

Optimization of Agricultural Waste as an Alternative Media for the Production of Xylanase Enzymes by a Consortium of Thermophilic Bacteria

Optimasi Limbah Agrikultur Sebagai Alternatif Media Produksi Enzim Xilanase Oleh Konsorsium Bakteri Termofilik

Tiara Febriana¹, Irdawati^{1*}

¹ Department of Biology, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Negeri Padang, West Sumatera, Indonesia

*Correspondence author: irdawati.amor40@gmail.com

Abstract

The xylanase enzyme is an extracellular enzyme that is capable of hydrolyzing hemicellulose into xylooligosaccharides and xylose. One of the benefits of the xylanase enzyme is as a paper and pulp bleach. This enzyme is produced by thermophilic bacteria with the substrate contained in *Beechwood Xylan*. However, using *Beechwood Xylan* is expensive, so other alternatives are needed at more affordable prices. Agricultural waste is believed to be able to replace *Beechwood Xylan* because it contains xylan. The aim of this research is to find the best waste substrate to replace *Beechwood Xylan* as a medium for a consortium of thermophilic bacteria to produce xylanase enzymes. This research was conducted at the Microbiology Laboratory, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Padang State University in December 2023. The method used was descriptive, using 3 types of agricultural waste, namely straw, rice husks, and corn with samples of thermophilic bacteria SSA2, SSA3, and SSA4. Enzyme activity was measured using a spectrophotometer with a wavelength of 540nm. The data obtained is analyzed and displayed in tabular form. The results of this study show that straw has the highest average xylanase enzyme activity of 9,289 Units/mL, and husks have the lowest average enzyme activity of 6,161 Units/mL

Key words *Beechwood xylan, Xylanase enzyme, Xylan, Substrate, Agricultural Waste*

Abstrak

Enzim xilanase adalah enzim ekstraseluler yang mampu menghidrolisis hemiselulosa menjadi xilooligosakarida dan xilosa. Salah satu manfaat enzim xilanase adalah sebagai pemutih kertas dan pulp. Enzim ini dihasilkan oleh bakteri termofilik dengan substrat yang terdapat dalam *Beechwood Xylan*. Namun, penggunaan *Beechwood Xylan* memerlukan biaya yang mahal, sehingga perlu alternatif lain dengan harga yang lebih terjangkau. Limbah agrikultur dipercaya mampu menggantikan *Beechwood Xylan* karena memiliki kandungan xilan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari substrat limbah terbaik pengganti *Beechwood Xylan* sebagai media konsorsium bakteri termofilik dalam menghasilkan enzim xilanase. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang pada bulan Desember 2023. Metode yang digunakan adalah deskriptif, menggunakan 3 jenis limbah agrikultur yaitu jerami, sekam padi, dan jagung dengan sampel bakteri termofilik SSA2, SSA3, dan SSA4. Aktivitas enzim diukur menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 540nm. Data yang diperoleh dianalisis dan ditampilkan dalam bentuk tabel. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa jerami memiliki rata-rata aktivitas enzim xilanase tertinggi sebesar 9,289 Unit/mL, dan sekam dengan rata-rata aktivitas enzim terendah sebesar 6,161 Unit/mL.

Kata kunci *Beechwood xylan, Enzim xilanase, Xilan, Substrat, Limbah Agrikultur*

Pendahuluan

Penggunaan enzim dalam industri terus meningkat tiap tahunnya hingga mencapai 10-15% (Mufarrikha dkk., 2014). Pada tahun 2020, permintaan enzim di pasar industri telah mencapai kisaran US\$200-300 juta (Zarafeta dkk., 2020). Dalam skala industri, penggunaan enzim jauh lebih menguntungkan daripada penggunaan bahan kimia tradisional karena diyakini mampu menghasilkan produk dengan kualitas yang lebih baik serta lebih ramah lingkungan (Amatto dkk., 2022). Salah satu enzim yang sering digunakan dalam industri adalah enzim xilanase. Enzim ini digunakan dalam berbagai sektor industri, termasuk industri tekstil, makanan, deterjen, kertas, dan kosmetik (Irdawati dkk., 2016).

Xilanase adalah enzim ekstraseluler yang mampu menghidrolisis hemiselulosa menjadi xilooligosakarida dan xilosa (Firdausa dkk., 2017). Komponen utama dari hemiselulosa adalah xilan. Xilanase memiliki kemampuan untuk memotong ikatan yang menghubungkan xilan dengan selulosa yang terikat pada lignin. Xilan merupakan substrat dari enzim xilanase yang terdapat dalam *Beechwood Xylan*. Penggunaan xilan untuk memproduksi enzim xilanase dalam skala besar membutuhkan biaya yang sangat besar, maka perlu dilakukan sebuah inovasi untuk mencari alternatif pengganti substrat dengan biaya yang lebih terjangkau (Richana, 2002).

Salah satu alternatif yang mampu menggantikan xilan adalah dengan memanfaatkan limbah agrikultur. Limbah agrikultur adalah limbah hasil sisa pertanian yang memiliki potensi sebagai pengganti substrat. Limbah agrikultur kaya akan polimer karbohidrat seperti selulosa, hemiselulosa, xilan, dan pektin sehingga mampu menggantikan xilan murni (Shrestha dkk., 2022). Adapun jenis limbah agrikultur yang mengandung komponen xilan seperti jerami padi, tongkol jagung, dedak gandum, bagas tebu, dan sekam padi (Irdawati dkk., 2021).

Jerami padi mengandung kurang lebih 37% selulosa dan 27,5% hemiselulosa serta kandungan xilan sebesar 20% (Anggita dkk., 2021). Menurut Septiningrum (2011), tongkol jagung memiliki kandungan xilan berkisar antara 12,4-12,9%. Sumber lain juga menyebutkan bahwa kandungan xilan dari tongkol jagung mencapai 40g/100g. Sekam padi juga merupakan salah satu limbah berlignoselulosa yang berpotensi sebagai alternatif pengganti xilan karena mengandung xilan sebesar 12% (Richana dkk., 2004).

Enzim xilanase mampu dihasilkan oleh mikroorganisme melalui proses fermentasi, yang biasanya diproduksi oleh bakteri maupun jamur (Richana dkk., 2008). Salah satu bakteri penghasil enzim xilanase yaitu *Bacillus stearothermophilus*, yang merupakan bakteri termofilik (Trismilah & Waltam, 2009). Bakteri termofilik merupakan bakteri yang dapat tumbuh pada suhu tinggi kisaran 45-80°C. Bakteri termofilik mampu menghasilkan enzim yang stabil terhadap panas atau termostabil (Fifendy dkk., 2015). Enzim termostabil memiliki beberapa keuntungan dalam menghidrolisis bahan lignoselulosa seperti mempersingkat waktu hidrolisis, menurunkan risiko kontaminasi, dan meningkatkan produktivitas (Bhalla dkk., 2013).

Penggunaan konsorsium bakteri dianggap mampu memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan penggunaan isolat tunggal (monokultur), hal ini dikarenakan kerja enzim dari tiap jenis bakteri mampu bersinergis untuk bertahan hidup pada sumber nutrisi yang tersedia dalam media tumbuh (Irdawati dkk., 2023). Konsorsium adalah kombinasi dari populasi mikroorganisme dalam bentuk komunitas yang berinteraksi secara kooperatif, komensal, dan mutualistik. Anggota dalam komunitas ini saling berkolaborasi lebih efektif dalam mendegradasi senyawa kimia daripada isolat tunggal (Okoh, 2006) Penggunaan konsorsium bakteri yang dilengkapi dengan sistem enzim termostabil dalam skala industri besar dengan jangka waktu yang lama memiliki berbagai keuntungan, seperti risiko kontaminasi yang minim, penurunan viskositas medium, serta peningkatan kelarutan dan permukaan substrat (Lepcha dkk., 2021).

Berdasarkan uraian diatas, maka dilakukan penelitian mengenai pemanfaatan limbah agrikultur sebagai media konsorsium trikultur bakteri termofilik dari sumber air panas dalam menghasilkan enzim xilanase.

Bahan dan Metode

Metode Penelitian

Metode penelitian ini adalah deskriptif yang dilakukan pada Bulan Desember 2023 di Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Penelitian ini menggunakan 3 jenis limbah agrikultur yaitu jerami, sekam padi, tongkol jagung dan *Beechwood xilan* murni sebagai kontrol. Sampel bakteri termofilik yang digunakan dalam penelitian ini adalah isolat SSA2, SSA3, dan SSA4 yang diisolasi dari sumber air panas Sapan Sungai Aro (SSA).

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain: Gelas ukur, *beaker glass*, tabung reaksi, rak tabung reaksi, *erlenmeyer*, lampu bunsen, spatula, *vortex*, *magnetic stirrer*, timbangan digital, jarum ose, *drill glass*, *hot plate*, oven, kertas saring, pH meter, pipet tetes, *autoclave*, *shaker incubator*, *spektrofotometer*, lemari pendingin, *petridish*, label, mikropipet, tips, dan inkubator. Bahan-bahan yang digunakan adalah: *Nutrien Agar* (NA), *Beechwood Xylan*, jerami padi, sekam padi, dan tongkol jagung, *gellum gum*, *Dinitrosalicylic Acid* (DNS), *Buffer Phospat*, *Peptone Bactereological*, *Yeast Extract*, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, Alkohol 70%, K_2HPO_4 , NaOCl, NaOH 10%, HCl 6N, Etanol 95%, *aquadest*, tisu, *aluminium foil*, kain kasa dan kapas.

Ekstraksi Xilan dari Limbah Agrikultur

Jerami, tongkol jagung serta sekam padi, dicuci dan dikeringkan. Setelah setengah kering, kemudian dioven dengan suhu 50°C selama 7 hari. Setelah kering dan dapat dipatahkan, kemudian diblender dan didapatkan serbuk yang akan digunakan sebagai substrat. Serbuk tepung dari jerami, tongkol jagung serta sekam padi masing-masing 50 g yang sudah dibuat direndam dalam larutan NaOCl selama 5 jam pada suhu 28°C. Setelah itu dibilas dan disaring lalu direndam dalam larutan NaOH 10% pada suhu 28°C selama 24 jam. Filtrat yang didapatkan selanjutnya disentrifugasi pada kecepatan 4000 rpm selama 30 menit. Kemudian cairan (*supernatant*) hasil sentrifugasi dinetralkan dengan HCl 6N untuk disentrifugasi kembali pada kecepatan 4000 rpm selama 30 menit. Supernatant yang dihasilkan sudah mengandung xilan, untuk memisahkan xilan yang larut dilakukan dengan menambahkan Etanol 95% dan disentrifugasi pada kecepatan 4000 rpm selama 30 menit (Richana, 2007).

Pembuatan Konsorsium Trikultur Bakteri Termofilik SSA

Isolat bakteri termofilik SSA2, SSA3, dan SSA4 diaktivasi terlebih dahulu. Aktivasi dilakukan dengan mengambil sebanyak 3 ose masing-masing isolat tunggal bakteri SSA2, SSA3, dan SSA4 lalu dimasukkan ke dalam garam fisiologis NaCl 0,85% 10 mL dan disesuaikan dengan tingkat kekeruhan sesuai dengan larutan *McFarland* 0,5. Apabila telah sesuai, inokulum dari masing-masing isolat tunggal pada garam fisiologis diambil sebanyak 10% dari volume total medium *Beechwood xylan* sesuai perlakuan. Perlakuan konsorsium trikultur membutuhkan 3,33 mL untuk setiap inokulum isolat bakteri dan setiap perlakuan dimasukkan ke dalam medium *Beechwood xylan* 90 mL pada erlenmeyer ukuran 250 mL secara triplo. Setelah itu, seluruhnya diinkubasi pada suhu 60°C selama 24 jam menggunakan shaker inkubator dengan kecepatan 140 rpm (Vu et al., 2022)

Optimasi Limbah Agrikultur

Substrat optimum ditentukan dengan prosedur kerja sebagai berikut: menyediakan erlenmeyer ukuran 250 mL yang berisi 50 mL medium fermentasi dengan komposisi polipepton 0,5%, *yeast extract* 0,1%, K_2HPO_4 0,1%, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0,02% dan 0,1% xilan hasil ekstraksi dari limbah pertanian (jerami padi, sekam padi, dan tongkol jagung). Sebanyak 10 ml inokulum diinokulasikan ke dalam medium produksi enzim di atas. Kemudian diinkubasikan dengan suhu 60°C pada shaker 150 rpm selama 6 jam. Medium produksi disentrifugasi pada kecepatan 5000 rpm pada suhu kamar selama 15 menit hingga diperoleh larutan enzim dan selanjutnya ditentukan aktivitas enzim.

Uji Aktivitas Enzim Xilanase

Larutan standar xilosa dibuat dalam kisaran 20, 40, 60, 80 dan 100 µg/ml. Masing-masing larutan standar sebanyak 0,5 ml dicampur dengan 0,5 ml akuades. 16 Kemudian ditambahkan 1 mL pereaksi *Dinitrosalicylic Acid* (DNS). Tabung dimasukkan kedalam penagas air mendidih selama 15 menit, selanjutnya didinginkan dan diukur absorbansinya pada panjang gelombang 540 nm. Pengukuran absorbansi kurva standar xilosa menggunakan persamaan regresi linear sebagai berikut:

$$y = a + bx$$

Keterangan:

- y : Nilai absorbansi pada panjang gelombang $\lambda = 540$ nm
- a dan b : Perhitungan gula standar xilosa
- x : Kadar xilosa

Sebanyak 1 ml sampel di sentrifus, lalu pisahkan antara pelet dan supernatan. Setelah itu dicampurkan 0,25 ml sampel dan 0,5 ml xilan dalam buffer fosfat (pH 8,5) dan diinkubasi pada suhu 60°C selama 10 menit. Kemudian menambahkan 0,5 ml *Dinitrosalicylic Acid* (DNS) dan diinkubasi pada suhu 90°C selama 15 menit. Mengukur absorbansi pada panjang gelombang 540 nm untuk menentukan aktivitas enzim. Pengujian aktivitas enzim xilanase dilakukan dengan menentukan kadar xilosa berdasarkan hasil dari pengujian kurva standar menggunakan persamaan regresi linear diatas.

Analisis Data

Data hasil pengukuran aktivitas enzim pada limbah agrikultur sebagai media konsorsium bakteri termofilik isolat SSA2, SSA3, dan SSA4 dalam menghasilkan enzim xilanase ditampilkan dan dianalisis dalam bentuk tabel.

Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah agrikultur sebagai substrat pengganti xilan memberikan pengaruh terhadap aktivitas produksi enzim xilanase. Hasil menunjukkan bahwa rata-rata aktivitas enzim xilanase pada limbah jerami memiliki nilai tertinggi sebesar 9,289 Unit/ mL, sedangkan aktivitas enzim terendah terdapat pada limbah sekam padi yaitu 6,161 Unit/ mL. Perbandingan aktivitas enzim xilanase pada berbagai substrat yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Aktivitas Enzim Xilanase Pada Substrat Limbah Agrikultur

No	Perlakuan	Rata-rata Aktivitas Enzim (Unit/ mL)
1	Sekam	6,161
2	Tongkol Jagung	6,41
3	Jerami	9,289
4	Kontrol	9,697

Data penelitian diatas menunjukkan bahwa limbah agrikultur memiliki potensi sebagai pengganti xilan dalam menghasilkan enzim xilanase. Dimana diperoleh bahwa jerami mampu menghasilkan aktivitas enzim xilanase sebesar 9,289 Unit/ mL dibandingkan dengan limbah agrikultur lainnya. Hasil ini juga didukung oleh penelitian Richana dkk., yang menyatakan bahwa kandungan xilan pada jerami lebih banyak yaitu sekitar 20% dibandingkan dengan limbah lainnya.

Pada penelitian ini digunakan kontrol (*Beechwood xylan*) sebagai pembanding yang memiliki nilai aktivitas enzim sebesar 9,697 Unit/ mL. Nilai ini memang lebih besar dibandingkan ketiga jenis limbah yang digunakan karena kontrol memiliki kandungan xilan murni akan tetapi dari ketiga jenis limbah agrikultur

tersebut didapatkan bahwa jerami memiliki rata-rata aktivitas enzim xilanase yang mendekati atau optimal. Sehingga jerami dipercaya mampu menjadi alternatif pengganti xilan dalam memproduksi enzim xilanase.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Irdawati dkk., (2020) menunjukkan bahwa jerami merupakan substrat yang paling optimal sebagai pengganti xilan murni pada bakteri termofilik monokultur SSA2 karena kandungan xilannya yang lebih tinggi dibanding limbah sekam padi dan tongkol jagung yaitu sebesar 6,033 Unit/ mL.

Aktivitas enzim xilanase sangat dipengaruhi oleh pemilihan substrat dalam proses fermentasi. Dalam pemilihan substrat yang akan digunakan sebagai pengganti xilan murni, kandungan hemiselulosa harus diperhatikan karena hemiselulosa merupakan komponen utama xilan. Dalam beberapa penelitian disebutkan bahwa limbah pertanian banyak mengandung hemiselulosa, seperti penelitian yang dilakukan oleh Jacobsen dkk., (2000) menyatakan bahwa jerami padi mengandung 24,5% hemiselulosa. Selain itu penelitian yang dilakukan oleh Ardiansyah (2014), menggunakan bakteri *Bacillus subtilis* dengan penambahan substrat jerami padi, diperoleh hasil aktivitas enzim xilanase sebesar 5,178 Unit/mL.

Sekam padi menjadi limbah dengan aktivitas enzim xilanase terendah. Hal ini juga sesuai dengan penelitian Richana yang menyatakan bahwa sekam padi memiliki kandungan xilan terendah dari ketiga jenis limbah yang digunakan yaitu hanya sebesar 6,3%. Hal ini juga dibuktikan oleh Fitriani dkk., (2013), yang menyatakan bahwa sumber karbon alami xilan dari sekam padi menghasilkan aktivitas enzim xilanase terendah. Hal tersebut diduga akibat rendahnya kandungan xilan pada sekam padi dibandingkan kandungan xilan pada tongkol jagung dan bagas tebu.

Penggunaan konsorsium bakteri dipecahkan mampu meningkatkan hasil produksi karena masing-masing isolat akan bekerja sama secara sinergis untuk mempercepat reaksi fermentasi. Hal ini dibuktikan bahwa pada penelitian serupa sebelumnya yang dilakukan oleh Irdawati dkk., (2021), menggunakan isolat monokultur SSA2 didapatkan hasil bahwa jerami memiliki aktivitas enzim xilanase tertinggi yaitu 6,033 Unit/ mL sedangkan pada saat digunakan konsorsium bakteri yaitu isolat SSA2, SSA3, dan SSA4 jerami padi mampu menghasilkan aktivitas enzim sebesar 9,289 Unit/ mL.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian tentang optimasi limbah agrikultur sebagai media produksi enzim xilanase oleh konsorsium bakteri termofilik dapat disimpulkan bahwa limbah jerami mampu dijadikan sebagai alternatif pengganti xilan dalam memproduksi enzim xilanase oleh konsorsium bakteri termofilik dengan aktivitas enzim rata-rata sebesar 9,289 Unit/ mL.

Daftar Pustaka

- Amatto, I., Victoria da Silva, Gonsales da Rosa-Garzon, N., Antonio de Oliveira Simoes, F., Santiago, F., Pereira da Silva Leite, N., Raspante Martins, J., & Cabral, H. (2022). Enzyme Engineering and Its Industrial Applications. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 69(2), 389-409.
- Anggita, S., Sabar, K. R., Juliastuti, S. R., & Hendrianie, N. (2021). Pra-Desain Pabrik Bioetanol dari Jerami Padi. *Jurnal Teknik ITS*, 10 (2), B225-B230.
- Ardiansyah, Y. T., Mulyani, N. S., & Sarjono, P. R. (2014). Isolasi dan Karakterisasi Enzim Xilanase dari *Bacillus Subtilis* pada Media Nutrient Broth dengan Penambahan Xilan Hasil Isolasi Jerami Padi. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 17 (3), 95-99.
- Bhalla, A., Bansal, N., Kumar, S., Bischoff, K. M., & Sani, R. K. (2013). Improved Lignocellulose Conversion to Biofuels with Thermophilic Bacteria and Thermostable Enzymes. *Bioresource technology*, 128, 751-759.
- Fifendy, M., Irdawati, I., & Yenti, N. (2015). Penapisan Bakteri Termofilik Penghasil Enzim Amilase dari Sumber Air Panas Sapan Sungai Aro Kabupaten Solok Selatan. *Eksakta Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 1, 73-81.
- Firdausa, F. K., Santoso, A. B., & Handayani, W. (2017). Ekstraksi Xilan dari Limbah Ampas Singkong dan Pemanfaatannya sebagai Substrat Endo-B-1, 4-D-xilanase. *Berkala Sainstek*, 5 (1), 50-54
- Irdawati, I., Auliya, P. R., Putri, D. H., Handayani, D., & Yusrizal, Y. (2023). The Ability of the Thermophilic Bacteria Triculture Consortium from Mudiak Sapan Hot Springs to Produce Biofuel. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(4), 2265-2270.

- Irdawati, I., Sofiyana, A., Advinda, L., Fiffendy, M., Salvia, S., Syamsuardi, S., & Yahya, Y. (2021). Optimization of Agricultural Waste Substrate as an Alternative Medium for Xylan in Producing Xylanase Enzymes by Thermophilic Bacteria. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1940, No. 1, p. 012052). IOP Publishing.
- Irdawati, S., Agustien, A., & Rilda, Y. (2016). Xylanase Enzyme Stability and Biochemical Characteristics Thermoxylyanolytic Bacteria from Mudiak Sapan Hot Springs at Solok Selatan District. *Der Pharm Lett*, 8, 254-261.
- Jacobsen, S. E., & Wyman, C. E. (2000). Cellulose and hemicellulose hydrolysis models for application to current and novel pretreatment processes. In *Twenty-First Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals: Proceedings of the Twenty-First Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals Held May 2-6, 1999, in Fort Collins, Colorado* (pp. 81-96).
- Lepcha, K., Basak, A., Kanoo, S., Sharma, P., BK, P., & Ghosh, S. (2021). Thermoxylyanolytic and Thermoaccharolytic Potential of A Heat Adapted Bacterial Consortium Developed from Goat Rumen Contents. *Frontiers in Energy Research*, 586.
- Mufarrikha, I., Roosdiana, A., & Prasetyawan, S. (2014). Optimasi Kondisi Produksi Pektinase dari *Aspergillus niger*. *Kimia Student Journal*, 2 (1), 393-399.
- Okoh, A. I. (2006). Biodegradation Alternative in The Cleanup of Petroleum Hydrocarbon Pollutants. *Biotechnology and molecular biology review*, 1(2), 38-50.
- Richana, N. (2002). Produksi dan Prospek Enzim Xilanase dalam Pengembangan Bioindustri di Indonesia. *Buletin AgroBio*.
- Richana, N., Irawadi T.T, Nur M.A., dan Syamsu K., (2008), Isolasi Identifikasi Bakteri Penghasil Xilanase serta Karakterisasi Enzimnya, *Jurnal AgroBiogen*, 4(1): 24-34.
- Richana, N., Lestina, P., & Irawadi, T. T. (2004). Karakterisasi Lignoselulosa dari Limbah Tanaman Pangan dan Pemanfaatannya untuk Pertumbuhan Bakteri RXA III-5 Penghasil Xilanase. *Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen*. Institut Pertanian Bogor. Jawa Barat, 23, 112
- Septiningrum, K. (2011). Produksi xilanase dari tongkol jagung dengan sistem bioproses menggunakan *Bacillus circulans* untuk pra-pemutihan pulp. *Journal of Industrial Research (Jurnal Riset Industri)*, 5(1).
- Shrestha, S., Chio, C., Khatiwada, J. R., Kognou, A. L. M., & Qin, W. (2022). Formulation of The Agro-waste Mixture for Multi-Enzyme (Pectinase, Xylanase, and Cellulase) Production by Mixture Design Method Exploiting *Streptomyces* sp. *Bioresource Technology Reports*, 19, 101142.
- Trismilah, T., & Waltam, D. R. (2009). Produksi Xilanase Menggunakan Media Limbah Pertanian dan Perkebunan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 10(2), 137-144.
- Zarafeta, D., Galanopoulou, A. P., Leni, M. E., Kaili, S. I., Chegkazi, M. S., Chrysin, E. D., & Skretas, G. (2020). XynDZ5: a New Thermostable GH10 Xylanase. *Frontiers in microbiology*, 11, 545.