
FERMENTASI ETANOL MENGGUNAKAN BAKTERI *Zymomonas mobilis* DARI GLUKOSA HASIL HIDROLISA ENZIMATIK BAGAS

Saraswati

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri – ITS

Kampus ITS Keputih, Sukolilo Surabaya 60111

Telp.: (031)5946240, Fax: (031)5999282

E-mail : rukti_wangsit@yahoo.com

Abstrak

Cadangan minyak bumi yang merupakan non renewable energy (energi tak terbarukan) sangat terbatas, sedang konsumsinya terus meningkat. Untuk itu perlu dicari energi alternatif. Etanol merupakan salah satu energi cair alternatif yang terbarukan (renewable). Bahan baku etanol antara lain adalah glukosa. Glukosa dapat diperoleh dari hidrolisa enzimatik bagas yang merupakan limbah pabrik gula. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi yang optimum dari pembuatan etanol dengan bahan baku bagas. Penelitian experimental meliputi dua tahap. Tahap I : proses hidrolisa enzimatik dari bagas dengan perlakuan pendahuluan (pretreatment), dan tahap II adalah proses fermentasi dengan bakteri *Zymomonas mobilis*. Variabel pada tahap I adalah konsentrasi NaOH sebagai pretreatment agent sebesar 5%, 7% dan 9% serta pemakaian enzim selulase : 30, 40 dan 50 unit enzim selulase/gram bagas. Variabel untuk tahap II adalah konsentrasi glukosa : 12.5%, 15%, 20%, 22.5% dan 25% dan waktu fermentasi 20, 24, 28, 32, 36, 40 dan 48 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk hidrolisa enzimatik hasil yang terbaik diperoleh dengan NaOH 7% dan 50 unit enzim selulase/gram bagas dengan konversi selulosa 87% dan waktu 42 jam. Untuk fermentasi kadar etanol tertinggi diperoleh pada konsentrasi glukosa 22.5% yaitu sebesar 9.238%, waktu 48 jam dan yield 0.4912 gram etanol/gram glukosa.

Kata Kunci: etanol; fermentasi; *Zymomonas mobilis*; glukosa; hidrolisa ; enzim selulase; pretreatment; bagas.

Abstract

The resources and reserves of oil which is a non renewable energy are very limited, while the oil consumption is increasing continuously. It is necessary to look for alternative energy. Etanol, a liquid energy, is a renewable alternative energy. Glucose can be used as raw material for etanol production. Glucose can be obtained by enzymatic hydrolysis of bagasse which is a solid waste of sugar cane factory. The objective of this research was to get the optimum condition of etanol production using bagasse as raw material. The experimental research consisted of 2 steps. First step : enzymatic hydrolysis of bagasse with chemical pretreatment process, and the second step was fermentation process using *Zymomonas mobilis* bacteria. Variables of the first step were the NaOH concentration (5%, 7% and 9%) as a pretreatment agent, and cellulase enzyme used (30, 40 and 50 cellulase enzyme units/gram bagasse). For the second step, the variables were glucose concentration (12.5%, 15%, 20%, 22.5%, and 25%) and the fermentation time (20, 24, 28, 32, 36, 40 and 48 hours). The experiment showed that the best result of the enzymatic hydrolysis could be obtained by NaOH 7% as chemical pretreatment agent and using 50 units of cellulase enzyme/gram bagasse. The cellulose conversion of bagasse was 87% within 42 hours period time. The highest etanol concentration of the fermentation process was 9.238% (weight %) and the yield was 0.4912 grams etanol/gram glucose. It was reached by using 22.5% glucose during 48 hours fermentation time.

Keywords: etanol; fermentation; *Zymomonas mobilis*; glucose; hydrolysis; cellulase enzyme; pretreatment; bagasse

1. Pendahuluan

Konsumsi bahan bakar minyak terus meningkat, sedangkan cadangan minyak bumi yang merupakan *non renewable energy* (energi tak terbarukan) sangat terbatas. Untuk itu perlu dicari energi alternatif. Etanol merupakan salah satu energi cair alternatif yang terbarukan (*renewable*). Salah satu cara yang telah banyak dilakukan untuk memproduksi etanol adalah dengan proses fermentasi. Bahan baku untuk proses fermentasi etanol dapat dengan menggunakan berbagai jenis karbohidrat (sukrosa, pati, selulosa). Industri etanol di Indonesia umumnya menggunakan molasses (sisa dari pabrik gula) yang mengandung sukrosa $\pm 47\%$. Etanol dari bahan baku pati - patian berhasil dibuat oleh UPT pati - patian BPP Teknologi di Lampung (unit Sulusuban dan Tulang Bawang). Sejauh ini, belum ada yang menggunakan selulosa sebagai bahan baku.

Bahan baku selulosa antara lain bagas yang merupakan limbah organik dari industri gula. Bagas oleh industri gula selama ini dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Kandungan selulosa dalam bagas cukup tinggi, yaitu sekitar 57%, dapat dimanfaatkan dengan cara dihidrolisa menjadi glukosa dan selanjutnya dapat difermentasikan menjadi etanol. Hidrolisa dapat dilakukan dengan menggunakan katalis asam atau enzim. Dalam penelitian ini hidrolisa dilakukan dengan menggunakan katalis enzim. Hidrolisa enzimatis mempunyai keunggulan antara lain lebih ramah lingkungan. Proses fermentasi menggunakan bakteri *Zymomonas mobilis* karena mempunyai sifat yang tahan terhadap etanol yang dihasilkan, Doelle (1989).

Penelitian sebelumnya yang digunakan sebagai rujukan antara lain : Saraswati (2001) melakukan penelitian "Pembuatan Etanol dari Tetes Tebu dengan *Zymomonas mobilis*"; etanol terbaik dihasilkan oleh molasses 32.25°Brix dengan yield 0,4793 gram etanol/ gram molasses. Nur Jamaluddin (2005) meneliti pembuatan glukosa dari serat abaka; hasil yang diperoleh yield 4,7042 gram glukosa/100 gram serat abaka dan konversi selulosa 42,8136% pada kondisi pemakaian enzim selulase 60 unit/gram serat. Penelitian - penelitian tersebut dapat dipakai sebagai rujukan karena sama - sama menghidrolisa selulosa dengan enzim dan fermentasi dengan *Zymomonas mobilis*.

Ada beberapa permasalahan yang sangat berpengaruh pada hidrolisa enzimatis dari selulosa maupun fermentasi dengan *Zymomonas mobilis*. Konversi selulosa menjadi glukosa dapat ditingkatkan secara signifikan dengan menggunakan *chemical pretreatment*. Faktor yang berpengaruh pada perlakuan pendahuluan

kimia adalah temperatur pemanasan, jenis asam/alkali yang digunakan, konsentrasi asam/alkali yang digunakan, jumlah asam/alkali yang digunakan, waktu proses perlakuan pendahuluan, dan kehalusan bahan. Sedang hidrolisa selulosa dengan enzim, faktor yang berpengaruh adalah jenis enzim, jumlah enzim, waktu hidrolisa, temperatur hidrolisa, dan pH hidrolisa. Adapun permasalahan yang berpengaruh pada proses fermentasi dengan *Zymomonas mobilis*, antara lain adalah jenis substrat, konsentrasi substrat, temperatur fermentasi, waktu fermentasi, serta ada tidaknya inhibitor, Kesava (1994).

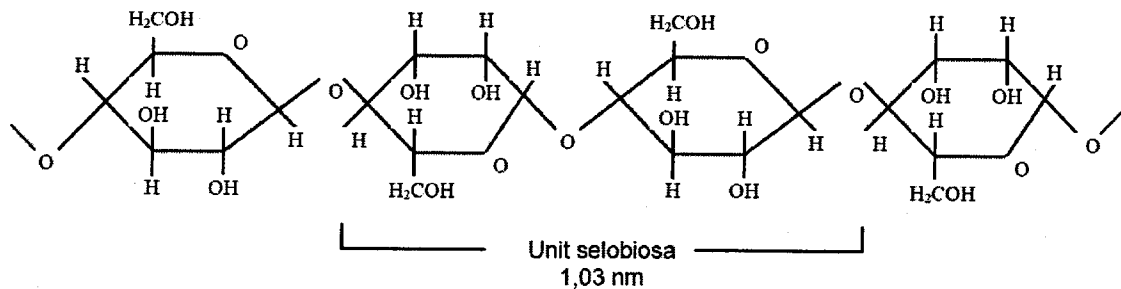
Tujuan penelitian ini selain diversifikasi pemanfaatan bagas menjadi produk yang bernilai ekonomi tinggi adalah untuk mengetahui kondisi yang optimum dari pembuatan etanol dengan bahan baku bagas. Untuk itu ruang lingkup kajian dalam penelitian ini meliputi konsentrasi NaOH sebagai *pre-treatment agent* dan pemakaian enzim selulase untuk tahap hidrolisa serta konsentrasi glukosa sebagai substrat dan waktu fermentasi pada tahap fermentasi.

Gambaran hasil yang diperlukan dalam penelitian ini adalah komposisi awal bagas, konversi selulosa menjadi glukosa pada berbagai variable untuk tahap hidrolisa serta kadar etanol, waktu fermentasi dan yield etanol pada berbagai variable untuk tahap fermentasi.

2. Fundamental

Bagas adalah salah satu bahan yang mengandung lignoselulosa, berasal dari tebu yang telah diambil niranya pada proses penggilingan di pabrik gula. Komponen dari lignoselulosa adalah lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Bagas mengandung selulosa yang cukup tinggi $\pm 57\%$. Selulosa merupakan polimer linear glukukan dengan struktur rantai yang seragam. Unit - unit tersebut terikat dengan ikatan glikosidik- β -(1,4).

Rumus molekul selulosa ($C_6H_{10}O_5$)_n. Derajat polimerisasi (n) berkisar antara 305-15.300. Mikrofil selulosa terdiri atas bagian amorf dan bagian kristal. Susunan kristal yang padat menyebabkan sulit ditembus oleh air bahkan enzim, sehingga sulit dihidrolisa. Selulosa diikat bersama dengan lignin oleh hemiselulosa. Hemiselulosa adalah heteropolisakarida yang relatif mudah dihidrolisa menjadi komponen - komponen monomernya yang terdiri dari : D-manosa, D-galaktosa, D-glukosa, D-xylosa, L-arabinosa dan asam uronat. Hemiselulosa akan terdegradasi lebih dahulu daripada selulosa, karena rantai molekul hemiselulosa lebih



Gambar 2.1. Struktur Molekul dari Selulosa

pendek dan bercabang. Rumus molekul hemiselulosa ($C_6H_{10}O_5$) $_n$ dimana $n = 50-200$.

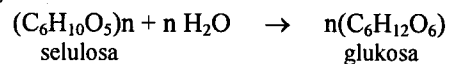
Struktur molekul lignin sangat berbeda bila dibandingkan dengan polisakarida karena terdiri dari sistim aromatik yang tersusun atas unit - unit fenilpropana. Dalam lignin, komponen fenilpropana teranyam sebagai jala oleh ikatan C-C atau eter dalam berbagai bentuk. Dibandingkan dengan selulosa dan hemiselulosa, degradasi lignin amat lambat.

Selulosa dapat dihidrolisa menjadi glukosa, dimana konversi selulosa dapat ditingkatkan secara signifikan dengan menggunakan perlakuan pendahuluan (*pretreatment*). Perlakuan pendahuluan berfungsi untuk memecah struktur kristal selulosa dan menghidrolisa hemiselulosa dan lignin. Perlakuan pendahuluan dapat berupa perlakuan pendahuluan fisik (penggilingan, pemanasan, irradiasi), dan perlakuan pendahuluan kimia (asam, basa atau pelarut organik). Bagas sudah mengalami perlakuan pendahuluan fisik yaitu penggilingan di pabrik gula. Penggilingan akan mengecilkan ukuran partikel dan mengurangi struktur kristal, meningkatkan luas permukaan serta meningkatkan kelarutan dalam air. Penggunaan perlakuan pendahuluan dengan bahan kimia umumnya menggunakan alkali atau asam untuk meningkatkan luas bidang kontak pada proses hidrolisa, dengan cara memecah lignin, hemiselulosa, dan selulosa.

Hidrolisa selulosa adalah proses pemutusan ikatan glukosida yang mengikat unit dasar glukosa. Dalam proses tersebut dibutuhkan air untuk membuat ikatan yang terputus menjadi tidak aktif. Kecepatan hidrolisa untuk selulosa amorphorus lebih cepat daripada selulosa kristal. Hidrolisa selulosa dapat dilakukan dengan 2 macam cara yaitu dengan asam/basa dan dengan enzim, Atkinson (1991). Hidrolisa dengan asam/basa dapat dilakukan baik dengan larutan asam/basa encer maupun pekat. Untuk hidrolisa selulosa dengan enzim diperlukan enzim selulase. Enzim selulase merupakan suatu kompleks enzim yang

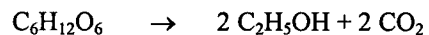
terdiri atas 3 enzim, yaitu endo β -1,4-glukanase, exo β -1,4-glukanase, dan β -1,4-glukosidase.

Enzim Endo β -1,4-glukanase adalah glycoprotein dengan berat molekul 5.300-145.000. Enzim ini menyerang rantai bagian dalam dari selulosa amorphorus menghasilkan sellobiosa. Enzim ini tidak dapat menghidrolisa selulosa kristal secara sendirian. Sementara enzim exo β -1,4-glukanase adalah glycoprotein dengan berat molekul 42.000-65.000. Ada 2 jenis yaitu Exo β -1,4-cellobiohidrolase dan Exo β -1,4-glucan glukohidrolase. Enzim ini menyerang Crystalline Cellulose. Kerja enzim ini dihambat dengan adanya produk selobiosa atau glukosa. Enzim terakhir adalah β -1,4-glukosidase atau selobiase yaitu glycoprotein dengan berat molekul 50.000-410.000. Enzim ini dapat menghidrolisa selobiosa menjadi glukosa. Ketiga enzim tersebut bekerja sama secara sinergis dalam menghidrolisa selulosa menjadi glukosa, Nishiwa (1989). Reaksi yang terjadi:



Glukosa yang terbentuk dapat difermentasikan menjadi etanol.

Fermentasi merupakan suatu proses hidrolisa komponen organik anaerob atau aerob sebagian oleh aktifitas mikroorganisme. Reaksi yang terjadi dalam proses fermentasi pembuatan etanol adalah sebagai berikut:



Secara teoritis dari setiap molekul glukosa akan diperoleh 2 molekul etanol dan 2 molekul karbondioksida. Pada kenyataannya hasil ini tidak dapat tercapai karena terbentuk hasil samping, penggunaan gula untuk pertumbuhan dan metabolisme organisme. Umumnya fermentasi untuk mendapatkan etanol ini menggunakan ragi sebagai biomass, seperti *Saccharomyces cerevisiae*. Tetapi penggunaan ragi dalam proses fermentasi ini

akan menghasilkan etanol dengan konsentrasi tidak tinggi. Hal ini disebabkan karena sel ragi tidak tahan terhadap konsentrasi etanol yang tinggi, Wang (1979). Karena itu perlu dilakukan usaha untuk memperbesar konsentrasi etanol dengan menggunakan mikroorganisme yang tahan terhadap konsentrasi etanol yang tinggi sehingga keberadaan etanol yang tinggi tersebut tidak akan mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme. Penelitian ini menggunakan bakteri *Zymomonas mobilis*. Bakteri ini mempunyai sifat – sifat yang tahan terhadap etanol yang dihasilkan. Reaksi konversi glukosa menjadi etanol adalah reaksi isotherm, sehingga pengaturan suhu fermentasi harus betul – betul diperhatikan dan dilakukan pendinginan untuk menjaga suhu tetap 35°C. Konsentrasi substrat berpengaruh pada kecepatan reaksi, akhirnya akan berpengaruh pada suhu dimana ini akan mempengaruhi aktifitas mikroorganisme.

3. Metodologi

Untuk menyelesaikan masalah dilakukan melalui percobaan. Pada percobaan ini untuk proses perlakuan pendahuluan digunakan NaOH. Untuk proses hidrolisa enzimatik, enzim yang digunakan adalah enzim selulase dari *Aspergillus niger* buatan Fluka. Enzim ini bekerja optimum pada suhu 50°C dan pH 5. Pada kondisi tersebut aktifitas dari enzim adalah maksimal dan relatif stabil meskipun digunakan menghidrolisa bahan dalam waktu relatif lama. Untuk menjaga agar pH konstan digunakan larutan buffer Natrium Asetat. Mikroorganisme untuk fermentasi adalah bakteri *Zymomonas mobilis*. Bakteri ini adalah bakteri anaerob, dan dapat memproduksi etanol dari glukosa, fruktosa, dan sukrosa. Menurut T. Rengasamy Kanna, inokulasi yang baik untuk pertumbuhan *Zymomonas mobilis* ini jika dalam rich medium sudah mengandung 2.4×10^8 sel/ml. Setelah dari rich medium, bakteri siap dikembangbiakkan dalam larutan starter. Pada umumnya untuk fermentasi diperlukan starter sebanyak 5-15% dari seluruh volume media fermentasi.

Bahan yang digunakan untuk percobaan ini antara lain : bagas, aquadest, NaOH, larutan buffer Na-Asetat pH 5, enzim selulase, bakteri *Zymomonas mobilis*, dan bahan – bahan untuk analisa.

Peralatan yang digunakan antara lain : beaker glass, Erlenmeyer, water bath, alat titrasi, spectrophotometer, incubator, autoclave, fermentor dan lain-lain.

Teknik percobaan : Untuk tahap I (hidrolisa) mempersiapkan bahan baku dengan jalan mencuci bagas kemudian dikeringkan

pada suhu 100°C dan dianalisa (selulosa, lignin, hemiselulosa, gula reduksi dan air). Selanjutnya melakukan perlakuan pendahuluan dengan jalan menambahkan larutan NaOH sesuai variable ke dalam bagas dan dimasukkan autoclave 121°C selama 30 menit. Dipilih hasil yang terbaik. Dipisahkan antara padatan dan filtrat. Padatan dicuci dengan aquadest sampai filtrat netral. Padatan dikeringkan pada 65°C sampai berat konstan dan dianalisa kadar air, selulosa, hemiselulosa, lignin dan gula reduksi. Kemudian ditambahkan larutan buffer dan enzim selulase sesuai variable, diinkubasikan pada suhu 50°C. Dilakukan analisa gula reduksi dalam interval waktu tertentu sampai kadar konstan. Dipisahkan larutan glukosa dan padatannya. Untuk Tahap II (Fermentasi) : mempersiapkan larutan glukosa sesuai variable dan menambahkan nutrient : ekstrak ragi, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$: $(NH_4)_2SO_4$, KH_2PO_4 dan selanjutnya; mengatur pH : 5. Mensterilkannya dalam autoclave 121°C selama 15 menit, didinginkan hingga suhu 30°C dan memasukkan kedalam fermentor. Ditambahkan starter sebanyak 10% dan difermentasikan selama 48 jam pada suhu 35°C. Mengambil sample setiap variable waktu fermentasi dan melakukan analisa.

Rancangan percobaan : variable pada perlakuan pendahuluan proses adalah NaOH 5%, 7%, dan 9%. Konsentrasi enzim selulase untuk hidrolisa : 30, 40 dan 50 unit enzim selulase/gram bagas. Variabel untuk fermentasi : konsentrasi glukosa 12.5%, 15%, 20% 22.5%, 25% dan waktu fermentasi : 20, 24, 28, 32, 36, 40 dan 48 jam.

4. Hasil dan Analisis

Bagas yang dipergunakan untuk penelitian ini adalah bagas dari Pabrik Gula Gempol Krep Mojokerto. Komposisi bagas seperti pada Tabel 4.1.

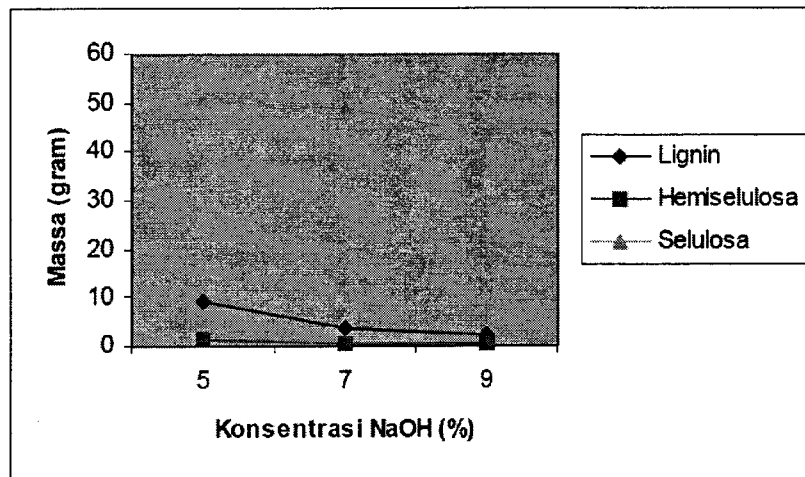
Tabel 4.1. Komposisi Bagas

Komponen	% berat
Air	15.235
Lignin	21.398
Hemiselulosa	4.198
Selulosa	51.670
Gula reduksi	7.438
Lain-lain	0.061

Untuk perlakuan pendahuluan digunakan NaOH dengan konsentrasi 5%, 7% dan 9%. Tabel 4.2. dan Gambar 4.1. menunjukkan hasil perlakuan pendahuluan tersebut.

Tabel 4.2. Perbandingan Massa Komponen Bagas Sebelum dan Sesudah Proses Perlakuan pendahuluan dengan NaOH

Kandungan	Bagas sebelum Pretreatment (gram)	Bagas Sesudah Pretreatment (gram)		
		NaOH 5%	NaOH 7%	NaOH 9%
Air	15.235	12.271	12.266	10.618
Lignin	21.398	9.219	3.727	2.339
Hemiselulosa	4.198	1.464	0.597	0.582
Selulosa	51.670	50.104	48.726	43.448
Gula Reduksi	0.081	0.081	0.092	0.094
Lainnya	7.349	8.508	8.811	12.957

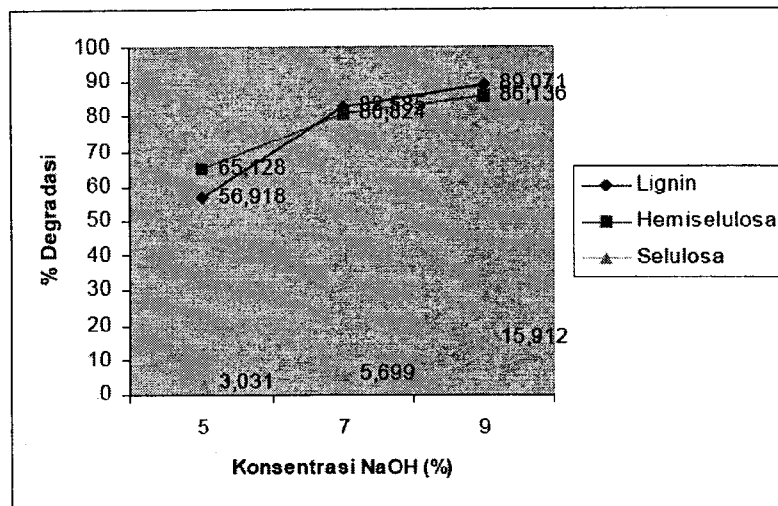


Gambar 4.1. Massa Komponen Bagas Setelah Proses Perlakuan pendahuluan dengan NaOH pada Berbagai Konsentrasi

Dari Tabel 4.2. terlihat bahwa terjadi penurunan massa lignoselulosa setelah perlakuan pendahuluan. Hal ini disebabkan karena terjadinya degradasi dari komponen – komponen lignoselulosa.

Dari Tabel 4.2. dan gambar 4.1. tampak bahwa setelah proses perlakuan pendahuluan penurunan berat lignin, selulosa, dan hemiselulosa semakin besar dengan naiknya konsentrasi NaOH. Proses perlakuan pendahuluan pada penelitian ini bertujuan untuk memudahkan proses hidrolisa selulosa secara enzimatik sehingga penurunan berat untuk komponen lignin ini memang diharapkan, karena dengan berkurangnya lignin akan memudahkan reaksi enzim dengan selulosa. Gambar 4.2. menunjukkan hubungan degradasi komponen bagas dengan berbagai konsentrasi NaOH.

Apabila dilihat dari Gambar 4.2. maka kecenderungannya adalah semakin besar konsentrasi NaOH maka semakin banyak lignin, selulosa dan hemiselulosa terdegradasi. Lignin yang terdegradasi meningkat tajam sampai konsentrasi 7%, peningkatan tidak terlalu besar pada konsentrasi NaOH 9%. Selulosa mengalami degradasi tidak terlalu besar sampai konsentrasi NaOH 7%, namun degradasi ini cukup besar untuk konsentrasi NaOH 9%. Persen degradasi hemiselulosa lebih besar dari selulosa karena selulosa memiliki struktur berserat teratur (kristalin) dan ikatan hidrogennya kuat sehingga tidak mudah terhidrolisis dimana sifat itu tidak dimiliki hemiselulosa. Disamping itu derajat polimerisasi selulosa lebih panjang dari hemiselulosa sehingga lebih sulit dipecah menjadi polimernya.



Gambar 4.2. Hubungan %Degradasi Komponen Bagas dengan NaOH pada Berbagai Macam Konsentrasi

Dari uraian tersebut dapat dikatakan konsentrasi NaOH paling baik sebagai perlakuan pendahuluan adalah 7%. Hasil ini diteruskan untuk hidrolisa dengan enzim selulase.

Tabel 4.3. memperlihatkan hasil % degradasi selulosa pada berbagai variable konsentrasi enzim.

Tabel 4.3. Degradasi Selulosa terhadap Variabel Enzim Selulase/Gram Bagas

Waktu (jam)	% Degradasi		
	30 unit	40 unit	50 unit
0	0	0	0
7	12.31	16.25	18.13
14	23.95	31.86	35.32
20	33.52	43.70	48.52
24	39.64	51.65	56.93
30	48.42	62.26	68.65
36	56.89	71.99	77.54
42	56.93	72.95	87.00

Dari Tabel diatas terlihat bahwa makin banyak enzim yang dipakai, makin besar degradasi selulosa. Demikian pula makin lama waktu hidrolisa makin besar degradasi selulosa. Yang terbaik dari variable yang dipergunakan adalah pemakaian enzim 50 unit/gram bagas dengan konversi 87% dan waktu 42 jam.

Tahap II : Fermentasi Etanol

Glukosa hasil hidrolisa diatas selanjutnya difermentasikan dengan menggunakan bakteri *Zymomonas mobilis*.

Tabel 4.4. menunjukkan kadar glukosa selama waktu fermentasi.

Tabel 4.4. Analisa Kadar Glukosa untuk Berbagai Kadar Substrat selama Proses Fermentasi

Waktu (jam)	Kadar Substrat (g/l)				
	12.5%	15%	20%	22.5%	25%
0	119.63	143.54	191.40	205.50	239.24
8	108.49	118.52	115.06	195.98	197.53
16	104.75	86.30	102.44	101.91	178.51
24	103.74	76.83	102.44	92.49	143.83
32	89.26	44.51	69.08	85.84	86.35
40	56.62	37.69	69.08	77.71	62.81
48	31.40	14.75	23.02	29.81	42.31

Tabel 4.5. Analisa Kadar Etanol untuk Berbagai Kadar Substrat Selama Fermentasi

Waktu (jam)	Kadar Substrat (g/l)				
	12.5%	15%	20%	22.5%	25%
0	0.010	0.007	0.053	0.011	0.062
8	0.098	0.847	0.946	2.844	3.218
16	0.563	1.199	3.849	5.890	4.654
24	1.687	3.908	5.682	7.452	5.879
32	3.330	6.698	8.603	9.038	6.998
40	3.350	6.701	8.601	9.178	7.213
48	3.377	6.730	8.615	9.238	7.322

Kadar etanol dinyatakan dalam % berat etanol

Kadar etanol selama fermentasi dinyatakan dalam Tabel 4.5. Berdasarkan data yang telah ditabelkan di atas, dapat dilihat bahwa kadar etanol tertinggi yaitu sebesar 9.238% diperoleh dari hasil fermentasi pada konsentrasi substrat 22.5%. Hasil perhitungan yield produk seperti tertera dalam table 4.6.

Tabel 4.6. Yield Produk pada Berbagai Kadar Substrat

Kadar Substrat	Y_{ps} (g/g)
12.5%	0.4118
15%	0.486
20%	1.4764
22.5%	0.4912
25%	0.3995

Dari Tabel 4.6. didapatkan yield yang terbaik pada konsentrasi substrat 22.5% sebesar 0.4912 gram etanol/gram substrat.

5. Kesimpulan

Dari analisa hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa bagas dapat dipergunakan sebagai bahan baku pembuatan etanol melalui proses hidrolisa dengan enzim dan fermentasi dengan bakteri *Zymomonas mobilis*. *Perlakuan pendahuluan* terbaik pada hidrolisa diperoleh dengan NaOH 7%, dan hidrolisa dengan enzim selulase 50 unit/gram bagas dengan konversi selulosa 87% dan waktu 42 jam. Untuk fermentasi kadar etanol tertinggi dicapai pada konsentrasi glukosa 22.5% yaitu sebesar 9.238% berat, waktu 48 jam dan yield 0.4912 gram etanol/gram substrat.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS, Que Project

Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS dan semua pihak sehingga penelitian dapat dilaksanakan dan diseminarkan serta dipublikasikan.

Daftar Pustaka

- [1] Atkinson, B. dan Mavituna, F., (1991), "Enzymes", *Biochemical Engineering and Biotechnology Handbook*, 2nd edition, Mac Millan Publisher Ltd; United Kingdom, hlm. 552.
- [2] Doelle, M. B. dan Doelle, H. W. (1989), "Etanol Production from Sugar Cane Syrup using *Zymomonas mobilis*", *Journal of Biotechnology*, 11: 25-36.
- [3] Jamaluddin, M. N. dan Agung, Y., (2005), "Studi Pembuatan Glukosa dari Serat Abaka dengan Perlakuan Pendahuluan", *Tesis Sarjana*, Jurusan Teknik Kimia – ITS, Surabaya.
- [4] Kesava, S. S., Rakshit, S. K. dan Panda, T., (1994), "Production of Etanol by *Zymomonas mobilis* : The Effect of batch Step – Feeding of Glucose and Relevant Growth Factors", *Process Biochemistry*, 30, Elsevier Science Ltd. India, hal. 41-47.
- [5] Nishiwa, K. (1989), "Degradation of Cellulose and Hemicellulose", *Biomass Handbook*, Gordon & Breach Science Publisher, New York, hal. 304-311.
- [6] Prescott, S. C. dan Dunn, C. G. (1959), "*Industrial Microbiology*", 3rd edition, Mc Graw Hill Book Company, Inc. New York, hlm. 102-124.
- [7] Saraswati (2001), "Pembuatan Etanol dari Tetes Tebu dengan *Zymomonas mobilis*", *Que Project Grant*, Jurusan Teknik Kimia – ITS, Surabaya.