ISSN : 2621 - 1475

Ekstraksi Enzim Limbah Ikan untuk Biodegradasi Limbah Jerami Padi sebagai Media Tanam Alternatif

Enzyme Extraction from Fish Waste for the Biodegradasi of Rice Straw Waste as an Alternative Planting Medium

Widya Utami[1*], Femiliani Novitasari[1], Sadly Ashari[2]

[1]Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Universitas Muhammadiyah Mamuju, Sulawesi Barat, Indonesia.
[2]Program Studi Agribisnis, Universitas Muhammadiyah Mamuju, Sulawesi Barat, Indonesia.

Corresponding author*): widyanur129@gmail.com

Cara sitasi: Utami, W., Novitasari, F., & Ashari, S. (2026). Ekstraksi enzim limbah ikan untuk biodegradasi limbah jerami padi sebagai media tanam alternatif. *Jurnal Fish Protech, 9*(1): 96-105.

ABSTRACT

Agricultural and fishery wastes, such as rice straw and fish waste, are among the largest sources of waste in Indonesia. Rice straw is often burned by farmers, leading to air pollution and soil degradation. This study aims to determine the effect of enzyme concentration on the biodegradation process of rice straw and the effectiveness of the resulting biodegradated material as a growing medium for Chinese cabbage as an environmentally friendly waste management solution. The study was conducted with three enzyme concentration treatments—10%, 20%, and 30%—each incubated for 21 days with two replicates. The parameters observed included cellulose, hemicellulose, and lignin content, as well as plant growth tests (plant height, number of leaves, root length, fresh weight, and dry weight). Analysis results showed that enzyme treatment had a highly significant effect ($P<0.01$) on cellulose and hemicellulose content but no significant effect on lignin. The 20% enzyme concentration was the optimal dose, resulting in the greatest reduction in cellulose and lignin. The substrate derived from rice straw biodegradation produced the best growth of Chinese cabbage, with a plant height of 22.8 cm, 9 leaves, a root length of 13.6 cm, a fresh weight of 33.7 g, and a dry weight of 6.9 g. In conclusion, the biodegradation of rice straw using lignocellulolytic enzymes can increase nutrient availability and has the potential to serve as an environmentally friendly organic fertilizer to enhance the growth of horticultural crops.

Keywords: *Biodegradasi, Enzymes, Rice Straw, Growing Medium, Mustard Greens*

ABSTRAK

Limbah pertanian dan perikanan seperti Jerami padi dan limbah ikan merupakan salah satu penyumbang limbah terbesar di Indonesia. Limbah Jerami kerap kali di bakar oleh petani yang berdampak pada pencemaran udara dan degradasi kualitas tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi enzim terhadap proses biodegradasi jerami padi serta efektivitas hasil biodegradasi sebagai media tanam sayuran sawi sebagai solusi pengelolaan limbah ramah limgkungan. Penelitian dilakukan dengan tiga perlakuan konsentrasi enzim, yaitu 10%, 20%, dan 30%, masing-masing diinkubasi selama 21 hari dengan dua kali ulangan. Parameter yang diamati meliputi kandungan selulosa, hemiselulosa, lignin, dan uji pertumbuhan tanaman (tinggi tanaman, jumlah daun, panjang akar, berat basah dan kering). Hasil analisis menunjukkan bahwa perlakuan enzim berpengaruh sangat nyata ($P<0,01$) terhadap kadar selulosa dan hemiselulosa, tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap lignin. Konsentrasi enzim 20% merupakan dosis optimum dengan penurunan selulosa dan lignin paling besar. Media hasil biodegradasi jerami menghasilkan pertumbuhan sawi terbaik dengan tinggi tanaman 22,8 cm, jumlah daun 9 helai, panjang akar 13,6 cm, berat basah 33,7 g, dan berat kering 6,9 g. Kesimpulannya, proses biodegradasi jerami padi menggunakan enzim lignoselulolitik dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara dan

ISSN : 2621 - 1475

berpotensi sebagai pupuk organik ramah lingkungan untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman hortikultura.

Kata Kunci: *Biodegradasi, Enzim, Jerami Padi, Media Tanam, Sawi,*

PENDAHULUAN

Limbah organik merupakan salah satu penyumbang terbesar terhadap permasalahan lingkungan, terutama di sektor pertanian dan perikanan (Nggadi, 2022; KLHK, 2021; Setiyono, 2008). Di Indonesia, volume limbah pertanian dan perikanan terus meningkat seiring intensifikasi produksi pangan namun belum diimbangi dengan sistem pengelolaan limbah yang memadai. Kondisi ini mendorong kebutuhan mendesak akan pendekatan pengelolaan limbah yang berkelanjutan, efisien, dan ramah lingkungan (KLHK, 2021).

Limbah jerami padi, sebagai residu utama dari kegiatan pertanian padi, sering kali hanya dibakar di lahan sawah, yang tidak hanya mencemari udara, tetapi juga menyebabkan kehilangan unsur hara yang berpotensi bermanfaat bagi tanah (Arunt, 2023; Bhatt, 2022; Bhuiyan, 2025). Jerami padi mengandung lignoselulosa yang tinggi, seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin, yang membuatnya sulit terurai secara alami dalam waktu singkat (Borah, 2026; Datsomor, 2022; Huang, 2020). Sementara itu, limbah ikan yang berasal dari kegiatan pengolahan hasil perikanan, seperti kepala, tulang, sisik, dan isi perut ikan, juga kerap kali dibuang tanpa pengolahan.Limbah ikan mengandung kadar bahan organik yang tinggi, termasuk protein dan lemak, yang mudah membusuk dan menghasilkan bau tidak sedap serta senyawa-senyawa berbahaya seperti amonia (NH_3), hidrogen sulfida (H_2S), dan senyawa organik volatil lainnya (Lui, Q, 2020; Woiciechowski, 2020; Worle, 2025). Limbah ikan mengandung berbagai macam enzim proteolitik alami yang berpotensi tinggi, seperti protease dan kolagenase, yang dapat dimanfaatkan untuk mempercepat proses dekomposisi bahan organik termasuk Jerami, seperti dikemukakan Khiari, (2024) Jerami padi merupakan bahan organik melimpah saat panen dan dapat dimanfaatkan sebagai kompos. Penggunaan bioaktivator dari cairan rumen ruminansia efektif karena mengandung bakteri, fungi, dan protozoa yang mempercepat penguraian (Venogopal, 2016). Studi lain menunjukkan bahwa fungi ligninolitik seperti Phanerochaete chrysosporium mampu mendegradasi lignin melalui sekresi enzim lakase dan mangan peroksidase (Chen *et al.,* 2020). Namun demikian, penelitian yang secara spesifik mengintegrasikan enzim kasar dari limbah ikan sebagai biokatalis degradasi jerami padi masih sangat terbatas, sehingga membuka ruang penelitian yang signifikan (Khiari, 2024; Datsomor, 2020).

Limbah Jerami padi dan limbah ikan, dapat dikembangkan dengan pendekatan *biodegradasi* yang efisien dan ramah lingkungan. Enzim dari limbah ikan dapat digunakan sebagai katalis biologis untuk mempercepat proses penguraian jerami padi menjadi bahan organik yang lebih sederhana. Hasil dari proses ini diharapkan dapat menghasilkan media tanam alternatif yang memiliki nilai tambah baik secara agronomis maupun ekologis. Pengelolaan limbah secara berkelanjutan sangat diperlukan untuk meminimalkan pencemaran dan meningkatkan nilai ekonomis limbah tersebut. Urgensi Limbah pertanian dan perikanan seperti Jerami padi dan limbah ikan merupakan salah satu penyumbang limbah terbesar di Indonesia. Limbah Jerami kerap kali di bakar oleh petani yang berdampak pada pencemaran udara dan degradasi kualitas tanah. Limbah ikan seperti jeroan, tulang, dan sisik, dibuang begitu saja menyebabkan pencemaran lingkungan. Penelitian ini menjadi sangat penting dan mendesak karena menawarkan pendekatan sirkular ekonomi dan bioteknologi ramah lingkungan dengan mengintegrasikan dua jenis limbah menjadi solusi untuk masalah lingkungan dan pertanian. Rumusan masalah : 1. Seberapa besar efektivitas enzim dari limbah ikan dalam mempercepat proses biodegradasi jerami padi. 2. Apakah hasil biodegradasi jerami padi dengan enzim limbah ikan dapat digunakan sebagai media tanam alternatif yang mendukung pertumbuhan tanaman.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan pada bulan Januari sampai Februari 2025, telah dilakukan studi literatur dan perumusan masalah. Peneliti kemudian mengumpulkan literatur terkait topik dan dilakukan analisis kesesuaian.

Bahan dan Alat

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian pada Tabel 2 dan 3.

ISSN : 2621 - 1475

Tabel 2. Bahan yang digunakan dalam penelitian

No.	Bahan	Fungsi
1.	Limbah ikan (kepala, isi perut , insang dan sisik)	Sumber enzim untuk proses biodegradasi
2.	Jerami padi	Bahan utama yan akan di degradasi
3.	Air bersih	Pelarut dan pencuci bahan
4.	Starter mikroba	Fermentasi enzim dari limbah ikan
5.	Gula merah/molase	Sumber karbon fermentasi
6.	Tanah (Kontrol)	Pembanding media tanam
7.	Benih tanaman sawi	Tanaman uji untuk media hasil biodegradasi

Tabel 3. Alat yang digunakan dalam penelitian

No.	Alat	Fungsi
1.	Timbangan digital	Mengukur bahan
2.	Blender	Menghaluskan limbah ikan
3.	Ember	Fermentasi limbah ikan
4.	Wadah	Tempat pencampuran enzim dan Jerami
5.	Alat tulis	Pencatatan Data
6.	Kamera	Dokumentasi

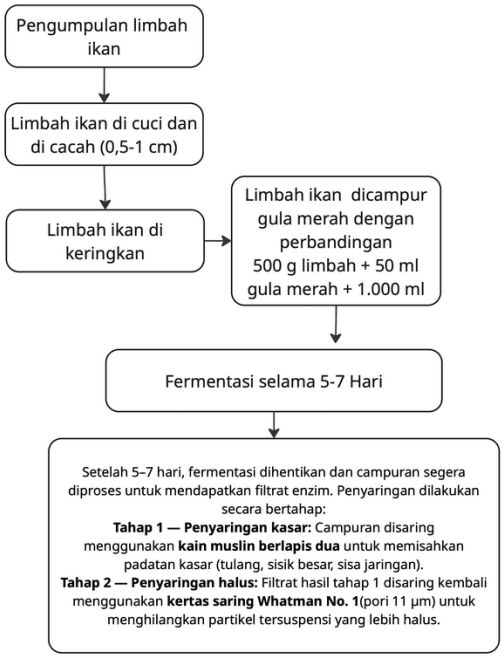
Metode Pengambilan Data

Pada tahap ini, peneliti mengumpulkan bahan yang akan digunakan dalam penelitian yaitu limbah ikan dan limbah Jerami padi. Limbah ikan (bagian perut, kepala, insang dan sisik) di kumpulkan dari pasar atau tempat pengolahan ikan yang ada di Kabupaten Mamuju. Limbah Jerami padi dikumpulkan dari lahan pasca panen, kemudian dikeringkan dan dicacah menjadi ukuran kecil (3-5 cm).

Metode

Ekstraksi Enzim dari Limbah ikan

Limbah ikan di bersihkan dan di fermentasi secara alami menggunakan molase atau Gula merah selama 5 – 7 hari. Filtrat dari hasil fermentasi disaring dan digunakan sebagai sumber enzim. Adapun proses ekstraksi enzim dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses Ekstraksi Limbah ikan

Proses Biodegradasi Jerami Padi

Pada tahap ini Jerami padi dimassukan kedalam wadah dan di rendam dengan larutan enzim. Dilakukan perlakukan 3 kali dan 2 kali ulangan dengan variasi konsemtrasi enzim (10, 20, dan 30) dan waktu inkubasi 21 hari. Setelah dilakukan inkubasi maka di lakukan analisis hasil biodegradasi dengan melakukan uji analisis data seperti kandungan lignin, selulosa, hemisellulosa, kadar nitrogen, organik serta perubahan fisik.

Uji Coba Media Tanam

Hasil biodegradasi jerami digunakan sebagai media tanam untuk tanaman uji (misalnya sawi dan tanaman hias). Parameter pertumbuhan yang diamati: tinggi tanaman, jumlah daun, panjang akar, dan berat basah/kering tanaman. Dibandingkan dengan media kontrol (tanah biasa dan kompos komersial).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil penelitian kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin jerami padi yang di fermentasi. Berdasarkan analisis ragam menunjukkan pengaruh yang sangat nyata (P>0,01) terhadap kandungan selulosa dan hemiselulosa dan tidak berpengaruh nyata (P>0,05) terhadap kandungan lignin jerami padi.

ISSN : 2621 - 1475

Tabel 4. Kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin jerami padi yang di fermentasi

Variabel pengamatan	Perlakuan		
	P0 (10%)	P1 (20%)	P2 (30%)
Selulosa	37,36 ±1,85	32,65 ±0,30	33,66 ±0,70
Hemiselulosa	17,80 ±0,28	19,30 ±0,33	18,46 ±0,40
Lignin	4,60 ±0,61	3,52 ±0,27	3,76 ±0,49

Selulosa

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan selulosa jerami padi mengalami penurunan dari 37,36 ± 1,85% (P0) menjadi 32,65 ± 0,30% (P1), dan sedikit meningkat pada 33,66 ± 0,70% (P2). Penurunan kadar selulosa pada perlakuan 20% menunjukkan bahwa aktivitas enzim mampu memecah ikatan β-1,4-glikosidik pada molekul selulosa menjadi gula sederhana (glukosa). Hal ini mengindikasikan bahwa konsentrasi enzim 20% merupakan dosis optimum untuk proses hidrolisis selulosa. Menurut Wulandari (2015) penurunan kadar selulosa pada bahan lignoselulosa disebabkan oleh aktivitas enzim selulase yang mengubah polimer selulosa menjadi unit monosakarida. Namun, pada konsentrasi yang terlalu tinggi (30%), efisiensi degradasi sedikit menurun akibat efek substrate inhibition, yaitu kondisi ketika produk hasil degradasi menghambat aktivitas enzim. Hasil ini juga sejalan dengan temuan Fouda *et al*. (2024) yang menyatakan bahwa peningkatan konsentrasi enzim di atas dosis optimum tidak selalu mempercepat proses biodegradasi karena dapat menurunkan kestabilan enzim.

Hemiselulosa

Kandungan hemiselulosa menunjukkan pola fluktuatif, yaitu meningkat dari 17,80 ± 0,28% (P0) menjadi 19,30 ± 0,33% (P1), kemudian menurun menjadi 18,46 ± 0,40% (P2). Peningkatan pada konsentrasi 20% mengindikasikan bahwa degradasi lignin menyebabkan pelepasan fraksi hemiselulosa dari matriks lignoselulosa, sehingga kandungan hemiselulosa terukur menjadi lebih tinggi. Namun, pada konsentrasi 30%, sebagian hemiselulosa mengalami degradasi lanjut menjadi gula sederhana, sehingga kadarnya kembali menurun. Hasil ini konsisten dengan penelitian Abena & Simachew, (2024) yang melaporkan bahwa aktivitas enzim *xilanase* dan *hemiselulase* menyebabkan depolimerisasi sebagian struktur hemiselulosa, namun pada kondisi enzim tinggi, terjadi degradasi lanjutan menjadi senyawa larut. Selain itu Gao *et al.* (2025) juga melaporkan bahwa peningkatan enzimatik menyebabkan pemutusan ikatan lignin-karbohidrat, sehingga fraksi hemiselulosa menjadi lebih mudah larut dan mengalami penurunan setelah fermentasi berlanjut.

Lignin

Kandungan lignin mengalami penurunan dari 4,60 ± 0,61% (P0) menjadi 3,52 ± 0,27% (P1) dan 3,76 ± 0,49% (P2). Penurunan lignin menandakan bahwa enzim yang digunakan memiliki aktivitas lignolitik yang mampu merusak struktur kompleks aromatik lignin. Lignin merupakan komponen paling resisten terhadap degradasi biologis karena strukturnya mengandung ikatan eter dan karbon-karbon yang kuat. Oleh karena itu, penurunan kadar lignin menunjukkan keberhasilan proses biodegradasi. Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan (Sajid *et al*., 2022) yang melaporkan bahwa perlakuan enzim lignoselulolitik mampu menurunkan kadar lignin jerami padi hingga 25–30% selama fermentasi 21 hari. Menurut Tan *et al.* (2021) juga menyatakan bahwa kombinasi enzim *selulase* dan *lignase* dapat meningkatkan proses delignifikasi, membuka pori dinding sel, dan mempercepat akses enzim terhadap komponen karbohidrat. Penurunan lignin pada konsentrasi 20% menunjukkan titik optimal aktivitas enzim, sedangkan pada konsentrasi 30%, kemungkinan terjadi kejenuhan enzim atau kondisi pH yang mulai menurun akibat pembentukan asam organik selama fermentasi.

Uji coba media Tanam

Pada percobaan media tanam di tanami sayuran Parameter pertumbuhan yang diamati: tinggi tanaman, jumlah daun, panjang akar, dan berat basah/kering tanaman. Dibandingkan dengan media kontrol (tanah biasa dan kompos komersial).

Tabel 6. Hasil Pengamatan uji media tanaman sawi

Parameter	Kontrol Tanah	Kompos Komersial	Media Biodegradasi Jerami
Tinggi tanaman (cm)	18,5	20,3	22,8
Jumlah daun (helai)	7	8	9
Panjang akar (cm)	10,4	11,2	13,6
Berat basah (g)	25,3	28,5	33,7
Berat kering (g)	4,8	5,6	6,9

ISSN : 2621 - 1475

Tinggi Tanaman

Tinggi tanaman pada media biodegradasi jerami mencapai 22,8 cm, lebih tinggi dibandingkan kontrol tanah 18,5 cm dan kompos komersial 20,3 cm. Perbedaan ini menunjukkan bahwa media biodegradasi jerami mampu menyediakan unsur hara makro esensial, terutama nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), yang dilepaskan selama proses fermentasi. Nitrogen yang meningkat akibat penambahan enzim dari limbah ikan berperan penting dalam pembentukan jaringan vegetatif sehingga pertumbuhan tinggi tanaman lebih optimal. Hal ini sesuai dengan penelitian Gaikwad *et al*. (2023) yang menjelaskan bahwa kompos hasil perlakuan enzim lignoselulolitik memiliki kemampuan menyediakan unsur hara lebih cepat karena struktur bahan organik telah terdegradasi menjadi senyawa sederhana yang mudah diserap akar tanaman. Menurut Wulandari (2015) Peningkatan kandungan nitrogen pada hasil biodegradasi lignoselulosa berdampak langsung terhadap percepatan pertumbuhan batang tanaman.

Jumlah Daun

Rata-rata jumlah daun pada media biodegradasi jerami mencapai 9 helai, lebih banyak dibandingkan kontrol tanah 7 helai dan kompos komersial 8 helai. Peningkatan jumlah daun ini menandakan adanya suplai nutrisi yang lebih stabil pada media biodegradasi jerami. Kandungan nitrogen yang lebih tinggi dari hasil fermentasi jerami mendukung pembentukan klorofil dan fotosintesis yang lebih intensif, sehingga pertumbuhan daun lebih banyak dan sehat. Penelitian Daunoras *et al.* (2024) menjelaskan bahwa bahan organik hasil degradasi enzimatik memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan serapan nitrogen, sehingga jumlah daun tanaman meningkat signifikan

Panjang Akar

Panjang akar pada media biodegradasi jerami tercatat 13,6 cm, lebih panjang dibanding kontrol tanah 10,4 cm dan kompos komersial 11,2 cm. Hal ini menunjukkan bahwa media hasil biodegradasi memiliki struktur yang lebih porous dan lunak, sehingga memudahkan penetrasi dan perkembangan sistem perakaran. Kondisi ini menguntungkan bagi penyerapan air dan nutrisi karena akar mampu menjelajah lebih luas di dalam media. Menurut Kranz *et al*. (2020) media tanam yang mengandung bahan organik terdegradasi secara biologis mampu meningkatkan panjang akar karena memperbaiki sifat fisik tanah dan memudahkan penetrasi akar. Selain itu, peningkatan panjang akar juga menandakan efisiensi penyerapan air dan nutrisi yang lebih baik.

Berat basah dan Kering

Berat basah tanaman pada media biodegradasi jerami mencapai 33,7 g dan berat kering 6,9 g, lebih tinggi dibandingkan kontrol tanah 25,3 g basah; 4,8 g kering maupun kompos komersial 28,5 g basah; 5,6 g kering. Peningkatan ini menandakan bahwa tanaman pada media biodegradasi jerami menghasilkan biomassa lebih besar, yang menunjukkan efisiensi pemanfaatan nutrisi yang lebih baik. Berat kering yang tinggi juga mengindikasikan akumulasi jaringan struktural yang lebih kuat dan sehat.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa fermentasi enzimatik jerami padi memberikan pengaruh nyata terhadap perubahan kandungan selulosa dan hemiselulosa, namun tidak berpengaruh nyata terhadap kandungan lignin. Temuan ini sejalan dengan penelitian Zhu *et al.* (2022) yang melaporkan bahwa perlakuan enzim selulase dan hemiselulase pada biomassa lignoselulosa secara signifikan menurunkan fraksi karbohidrat struktural tanpa selalu diikuti perubahan nyata pada lignin, karena lignin memiliki struktur aromatik tiga dimensi yang lebih resisten terhadap degradasi enzimatik dibandingkan polisakarida. Kandungan selulosa mengalami penurunan terbesar pada perlakuan P1 (20%) dari 37,36% menjadi 32,65%, kemudian sedikit meningkat pada P2 (30%) menjadi 33,66%. Pola ini mengindikasikan bahwa konsentrasi enzim 20% merupakan dosis optimum dalam proses hidrolisis selulosa, di mana enzim selulase bekerja paling efisien dalam memecah ikatan β-1,4-glikosidik menjadi unit monosakarida. Hal ini konsisten dengan hasil penelitian Kumar dan Sharma (2021) yang menetapkan bahwa efisiensi selulase mencapai puncaknya pada rentang konsentrasi 15–25%, dan bahwa penambahan dosis di atas ambang tersebut tidak proporsional terhadap peningkatan laju hidrolisis.

Pada konsentrasi 30%, efisiensi degradasi menurun akibat mekanisme substrate inhibition, yaitu akumulasi produk hasil degradasi, terutama glukosa dan selobiosa, yang justru menghambat aktivitas enzimatik lebih lanjut, sebagaimana dilaporkan oleh Fouda *et al.* (2024). Fenomena ini telah banyak dikonfirmasi dalam literatur. Andriani *et al.* (2022) menjelaskan bahwa selobiosa, sebagai produk antara hidrolisis selulosa, bersifat inhibitor kompetitif terhadap enzim β-glukosidase pada konsentrasi tinggi, sehingga konversi selulosa menjadi glukosa melambat secara signifikan. Senada dengan itu, Singhania *et al.* (2021) dalam tinjauan komprehensifnya menegaskan

ISSN : 2621 - 1475

bahwa penambahan selulase di atas dosis optimum menyebabkan product feedback inhibition yang menurunkan efisiensi keseluruhan sistem enzimatik, suatu fenomena yang umum ditemukan pada sistem hidrolisis lignoselulosa tanpa sistem pembuangan produk (*product removal*) secara kontinu. Li *et al.* (2023) bahkan melaporkan penurunan efisiensi hidrolisis hingga 18% ketika konsentrasi enzim dinaikkan dua kali lipat dari dosis optimum pada substrat jerami gandum, yang mekanismenya serupa dengan temuan pada penelitian ini.

Kandungan hemiselulosa menunjukkan pola fluktuatif, meningkat dari 17,80% (P0) menjadi 19,30% (P1), kemudian menurun kembali menjadi 18,46% (P2). Peningkatan pada P1 bukan berarti tidak ada degradasi, melainkan mencerminkan pelepasan fraksi hemiselulosa dari matriks lignoselulosa akibat terputusnya ikatan lignin-karbohidrat oleh aktivitas enzim lignolitik, suatu fenomena yang juga diamati oleh Sari *et al.* (2022) pada perlakuan enzim terhadap tandan kosong kelapa sawit. Pada konsentrasi lebih tinggi (P2), hemiselulosa yang telah terlepas kemudian mengalami degradasi lanjut menjadi senyawa larut seperti pentosa dan xilosa, sehingga kadarnya kembali menurun, sejalan dengan temuan Gao *et al.* (2025) maupun Mustafa *et al.* (2021) yang melaporkan pola pelepasan-degradasi hemiselulosa yang bersifat bifasik ini pada berbagai jenis biomassa pertanian. Adapun kandungan lignin mengalami penurunan konsisten dari 4,60% (P0) menjadi 3,52% (P1) dan 3,76% (P2). Walaupun secara statistik tidak berbeda nyata, tren penurunan ini mengindikasikan adanya aktivitas lignolitik yang mampu merusak struktur aromatik kompleks lignin. Hasil serupa dilaporkan oleh Hamid *et al.* (2023) pada degradasi jerami padi menggunakan konsorsium enzim lignoselulolitik, di mana penurunan lignin secara statistik tidak signifikan namun secara biologis tetap bermakna karena berperan membuka akses enzim ke fraksi selulosa dan hemiselulosa. Penurunan yang lebih rendah pada P2 kemungkinan disebabkan oleh kejenuhan enzim atau penurunan pH akibat akumulasi asam organik selama fermentasi, yang menghambat aktivitas enzim lignolitik, sebagaimana dikemukakan oleh Prasad (2020) yang mengidentifikasi penurunan pH sebagai faktor pembatas utama aktivitas lakase dan peroksidase pada fermentasi bahan lignoselulosa berkonsentrasi tinggi.

Keberhasilan proses biodegradasi jerami terbukti berdampak positif terhadap kualitas media tanam. Pada uji coba media tanam sawi, media biodegradasi jerami secara konsisten menghasilkan nilai tertinggi pada seluruh parameter pertumbuhan, tinggi tanaman (22,8 cm), jumlah daun (9 helai), panjang akar (13,6 cm), berat basah (33,7 g), dan berat kering (6,9 g), dibandingkan kontrol tanah biasa maupun kompos komersial. Keunggulan ini disebabkan oleh beberapa faktor yang saling sinergis. Pertama, proses fermentasi enzimatik menguraikan bahan organik kompleks menjadi senyawa sederhana yang mudah diserap akar, sehingga unsur hara makro seperti N, P, dan K tersedia lebih cepat bagi tanaman. Nitrogen yang berasal dari enzim limbah ikan berperan penting dalam pembentukan klorofil, sintesis protein, dan pertumbuhan jaringan vegetatif yang tercermin dari peningkatan tinggi tanaman dan jumlah daun, konsisten dengan temuan Rahmawati *et al*. (2022) bahwa aplikasi pupuk organik berbasis limbah ikan meningkatkan kandungan klorofil daun sawi hingga 15% dibandingkan perlakuan kontrol. Kedua, kandungan humus yang tinggi dari hasil fermentasi memperbaiki sifat fisik media, meningkatkan porositas, aerasi, dan kemampuan menahan air, sehingga akar dapat berkembang lebih panjang dan menjelajah volume media yang lebih luas, sejalan dengan hasil Nugroho *et al*. (2023) yang membuktikan bahwa media berbasis kompos enzimatik meningkatkan panjang akar tanaman sayuran daun rata-rata 25–35% dibandingkan media tanah tanpa amendemen organik. Panjang akar yang lebih besar ini kemudian meningkatkan efisiensi penyerapan air dan mineral secara keseluruhan, yang pada akhirnya tercermin pada akumulasi biomassa yang lebih besar, baik berat basah maupun berat kering. Prasetyo dan Nisa (2023) melaporkan bahwa kompos dari perlakuan enzim lignoselulolitik dapat meningkatkan bobot kering tanaman hingga 20–30% dibandingkan media kontrol karena proses mineralisasi yang lebih cepat dan efisien, yang mendukung pola serupa yang ditemukan dalam penelitian ini.

KESIMPULAN

Perlakuan enzim dari limbah ikan berpengaruh nyata terhadap penurunan kadar selulosa dan hemiselulosa jerami padi, dengan konsentrasi 20% sebagai dosis optimum biodegradasi. Media tanam berbasis jerami terbiodegradasi menghasilkan pertumbuhan terbaik tanaman sawi pada seluruh parameter agronomis (tinggi tanaman, jumlah daun, panjang akar, berat basah dan kering), menegaskan potensinya sebagai pupuk organik ramah lingkungan untuk tanaman hortikultura. Hasil ini mendukung penerapan pendekatan ekonomi sirkular melalui integrasi limbah pertanian dan perikanan menjadi produk bernilai tambah.

Ucapan Terima Kasih: Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan,

Riset, dan Teknologi (Kemendikbudristek)/Dikti yang telah memberikan pendanaan hibah, sehingga kegiatan penelitian ini dapat terwujud.

DAFTAR PUSTAKA

Abena, T., & Simachew, A. (2024). A review on xylanase sources, classification, mode of action, fermentation processes, and applications as a promising biocatalyst. BioTechnologia, 105(3), 273–285. https://doi.org/10.5114/bta.2024.141806

Akbar Aly, A.B., Shanmugaraj, B., & Ramalingam, S. (2025). Industrial applications of *Phanerochaete chrysosporium* lignin-degrading enzymes: Current status, production challenges, and future directions. *World Journal of Microbiology and Biotechnology, 41*, 171. https://doi.org/10.1007/s11274-025-04388-6

Andriani, R., Purwadaria, T., & Sulistiani, A. (2022). Inhibitory effect of cellobiose on β-glucosidase activity during enzymatic hydrolysis of lignocellulosic biomass. Bioresource Technology Reports, 18, 101034. https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101034

Arunrat, N., Sereenonchai, S., Sansupa, C., Kongsurakan, P., & Hatano, R. (2023). Effect of rice straw and stubble burning on soil physicochemical properties and bacterial communities in Central Thailand. *Biology, 12*(4), 501. https://doi.org/10.3390/biology12040501

Bhaskar, N., & Mahendrakar, N. S. (2008). Protein hydrolysates from visceral waste proteins of catla (Catla catla): Optimization of hydrolysis conditions for a commercial neutral protease. Bioresource Technology, 99(10), 4105–4111. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.09.006

Bhatt, R., Singh, P., & Sharma, K. (2022). Rice residue management in the Indo-Gangetic plains for climate and food security: A review. *Agronomy for Sustainable Development, 42*(5), 92. https://doi.org/10.1007/s13593-022-00817-0

Bhuiyan, M.S.I., et al. (2025). Agroecological impacts of crop residue burning: A qualitative systematic review of direct and inferred evidence. *Science of the Total Environment, 980*, 179086. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179086

Borah, A.J., et al. (2026). Characterization and dynamics of lignocellulosic components, enzyme activities and microbial populations in diverse crop residues during decomposition. *Scientific Reports.* https://doi.org/10.1038/s41598-026-37886-0

Bougatef, A. (2013). Fish processing wastes for microbial enzyme production: A review. *3 Biotech, 3*(2), 77–86. https://doi.org/10.1007/s13205-012-0099-8

Chen, K.J., Tang, J.C., Xu, B.H., Lan, S.L., & Cao, Y. (2019). Degradation enhancement of rice straw by co-culture of *Phanerochaete chrysosporium* and *Trichoderma viride*. *Scientific Reports, 9*, 19708. https://doi.org/10.1038/s41598-019-56123-5 [Kandidat untuk 'Chen et al., 2020' — harap verifikasi]

Chen, X., et al. (2020). Lignocellulose degradation: An overview of fungi and fungal enzymes involved in lignocellulose degradation. *Engineering in Life Sciences, 20*(4), 126–137. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6999254/ [Harap verifikasi identitas lengkap penulis sesuai kutipan yang digunakan]

Choe, E. K., Lee, S. Y., & Shin, H. T. (2020). Utilization and valorization of fishery by- products: A review of recent advances. Journal of Cleaner Production, 262, 121305. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121305

Coppola, D., Lauritano, C., Palma Esposito, F., Riccio, G., Rizzo, C., & de Pascale, D. (2021). Fish waste: From problem to valuable resource. *Marine Drugs, 19*(2), 116. https://doi.org/10.3390/md19020116

Datsomor, O., Gou-qi, Z., & Miao, L. (2022). Effect of ligninolytic axenic and coculture white-rot fungi on rice straw chemical composition and in vitro fermentation characteristics. *Scientific Reports, 12*, 1129. https://doi.org/10.1038/s41598-022-05107-z [Catatan: dalam teks dikutip sebagai Datsomor, 2020 — harap verifikasi tahun]

Daunoras, J., Kačergius, A., & Gudiukaitė, R. (2024). Role of Soil Microbiota Enzymes in Soil Health and Activity Changes Depending on Climate Change and the Type of Soil Ecosystem. Biology, 13(2), 85. https://doi.org/10.3390/biology13020085

Fouda, A., Alshallash, K. S., Atta, H. M., El Gamal, M. S., Bakry, M. M., Alawam, A. S., & Salem, S. S. (2024). Synthesis, Optimization, and Characterization of Cellulase Enzyme Obtained from Thermotolerant Bacillus subtilis F3: An Insight into Cotton Fabric Polishing Activity. Journal of Microbiology and Biotechnology, 34(1), 207–223. https://doi.org/10.4014/jmb.2309.09023

Gaikwad, A., Jadhav, K., & Nayak, S. (2023). Conversion of Lignocellulosic Wastes into Biofertilizer using Bacterial Consortium. Current Agriculture Research Journal, 11(1), 125–136. https://doi.org/10.12944/CARJ.11.1.11

Gao, Q., Guo, L., Li, S., Wu, W., Ding, J. wei, Xu, H., Luo, C., Li, J., Li, D., & Liu, Z. (2025). Biodegradasi mechanism of cellulose, hemicellulose, and lignin in bacteria-dominant aerobic composting from agricultural biomass waste:A review. Carbohydrate Polymer Technologies and Applications, 11, 100879. https://doi.org/10.1016/j.carpta.2025.100879

Gao, Y., Zhang, L., & Chen, W. (2025). Biphasic release and degradation of hemicellulose fractions during enzymatic treatment of agricultural residues. Industrial Crops and Products, 215, 118542. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.118542

Ghaly, A.E., Ramakrishnan, V.V., Brooks, M.S., Budge, S.M., & Dave, D. (2013). Fish processing wastes as a potential source of proteins, amino acids and oils: A critical review. *Journal of Microbial and Biochemical Technology, 5*(4), 107–129. https://doi.org/10.4172/1948-5948.1000110

Hamid, A. A., Yusoff, W. M. W., & Kader, J. (2023). Ligninolytic enzyme activity during enzymatic degradation of rice straw: Statistical and biological significance of lignin reduction. Waste and Biomass Valorization, 14(3), 891–904. https://doi.org/10.1007/s12649-022-01924-5

Huang, C., et al. (2020). Rice straws with different cell wall components differ on abilities of saccharification. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 8*, 624314. https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.624314

Husin, H., Abdullah, N., & Karim, A. A. (2012). Nutritional composition and potential value of fish processing by-products. Aquaculture Research, 43(11), 1617–1625. https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02974.

Kafle, G. K., & Kim, S. H. (2012). Anaerobic treatment of solid fish waste for biogas and fertilizer production. Journal of Environmental Management, 93(1), 13–20. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.09.015

Kannan, A., Jasra, R. V., & Saxena, A. (2017). Production of protease enzyme from fish waste: A sustainable approach for waste valorization. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 12, 217–224. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.09.0035]

Kaur, P., et al. (2023). Comparative assessment of fungal consortium ligninolytic enzymes versus sequential acid–alkali pretreatments for bioethanol production from rice straw. *BioEnergy Research, 16*, 1175–1187. https://doi.org/10.1007/s12155-023-10612-8

Khiari, Z. (2022). Sustainable upcycling of fisheries and aquaculture wastes using fish-derived cold-adapted proteases. *Frontiers in Nutrition, 9*, 875697. https://doi.org/10.3389/fnut.2022.875697

Khiari, Z. (2024). Enzymes from fishery and aquaculture waste: Research trends in the era of artificial intelligence and circular bio-economy. *Marine Drugs, 22*(9), 411. https://doi.org/10.3390/md22090411

Khiari, Z. (2024). Enzymes from fishery and aquaculture waste: Research trends in the era of artificial intelligence and circular bio-economy. *Marine Drugs, 22*(9), 411. https://doi.org/10.3390/md22090411

KLHK (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan). (2021). Indonesia Long-Term Strategy for Low Carbon and Climate Resilience 2050 (Indonesia LTS-LCCR 2050). Jakarta: KLHK.

Kranz, C. N., McLaughlin, R. A., Johnson, A., Miller, G., & Heitman, J. L. (2020). The effects of compost incorporation on soil physical properties in urban soils – A concise review. Journal of Environmental Management, 261, 110209. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110209

Kumar, R., & Sharma, M. (2021). Optimal cellulase loading for efficient hydrolysis of lignocellulosic biomass: Effect of enzyme concentration on glucose yield. Biomass and Bioenergy, 152, 106189. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106189

Kumari, N., et al. (2023). Strategies for economic utilization of rice straw residues into value-added by-products and prevention of environmental pollution. *Science of the Total Environment, 903*, 166981. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166981

Li, X., Wang, H., & Zhou, J. (2023). Decreased hydrolysis efficiency at supraoptimal enzyme concentrations in wheat straw saccharification: Mechanisms and implications. Bioresource Technology, 371, 128612. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128612

Liu, Q., Luo, L., & Zheng, L. (2020). Profiling of chemical and structural composition of lignocellulosic biomasses in tetraploid rice straw. *International*

Journal of Molecular Sciences, 21(2), 554. https://doi.org/10.3390/ijms21020554

Mustafa, A. M., Li, H., Cheng, J., & Sheng, K. (2021). Biphasic behavior of hemicellulose during enzymatic pretreatment of various agricultural biomasses. Carbohydrate Polymers, 256, 117571. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117571

Nggadi, Hikmah dan Messaksh.J.j. 2022. Pengaruh sampah dan limbah terhadap pencemaran lingkungan pesisir oesapa kecamatan kelapa lima, kota Kupang. Jurnal Batakarang. Vol. 3 No. 01. https://jurnalbatakarang.ptbundana.org/index.php/batakarang/article/view/90

Nugroho, B. A., Sulistyowati, E., & Hidayat, R. (2023). Root growth enhancement in leafy vegetables using enzymatic compost-based growing media. Jurnal Hortikultura Indonesia, 14(2), 112–121. https://doi.org/10.29244/jhi.14.2.112-121

Prasad, R. K., Chatterjee, S., Mazumder, P. B., Gupta, S. K., Sharma, S., Vairale, M. G., Datta, S., Dwivedi, S. K., & Gupta, D. K. (2020). pH-mediated inhibition of laccase and peroxidase under high-load lignocellulosic fermentation conditions. Bioresource Technology, 303, 122999. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122999

Radziemska, M., Vaverková, M., Baryła, A., & Brtnický, M. (2018). Use of fish waste as a natural fertilizer for maize (Zea mays L.). Waste and Biomass Valorization, 10(9), 2537–2545. https://doi.org/10.1007/s12649-018-0290-1

Rahmawati, D., Kurniasih, E., & Purnomo, D. (2022). Effect of fish waste-based organic fertilizer on chlorophyll content and growth of mustard greens (Brassica juncea L.). Agronomy Journal, 114(4), 2301–2310. https://doi.org/10.1002/agj2.21095

Rebah, F. B., & Miled, N. (2012). Fish processing wastes for microbial enzyme production: a review. 3 Biotech, 3(4), 255–265. https://doi.org/10.1007/s13205-012-0099-8

Sajid, S., Kudakwashe Zveushe, O., Resco de Dios, V., Nabi, F., Lee, Y. K., Kaleri, A. R., Ma, L., Zhou, L., Zhang, W., Dong, F., & Han, Y. (2022). Pretreatment of rice straw by newly isolated fungal consortium enhanced lignocellulose degradation and humification during composting. Bioresource Technology, 354, 127150. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127150

Sari, F. P., Fauzi, R., Falah, F., Iswanto, A. H., Darwis, A., & Fatriasari, W. (2022). Release of hemicellulose fractions from lignin-carbohydrate complex during enzymatic treatment of oil palm empty fruit bunches. Biomass Conversion and Biorefinery, 12, 3411–3421. https://doi.org/10.1007/s13399-021-01382-6

Setiyono, Satmoko,Y. 2008. Dampak pencemaran lingkungan akibat limbah industri pengolahan ikan di muncar. Jurnal JAI. Vol. 4 No.01. https://media.neliti.com/media/publications/245493-dampak-pencemaran-lingkungan-akibat-limb-d70cc0d0.pdf

Singhania, R. R., Patel, A. K., Sukumaran, R. K., Larroche, C., & Pandey, A. (2021). Role and significance of beta-glucosidases in the hydrolysis of cellulose for bioethanol production. Bioresource Technology, 127, 500–507. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.09.012

Tan, J., Li, Y., Tan, X., Wu, H., Li, H., & Yang, S. (2021). Advances in Pretreatment of Straw Biomass for Sugar Production. Frontiers in Chemistry, 9. https://doi.org/10.3389/fchem.2021.696030

Venugopal, V. (2021). Valorization of seafood processing discards: Bioconversion and bio-refinery approaches. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 5*, 611835. https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.611835

Wang, J., et al. (2024). Metabolic mechanism of lignin-derived aromatics in white-rot fungi. *Applied Microbiology and Biotechnology, 109*, 19. https://doi.org/10.1007/s00253-024-13371-4

Woiciechowski, A.L., Dalmas Neto, C.J., Vandenberghe, L.P.S., de Carvalho Neto, D.P., Novak Sydney, A.C., Letti, L.A.J., Karp, S.G., Zevallos Torres, L.A., & Soccol, C.R. (2020). Lignocellulosic biomass: Acid and alkaline pretreatments and their effects on biomass recalcitrance – Conventional processing and recent advances. *Bioresource Technology, 304*, 122848. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122848

Wörle, K., & Wefer-Roehl, A. (2025). Lignocellulose degradation in bacteria and fungi: Cellulosomes and industrial relevance. *Frontiers in Microbiology, 16*, 1583746. https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1583746

Wörle, K., & Wefer-Roehl, A. (2025). Lignocellulose degradation in bacteria and fungi: Cellulosomes and industrial relevance. *Frontiers in Microbiology, 16*, 1583746. https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1583746

ISSN : 2621 - 1475

Wulandari, R. D. S. D. A. (2015). Optimalisasi pH Produksi selulase dari bakteri endofitik Pseudomonas stutzeri LBKURCC543, Pseudomonas stutzeri LBKURCC54 dan Actinobacter antratus LBKURCC60.

Zhu, J., Wan, C., & Li, Y. (2022). Enzymatic hydrolysis of lignocellulosic biomass: Differential effects on cellulose, hemicellulose, and lignin fractions. Biotechnology for Biofuels and Bioproducts, 15(1), 47. https://doi.org/10.1186/s13068-022-02145-3