



Tinjauan Literatur: Imobilisasi Sel Bakteri Termofilik Penghasil Enzim Xylanase

Irdawati, Nafisa Arini, Rizka Meisy Evis Putri, Safira Nurul Fadila, Syifa Kamila Namidya
*Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang
Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Bar., Kec. Padang Utara, Kota Padang, Sumatera Barat 25171
Email: rizkameisy43@gmail.com*

ABSTRAK

Enzim xilanase merupakan salah satu enzim yang saat ini banyak dimanfaatkan dalam dunia perindustrian. Xilanase dapat dihasilkan oleh mikroba melalui proses fermentasi, yang biasanya dihasilkan oleh bakteri atau khamir. Dalam penelitian ini kami melaporkan dan mendiskusikan informasi ilmiah tentang imobilisasi sel bakteri termofilik penghasil enzim xilanase. Metode penelitian berupa literature review dengan cara mencari artikel di database yaitu Google Scholar. Artikel dicari menggunakan kata kunci yang telah ditentukan oleh peneliti. Kata kunci untuk pencarian ini termasuk istilah berikut: Enzim xilanase, bakteri termofilik, imobilisasi, xilanolitik. Berdasarkan hasil literatur review ini kami menyimpulkan bahwa dengan teknik imobilisasi, sel bakteri termofilik penghasil enzim xilanase, atau bakteri xilanolitik berpotensi dalam penggunaan di dunia perindustrian. Diharapkan hasil penelitian ini dapat menambah informasi mengenai potensi bakteri termofilik penghasil enzim xilanase dalam penggunaannya di dunia perindustrian.

Kata Kunci: bakteri termofilik, enzim, imobilisasi, industri, xilanase

PENDAHULUAN

Mikroorganisme merupakan salah satu organisme hidup yang dapat menghasilkan enzim selain dari tumbuhan, hewan maupun manusia (Pakpohan, 2009). Secara umum, mikroorganisme dibagi dalam 4 kelompok berdasarkan suhu lingkungan di mana dia hidup, yaitu psikrofil, mesofil, termofil dan hipertermofil. Pada umumnya mikroorganisme yang dapat hidup dan bereproduksi pada kondisi ekstrem seperti suhu, pH, tekanan, konsentrasi garam, radiasi, dan toksik dinamakan dengan organisme ekstremofil. Salah satu contoh organisme ekstremofil adalah mikroorganisme termofilik (Pakpohan, 2009).

Mikroorganisme termofilik merupakan mikroorganisme yang mampu hidup pada suhu tinggi dengan suhu optimum pertumbuhan mencapai lebih dari 60°C (Ratri et al., 2009). Selain itu bakteri termofilik juga mampu beraktivitas dan bereproduksi pada lingkungan tersebut (Vanadianingrum, 2008). Bakteri termofilik merupakan bakteri yang dapat menghasilkan enzim termostabil yaitu enzim yang tahan dan stabil terhadap panas serta bisa digunakan dalam berbagai industri. Menurut Rosminik (2001) enzim merupakan suatu protein yang berperan sebagai katalisator pada reaksi biologis. Enzim banyak digunakan dalam berbagai industri, baik industri pangan, industri pulp dan lain-lain. Enzim termostabil yang dapat dihasilkan oleh bakteri termofilik salah satunya adalah enzim xilanase (Susilowati et al., 2012).



Xilanase merupakan kelompok enzim yang memiliki kemampuan menghidrolisis hemiselulosa, dalam hal ini ialah xilan (Rhicana, 2002). Xilan merupakan komponen utama penyusun hemiselulosa yang jumlahnya sangat melimpah di alam. Xilanase dapat dihasilkan oleh mikroba melalui proses fermentasi, yang biasanya dihasilkan oleh bakteri atau khamir (Richana, 2002). Enzim ini mengkatalisis reaksi perengkahan xilan (hemiselulosa) menjadi xilo oligosakarida dan xylose. Xilanase dapat digunakan dalam pemutihan bubur kertas, konversi hemiselulosa menjadi sumber bahan baku produksi, biofuel (bahan bakar) dan produksi gula xilosa. Pemutihan bubur kertas dengan Xilanase menggantikan pemutihan secara kimia konvensional menggunakan klorin yang tidak sustainable (Szendefy, 2005).

Pada proses yang melibatkan enzim, umumnya enzim hanya dapat digunakan untuk sekali pakai, karena secara teknis sangat sulit untuk memisahkan enzim dan produk serta kesulitan mendapatkan kembali enzim yang aktif di akhir reaksi (Sarah, 2001). Untuk mengatasi hal tersebut dalam menghasilkan enzim dapat menggunakan teknik amobilisasi sel, sehingga memudahkan pemurnian produk, meningkatkan produktivitas, kemudahan dalam mengontrol kestabilan sel serta dapat digunakan berulang kali (Riwayati et al., 2012). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Putri (2018) produksi enzim xilanase amobilisasi sel memiliki suhu optimum yaitu 70°C dengan produksi enzim tertinggi 8.992 U/ml dan dapat digunakan hingga 4 kali ulangan.

Enzim xilanase merupakan salah satu enzim yang saat ini banyak dimanfaatkan dalam dunia perindustrian. Aplikasi xilanase untuk industri di antaranya untuk industri pangan, pakan, dan pemutih bubur kertas/pulp. Penggantian penggunaan klor dengan enzim xilanase untuk pemutihan pulp telah memberikan peluang untuk aplikasi bioteknologi dan sekarang telah digunakan pada beberapa pabrik kertas (Bourbonnais et al., 1997, Beg et al., 2000).

Salah satu industri yang memanfaatkan kerja enzim adalah industri pulp dan kertas. Pada industri kertas dan pulp, enzim xilanase berperan dalam meningkatkan ekstraksi lignin dan melepaskan kromofor dari pulp sehingga dapat meningkatkan derajat putih dan kecerahan pada pulp. Artinya xilanase bertindak sebagai enzim yang memfasilitasi proses pemindahan lignin pada proses pemutihan pulp (Bajpai et al., 2004). Proses pemutihan memerlukan suhu tinggi dan pH basa serta stabil. Potensi ini bisa ditemukan pada mikroorganisme termofilik, yaitu mikroorganisme yang berhabitat di suhu tinggi seperti jamur dan bakteri termofilik (Garg et al., 2011). Bakteri penghasil xilanase didapatkan dari genus *Bacillus* serta *Clostridium* (Trismilah dan Waltam, 2016) dan dari spesies *Bacillus subtilis* (Annamalai et al., 2009).

Kebutuhan dunia industri terhadap xilanase pada pasar global setiap dekade memperlihatkan peningkatan yang signifikan. Pada saat ini pasar global dunia untuk industri enzim, khususnya xilanase menyumbangkan 25 % - 28% dari total penjualan enzim dunia. Peningkatan penjualan pada tahun 2001 sebesar 510 juta pound sterling menjadi



760 juta pounstarling pada tahun 2010 (Irdawati et al., 2018). Menurut Rhicana (2002) xilanase dapat diproduksi dari beberapa jenis bakteri dan jamur. Berdasarkan hasil penelitian Lee (1985) bahwa dari 20 strain *Clostridium* sp. ternyata *C. Acetobutylicum* NRRL B527 dan ATCC 824 menghasilkan xilanase terbanyak. Xilanase juga dapat diisolasi dari *Aspergillus niger* dan peningkatan produksi xilanase membutuhkan suatu induser yaitu oat spelts xylan (Irdawati et al., 2018).

Penggunaan xilanase merupakan salah satu alternatif untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan oleh penggunaan klorin dalam proses pemutihan pulp (Tolan dan Collins, 2004). Proses pemutihan pulp dengan klorin menimbulkan persoalan lingkungan yang serius, karena dampak negatifnya adalah buangan senyawa kimia kloro organik, yang di dalamnya terdapat 10 senyawa dioksin dan 10 senyawa furan yang berbahaya. Dioksin dan furan merupakan senyawa yang kuat dengan daya ikat yang besar terhadap tanah dan sedimen karena akan terikat kuat pada partikel tanah dan sedimen. Senyawa ini tidak dapat lepas secara kimiawi maupun biologis, karena sifatnya sulit didegradasi secara alami dan senyawa ini dapat tertahan lebih lama pada permukaan bumi. Kemungkinan lain dapat masuk ke dalam makanan dan akan terakumulasi pada tubuh manusia atau binatang dan bersifat karsinogenik (Valchev, 2010).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proses imobilisasi sel bakteri termofilik penghasil enzim xilanase. Diharapkan hasil penelitian ini dapat menambah informasi mengenai potensi bakteri termofilik penghasil enzim xilanase dalam penggunaannya di dunia perindustrian.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penulisan artikel ini adalah menggunakan literature review dengan satu database, yaitu Google Scholar dengan terbitan tahun 2018-2021. Pencarian referensi artikel dilakukan dengan menggunakan kata kunci "Imobilisasi sel bakteri termofilik penghasil enzim xilanase". Literatur yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 5 jurnal berdasarkan pencarian referensi artikel pada database google scholar. Artikel terdiri dari jurnal berbahasa inggris dan bahasa Indonesia. Langkah pertama yang dilakukan peneliti dalam mereview artikel ini adalah dengan menerjemahkan artikel berbahasa inggris terlebih dahulu. Kemudian dilakukan identifikasi, evaluasi dan sintesis terhadap karya-karya hasil penelitian dan hasil pemikiran yang sudah dihasilkan oleh para peneliti dan praktisi (Moher et al., 2014).

Bagian utama yang diambil dalam literatur review ini adalah bagian abstrak, pendahuluan dan pembahasan dari hasil studi literatur. Karakteristik utama pada artikel yang akan direview merupakan artikel dengan topik pembahasan mengenai imobilisasi bakteri termofilik dan enzim xilanase.

Pada penelitian yang dilakukan Irdawati et al., (2018) digunakan penelitian deskriptif yang dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi Fakultas MIPA Universitas



Negeri Padang dan Laboratorium Bakteriologi Pusat Penelitian BasoVeterin. Prosedur penelitian terdiri dari persiapan dan sterilisasi bahan dan alat, pembuatan medium, regenerasi, seleksi dan identifikasi. Seleksi dilakukan dengan menggunakan plat skrining semikuantitatif yang berisi substrat xilan. Identifikasi dilakukan berdasarkan sifat mikroskopis dan biokimiawi sampai tingkat genus. Kemudian Montanier et al., (2019) penelitiannya fokus pada efek kedekatan spasial ketika enzim yang identik dimobilisasikan ke permukaan. Dengan menggunakan prosedur grafting yang inovatif berdasarkan penggunaan dua fragmen protein yang direkayasa, yaitu Jo dan In, kami menghasilkan model sistem di mana enzim diimobilisasi pada densitas permukaan yang dapat dikontrol secara tepat. Enzim yang digunakan adalah xilanase yang berperan dalam hidrolisis polimer dinding sel tumbuhan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen dan deskriptif di Laboratorium Bioproses, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian, Hasil dari PCR kemudian disequencing dengan metode Hasil sequencing dibandingkan dengan database 16S-rRNA yang ada di Bank Gen (Altschul et al., 1997). Prosedur yang digunakan :

1. Identifikasi Bakteri Unggul Penghasil Xilanase
2. Pengendapan dan Pemurnian Enzim
3. Penentuan Aktivitas dan Stabilitas Enzim pada pH dan Suhu Optimum
4. Penentuan Km dan Vmaks
5. Pengaruh Inhibitor dan Aktivator
6. Kemampuan Enzim Kasar Mendegradasi Substrat Spesifik (Richana et al., 2008).

Metode yang digunakan dari penelitian ini dianalisis secara deskriptif. Data yang didapatkan ditampilkan dalam bentuk gambar. Prosedur yang digunakan adalah

1. Produksi Enzim Xilanase
2. Amobilisasi Sel dengan Menggunakan Alginat
3. Pemasakan Pulp (Bubur Kertas) menggunakan NaOH 5%.
4. Fermentasi Pulp pada Variasi Suhu dengan Menggunakan Sel Amobil Bakteri Termofilik SSA 2.
5. Pengujian Kecerahan Pulp dengan Melihat Bilangan Kappa (Irdawati et.al, 2020).

Metode Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah autoklaf, shaker inkubator, spektrofotometer, inkubator bakteri, dll. Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah isolat bakteri SSA 2, medium NA (Nutrient Agar), Gellan gum, medium beechwood xylan, buffer fosfat, xilosa, pereaksi DNS, aquadest steril, alkohol, dan spiritus.

Prosedur Penelitian



1. Sterilisasi Alat dan Bahan
2. Pembuatan Medium
3. Persiapan Inokulum.

Pelaksanaan Penelitian

Menentukan aktivitas Xilanase Dan dibuat grafik hubungan jumlah bakteri dengan aktivitas xilanase. Dari grafik ini diperoleh data waktu untuk pengisolasian enzim (Irdawati et al., 2018).

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Menurut Irdawati et al., (2018) dalam penelitiannya mengenai screening bakteri termofilik, isolat bakteri termofilik penghasil enzim xylanase yang diambil dari sumber air panas di Sapan Sungai Aro, Solok selatan adalah bakteri Gram-positif, dan memiliki endospora berbentuk bacillus. (*Bacillus* sp.), dengan aktivitas xilanolitik tinggi dengan indeks 0,74. Kemudian Montanier et al., (2019) dalam penelitiannya, menyatakan imobilisasi enzim xylanase dengan penggunaan dua fragmen protein yang direkayasa, yaitu Jo dan In, tidak mempengaruhi aktivitas enzim.

Pengaruh Temperatur Terhadap Aktivitas Enzim

Enzim xilanase (biobleaching) pada penelitian ini dipengaruhi oleh suhu. berdasarkan hasil yang didapatkan bahwa suhu optimum pada fermentasi pulp terdapat pada suhu 60°C dengan nilai 14.432 U/ml dibandingkan pada perlakuan suhu yang lain. Aktivitas enzim akan semakin meningkat dengan bertambahnya suhu hingga suhu optimum tercapai. Kenaikan suhu di atas suhu optimum akan menyebabkan aktivitas enzim menurun akibat denaturasi, hal tersebut menyebabkan enzim tidak bekerja dengan bagus, pada suhu 60°C ini mampu menghasilkan aktivitas enzim tertinggi, hal tersebut menyebabkan produksi enzim xilanase lebih banyak. Berdasarkan hasil penelitian pendahuluan bilangan kappa yang diberi enzim xilanase dari sel amobil bakteri termofilik lebih rendah dibandingkan dengan tanpa menggunakan enzim xilanase. Xilanase dari *Bacillus circulans* dapat diproduksi dengan menggunakan fermentasi fase padat. xilanase yang dihasilkan memiliki karakteristik yang sesuai dengan proses prebleaching, yaitu memiliki aktivitas selulase yang rendah (sebesar 0,07 U/mL) dengan pH optimum 8,5 dan suhu optimum 50°C. Penggunaan xilanase dengan karakteristik tersebut memiliki beberapa keuntungan seperti tidak memerlukan proses netralisasi dan pendinginan pulp dari proses pemasakan ke proses pemutihan.

Isolasi Bakteri Penghasil Xilanase

Isolat yang mampu tumbuh dengan baik memberikan indikasi bahwa bakteri tersebut mampu memanfaatkan satu-satunya sumber karbon dalam media pertumbuhan, yaitu xilan.

Identifikasi Isolat Bakteri Unggul Penghasil Xilanase



Identifikasi dilakukan dengan metode identifikasi berdasarkan urutan 16S-rRNA. Alasan yang digunakan untuk memanfaatkan urutan 16S-rRNA ini adalah karena molekul rRNA mengandung urutan yang sangat konservatif secara evolusi. Daerah yang sangat konservatif dapat digunakan sebagai situs pelekatan primer sehingga dapat diamplifikasi secara in vitro dengan PCR.

Pengendapan dan Pemurnian Enzim Xilanase

Ekstrak kasar xilanase yang diperoleh dari pengendapan amonium sulfat kemudian didialisis, selanjutnya dimurnikan secara elektroforesis preparatif menggunakan tubular polyacrylamide gel, Prep Cell model 491 (Bio-rad) pada kondisi suhu 4°C.

Karakterisasi Xilanase

a. Penentuan pH dan suhu optimum

Hasil penelitian untuk pH optimum, menunjukkan aktivitas xilanase meningkat dengan meningkatnya pH sampai pH 9, kemudian pada pH yang lebih tinggi aktivitasnya menurun. Kondisi pH optimum dibutuhkan oleh enzim untuk mengaktifkan seluruh enzim yang mengikat substrat dan mengubahnya menjadi produk. Semua xilanase dari bakteri alkalofilik menunjukkan aktivitas dekat titik pH netral, meskipun aktivitas tertinggi di daerah basa.

b. Stabilitas xilanase

Kestabilan enzim terhadap kondisi pH dan suhu adalah kemampuan enzim menjaga konformasinya, sehingga mampu mempertahankan aktivitasnya pada kondisi tertentu. Xilanase stabil pada pH 8-9 sampai 18 jam, kemudian aktivitas menurun terutama untuk pH 8, sedangkan untuk pH 9 sampai 24 jam masih tinggi dibandingkan pada lainnya. stabil pada suhu 50°C dengan inkubasi 15 menit.

Pengaruh beberapa ion logam terhadap aktivitas xilanase

Senyawa-senyawa pada protein, mereka dapat memodifikasi aktivitas katalitik dari enzim tersebut, ke arah positif atau negatif. Beberapa molekul kecil pada enzim umumnya, terutama ion-ion anorganik (Zn^{2+} , Co^{2+} , Mg^{2+}) termasuk jenis aktivator.

Kemampuan enzim kasar mendegradasi substrat spesifik

Enzim kasar tidak mengandung selulase tetapi hanya mengandung xilanase. Dengan demikian, enzim xilanase yang diperoleh dari penelitian ini mempunyai sifat tahan alkali (pH 9) dan tidak mengandung selulase (cellulase free) sehingga enzim ini diharapkan prospektif. Pertumbuhan bakteri terdapat 4 tahap yaitu fase lag (adaptasi), fase eksponensial (logaritmik), fase stasioner, dan fase kematian. medium yang digunakan untuk fermentasi merupakan medium yang optimum untuk mikroba termofilik ini.

a. Fase lag (adaptasi)

Waktu adaptasi dari bakteri ini dikatakan singkat. Hal ini terjadi karena medium yang digunakan untuk fermentasi merupakan medium yang optimum untuk mikroba termofilik ini. terjadi relatif singkat karena bakteri tersebut tumbuh pada media yang sama



dengan media pada penyegaran maka penyesuaian diri dengan lingkungan yang baru berlangsung cepat.

b. Fase eksponensial (fase log)

Fase log ini dicirikan dengan adanya pertumbuhan signifikan pada pertumbuhan sel-selnya.

c. Fase logaritmik

Fase logaritmik menggambarkan sel membelah diri dengan laju konstan, masa menjadi dua kali lipat dengan laju sama, aktivitas metabolisme konstan, serta keadaan pertumbuhan seimbang. Fase logaritmik bakteri mengalami pertumbuhan secara cepat kebutuhan akan energi bagi bakteri pada fase logaritmik lebih tinggi dibandingkan pada fase lag (adaptasi), stationer dan kematian.

d. Fase kematian sel

Fase kematian sel yang mati menjadi lebih cepat daripada terbentuknya sel-sel baru, laju percepatan kematian tinggi. Tingginya aktivitas enzim yang terjadi pada waktu panen menunjukkan bahwa bakteri tersebut mampu menghasilkan enzim yang stabil.

PENUTUP

Berdasarkan hasil literatur review ini kami menyimpulkan bahwa dengan teknik imobilisasi, sel bakteri termofilik penghasil enzim xilanase, atau bakteri xilanolitik berpotensi dalam penggunaan di dunia perindustrian. Imobilisasi tidak mempengaruhi masing-masing enzim, enzim xilanase mampu menghasilkan tingkat kecerahan tertinggi pada pulp. Diharapkan hasil penelitian ini dapat menambah informasi mengenai potensi bakteri termofilik penghasil enzim xilanase dalam penggunaannya di dunia perindustrian.

REFERENSI

- Altschul, F. Stephen, L. Thomas, Madden, A. Alejandro, Schaffer, J. Zhang, Z. Zhang, W. Miller, and D.J. Lipman. 1997. Gapped BLAST and PSI-BLAST: A new generation of protein database search program. *Nucleic Acids Res.* 25(17): 3389-3402.
- Annamalai, N., Thavasi, R., Jayalakshmi, S., dan Balasubramanian, T. 2009. Thermostable and alkaline tolerant xylanase production by *Bacillus subtilis* isolated from marine environment. *Indian Journal of Biotechnology.* 8(3): 291-297.
- Beg, Q.K., M. Kapoor, L. Mahajan, and G.S. Hoondal. 2000. Microbial xylanases and their industrial applications: A review. *J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* 56(3-4): 326-338.
- Bourbonnais, R., M.G. Paice, B. Freiermuth, E. Bodie, and S. Borneman. 1997. Reactives of various mediators and laccases with kraft pulp and lignin model compounds. *Appl. Environ. Microbiol.* 63(12): 4632-4632.



- Bajpai, P. 2004. Biological Bleaching Of Chemical Pulps. *Critical Reviews In Biotechnology*. 24 (1): 1-58.
- Garg, G.,R. Mahajan. 2011. Xylanase production using agro-residue in solid-state fermentation from *Bacillus pumilus* ASH for biodelignification of wheat straw pulp. *Biodegradation*. 22 (6): 1143-54.
- Irdawati, Ahmad, F., Syamsuardi, S., Agustien, A., Rilda, Y. 2020. Pengaruh Temperatur terhadap Aktivitas Enzim Amobil Xilanase dalam Proses Biobleaching Kertas (Pulp). *Serambi Biologi*. 5(2): 67-72.
- Irdawati, Putri, I.S., Syamsuardi, Agustien, A., Rilda, Y. 2018. The Thermophilic Bacterial Growth Curve. *Bioscience*. 2(2): 58-64.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D.G. 2014. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *Rev Esp Nutr Hum Diet*. 18(3): 172–181.
- Pakpohan R. 2009. Isolasi Bakteri dan Uji Aktivitas Protease Termofilik dari Sumber Air Panas Sipohalon Tapanuli Utara Sumatera Utara. *Tesis*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Putri. D. D. 2018. Karakterisasi Xilanase Bakteri Termofilik Amobil Dari Sumber Air Panas Sapan Sungai Aro Solok Selatan. *Skripsi*. Padang. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
- Ratri I.R., Sarjono P.R., dan Aminin A.L.N. 2009. Studi Filogeni dan Uji Potensi Bioremediasi serta Enzim Termostabil Ekstraseluler Isolat *Geobacillus* sp. dari Sumber Air Panas Gedong Songo. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 12(2): 31-39.
- Richana, N., Irawadi, T.T., Nur, A., dan Syamsu, K. 2008. Isolasi Identifikasi Bakteri Penghasil Xilanase serta Karakterisasi Enzimnya. *Jurnal AgroBiogen*. 4(1): 24-34.
- Riwayati, I., I. Hartati, L. dan Kurniati. 2012. *Teknologi Imobilisasi Sel Mikroorganisme pada Produksi Enzim Lipase*. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknis. Semarang: UNWAHAS.
- Rosmimik. 2001. Studi Penambahan Ion Kalsium terhadap Aktivitas dan Stabilitas α Amilase *Bacillus stearothermophilus* TII. *Jurnal Mikrobiologi Indonesia*. 6(2): 12-14.
- Sarah A. 2001. Immobilization and Stabilization of Papain on Chelating Sepharose. *Electronic Journal Biotechnology, Catolica de Valparaiso Chile*.
- Szendefy, J. 2005. Solid State Fermentation and Utilization of Xylanase in Pulp Bleaching. *Thesis*. Budapest University of Technology and Economic.



- Susilowati, P.E., dkk. 2012. Produksi Xilanase dari Isolat Sumber Air Panas Sonai, Sulawesi Tenggara, Menggunakan Limbah Pertanian. *Jurnal Natur Indonesia*. 14(3): 199-204.
- Tolan, J. S., Collins, J. 2004. Use of Xylanase In the Production of Bleached. Unrefined Pulp at Marathon Pulp Inc. *Pulp and Paper Canada*. 105(7): 44-46.
- Trismilah, T. dan D. R. Waltam. 2016. Produksi Xilanase Menggunakan Media Limbah Pertanian dan Perkebunan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 10(2): 137-144.
- Valchev, I. dan P. Tsekova. 2010. Xilanase Post treatment as a Progress in Bleaching Processes. *Apita Journal*. 63(1): 53-56.
- Vanadianingrum E.S. 2008. Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Penghasil Enzim Xilanase dari Cairan Rumen Kambing & Domba dan Sumber Air Panas Cipanas. *Skripsi*. Bogor: Fakultas Peternakan Institut Pertanian Bogor.