Kesimpulan	36
B. Saran.....	36
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN.....	43
CURRICULUM VITAE	45



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Struktur montmorillonit terdiri dari 3 lapisan yaitu lapisan oktahedral dari Al dan O yang terletak antara dua lapisan tetrahedral dari Si dan O dan penggabungan antar keduanya yang membentuk lapisan silika-alumina11
Gambar 4. 1	Perbandingan visual bentonit a) Bentonit tidak teraktivasi berwarna coklat pudar b) Bentonit teraktivasi berwarna coklat kemerahan23
Gambar 4. 2	Reaksi saat aktivasi bentonit dengan asam menyebabkan larutnya Al pada lapisan oktahedral menjadi Al^{3+}24
Gambar 4. 3	Mekanisme pemurnian menggunakan kromatografi penukar ion ketika sampel protein dimasukkan ke dalam kolom, sampel protein akan berdifusi pada permukaan bentonit alam sebagai fasa diam menggantikan ion yang berlawanan. Penggantian ion yang berlawanan akan mengalir pada kolom dan akan terelusi bersama fasa gerak.26
Gambar 4. 4	Stabilitas aktivitas lipase ekstrak kasar, hasil pemurnian dengan bentonit alam tidak teraktivasi dan bentonit alam teraktivasi variasi suhu (200°C, 300°C, dan 400°C) dan konsentrasi HNO ₃ (0,5N, 1N, dan 1,5N) terhadap paparan deterjen 7mg/mL; (keterangan: PBTT adalah pemurnian dengan bentonit tidak teraktivasi, PBTA adalah pemurnian dengan bentonit teraktivasi)29
Gambar 4. 5	Kain hasil uji washing test, Wa adalah kain yang direndam dalam kloroform mendidih, Wb adalah kain Wa yang diberi <i>olive oil</i> dalam aseton, dan Wc adalah kain Wb setelah diberi enzim dengan deterjen31
Gambar 4. 6	Washing test lipase ekstrak kasar dan lipase hasil pemurnian menggunakan bentonit alam tidak teraktivasi dan bentonit alam teraktivasi variasi suhu (200°C, 300°C, dan 400°C) dan konsentrasi HNO ₃ (0,5N, 1N, dan 1,5N) dengan kain berukuran 4×4 cm dan suhu inkubasi 37°C; (keterangan: PBTT adalah pemurnian dengan bentonit tidak teraktivasi, PBTA adalah pemurnian dengan bentonit teraktivasi)32
Gambar 4. 7	Mekanisme reaksi hidrolisis lipid oleh lipase (a) serangan nukleofilik dari gugus hidroksil serin menyerang karbonil karbon pada ikatan ester yang rentan (b) struktur tetrahedral <i>intermediate</i> (c) struktur <i>acyl-enzim intermediate</i> (ikatan ester putus dan melepaskan alkohol) dan serangan nukleofilik air (d) struktur tetrahedral <i>intermediate</i> dan pemutusan struktur <i>acyl-enzim</i> (e) enzim bebas. Situs aktif enzim dan air ditunjukkan dalam warna hitam; residu berwarna biru dan lipid berwarna merah34

ABSTRAK

PEMURNIAN ENZIM LIPASE SEBAGAI BAHAN ADITIF BIODETERJEN MENGUNAKAN KROMATOGRAFI PENUKAR ION

Oleh:

Shofa

18106030050

Dosen Pembimbing:

Dr. rer. medic Esti Wahyu Widowati, M. Si.

Bentonit alam dapat digunakan sebagai fasa diam karena memiliki struktur berlapis yang dapat mengembang dan kation-kation yang dapat dipertukarkan dengan ion-ion lain. Aktivasi bentonit alam akan meningkatkan kemampuan adsorpsi dan memperluas pori-pori permukaan sehingga dapat digunakan untuk pemurnian enzim lipase. Pemurnian enzim lipase akan meningkatkan aktivitas relatif enzim sehingga berpotensi sebagai salah satu bahan aditif biodeterjen. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kemampuan optimum bentonit alam yang telah diaktivasi sebagai fasa diam dalam pemurnian enzim untuk meningkatkan aktivitas enzim lipase sebagai salah satu bahan aditif biodeterjen.

Pemurnian enzim lipase dilakukan menggunakan metode kromatografi penukar ion dengan bentonit alam sebagai fasa diam. Bentonit alam sebagai fasa diam diaktivasi menggunakan variasi suhu pemanasan (200, 300, dan 400°C) dan konsentrasi HNO₃ (0,5; 1; dan 1,5N). Potensi enzim lipase dari isolat PK1.1.2 sebagai bahan aditif biodeterjen diuji stabilitasnya terhadap paparan deterjen komersial dan dilakukan pengujian *washing test* dengan menambahkan *olive oil* pada kain.

Berdasarkan hasil penelitian aktivitas relatif enzim ekstrak kasar dan hasil pemurnian dengan bentonit tidak teraktivasi elusi 1, 2 dan 3 masing-masing adalah 58%, 83%, 40% dan 88% dengan %ω hanya 18-52% dibawah kontrol (60%) sehingga tidak memenuhi syarat sebagai bahan aditif biodeterjen. Sedangkan enzim hasil pemurnian dengan bentonit alam teraktivasi memenuhi syarat sebagai bahan aditif biodeterjen dengan aktivitas relatif 81-98,8% dan %ω 63-93% diatas kontrol (60%). Aktivitas relatif tertinggi mewakili kemampuan optimum bentonit alam sebagai penukar ion yaitu saat diaktivasi suhu 400°C dan konsentrasi 0,5N.

Kata Kunci: bentonit, aktivasi, biodeterjen, lipase, kromatografi penukar ion

ABSTRACT

PURIFICATION OF LIPASE ENZYME AS A BIODETERGENT ADDITIVE USING ION EXCHANGE CHROMATOGRAPHY

By:

Shofa

18106030050

Advisor:

Dr. rer. medic Esti Wahyu Widowati, M. Si.

Natural bentonite can be used as a stationary phase because it has a layered structure that can expand and cations that can be exchanged with other ions. The activation of natural bentonite will improve the adsorption ability and expand the surface pores so that it can be used for the purification of lipase enzymes. The purification of the lipase enzyme will increase the relative activity of the enzyme so that it has the potential to be one of the additive ingredients of biodetergents. This study aims to determine the optimum ability of natural bentonite that has been activated as a stationary phase in enzyme purification to increase the activity of lipase enzyme as one of the additive ingredients of biodetergents.

Purification of lipase enzymes is carried out using ion-exchange chromatography with natural bentonite as the stationary phase. Natural bentonite as a stationary phase is activated using variations in heating temperatures (200, 300, and 400°C) and HNO₃ concentrations (0.5; 1; and 1.5N). The potential of lipase enzyme from PK1.1.2 isolate as a biodetergent additive was tested for its stability against exposure to commercial detergents and a washing test was carried out by adding olive oil to the fabric.

Based on the results of the study, the relative activity of crude extract enzymes and purification results with non-activated bentonite elutions 1, 2 and 3 were 58%, 83%, 40% and 88% respectively with %ω only 18-52% under control (60%) so it was not qualified as a biodetergent additive. Meanwhile, the purified enzyme with activated natural bentonite is qualified as a biodetergent additive with a relative activity of 81-98.8% and %ω 63-93% above the control (60%). The highest relative activity represents the optimum ability of natural bentonite as an ion exchanger, which is when activated at a temperature of 400°C and a concentration of 0.5N.

Keywords: bentonite, activation, biodetergent, lipase, ion exchange chromatography

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Deterjen sebagai produk pembersih noda pakaian yang sering digunakan mengandung surfaktan anionik dengan gugus alkil atau garam sulfonat atau sulfat rantai panjang dari natrium yang berasal dari derivat minyak nabati atau minyak bumi yang stabil dalam air dan memiliki daya cuci yang baik (Rahimah, *et al.*, 2016). Akan tetapi, limbah hasil pencucian deterjen yang mengandung salah satu jenis surfaktan anionik seperti *Alkyl Benzene Sulphonate* (ABS) akan menyebabkan terbentuknya buih pada permukaan air sehingga menimbulkan pencemaran lingkungan dan rusaknya ekosistem karena sulit didegradasi oleh alam (Apriyani, 2017).

Biodeterjen dengan bahan aditif lipase menjadi salah satu alternatif deterjen yang lebih bersifat *biodegradable* dan ramah lingkungan karena tidak meninggalkan residu dan mudah terurai secara alami di lingkungan (Layly dan Wiguna, 2016). Hal ini dikarenakan enzim lipase mampu mengkatalis reaksi transesterifikasi, esterifikasi dan mengkatalis reaksi hidrolisis trigliserida menjadi asam lemak bebas dan gliserol (Winarno, 1989). Namun, kemampuan enzim lipase dalam menghidrolisis trigliserida dalam keadaan ekstrak kasar tidak lebih baik dibandingkan dengan setelah pemurnian, sehingga enzim lipase perlu dimurnikan untuk meningkatkan kemampuan dan aktivitasnya (Aisyah, *et al.*, 2021).

Pemurnian enzim lipase dapat dilakukan dengan berbagai metode salah satunya adalah menggunakan kromatografi penukar ion yang dapat memisahkan molekul protein lipase dari zat pengotor berdasarkan muatan ion-ionnya. Kromatografi penukar ion dipilih karena waktu pemisahan yang relatif singkat dan dapat dilakukan menggunakan kolom kation atau anion yang disesuaikan dengan sampel serta tidak mempengaruhi kestabilan material penyusun kolom (Nurikasari, 2012). Fasa diam dalam kromatografi penukar ion harus dapat menukarkan ion secara timbal balik dengan kation dan anion yang dibawa oleh fasa gerak seperti resin amberlite IR 400 CL dan amberlite IRA-400 (Nurikasari, 2012; Ledo, *et al.*, 2017). Namun, penggunaan dua jenis fasa diam tersebut memerlukan biaya yang tinggi dan sulit ditemukan sehingga diperlukan jenis fasa diam dengan biaya yang rendah, ketersediaan luas dan mudah digunakan (Oktavia, *et al.*, 2015).

Bentonit alam dapat digunakan sebagai fasa diam karena memiliki kapasitas penukar ion yang baik dan mampu mengakomodasi kation dalam jumlah yang besar dalam lapisan *inter-layer*-nya (Siregar dan Irma, 2016). Selain itu, pemilihan bentonit alam sebagai fasa diam karena memiliki harga ekonomis, mudah diperoleh, dan memiliki sifat tahanan jenis yang sangat rendah serta stabil (Andini, *et al.*, 2016). Hal ini juga diketahui bahwa bentonit alam dalam keadaan alami memiliki kapasitas serap yang sangat terbatas sehingga diperlukan modifikasi untuk meningkatkan kemampuan tersebut (Siregar dan Irma, 2016).

Kelemahan tersebut dapat diatasi dengan proses aktivasi sehingga menghasilkan bentonit alam dengan kapasitas penukar ion yang tinggi. Aktivasi

dilakukan sebagai upaya peningkatan kemampuan bentonit alam sebagai fasa diam pada metode kromatografi penukar ion (Siregar dan Irma, 2016). Tujuan bentonit alam diaktivasi adalah memperbesar pori sehingga bentonit alam mengalami perubahan fisik atau kimia. Aktivasi secara fisika dilakukan dengan bantuan panas, gas, dan uap, sedangkan secara kimia dengan bantuan aktivator asam atau basa (Andini, *et al.*, 2016).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan lipase sebagai bahan aditif yang sesuai dengan kebutuhan industri deterjen. Lipase diperoleh melalui pemurnian menggunakan kromatografi penukar ion dengan bentonit alam sebagai fasa diam seperti penelitian yang telah dilakukan sebelumnya namun dengan bentonit alam yang digunakan telah diaktivasi secara kimia dan fisika.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini meliputi,

1. Bentonit alam yang digunakan berasal dari Pacitan.
2. Pengujian potensi lipase sebagai bahan aditif biodeterjen dilakukan dengan uji stabilitas aktivitas enzim dan *washing test* dengan modifikasi merek deterjen Rinso.

C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini meliputi,

1. Bagaimana pengaruh variasi suhu dan konsentrasi asam pada aktivasi bentonit alam terhadap aktivitas relatif enzim lipase setelah dimurnikan?

2. Bagaimana pengaruh variasi suhu dan konsentrasi asam terhadap kemampuan bentonit alam sebagai fasa diam menggunakan kromatografi penukar ion?

D. Tujuan

Tujuan dalam penelitian ini meliputi,

1. Menentukan aktivitas relatif enzim lipase sebelum dan setelah pemurnian menggunakan metode kromatografi penukar ion.
2. Menentukan kemampuan optimum bentonit alam sebagai fasa diam berdasarkan aktivitas relatif enzim lipase setelah pemurnian menggunakan kromatografi penukar ion.

E. Manfaat

Manfaat dalam penelitian ini meliputi,

1. Memberikan informasi mengenai proses pemurnian enzim lipase menggunakan metode kromatografi penukar ion.
2. Memberikan informasi terkait suhu pemanasan dan konsentrasi asam optimum pada pemurnian enzim lipase melalui metode kromatografi penukar ion dengan bentonit alam sebagai fasa diam.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa,

1. Lipase dari hasil pemurnian menggunakan bentonit alam teraktivasi sebagai fasa diam memenuhi syarat sebagai bahan aditif biodeterjen. Persentase minyak yang hilang di atas kontrol dan aktivitas relatif lipase hasil pemurnian bentonit teraktivasi di atas 70%, sedangkan lipase ekstrak kasar dan hasil pemurnian dengan bentonit tidak teraktivasi tidak dapat menjadi bahan aditif biodeterjen karena tidak memenuhi syarat dengan persentase minyak yang hilang di bawah kontrol dan aktivitas relatif di bawah 70%.
2. Aktivasi fisik dan kimia mempengaruhi kemampuan adsorpsi dan penukar ion dari bentonit. Kemampuan optimum bentonit sebagai penukar ion saat diaktivasi HNO_3 konsentrasi 0,5 N dan suhu pemanasan 400°C dengan nilai aktivitas relatif lipase yang diperoleh sebesar 98,8%

B. Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya,

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai karakterisasi bentonit alam agar diketahui struktur dan morfologi bentonit sebelum dan sesudah diaktivasi.

2. Perlu dilakukan pemurnian dengan jenis isolat penghasil enzim lipase yang variatif agar dapat mengetahui isolat penghasil enzim lipase dengan aktivitas lipase tertinggi sebagai salah satu bahan aditif biodeterjen.
3. Perlu dilakukan variasi detergen komersial yang digunakan pada uji stabilitas aktivitas enzim dan *washing test* agar dapat mengetahui aktivitas lipase yang lebih spesifik.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah, A., Trismilah, Mangunwardoyo, W. dan Suhendar, D., 2021. Production and Characterisation Partial Lipase of *Bacillus halodurans* Cm1 Mutant for Biodetergen. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research B, Biological Sciences*, 64(1), pp. 87-93.
- Al-Zahrani, A. A., Al-Shahrani, S. S. dan Al-Tawil, Y. A., 2001. Study on the Activation of Saudi Natural Bentonite, Part II, Characterization of the Produced Active Clay and Its Test as an Adsorbing Agent. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 13(2), pp. 193-203.
- Amalia, L., 2022. Studi Potensi Lipase Dari Bakteri Pada Limbah Cair Virgin Coconut Oil (VCO) Sebagai Salah Satu Komponen Aditif Biodeterjen. Skripsi ed. Yogyakarta, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.
- Amara, A. A., Salem, S. R. dan Shabeb, M. S., 2009. The Possibility to Use Bacterial Protease and Lipase as Biodetergent. *Global Journal of Biotechnology dan Biochemistry*, 4(2), pp. 104-114.
- Amir, 2021. Isolasi Lipase dari Bakteri Pada Limbah Cair Rumah Pemotongan Hewan (RPH) dan Potensinya Sebagai Bahan Aditif Biodeterjen. Skripsi ed. Yogyakarta, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.
- Andini, D., Martin, Y. dan Gusmedi, H., 2016. Perbaikan Tahanan Pentanahan dengan Menggunakan Bentonit Teraktivasi. *ELECTRICIAN - Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, 10(1), pp. 44-53.
- Apriyani, N., 2017. Penurunan Kadar Surfaktan Dan Sulfat Dalam Limbah Laundry. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 2(1), pp. 37-44.
- Arini, D., Arnelli & Suseno, A., 2008. Pengaruh Penambahan Karboksimetil Selulosa dan Buffer pada Detergensi Surfaktan Hasil Sublasi Limbah Cair Cucian. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 11(3), pp. 78-83.
- Bajpai, D. dan Tyagi, V. K., 2007. Laundry Detergents , An Overview. *Journal of Oleo Science*, 56(7).
- Basset, J, 1994. Buku Ajar Vogel Kimia Analisis Kuantitatif Anorganik. Alih Bahasa Pudjaatmaka. H.A. dan Setiono. L ed. Jakarta, Buku Kedokteran EGC.
- Bintang, M., 2010. Biokimia, Teknik Penelitian. Jakarta, Erlangga.
- Cherif, S. et al., 2011. A Newly High Alkaline Lipase , An Ideal Choice for Application in Detergent Formulations. *Lipids in Health and Disease*, 10(221).
- Christidis, G. E., Scott, P. W. dan Dunham, A. C., 1997. Acid Activation and Bleaching Capacity of Bentonites From the Islands of Milos and Chios, Aegean, Greece. *Applied Clay Science*, Volume 12, pp. 329-347.
- Djarkasi, G. S. S., Raharjo, S. dan Noor, Z., 2017. Isolasi dan Aktivitas Spesifik Enzim Lipase Indigenous Biji Kenari. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 8(1), pp. 28-35.

- Dong, H. et al., 2013. Comparative Study on Lipase Immobilized onto Bentonite and Modified Bentonites and Their Catalytic Properties. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, pp. 1-35.
- Dosanji, N. S. dan Kaur, J., 2002. Immobilization, Stability, and Esterification Studies of a Lipase from *Bacillus* sp.. *Journal Biotechnology and Applied Biochemistry*, Volume 36, pp. 7-12.
- Grbavčić, S. et al., 2011. Production of Lipase and Protease from An Indigenous *Pseudomonas aeruginosa* Strain and Their Evaluation as Detergent Additives, Compatibility Study with Detergent Ingredients and Washing Performance. *Bioresour Technol*, Volume 102, pp. 11226-11233.
- Gusnadi, B., Putri, I. A., Mulia dan Irdawati, 2021. Potensi Enzim Protease Yang Dihasilkan Oleh *Bacillus subtilis* Sebagai Produk Biodeterjen. *Prosiding Semnas Bio 2021*, pp. 1066-1069.
- Hasan, F., Shah, A. A., Javed, S. dan Hameed, A., 2010. Enzymes Used in Detergents, Lipases. *African Journal of Biotechnology*, 9(31), pp. 4836-4844.
- Hidayat, C., Darmasiwi, S., Nurikasari, M. dan Cahyanto, M. N., 2015. Characterization of *Aspergillus Niger* 65i6 Lipase From Solid-State Fermentation Using *Jatropha* Seed Cake Medium. *Indonesian Journal of Biotechnology*, 20(2), pp. 108-116.
- Hymore, F. K., 1996. Effects of Some Additives on The Performance of Acid-Activated Clays in The Bleaching of Palm Oil. *Applied Clay Science*, Volume 10, pp. 379-385.
- Inala, C. N., 2021. Studi Potensi Lipase dari Bakteri Sebagai Salah Satu Komponen Penusun Biodeterjen. Skripsi ed. Yogyakarta, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.
- Jaeger, K. E., Dijkstra, B. W. & Reetz, M. T., 1999. Bacterial Biocatalysts: Molecular Biology, Three-Dimensional Structures, and Biotechnological Applications of Lipases. *Annual Review of Microbiology*, 53(1), pp. 315-351.
- Kamble, R. D. dan Jadhav, A. R., 2012. Isolation, Purification, and Characterization of Xylanase Produced by a New Species of *Bacillus* in Solid State Fermentation. *International Journal of Microbiology*.
- Kasipah, C., Rismayani, S., Ihsanawati dan Nurachman, Z., 2013. Isolasi Dan Karakterisasi Bakteri Penghasil Enzim Lipase Ekstraseluler Dari Lumpur Aktif Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil. *Jurnal Ilmiah Arena Tekstil*, 28(1), pp. 1-46.
- Kusuma, H. R., Putra, A. A. B. dan Suarya, P., 2023. Pemanfaatan Bentonit Teraktivasi H₂SO₄ Sebagai Carrier Unsur Nitrogen Dalam Pembuatan Slow Release Fertilizer Terlapisi Amonium Sulfat. *Jurnal Kimia*, 17(1), pp. 103-110.
- Kwon, D. Y. dan Rhee, J. S., 1986. A Simple and Rapid Colorimetric Method for Determination of Free Fatty Acids for Lipase Assay. *Technical*, 63(1), pp. 89-92.
- Lathifah, T., Yuliani, N. dan PKW, G. A., 2019. Bentonit Teraktivasi Asam Sulfat Sebagai Adsorben Dalam Pemurnian Pelumas Bekas. *Jurnal Sains Natural Universitas Nusa Bangsa*, 9(1), pp. 1-10.

- Layly, I. R. dan Wiguna, N. O., 2016. Studi Potensi Lipase *Alcaligenes Faecalis* Untuk Aplikasi Biodeterjen. *Bioteknologi dan Biosains Indonesia*, 3(2), pp. 66-71.
- Ledo, M. E. S., Solle, H. R. L. dan Nitsae, M., 2017. Purifikasi Lipase *Aspergillus niger* M1407 Indegenus Menggunakan Kromatografi Pertukaran Ion. *Biota*, 2(3), pp. 82-88.
- Lestari, I. P., Mahatmanti, F. W. dan Haryani, S., 2016. Efektivitas Bentonit Teraktivasi Sebagai Penurun Kadar Ion Fosfat Dalam Perairan. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 5(2), pp. 136-141.
- Lin, S.-F., Lee, J.-C. & Chiou, C.-M., 1996. Purification and Characterization of a Lipase from *Neurospora* sp. TT-241. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 73(6), pp. 739-745.
- Li, X. L., Shi, Y., Zhang, W. H. dan Dai, Y. J., 2014. A High-Detergent-Performance, Cold-Adapted Lipase from *Pseudomonas stutzeri* PS59 Suitable for Detergent Formulation. *Journal of Molecular Catalysis B, Enzymatic*, 102(2), pp. 16-24.
- Mahmudha, S. dan Nugraha, I., 2016. Pengaruh Penggunaan Bentonit Teraktivasi Asam Sebagai Katalis Terhadap Peningkatan Kandungan Senyawa Isopulegol Pada Minyak Sereh Wangi Kabupaten Gayo Lues-Aceh. *Chimica et Natura Acta*, 4(3), pp. 123-129.
- Mustafa, A., Karmali, A. dan Abdelmoez, W., 2016. A Sensitive Microplate Assay for Lipase Activity Measurent Using Olive Oil Emulsion Substrate, Modification of the Copper Soap Calorimetric Method. *Journal of Oleo Science*, 65(9), pp. 775-784.
- Nafsiyah, N., Shofiyani, A. dan Syahbanu, I., 2017. Studi Kinetika dan Isoterm Adsorpsi Fe (III) Pada Bentonit Teraktivasi Asam Sulfat. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 6(1), pp. 57-63.
- Nasution, U. J. et al., 2018. Pemurnian Enzim Sefalosporin-C Asilase dan Optimasi Proses Kromatografi Penukar Ion. *Bioteknologi dan Biosains Indonesia*, 5(2), pp. 119-126.
- Nugraha, M. S., Mahatmanti, F. W. dan Sulistyaningsih, T., 2017. Pemanfaatan Bentonit Teraktivasi HCl sebagai Adsorben Ion Logam Cd(II). *Indonesian Journal of Chemical Science*, 6(3), pp. 196-201.
- Nugrahaningtyas, K. D., Widjonarko, D. M., Daryani & Haryanti, Y., 2016. Kajian Aktivasi H₂SO₄ Terhadap Proses Pemiliran Al₂O₃ Pada Lempung Alam Pacitan. *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia*, 12(2), pp. 190-203.
- Nurikasari, M., 2012. Optimasi Kondisi Purifikasi Parsial Lipase *Aspergillus niger* 6516 Solid State Fermentation (SSF) Pada Medium Bungkil Jarak Sebagai Sumber Belajar Pengantar Mikrobiologi. *Bioedukasi*, 3(2).
- Oboh, A. O. dan Aworh, O. C., 1988. Laboratory Trials on Bleaching Palm Oil with Selected Acid-Activated Nigerian Clays. *Food Chemistry*, Volume 27, pp. 311-317.
- Oktavia, B., 2010. Penggunaan Zeolit 4A Yang Telah Dimodifikasi Dengan CTAC Sebagai Fasa Diam Pada Kromatografi Penukar Anion. *Eksakta*, Volume 2, pp. 9-16.
- Olsen, H. S. dan Per, F., 1998. The Role of Enzymes in Modern Detergency. *Journal of Surfactant and Detergents*, 1(4).

- Padmapriya, B. et al., 2011. Production of Lipase Enzyme from *Lactobacillus* spp. and Its Application in the Degradation of Meat. *World Applied Sciences Journal*, 12(10), pp. 1798-1802.
- Palmer, T. dan Bonner, P. L., 2007. Enzymes, Biochemistry, Biotechnology and Clinical Chemistry. Second ed. Cambridge, Woodhead Publishing Limited.
- Poedjiadi, A. & Supriyanti, T., 2012. Dasar-Dasar Biokimia. Jakarta: UI-Press.
- Pramiadi, D., Yulianti, E. dan Rakhmawati, A., 2014. Isolasi Dan Uji Aktivitas Enzim Lipase Termotabil Dari Bakteri Termofilik Pasca Erupsi Merapi. *Jurnal Sains Dasar*, 3(1), pp. 9-19.
- Rahimah, Z., Heldawati, H. dan Syauqiah, I., 2016. Pengolahan Limbah Deterjen Dengan Metode Koagulasi-Flokulasi Menggunakan Koagulan Kapur dan PAC. *Konversi*, 5(2), pp. 13-19.
- Reis, P. et al., 2009. Lipases at Interfaces: A Review. *Advances in Colloid and Interface Science*, pp. 237-250.
- Ribeiro, B. D., de Castro, A. M., Coelho, M. A. Z. & Freire, D. M. G., 2011. Production and Use of Lipase in Bioenergy: A Review: The Feedstock to Biodiesel Production. *Enzyme Research*, pp. 1-16.
- Robinson, P. K., 2015. Enzymes, Principles and Biotechnological Applications. *Essays in Biochemistry*, Volume 59, pp. 1-41.
- Roe, S., 1999. Protein Purification Techniques. 2 ed. Oxford, Technology plc.
- Rokhati, N. dan Prasetyaningrum, A., 2004. Adsorpsi Logam Berat Limbah Cair Industri Kerajinan Kuningan Juana Menggunakan Campuran Bentonit dan Abu Sekam Padi. *Reaktor*, 8(1), pp. 29-32.
- Roosdiana, A., Setianingsih, T., Mardiana, D. & Suratmo, 2009. Characterization of Immobilized Lipase in Aluminosilicate for Lactosyl Palmitate Synthesis. *Indo. J. Chem*, 9(2), pp. 201-205.
- Rumiyati, V. S. P. & Indrati, R., 1999. Aktivitas Enzim Lipase Alkali dari Bakteri dalam Surfaktan. *Majalah Kulit, Karet, dan Plastik*, 14(26), pp. 84-94.
- Sedijani, P., Khovia, N., Rasmi, D. A. C. dan Kusmiyati, 2023. Fungal Crude Lipase Enzyme Produced Using The SSF (Solid State Fermentation) Method Increase The Washing Test Performance. *Jurnal Biologi Tropis*, 23(1), pp. 140-147.
- Sirait, M., 2018. Monograf Polyvinyl Alkohol dan Campuran Bentonit. Medan: Lembaga Penelitian Unimed.
- Siregar, S. H. dan Irma, W., 2016. Sintesis dan Perbandingan Struktur, Tekstur Bentonit Alam dan Bentonit Teraktivasi Asam. *Jurnal Photon*, 7(1), pp. 137-140.
- Soeka, Y. S., 2015. Kemampuan *Bacillus licheniformis* Dalam Menghasilkan Enzim amilase. *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon*, 1(5), pp. 1162-1166.
- Sulistyaningsih, E., 2016. Efisiensi Pelunakan Air Sadah Menggunakan Bentonit Teraktivasi Dengan Metode Pertukaran Ion. *Symposium Nasional RAPI XV*, pp. 240-245.

- Tang, A. et al., 2018. Immobilization of *Candida cylindracea* Lipase by Covalent Attachment on Glu-Modified Bentonite. *Appl Biochem Biotechnol*.
- Wang, Y., Srivastava, K. C., Shen, G.-J. dan Wang, H. Y., 1995. Thermostable Alkaline Lipase From A Newly Isolated Thermophilic *Bacillus*, Strain A30-1 (ATCC 53841). *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 79(5), pp. 433-438.
- Widihati, I. A. G., 2008. Adsorpsi Anion Cr(VI) Oleh Batu Pasir Teraktivasi Asam dan Tersalut Fe₂O₃. *Jurnal Kimia*, 2(1), pp. 25-30.
- Wijayati, N., Astutiningsih, C. dan Mulyati, S., 2016. Transformasi α -Pinena dengan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 25923. *Biosaintifika*, 6(1), pp. 24-28.
- Xia, J., Chen, X. & Nnanna, I. A., 1996. Activity and Stability of *Penicillium cyclopium* Lipase in Surfactant and Dertegent Solutions. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 73(1), pp. 115-120.
- Yenti, Silvia Reni; Akbar , Fajril; Taufilk, Affandry, 2013. Pengaruh Temperatur Kalsinasi Kaolin Untuk Bahan Pembentuk Zeolit A. *Jurnal Teknobiologi*, IV(2), pp. 113-116.
- Yu, Y. C., Huang, Y. C. dan Lee, T. Y., 1998. Purification of Antibodies from Protein Mixtures and Mouse Ascites Fluid Using Zeolite X. *Biotechnol*, Volume 14, pp. 332-337.
- Zheng, Y. Y., Guo, X. H., Song, N. N. dan Li, D. C., 2011. Thermophilic Lipase from *Thermomyces Lanuginosus*, Gene Cloning, Expression and Characterization. *Journal of Molecular Catalysis B, Enzymatic*, Volume 69, pp. 127-132.