



UNIVERSITAS INDONESIA

**KONVERSI BAGAS MENJADI ETANOL DENGAN
KOMBINASI PERLAKUAN AWAL DAN ENZIM DALAM
PROSES SAKARIFIKASI DAN FERMENTASI SEREMPAK
(SSF)**

DISERTASI

M. SAMSURI
8405002021

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
PROGRAM PASCA SARJANA TEKNIK KIMIA
DEPOK
NOVEMBER 2008**



UNIVERSITAS INDONESIA

**KONVERSI BAGAS MENJADI ETANOL DENGAN
KOMBINASI PERLAKUAN AWAL DAN ENZIM DALAM
PROSES SAKARIFIKASI DAN FERMENTASI SEREMPAK
(SSF)**

DISERTASI

**DIAJUKAN SEBAGAI SALAH SATU SYARAT
MEMPEROLEH GELAR DOKTOR BIDANG TEKNIK KIMIA**

**M. SAMSURI
8405002021**

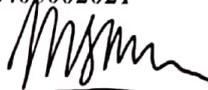
**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
PROGRAM PASCA SARJANA TEKNIK KIMIA
DEPOK
NOVEMBER 2008**

PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI

Disertasi dengan judul:

**KONVERSI BAGAS MENJADI ETANOL DENGAN KOMBINASI
PERLAKUAN AWAL DAN ENZIM DALAM PROSES SAKARIFIKASI
DAN FERMENTASI SEREMPAK (SSF)**

Disertasi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : M. Samsuri
NPM : 8405002021
Tanda Tangan : 
Tanggal : 7 November 2008

HALAMAN PENGESAHAN

Disertasi ini diajukan oleh

Nama : M. Samsuri
NPM : 8405002021
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Disertasi : Konversi Bagas Menjadi Etanol Dengan Kombinasi
Perlakuan Awal Dan Enzim Dalam Proses Sakarifikasi
Dan Fermentasi Serempak (SSF)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Doktor pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Promotor : Prof. Dr. Ir. Muhammad Nasikin, M. Eng



Kopromotor : Dr. Ing. Ir. Misri Gozan, M.Tech



Prof. Dr. Ir. Bambang Prasetya



Tim Penguji : Prof. Dr. Ir. Martin Djamin, M.Sc



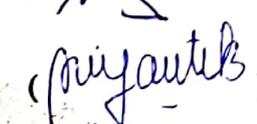
Dr. Ir. Setijo Bismo, DEA



Ir. Mahmud Sudibandriyo, M.Sc, Ph.D



Ariyanti Oetari, Ph.D



UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia Allah penulis dapat menyelesaikan disertasi ini dengan baik. Sholawat teriring salam kepada Nabi Muhammad SAW sebagai panutan penulis dalam kehidupan sehari-hari selaku seorang muslim.

Secara khusus penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. **Prof. Ir. Muhammad Nasikin, M.Eng** selaku promotor yang telah bersedia meluangkan waktu untuk menjadi guru dan memberi pengarahan, diskusi, bimbingan serta persetujuan sehingga disertasi ini dapat selesai dengan baik
2. **Dr. Ing. Ir. Misri Gozan, M. Tech** dan **Prof. Dr. Ir. Bambang Prasetya** yang telah bersedia meluangkan waktu untuk menjadi guru dan memberi pengarahan, diskusi, bimbingan serta persetujuan sehingga disertasi ini dapat selesai dengan baik semoga Allah membalasnya.

Selain itu penulis juga ingin mengucapkan terima kasih dan apresiasi yang mendalam kepada:

1. Para tim penguji **Prof. Dr. Martin Djamin, Ir. Mahmud Sudibandriyo, M.Sc, PhD, Dr. Ir. Setijo Bismo, DEA** dan **Aryanti Oetari, Ph.D** atas segala masukannya dalam penyusunan disertasi ini.
2. **Prof. Dr. Carunia Mulya Firdausy** dan **Dr. Fathoni Muchtadi, MA** dari **Kementerian Negara Riset dan Teknologi** dan seluruh staf pengelola Rintisan Program Pascasarjana KNRT selaku pihak yang bertanggung jawab dan membantu dalam memberikan beasiswa program doktoral melalui **Kementerian Negara Riset dan Teknologi**.
3. **Dr. Ir. Teguh Raharjo** dan **Ir. Hari Purwanto, M.Sc. DIC** selaku pimpinan saya di **Kedeputan Bidang Program Riptek Kementerian Negara Riset dan Teknologi**, yang telah memberikan kesempatan dan dukungan motivasi untuk menyelesaikan program doktoral ini.

4. **Prof. Widodo Wahyu Purwanto**, selaku ketua Departemen Teknik Kimia UI daa seluruh civitas akademik Teknik Kimia UI serta pegawai adminstrasi UI Mas Sri, Pak Masturo dan lain-lain.
5. **Prof. Dr. Takashi Watanabe** dan **Dr. Yoichi Honda** dari Laboratory of Biomass Conversian Kyoto University yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan riset di Kyoto University.
6. **Prof. Dr. Lilik Hendrajaya, Dr. Ir. Bambang Sapto Pratomosunu, Dr. Ir. Any Sulaswaty** selaku pihak yang pernah bertanggung jawab dalam memberikan beasiswa melalui Kementerian Negara Riset dan Teknologi.
7. **Dr. Bambang Setiadi** dan **Prof. Dr. Bambang Sutjiatmo** dan **Kepala Biro Umum KNRT** atas dukungan dan rekomendasinya untuk melanjutkan studi.
8. **Ibu Tami Indiyanti** dan **Ibu Euis Hermiati, Ibu Wida** dan teman-teman dari dari Kimia LIPI dan Biomaterial LIPI yang telah membantu pelaksanaan penelitian dari sebelum dan selama saya menempuh program doktoral.
9. **Ratri Sugesti S. Dewi, S.Pd** sebagai istri yang tercinta yang senantiasa memberikan semangat, dukungan dan do'a dari segala sisi yang sulit untuk diungkapkan dengan kata-kata serta senantiasa mengurus anak-anak dengan penuh cinta dan kasih sayang.
10. Kedua anaku yang tercinta **Zahra Shinta Guanzho** dan **Zain Akhdan Hanan** dengan segala ketulusan senyumnya memberikan semangat lepada saya untuk segera menyelesaikan studi.
11. Mbah Nah, Mbah Man dan Mail selaku orang tua dan adik yang telah memberikan dukungan doa dan semangat sehingga saya mampu menyelesaikan S3 ini.
12. Pak Suldi, Bu Khodijah dan Dek Putri selaku mertua tercinta yang senantiasa memberikan suntikan semangat dan doa kepada saya.
13. Teman-teman tim rocker Pak Farid, Pak Edi, Pad Hari J, Pak Malikus, Pak Lukito, Pak Pram, Kang Toto, Irma, Yeni, Rini dan Lina sebagai teman berdiskusi. Pak Ipul selaku atasan langsung yang selalu memberikan peluang kepada saya untuk maju serta membantu diskusi-diskusi bahasa.
14. Teman-teman di AD-PTE dan Kedeputan Bidang Program Riptek yang tidak saya sebut satu persatu namun tidak mengurangi rasa persaudaraan kita semua.

15. Mbak Tari yang selalu menjaga anak-anak dan memberi support, Gito, Ozi dan teman-teman sejawad yang telah memberikan semangat dan do'a untuk terselesaikan disertasi ini.
16. Kepada semua orang-orang yang membantu terlaksananya penelitian ini yang tidak dapat saya sebut satu persatu.

Depok, 7 November 2008

Penulis



M. Samsuri

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

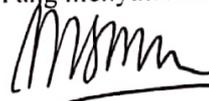
Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. Samsuri
NPM : 8405002021
Program Studi: Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik Universitas Indonesia
Jenisa Karya : Disertasi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul: **Konversi Bagas Menjadi Etanol Dengan Kombinasi Perlakuan Awal Dan Enzim Dalam Proses Sakarifikasi Dan Fermentasi Serempak (SSF)** beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Rolyati Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 7 November 2008
Yang menyatakan



M. Samsuri

ABSTRAK

Nama : M. Samsuri
Program Studi : Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
Judul : Konversi Bagas Menjadi Etanol Dengan Kombinasi Perlakuan Awal Dan Enzim Dalam Proses Sakarifikasi Dan Fermentasi Serempak (SSF)

Salah satu prioritas dalam agenda jangka panjang pengembangan energi baru dan terbarukan yang tertuang dalam Agenda Riset Nasional (ARN) adalah pengembangan bioetanol dari material lignoselulosa. Masalah yang mendasar dalam proses peningkatan produksi etanol dari material lignoselulosa termasuk bagas adalah bagaimana mengkonversi secara menyeluruh polisakarida menjadi monosakarida dengan memanfaatkan enzim-enzim yang spesifik. Untuk material bagas, yang dimaksud konversi menyeluruh adalah konversi selulosa, xylan dan selobiosa. Selain itu, keberadaan lignin dalam bagas dapat menghambat akses enzim dalam memecah polisakarida menjadi monosakarida, sehingga menyebabkan produksi etanol tidak optimal.

Pada penelitian ini, telah dilakukan penelitian dengan teknologi proses baru untuk meningkatkan produksi etanol dari bagas melalui proses sakarifikasi dan fermentasi serempak (SSF). Penelitian yang dilakukan adalah mencakup proses menyeluruh perlakuan awal dengan beberapa jamur pelapuk putih (*Ceriporiopsis subvermispora*, *Lentinus edodes* dan *Pleurotus ostreatus*) dan *steaming*, hidrolisis menggunakan kombinasi multi enzim selulase, selobiase dan xylanase serta proses fermentasi dengan *Saccharomyces cerevisiae* AM 12 yang dilakukan secara serempak.

Kombinasi enzim selulase-selobiase, selulase-xylanase dan selulase-selobiase-xylanase meningkatkan produksi etanol dari bagas dalam proses SSF. Konsentrasi etanol tertinggi yang dihasilkan dengan kombinasi enzim selulase-selobiase, selulase-xylanase dan selulase-selobiase-xylanase berturut-turut 6,9 g/L, 8,6 g/L dan 9,8 g/L, sedangkan dengan enzim selulase saja sebesar 6,0 g/L. Persentase *ethanol yield* (berbasis berat bagas) yang dihasilkan dengan kombinasi enzim tersebut berturut-turut sebesar 13,9%, 17,2% dan 19,7%, sedangkan dengan enzim selulase saja sebesar 11,95%. Pencapaian hasil teori (*theoretical yield*) tertinggi dengan menggunakan kombinasi enzim selulase-selobiase-xylanase sebesar 49,5%, sedangkan dengan enzim selulase saja pencapaian hasil teori sebesar 42,0%.

Peningkatan produksi etanol dengan enzim selulase-selobiase membuktikan bahwa selain glukosa, selobiosa juga terbentuk dalam proses hidrolisis parsial selulosa oleh enzim selulase. Selobiosa yang terbentuk kemudian secara simultan dikonversikan menjadi glukosa oleh enzim selobiase, yang dibuktikan dengan peningkatan glukosa sebesar 16,2% setelah proses dihidrolisis dengan enzim selulase-selobiase. Selanjutnya glukosa yang terbentuk secara simultan dikonversi menjadi etanol oleh *S. cerevisiae*.

Selain itu, peningkatan jumlah etanol yang dihasilkan dengan kombinasi enzim selulase-selobiase-xylanase juga membuktikan bahwa reaksi multi enzim dengan masing-masing substrat yang spesifik dapat terjadi dalam proses SSF. Reaksi multi enzim tersebut yaitu reaksi hidrolisis selulosa dengan selulase menjadi glukosa, hidrolisis xylan dengan xylanase menjadi xylosa dan hidrolisis selobiosa menjadi glukosa dengan enzim selobiase. Selanjutnya secara simultan glukosa dan xylosa yang terbentuk dikonversi menjadi etanol dengan *S. cerevisiae*. Hal ini dibuktikan dengan menurunnya kadar selulosa dan hemiselulosa setelah proses SSF berlangsung yaitu dari 50% dan 20% menjadi 22% dan 10%.

Peningkatan sangat signifikan pada produksi etanol dari bagas dengan kombinasi enzim selulase-selobiase, selulase-xylanase dan selulase-selobiase-xylanase setelah dilakukan kombinasi perlakuan awal *C. subvermispota* dan *steaming* 180°C. Konsentrasi etanol yang dihasilkan dengan kombinasi enzim dan perlakuan awal tersebut berturut-turut sebesar 12,9 g/L, 13,5 g/L dan 18,2 g/L. Dengan persentase *ethanol yield* yang dihasilkan berbasis berat bagas sebesar 25,7%, 26,9% dan 36,4%.

Peningkatan etanol yang dihasilkan setelah perlakuan awal dengan *C. subvermispota* dan *steaming* disebabkan adanya proses biodegradasi lignin oleh *C. subvermispota* dan pelarutan kristal-kristal selulosa dan hemiselulosa selama proses perlakuan dengan *steaming* berlangsung. Hal ini dibuktikan dengan adanya penurunan kadar lignin sebesar 26,5%, selulosa sebesar 9,4% dan hemiselulosa 14,1% setelah kombinasi perlakuan awal *C. subvermispota* dan *steaming* pada suhu 180°C.

Ethanol yield tertinggi 36,4% dengan pencapaian *theoretical yield* sebesar 91,4%, yaitu dengan enzim selulase-selobiase-xylanase yang dikombinasikan dengan perlakuan awal *C. subvermispota* dan *steaming* 180°C. Pencapaian hasil teori ini meningkat sangat signifikan dibandingkan dengan etanol yang dihasilkan jika hanya menggunakan enzim selulase saja (42,03%). Peningkatan tersebut membuktikan bahwa kombinasi perlakuan awal *C. subvermispota* dan *steaming* yang dipadukan dengan hidrolisis multi enzim selulase-selobiase-xylanase sangat efektif dalam mengkonversi bagas menjadi etanol dalam proses SSF. Hal ini dibuktikan dengan menurunnya kadar selulosa dan hemiselulosa pada residu bagas setelah proses SSF berlangsung yaitu dari 50% dan 20% menjadi 4,5% dan 3,5%.

Kata kunci:

Bagas, *Ceriporiopsis subvermispota*, etanol, jamur pelapuk putih, selobiase, SSF, *steaming*, selulase, xylanase, yeast

ABSTRACT

Name : M. Samsuri
Study Program : Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Indonesia
Title : Conversion Of Bagasse To Ethanol With Combination Pre-Treatments And Enzymes In Simultaneous Saccharification And Fermentation (SSF)

One of priority in the long term National Research Agenda for renewable energy development is bioethanol production from lignocellulosic materials. The problem in increasing ethanol production from lignocellulosic material, including bagasse, is how to convert completely polysaccharide to monosaccharide using specific enzymes. Complete conversion of bagasse includes how to convert cellulose, xylan and cellobiose. Another problem is the existence of lignin in bagasse, which makes it difficult for enzyme to access and, thus to convert polysaccharide to monosaccharide. It causes unoptimal ethanol production.

Novel technology to produce ethanol from bagasse by simultaneous saccharification and fermentation (SSF) was carried out. Experiments included pre-treatments of bagasse with several white rot fungi (*Ceriporiopsis subvermispora*, *Lentinus edodes* and *Pleurotus ostreatus*) and steaming; hydrolysis with combination cellulase, cellobiase and xylanase enzymes; followed by fermentation using *Saccharomyces cerevisiae* AM 12.

Combination of cellulase-cellobiase, cellulase-xylanase and cellulase-cellobiase-xylanase increased the ethanol production from bagasse. The highest ethanol concentration after hydrolysis with those enzymes were 6.9 g/L, 8.6 g/L and 9.8 g/L, respectively, compared to using cellulase only which was 6.0 g/L. The highest yield of ethanol (based on bagasse) with combination of those enzymes were 13.9%, 17.2% and 19.68%, while using cellulase only was 12.0%. The highest result of ethanol production in theoretical yield with combination of enzymes cellulase-cellobiase-xylanase is 49.5%, while using cellulase only 42.0%.

Beside glucose, the increase of ethanol production from bagasse with cellulase-cellobiase enzymes confirmed that cellobiose was also produced in partial hydrolysis of cellulose with cellulase enzyme. Cellobiose was then converted to glucose simultaneously with cellobiase enzyme, this was revealed by the increase of glucose content about 16.2% after hydrolysis with cellulase-cellobiase enzymes. And then glucose was converted to ethanol simultaneously with *S. cerevisiae*.

The increase of ethanol yields with combination of cellulase-cellobiase-xylanase enzymes confirmed that multi enzymes reaction took place on specific substrates. This multiple reactions includes hydrolysis of cellulose to glucose by cellulase,

hydrolysis of xylan to xylose by xylanase enzyme and hydrolysis of cellobiose to glucose by cellobiase enzyme. Then glucose and xylose were converted to ethanol simultaneously by *S. cerevisiae*. This phenomenon was revealed by weight loss of cellulose and hemicellulose of bagasse after SSF process from 50% and 20% to 22% and 10%, respectively.

The significance increase of the ethanol production was achieved after pre-treatment with combination of *C. subvermispota* and steaming 180°C. The highest ethanol production at combination of cellulase-cellobiase, cellulase-xylanase and cellulase-cellobiase-xylanase after pre-treatment *C. subvermispota* and steaming 180°C were 12.9 g/L, 13.5 g/L and 18.2 g/L, respectively. The highest yield of ethanol (based on bagasse) with those combination were 25.7%, 26.9% dan 36.4%, respectively.

The increase of ethanol yield after pre-treatment with *C. subvermispota* and steaming was caused by lignin biodegradation of bagasse with *C. subvermispota* and dissolution of cellulose and hemicellulose crystalline in steaming treatment process. This was revealed by lignin loss about 26.5%, cellulose loss about 9.4% and hemicellulose loss about 14.1% after pre-treatment with combination of *C. subvermispota* and steaming at 180°C.

The highest achievement of ethanol production in theoretical yield with combination cellulase-cellobiase-xylanase after pre-treatment with combination of *C. subvermispota* and steaming at 180°C was 91.4%. This was a very significant increase compared to the ethanol production in theoretical yield when using cellulase only (42.0%). This increase of ethanol yield revealed that combination of pre-treatment and hydrolysis of multi enzymes very effectively converting bagasse to ethanol in SSF. This phenomenon was confirmed by weight loss of cellulose and hemicellulose in bagasse after SSF process from 50% and 20% to 4.5% and 3.5%.

Key words:

Bagasse, cellulase, cellobiase, *Ceriporiopsis subvermispota*, ethanol, SSF, steaming, white rot fungi, xylanase, yeast

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR ISTILAH	xx
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	7
1.3 Tujuan Penelitian	8
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	8
1.5 Batasan Masalah	9
1.6 Manfaat dan Nilai Kebaruan Penelitian	10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Etanol	11
2.2 Kebijakan Pengembangan dan Produksi Bioetanol di Berbagai Negara	12
2.2.1 Amerika Serikat	14
2.2.2 Brazil	16
2.2.3 Kanada	17
2.2.4 Negara-Negara Eropa	18
2.2.5 Kebangkitan Negara Asia dalam Pengembangan Bioetanol	19
2.3 Kebijakan Pengembangan Etanol di Indonesia	22
2.4 Bagas Sebagai Bahan Baku Bioetanol	23
2.4.1 Selulosa	24

2.4.2	Hemiselulosa	27
2.4.3	Lignin	28
2.5	Proses Konversi Material Lignoselulosa Menjadi Etanol	30
2.6	Enzim	32
2.6.1	Enzim Selulase	37
2.6.2	Enzim Selobiase	38
2.6.3	Enzim Xylanase	39
2.7	Hidrolisis dengan Enzim	40
2.8	Fermentasi	42
2.9	Sakarifikasi dan Fermentasi Serempak (SSF)	44
2.10	Perlakuan Awal	46
2.10.1	Perlakuan secara Fisik	46
2.10.2	Perlakuan secara Kimia	47
2.10.3	Perlakuan secara Hayati	48
2.11	Status Penelitian Bioetanol Saat Ini	50
2.12	Penelitian Bioetanol di Indonesia	53

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Skema Penelitian	55
3.2	Variabel	56
3.3	Prosedur Penelitian	56
3.3.1	Persiapan Sampel	56
3.3.2	Perlakuan Awal	57
3.3.3	Persiapan SSF	58
3.3.4	Pengondisian Selama SSF	58
3.3.5	Analisis	59

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Komposisi Kimia Bagas	61
4.2	Konversi Bagas Menjadi Etanol dengan Enzim Selulase	62
4.3	Konversi Bagas Menjadi Etanol dengan Enzim Selulase-Selobiase	67
4.4	Konversi Bagas Menjadi Etanol dengan Enzim Xylanase	73
4.5	Konversi Bagas Menjadi Etanol dengan Enzim Selulase-Xylanase	79
4.6	Konversi Bagas Menjadi Etanol dengan Enzim Selulase-Selobiase-Xylanase	85
4.7	Pengaruh Perlakuan Awal Jamur Pelapuk Putih Terhadap Konversi Bagas Menjadi Etanol	89
4.7.1	Pengaruh Perlakuan Jamur Pelapuk Putih Terhadap Konversi Bagas Menjadi Etanol dengan Enzim Selulase-Selobiase	89
4.7.2	Pengaruh Perlakuan Jamur Pelapuk Putih <i>C. subvermispora</i> Terhadap Konversi Bagas Menjadi Etanol dengan Enzim Selulase-Xylanase	94

4.7.3	Pengaruh Perlakuan Jamur Pelapuk Putih <i>C. subvermispora</i> Terhadap Konversi Bagas Menjadi Etanol dengan Enzim Selulase-Selobiase-Xylanase	97
4.8	Pengaruh Perlakuan Awal <i>Steaming</i> Terhadap Konversi Bagas Menjadi Etanol	99
4.8.1	Pengaruh Perlakuan Awal <i>Steaming</i> Terhadap Konversi Bagas Menjadi Etanol dengan Enzim Selulase-Selobiase	99
4.8.2	Pengaruh Perlakuan Awal <i>Steaming</i> Terhadap Konversi Bagas Menjadi Etanol dengan Enzim Selulase-Xylanase	102
4.8.3	Pengaruh Perlakuan Awal <i>Steaming</i> Terhadap Konversi Bagas Menjadi Etanol dengan Enzim Selulase-Selobiase-Xylanase	104
4.9	Pengaruh Kombinasi Perlakuan Jamur Pelapuk Putih dan <i>Steaming</i> Terhadap Konversi Bagas Menjadi Etanol	106
4.9.1	Pengaruh Kombinasi Perlakuan Jamur Pelapuk Putih dan <i>Steaming</i> Terhadap Konversi Bagas Menjadi Etanol dengan Enzim Selulase-Selobiase	106
4.9.2	Pengaruh Kombinasi Perlakuan Jamur Pelapuk Putih dan <i>Steaming</i> Terhadap Konversi Bagas Menjadi Etanol dengan Enzim Selulase-Xylanase	109
4.9.3	Pengaruh Kombinasi Perlakuan Jamur Pelapuk Putih dan <i>Steaming</i> Terhadap Konversi Bagas Menjadi Etanol dengan Enzim Selulase-Selobiase-Xylanase	112

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	120
5.2	Saran	124

DAFTAR REFERENSI

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman	
Gambar 2.1	Produksi Etanol Beberapa Negara Di Dunia	12
Gambar 2.2	Struktur Selobiosa	24
Gambar 2.3	Struktur Selulosa	25
Gambar 2.4	Struktur Hemiselulosa Untuk Hardwood Dan Softwood	28
Gambar 2.4	Struktur Lignin	29
Gambar 2.6	Tahapan Proses Produksi Bioetanol Dari Material Lignoselulosa Dengan Proses SHF Dan SSF	31
Gambar 2.7	Diagram Alir Proses Produksi Etanol Dari Material Lignoselulosa (Bagas) Dari Hulu Sampai Hilir	32
Gambar 2.8	Komponen Enzim Secara Umum	33
Gambar 2.9	Mekanisme Kerja Enzim	35
Gambar 2.10	Diagram Energi Reaksi Katalisis (A) Reaksi Biasa Tanpa Enzim (B) Reaksi Enzimatik	36
Gambar 2.11	Jenis Dan Aksi Enzim Selulase	38
Gambar 2.12	Aksi Enzim Selobiase	39
Gambar 2.13	Aksi Enzim Xylanase Dalam Memecah Xylan Menjadi Xylosa	40
Gambar 2.14	Skema Reaksi Dalam Proses Simultaneous Sacharification Dan Fermentation (SSF)	45
Gambar 2.15	Gambaran Proses Hidrolisis Enzim dan Fermentasi Pada Konversi Material Lignoselulosa Menjadi Etanol	54
Gambar 3.1	Skema Penelitian	55
Gambar 3.2	Ilustrasi Gambar Standar Penentuan Konsentrasi Etanol	60
Gambar 4.1	Komposisi Lignin, Selulose Dan Hemiselulosa Pada Bagas	61
Gambar 4.2	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase Dengan Enzim Selulase Pada pH=5 (Konsentrasi Substrat 50 G/L Dan 10 FPU Enzim Selulase).	62
Gambar 4.3.	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase Dengan Variasi pH (4, 4,5 Dan 5) Melalui Proses SSF	63
Gambar 4.4	Data Konsentrasi Glukosa Pada Bagas Setelah Dihidrolisis Dengan Enzim Selulase	64

Gambar 4.5.	Persentase Etanol Yang Dihasilkan Dari Bagas Berdasarkan Perhitungan Teoritis (Berbasis Berat Selulosa Dan Berat Bagas Murni)	66
Gambar 4.6.	Komposisi Lignin, Selulosa Dan Hemiselulosa Bagas Setelah Proses SSF Menggunakan Enzim Selulase	66
Gambar 4.7.	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Selobiase Pada pH=5 Melalui Proses SSF	68
Gambar 4.8.	Konsentrasi Etanol Dari Bagas Setelah Proses SSF Dengan Enzim Selulase- Selobiase Dengan Variasi pH (4 S.D 6)	69
Gambar 4.9.	Perbandingan Produksi Bioetanol Dari Bagas Dengan Enzyme Selulase Serta Kombinasi Selulase-Selobiase (Konsentrasi Substrat 50 G/L, pH=5 Dan 10FPU-5FPU Selulase-Selobiase)	69
Gambar 4.10.	Komposisi Lignin, Selulosa Dan Hemiselulosa Bagas Setelah Proses SSF Menggunakan Enzim Selulase-Selobiase	72
Gambar 4.11.	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Xylanase Dalam Proses SSF Pada pH=5.	74
Gambar 4.12.	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Xylanase Dengan Variasi pH (4 S.D 6) Melalui Proses SSF	75
Gambar 4.13	Hidrolisis Hemiselulosa Bagas Menjadi Xilosa Menggunakan Enzim Xylanase Dengan Berbagai Variasi Enzim	76
Gambar 4.14	Persentase <i>Ethanol yield</i> Maksimal Dari Bagas Berdasarkan Perhitungan Teoritis (Berbasis Hemiselulosa Dan Bagas Murni)	77
Gambar 4.15.	Komposisi Lignin, Selulosa Dan Hemiselulosa Bagas Setelah Proses SSF Menggunakan Enzim Xylanase	78
Gambar 4.16.	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Xylanase Dalam Proses SSF Pada pH=5.	80
Gambar 4.17.	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Kombinasi Enzim Selulase-Xylanase Dengan Variasi Ph Melalui Proses SSF (Enzim Selulase-Xylanase 10FPU-5FPU)	80
Gambar 4.18.	Persentase <i>Ethanol yield</i> Maksimal Dari Bagas Berdasarkan Perhitungan Teoritis Dengan Enzim Selulase-Xylanase (Berbasis Hemiselulosa Dan Bagas Murni)	82
Gambar 4.19.	Komposisi Lignin, Selulosa Dan Hemiselulosa Bagas Setelah Proses SSF Menggunakan Enzim Selulase-Xylanase	84
Gambar 4.20	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Selobiase-Xylanase Dalam Proses SSF Pada pH=5.	86

Gambar 4.21	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Kombinasi Enzim Selulase-Xylanase Dengan Variasi pH 4; 4,5 Dan 5 Melalui Proses SSF (Konsentrasi Substrat 50g/L)	86
Gambar 4.22.	Komposisi Lignin, Selulosa Dan Hemiselulosa Bagas Setelah Proses SSF Menggunakan Enzim Selulase-Selobiase	88
Gambar 4.23	Pengaruh Perlakuan Jamur Pelapuk Putih Selama 6 Minggu Terhadap Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Selobiase	90
Gambar 4.24	Pengaruh Perlakuan <i>C. Subvermispora</i> Terhadap Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Xylanase	95
Gambar 4.25	Pengaruh Perlakuan Jamur Pelapuk Putih Terhadap Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Selulase-Xylanase	97
Gambar 4.26	Hasil Foto SEM Struktur Permukaan Bagas (A) Struktur Permukaan Bagas Tanpa Perlakuan Awal (B) Struktur Permukaan Bagas Setelah Dilakukan Perlakuan Awal Dengan <i>C. Subvermispora</i>	100
Gambar 4.27	Pengaruh Perlakuan Dengan <i>Steaming</i> Terhadap Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Selobiase.	102
Gambar 4.28	Pengaruh Perlakuan Dengan <i>Steaming</i> Terhadap Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Xylanase.	104
Gambar 4.29.	Pengaruh Perlakuan Kombinasi <i>Steaming</i> Degan Jamur Pelapuk Putih Terhadap Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Selobiase-Xylanase	106
Gambar 4.30	Pengaruh Perlakuan Kombinasi <i>Steaming</i> 180 ⁰ C Degan <i>C. Subvermipora</i> Terhadap Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Selobiase.	110
Gambar 4.31	Pengaruh Perlakuan Kombinasi <i>Steaming</i> 180 ⁰ C Degan <i>C. Subvermipora</i> Terhadap Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Xylanase.	113
Gambar 4.32	Pengaruh Perlakuan Kombinasi <i>Steaming</i> 180 ⁰ C Degan <i>C. Subvermipora</i> Terhadap Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Selobiase-Xylanase.	114
Gambar 4.33	Komposisi Lignin, Selulosa Dan Hemiselulosa Bagas Setelah Proses SSF Menggunakan Enzim Selulase-Selobiase Dan Xylanase Dengan Kombinasi Perlakuan <i>Steaming</i> 180 ⁰ C Dan <i>C. Subvermispora</i>	116
Gambar 4.34	Diagram Alir Konversi Bagas Menjadi Etanol Dengan Kombinasi Perlakuan Awal (<i>C. Subvermispora</i> & <i>Steaming</i>) Dengan Multi Enzim (Selulase-Selobiase-Xylanase)	118

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 1.1	Luas Areal Tanaman Tebu Dan Produksi Gula Di Indonesia Tahun 2004	3
Tabel 2.1	Enzim Yang Membutuhkan Kofaktor Ion Logam Atau Koenzim	34
Tabel 3.1	Data Standar Kalibrasi Untu Penentuan Kadar Etanol	60
Tabel 4.1	Produksi Etanol Dengan Enzim Selulase Pada Beberapa Variasi Suhu	64
Tabel 4.2.	Persentase Etanol Yang Dihasilkan Dari Bagas Dengan Enzim Selulase Berbasis Bagas Murni Dan Kandungan Selulosa Bagas, Pada pH=5.	65
Tabel 4.3	Konsentrasi Glukosa (g/L) Setelah Proses Hidrolisis Bagas Dengan Menggunakan Kombinasi Selulase-Selulase Dengan Beberapa Variasi Pada pH=5	71
Tabel 4.4	Perbandingan Persentase Etanol Yang Dihasilkan Dari Bagas Dengan Enzim Selulase Dan Selulase-Selubiase Berbais Bagas Dan Selulosa	71
Tabel 4.5	Persentase <i>Ethanol Yield</i> Dari Bagas Setelah Proses SSF Dengan Enzim Xylanase (Data Berbasis Berat Bagas Murni Dan Xylan Bagas)	78
Tabel 4.6	Persentase <i>Ethanol Yield</i> Dari Bagas Menggunakan Enzim Selulase-Xylanase Data Berbasis Pada Bagas Dan Kandungan Holoselulosa (Selulosa & Hemiselulosa)	82
Tabel 4.7	Persentase <i>Ethanol Yield</i> Dari Bagas Menggunakan Enzim Selulase-Selubiase-Xylanase Data Berbasis Pada Bagas Dan Kandungan Holoselulosa (Selulosa & Hemiselulosa)	87
Tabel 4.8	Komposisi Kimia Bagas Setelah Perlakuan Dengan Jamur Pelapuk Putih	90
Tabel 4.9	Persentase <i>Ethanol Yield</i> Dari Bagas Menggunakan Enzim Selulase-Selubiase Dengan Perlakuan Beberapa Jamur Pelapuk Putih (Data Berbasis Pada Bagas Murni Dan Berbasis Pada Kandungan Selulosa Bagas)	93
Tabel 4.10.	Persentase <i>Ethanol Yield</i> Dari Bagas Menggunakan Enzim Selulase-Xylanase Setelah Perlakuan Dengan Jamur Pelapuk Putihdata Berbasis Pada Bagas Dan Kandungan Holoselulosa (Selulosa & Hemiselulosa)	96

Tabel 4.11	Persentase <i>Ethanol Yield</i> Dari Bagas Menggunakan Enzim Selulase-Selubiase-Xylanase Setelah Perlakuan Dengan Jamur Pelapuk Putihdata Berbasis Pada Bagas Dan Kandungan Holoselulosa (Selulosa & Hemiselulosa)	98
Tabel 4.12	Komposisi Kimia Bagas Setelah Perlakuan Dengan <i>Steaming</i> Pada Beberapa Variasi Suhu	100
Tabel 4.13	Persentase <i>Ethanol Yield</i> Dari Bagas Menggunakan Enzim Selulase-Selubiase Dengan Perlakuan Beberapa Jamur Pelapuk Putih (Data Berbasis Pada Bagas Murni Dan Berbasis Pada Kandungan Selulosa Bagas)	101
Tabel 4.14	Persentase <i>Ethanol Yield</i> Dari Bagas Menggunakan Enzim Selulase-Xylanase Dengan Perlakuan <i>Steaming</i> Pada Suhu 180°C (Data Berbasis Pada Bagas Murni Dan Berbasis Pada Kandungan Holoselulosa Bagas)	103
Tabel 4.15.	Persentase <i>Ethanol Yield</i> Dari Bagas Menggunakan Enzim Selulase-Selubiase-Xylanase Dengan Perlakuan <i>Steaming</i> Pada Suhu 180°C (Data Berbasis Pada Bagas Murni Dan Berbasis Pada Kandungan Holoselulosa Bagas)	105
Tabel 4.16	Komposisi Kimia Bagas Setelah Perlakuan Awal Dengan <i>C. Subvermispora</i> Dan <i>Steaming</i> 180°C	107
Tabel 4.17	Persentase <i>Ethanol Yield</i> Dari Bagas Menggunakan Enzim Selulase-Selubiase Dengan Perlakuan Kombinasi Jamur Pelapuk Putih & <i>Steaming</i> (Data Berbasis Pada Bagas Murni Dan Berbasis Pada Kandungan Selulosa Bagas)	108
Tabel 4.18	Persentase <i>Ethanol Yield</i> Dari Bagas Menggunakan Enzim Selulase-Xylanase Dengan Perlakuan Kombinasi Jamur Pelapuk Putih & <i>Steaming</i> (Data Berbasis Pada Bagas Murni Dan Berbasis Pada Kandungan Holoselulosa Bagas)	111
Tabel 4.19	Persentase <i>Ethanol Yield</i> Dari Bagas Menggunakan Enzim Selulase-Selubiase-Xylanase Dengan Perlakuan Kombinasi Jamur Pelapuk Putih & <i>Steaming</i> (Data Berbasis Pada Bagas Murni Dan Berbasis Pada Kandungan Holoselulosa Bagas)	115

DAFTAR ISTILAH

Sakarifikasi	: Proses konversi polisakarida menjadi monosakarida dengan menggunakan mikroorganisme atau enzim
Fermentasi	: Proses konversi monosakarida menjadi etanol dengan mikroorganisme
Enzim	: Zat biologis atau mikroorganisme yang digunakan untuk mengkonversi polisakarida menjadi monosakarida
Yeast	: Zat biologis atau mikroorganisme yang digunakan untuk mengkonversi monosakarida menjadi etanol
Perlakuan awal	: Proses perlakuan yang dilakukan sebelum proses sakarifikasi dan fermentasi dengan tujuan untuk mempermudah akses enzim terhadap polisakarida
Jamur pelapuk putih	: Merupakan mikroorganisme yang digunakan untuk perlakuan awal
<i>Steaming</i>	: Pemanasan larutan dengan menggunakan suhu diatas 100 ⁰ C
Selulase	: Enzim untuk menghidrolisis selulosa menjadi glukosa
Selobiase	: Enzim untuk menghidrolisis selobiosa menjadi glukosa
Xylanase	: Enzim untuk menghidrolisis hemiselulosa menjadi xylosa
<i>S. cerevisiae</i> AM 12	: Yeast untuk mengkonversi glukosa dan xylosa menjadi etanol
Selulosa	: Polisakarida penyusun bagas yang tersusun dari rantai heksosa
Hemiselulosa	: Polisakarida penyusun bagas yang tersusun dari rantai pentosa
Glukosa	: Monosakarida dari selulosa
Xylosa	: Monosakarida dari xylan (hemiselulosa)
<i>C. subvermispora</i>	: Jenis jamur pelapuk putih yang berasal dari Austria dan telah dikoleksi di Jepang dan Indonesia
<i>L. edodes</i>	: Jenis jamur pelapuk putih yang berasal dari Jepang dan telah dikoleksi di Jepang dan Indonesia
<i>P. ostreatus</i>	: Jenis jamur pelapuk putih yang berasal dari Jepang dan telah dikoleksi di Jepang dan Indonesia

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1	Daftar Riwayat Hidup (Hasil Publikasi Ilmiah) 134
Lampiran 2	Grafik Standar Konversi Bagas Menjadi Etanol Dengan Enzim Selulase 137
Lampiran 3	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase Pada pH = 4 137
Lampiran 4	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase Pada pH = 4,5 137
Lampiran 5	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase Pada pH = 5 138
Lampiran 6	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase Pada pH = 6 138
Lampiran 7	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase Pada pH = 5 Pada Suhu 35 ⁰ C 138
Lampiran 8	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase Pada pH = 5 Pada Suhu 30 ⁰ C 139
Lampiran 9	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase Pada pH = 5 Pada Suhu 40 ⁰ C 139
Lampiran 10	Grafik Standar Konversi Bagas Menjadi Etanol Dengan Enzim Selulase-Selobiase 139
Lampiran 11	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Selobiase Pada pH = 4 140
Lampiran 12	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Selobiase Pada pH = 4,5 140
Lampiran 13	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Selobiase Pada pH = 5 140
Lampiran 14	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Selobiase Pada pH = 6 141
Lampiran 15	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Selobiase Pada pH= 5 Setelah Perlakuan Awal Dengan Jamur Pelapuk Putih <i>L. Edodes</i> 141
Lampiran 16	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Selobiase Pada pH = 5 Setelah Perlakuan Awal Dengan Jamur Pelapuk Putih <i>P. Ostreatus</i> 141

Lampiran 17	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Selobiase Pada pH = 5 Setelah Perlakuan Awal Dengan Jamur Pelapuk Putih <i>C. subvermispora</i>	142
Lampiran 18	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Selobiase Pada pH = 5 Setelah Perlakuan Awal Dengan <i>Steaming</i> Pada Suhu 160 ⁰ C	142
Lampiran 19	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Selobiase Pada pH = 5 Setelah Perlakuan Awal Dengan <i>Steaming</i> Pada Suhu 180 ⁰ C	142
Lampiran 20	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Selobiase Pada pH = 5 Setelah Perlakuan Awal Dengan <i>Steaming</i> Pada Suhu 200 ⁰ C	143
Lampiran 21	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Selobiase Pada pH = 5 Setelah Perlakuan Awal Dengan <i>Steaming</i> Pada Suhu 200 ⁰ C	143
Lampiran 22	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Selobiase Pada pH = 5 Setelah Kombinasi Perlakuan Awal Dengan <i>C. subvermispora</i> Dan <i>Steaming</i> Pada Suhu 180 ⁰ C	143
Lampiran 23	Grafik Standar Konversi Bagas Menjadi Etanol Dengan Enzim Xylanase	144
Lampiran 24	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Xylanase Pada pH = 4	144
Lampiran 25	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Xylanase Pada pH = 4,5	144
Lampiran 26	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Xylanase Pada pH = 5	145
Lampiran 27	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Xylanase Pada pH = 6	145
Lampiran 28	Grafik Standar Konversi Bagas Menjadi Etanol Dengan Enzim Selulase-Xylanase	145
Lampiran 29	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Xylanase Pada pH = 4	146
Lampiran 30	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Xylanase Pada pH = 4,5	146
Lampiran 31	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Xylanase Pada pH = 5	146
Lampiran 32	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Xylanase Pada pH = 6	147

Lampiran 33	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Xylanase Pada pH = 5 Setelah Perlakuan Awal Dengan Jamur Pelapuk Putih <i>C. subvermispora</i>	147
Lampiran 34	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Xylanase Pada pH= 5 Setelah Perlakuan Awal Dengan <i>Steaming</i> Pada Suhu 180 ⁰ C	147
Lampiran 35	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Xylanase Pada pH = 5 Setelah Kombinasi Perlakuan Awal Dengan Jamur Pelapuk Putih <i>C. subvermispora</i> Dan <i>Steaming</i> Pada Suhu 180 ⁰ C	148
Lampiran 36	Grafik Standar Konversi Bagas Menjadi Etanol Dengan Enzim Selulase-Selobiase-Xylanase	148
Lampiran 37	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Selobiase-Xylanase Pada pH= 4	148
Lampiran 38	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Selobiase-Xylanase Pada pH = 4,5	149
Lampiran 39	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Selobiase-Xylanase Pada pH = 5	149
Lampiran 40	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Selobiase-Xylanase Pada pH = 6	149
Lampiran 41	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Selobiase-Xylanase Pada pH = 5 Setelah Perlakuan Awal Dengan Jamur Pelapuk Putih <i>C. subvermispora</i>	150
Lampiran 42	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Selobiase-Xylanase Pada pH = 5 Setelah Perlakuan Awal Dengan <i>Steaming</i> Pada Suhu 180 ⁰ C	150
Lampiran 43	Produksi Etanol Dari Bagas Dengan Enzim Selulase-Selobiase-Xylanase Pada pH = 5 Setelah Kombinasi Perlakuan Awal Dengan Jamur Pelapuk Putih <i>C. subvermispora</i> Dan <i>Steaming</i> Pada Suhu 180 ⁰ C	150
Lampiran 44	Perhitungan Secara Teori Konversi Bagas Menjadi Etano	151

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Fenomena krisis energi yang dialami oleh bangsa Indonesia merupakan suatu kenyataan, karena konsumsi energi terutama sektor migas jauh lebih besar dibandingkan dengan produksinya. Masalah ini menjadi sebuah pekerjaan rumah bagi kita semua untuk memikirkan masa depan kebutuhan energi kita. Mengandalkan pasokan energi dari minyak bumi bukan merupakan sebuah solusi karena minyak bumi merupakan sumber energi yang tidak terbarukan (*unrenewable resources*), jika pasokan energi tersebut sebagian besar impor jelas sangat merugikan terutama dari sisi finansial negara yang berujung kerugian finansial rakyat Indonesia.

Sejenak mencermati kondisi energi dalam negeri, Indonesia merupakan negara anggota OPEC yang saat ini telah bergeser dari net-eksportir menjadi net-importir minyak bumi. Pada November 2004 jumlah minyak mentah yang diproduksi hanya 1 juta barel per-hari setara dengan 159 juta liter per-hari, sementara kebutuhan minyak mentah dalam negeri sebesar 1,350 juta barel per-hari setara dengan 215 juta liter per-hari. Minyak mentah ini diproses di dalam negeri untuk memenuhi total kebutuhan BBM dalam negeri sebesar 178 juta liter per hari. Sedangkan kekurangannya sekitar 39,98 juta L per-hari masih harus diimpor [1]. Total konsumsi BBM nasional sampai dengan semester 1 tahun 2008 sebesar 39,5 juta kilo liter, meningkat 10,94% dari perkiraan awal yang hanya sebesar 35,5 juta kilo liter [2]. Berdasarkan data tersebut, jelas sekali bahwa konsumsi BBM nasional sangat sulit untuk di tekan. Hal ini dapat dipahami karena faktanya populasi penduduk semakin meningkat sehingga kebutuhan energi juga meningkat.

Berdasarkan kenyataan tersebut, sangat dibutuhkan langkah yang dapat memberikan solusi dalam mengatasi masalah BBM nasional baik dari segi kebijakan oleh pemerintah ataupun langkah-langkah konkrit dari masyarakat industri dan masyarakat peneliti. Secara kebijakan pemerintah melalui

Kementerian Negara Riset dan Teknologi bersama seluruh LPND Ristek, Perguruan Tinggi dan lembaga penelitian lainnya telah menetapkan salah satu prioritas Penelitian, Pengembangan dan Penerapan IPTEK di bidang energi sampai tahun 2025 adalah penciptaan dan pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan yang tertuang dalam Jakstranas IPTEK 2005-2009 dan Buku Putih Litbangrap IPTEK 2005-2025 [3-4]. Kebijakan ini terus diperkuat berdasarkan hasil rakornas IPTEK pada tanggal 16-18 April 2008 di Palembang yang menghasilkan bahwa prioritas penelitian utama yang harus terus dikembangkan adalah bidang pangan, energi dan air atau lebih mudah diistilahkan sebagai FEW (*Food, Energy and Water*). Selain itu berdasarkan Peraturan Presiden No.5 tahun 2006 pada tahun 2025 diharapkan energi baru terbarukan mampu menyumbang 17% kebutuhan energi nasional dan 5% dari energi baru terbarukan tersebut adalah biofuel. Artinya sejak saat ini pengembangan energi baru terbarukan mulai dari hulu (aspek litbang) sampai dengan aspek hilir (proses komersialisasi) harus segera digalakkan agar amanat Perpres tersebut terpenuhi.

Untuk menindaklanjuti kebijakan tersebut, harus segera diupayakan langkah konkrit dalam pemenuhan kebutuhan energi dengan memanfaatkan sumber energi yang terbarukan (*renewable resources*). Beberapa Lembaga Penelitian Departemen (Lemigas, Litbang Pertanian dan lainnya), Perguruan Tinggi, LPND (LIPI, BPPT, BATAN dan lainnya) telah mengupayakan untuk mengembangkan energi alternatif seperti batu bara cair; Pengembangan energi surya; Pengembangan dan produksi biodiesel dari berbagai bahan baku (kelapa sawit, jarak pagar); pengembangan bioetanol dan lain-lain [5]. Pengembangan bioenergi seperti bioetanol dari biomassa sebagai sumber bahan baku yang dapat diperbarui merupakan satu alternatif yang memiliki nilai positif dari aspek sosial dan lingkungan [6-9].

Salah satu energi alternatif yang relatif murah ditinjau aspek produksinya dan relatif ramah lingkungan adalah pengembangan bioetanol dari limbah-limbah pertanian (biomassa) yang mengandung banyak lignoselulosa seperti bagas (limbah padat industri gula) atau tandan kosong kelapa sawit, jerawi padi, tongkol jagung dan lain sebagainya. Informasi terbaru perhitungan tekno-ekonomi

produksi bioetanol dari *softwood ethanol plant* ternyata biaya produksi dan distribusi berkisar antara 0.546-0.549USD/L [7]. Analisa tekno-ekonomi tersebut termasuk pertimbangan masalah kebutuhan energi dalam proses *steaming*. Biaya produksi bioetanol tersebut jika dikonversi dalam rupiah sekitar Rp 5.000/L. Artinya biaya tersebut cukup layak secara ekonomi jika etanol dimanfaatkan sebagai campuran premium, karena harga jual premium bersubsidi di Indonesia saat ini telah mencapai Rp 6.000.

Selain itu dari aspek bahan baku, Indonesia memiliki potensi limbah biomassa yang sangat melimpah seperti bagas. Industri gula khususnya di luar Jawa maupun di luar Jawa menghasilkan bagas yang cukup melimpah, seperti di PT. Gunung Madu Plantations, PT. Gula putih Mataram dan PT. Indo Lampung di Propinsi Lampung. Data lengkap Industri gula di Indonesia pada tahun 2004 terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1.1 Luas Areal Tanaman Tebu Dan Produksi Gula Di Indonesia Tahun 2004 [10]

Pabrik Gula	Propinsi	Luas tanam (ribu ha)	Produksi (ton/ha/tahun)	Rata-rata produksi (ton/ha)
PTP Nusantara II	Sumut	9.378,9	26,79	2,90
PTP Nusantara VII	Lampung	25.811,9	100,53	3,90
PT. Gunung Madu	Lampung	23.416,2	151,74	6,50
PT. Gula Putih Mataram	Lampung	18.909,3	93,26	4,90
PT. Sweet Indo Lampung	Lampung	14.395,5	71,02	4,90
PT. Indo Lampung Perkasa	Lampung	18.221,8	99,74	5,50
PT. PG. Rajawali II	Jawa Barat	20.197,1	84,84	4,20
PTP Nusantara IX	Jawa Tengah	27.999,2	121,95	4,40
PT. Madu Baru	DIY	4.799,8	24,68	5,10
PTP Nusantara X	Jawa Timur	54.625,2	287,11	5,30
PTP Nusantara XI	Jawa Timur	61.007,1	320,60	5,30
PT. PG. Rajawali I	Jawa Timur	20.259,7	105,74	5,20
PT. Kebon Agung	Jawa Timur	19.677,9	79,84	4,10
PTP Nusantara XIV	Sulsel	10.446,2	29,16	2,80
PT. PG. Rajawali III	Gorontalo	6.578,9	34,93	5,30
	Indonesia	335.724,7	1.631,92	4,90

Keuntungan lain dari pemanfaatan bioetanol adalah dapat digunakan untuk mensubstitusi langsung atau sebagai bahan campuran premium. Keuntungan substitusi langsung sebagai bahan bakar premium akan menurunkan emisi karbon dioksida. Sebagai contoh Peneliti dari Universitas Illinois meneliti bahwa pemanfaatan bioetanol mampu mengurangi emisi karbon dioksida 17-23% dengan memanfaatkan E-85 (premium 85% dan 15% etanol) [11].

Substitusi premium dengan etanol sebagai bahan bakar transportasi secara tidak langsung akan mengurangi emisi karbon dioksida. Konsep pengembangan bioenergi dengan memanfaatkan sumber material lignoselulosa akan mengurangi pemanasan global (*global warming*). Hal ini dimungkinkan karena dengan meningkatnya produksi bioetanol akan mendorong peningkatan penanaman tanaman penghasil biomas sehingga emisi karbon dioksida yang dihasilkan dari industri, kendaraan dan lainnya akan terfiksasi melalui proses fotosintesis dari tanaman penghasil biomas tersebut [12].

Konsep pengembangan bioenergi juga akan meningkatkan ekonomi lokal karena semakin banyak pelaku pertanian dan tumbuhnya industri-industri baru berbasis bioenergi. Tumbuhnya industri-industri baru di bidang bioenergi ini disebut sebagai revolusi industri abad 21, karena pada abad 20 industri petrokimia banyak didominasi oleh produk-produk hidrokarbon seperti etilena, propilena dan benzena [13].

Secara umum proses produksi bioetanol dari material lignoselulosa terbagi menjadi empat tahap. Pertama, proses perlakuan awal yaitu proses untuk mendegradasi lignin, melarutkan kristal polisakarida sehingga memperlancar proses reaksi hidrolisis dan fermentasi. Kedua, proses hidrolisis yaitu untuk memecah rantai polisakarida menjadi monosakarida. Ketiga, proses fermentasi untuk mengubah monosakarida menjadi etanol, umumnya proses fermentasi menggunakan *Sacharomycess cerevisiae* (*S. cerevisiae*). Keempat, proses pemurnian etanol umumnya dengan menggunakan distilasi atau separasi lainnya [14-15].

Proses konversi material lignoselulosa menjadi etanol masih banyak dilakukan dengan menggunakan *Separated Hydrolysis and Fermentation* (SHF), yaitu proses hidrolisis dan fermentasi dilakukan terpisah (menggunakan reaktor yang berbeda). Metode SHF ini masih banyak digunakan di Indonesia. Saat ini proses konversi berkembang dengan menggunakan *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF) atau kita sebut sebagai Sakarifikasi dan Fermentasi Serempak (SSF). Proses SSF dilakukan dengan menggunakan satu reaktor dalam proses hidrolisis dan fermentasinya. Keuntungan dari proses ini adalah polisakarida yang terkonversi menjadi monosakarida tidak kembali menjadi polisakarida, karena monosakarida yang dihasilkan tersebut langsung difermentasi menjadi etanol. Selain itu dengan menggunakan satu reaktor akan mengurangi biaya peralatan yang digunakan [16].

Proses hidrolisis pada produksi bioetanol umumnya dilakukan dengan metode konvensional, yaitu dengan menggunakan asam sulfat (H_2SO_4) atau asam klorida (HCl). Namun metode ini kurang ramah lingkungan karena penggunaan asam dalam proses tersebut. Selain itu biaya bahan kimia tersebut yang relatif mahal dan menimbulkan korosif pada reaktor yang digunakan. Pemanfaatan asam pada proses SSF juga akan sulit dilakukan karena penggunaan asam berlebih akan mengganggu kestabilan pH larutan [17].

Pengembangan teknologi bioproses dengan menggunakan enzim pada proses hidrolisisnya diyakini sebagai suatu proses yang lebih ramah lingkungan [18]. Jenis enzim yang digunakan sebagai zat penghidrolisis sebagai zat penghidrolisis tergantung pada substrat yang menjadi sasaran. Jika polisakarida banyak mengandung amilum maka enzim yang digunakan adalah amilase, jika banyak mengandung selulosa maka enzim yang digunakan adalah selulase. Berbicara material lignoselulosa maka komposisi terbesar dalam polisakarida adalah selulosa dan hemiselulosa. Umumnya pemanfaatan enzim selulase hanya mampu menghidrolisis selulosa menjadi glukosa pada hidrolisis sempurna. Namun demikian proses hidrolisis yang terjadi tidak semuanya sempurna, karena sebagian dari hidrolisis selulosa menjadi selobiosa yang merupakan bentuk dari disakarida yang dikenal sebagai hidrolisis parsial [19-21]. Selain itu jika kita hanya

mengandalkan enzim selulase saja maka yang dapat terkonversi menjadi monosakarida hanya selulosa [22-23]. Padahal berbagai penelitian melaporkan sekitar 20-25% komposisi karbohidrat pada material lignoselulosa termasuk bagas adalah hemiselulosa [24-26]. Oleh karena itu akan sangat diperlukan sebuah mekanisme untuk mengkonversi secara menyeluruh polisakarida menjadi monosakaridanya dengan memanfaatkan enzim-enzim yang spesifik untuk dipadukan dalam sebuah proses. Jika monosakarida yang terbentuk semakin banyak maka akan mampu meningkatkan produksi etanol dari material lignoselulosa (seperti bagas). Salah satu enzim yang mampu menghidrolisis selobiosa menjadi monosakaridanya adalah enzim selobiase [19]. Enzim xylanase merupakan enzim yang spesifik yang dapat dimanfaatkan untuk menghidrolisis hemiselulosa menjadi xylosa sebagai monosakarida dari hemiselulosa tersebut [27].

Pemanfaatan enzim untuk reaksi biokatalitik memiliki kelebihan dibandingkan dengan reaksi katalis biasa. Kemampuan dan karakteristik enzim untuk bereaksi dengan substratnya sangatlah spesifik, karena enzim hanya akan bereaksi dengan substrat tertentu. Karena reaksi sangat spesifik, prinsip reaksi antara enzim dengan substratnya dianalogikan seperti kunci dan gemboknya atau dikenal dengan istilah *lock and key* [28]. Sehingga dalam reaksi enzimatik tidak akan terjadi perebutan atau kompetisi antara satu enzim dengan enzim lain yang berbeda, karena sasaran substratnya juga berbeda. Karakteristik ini dikarenakan mekanisme reaksi enzimatik merupakan mekanisme reaksi organik seperti mekanisme nukleofilik dan elektrofilik [28].

Fenomena lain sejak diketahui keberadaan lignin dalam biomassa dapat menghambat akses enzim dalam memecah polisakarida menjadi monosakarida pada proses hidrolisis yang berdampak pada penurunan jumlah konversi etanol yang dihasilkan, sehingga sangat diperlukan suatu perlakuan (*treatment*) untuk mengoptimalkan konversi biomassa menjadi etanol [29].

Berdasarkan penelitian group kami salah satu perlakuan yang dapat menghancurkan lignin dengan minimum kehilangan polisakaridanya adalah

dengan menggunakan jamur pelapuk putih (*white rot fungi*) seperti *Ceriporiopsis subvermispora* dan *Lentinus edodes*. Keuntungan lain jamur ini termasuk jenis *edible mushroom*, sehingga dapat dimanfaatkan untuk industri makanan. Perlakuan dengan jamur dan penggunaan enzim dalam proses hidrolisisnya akan lebih memberikan nilai ekonomis disamping prosesnya yang lebih ramah lingkungan [30-31].

Selain dengan jamur pelapuk putih, perlakuan awal yang dapat mendegradasi, merelokasi dan mengkoagulasi lignin sehingga tidak mengganggu akses enzim terhadap polisakarida pada biomasa yang akan dikonversi menjadi monosakarida adalah dengan metode *steaming* [22, 31]. Selain itu perlakuan awal dengan *steaming* juga mampu melarutkan dan secara parsial merubah struktur kristal-krital selulosa dan hemiselulosa [22,31-34].

Beberapa hal perlu mendapatkan perhatian karena masih belum banyak diteliti, diantaranya adalah pemanfaatan enzim yang spesifik untuk mengkonversi disakarida (selobiosa) yang merupakan hidrolisis parsial selulosa menjadi glukosa dengan enzim selulase. Selain itu pemanfaatan enzim yang spesifik untuk mengkonversi hemiselulosa menjadi monosakaridanya (xylosa), polisakarida yang terbesar dalam hemiselulosa adalah xylan sehingga hasil hidrolisisnya adalah xylosa. Kombinasi antara proses hidrolisis dengan enzim-enzim yang spesifik dengan perlakuan awal terutama dengan jamur pelapuk putih, *steaming* dan kombinasi keduanya juga sangat penting untuk dilakukan. Jika hal ini dapat dilakukan dengan baik dan berhasil maka akan meningkatkan konversi bagas menjadi etanol.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka yang menjadi masalah utama adalah perlunya upaya peningkatan konversi etanol dari bagas dengan menggunakan metode bioproses yang komprehensif yaitu kombinasi perlakuan awal dan enzim dalam proses sakarifikasi dan fermentasi serempak (SSF). Secara proses, di Indonesia umumnya metode SSF belum banyak digunakan. Jika ditinjau dari proses hidrolisisnya pemanfaatan kombinasi enzim selulase, selobiase dan

Universitas Indonesia

xylanase juga belum banyak diteliti. Sedangkan dari aspek proses perlakuan awal, kombinasi jamur pelapuk putih dan *steaming* dalam proses SSF juga masih belum dikembangkan.

Dengan demikian secara detail belum diketahui:

1. Pengaruh kombinasi enzim selulase, selobiase dan xylanase terhadap produksi etanol dari bagas;
2. Pengaruh perlakuan awal jamur pelapuk putih, *steaming* dan kombinasinya terhadap etanol yang dihasilkan juga perlu diketahui lebih lanjut;
3. Pengaruh kombinasi secara menyeluruh antara perlakuan awal dan enzim dalam proses SSF juga perlu diketahui lebih lanjut.

1.3 Tujuan Penelitian

Secara umum tujuan penelitian ini adalah meningkatkan konversi bagas menjadi etanol dengan menggunakan enzim selulase, selobiase, xylanase dan perlakuan awal menggunakan jamur pelapuk putih dan *steaming* termasuk kombinasinya dengan menggunakan proses sakarifikasi dan fermentasi serempak (SSF).

Tujuan secara khusus dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui:

1. Pengaruh enzim selulase, selobiase, xylanase dan kombinasinya terhadap produksi etanol dari bagas;
2. Pengaruh perlakuan awal menggunakan jamur pelapuk putih dan *steaming* serta kombinasi keduanya terhadap etanol yang dihasilkan;
3. Pengaruh kombinasi secara menyeluruh antara perlakuan awal dan enzim dalam proses SSF terhadap etanol yang dihasilkan;
4. Pengaruh parameter-parameter seperti waktu inkubasi dan pH terhadap kuantitas etanol yang dihasilkan.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

1. Melakukan analisa pengaruh enzim selulase, selobiase dan xylanase dan kombinasinya terhadap produksi etanol dari bagas;
2. Melakukan analisa pengaruh perlakuan jamur pelapuk putih dan *steaming* dan kombinasinya terhadap kuantitas etanol yang dihasilkan;

3. Melakukan analisis pengaruh beberapa parameter seperti pH dan waktu inkubasi terhadap etanol yang dihasilkan;
4. Melakukan analisa-analisa komposisi lignin, selulosa, hemiselulosa pada bagas sebelum dan setelah perlakuan awal serta setelah proses SSF berlangsung;
5. Analisa-analisa yang digunakan adalah dengan metode klason lignin (*sulfuric acid method*) dan metode wise (*sodium klorat method*).

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagas yang dimaksud adalah ampas tebu dari industri gula di PT. Indo Lampung;
2. Enzim yang digunakan adalah enzim selulase, selobiase dan xylanase mumi;
3. Yeast dalam penelitian ini adalah mikroorganisme yang berfungsi untuk melakukan fermentasi dari monosakarida menjadi etanol;
4. Yeast yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Sacharomyces cerevisiae* AM12 (*S. cerevisiae*);
5. Jamur pelapuk puith yang digunakan sebagai perlakuan awal hayati adalah *Pleurotus ostreatus* ATCC 66376 (*P. ostreatus*), *Lentinus edodes* IFO6654 (*L. edodes*) dan *Ceriperiopsis subvermispota* ATCC 90467 (*C. subvermispota*);
6. *Steaming* yang dimaksud dalam penelitian ini adalah perlakuan awal dengan melakukan pemanasan larutan bagas menggunakan suhu diatas 100°C;
7. *Steaming* yang digunakan adalah pada suhu 160°C, 180°C dan 200°C selama 60 menit;
8. Penelitian dilakukan di beberapa laboratorium: Laboratorium *Biomass Conversion* Kyoto University, Laboratorium Bioproses Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia, Laboratorium Konversi Biomasa UPT Biomaterial LIPI dan laboratorium Kimia LIPI.

1.6 Manfaat Dan Nilai Kebaruan Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Secara ilmiah penelitian ini akan memecahkan satu problema dalam konversi lignoselulosa material menjadi Etanol, terutama kesulitan dalam mengkonversi hemiselulosa yang terkandung sekitar 20-25% dalam bahan lignocellulosic material sehingga akan lebih meningkatkan konversi bagas menjadi etanol. Kemudian upaya mengkonversi selobiosa yang merupakan efek dari hidrolisis parsial selulosa menjadi glukosa sehingga juga akan lebih meningkatkan konversi bagas menjadi etanol;
2. Kebaruan dalam penelitian ini seperti: pemanfaatan enzim selobiase yang dikombinasikan dengan enzim selulase, pemanfaatan enzim xylanase yang dikombinasikan dengan selulase dan selobiase (reaksi multi enzim), pemanfaatan kombinasi perlakuan awal jamur pelapuk putih dan *steaming*, kemudian kombinasi secara menyeluruh antara perlakuan awal (jamur pelapuk putih dan *steaming*) dengan multi enzim dalam proses SSF. Hasil penelitian ini akan menjadi tulisan-tulisan ilmiah yang dapat dipublikasikan seperti pada jurnal international atau nasional;
3. Penelitian ini juga akan sangat bermanfaat karena memanfaatkan limbah padat industri gula (bagas) terutama yang terdapat di Propinsi Lampung seperti di PT. Indo Lampung, PT. Gunung Madu Plantatian dan PT. Gula Putih Mataram;
4. Penelitian, pengembangan dan pemanfaatan energi dari sumber yang tidak dapat diperbarui termasuk pengembangan etanol dari bagas sangat sesuai dengan salah satu prioritas penelitian, pengembangan dan penerapan Iptek sampai tahun 2025 (6 Fokus RISTEK)) yaitu Penciptaan dan Pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan (EBT).