

PRODUKSI ETANOL DARI LIMBAH KULIT NANAS DENGAN METODE *SOLID STATE FERMENTATION* (SSF) TERHADAP VARIASI WAKTU DAN VARIASI UKURAN PARTIKEL SUBSTRAT

Reni Oktaviani, Chairul, Said Zul Amraini*
Laboratorium Rekayasa Bioproses
Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya KM 12.5 Panam-Pekanbaru
Telp./Fax. 0761-566937
*Email : saidza@unri.ac.id

Abstract

Solid State Fermentation (SSF) is a form of solid substrate fermentation with low humidity levels. This study aims to determine the maximum time of the fermentation process to produce ethanol with SSF method and studying the kinetics of cell growth of Zymomonas mobilis for variations in particle size of the substrate. Pineapple peel waste is used as a raw material with a variety particle size of substrate in the form of slurry, 1x1 cm and 2x2 cm. Time of fermentation sampling conducted in 6; 12; 18; 24, 30, and 36 hours. Environmental conditions Zymomonas mobilis growth adjusted to pH 5 and 30 ° C. Analysis carried out in the study is the analysis of ethanol content using alcoholmeter and calculation of the number of cells by turbidity method using UV spectrophotometer to determine the kinetics of cell growth of Zymomonas mobilis. The maximum time obtained in this study was 24 hours for all particle size of the substrate. In fermentation process with the SSF method, the kinetics of cell growth of Zymomonas mobilis and ethanol concentration is influenced by the particle size of the substrate. The highest ethanol concentrations obtained was 33% V on substrate particle size slurry with maximum specific growth rate 0,43/hour

Keyword : Fermentation, Solid State Fermentaton (SSF), Zymomonas mobilis, Pineapple peel, kinetics cell, ethanol

Abstrak

Solid State Fermentation (SSF) merupakan fermentasi substrat berupa padatan dengan tingkat kelembaban yang rendah. Penelitian ini bertujuan mengetahui waktu maksimum proses fermentasi untuk memproduksi etanol dengan metode SSF dan mempelajari kinetika sel pertumbuhan Zymomonas mobilis terhadap variasi ukuran partikel substrat. Limbah kulit nanas digunakan sebagai bahan baku dengan variasi ukuran partikel substrat berupa slurry, 1x1 cm, dan 2x2 cm. Waktu pengambilan sampel fermentasi yang dilakukan dimulai dari 6;12;18;24;30;dan 36 jam. Kondisi lingkungan pertumbuhan Zymomonas mobilis diatur pada pH 5 dan temperatur 30°C. Analisa yang dilakukan pada penelitian adalah analisa kadar etanol dengan menggunakan alkoholmeter dan perhitungan jumlah sel dengan metode turbidity menggunakan spektrofotometer UV untuk menentukan kinetika sel pertumbuhan Zymomonas mobilis. Waktu maksimum yang diperoleh pada penelitian ini adalah 24 jam untuk semua ukuran partikel substrat. Pada fermentasi metode SSF kinetika sel pertumbuhan Zymomonas mobilis serta konsentrasi etanol yang dihasilkan dipengaruhi oleh ukuran partikel substrat. Konsentrasi etanol tertinggi yang dihasilkan adalah 33% V pada variasi ukuran partikel substrat berupa slurry dengan laju pertumbuhan spesifik maksimum 0,43/jam.

Keyword : Fermentasi, Solid State Fermentation (SSF), Zymomonas mobilis, kulit nanas, kinetika sel, etanol.

1. Pendahuluan

Ketergantungan terhadap sumber daya alam minyak bumi untuk memenuhi kebutuhan hidup sehari-hari menyebabkan semakin menipisnya cadangan minyak bumi. Berbagai macam penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan sumber energi alternatif dari

sumber daya alam yang dapat diperbarui dan limbah-limbah industri yang masih dapat diolah untuk menggantikan minyak bumi.

Etanol merupakan salah satu sumber energi alternatif yang mempunyai prospek yang sangat bagus sebagai pengganti bahan bakar cair dan gasohol. Etanol dapat diproduksi dengan sintesis kimia atau metode fermentasi. Tahun 1968

lebih dari 90% etanol diproduksi dengan metode sintesis kimia dari etilen. Namun, kenaikan harga minyak mentah yang menjadi sumber dari etilen, menyebabkan perhatian dunia beralih untuk memproduksi etanol dengan metode fermentasi. Produksi etanol dengan metode fermentasi memiliki potensi menggantikan dua kebutuhan penting, yaitu penyediaan bahan bakar dan bahan baku di industri kimia [Okafor, 2007].

Produksi etanol dengan metode fermentasi dapat dilakukan dengan berbagai macam bahan baku yang mengandung gula reduksi. Salah satu bahan baku yang digunakan untuk fermentasi memproduksi etanol adalah kulit nanas. Nanas (*Ananas comosus* L. Merr) adalah salah satu jenis buah yang terdapat di Indonesia yang pemasarannya cukup merata di daerah-daerah Indonesia. Berdasarkan hasil studi kasus di lapangan, beberapa usaha olahan keripik nanas di Kualu Nanas, Pekanbaru, Riau memiliki kapasitas rata-rata 12-15 kg/hari, dengan jumlah buah nanas yang digunakan sebagai bahan baku sekitar 200 kg/hari. Tahir (2008) menyatakan limbah kulit nanas yang dihasilkan dari satu buah nanas berkisar 21,73 – 24,48 %, sehingga limbah kulit nanas yang dihasilkan dapat mencapai 40-50 kg/hari.

Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk pengolahan limbah kulit nanas adalah metode *Solid State Fermentation* (SSF) untuk memproduksi etanol. *Solid State Fermentation* (SSF) merupakan metode fermentasi dalam media padat yang sederhana dan lebih hemat energi daripada metode *Liquid State Fermentation* (LSF), yaitu fermentasi dalam media cair yang membutuhkan agitasi, aerasi dan pengontrolan busa. Beberapa peneliti sebelumnya telah melakukan produksi etanol dengan kulit nanas sebagai bahan baku substrat, diantaranya Setyawati dan Astuti (2010), melakukan penelitian bioetanol dari kulit nanas dengan variasi massa *Saccharomyces cereviceae* dan waktu fermentasi, menggunakan fermentasi dalam media cair. Hasil penelitian yang diperoleh adalah kadar etanol tertinggi sebesar 3,965% pada penambahan 30 gram *Saccharomyces cerevisiae* dan waktu fermentasi 10 hari. Febriyanti dan Rufita (2011), melakukan penelitian pembuatan etanol dari limbah kulit nanas (*Ananas comosus* L. merr) dengan proses enzimasasi dan fermentasi. Kadar etanol tertinggi dengan proses fermentasi melalui enzimasasi sebesar 49,2296% dengan lama waktu fermentasi 3 hari. Pada penelitian ini dilakukan

fermentasi dengan metode SSF dengan bahan baku kulit nanas menggunakan *Zymomonas mobilis*, untuk mengetahui waktu optimum fermentasi dan mempelajari pengaruh ukuran partikel substrat terhadap kinetika pertumbuhan sel *Zymomonas mobilis*.

2. Material dan Metodologi

2.1 Kulit Nanas

Kulit nanas yang digunakan sebagai bahan baku substrat diperoleh dari limbah yang dihasilkan industri rumahan keripik nanas, di Kualu Nanas, Pekanbaru, Riau.

2.2 Mikroorganisme dan Penyiapan Inokulum

Mikroorganisme yang digunakan adalah *Zymomonas mobilis* FHCC-0056 yang diperoleh dari Laboratorium PAU Universitas Gadjah Mada, dan ditumbuh kembangkan pada media tumbuh yang diperkaya dengan komposisi media glukosa 10%, *yeast extract* 1%, KH_2PO_4 0.1%, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.05%, dan $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.1% [Tanaka,1999 dalam Ageng,2009]. 1 jarum ose *Zymomonas mobilis* diinokulasi ke dalam 1 ml media tumbuh diperkaya yang telah disterilisasi pada temperatur 121°C selama 20 menit dan dishaker selama 24 jam pada kecepatan 120 rpm [Aditya, 2011].

2.3 Solid State Fermentation (SSF)

Proses fermentasi dilakukan pada erlenmeyer 1 liter, dngan variasi ukuran partikel substrat berupa slurry, 1x1 cm, dan 2x2 cm. Sebelum inokulum *zymomonas mobilis* diinokulasikan ke dalam media fermentasi, dilakukan sterilisasi media fermentasi pada temperatur 121°C selama 20 menit. Kondisi lingkungan fermentasi diatur pada pH 5 menggunakan *buffer* sitrat dan temperatur 30°C. Waktu pengambilan sampel fermentasi pada 6; 12; 18; 24; 30; dan 36 jam.

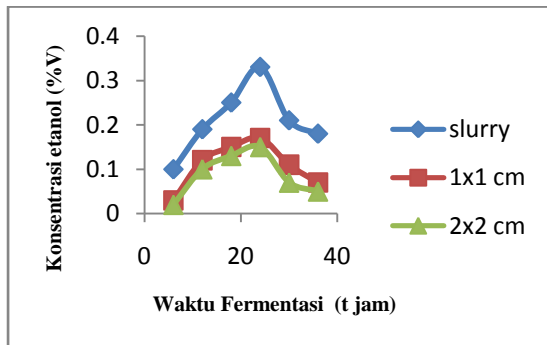
2.4 Metode Analisa

Analisa yang dilakukan pada penelitian ini adalah analisa konsentrasi etanol dengan alkoholmeter, analisa konsentrasi gula reduksi menggunakan reagen nelson somogyi, dan analisa jumlah sel menggunakan metode *turbidity*.

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Waktu Maksimum Fermentasi

Waktu fermentasi mempengaruhi konsentrasi etanol yang dihasilkan. Penelitian ini dilakukan dengan variasi ukuran partikel substrat untuk memperoleh waktu maksimum yang dibutuhkan dalam memproduksi etanol pada proses solid state fermentation (SSF) dengan sumber bahan baku substrat kulit nanas. Gambar 3.1 menampilkan grafik pengaruh waktu fermentasi terhadap konsentrasi etanol pada ukuran partikel substrat slurry, 1x1 cm, dan 2x2 cm.



Gambar 1 Pengaruh waktu fermentasi terhadap konsentrasi etanol pada variasi ukuran partikel substrat

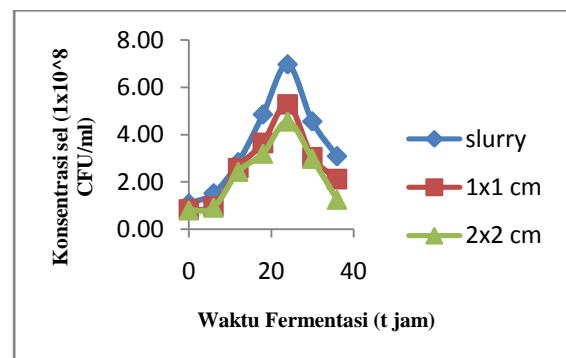
Gambar 1 menunjukkan waktu maksimum yang diperoleh untuk memproduksi etanol dengan berbagai ukuran partikel substrat adalah pada waktu 24 jam, konsentrasi etanol yang dihasilkan pada waktu fermentasi 24 jam adalah 33% V untuk ukuran partikel berupa slurry, 17% V untuk ukuran 1x1 cm dan 15% V untuk ukuran 2x2 cm. Kenaikan konsentrasi etanol yang terjadi disebabkan karena adanya aktivitas metabolisme mikroorganisme yang memanfaatkan substrat pada bahan baku untuk menguraikan gula reduksi hingga menjadi etanol. Setelah waktu maksimum fermentasi tercapai, konsentrasi etanol menurun pada waktu 30 jam sampai dengan 40 jam. Semakin lama waktu fermentasi, maka konsentrasi sel mikroorganisme akan semakin menurun dan menuju pada fase declin karena etanol yang dihasilkan semakin banyak dan konsentrasi nutrisi sebagai makanan mikroorganisme semakin menurun [Setyawati, 2010].

3.2 Pengaruh Ukuran Partikel Substrat

Pertumbuhan dan pembentukan produk oleh mikroorganisme yang digunakan merupakan proses konversi nutrisi menjadi massa sel dan pembentukan produk metabolit pada proses fermentasi [Didu, 2010]. Ukuran partikel substrat

pada metode SSF merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi proses fermentasi, hal tersebut mempengaruhi luas permukaan terhadap ratio volume partikel substrat yang dimanfaatkan oleh mikroorganisme [Yu dkk, 2008]. Gambar 1 menunjukkan konsentrasi etanol tertinggi diperoleh pada ukuran partikel substrat berupa slurry. Ukuran partikel substrat sangat mempengaruhi proses fermentasi glukosa menghasilkan etanol secara anaerob. Adanya pengecilan ukuran partikel substrat, menyebabkan *Zymomonas mobilis* lebih mudah menguraikan gula reduksi menjadi etanol. Kepadatan partikel substrat dan pengurangan rongga kosong antar partikel menyebabkan lebih banyak etanol yang diproduksi dengan ukuran partikel lebih kecil (slurry). Kondisi anaerob pada waktu fermentasi menghasilkan etanol yang cepat disebabkan oleh pengurangan luas area transfer panas dan pertukaran gas dilingkungan sekitar media fermentasi.

Ukuran partikel substrat juga mempengaruhi kinetika pertumbuhan sel *Zymomonas mobilis* pada proses fermentasi. Kinetika pertumbuhan sel *Zymomonas mobilis* yang diperoleh dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Pengaruh waktu fermentasi terhadap kinetika sel *Zymomonas mobilis* pada variasi ukuran partikel substrat

Zymomonas mobilis merupakan salah satu mikroorganisme yang memiliki laju pertumbuhan sel yang tinggi (Rogers dkk, 2007). *Zymomonas mobilis* mencapai konsentrasi sel tertinggi pada jam ke 24. Konsentrasi sel yang diperoleh dari ketiga variasi ukuran partikel substrat sebesar $6,96 \times 10^8$ CFU/ml, $5,27 \times 10^8$ CFU/ml, dan $4,55 \times 10^8$ CFU/ml. Konsentrasi sel tertinggi diperoleh pada ukuran partikel substrat berupa slurry.

Kinetika pertumbuhan sel *Zymomonas mobilis* yang diperoleh pada fermentasi dengan

metode SSF ini mengikuti pola pembentukan produk yang berasosiasi dengan pertumbuhan sel. *Zymomonas mobilis* melalui fase adaptasi dari 0 jam sampai dengan 12 jam. Pada saat fase adaptasi, *Zymomonas mobilis* menghasilkan etanol dengan konsentrasi etanol yang dihasilkan masih kecil. Memasuki fase stasioner konsentrasi etanol yang dihasilkan oleh *Zymomonas mobilis* semakin meningkat sampai waktu 24 jam. Pada fase stasioner *Zymomonas mobilis* mengalami pertumbuhan sehingga konsentrasi etanol yang dihasilkan juga semakin meningkat. Setelah waktu 24 jam, etanol yang dihasilkan mulai menurun, hal tersebut merupakan indikasi *Zymomonas mobilis* telah memasuki fase *declin*. Pada fase *declin* mikroorganisme yang berkembang biak lebih sedikit daripada mikroorganisme yang mati, selain itu penurunan konsentrasi nutrisi yang tersedia juga menyebabkan menurunnya konsentrasi etanol yang dihasilkan. Penurunan konsentrasi etanol terjadi sampai waktu fermentasi 36 jam. Pada pola ini, laju pertumbuhan spesifik mikroorganisme berbanding lurus dengan laju pembentukan produk yang dihasilkan [Ahmad, 2009].

Selama proses fermentasi berlangsung, komposisi substrat berubah setiap waktunya dan produk metabolit akan terbentuk. Kondisi lingkungan pertumbuhan *Zymomonas mobilis* berada dalam keadaan *unsteady state*. Proses fermentasi berlangsung pada laju pertumbuhan spesifik yang konstan dan tidak bergantung pada perubahan konsentrasi nutrisi [Ahmad, 2009]. Tabel 1 menunjukkan nilai laju pertumbuhan spesifik *Zymomonas mobilis* yang diperoleh pada variasi ukuran partikel substrat.

Tabel 1 Laju Pertumbuhan Spesifik *Zymomonas mobilis*

Waktu	Laju pertumbuhan spesifik ($\mu = /jam$)		
	<i>Slurry</i>	1x1 cm	2x2 cm
6	0,056	0,022	0,023
12	0,080	0,093	0,092
18	0,083	0,081	0,077
24	0,078	0,076	0,072
30	0,048	0,043	0,044
36	0,029	0,026	0,012

Laju pertumbuhan spesifik yang diperoleh pada berbagai variasi ukuran partikel digunakan untuk menghitung laju pertumbuhan maksimum dengan menggunakan persamaan Monod. Laju

pertumbuhan spesifik maksimum ditentukan dengan menggunakan laju pertumbuhan spesifik yang tertinggi, yaitu 0,083/jam untuk *slurry*, 0,093/jam untuk 1x1 cm, dan 0,092/jam untuk 2x2 cm dengan laju pertumbuhan spesifik maksimum yang diperoleh dari perhitungan masing-masing sebesar 0,43/jam, 0,40/jam, dan 0,39/jam. Nilai laju pertumbuhan spesifik maksimum yang diperoleh dari hasil perhitungan menunjukkan kinerja sel *Zymomonas mobilis* dalam menghasilkan etanol. Gambar 1 menunjukkan ukuran partikel *slurry* menghasilkan konsentrasi etanol yang lebih tinggi daripada ukuran partikel 1x1 cm, dan 2x2 cm, hal tersebut berbanding lurus dengan laju pertumbuhan spesifik maksimum yang diperoleh dari perhitungan menggunakan persamaan Monod.

4. Kesimpulan.

1. Waktu maksimum yang dibutuhkan pada proses fermentasi kulit nenas dengan metode solid state fermentation (SSF) adalah 24 jam untuk semua ukuran partikel substrat. Konsentrasi etanol tertinggi yang diperoleh pada ukuran partikel substrat *slurry* sebesar 33% V, 17% V untuk ukuran 1x1 cm, dan 15% untuk ukuran 2x2 cm.
2. Ukuran partikel substrat pada fermentasi dengan metode SSF mempengaruhi kinetika pertumbuhan sel *Zymomonas mobilis* serta konsentrasi etanol yang dihasilkan. Dari data hasil perhitungan laju pertumbuhan spesifik maksimum yang diperoleh sebesar 0,43/jam untuk *slurry*, 0,40/jam untuk 1x1 cm, dan 0,39/jam untuk 2x2 cm, hal tersebut berbanding lurus dengan konsentrasi etanol yang dihasilkan pada variasi ukuran partikel substrat.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Said Zul Amraini, ST, MT dan Bapak Chairul, ST, MT selaku dosen pembimbing, orang tua yang selalu memberikan dukungan, Rico Efrizal sebagai teman berdiskusi, serta semua pihak yang telah membantu selama jalannya penelitian.

Daftar Pustaka

- Aditya, F.L 2011. Pembuatan Bioetanol Dari Nira Sorgum menggunakan Bakteri *Zymomonas mobilis* Dengan Variasi Volume Inokulum, Laporan Penelitian,

- Teknik Kimia Universitas Riau, Pekanbaru.
- Ageng, D dan S.R Putra 2008. Profil Fermentasi Sukrosa Menjadi Etanol Menggunakan *Zymomonas Mobilis* Yang Dikoamobilkan Dengan Ekstrak Kasar Invertase, Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Ahmad, A 2009. Teknologi Fermentasi, Diktat, Laboratorium Rekayasa Bioproses Teknik Kimia, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Amraini, S.Z 2007. Produksi Gula Dari Jagung Dengan Proses Enzimatis Secara Fermentasi Kultur Padat, Jurnal Teknologi Proses, Departemen Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara, Medan, 141-150.
- Badan Pusat Statistik. 2011, Produksi Buah-buahan Menurut Provinsi, www.bps.go.id, 22 Juni 2012.
- Bollela V.R, D.N. Sato dan B.A.L. Fonseca. 1999. *Mcfarland Nephelometer as a Simple Method to Estimate the Sensitivity of the Polymerase Chain Reaction using Mycobacterium tuberculosis as a Research Tool*. Braz J Med Biol Res, September 1999, Volume 32 (9) : 1073-1076
- Colowick, S. P dan Kaplan, N. O, 1955. *Methods in Enzimology*, edisi ke 1, Academic Press Inc, New York, 143.
- Conway, Tyrell. 1992. *The Entner-Doudoroff Pathway : History, Pyisiology, and Molecular Biology*. School of Biology Sciences, University of Nebraska, Lincoln, USA. FEMS Microbiology Reviews 103 (1992) 1-28.
- Didu, Nurhidayah. 2010. Produksi Bioetanol dari Sirup Glukosa Ubi Jalar (*Ipomea batatas* L) dengan Menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*, Tesis, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Djenar, N.S 2010. Kinetika Pertumbuhan Mikroba, <http://matekim.blogspot.com>, 22 Juni 2012.
- Doelle, H.W. 1990. *Zymomonas Ethanol Process – Laboratory To Commercial Evaluation. Fermentation Technologies Industrial Application*. New York: Elsevier Applied Science.
- Febriyanti, L dan E. Rufita., 2011, Pembuatan Bioetanol Dari Limbah Kulit Nanas (*Ananas Comosus L. Merr*) Dengan Proses Enzimasi Dan Fermentasi, Skripsi, Institut teknologi Sepuluh Novenmber, Surabaya.
- Gunasekaran, P. dan Raj, K.C. 1999, *Fermentation Technology-Zymomonas mobilis*, Departement of Microbial Technology, School of Biological Sciences, Manduraj Kamaraj University: India.
- Hobley, T.J. and N.B. Pamment. 1994. *Differences in response of Zymomonas mobilis and Saccharomyces cerevisiae to change in extracellular ethanol concentration*. Biotechnology and Bioengineering 43 (2): 155-158.
- Jain, A dkk., 2012, *Comparison of Solid State and Submerged State Fermentation for the Bioprocessing of Switchgrass to Ethanol and Acetate by Clostridium phytofermentans*, Department of Biological Sciences, Clemson University.
- Mitchell, D.A dkk., 2006, *Solid State Fermentation Bioreactors Fundamentals Design and Operation*, edisi 1, Springer, Verlag Berlin Heidelberg, Jerman.
- Misgiyarta., 2006. Fermentasi Nata Dengan Substrat Limbah Buah Nanas dan Air Kelapa, Bogor : Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian.
- Nowak, J. 2000. *Ethanol Yield and Productivity of Zymomonas mobilis in Various Fermentation Methods*. www.ejpau.media.pl/series/volume3/issue2/food/art-04.html. 29 Januari 2013.
- Okafor, N. 2007. *Modern Industrial Microbiology and Biotechnology*, edisi 1, Science Publisher, New Hampshire, United State of America.
- Rajoka, M.I, dkk 2006, *Production And Characterization Of a Highly Active Cellobiase From Aspergillus niger Grown in Solid State Fermentation*, University of the Punjab, Lahore, Pakistan.
- Roehr, M., 2001, *Potential Source of Energy and Chemical Products, The Biotechnology of Ethanol*, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 100-101.
- Rogers, P.L., dkk 2007, *Zymomonas mobilis for Fuel Ethanol and Higher Value Products*, Adv. Biochem. Eng. Biotechnol.
- Rosa Putra Surya dan Alfena. 2008. Produksi Etanol Menggunakan Mutan *Zymomonas mobilis* yang Dimutasi dengan Hydroxylamine. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.
- Sapariantin, E., dkk, 2005, Etanol Sari Buah Semu Jambu Mete (*Anacardium occidentale L.*) oleh *Zymomonas mobilis* dengan Penambahan Urea. Jurusan Biologi FMIPA Universitas Sebelas Maret (UNS) Surakarta.
- Santos, D., dkk 2009, *Ethanol Production from Sugarcane Bagasse by Zymomonas mobilis Using Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF) Process* Appl Biochem Biotechnol. 161:93–105
- Setyawati. H dan N.A Rahman., 2010, Bioetanol Dari Kulit Nanas Dengan Variasi Massa

- Saccharomyces Cereviceae* Dan Waktu Fermentasi, Skripsi, Institut Teknologi Nasional, Malang.
- Sudarmadji S dkk, 1997. *Prosedur Analisa untuk Bahan Makanan dan Pertanian*. Liberty, Yogyakarta.
- Tano, M. S. dan Bozato, J. B. 2003, *Effect of The Presence of Initial Ethanol on Ethanol Production in Sugar Cane Juice Fermented by Zymomonas mobilis*. Braz. J. Microbiol. 34: 242-244.
- Tahir I, dkk 2008. *Kajian Penggunaan Limbah Buah Nenas Lokal (Ananas Comosus L) Sebagai Bahan Baku Pembuatan Nata*, Makalah Seminar Nasional Kimia XVIII, Jurusan Kimia FMIPA UGM.
- Vigants, A., dkk. 2012, *An Influence of Ethanol and Temperature on Products Formation by Different Preparations of Zymomonas Mobilis Extracellular Levansucrase*. Folia Microbiol (2013) 58:75–80
- Viiikari L (1984) *Formation of Levan and Sorbitol from Sucrose by Zymomonas mobilis*. Appl Microbiol Biotechnol 19:252–255
- Wijana, dkk 1998. *Optimalisasi Penambahan Tepung Kulit Nanas dan Proses Fermentasi pada Pakan Ternak terhadap Peningkatan Kualitas Nutrisi*. ARMP (Deptan). Universitas Brawijaya. Malang.
- Wijono, D. 1988. *Evaluasi Kinetika Proses Fermentasi Etanol oleh Zymomonas mobilis ZM 4*. Fak TP UGM dalam Bioproses dalam Industri Pangan. Yogyakarta: PAU Pangan dan Gizi UGM.
- Yamada, Tomiaki. dkk (2002). *Performance of Immobilized Zymomonas mobilis 31821 (pZB5) on Actual Hydrolysates Produced by Arkenol Technology*. Humana Press Inc. 0273-2289/02/98-100/0899
- Yu, J. dkk (2008). *Ethanol Production by Solid State Fermentation of Sweet Sorghum using Thermotolerant Yeast Strain*. Beijing University of Chemical Technology, Beijing, China.