

ISOLASI DAN KARAKTERISASI BAKTERI LIGNINOLITIK ASAL TANDAN SAWIT SEBAGAI KANDIDAT AGEN BIOKONVERSI PAKAN RUMINANSIA

HIKMAH AGUSTINA PARASTIWI



**PROGRAM STUDI BIOTEKNOLOGI
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Ligninolitik Asal Tandan Sawit sebagai Kandidat Agen Biokonversi Pakan Ruminansia” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2026

Hikmah Agustina Parastiwi
P0501231011



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RINGKASAN

HIKMAH AGUSTINA PARASTIWI. Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Ligninolitik Asal Tandan Sawit sebagai Kandidat Agen Biokonversi Pakan Ruminansia. Dibimbing oleh PRAYOGA SURYADARMA, ANURAGA JAYANEGARA, dan WINDU NEGARA.

Limbah biomassa perkebunan sawit seperti tandan kosong kelapa sawit (TKKS) melimpah tetapi belum dimanfaatkan secara optimal. TKKS mengandung komponen lignoselulosa berupa selulosa dan hemiselulosa yang bermanfaat sebagai nutrisi bagi ternak tetapi tingginya kandungan lignin menyebabkan pencernaan rendah, sehingga perlu dilakukan pengolahan. Berbagai metode pengolahan telah digunakan untuk meningkatkan kualitas TKKS, seperti perlakuan fisik, kimia, dan kombinasi keduanya. Metode tersebut umumnya memerlukan biaya tinggi, energi besar, dan menghasilkan limbah berbahaya. Pendekatan biologis melalui pemanfaatan mikroba penghasil enzim ligninolitik menjadi alternatif yang lebih ramah lingkungan dan efisien. Mikroba dari lingkungan perkebunan sawit diketahui memiliki potensi dalam mendegradasi TKKS. Namun eksplorasi terhadap mikroba dari tandan buah yang tidak mengalami proses termal belum banyak dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan: (i) mengisolasi dan menyeleksi bakteri ligninolitik asal tandan sawit lapuk, (ii) mengidentifikasi isolat bakteri terpilih, (iii) menganalisis hasil aplikasi *pretreatment* biologis isolat bakteri ligninolitik terpilih pada TKKS.

Tahap awal penelitian yaitu dilakukan isolasi bakteri ligninolitik dari tandan sawit lapuk alami pada media nutrisi agar (NA), seleksi kualitatif pada media lignin agar (LgA) dan media luria bertani (LB) agar mengandung 0,1% *guaiacol* (G-M) dan 0,01% *aniline blue* (AB-M) untuk menguji potensi isolat bakteri menghasilkan enzim ligninolitik. Seleksi kuantitatif dilakukan pada *mineral salt medium* mengandung lignin (MSM-Lg) 1g/L dan diamati nilai dekolorisasi (λ 465 nm) serta degradasi (λ 280 nm) lignin menggunakan spektrofotometer. Selain itu dilakukan uji aktivitas enzim lakase (Lac), lignin peroksidase (LiP), mangan peroksidase (MnP), dan *lytic polysaccharide monooxygenase* (LPMO). Sebanyak 20 isolat bakteri didapatkan dari proses isolasi. Proses seleksi kualitatif dan kuantitatif menghasilkan 5 isolat bakteri (OFB471, OFB545, OFB413, OFB412, dan OFB111) yang memiliki potensi tinggi dalam mendegradasi lignin. Pengukuran kapasitas degradasi lignin dan aktivitas enzim LiP, MnP, Lac, dan LPMO terbaik ditunjukkan oleh isolat OFB412 dengan nilai dekolorisasi lignin (52,27%), degradasi lignin (44,02%), dan aktivitas enzim LiP, MnP, Lac, LPMO secara berturut-turut (10,386 U/mL, 0,081 U/mL, 0,064 U/mL, dan 0,857 U/mL).

Identifikasi isolat terbaik OFB412 secara morfologi menunjukkan koloni berbentuk bundar dengan permukaan cembung, tepi rata, berwarna krem kekuningan, dan bertekstur halus. Hasil uji gram memperlihatkan warna ungu yang menandakan bakteri gram positif. Hasil identifikasi molekuler isolat OFB412 berdasarkan gen 16S rRNA memiliki kemiripan dengan *Lysinibacillus xylanilyticus* ON221880.1 dengan *percent identity* sebesar 99,49%. Pengamatan laju pertumbuhan OFB412 menunjukkan fase lag terjadi pada jam ke-0 hingga ke-3, fase eksponensial berlangsung hingga jam ke-18, dan setelah jam ke-18 memasuki

fase stasioner. *Time-study* degradasi lignin menunjukkan peningkatan tajam degradasi lignin setelah jam ke-18 ketika bakteri memasuki fase stasioner.

Aplikasi *pretreatment* TKKS secara biologis dilakukan menggunakan isolat OFB412 (P1) dengan menyertakan konsorsium OFB412+OFB413 (P2) dan OFB412+OFB111 (P3), serta kontrol tanpa inokulan (P0). Hasil pengamatan fisik TKKS menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM) menunjukkan adanya perubahan struktur permukaan serat TKKS lebih longgar, matriks serat tampak mulai terurai, dan hilangnya badan silika pada P1, P2, dan P3 sedangkan struktur serat tampak kaku dan padat pada P0. Kandungan fraksi serat *neutral detergent fiber* (NDF), *acid detergent fiber* (ADF), hemiselulosa, dan selulosa menurun signifikan pada P1 dan P3, diikuti P2 dibandingkan kontrol P0 ($p < 0,05$). Sementara itu, kandungan lignin P1 dan P3 menurun secara signifikan dibandingkan P0, tetapi kandungan lignin P2 tidak berbeda nyata dengan P0 ($p < 0,05$). Kecernaan bahan kering (KCBK), kecernaan bahan organik (KCB0), kecernaan fraksi serat NDF dan ADF (KCNDf, KNADF), dan kecernaan lignin (KCL) meningkat secara signifikan pada P1, P2,P3 dibandingkan kontrol P0 ($p < 0,05$). Meskipun kandungan lignin P2 tidak berbeda nyata dengan kontrol , adanya kerusakan fisik serat akibat aktivitas bakteri mampu mengoptimalkan aksesibilitas mikroba rumen terhadap sumber pakan sehingga meningkatkan kecernaannya. Berdasarkan hal tersebut, isolat OFB412 merupakan bakteri ligninolitik yang memiliki aktivitas enzim LiP, MnP, Lac, serta LPMO, dan dapat diaplikasikan sebagai *biotreatment* untuk meningkatkan kualitas TKKS sebagai pakan ternak.

Kata kunci: degradasi lignin, enzim ligninolitik, isolasi bakteri, perlakuan biologi, tandan kosong sawit

SUMMARY

HIKMAH AGUSTINA PARASTIWI. Isolation and Characterization of Ligninolytic Bacteria from Oil Palm Fruit Bunches as Potential Bioconversion Agents for Ruminant Feed. Supervised by PRAYOGA SURYADARMA, ANURAGA JAYANEGARA, and WINDU NEGARA.

Oil palm plantation biomass waste, particularly oil palm empty fruit bunches (OPEFB), is abundantly available but remains underutilized. OPEFB contains lignocellulosic components such as cellulose and hemicellulose that are potentially valuable as ruminant feed; however, its high lignin content limits digestibility, underscoring the need for appropriate pretreatment. Various physical and chemical pretreatment methods have been applied to improve OPEFB quality, yet these approaches are often costly and energy-intensive, and they generate hazardous residues. Biological pretreatment using ligninolytic enzyme-producing microorganisms represents a more environmentally friendly and efficient alternative. Microorganisms originating from oil palm plantation environments are known to possess lignin-degrading capabilities; nevertheless, exploration of microbes derived from non-thermally processed oil palm fruit bunches remains limited. Therefore, this study aimed to (i) isolate and screen ligninolytic bacteria from naturally decayed oil palm fruit bunches, (ii) identify selected bacterial isolates, and (iii) evaluate the effectiveness of selected ligninolytic bacterial isolates as biological pretreatment agents for OPEFB.

Ligninolytic bacteria were isolated from naturally decayed oil palm fruit bunches using nutrient agar (NA). Qualitative screening was conducted on lignin agar (LgA) and Luria–Bertani agar supplemented with 0.1% guaiacol and 0.01% aniline blue to assess ligninolytic enzyme production. Quantitative screening was performed in mineral salt medium containing lignin (MSM-Lg, 1 g/L). Lignin decolorization (λ 465 nm) and degradation (λ 280 nm) were measured using a spectrophotometer. Enzymatic activities of ligninase (Lac), lignin peroxidase (LiP), manganese peroxidase (MnP), and lytic polysaccharide monooxygenase (LPMO) were also evaluated. A total of 20 bacterial isolates were obtained, of which five isolates (OFB471, OFB545, OFB413, OFB412, and OFB111) exhibited high ligninolytic potential. Among these, isolate OFB412 demonstrated the highest lignin decolorization (52.27%), lignin degradation (44.02%), and enzyme activities of LiP (10.386 U/mL), MnP (0.081 U/mL), Lac (0.064 U/mL), and LPMO (0.857 U/mL).

Morphological characterization of isolate OFB412 revealed circular, convex colonies with smooth texture and a yellowish-cream color. Gram staining indicated that the isolate was Gram-positive. Molecular identification based on 16S rRNA gene sequencing showed that OFB412 is similar to *Lysinibacillus xylanilyticus* ON221880.1, with a percent identity of 99.49%. Growth curve analysis indicated a lag phase from 0 to 3 h, an exponential phase up to 18 h, followed by a stationary phase. Lignin degradation increased markedly after 18 h, coinciding with the stationary phase.

Biological pretreatment of OPEFB was conducted using isolate OFB412 alone (P1), in consortium with OFB413 (P2) and OFB111 (P3), and a non-inoculated control (P0). Scanning electron microscopy (SEM) revealed loosened

fiber structures, partial disruption of the fiber matrix, and removal of silica bodies in P1, P2, and P3, whereas intact, compact fibers were observed in P0. Neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), hemicellulose, and cellulose contents decreased significantly in P1 and P3, followed by P2, compared to P0 ($p < 0,05$). Lignin content was significantly reduced in P1 and P3 but not in P2 relative to the control. Despite this, dry matter digestibility (DMD), organic matter digestibility (OMD), fiber fraction digestibility (NDFD and ADFD), and lignin digestibility (LD) were significantly improved in all treated groups (P1, P2, and P3) compared to P0 ($p < 0,05$). The enhanced digestibility in P2 was attributed to bacterial-induced physical disruption of fiber structures, which improved ruminal microbial accessibility. Isolate OFB412, identified as *Lysinibacillus xylanilyticus*, exhibits strong ligninolytic activity through the production of LiP, MnP, Lac, and LPMO enzymes and demonstrates high potential as a biological pretreatment agent to enhance the nutritional quality of OPEFB for ruminant feed applications.

Keywords: lignin degradation, ligninolytic enzymes, bacterial isolation, biological pretreatment, oil palm empty fruit bunch

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

ISOLASI DAN KARAKTERISASI BAKTERI LIGNINOLITIK ASAL TANDAN SAWIT SEBAGAI KANDIDAT AGEN BIOKONVERSI PAKAN RUMINANSIA

HIKMAH AGUSTINA PARASTIWI

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Sains pada
Program Studi Bioteknologi

**PROGRAM STUDI BIOTEKNOLOGI
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Judul Tesis : Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Ligninolitik Asal Tandan Sawit sebagai Kandidat Agen Biokonversi Pakan Ruminansia
Nama : Hikmah Agustina Parastiwi
NIM : P0501231011

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. Prayoga Suryadarma, S.T.P., M.T.

Pembimbing 2:
Prof. Dr. Anuraga Jayanegara, S.Pt., M.Sc.

Pembimbing 3:
Dr. Windu Negara, S.Pt., M.Si.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Miftahudin, M.Si.
NIP 196204191989031001

Dekan Sekolah Pascasarjana:
Prof. Dr. Ir. Yusli Wardiatno, M.Sc.
NIP 196607281991031002



Tanggal Ujian: 13 Agustus 2026

Tanggal Lulus: 14 AUG 2026



Dokumen ini ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat dan BSR-E, silahkan lakukan verifikasi pada dokumen elektronik yang dapat diunduh dengan melakukan scan QR Code

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanaahu wa ta'ala* atas segala nikmat dan karunia-Nya sehingga tugas akhir tesis ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Juni 2024 sampai bulan Agustus 2025 ini ialah Bioteknologi Industri, dengan judul “Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Ligninolitik Asal Tandan Sawit sebagai Kandidat Agen Biokonversi Pakan Ruminansia”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Dr. Prayoga Suryadarma, MT, Prof. Dr. Anuraga Jayanegara, S.Pt., M.Sc, dan Dr. Windu Negara, S.Pt., M.Si yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada moderator dan penguji luar komisi pembimbing. Penulis juga berterima kasih kepada Kementerian Keuangan Republik Indonesia (Kemenkeu RI) melalui Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) atas dukungan pendanaan selama menjalankan studi.

Penghargaan penulis sampaikan kepada Bapak Yuda, Ibu Tri, Ibu Khadijah, Mba Ira, Bu Lastri, serta teman-teman LAPTIBAB atas bantuan teknis serta dukungan analitis selama proses riset dan penyusunan tesis. Ucapan terimakasih juga penulis sampaikan kepada Bu Pepi, Bu Emi, Mba Wija, Mba Atika, serta teman-teman di Laboratorium Rekayasa Bioproses untuk dukungan dan masukan selama penelitian berlangsung. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Dini, Mba Riris, Mba Ezi, Hanan, dan teman-teman yang tidak dapat disebutkan satu per satu, atas dukungan dan bantuan sepanjang pelaksanaan penelitian dan penulisan tesis ini.

Ungkapan terima kasih yang mendalam penulis persembahkan kepada suami tercinta Abdul Wakhid Shodiq atas dukungan moral, doa, kesabaran, serta keterlibatan dan bantuan nyata dalam menunjang kelancaran pelaksanaan penelitian hingga penyusunan karya ilmiah ini. Terima kasih tulus juga penulis sampaikan kepada Ibu, Ayah, Biyung, Rama serta saudara-saudara yang menjadi sumber doa dan penyemangat hingga studi ini terselesaikan.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2026

Hikmah Agustina Parastiwi



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Ruang Lingkup	2
II METODE	3
2.1 Waktu dan Tempat Penelitian	3
2.2 Bagan Alur Rencana Penelitian	3
2.3 Alat dan Bahan	4
2.4 Prosedur Penelitian	4
2.4.1 Isolasi dan Seleksi Bakteri	4
2.4.2 Seleksi Kualitatif Bakteri Ligninolitik	4
2.4.3 Seleksi Kuantitatif Bakteri Ligninolitik	4
2.4.4 Uji Aktivitas Enzim Ligninolitik	5
2.4.5 <i>Time Profile</i> Biodegradasi	6
2.4.6 Identifikasi Morfologi dan Molekuler	7
2.4.7 Aplikasi Isolat Bakteri pada TKKS	7
2.4.8 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) TKKS	7
2.4.9 Analisis Fraksi Serat TKKS Perlakuan	8
2.4.10 Uji Kecernaan <i>In Vitro</i>	8
2.5 Analisis data	10
III HASIL DAN PEMBAHASAN	11
3.1 Profil Bakteri asal Tandan Sawit dan Uji Hemolisis	11
3.2 Aktivitas Ligninolitik pada Media Agar-Agar Selektif	12
3.3 Kapasitas Dekolorisasi Isolat Bakteri	13
3.4 Kapasitas Degradasi Lignin dan Aktivitas Enzimatis	14
3.5 Identifikasi Morfologi dan Molekuler Isolat OFB412	17
3.6 Laju Pertumbuhan dan <i>Time Study</i> Degradasi Lignin	18
3.7 Profil SEM TKKS Hasil Aplikasi Isolat OFB412	19
3.8 Komposisi Fraksi Serat TKKS Pretreatment	21
3.9 Nilai Kecernaan TKKS Pretreatment	22
IV SIMPULAN DAN SARAN	25
4.1 Simpulan	25
4.2 Saran	25
DAFTAR PUSTAKA	27
LAMPIRAN	33



DAFTAR TABEL

1	Profil pertumbuhan isolat bakteri dari tandan sawit pada media LgA dan pengujian hemolisis	11
2	Hasil uji pada media <i>aniline blue</i> dan <i>guaiacol</i>	12
3	Persentase dekolorisasi dan degradasi lignin serta aktivitas enzimatis (LiP, MnP, Lac, dan LPMO) dari isolat bakteri terpilih setelah 5 hari inkubasi	15
4	Komposisi fraksi serat TKKS hasil <i>pretreatment</i> biologis dalam %BK	21
5	Nilai pencernaan bahan kering, pencernaan bahan organik, dan pencernaan fraksi serat TKKS hasil <i>pretreatment</i> biologis	23

DAFTAR GAMBAR

1	Skema tahapan penelitian	3
2	Persentase dekolorisasi lignin oleh 10 isolat bakteri	13
3	Pertumbuhan sel (OD ₆₀₀) dan pH akhir dari 10 isolat bakteri setelah 5 hari inkubasi	14
4	Karakterisasi morfologi dan molekuler isolat OFB412	17
5	<i>Time study</i> degradasi lignin	19
6	Citra SEM TKKS pada perbesaran 2.000×	20

DAFTAR LAMPIRAN

1	Lampiran 1 Prosedur pengujian fraksi serat	34
2	Lampiran 2 Klirens etik penggunaan dan pemeliharaan hewan BRIN	36
3	Lampiran 3 Kandungan bahan kering dan bahan organik sampel pakan perlakuan, serta proporsi fraksi serat setelah uji <i>in vitro</i>	37