

Pengaruh Inkubasi Suhu dalam Memproduksi Enzim Xilanase dari Konsorsium Trikultur Bakteri Termofilik

Rada Armiliandi¹, Irdawati²

¹²Program Studi Biologi, Universitas Negeri Padang
e-mail: irdawati.amor40@gmail.com

Abstrak

Xilanase merupakan enzim ekstraseluler yang mampu menghidrolisis xilan (hemiselulosa) menjadi xilosa dan xilo-oligosakarida. Xilanase dapat dihasilkan oleh mikroba termofilik. Bakteri termofilik merupakan mikroorganisme yang mampu menghasilkan enzim termostabil dan dapat hidup pada suhu di atas 45°C-80°C. Struktur suatu enzim terdiri dari serangkaian asam amino yang strukturnya berkaitan erat dengan suhu. Suhu di atas kisaran suhu optimal dapat merusak struktur lipatan protein enzim, mampu mengubah bentuk enzim, situs aktif, yang akan mengurangi aktivitas enzim atau menghentikan aktivitasnya sedangkan di bawah suhu optimal struktur protein menjadi kaku sehingga menurunkan aktivitasnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui suhu yang optimum oleh bakteri termofilik dalam menghasilkan enzim xilanase dari konsorsium trikultur bakteri termofilik. Jenis penelitian ini yaitu bersifat deskriptif. Penelitian menggunakan bakteri termofilik dari Sumber Air Panas Mudiak Sapan (MS), yaitu isolat MS 16, MS 18, dan MSS 11. Medium beechwood ekstrak jerami digunakan untuk aktivasi konsorsium bakteri MSS 11, MS 16, dan MS 18, lalu diinkubasi pada suhu 55°C, 65°C dan 75°C dengan kecepatan 150 rpm. Kemudian data disajikan dalam bentuk tabel. Produksi aktivitas enzim xilanase konsorsium trikultur bakteri termofilik yang tertinggi diperoleh pada suhu 65°C yaitu 13,09 U/mL. Sedangkan pada suhu 55°C memiliki nilai aktivitas enzim lebih rendah yaitu 4,09 U/mL.

Kata Kunci : *Xilanase, Bakteri Termofilik, Suhu, Aktivitas Enzim*

Abstract

Xylanase is an extracellular enzyme that is capable of hydrolyzing xylan (hemicellulose) into xylose and xylo-oligosaccharides. Xylanase can be produced by thermophilic microbes. Thermophilic bacteria are microorganisms that are capable of producing thermostable enzymes and can live at temperatures above 45°C-80°C. The structure of an enzyme consists of a series of amino acids whose structure is closely related to temperature. Temperatures above the optimal temperature range can damage the folded structure of the enzyme protein, can change the shape of the

enzyme, the active site, which will reduce enzyme activity or stop its activity, whereas below the optimal temperature the protein structure becomes stiff, thereby reducing its activity. This research aims to determine the optimum temperature by thermophilic bacteria in producing xylanase enzymes from a triculture consortium of thermophilic bacteria. This type of research is descriptive. The research used thermophilic bacteria from the Mudiak Sapan (MS) Hot Springs, namely isolates MS 16, MS 18, and MSS 11. Beechwood straw extract medium was used to activate the bacterial consortium MSS 11, MS 16, and MS 18, then incubated at a temperature of 55 °C, 65°C and 75°C at a speed of 150 rpm. Then the data is presented in table form. The highest production of xylanase enzyme activity by the triculture consortium of thermophilic bacteria was obtained at a temperature of 65°C, namely 13.09 U/mL. Meanwhile, at a temperature of 55°C, the enzyme activity value is lower, namely 4.09 U/mL.

Keywords: *Xylanase, Thermophilic Bacteria, Temperature, Enzyme Activity*

PENDAHULUAN

Penggunaan enzim dalam bidang industri menyumbang sekitar 80% dari komersialisasi enzim global (Miguel *et al.*, 2013) Enzim merupakan biokatalisator berperan sebagai katalis yaitu mempercepat reaksi suatu senyawa kimiawi didalam sel tanpa habis bereaksi (Kurniawati *et al.*, 2019). Pemanfaatan enzim pada bidang industri lebih disukai karena dapat mengurangi penggunaan bahan kimia dan ramah lingkungan (Sigres & Sutrisno 2015). Salah satu enzim yang banyak digunakan dalam bidang industri adalah enzim xilanase (Trismillah *et al.*, 2000).

Xilanase merupakan enzim ekstraseluler yang mampu menghidrolisis xilan (hemiselulosa) menjadi xilosa dan xilo-oligosakarida. Xilanase dapat digunakan pada pemutih pulp, dapat mengubah hemiselulosa menjadi bahan baku produksi, serta memproduksi biofuel dan gula xilosa. Pemutih pulp dengan menggunakan xilanase dapat menggantikan pemutih kimia dengan klorin, yang tidak berkelanjutan (Irdawati *et al.*, 2018). Xilanase dapat dihasilkan oleh mikroba melalui proses fermentasi (Susilowati *et al.*, 2012). Aplikasi enzim dalam bidang industri semakin membutuhkan enzim yang berada di lingkungan yang ekstrim. Karena faktor utama yang dapat merusak enzim adalah suhu, maka diperlukan enzim bersifat termostabil, yaitu enzim yang tahan terhadap suhu tinggi (Nanda *et al.*, 2017).

Bakteri Termofilik merupakan mikroorganisme yang mampu menghasilkan enzim termostabil melalui fermentasi. (Susilowati *et al.*, 2012). Habitat bakteri termofilik terdapat pada lingkungan yang bersuhu tinggi seperti sumber air panas, tanah yang terus-menerus terkena sinar matahari, dan tanah yang mengalami fermentasi kompos (Irdawati dan Fifendy, 2012). Bakteri yang ditemukan di alam baik sebagai kultur tunggal maupun kultur campuran (Padmaperuma, 2020). Penggunaan konsorsium mikroba cenderung memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan penggunaan isolat monokultur, hal ini disebabkan karena kerja enzim dari tiap jenis mikroba dapat saling melengkapi untuk dapat bertahan hidup menggunakan sumber nutrisi yang tersedia

dalam media pembawa tersebut (Siahaan *et al.*, 2013). Irdawati *et al.*, (2023) menyatakan bahwa konsorsium merupakan campuran populasi mikroba yang berbentuk komunitas dan memelihara hubungan kerjasama baik secara, komensalisme, dan mutualisme. Menurut Deng (2016), di dalam dunia industri konsorsium mikroba dapat menghasilkan enzim xilanase dengan kemampuan hidrolisis yang lebih tinggi.

Aktivitas enzim adalah besarnya kemampuan enzim dalam mengkatalisis reaksi penguraian sumber karbon. Aktivitas enzim dinyatakan dengan U/mL. Aktivitas enzim xilanase dipengaruhi oleh faktor lingkungan yang mencakup suhu, pH, substrat dan kofaktor. Kebutuhan suhu dan pH optimum bagi aktivitas enzim ditentukan oleh suhu dan pH lingkungan asal bakteri (Hairisah, 2018). Suhu dan pH sangat mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme dan aktivitas enzim (Habibie *et al.*, 2013). Struktur suatu enzim terdiri dari serangkaian asam amino yang strukturnya berkaitan erat dengan suhu. Suhu di atas suhu optimal dapat merusak struktur lipatan protein enzim, sedangkan di bawah suhu optimal struktur protein menjadi kaku sehingga menurunkan aktivitasnya (Wahidah *et al.*, 2022). Aktivitas enzim spesifik merupakan jumlah unit aktivitas enzim per jumlah protein yang digunakan (Wuryanti 2003). Machfoed *et al.*, (1989) melaporkan bahwa jumlah aktivitas enzim spesifik ditentukan dari nilai aktivitas enzim dengan protein terlarut dalam supernatan enzim. Lehninger (2006) menyatakan bahwa aktivitas enzim dalam mengkatalis substrat dipengaruhi oleh kelengkapan komponen penyusunnya.

Suhu lingkungan cocok untuk kehidupan dengan beragam sistem mikroba yang mampu bertahan pada suhu tinggi. Resistensi bakteri terhadap suhu tinggi disebabkan karena bakteri termofilik memiliki struktur protein yang berbeda dengan bakteri mesofilik sehingga dapat bertahan hidup pada suhu ekstrim (Suharti dan Putra 2022). Pengaruh suhu sangat menentukan aktivitas enzim selama reaksi katalitik, semua enzim membutuhkan sebagian panas agar dapat berfungsi. Dengan meningkatnya suhu, aktivitas enzim juga meningkat (Irdawati *et al.*, 2018). Karakterisasi enzim pada kondisi yang berbeda mengarah pada penentuan kondisi fermentasi enzim yang optimal. Suhu di atas kisaran optimal mampu mengubah bentuk enzim. situs aktif, yang akan mengurangi aktivitas enzim atau menghentikan aktivitasnya. selanjutnya, penting untuk melakukan optimasi suhu dalam produksi enzim (syarif *et al.*, 2023). Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui suhu optimum yang mampu menghasilkan enzim xilanase dari konsorsium bakteri termofilik.

METODE

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian adalah: erlenmeyer, beaker glass, petridish, gelas ukur, autoklaf, tabung reaksi, bunsen, *centrifuge*, inkubator, timbangan digital, jarum inkulasi, oven, pipet tetes, rak tabung reaksi, spektrofotomer, kompor listrik (*hot plate*), *vortex mixer*, *stirer*, label, mikropipet, *shaker*

incubator. Isolat konsorsium bakteri termofilik MS (Mudiak Sapan) yaitu isolat MS18, MSS11, dan MS16 (koleksi Dr. Irdawati, M.Si, 2016) dari laboratorium Mikrobiologi FMIPA UNP, aquades, tissue, kain kasa, kapas, alkohol 70%, Medium Nutrien Agar (NA), xilan, *Dinitrosalicylic Acid* (DNS), Medium *Beechwood* ekstrak jerami 0,3%, *Peptone Bacteriological*, *Yeast Extract*, CaCl_2 0,2 M, HCl, NaOCl, K_2HPO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan Etanol 95%.

Metode Penelitian

a). Regenerasi Bakteri

Regenerasi bakteri dilakukan dengan cara menginokulasikan 1 ose biakan murni ke dalam medium NA miring. Kultur bakteri diinkubasi dalam *inkubator* pada suhu 50°C selama 2-5 hari.

b). Pembuatan Medium Beechwood Ekstrak Jerami Padi

Medium untuk menumbuhkan bakteri penghasil xilanase yaitu menggunakan medium *beechwood* ekstrak jerami dengan komposisi polipepton 0,5%, yeastextract 0,1%, K_2HPO_4 0,1%, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,02%, dan ekstrak jerami (xilan)0,3%. Larutkan dalam 1000 ml akuades dengan pH 8. Panaskan dan aduk hingga homogen kemudian disterilkan dalam autoklaf pada suhu 121°C dan tekanan 15 psi selama 15 menit.

c). Aktivasi Isolat Konsorsium Penghasil Protein dan Enzim Xilanase Pada Variasi Suhu

Isolat bakteri MSS 11, MS 16 dan MS 18 diaktivasi terlebih dahulu. Inokulum dipersiapkan dengan isolat bakteri dimasukkan kedalam larutan fisiologis dengan tingkat kekeruhan sesuai larutan McFland. Apabila telah sesuai, inokulum dimasukkan sebanyak 2,5 ml kedalam medium beechwood xilan ekstrak Jerami 22,5 ml pada erlenmeyer 50 ml. selanjutnya inokulum tersebut diinkubasi pada berbagai suhu yaitu: 55°C, 65°C, dan 75°C selama 24 jam menggunakan shaker incubator dengan kecepatan 140 rpm. Kemudian starter dari masing-masing isolat tunggal tersebut diambil sebanyak 3,5 ml kemudian dimasukkan kedalam Erlenmeyer 250 ml. Lalu diaktivasi kembali selama 6 jam menggunakan shaker inkubator dengan kecepatan 150 rpm.

d). Pengukuran Aktivitas Enzim

Sebanyak 1 ml sampel di sentrifuge, lalu pisahkan antara pelet dan supernatan. Seelanjutnya diambil 0,25 ml supernatan kemudian ditambhkan 0,5 ml xilan dalam buffer phospat ph 8, lalu diinkubasi pada thermoshaker pada suhu 60°C selama 10 menit. Lalu tambahkan 0,5 ml larutan DNS dan diinkubasi pada watherbath dengan suhu 90°C selama 15 menit, terakhir yaitu mengukur absorpsi dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 540 nm untuk menentukan aktivitas enzim.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Produksi Enzim Xilanase Konsorsium Bakteri Termofilik Isolat MS 16, MS 18, MSS 11 Pada Variasi Suhu

Hasil pengukuran protein dan enzim pada isolat bakteri MSS 11, MS 16 dan MS 18 pada variasi suhu 55°C, 65°C dan 75°C didapatkan hasil enzim spesifik sebagai berikut:

Tabel 1. Nilai pengukuran enzim, protein dan enzim spesifik dari konsorsium bakteri termofilik MSS 11, MS 16 dan MS 18

Suhu (°C)	Rata-rata aktivitas Enzim (U/mL)
55°C	4,09
65°C	13,09
75°C	10,09

Aktivitas enzim adalah besarnya kemampuan enzim dalam mengkatalisis reaksi penguraian sumber karbon. Aktivitas enzim dinyatakan dengan U/mL. Hasil produksi aktivitas enzim xilanase oleh konsorsium trikultur bakteri termofilik MS 16, MS 18 dan MSS 11 pada suhu 65°C lebih tinggi dibandingkan suhu 55°C, dan 75°C seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1. Karena faktor-faktor utama yang mempengaruhi aktivitas enzim adalah suhu, konsentrasi enzim, substrat, senyawa inhibitor dan aktivator serta pH. (Noviyanti & Ardiningsih 2013). Suhu adalah salah satu faktor lingkungan yang memengaruhi struktur dan fungsi konsorsium bakteri. Suhu inkubasi juga sangat berpengaruh terhadap aktivitas fisiologis yang penting untuk pengendalian pertumbuhan, aktivitas mikroba, dan fungsi normal enzim (Alrumman *et al.*, 2018).

Produksi aktivitas enzim xilanase tertinggi diperoleh pada suhu optimum 65°C menghasilkan produksi enzim sebanyak 13,09 U/mL. Adanya kompatibilitas atau sinergisme dari kedua bakteri potensial atau lebih yang akan dijadikan sebagai agen pupuk hayati atau diinokulasikan ke tanaman target merupakan faktor yang penting agar bakteri yang diaplikasikan dapat hidup dengan baik. Mekanisme sinergisme antar isolat dalam konsorsium disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya: (1) salah satu dari genus bakteri mampu menyediakan satu atau lebih faktor nutrisi yang tidak dapat disintesis oleh bakteri lainnya, (2) Genus bakteri yang tidak mampu mendegradasi bahan organik tertentu akan bergantung pada produk bahan organik yang telah didegradasi oleh bakteri genus lainnya, (3) Genus bakteri mampu melindungi genus bakteri lainnya yang sensitif terhadap bahan organik tertentu dengan cara memproduksi faktor protektif yang spesifik maupun non spesifik yaitu menurunkan konsentrasi bahan organik yang bersifat toksik (Deng *et al.*, 2016). Suhu optimum pada

proses fermentasi menyebabkan terjadinya kenaikan kecepatan reaksi enzim karena bertambahnya energi kinetik yang mempercepat gerak enzim dan substrat. Energi tersebut akan menaikkan benturan antara molekul-molekul sehingga memperbesar peluang keduanya untuk bereaksi membentuk kompleks enzim substrat yang lebih stabil dan produk yang terbentuk juga akan semakin banyak sehingga aktivitas enzim bertambah (Mulyani *et al.*, 2009).

Elfiati (2004) menyatakan bahwa, adanya kompatibilitas atau sinergisme dari dua bakteri yang diinokulasikan merupakan faktor yang sangat penting agar kedua bakteri tersebut dapat berfungsi dengan baik. Oleh karena itu aktivitas enzim mencapai nilai maksimal ketika berada disuhu optimum, pada suhu tersebut enzim mampu bekerja secara maksimal dan memiliki konformasi sisi aktif yang lebih stabil (Habibie *et al.*, 2014). Aktivitas enzim semakin meningkat dengan bertambahnya suhu hingga suhu optimum tercapai.

Lalu pada suhu 75°C mengalami penurunan aktivitas enzim sebesar 10,09 U/mL. Suhu sangat mempengaruhi pertumbuhan dan kegiatan fisiologi bakteri suatu mikroba atau bakteri. Daya tahan terhadap suhu berbeda bagi tiap spesies mikroba. Suhu di atas suhu optimum, kenaikan suhu menyebabkan turunnya aktivitas spesifik xilanase hal ini terjadi karena enzim merupakan suatu protein yang dapat terdenaturasi pada suhu tinggi. Denaturasi adalah perubahan konformasi enzim akibat adanya perenggangan ikatan hidrogen yang bersifat reversibel pada struktur tersier xilanase. Perenggangan tersebut akan mempengaruhi sisi aktif enzim xilanase untuk berikatan dengan substrat, sehingga kompleks enzim substrat yang terbentuk sedikit dan produk xilosa yang dihasilkan sedikit (Mulyani *et al.*, 2009). Hal ini sesuai dengan Widhiana (2015) apabila suhu inkubasi mengalami kenaikan diatas suhu optimum, dapat menyebabkan aktivitas enzim menurun akibat denaturasi xilanase, kemudian dapat terganggunya sisi aktif enzim sehingga enzim tidak dapat bekerja dengan baik. Suhu yang terlalu rendah dapat meningkatkan waktu regenerasi dan memperlambat pertumbuhan sel, sedangkan suhu yang terlalu tinggi menyebabkan kematian bakteri karena seiring berjalannya waktu peningkatan suhu lingkungan maka akan memperbesar tekanan atau "stres" pada sel sehingga bakteri berdampak pada kurang maksimalnya proses fisiologis pada sel bakteri (Respati *et al.*, 2017)

Pada suhu 55°C, aktivitas enzim xilanase mengalami penurunan yang signifikan yang memiliki aktivitas enzim yaitu 4,09U/mL. Hal ini dikarenakan sebagian protein telah mengalami kerusakan atau terdenaturasi. Suhu lingkungan yang meningkat di sekitar enzim akan menyebabkan putusya ikatan hidrogen, ikatan ion atau interaksi hidrofobik sehingga struktur tersier enzim berubah, yang menyebabkan struktur lipatan enzim membuka pada bagian permukaan sehingga sisi aktif enzim berubah mengakibatkan terjadi penurunan aktivitas enzim (Whitaker, 1994). Suhu juga sangat mempengaruhi laju pertumbuhan mikroorganisme, laju sintesis enzim, dan juga laju inaktivasi enzim (Knob dan Carmona 2008). Menurut Madigan *et al.*, (2012) metabolisme suhu dapat meningkat sampai pada saat terjadinya denaturasi.

Saat mencapai keadaan denaturasi tersebut, fungsi dari sel akan menurun ke titik nol, sehingga kerja enzim akan terganggu. Suhu yang tidak sesuai dengan substrat bisa merubah komposisi substrat, sehingga substrat tidak dapat masuk pada bagian sisi aktif enzim (Rumiris *et al.*, 2012). Walaupun tidak semua enzim adalah protein, namun sebagian besar enzim adalah protein yang tersusun dari asam amino. Struktur enzim dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan molekul protein yang menyusunnya. Selanjutnya liku-liku, lipatan atau bentuk struktur enzim yang beraneka ragam memberikan keunikan dan membuat situs aktif yang unik dalam setiap enzim (Wahidah *et al.*, 2022).

Chakdar *et al.*, (2016) bakteri memiliki aktivitas xilanolitik yang bervariasi dengan sifat yang berbeda karena keragaman gen xilanase pada bakteri itu sendiri. Meskipun demikian, perbedaan kemampuan bakteri monokultur dan konsorsium untuk mendegradasi xilan dengan berbagai efisiensi dan cara kerja yang berbeda juga bergantung pada komposisi dan organisasi gen xilanase untuk memproduksi enzim xilanase yang dipengaruhi oleh suhu. Distribusi global nomor salinan gen diantara fragmen gen pendegradasi xilan diwakili oleh empat gen yang mengkode, yaitu endo-1,4-beta-xilanase (XynA), xilan 1,4-beta-xylosidase (XynB), glucuronoarabinoxylan endo-1,4 betaxylanase (XynC), dan xilanase ujung pereduksi oligosakarida (RexA). Xilanase dari konsorsium bakteri termofilik *Thermonospora fusca*, *Bacillus* sp dan *Bacillus stearothermophilus* menghasilkan suhu optimum pada suhu 65°C (Kulkarni *et al.*, 1999). Penggunaan mikroba sebagai agen penghasil enzim memiliki keuntungan seperti, kecepatan tumbuh mikroba tinggi sehingga memproduksi enzim dalam waktu singkat, mudah dikontrol, dan biaya produksi relatif murah (Pangesti *et al.*, 2012). Penelitian bakteri termofilik yang diteliti oleh Vu *et al.*, (2022) dengan menggunakan konsorsium trikultur secara spesifik, tiga strain bakteri yaitu *Bacillus licheniformis*, *Bacillus subtilis* dan *Bacillus coagulans* dengan suhu optimum aktivitas enzim xilanase yang dihasilkan yaitu pada suhu 60°C dengan nilai aktivasi enzim sebesar 2,692 U/ml. selanjutnya konsorsium bikultur pada mikroba *caldicoprobacter* dan *E. coli* juga menghasilkan aktivitas enzim optimal yang sangat baik pada suhu 80°C (Mhiri *et al.*, 2020). Aktivitas enzim xilanase diukur berdasarkan konsentrasi xilosa yang terbentuk dari ekstrak jerami sebagai substrat. Semakin tinggi kadar xilosa yang terukur menunjukkan peningkatan aktivitas enzim xilanase (Imanisa *et al.*, 2023).

SIMPULAN

Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa: Nilai rata-rata aktivitas enzim xilanase tertinggi diperoleh dari konsorsium trikultur bakteri termofilik pada suhu 65°C menghasilkan produksi enzim sebanyak 13,09 U/mL, sedangkan yang paling rendah diperoleh pada suhu 55°C yang memiliki aktivitas enzim yaitu 4,09 U/mL.

DAFTAR PUSTAKA

- Alrumman, S., Mostafa, Y. S. M., Al-Qahtani, S., & Taha, T. H. T. (2018). Hydrolytic enzyme production by thermophilic bacteria isolated from Saudi hot springs. *Open life sciences*, 13(1), 470-480.
- 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.
- Chakdar, H., Kumar, M., Pandiyan, K., Singh, A., Nanjappan, K., Kashyap, P. L., & Srivastava, A. K. (2016). Bacterial xylanases: biology to biotechnology. *3 Biotech*, 6, 1-15.
- Deng, Y. J., & Wang, S. Y. (2016). Synergistic growth in bacteria depends on substrate complexity. *Journal of Microbiology*, 54, 23-30. D.
- Elfiati, D. 2005. *Peranan Mikroba Pelarut Fosfat Terhadap Pertumbuhan Tanaman*. Medan : USU
- Habibie, F.M., A. K. Wardani dan M. Nurcholis. (2014). Isolasi dan Identifikasi Molekuler Mikroorganisme Termofilik Penghasil Xilanase dari Lumpur Lapindo. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*. Vol. 8(1) Hal: 231-238.
- Hairisah, S. F. (2018). Produksi dan Karakterisasi Enzim Xilanase Isolat *Bacillus* sp. UJ-131 Sebagai Kandidat Probiotik dari Hutan Mangrove Margasari Lampung Timur. *Skripsi*. Universitas Negeri Lampung.
- Irdawati, I., dan Fifendy, M. 2012. Isolasi Bakteri Termofilik Penghasil Amilase dari Sumber Air Panas Rimbo Panti Pasaman. *Prosding & Rapat Tahunan*. Universitas Negeri Padang.
- Irdawati, I., Putri, I. S., Syamsuardi, A. A., & Rilda, Y. (2018). The Thermophilic Bacterial Growth Curve. *Bioscience*, 2(2), 58-64.
- Irdawati, I., Syamsuardi, S., Agustien, A., & Rilda, Y. (2018). Screening of Thermophilic Bacteria Produce Xylanase from Sapan Sungai Aro Hot Spring South Solok. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 335, No. 1, p. 012021). IOP Publishing.
- Irdawati, I., Hidayati, Z., Advinda, L., Fifendy, M., & Salvia, S. (2023, May). Specific Thermophilic Bacterial Xylanase Enzyme Activity Using Rice Straw as Substrate and Its Possibility as an Eco-friendly Fabric Bleach. In *3rd International Conference on Biology, Science and Education (IcoBioSE 2021)* (pp. 67-75). Atlantis Press.
- Imanisa, T. W., Mardawati, E., & Masruchin, N. (2023). Xylanase Production from *Aspergillus niger* via Submerged Fermentation towards Oil Palm Empty Fruit Bunches (OPEFB) Valorization as Value-added Biorefinery Products. *Biomass, Biorefinery, and Bioeconomy*, 1(1).
- Knob, A., & Carmona, EC (2008). Produksi xilanase oleh *Penicillium sclerotiorum* dan karakterisasinya. *World Appl Sci J*, 4(2), 277-283.

- Kulkarni, N., Shendye, A., & Rao, M. (1999). Molecular and biotechnological aspects of xylanases. *FEMS microbiology reviews*, 23(4), 411-456.
- Kurniawati, L., Kusdiyantini, E., & Wijanarka, W. (2019). Pengaruh variasi suhu dan waktu inkubasi terhadap aktivitas enzim selulase dari bakteri *Serratia marcescens*. *Jurnal Akademika Biologi*, 8(1), 1-9.
- Lehninger, A. L. (1997). *Dasar-Dasar Biokimia. Jilid I (Edisi Revisi)*. Erlangga, Jakarta.
- Nanda, P. T. (2017). Isolasi, Karakterisasi dan Uji Potensi Bakteri Penghasil Enzim Termostabil Air Panas Kerinci. *Chempublish Journal*, 2(1), 26-31.
- Noviyanti, T., & Ardiningsih, P. (2013). Pengaruh temperatur terhadap aktivitas enzim protease dari daun sansakng (*Pycnarrhena cauliflora* Diels). *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 1(1).
- Machfoed, E.G., Said dan Krisnani. (1989). *Fermentor. Petunjuk Laboratorium. PAU Pangan dan Gizi*. IPB. Bogor.
- Mhiri, S., Bouanane-Darenfed, A., Jemli, S., Neifar, S., Ameri, R., Mezghani, M., & Bejar, S. (2020). A thermophilic and thermostable xylanase from *Caldicoprobacter algeriensis*: Recombinant expression, characterization and application in paper biobleaching. *International journal of biological macromolecules*, 164, 808-817.
- Miguel, A. M., Martins-Meyer, T. S., Figueiredo, E. V. D. C., Lobo, B. W. P., & Dellamora-Ortiz, G. M. (2013). Enzymes in bakery: current and future trends. *Food industry*, 287-321.
- Mulyani, N. S., Asy'ari, M., & Prasetyoningsih, H. (2009). Penentuan Konsentrasi Optimum Oat Spelts Xylan pada Produksi Xilanase dari *Aspergillus niger* dalam Media PDB (Potato Dextrose Broth). *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 12(1), 7-13.
- Padmaperuma, G., Butler, T. O., Shuhaili, F. A. A., Almalki, W. J., & Vaidyanathan, S. (2020). Microbial consortia: Concept and application in fruit crop management. In *Fruit crops* (pp. 353-366). Elsevier
- Pangesti, N. W. I., Pangastusti, A., & Retnaningtyas, E. (2012). Pengaruh penambahan molase pada produksi enzim xilanase oleh fungi *Aspergillus niger* dengan substrat jerami padi. *Asian Journal of Tropical Biotechnology*, 9(2), 41-48.
- Respati, N. Y., Yulianti, E., & Rahmawati, A. (2017). Optimasi suhu dan pH media pertumbuhan bakteri pelarut fosfat dari isolat bakteri termofilik. *Kingdom (The Journal of Biological Studies)*, 6(7), 423-430.
- Rumiris, M., Devi, S., & Dahliaty, A., (2012). Optimalisasi Suhu Produksi Enzim Selulase dari Bakteri Selulolitik yang diisolasi Dari Sungai Siak. *Jurnal Kimia*.7(1): 1-7.
- Sharif, S., Shah, A. H., Fariq, A., Jannat, S., & Rasheed, S. R. (2023). Production, characterization and applications of cellulase from thermophilic *Anoxybacillus* and *Bacillus*.
- Siahaan, S., Hutapea, M., & Hasibuan, R. (2013). Penentuan kondisi optimum suhu dan waktu karbonisasi pada pembuatan arang dari sekam padi. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 2(1), 26-30.

- Sigres, D. P., & Sutrisno, A. (2015). Enzim Manase dan Aplikasi di Bidang Industri: Kajian Pustaka. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 3(3).
- Suharti, N. S., & Putra, G. (2022). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Termofilik Penghasil Amilase dari Sumber Air Panas Sidebuk-debuk Sumatera Utara. *Jurnal Ilmiah Panmed (Pharmacist, Analyst, Nurse, Nutrition, Midwivery, Environment, Dentist)*, 17(1), 147-157.
- Susilowati, P. E., Raharjo, S., Kurniawati, D., Rahim, R., Sumarlin, A., & Ardiansyah, A. (2012). Produksi Xilanase dari Isolat Sumber Air Panas Sonai, Sulawesi Tenggara, menggunakan Limbah Pertanian. *Jurnal Natur Indonesia*, 14(3), 1-6.
- Trismilah & Sumaryanto. (2000). Pemanfaatan Kulit Pisang Sebagai Sumber Karbon Oleh *Bacillus Stearothermophilus* DSM 22 Untuk Produksi Enzim Xilanase. *Seminar Nasional Industri Enzim dan Teknologi II*. 403- 410.
- Vu, V., Farkas, C., Riyad, O., Bujna, E., Kilin, A., Sipiczki, G., & Nguyen, Q. D. (2022). Enhancement of the enzymatic hydrolysis efficiency of wheat bran using the *Bacillus* strains and their consortium. *Bioresource Technology*, 343, 126092.
- Wahidah, T. H., Mustikaningtyas, D., Widiatningrum, T., & Dewi, P. (2022). Pengaruh Faktor Lingkungan terhadap Pertumbuhan *Trichoderma* spp. dan Aktivitas Enzim Amilase dan Xilanase. *Life Science*, 11(2), 108-119.
- Whitaker, J.,R., (1994). *Principle of Enzymology for The Food Science, Second Edition*. New York: Marcel Decker
- Widhiana, ET., Ardhiningsih, P., & DestiartiL. (2015). Production and Characterization of Xylanase from Acidophilic Xylanolytic Fungi. *Journal of Equatorial Chemistry*.4(2).
- Wuryanti. (2003). Penentuan aktivitas spesifik heksokinase dari limbah anggur pisang biji. *JSKA* 7(3):2,4.