



Produksi dan Karakterisasi Xylanase asal Aktinomisetes ATG 70 Menggunakan Substrat Xilan Tongkol Jagung

Production and Characterization of Xylanase from Actinomyces ATG 70 Using CornCob Xylan Substrate

Tasya Preira Farrennina¹⁾, Amelia Fahreza Putri²⁾, Sattya Arimurti³⁾, Rudju Winarsa⁴⁾, Esti Utarti^{5*)}

^{1,2,3,4,5}Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember

Article info

Keywords

Actinomycetes; Corn; Cob; Xylan;
Xylanase

Article history

Received 29-09-2025

Accepted 02-10-2025

***Corresponding author**

esti.fmipa@mail.unej

ABSTRACT

Xilan is a polysaccharide that can be used as a substrate for producing xylanase. Xylan can be obtained from processing xylan-rich agricultural waste such as corn cobs, which contain 12.4% xylan. Xilan can be hydrolyzed into xylose and xylooligosaccharide (XOS) using the enzyme Xylanase. Actinomycetes have dominant xylanolytic species, Actinomyces ATG 70 has semi-qualitative xylanolytic ability with an enzyme activity index of 3.21 ± 0.55 in xylan media. This study was conducted by extracting xylan from corn cobs, rejuvenating Actinomyces ATG 70, preparing the inoculum, creating a standard curve, producing xylanase with pH optimization of the medium, testing xylanase activity, characterizing the pH and temperature of crude xylanase, and identifying the morphology and biochemical characteristics of Actinomyces ATG 70. Optimization of the pH of the xylanase production medium was achieved at pH 8, with xylanase activity of 10.07 ± 0.13 U/mL. The crude xylanase was characterized for pH and temperature effects, and the optimal pH for crude xylanase was found to be pH 6 with xylanase activity of 7.64 ± 0.66 U/mL, and the optimal temperature was 50°C with xylanase activity of 11.17 ± 0.33 U/mL. The identification results showed that Actinomyces ATG 70 belongs to Gram-positive bacteria, with a positive catalase test, white colonies, cream-colored aerial mycelium, and cream-colored pigmentation. The spore structure consists of long chains of conidia, streptococcus-shaped cells, and can form aerial mycelium, thus the isolate belongs to the genus Streptomyces.

Artikel info

Kata kunci

Aktinomisetes; Tongkol Jagung;
Xilan; Xilanase

Riwayat Artikel

Received 29-09-2025

ABSTRAK

Xilan adalah polisakarida yang dapat dijadikan substrat untuk memproduksi xilanase. Xilan dapat diperoleh dari mengolah limbah pertanian kaya xilan seperti tongkol jagung yang memiliki kandungan xilan sebanyak 12,4%. Xilan dapat dihidrolisis menjadi xilosa dan xilooligosakarida (XOS) menggunakan enzim

Xylanase. Aktinomisetes memiliki spesies yang dominan bersifat xilanolitik, aktinomisetes ATG 70 memiliki kemampuan xilanolitik secara semikualitatif dengan indeks aktivitas enzim sebesar $3,21 \pm 0,55$ pada media xilan. Penelitian ini dilakukan dengan mengekstraksi xilan tongkol jagung, peremajaan aktinomisetes ATG 70, persiapan inokulum, pembuatan kurva standar, produksi xilanase dengan optimasi pH media, uji aktivitas xilanase, karakterisasi pH dan suhu *crude xylanase* serta identifikasi morfologi dan karakterisasi biokimia aktinomisetes ATG 70. Optimasi pH media produksi xilanase didapatkan pada pH media 8 dengan aktivitas xilanase sebesar $10,07 \pm 0,13$ U/mL. Hasil *crude xylanase* di karakterisasi pengaruh pH dan suhunya dan didapatkan pH optimum *crude xylanase* yaitu pH 6 dengan aktivitas xilanase sebesar $7,64 \pm 0,66$ U/mL dan suhu optimum 50°C dengan aktivitas xilanase sebesar $11,17 \pm 0,33$ U/mL. Hasil identifikasi menunjukkan bahwa aktinomisetes ATG 70 termasuk ke dalam Gram positif, uji katalase positif, memiliki koloni berwarna putih, miselium udara berwarna krem dan membentuk pigmentasi warna krem. Struktur sporanya yaitu *long chains of conidia*, bentuk sel streptococcus, dan dapat membentuk miselium udara, sehingga isolat tersebut termasuk ke dalam genus *Streptomyces*.

PENDAHULUAN

Xilanase tergolong dalam enzim hidrolitik yang dapat memecah ikatan β -(1,4)-glikosidik pada xilan sehingga menjadi xilooligosakarida (XOS) dan xilosa. Xilanase banyak tersebar di alam karena disekresikan oleh berbagai jenis spesies seperti moluska, tumbuhan, hewan, jamur, aktinomisetes, bakteri, dan lain sebagainya yang disebut sebagai mikroorganisme xilanolitik. Pemanfaatan xilanase banyak digunakan dalam industri seperti industri pangan, pakan, peternakan, dan pulp serta kertas (Ameen, 2023). XOS yang dihasilkan dari hasil pemecahan xilan oleh xilanase memiliki berbagai macam manfaat salah satunya yaitu pada kesehatan karena dapat bermanfaat sebagai prebiotik. XOS merupakan oligosakarida yang terdiri atas 2-10 residu D-xilosa yang terhubung melalui ikatan β -(1,4)-glikosidik. XOS dapat dimanfaatkan oleh mikrobiota seperti *Lactobacillus casei* dan *Lactobacillus acidophilus* sehingga dapat menekan pertumbuhan mikroorganisme patogen (Huang et al., 2022).

Xilan merupakan hemiselulosa utama pada banyak biomassa. Hemiselulosa adalah polisakarida yang berikatan dengan selulosa dan dapat diekstraksi menggunakan larutan alkali. Berdasarkan rantai sampingnya, xilan dibagi menjadi tiga yaitu glukoronoxilan, arabinoxilan, dan metilglukoronoxilan (Avci, 2022). Xilan *beechwood* umumnya digunakan untuk memproduksi xilanase, tetapi penggunaan xilan *beechwood* membutuhkan biaya yang tinggi sehingga perlu inovasi produksi xilan dengan memanfaatkan limbah pertanian seperti tongkol jagung, ampas tebu, dedak gandum, sekam padi, dan jerami padi (Irdawati et al., 2021). Tongkol jagung merupakan limbah lignoselulosa yang paling banyak ditemui di alam salah satunya pada area persawahan dan mengandung selulosa sebanyak 30-40%, xilan sebanyak 30-35%, dan lignin sebanyak 10-20% yang dapat digunakan sebagai sumber untuk memproduksi bioproduk salah satunya yaitu xilanase (Liang et al., 2023). Mikroorganisme yang dapat menghasilkan xilanase disebut sebagai mikroorganisme xilanolitik yaitu seperti *Streptomyces albidoflavus*, *Aspergillus oryzae*, *Bacillus brevis*, *Penicillium meleagrinum*, *Streptomyces* sp. S2, dan lain-lain (Utarti et al., 2021) (Gupta et al., 2022).

Aktinomisetes termasuk ke dalam kelompok bakteri berfilamen seperti jamur dan bersifat Gram positif. Mikroorganisme ini bersifat heterogen dan merupakan produsen antibiotik alami (Sapkota et al., 2020). Mikroba ini tersebar luas di alam baik di tempat alami maupun buatan dan dapat bertahan hidup pada habitat yang ekstrem dengan karakteristik yang berbeda-beda. Aktinomisetes dapat membentuk hifa yang terpecah-pecah seperti *Nocardia* sp. atau membentuk miselium bercabang seperti pada *Streptomyces* sp. (De Simeis & Serra, 2021). Mikroorganisme ini banyak ditemukan di tanah tetapi juga dapat ditemukan pada perairan tawar, asin, udara, tanah hipersalin, rizosfer tanaman, dan lain-lain. Aktinomisetes dapat melindungi akar tanaman dengan menghambat pertumbuhan jamur patogen

dengan mengeluarkan anti jamur, sehingga banyak aktinomisetes yang ditemukan dapat hidup stabil pada rizosfer tanaman yang berbeda (Selim et al., 2021). Aktinomisetes ATG 70 merupakan salah satu aktinomisetes yang hidup pada rizosfer tanaman (Utarti et al., 2021). Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa aktinomisetes ATG 70 memiliki kemampuan xilanolitik yang menunjukkan indeks aktivitas enzim sebesar $3,21 \pm 0,55$ pada media yang mengandung xilan. Xilanase yang dihasilkan oleh aktinomisetes ATG 70 memiliki aktivitas sebesar $7,93 \pm 0,02$ U/mL saat diproduksi pada media tongkol jagung selama 5 hari.

Karakterisasi enzim adalah salah satu proses lanjut setelah produksi enzim. Karakterisasi enzim dilakukan untuk mendapatkan optimasi kondisi aktivitas enzim, identifikasi enzim, mengetahui reaksi enzim, dan lain sebagainya. Penelitian yang dilakukan oleh (Kim & Chi, 2024), menunjukkan bahwa *Streptomyces viridodiastaticus* MS9 menghasilkan xilanase yang memiliki aktivitas enzim yang optimal pada pH 7 dan suhu 60-65°C. Xilanase yang dihasilkan oleh *S. viridodiastaticus* MS9 ini juga mengalami kenaikan aktivitas pada penambahan ion logam Ca^{2+} , K^{+} , dan Na^{+} , tetapi mengalami penurunan aktivitas pada penambahan EDTA dan Zn^{2+} . Oleh karena penelitian ini dilakukan untuk mengoptimasi produksi lanjut dan karakterisasi pada xilanase dari aktinomisetes ATG 70 untuk mengoptimalkan aktivitasnya.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini menggunakan substrat xilan yang berasal dari tongkol jagung untuk memproduksi xilanase asal aktinomisetes ATG 70 yang kemudian akan dilakukan karakterisasi meliputi pengaruh pH dan suhu pada xilanase aktinomisetes ATG 70. Tongkol jagung yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Kabupaten Banyuwangi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi ekstraksi xilan tongkol jagung, peremajaan aktinomisetes ATG 70, persiapan inokulum, pembuatan kurva standar xilosa, produksi xilanase dengan optimasi pH media, uji aktivitas xilanase, karakterisasi pH dan suhu *crude xylanase*, dan identifikasi morfologi dan karakterisasi biokimia aktinomisetes ATG 70.

Sampel dalam penelitian ini adalah xilanase aktinomisetes ATG 70 yang diproduksi menggunakan substrat xilan yang diekstraksi dari tongkol jagung. Aktinomisetes ATG 70 merupakan mikroorganisme yang diisolasi dari perakaran tembakau di Desa Antirogo, Kecamatan Summersari, Kabupaten Jember. Sampel yang didapatkan kemudian dilakukan karakterisasi untuk mengetahui kondisi optimal aktivitas xilanase ATG 70.

Ekstraksi xilan asal tongkol jagung dilakukan dengan metode alkali (Richana et al., 2007) dengan sedikit modifikasi (Salupi et al., 2015). Delignifikasi dilakukan dengan merendam serbuk tongkol jagung yang berukuran 177 μm dengan larutan NaOCl 1% (v/v) pada suhu 25°C dan didiamkan selama 5 jam. Serbuk tongkol jagung kemudian dibilas, disaring, dan dikeringkan pada suhu 50°C selama 48 jam. Kemudian dilakukan perendaman dengan larutan NaOH 15% pada suhu 25°C selama 24 jam dan dilakukan penyaringan. Larutan yang didapatkan kemudian dilakukan penetralan pH dengan HCl 37% lalu dilakukan sentrifugasi 6000 rpm selama 30 menit. Supernatan yang didapatkan kemudian diendapkan dengan etanol 95% dengan perbandingan 1:3 (v/v). Endapan yang berupa xilan kemudian dipisahkan dengan melalui sentrifugasi lalu dikeringkan pada suhu 50°C sampai beratnya konstan.

Persiapan inokulum dilakukan dengan menggunakan kultur aktinomisetes dengan kepadatan spora 10^8 spora/mL. Aktinomisetes ATG 70 diinokulasikan pada media ISP-4 miring dan diinkubasi sampai hari ke-6 lalu dikerik dengan cara menambahkan 5 mL larutan tween 80 0,05% pada tabung yang sudah berisi kultur aktinomisetes ATG 70. Kemudian suspensi diambil sebanyak 20 μL dan dilakukan perhitungan kepadatan spora menggunakan hemositometer (Ruanpanun et al., 2010) (Gupta et al., 2022). Kepadatan spora dihitung menggunakan rumus:

$$S \text{ (spora/mL)} = \frac{n}{L (0,04 \text{ mm}^2) \times h (0,1 \text{ mm})} \times \frac{1}{fp} \dots\dots\dots (1) \text{ (Madigan et al., 2018)}$$

S= jumlah spora/mL

n= jumlah sel pada bidang hitung

L= luas bidang hitung kotak sedang ($0,04 \text{ mm}^2$)

h= kedalaman bidang hitung ($0,1 \text{ mm}$)

fp= faktor pengenceran

Pembuatan kurva standar xilosa dilakukan dengan melarutkan 0,01 gram xilosa ke dalam 10 mL akuades sebagai larutan stok xilosa. Diambil masing-masing 0,0, 0,25, 0,50, 0,100, 0,150, 0,175, 0,200, 0,225, 0,275, dan 0,300 mL dan ditambahkan akuades sampai volume 1 mL. Kemudian ditambahkan reagen DNS sebanyak 1,5 mL pada setiap konsentrasi xilosa lalu diinkubasi pada penangas air selama

15 menit dengan suhu 100°C. Hasil dari setiap konsentrasi kemudian diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 540 nm.

Produksi xilanase dilakukan dengan menginokulasikan aktinomisetes ATG 70 dengan kepadatan spora 10^8 spora/mL pada media produksi yang mengandung xilan tongkol jagung sebanyak 1%. Media produksi xilanase dibuat dengan variasi pH yaitu 4, 5, 6, 7, dan 8 yang kemudian diinkubasi pada *shaker* 150 rpm pada 25°C selama 5 hari. Pembuatan variasi pH media dilakukan dengan menggunakan 1 N NaOH dan 1 N HCL sebelum media disterilisasi (Chen et al., 2019). Ekstraksi xilanase dilakukan dengan sentrifugasi menggunakan 12.000 rpm selama 20 menit 4°C (Wang et al., 2021). pH medium yang optimum ditentukan dengan hasil uji aktivitas xilanase.

Uji aktivitas xilanase dilakukan dengan metode dinitrosalisilat dengan standar xilosa (Miller, 1959). Dimasukkan 0,5 mL *crude xylanase* pada 1% xilan *beechwood* (dalam 100 mM buffer fosfat pH 6) sebanyak 0,5 mL dan diinkubasi selama 30 menit pada suhu ruang. Reaksi kemudian dihentikan dan ditambahkan 1,5 mL reagen 3,5-DNS (*Dinitro Salicylic Acid*) kemudian diinkubasi pada air mendidih selama 20 menit (Utarti, Suwanto, et al., 2021). Kontrol dibuat dengan melakukan perlakuan yang sama tetapi *crude xylanase* ditambahkan setelah reagen DNS. Kemudian dilakukan pengukuran absorbansi menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 540 nm. Satu unit aktivitas xilanase diartikan sebagai jumlah enzim yang dapat menghasilkan 1 μ mol/menit (He et al., 2014). Rumus untuk menghitung aktivitas xilanase yaitu sebagai berikut:

$$\text{Aktivitas xilanase (U/mL)} = \frac{C \times p}{v \times BM \times t} \dots\dots\dots (2) \text{ (Purba et al., 2020)}$$

C= konsentrasi gula pereduksi

p= pengenceran

BM (Berat molekul xilosa)= 150 (g/mol)

v= volume sampel

t= waktu inkubasi (menit)

Pengaruh pH pada aktivitas xilanase ditentukan dengan menggunakan beberapa variasi pH yaitu 5.0-9.0 pada suhu 25°C. Pengaruh suhu pada aktivitas xilanase dilakukan dengan menguji enzim pada suhu antara 27-60°C pada pH optimum dengan xilan sebagai substrat (He et al., 2014).

Identifikasi morfologi dilakukan dengan pewarnaan Gram isolat aktinomisetes ATG 70 yang sudah berusia 7 hari. Isolat diambil sebanyak 1 ose kemudian dilakukan fiksasi dengan Bunsen diberi tetesan larutan kristal violet selama 1 menit lalu dibilas. Langkah selanjutnya yaitu dengan meneteskan isolat dengan larutan iodium selama 1 menit dan dibilas. Kemudian ditetaskan larutan alkohol selama 30 detik lalu dibilas kembali dan terakhir ditetaskan dengan larutan safranin dan didiamkan selama 2 menit lalu dibilas dengan akuades. Aktinomisetes yang termasuk ke dalam Gram positif akan menghasilkan warna ungu, sedangkan Gram negatif akan menghasilkan warna merah (Begum et al., 2017).

Pengamatan makroskopis dilakukan dengan mengamati warna miselium substrat dan miselium udara. Pengamatan mikroskopis dilakukan dengan metode *slide culture* pada media ISP-4 dengan menggunakan *cover glass* yang diatur kemiringan 45° pada bagian tengah media. Kemudian pada batas antara media dan *cover glass* isolat diinokulasikan sebanyak satu ose lalu diinkubasi selama 7 hari pada suhu 25°C. *Cover glass* kemudian diambil dan diamati di mikroskop dengan perbesaran 400x. Identifikasi dilakukan menggunakan buku *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology* 9th. Pengamatan morfologi mikroskopis dilakukan berdasarkan bentuk rantai sporanya (Prasetya & Abadi, 2022).

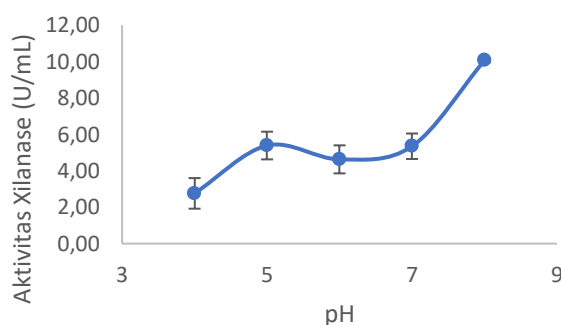
Karakterisasi biokimia dilakukan dengan pengamatan pembentukan pigmen isolat dan uji aktivitas katalase. Pembentukan pigmen isolat secara makroskopis dilakukan dengan menginokulasikan aktinomisetes ATG 70 pada media ISP-4 dan diinkubasi pada suhu 25°C selama 7 hari. Uji aktivitas katalase dilakukan dengan menginokulasikan isolat pada media ISP-4 lalu diambil satu ose dan diletakkan pada *object glass*. Isolat kemudian ditetaskan dengan larutan H₂O₂, hasil positif ditunjukkan dengan terbentuknya gelembung gas (Li et al., 2016).

Analisis data dilakukan secara deskriptif mengenai aktivitas xilanase, pengaruh pH, dan suhu terhadap xilanase aktinomisetes ATG 70, serta mengenai identifikasi morfologi dan karakterisasi biokimia aktinomisetes ATG 70. Selanjutnya data yang dihasilkan akan disajikan melalui grafik dan gambar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

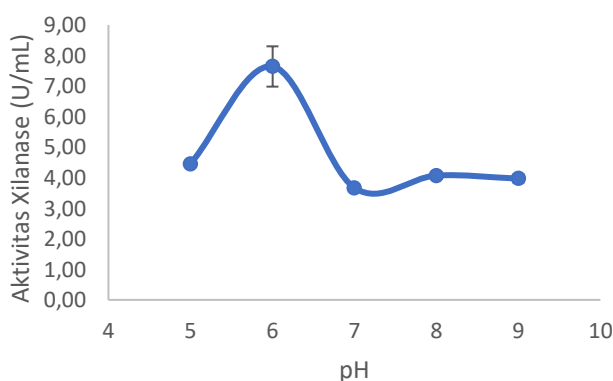
Xilanase aktinomisetes ATG 70 diproduksi dengan menggunakan kepadatan spora 10^8 spora/mL pada media dengan konsentrasi xilan sebesar 1% dan diinkubasi pada suhu 25°C selama 6 hari. Kepadatan spora yang digunakan sesuai dengan kepadatan spora yang umum digunakan untuk memproduksi suatu enzim yaitu berkisar antara 10^6 - 10^8 spora/mL (Gupta et al., 2022) (Torabi et al., 2019). Menurut (Irdawati et al., 2021) apabila konsentrasi substrat yang diberikan terlalu tinggi maka aktivitas enzim akan rendah karena dapat menghambat interaksi antara substrat dan enzim, sehingga didapatkan substrat xilan sebanyak 1% yang dapat menghasilkan aktivitas xilanase yang paling tinggi.

Optimasi pH media pada produksi xilanase didapatkan pH yang paling optimum yaitu media dengan pH 8 dengan aktivitas xilanase sebesar $10,07 \pm 0,13$ U/mL (Gambar 1). Penelitian yang dilakukan oleh (Swelam et al., 2024), *Streptomyces* C5 memiliki aktivitas yang optimal pada pH 7 yaitu sebesar 28,3 U/mL. Hal ini dikarenakan aktinomisetes merupakan mikroba yang dapat tumbuh secara optimum pada pH dengan rentang 6,5-8,0 (Ngamcharungchit et al., 2023).



Gambar 1. Optimasi pH media produksi xilanase

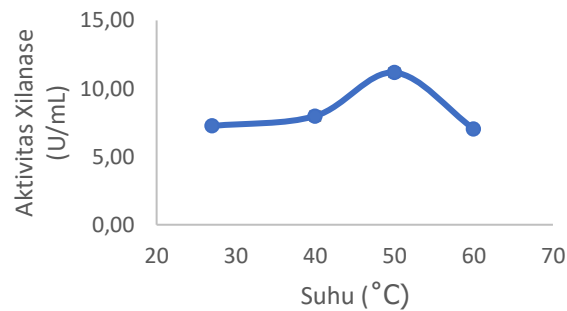
Aktivitas katalitik xilanase adalah besarnya kemampuan xilanase dalam mengkatalis reaksi penguraian dari sumber karbon. Aktivitas xilanase juga dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor meliputi pH, suhu, substrat, dan kofaktor. pH dan suhu dapat berpengaruh terhadap aktivitas enzim (Armiliandi & Irdawati, 2024). Pengaruh pH terhadap aktivitas xilanase aktinomisetes ATG 70 menunjukkan pH optimum yaitu pada pH 6 dengan aktivitas xilanase sebesar $7,64 \pm 0,66$ U/mL (Gambar 2). Kim dan Chi (2024), melakukan penelitian pengaruh pH terhadap aktivitas xilanase yang diproduksi oleh *Streptomyces viridodistaticus* MS9 dan didapatkan hasil memiliki pH optimal pada pH 7.



Gambar 2. Aktivitas *crude xylanase* pada karakterisasi pH

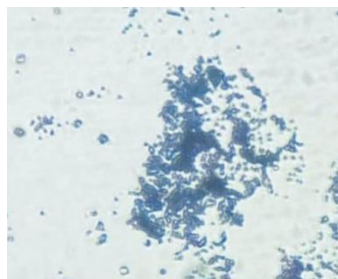
Pengaruh suhu terhadap aktivitas xilanase aktinomisetes ATG 70 menunjukkan hasil aktivitas xilanase optimum pada suhu 50°C dengan aktivitas xilanase sebesar $11,17 \pm 0,33$ U/mL. Aktivitas xilanase kemudian mengalami penurunan pada suhu 60°C menjadi sebesar $7,04 \pm 0,04$ U/mL (Gambar 3). Hal ini dapat disebabkan karena xilanase telah mengalami denaturasi yang menyebabkan turunnya aktivitas xilanase karena adanya perenggangan pada ikatan hidrogen struktur xilanase. Renggangnya ikatan hidrogen pada struktur xilanase mempengaruhi sisi aktif xilanase yang menyebabkan

berkurangnya kemampuan untuk berikatan dengan substrat sehingga xilosa yang terbentuk menjadi sedikit (Armiliandi & Irdawati, 2024).

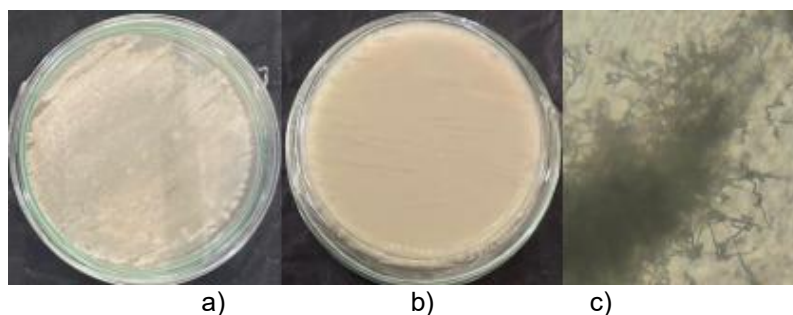


Gambar 3. Aktivitas *crude xylanase* pada karakterisasi suhu

Pewarnaan Gram pada aktinomisetes ATG 70 didapatkan sel berwarna ungu yang menandakan bahwa isolat tergolong ke dalam kelompok Gram positif (Gambar 4). Hal ini sesuai dengan pernyataan (Karthik et al., 2020) bahwa aktinomisetes termasuk ke dalam mikrob anaerob, dapat membentuk spora, dan termasuk ke dalam bakteri Gram positif. Karakteristik makroskopis aktinomisetes ATG 70 memiliki koloni berwarna putih, miselium udara berwarna krem dan membentuk pigmentasi berwarna krem. Struktur spora dari aktinomisetes ATG 70 yaitu memiliki konidia berupa *long chains of conidia* yang tersusun atas rantai spora spiral yang panjang, bentuk sel *streptococcus*, dan membentuk miselium udara (Gambar 5). Berdasarkan karakter yang telah diamati aktinomisetes ATG 70 termasuk ke dalam genus *Streptomyces* (Holt et al., 1994).



Gambar 4 Pewarnaan Gram aktinomisetes ATG 70



Gambar 5. Karakter morfologi aktinomisetes ATG 70: a). Morfologi makroskopis bagian depan, b). Morfologi makroskopis bagian belakang, c). Morfologi mikroskopis

Uji katalase pada aktinomisetes ATG 70 menunjukkan terbentuknya gelembung yang menandakan hasil positif (Gambar 6). Gelembung yang terbentuk pada uji katalase adalah gas O_2 yang dihasilkan dari reduksi H_2O_2 menjadi air dan oksigen yang dikatalis oleh enzim katalase. Hal ini menunjukkan bahwa aktinomisetes ATG 70 membentuk enzim katalase yang digunakan untuk menguraikan H_2O_2 yang dihasilkan dari respirasi aerob yang memiliki sifat racun bagi sel karena terjadinya pembentukan H_2O_2 dapat menyebabkan kematian pada mikroorganisme (Huda et al., 2012).



Gambar 6. Uji katalase aktinomisetes ATG 70

KESIMPULAN

Produksi xilanase menggunakan aktinomisetes ATG 70 memiliki pH media optimum pada pH 8 dan menghasilkan *crude xylanase* dengan karakter optimum pada pH 6 dengan aktivitas sebesar $7,64 \pm 0,66$ U/mL dan suhu 50°C dengan aktivitas sebesar $11,17 \pm 0,33$ U/mL. Aktivitas xilanase aktinomisetes ATG 70 tergolong sedang mengingat xilanase yang dihasilkan masih berupa *crude xylanase* yang belum dimurnikan. Berdasarkan identifikasi morfologi mikroskopis dan makroskopis aktinomisetes masuk ke dalam genus *Streptomyces* yang dapat menghasilkan katalase dan termasuk ke dalam kelompok Gram positif.

DAFTAR PUSTAKA

- Ameen, F. (2023). Purification and Characterization of Xylanase Produced by *Aspergillus fumigatus* Isolated from the Northern Border Region of Saudi Arabia. *Fermentation*, 9(7), 1-14. <https://doi.org/10.3390/fermentation9070595>
- Armiliandi, R., & Irdawati. (2024). Pengaruh inkubasi suhu dalam memproduksi enzim xilanase dari konsorsium trikultur bakteri termofilik. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 8(1), 188-194.
- Avci, U. (2022). Trafficking of Xylan to Plant Cell Walls. *Biomass*, 2(3), 188-194. <https://doi.org/10.3390/biomass2030012>
- Begum, K., Mannan, S. J., Rezwan, R., Rahman, M. M., Rahman, M. S., & Kamal, A. N. E. (2017). Isolation and Characterization of Bacteria with Biochemical and Pharmacological Importance from Soil Samples of Dhaka City. *Dhaka University Journal of Pharmaceutical Sciences*, 16(1), 129-136. <https://doi.org/10.3329/dujps.v16i1.33390>
- Chen, Z., Zaky, A. A., Liu, Y., Chen, Y., Liu, L., Li, S., & Jia, Y. (2019). Purification and characterization of a new xylanase with excellent stability from *Aspergillus flavus* and its application in hydrolyzing pretreated corncobs. *Protein Expr Purif*, 154, 91-97. <https://doi.org/10.1016/j.pep.2018.10.006>
- De Simeis, D., & Serra, S. (2021). Actinomycetes: A Never-Ending Source of Bioactive Compounds-An Overview on Antibiotics Production. *Antibiotics (Basel)*, 10(5), 1-32. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10050483>
- Gupta, G. K., Dixit, M., Kapoor, R. K., & Shukla, P. (2022). Xylanolytic enzymes in pulp and paper industry: new technologies and perspective. *Molecular Biotechnology*, 64(1), 130-143.
- He, J., Su, L., Sun, X., Fu, J., Chen, J., & Wu, J. (2014). A novel xylanase from *Streptomyces* sp. FA1: Purification, characterization, identification, and heterologous expression. *Biotechnology and Bioengineering*, 119(1), 8-17. <https://doi.org/10.1007/s12257-013-0490-2>
- Holt, J. G., Krieg, N. R., Sneath, P. H. A., Staley, J. T., & Williams, S. T. (1994). *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. Ninth Edition. Lippincott Williams & Wilkins.
- Huang, C., Yu, Y., Li, Z., Yan, B., Pei, W., & Wu, H. (2022). The preparation technology and application of xylo-oligosaccharide as prebiotics in different fields: A review. *Frontiers in Nutrition*, 9(1), 996811. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.996811>
- Huda, C., Salni, & Melki. (2012). Penapisan aktivitas antibakteri dari bakteri yang berasosiasi dengan karang lunak *Sarcophyton* sp. *Maspari Journal*, 4(1), 69-76.
- Irdawati, I., Sofiyyana, A., Advinda, L., Fiffendy, M., Salvia, S., Syamsuardi, S., Agustien, A., Rilda, Y., & Yahya, Y. (2021). Optimization of agricultural waste substrate as an alternative medium for xylan in producing xylanase enzymes by thermophilic bacteria. *Journal of Physics: Conference Series*, 1940(1), 1-7.
- Karthik, Y., Kalyani, M. I., Sheetal, K. S., Rakshitha, D., & Bineesha, K. B. (2020). Cytotoxic and antimicrobial activities of microbial proteins from mangrove soil actinomycetes of Mangalore, Dakshina Kannada. *Biomedicine*, 40(1), 59-67. <https://doi.org/10.51248/v40i1.104>

- Kim, J. H., & Chi, W. J. (2024). Molecular and Biochemical Characterization of Xylanase Produced by *Streptomyces viridodiataticus* MS9, a Newly Isolated Soil Bacterium. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 34(1), 176-184. <https://doi.org/10.4014/jmb.2309.09029>
- Li, Q., Chen, X., Jiang, Y., & Jiang, C. (2016). *Cultural, physiological, and biochemical identification of actinobacteria in Actinobacteria—Basics and Biotechnological Applications*, D. Dhanasekaram and Y. Jiang, Eds. IntechOpen.
- Liang, M., Lin, Y., Sun, L., Pang, H., Wei, H., Huang, R., Wei, Y., & Du, L. (2023). Discovery of a Novel β -xylosidase with Xylanase Activity and Its Application in the Production of Xylitol from Corn cob Xylan. *Fermentation*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/fermentation9070606>
- Madigan, M. T., Bender, K. S., Buckley, D. H., Sattley, W. M., Stahl, D. A., & Brock, D. (2018). *Brock Biology of Microorganisms 15th Edition*. Pearson Education.
- Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3), 426-428.
- Ngamcharunghit, C., Chaimusik, N., Panbangred, W., Euanorasetr, J., & Intra, B. (2023). Bioactive Metabolites from Terrestrial and Marine Actinomycetes. *Molecules*, 28(15), 1-33. <https://doi.org/10.3390/molecules28155915>
- Prasetya, D., & Abadi, M. F. (2022). Isolasi dan identifikasi *Streptomyces* sp. pada kolam tanah di Desa Tengkur Tulungagung Jawa Timur. *The Journal of Medical Laboratory*, 10(1), 1802.
- Purba, N., Gunam, I. B. W., & Wijaya, I. M. M. (2020). Produksi enzim selulase kasar dari isolat bakteri BS28 menggunakan substrat brangkasan jagung dengan perlakuan konsentrasi inokulum dan komposisi media yang berbeda. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*, 10(1), 1802.
- Richana, N., Irawadi, T. T., Nur, M. A., Sailah, I., Syamsu, K., & Arkenan, Y. (2007). Ekstraksi xilan dari tongkol jagung. *Jurnal Pascapanen*, 4(1), 38-43.
- Ruanpanun, P., Tangchitsomkid, N., Hyde, K. D., & Lumyong, S. (2010). Actinomycetes and fungi isolated from plant-parasitic nematode infested soils: screening of the effective biocontrol potential, indole-3-acetic acid and siderophore production. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 26(9), 1569-1578. <https://doi.org/10.1007/s11274-010-0332-8>
- Salupi, W., Yopi, Y., & Meryandini, A. (2015). Xylanase Activity of *Streptomyces violascences* BF 3.10 on Xylan Corn cobs and its Xylooligosaccharide Production. *Media Peternakan*, 38(1), 27-33. <https://doi.org/10.5398/medpet.2015.38.1.27>
- Sapkota, A., Thapa, A., Budhathoki, A., Sainju, M., Shrestha, P., & Aryal, S. (2020). Isolation, Characterization, and Screening of Antimicrobial-Producing Actinomycetes from Soil Samples. *International Journal of Microbiology*, 2020(1), 2716584. <https://doi.org/10.1155/2020/2716584>
- Selim, M. S. M., Abdelhamid, S. A., & Mohamed, S. S. (2021). Secondary metabolites and biodiversity of actinomycetes. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 19(1), 72. <https://doi.org/10.1186/s43141-021-00156-9>
- Swelam, M. S., El awady, M. E., El-khoneyzy, M., Hassan, M. G., Selim, M. S., & Salam, S. S. A. (2024). Screening and optimization of the production of xylanase enzyme from *Streptomyces*. *Journal of Basic and Environmental Sciences*, 11(1), 51-59.
- Torabi, A., Shahidi Bonjar, G. H., Abdolshahi, R., Pournamdari, M., Saadoun, I., & Barka, E. A. (2019). Biological control of *Paecilomyces formosus*, the causal agent of dieback and canker diseases of pistachio by two strains of *Streptomyces misionensis*. *Biological Control*, 137(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104029>
- Utarti, E., Alim, S. F., & Setyati, D., Sutoyo, S. (2021). Isolasi Aktinomiset Pelarut Fosfat Asal Perakaran Tembakau (*Nicotiana tabacum* L.) di Antirogo Jember. *Metamorfosa: Journal of Biological Sciences*, 8(2), 260-267. <https://doi.org/10.24843/metamorfosa.2021.v08.i02.p09>
- Utarti, E., Suwanto, A., Suhartono, M. T., & Meryandini, A. (2021). Lytic polysaccharide monooxygenase of soil actinomycete with potential use for lignocellulose biodegradation. *Malaysian Journal of Microbiology*, 17(1), 60-68. <https://doi.org/10.21161/mjm.200869>
- Wang, J., Liang, J., Li, Y., Tian, L., & Wei, Y. (2021). Characterization of efficient xylanases from industrial-scale pulp and paper wastewater treatment microbiota. *AMB Express*, 11(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s13568-020-01178-1>