

Isolasi dan Karakterisasi Enzim Selulase Cairan Rumen Sapi untuk Hidrolisis Biomassa

Isolation and Characterization of Cellulase Enzymes Cow's Liquid Rumen for Biomass Hydrolysis

Heri Setyoko^{1*}, Budi Utami²

¹Mahasiswa Pendidikan Kimia, FKIP Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

²Dosen Pendidikan Kimia, FKIP Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

*Corresponding author: heri_setyoko@yahoo.com

Abstract: The purposes of this study are: 1) knowing the isolation procedure cellulase enzymes contained in cow rumen fluid. 2) observing characterization of cellulase enzymes isolated from cow's liquid rumen with variables pH, temperature, and incubation time. 3) exploring glucose from the enzymatic hydrolysis of cellulose biomass on rice straw, sugarcane bagasse, rice husks, paper, and corncobs. Isolation of the enzyme was observed by employing several stages, they are dialysis stage 1, centrifugation stage 1, the purification of enzymes 40%, centrifugation stage 2, and dialysis stage 2. Glucose test results obtained by the method nelson samogyi. The specific activity of the enzyme obtained divided by the enzyme activity of cellulase enzyme protein content. Protein assay reagent used with Lowry. From this study it can be concluded that: 1). Cellulase enzymes can be obtained from the isolation of the enzyme with cellulase enzyme-making stage of the cow's rumen, dialysis stage 1, centrifugation stage 1, the purification of enzymes, centrifugation and dialysis stage 2. 2) Characterization of cellulase enzymes isolated from cow's liquid rumen obtained pH optimum at pH 5.4 with the activity of the enzyme 311.64 $\mu\text{mol/ml}$ and the specific activity of the enzyme 11.06 $\mu\text{mol/mg}$. The optimum temperature obtained maximum activity at a temperature of 39°C with the activity of the enzyme 306.35 $\mu\text{mol/ml}$ and a specific activity of enzyme of 10.87 $\mu\text{mol/mg}$. The maximum incubation time of maximum activity was obtained at 60 minutes of incubation time with enzyme activity 292.90 $\mu\text{mol/ml}$ and the specific activity of the enzyme 10,39 $\mu\text{mol/mg}$. 3). Test glucose levels in rice straw biomass was obtained with glucose levels 207.25 mg/ml. Sugarcane bagasse with glucose levels 193.64 mg/ml. Rice husk with glucose levels 202.96 mg/ml. Paper with glucose levels 197.64 mg/ml. Corncobs with glucose levels 230.77 mg/ml.

Keywords: Cellulase enzymes, pH, Temperature, Time

1. PENDAHULUAN

Selulosa merupakan serat-serat panjang yang bersama-sama hemiselulosa, pektin, dan protein membentuk struktur jaringan yang memperkuat dinding sel tanaman. Pada proses pematangan, penyimpanan, atau pengolahan, komponen selulosa dan hemiselulosa mengalami perubahan sehingga terjadi perubahan tekstur. Seperti juga amilosa, selulosa adalah polimer berantai lurus α -(1,4)-D-glukosa. Bedanya dengan amilosa adalah pada jenis ikatan glukosidanya [1].

Hidrolisis merupakan satu tahapan penting dalam proses biokonversi biomassa menjadi bioetanol, proses ini terjadi degradasi selulosa menjadi gula yang lebih sederhana baik berupa selobiosa maupun glukosa dengan bantuan katalis [2]. Hidrolisis selulosa dapat dilakukan secara biologis, kimia, maupun enzimatik [3]. Hidrolisis selulosa secara enzimatik lebih efektif untuk dilakukan karena menghasilkan produk yang spesifik

dan lebih banyak, hasil sampingan sedikit, ramah lingkungan [4]. Metode yang paling menjanjikan untuk menghidrolisis selulosa adalah menggunakan enzim, contohnya enzim selulase [5]. Hidrolisis enzimatik dengan menggunakan enzim selulase sebagai katalisnya akan menjanjikan proses yang lebih ramah lingkungan, kondisi operasi yang lebih lunak (suhu rendah, pH netral), dan berpotensi untuk memberikan hasil yang lebih tinggi dan efektif jika dibandingkan katalis asam [6].

Enzim selulase merupakan protein yang terdapat didalam sel hidup yang berfungsi sebagai katalisator dalam reaksi biokimia [1]. Enzim yang mempunyai sifat spesifik untuk menghidrolisis ikatan β (1-4) glukosida dari selulosa menghasilkan selobiosa kemudian diubah menjadi monomer glukosa. Enzim selulase umumnya terdiri dari 3 unit enzim utama, antara lain Endo β -(1-4) glucanase (C_x) yang berperan terutama pada bagian amorf rantai selulosa. Ekso β -(1-4) glucanase (C_1) atau selobiohidrolase yang berperan dalam pemecahan



dibagian kristal rantai selulosa dan β -Glukosidase merupakan unit enzim yang berperan penting untuk menghasilkan produk glukosa dari pemecahan selulosa [7]. Enzim selulosa banyak terdapat di rumen sapi.

Sapi merupakan salah satu hewan tingkat tinggi yang mampu melakukan aktivitas hidrolisis selulosa secara tidak langsung. Perut pertama sapi yang menyusun bagian rumen banyak terdapat mikroorganisme yang menghasilkan selulase dan mampu memecah selulosa [8]. Mikroba rumen ternak ruminansia di daerah tropik terdiri dari bakteri (1010–1011 sel/ml, terdiri dari 50 jenis), protozoa bersilia (104–106 /ml, terdiri dari 25 jenis), dan fungi anaerob (103-105 zoospore/ml, terdiri dari 5 jenis) [9]. Enzim selulase dapat diproduksi dari mikroorganisme yang berasal dari berbagai sumber, antara lain dari mikroorganisme yang berasal dari lambung sapi [10]. Sapi yang mendapat pakan hijauan total mikroorganisme rumen jumlahnya $0,55 \cdot 10^{10}$ mL cairan rumen dengan kandungan mikroorganisme selulolitik 15,6 % [11]. Enzim selulase dari pematangan sapi dimanfaatkan dengan baik maka import enzim akan berkurang.

Aktivitas enzim selulase dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu suhu, pH, zat penghambat atau aktivator, kadar substrat dan jenis substrat [12]. Aktivitas enzim selulase akan berjalan optimum pada kondisi optimum dan diharapkan dapat diperoleh suatu produk glukosa yang maksimal, sehingga akan dihasilkan bioetanol yang maksimal pada proses selanjutnya dari hidrolisis selulosa biomassa. Peneliti melakukan penelitian Isolasi Dan Karakterisasi Enzim Selulase Cairan Rumen Sapi Untuk Hidrolisa Biomassa. Enzim selulase kemudian diisolasi dari cairan rumen sapi di Kodya Surakarta dan dilakukan karakterisasi terhadap hasil isolasi enzim selulase yang dihasilkan. Karakteristik meliputi pH optimum, suhu, dan waktu inkubasi enzim selulase.

2. METODE PENELITIAN

Bahan-bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah cairan rumen sapi, Kalium Natrium Tartrat, Amonia Sulfat Kristal, Natrium Karbonat, Asam Asetat, Natrium Sulfat, Natrium Asetat, Cupri Sulfat Pentahidrat, Karboksi Metil Selulosa, Amonium Molibdat, Natrium Arsenat Heptahidrat, Kertas Whatman, Glukosa, Seng Sulfat Heptahidrat, Barium Hidroksida Heksahidrat, H₂SO₄, Kertas Lakmus, jerami padi, bagas tebu, sekam padi, kertas, dan tongkol jagung.

Peralatan yang digunakan antara lain: Spektrofotometer UV-VIS, Magnetik Stirer, *Microcentrifuge*, Pompa Vaccum, Kompor Listrik, Erlenmeyer, pH Meter, Gelas Ukur, Neraca Analitik, Gelas Beaker, Kantong Selopan, Tabung Reaksi.

Prosedur percobaan ada empat tahap sebagai berikut:

2.1 Isolasi Enzim Selulase

100 mL sampel cairan rumen sapi jantan didialisis selama 10 jam didalam larutan buffer asetat 0,05 M dan proses selanjutnya dilakukan sentrifugasi dengan kecepatan 3400 rpm selama 30 menit. Hasil dari proses sentrifugasi dipisahkan antara endapan dan supernatant [11].

2.2 Pemurnian Enzim

Amonium Sulfat ditimbang sesuai dengan fraksi 40 %. Kemudian dimasukkan dalam supernatant sedikit demi sedikit sambil diaduk. Pengadukan dilakukan dengan *magnetic stirer* secara perlahan dan dilakukan dengan diberi tempat yang sekelilingnya direndam es. Kemudian dipindah dalam tabung reaksi dan campurannya dibiarkan dalam keadaan dingin selama satu malam, lalu disentrifugasi hingga diperoleh endapan (40%). Endapan yang diperoleh pada fraksi 40% dilarutkan dalam buffer asetat 0,05 M pH 5,5 kemudian didialisis [13].

Kantong selopan direbus dahulu selama 30 menit dalam aquades, kemudian salah satu ujung diikat dengan benang dan diisi dengan larutan enzim. Ujung selopan yang lain kemudian diikat dengan hati-hati untuk menghindari penggelembungan. Selopan diikat dengan benang lalu dimasukkan dalam gelas beker yang berisi larutan buffer 0,0005 M pH 5,5. Buffer diaduk dengan magnetic stirer dan diganti setiap 2 jam sekali. Buffer yang telah diganti diuji kandungan amonium sulfat dalam dialisis dengan tambahan Ba²⁺ hingga tidak terbentuk endapan putih BaSO₄. Hasil yang dianalisis akan diperoleh larutan enzim dengan tingkat kejenuhan tertentu [13].

2.3 Karakterisasi Enzim dengan Variabel PH Maksimum

Penentuan pH optimum dilakukan dengan reaksi enzim pada berbagai pH mulai 4,0-6,0 selang 0,2 dengan substrat CMC dalam buffer asetat 0,05 M yang diinkubasi pada suhu 39°C selama 45 menit.

2.4 Karakterisasi Enzim dengan Variabel Suhu Maksimum

Penentuan Suhu optimum dilakukan dengan reaksi enzim pada suhu inkubasi mulai 37 ; 39 ; 41 ; 43 ; 45 ; 47 ; 48 ; 49 ; 51 menit dengan substrat CMC dalam buffer asetat 0,05 M dengan pH optimum dari penelitian sebelumnya, diinkubasi pada 45 menit.

2.5 Karakterisasi Enzim dengan Variabel Waktu Inkubasi Maksimum

Penentuan Suhu optimum dilakukan dengan reaksi enzim pada berbagai waktu inkubasi 0 ; 10 ; 20 ; 30 ; 40 ; 50 ; 60 ; 70 ; 80 ; 90 menit selang 10 menit dengan substrat CMC dalam buffer asetat 0,05 M.



2.6 Penentuan Kadar Protein

Sebanyak 0,1 mL larutan enzim ditambahkan 3 mL Reagen Lowry C lalu diaduk dan dididihkan selama 20 menit pada suhu kamar. Larutan kemudian ditambah 0,3 ml larutan folin dengan cepat. Larutan didiamkan selama 45 menit pada suhu kamar sambil sesekali digojog. Kemudian ditentukan absorbansinya pada λ : 640 nm. Sebagai larutan standar digunakan BSA (Bovine Serum Albumin) dengan berbagai konsentrasi. Pengukuran konsentrasi protein digunakan untuk mengetahui aktifitas spesifik merupakan jumlah unit aktivitas per mg protein.

2.7 Uji Hidrolisis Substrat Selulosa dari Jerami Padi, Bagas Tebu, Sekam Padi, Kertas, dan Tongkol Jagung dengan Enzim Selulase

Biomassa dikeringkan pada sinar matahari, kemudian dihaluskan dan dimasukkan dalam tabung reaksi sebanyak 0,05 gram. Tabung reaksi ditambahkan dengan enzim 0,1 mL dan 4,9 mL buffer asetat 0,05 M pada kondisi optimum yang diperoleh pada penelitian sebelumnya. Glukosa yang terbentuk diuji dengan metode Nelson Somogyi dan dilanjutkan proses selanjutnya untuk dijadikan bioetanol.

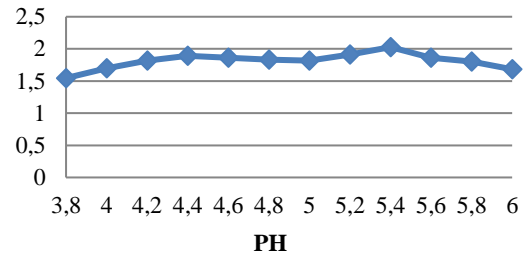
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Proses Isolasi Enzim Selulase Cairan Rumen Sapi

Proses isolasi enzim dilakukan beberapa tahap agar diperoleh enzim selulase. Tahapan dalam proses isolasi enzim antara lain: pengambilan enzim selulase dari rumen sapi, dialisis tahap 1, sentrifugasi tahap 1, pemurnian enzim, sentrifugasi tahap 2 dan dialisis tahap 2. Setiap tahap dalam proses isolasi enzim memiliki tujuan masing-masing, sehingga dalam proses isolasi enzim harus dilakukan secara bertahap.

3.2 pH Optimum

Untuk menentukan pH optimum yang digunakan enzim dalam proses hidrolisis maka dilakukan pengujian kinerja enzim dengan variasi substrat asam asetat dengan pH dari 3,8-6,0. Kinerja enzim dengan pH optimum akan menghasilkan glukosa dengan kadar yang tinggi yang diuji dengan reagen nelson samogyi. Penentuan pH optimum didasarkan pada nilai absorbansi pada uji UV-VIS, absorbansi yang tinggi sebagai tanda bahwa larutan yang diuji mempunyai kadar glukosa yang tinggi. PH optimum dapat dilihat dari grafik Gambar 1.

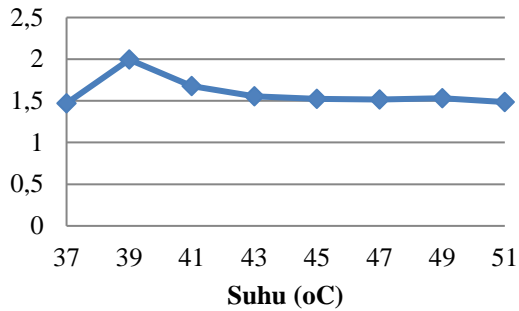


Gambar 1. Grafik Hasil Uji Variabel pH terhadap Absorbansi

Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi pH maka semakin tinggi aktivitas enzim dalam proses hidrolisis, namun dari grafik juga dapat dilihat bahwa kinerja enzim memiliki pH batas optimum kenaikan. pH optimum dalam penelitian ini merupakan PH yang digunakan enzim dalam proses hidrolisis, sehingga dari pH optimum didapatkan kinerja spesifik optimum enzim selulase cairan rumen sapi dalam menghidrolisis selulosa menjadi glukosa. Dari Grafik variabel pH didapatkan pada pH 5,4 enzim selulase memiliki aktivitas enzim 311.64 $\mu\text{mol/ml}$ dan aktivitas spesifik enzim 11.06 $\mu\text{mol/mg}$. Penurunan aktivitas spesifik enzim terjadi setelah pH 5,4, sehingga aktivitas spesifik enzim memiliki pH optimum pada pH 5,4. Aktivitas enzim tidak dapat bekerja maksimal pada PH yang sangat tinggi dan tidak dapat bekerja dengan maksimal pada pH yang terlalu asam. Aktivitas enzim dipengaruhi oleh pH, karena sifat ionik gugus karboksil dan gugus amino mudah dipengaruhi oleh pH. Perubahan pH atau pH yang tidak sesuai akan menyebabkan daerah katalitik dan konformasi enzim berubah, selain itu perubahan pH juga menyebabkan denaturasi enzim dan mengakibatkan turunnya aktivitas enzim [14]. Pengaruh pH dalam larutan enzim akan melibatkan konsentrasi ion H^+ . Perubahan konsentrasi H^+ dapat mempengaruhi sifat ionik rantai samping residu asam amino di sisi aktif maupun di luar sisi aktif enzim tersebut. Aktivitas enzim yang menurun disebabkan adanya perubahan pH akibat berubahnya keadaan ion enzim ataupun keadaan ion substrat sehingga pembentukan kompleks enzim-substrat tidak optimal [15]. Aplikasi pH optimum ini digunakan dalam proses penentuan suhu dan waktu inkubasi optimum enzim selulase dalam proses hidrolisis.

3.3 Suhu Optimum

Proses pengujian suhu optimum dilakukan dengan menguji hidrolisis aktivitas enzim pada substrat CMC dengan variasi suhu antara 37°C-52°C dengan selisih antar variasi 2°C dengan pH substat sesuai dengan hasil pengujian pH optimum yaitu 5,4. Hasil kinerja aktivitas enzim dapat dilihat dari grafik variabel suhu pada Gambar 2.

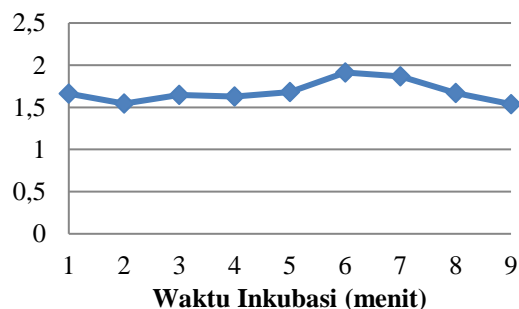


Gambar 2. Grafik Hasil Uji Variabel Suhu terhadap Absorbansi

Grafik hasil uji variabel suhu terhadap aktivitas enzim disimpulkan bahwa enzim memiliki suhu optimum pada 39°C. Aktivitas enzim tidak dapat bekerja secara optimum pada suhu yang rendah dan pada suhu yang tinggi. Aktivitas enzim pada suhu 39°C sebesar 306.35 $\mu\text{mol/ml}$ dan aktivitas spesifik enzim 10.87 $\mu\text{mol/mg}$. Suhu memainkan peranan yang sangat penting dalam reaksi enzimatik, ketika suhu bertambah sampai suhu optimum, kecepatan reaksi enzim naik karena energi kinetik bertambah. Bertambahnya energi kinetik akan mempercepat gerak vibrasi, translasi, dan rotasi baik enzim maupun substrat. Hal ini akan memperbesar peluang enzim dan substrat bereaksi. Ketika suhu lebih tinggi dari suhu optimum, protein berubah konformasi sehingga gugus reaktif terhambat. Denaturasi protein akan menyebabkan perubahan konformasi pada protein enzim. Substrat juga dapat berubah konformasinya pada suhu yang tidak sesuai, sehingga substrat tidak dapat masuk ke dalam sisi aktif enzim [14]. Aplikasi dari suhu optimum ini digunakan dalam proses hidrolisis selulosa yang digunakan dalam proses pembuatan bioetanol.

3.4 Waktu Inkubasi

Uji waktu inkubasi dalam penelitian ini menggunakan variabel dari 10 menit hingga 90 menit dengan selisih 10 menit. Substrat yang digunakan dalam penelitian dengan menggunakan CMC dengan buffer asetat dengan pH 5,4 dan suhu yang digunakan dalam proses hidrolisis 39°C. Hasil kinerja aktivitas enzim dengan variabel waktu inkubasi dapat dilihat dari tabel dibawah ini.



Gambar 3. Grafik Hasil Uji Variabel Waktu Inkubasi terhadap Absorbansi

Grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu yang digunakan dalam proses hidrolisis maka semakin tinggi aktivitas enzim selulase, namun dari grafik juga dapat dilihat bahwa kinerja enzim memiliki batas waktu optimum kenaikan dalam hidrolisis selulosa. Waktu inkubasi optimum dalam penelitian ini merupakan lamanya waktu yang digunakan enzim dalam proses hidrolisis untuk menghasilkan kadar glukosa optimum dari aktivitas enzim dalam merubah selulosa menjadi glukosa. Dari Grafik variabel waktu inkubasi didapatkan pada waktu inkubasi 60 menit, enzim selulase memiliki aktivitas enzim 292.90 $\mu\text{mol/ml}$ dan aktivitas spesifik enzim 10.39 $\mu\text{mol/mg}$. Penurunan aktivitas spesifik enzim terjadi setelah waktu 60 menit sehingga aktivitas spesifik enzim memiliki waktu inkubasi optimum pada 60 menit. Waktu inkubasi setelah 60 menit menghasilkan glukosa yang lebih sedikit, dimungkinkan glukosa yang terbentuk dalam proses hidrolisis dirubah menjadi senyawa lain kecuali glukosa. Aplikasi dari pH, suhu dan waktu optimum dari karakterisasi enzim selulase dapat diterapkan dalam proses pembuatan bioetanol, sehingga dengan mengaplikasikan hasil temuan tersebut akan menghasilkan kadar glukosa yang optimum yang dapat menghasilkan bioetanol yang semakin banyak.

3.5 Uji Hidrolisis pada Biomassa

Aplikasi dari enzim selulase yang diperoleh dari proses isolasi dan karakterisasi digunakan untuk hidrolisis biomassa yang hasilnya sebagai bahan baku dalam pembuatan bioetanol. Biomassa yang ada di muka bumi ini sangat banyak sehingga perlu dirubah agar bisa menjadi bahan bakar yang digunakan untuk mengurangi bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui. Proses pengujian biomassa dilakukan ada kondisi pH, suhu dan waktu inkubasi optimum yang diperoleh dari penelitian sebelumnya. Biomassa yang digunakan dalam penelitian jerami padi, bagas tebu, sekam padi, kertas, dan tongkol jagung. Hasil penelitian diperoleh kadar glukosa.

Proses pengujian hidrolisis enzimatik biomassa dilakukan dengan menghaluskan biomassa agar berukuran kecil-kecil. Biomassa dihaluskan sampai lolos pengayak dengan ukuran 80 mesh. Proses hidrolisis disesuaikan dengan hasil pengujian karakterisasi enzim selulase. Hasil uji hidrolisis enzimatik pada biomassa padi diperoleh kadar glukosa jerami padi 207,25 mg/ml, kadar glukosa pada bagas tebu 193,64 mg/ml, kadar glukosa pada sekam padi 202,96 mg/ml, kadar glukosa pada kertas 197,63 mg/ml, dan kadar glukosa pada tongkol jagung 230,77 mg/ml.

4. SIMPULAN

Berdasar hasil dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil simpulan (1) Proses isolasi

enzim selulase yang diisolasi dari cairan rumen sapi dilakukan melalui beberapa tahap. Proses isolasi enzim selulase cairan rumen sapi antara lain pengambilan enzim selulase dari rumen sapi, dialisis tahap 1, sentrifugasi tahap 1, pemurnian enzim, sentrifugasi tahap 2 dan dialisis tahap 2. (2) Karakterisasi enzim dilakukan pada beberapa variabel, Variabel pH diperoleh aktivitas maksimum pada pH 5,4 dengan aktivitas enzim 311.64 $\mu\text{mol/ml}$ dan aktivitas spesifik enzim 11.06 $\mu\text{mol/mg}$. Variabel suhu optimum diperoleh aktivitas maksimum pada suhu 39°C dengan aktivitas enzim 306.35 $\mu\text{mol/ml}$ dan aktivitas spesifik enzim 10.87 $\mu\text{mol/mg}$. Variabel waktu inkubasi diperoleh aktivitas maksimum pada waktu inkubasi 60 menit dengan aktivitas enzim 292.90 $\mu\text{mol/ml}$ dan aktivitas spesifik enzim 10.39 $\mu\text{mol/mg}$. (3) Hasil uji hidrolisis enzimatis pada biomassa jerami padi diperoleh kadar glukosa 207,25 mg/ml, kadar glukosa pada bagas tebu 193,64 mg/ml, kadar glukosa pada sekam padi 202,96 mg/ml, kadar glukosa pada kertas 197,63 mg/ml, dan kadar glukosa pada tongkol jagung 230,77 mg/ml.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Alam, M.S, Sarjono, P.R., Aminin, A.L.N. (2013). Isolasi dan Karakterisasi Selulase dari Bakteri Selulolitik Termofilik Kompos Pertanian Desa Bayat, Klaten, Jawa Tengah. *Jurnal Sains dan Matematika*, 21(2), 48-53.
- Askarieh, C.A.V., Daniel F.B.D., Fitz Gerald P.L., Holtom G.J., dan Pilkington N.J., J.H. Rees. 2000. The chemical and microbial degradation of cellulose in the near field of a repository for radioactive wastes. *Waste Management*, 20, 93-106.
- Bai, S., Kumar, R. M., Kumar, D.J., M., Kumaran, Balashanmugam, P., Kumaran, M. D. B., dan Kalaichelvan, P. T. (2012). Cellulase Production by *Bacillus subtilis* isolated from Cow Dung. *Scholars Research Library*, 4 (1), 269-279.
- Cahyono, E. W., dan Bachrudin, Z. 1995. Pengaruh Pakan Serat Kasar terhadap Aktivitas Enzim Selulase dan Hemiselulase Cairan Rumen Ternak Ruminansia. *Jurnal BPPS-UGM*, 8(1), 41-49.
- Fox, P. F. 1991. *Food Enzimology*. Vol.1. Elsevier Applied Science Publishers. Ltd., London.
- Galbe, M. Dan Zacchi, G., 2007. Pretreatment of Lignocellulosic Materials for Efficient Bioethanol Production. *Adv Biochem Engin/Biotechnol*, 108, 41-65.
- Kamra, D. N. 2005. Rumen microbial ecosystem. *Jurnal Current science*, 89 (1), 124-135.
- Koesnarpadi, Soerja. (1999). Isolasi dan Karakterisasi Enzim Selulase Cairan Rumen Sapi Untuk Hidrolisa Serbuk Gergaji Kayu. Skripsi tidak dipublikasikan. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Lehninger, ab., dan Thenawidjaya, M. (1990). *Dasar-Dasar Biokimia, Jilid 1, Cetak kedua*. PT. Erlangga. Jakarta. Hal. 326-328.
- Martoharsono, S. (2012). *Biokimia 1*. Yogyakarta: UGM Press.
- Meryandini, A., Widosari, W., Maranatha, B., Sunarti, T.C., Rachmania, N., dan Satria, H. (2009). Isolasi Bakteri Selulolitik dan Karakterisasi Enzimnya. *Makara Sains*, 13 (1), 33-38.
- Nishida, I. N., Redhana, I.W., dan Ristiati, N. P. 2007. Isolasi Enzim Lipase Termotabil Dari Bakteri Termofilik Isolat Air Panas Banyuwedang Kecamatan Gerogak, Buleleng Bali. *Akta Kimindo*, 2(2),109-112.
- Palmer, T. (1981). *Understanding Enzymes*. England: Ellis Horwood.
- Taherzadeh, M. J. dan Karimi, K. 2007. Enzyme-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: a review. *Bio Resources*, (2), 707-738.
- Winarno, F. G. 1986. *Enzim Pangan*, Cetak Kedua. PT. Gramedia, Jakarta.

Penanya: Pujiati

Pertanyaan:

Apakah perbedaan antara hidrolisis dan biodegradasi?

Jawaban:

Degradasi merupakan suatu proses perubahan kimia atau peruraian suatu senyawa atau molekul menjadi molekul yang lebih sederhana. Degradasi banyak sekali, misal degradasi kimia, karet oleh ozon dll. Sedangkan hidrolisis adalah proses degradasi selulosa menjadi gula yang sederhana. Hidrolisis ada hidrolisis biologis, kimia, maupun enzimatis, sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa hidrolisis merupakan cakupan dari degradasi.