

Pembuatan Bioetanol dari Koran Bekas dengan Hidrolisis Asam Encer (Studi Pengaruh Konsentrasi, Waktu dan Temperatur Hidrolisis)

Tuti Indah Sari, Maryadi, Muhammad Haviz

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
Jl. Raya Palembang Prabumulih Km. 32 Inderalaya Ogan Ilir (OI) 30662
ty_indahsari@yahoo.co.id

Abstrak

Kelangkaan Bahan Bakar Minyak (BBM) membuat banyak penelitian mengarah pada pencarian bahan bakar alternatif yang berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui. Salah satu sumber energi yang berasal dari limbah biomassa berupa lignoselulosa yang dapat menghasilkan bioetanol. Secara tidak langsung, kertas koran adalah merupakan lignoselulosa yang banyak dijumpai sebagai limbah yang cukup banyak di Indonesia. Pemanfaatan koran bekas biasanya hanya didaur ulang menjadi kertas koran kembali, akan tetapi kualitasnya tidak sebaik awalnya. Penelitian ini mencoba untuk mengkonversi koran bekas menjadi bioetanol karena koran bekas masih mengandung selulosa sebagai bahan baku utamanya. Proses pembuatan bioetanol dari koran bekas melalui tahap delignifikasi, sakarifikasi dan fermentasi. Proses delignifikasi menggunakan NaOH, kemudian sakarifikasi dengan proses hidrolisis asam encer dan dilanjutkan dengan fermentasi dengan ragi roti dan ragi tape. Variabel penelitian difokuskan pada proses hidrolisis dan fermentasi dan delignifikasi dengan menggunakan NaOH 1,5% vol. Konsentrasi asam sulfat encer yang digunakan 0,5 – 2,5 % vol, temperatur hidrolisis 100 – 220 °C, waktu hidrolisis berkisar 30 – 150 menit, waktu fermentasi 3 hari, dan jenis ragi roti dan ragi tape. Hasil penelitian menunjukkan bahwa koran bekas dapat menghasilkan bioetanol dengan konsentrasi tertinggi pada konsentrasi asam sulfat 2 % vol, temperatur hidrolisis 140 °C, waktu hidrolisis 150 menit dan jenis ragi adalah ragi tape 25 % berat dan kadar bioetanol yang dihasilkan 5,22 % vol.

Kata kunci: Bioetanol, Fermentasi, Hidrolisis asam encer, Koran bekas.

1. Pendahuluan

Tingkat konsumsi kertas di Indonesia dan di dunia terus mengalami peningkatan. Konsumsi kertas pada tahun 2003 yang mencapai 5,31 juta ton, untuk tahun 2004 kebutuhan konsumsi kertas menjadi 5,40 juta ton, sedangkan pada tahun 2005 konsumsi kertas meningkat lagi ke 5,61 juta ton dan pada tahun 2009 konsumsi kertas dapat mencapai 6,45 juta ton. (Pusgrafin, 2009)

Konsekuensi peningkatan konsumsi kertas membawa dampak tingginya limbah kertas yang dihasilkan. Besarnya jumlah limbah kertas yang ada memberikan peluang terhadap upaya pemanfaatan limbah kertas tersebut.

Pemanfaatan limbah kertas saat ini terbatas untuk menghasilkan produk-produk kertas daur ulang, pengganti media tanam, dan barang-barang kerajinan. Padahal jika dilihat dari komponen penyusunnya kertas merupakan limbah yang sangat berharga karena terdiri dari sebagian besar selulosa, yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam pembuatan bioetanol.

Pemerintah telah mengeluarkan Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan

Energi Nasional untuk mengembangkan sumber energi alternatif sebagai pengganti BBM (Prihandana, 2007). Kebijakan tersebut telah menetapkan sumber daya yang dapat diperbaharui seperti bahan bakar nabati sebagai alternatif pengganti BBM. Bahan bakar berbasis nabati ini diharapkan dapat mengurangi terjadinya kelangkaan BBM dan bersifat ramah lingkungan.

Sumber bahan baku potensial yang ketersediaannya melimpah, berharga murah, belum banyak dimanfaatkan dan mengandung gula sederhana yang dapat diubah menjadi etanol adalah bahan-bahan lignoselulosa (Anonim, 2008; Anonim 2007; Mosier et al., 2005; Sun and Cheng, 2002). Etanol yang dihasilkan dari bahan-bahan lignoselulosa ini merupakan bioetanol generasi kedua (Anonim, 2008; Sun and Cheng, 2002).

Bahan-bahan lignoselulosa ini diantaranya: limbah-limbah pertanian (rumput, alang-alang, sekam padi, *rice husk*, *wheat straw*, sisa-sisa hasil panen/*crop residues*, tongkol jagung/*corn stover* dll.), limbah-limbah peternakan (kotoran hewan), limbah-limbah industri (hasil samping industri fermentasi/*silage*, *molasses*, *bagasse*, potongan-potongan kayu/*wood chips*, sisa-sisa

produk pengalengan makanan/*agri-food wastes* dll.), kertas bekas, kardus bekas, koran bekas dll. (Anonim, 2008; Anonim 2007; Del Campo et al., 2006, Iranmahboob et al., 2002; Sun and Cheng, 2002). Berikut ini adalah data statistik jumlah sampah yang terdapat di beberapa kota (26 kota) di Indonesia.

Tabel 1. Estimasi Total Timbunan Sampah Berdasarkan Jenisnya

Jenis Sampah	Jumlah (Juta Ton/tahun)	Persentase (%)
Sampah Dapur	22,4	58
Sampah Plastik	5,4	14
Sampah Kertas	3,6	9
Sampah Lainnya	2,3	6
Sampah Kayu	1,4	4
Sampah Kaca	0,7	2
Sampah Karet/ Kulit	0,7	2
Sampah Kain	0,7	2
Sampah Metal	0,7	2
Sampah Pasir	0,5	1
Total	38,5	100

Sumber : Statistik Persampahan di Indonesia, 2008

Komponen Lignoselulosa

Komponen lignoselulosa terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin.

Selulosa adalah polimer glukosa yang membentuk rantai linier dan dihubungkan oleh ikatan β -1,4 glikosidik. Struktur yang linier menyebabkan selulosa bersifat kristalin dan tidak mudah larut. Selulosa tidak mudah didegradasi secara kimia maupun mekanis. Di alam, biasanya selulosa berasosiasi dengan polisakarida lain seperti hemiselulosa atau lignin membentuk kerangka utama dinding sel tumbuhan (Holtzapple, 1993). Kebanyakan selulosa berasosiasi dengan lignin sehingga sering disebut sebagai lignoselulosa.

Hemiselulosa merupakan salah satu penyusun dinding sel tumbuhan selain selulosa dan lignin, yang terdiri dari kumpulan beberapa unit gula atau disebut heteropolisakarida. Hemiselulosa terikat dengan polisakarida, protein dan lignin dan lebih mudah larut dibandingkan dengan selulosa. Di dalam kayu, kandungan hemiselulosa berkisar antara 25-30%, tergantung dari jenis kayunya.

Lignin adalah bagian utama dari dinding sel tanaman yang merupakan polimer terbanyak setelah selulosa. Lignin yang merupakan polimer aromatik berasosiasi dengan polisakarida pada dinding sel sekunder tanaman dan terdapat sekitar 20-40 %.

Pembuatan bahan-bahan lignoselulosa hingga menjadi etanol melalui empat proses utama: pretreatment, hidrolisis, fermentasi, dan terakhir adalah pemisahan serta pemurnian produk etanol (Mosier et al., 2005). Bahan-bahan lignoselulosa umumnya terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. Selulosa secara

alami diikat oleh hemiselulosa dan dilindungi oleh lignin. Adanya senyawa pengikat lignin inilah yang menyebabkan bahan-bahan lignoselulosa sulit untuk dihidrolisis (Iranmahboob et al., 2002).

Proses Pretreatment

Proses *pretreatment* dan hidrolisis merupakan tahapan proses yang sangat penting yang dapat mempengaruhi perolehan yield etanol. Proses *pretreatment* dilakukan untuk mengkondisikan bahan-bahan lignoselulosa baik dari segi struktur dan ukuran. Proses perlakuan awal dilakukan karena beberapa faktor seperti kandungan lignin, ukuran partikel serta kemampuan hidrolisis dari selulosa dan hemiselulosa (Hendriks dan Zeeman, 2009).

Proses *pretreatment* yang sekaligus proses hidrolisis meliputi : perlakuan secara fisik, fisik-kimiawi, kimiawi dan enzimatik (Mosier et al., 2005; Sun and Cheng, 2002).

Beberapa tahun terakhir berbagai teknik *pretreatment* telah dipelajari melalui pendekatan biologi, fisika, kimia. Menurut (Sun dan Cheng, 2002), *pretreatment* seharusnya memenuhi kebutuhan berikut ini:

- 1) Meningkatkan pembentukan gula atau kemampuan menghasilkan gula pada proses berikutnya melalui hidrolisis enzimatik
- 2) Menghindari degradasi atau kehilangan karbohidrat
- 3) Menghindari pembentukan produk samping yang dapat menghambat proses hidrolisis dan fermentasi
- 4) Biaya yang dibutuhkan ekonomis

Proses Hidrolisis

Proses ini bertujuan memecah ikatan lignin, menghilangkan kandungan lignin dan hemiselulosa, merusak struktur kristal dari selulosa serta meningkatkan porositas bahan (Sun and Cheng, 2002). Rusaknya struktur kristal selulosa akan mempermudah terurainya selulosa menjadi glukosa. Selain itu, hemiselulosa turut terurai menjadi senyawa gula sederhana: glukosa, galaktosa, manosa, heksosa, pentosa, xilosa dan arabinosa. Selanjutnya senyawa-senyawa gula sederhana tersebut yang akan difermentasi oleh mikroorganisme menghasilkan etanol (Mosier et al., 2005).

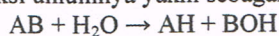
Walaupun terdapat berbagai macam metode hidrolisis untuk bahan-bahan lignoselulosa, hidrolisis asam dan hidrolisis enzimatik merupakan dua metode utama yang banyak digunakan khususnya untuk bahan-bahan lignoselulosa dari limbah pertanian dan potongan-potongan kayu (Mussantto dan Roberto, 2004). Hidrolisis selulosa secara enzimatik memberi *yield* etanol sedikit lebih tinggi dibandingkan metode hidrolisis asam (Palmqvist dan Hahn-Hägerdal, 2000). Namun proses enzimatik tersebut merupakan proses yang paling mahal. Proses *recycle* dan *recovery* enzim selulose diperlukan untuk menekan tingginya biaya produksi (Iranmahboob et al., 2002)

Konsentrasi asam dan suhu reaksi merupakan variabel penting yang dapat mempengaruhi terbentuknya senyawa-senyawa yang bersifat racun pada proses

fermentasi. Diperlukan suhu moderat (< 160°C) untuk dapat menghidrolisis hemiselulosa dan menekan dekomposisi gula sederhana.

Parameter konsentrasi asam, suhu dan waktu hidrolisis merupakan parameter yang sangat krusial pada proses hidrolisis selain metode detoksifikasi yang tepat sehingga dapat meminimalkan produk inhibitor yang pada akhirnya meningkatkan yield etanol di akhir proses fermentasi (Del Campo et al., 2006; Mussatto dan Roberto, 2004).

Hidrolisis merupakan reaksi kimia yang memecah molekul menjadi dua bagian dengan penambahan molekul air (H₂O), dengan tujuan untuk mengkonversi polisakarida menjadi monomer-monomer sederhana. Satu bagian dari molekul memiliki ion hidrogen (H⁺) dan bagian lain memiliki ion hidroksil (OH⁻). Umumnya hidrolisis ini terjadi saat garam dari asam lemah atau basa lemah (atau keduanya) terlarut di dalam air. Reaksi umumnya yakni sebagai berikut :



Penambahan asam, basa, atau enzim umumnya dilakukan untuk membuat reaksi hidrolisis dapat terjadi. Asam, basa maupun enzim dalam reaksi hidrolisis disebut sebagai katalis, yakni zat yang dapat mempercepat terjadinya reaksi.

Hidrolisis Asam

Beberapa asam yang umum digunakan untuk hidrolisis asam antara lain adalah asam sulfat (H₂SO₄), asam perklorat, dan HCl. Asam sulfat merupakan asam yang paling banyak diteliti dan dimanfaatkan untuk hidrolisis asam. Hidrolisis asam dapat dikelompokkan menjadi: hidrolisis asam pekat dan hidrolisis asam encer (Taherzadeh & Karimi, 2007).

Hidrolisis asam pekat merupakan teknik yang sudah dikembangkan cukup lama. Braconnot di tahun 1819 pertama menemukan bahwa selulosa bisa dikonversi menjadi gula yang dapat difermentasi dengan menggunakan asam pekat (Sherrad and Kressman 1945 dalam Taherzadeh & Karimi, 2007). Hidrolisis asam pekat menghasilkan gula yang tinggi (90% dari hasil teoritik) dibandingkan dengan hidrolisis asam encer, dan dengan demikian akan menghasilkan ethanol yang lebih tinggi (Hamelinck, Hooijdonk, & Faaij, 2005).

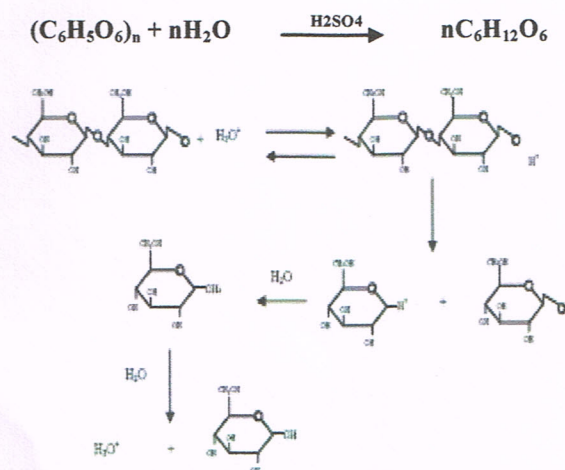
Hidrolisis asam dapat dilakukan pada suhu rendah. Namun, jika konsentrasi asam yang digunakan sangat tinggi (30 – 70%) akan mengakibatkan korosi pada peralatan sehingga membutuhkan peralatan metal dibuat secara khusus dan mahal, sehingga hidrolisis asam pekat membutuhkan biaya investasi dan pemeliharaan yang tinggi. Recovery asam juga membutuhkan energi yang besar. Di sisi lain, jika menggunakan asam sulfat pekat, dibutuhkan proses netralisasi yang menghasilkan limbah gypsum/kapur yang sangat banyak. (Taherzadeh & Karimi, 2007).

Hidrolisis asam encer juga dikenal dengan hidrolisis asam dua tahap (two stage acid hydrolysis) dan merupakan metode hidrolisis yang banyak dikembangkan dan diteliti saat ini. Hidrolisis asam encer

pertama kali dipatenkan oleh H.K. Moore pada tahun 1919. Hidrolisis selulosa dengan menggunakan asam telah dikomersialkan pertama kali pada tahun 1898 (Hamelinck, Hooijdonk, & Faaij, 2005). Tahap pertama dilakukan dalam kondisi yang lebih 'lunak' dan akan menghidrolisis hemiselulosa (misal 0,7% asam sulfat, 190 °C). Tahap kedua dilakukan pada suhu yang lebih tinggi, tetapi dengan konsentrasi asam yang lebih rendah untuk menghidrolisis selulosa (215 °C, 0,4% asam sulfat) (Hamelinck, Hooijdonk, & Faaij, 2005).

Keuntungan utama hidrolisis dengan asam encer adalah, tidak diperlukannya *recovery* asam, dan tidak adanya kehilangan asam dalam proses (Iranmahboob et al., 2002). Umumnya asam yang digunakan adalah H₂SO₄ atau HCl (Mussatto dan Roberto, 2004) pada *range* konsentrasi 2-5 % (Iranmahboob et al., 2002; Sun dan Cheng, 2002), dan suhu reaksi ± 160 °C.

Kelemahan dari hidrolisis asam encer adalah degradasi gula hasil di dalam reaksi hidrolisis dan pembentukan produk samping yang tidak diinginkan. Degradasi gula dan produk samping ini tidak hanya akan mengurangi hasil panen gula, tetapi produk samping juga dapat menghambat pembentukan etanol pada tahap fermentasi selanjutnya. Contoh reaksi hidrolisis selulosa dengan H₂SO₄:



Gambar 1. Mekanisme Reaksi Hidrolisis Selulosa oleh Asam (Humprey, 1979)

Beberapa faktor yang mempengaruhi proses hidrolisis antara lain, kandungan karbohidrat bahan baku, pH, waktu dan suhu hidrolisis.

Parameter konsentrasi asam, suhu dan waktu hidrolisis merupakan parameter yang sangat krusial pada proses hidrolisis selain metode detoksifikasi yang tepat sehingga dapat meminimalkan produk inhibitor yang pada akhirnya meningkatkan yield etanol di akhir proses fermentasi (Del Campo et al., 2006; Mussatto dan Roberto, 2004).

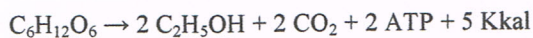
Fermentasi

Fermentasi merupakan proses perubahan dari glukosa menjadi alkohol (Lee, 1992). Peruraian dari

kompleks menjadi sederhana dengan bantuan mikroorganisme sehingga menghasilkan energi. Mikroorganisme yang dipakai dalam fermentasi etanol umumnya adalah khamir. Khamir yang biasa digunakan untuk menghasilkan etanol adalah *Saccharomyces cerevisiae*. Produk metabolit utama adalah etanol, CO₂, dan air, sedangkan beberapa produk lain dihasilkan dalam jumlah sedikit. Khamir ini bersifat fakultatif anaerobic.

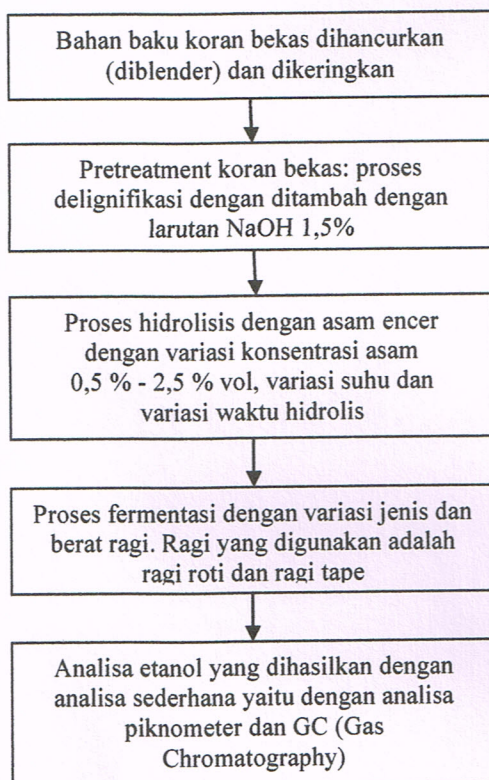
Saccharomyces cerevisiae sering dipakai pada fermentasi etanol karena menghasilkan etanol yang tinggi, toleran terhadap kadar etanol yang tinggi, mampu hidup pada suhu tinggi, tetap stabil selama kondisi fermentasi dan juga dapat bertahan hidup pada pH yang rendah. *Saccharomyces cerevisiae* juga dapat toleran terhadap alkohol yang cukup tinggi (12-18 % vol), tahan terhadap kadar gula yang tinggi dan tetap aktif melakukan fermentasi pada suhu 4-32 °C.

Secara sederhana proses fermentasi etanol dari bahan baku yang mengandung gula, terlihat pada reaksi:



2. Metodologi Penelitian

Prosedur Penelitian



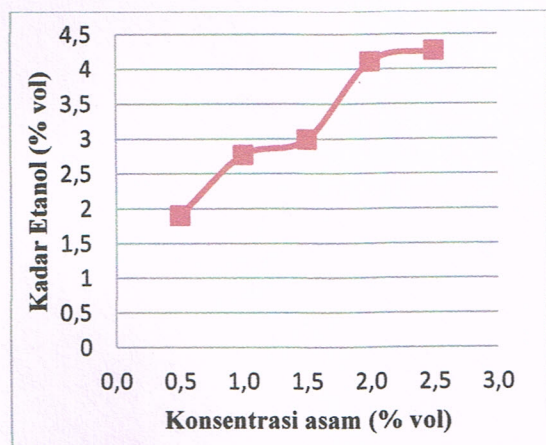
3. Hasil dan Pembahasan

A. Pengaruh Variasi Waktu, Konsentrasi dan Temperatur Hidrolisis dengan Kadar Bioetanol yang dihasilkan

Proses hidrolisis bertujuan untuk memecah ikatan dan menghilangkan kandungan lignin dan hemiselulosa serta merusak struktur kristal selulosa menjadi senyawa gula sederhana. Ukuran bahan baku akan mempengaruhi porositas sehingga dapat memaksimalkan kontak antara bahan dengan asam untuk meningkatkan hidrolisis hemiselulosa (Sun dan Cheng, 2002).. Dari literatur yang didapat, diketahui feed memiliki kandungan lignin 22,09%, selulosa 37,65%.

Tabel 1. Pengaruh Konsentrasi Asam Sulfat terhadap persentase kadar etanol yang dihasilkan (T = 180 °C, Ragi Roti, Waktu hidrolisis 60 menit, berat ragi = 10% berat)

No.	Konsentrasi Asam Sulfat (% vol)	Kadar Etanol yang dihasilkan (%)
1.	0,5	1,91
2.	1,0	2,77
3.	1,5	2,99
4.	2,0	4,11
5.	2,5	4,27



Gambar 1. Peningkatan Kadar Etanol dengan variasi konsentrasi asam (% vol)

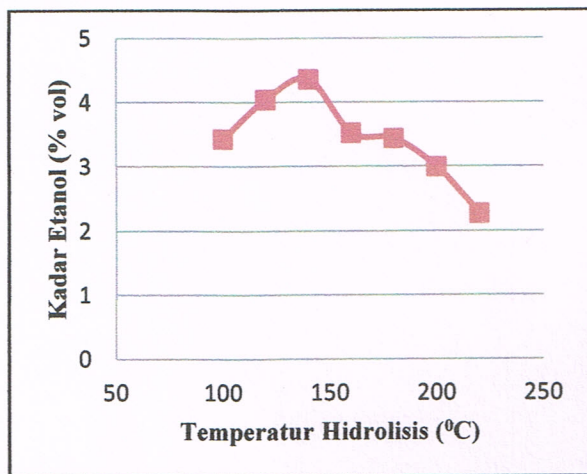
Gambar 1 di atas menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi asam sulfat yang digunakan maka semakin besar juga kadar etanol yang dihasilkan. Pada gambar ini, terlihat bahwa konsentrasi asam sulfat yang menghasilkan kadar etanol yang paling besar adalah konsentrasi asam sulfat 2,5 % vol.

Keuntungan penggunaan asam kuat pada konsentrasi rendah adalah tidak diperlukannya lagi recovery asam dan tidak adanya ion asam yang hilang pada proses (Iranmahboob et al, 2002). Asam yang digunakan pada umumnya adalah H₂SO₄ atau HCl (Mussatto dan Roberto, 2004) pada range konsentrasi 2-

3% (Iranmahboob et al,2002; Sun dan Cheng, 2002) dan suhu reaksi $\pm 160^{\circ}\text{C}$

Tabel 2. Pengaruh Temperatur Hidrolisis terhadap persentase kadar etanol yang dihasilkan (Konsentrasi asam sulfat = 2%, Ragi Roti, Waktu hidrolisis 60 menit, berat ragi = 10% berat)

No.	Temperatur Hidrolisis ($^{\circ}\text{C}$)	Kadar Etanol yang dihasilkan (%)
1.	100	3,43
2.	120	4,05
3.	140	4,36
4.	160	3,53
5.	180	3,44
6.	200	2,99
7.	220	2,27



Gambar 2. Variasi Temperatur Hidrolisis yang mempengaruhi kadar etanol yang dihasilkan

Temperatur hidrolisis berhubungan dengan laju reaksi. Semakin tinggi temperatur hidrolisis, maka hidrolisis akan berlangsung lebih cepat. Hal ini disebabkan konstanta laju reaksi meningkat dengan meningkatnya temperatur operasi dan penambahan waktu reaksi, akan semakin memperbesar konversi yang dicapai sampai ke titik optimumnya.

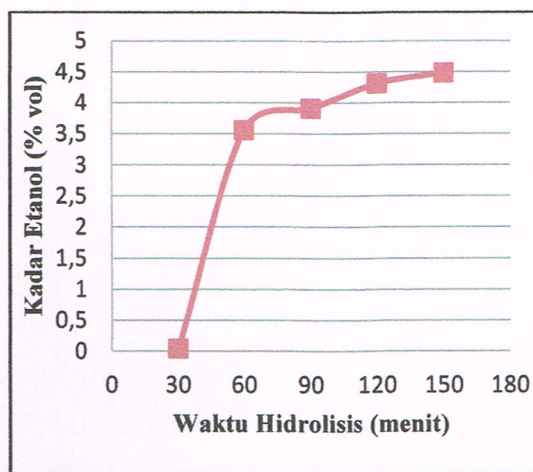
Pada variasi temperatur yang digunakan, didapat konsentrasi etanol tertinggi pada temperatur 140°C . Oleh karena itu, penambahan temperatur selanjutnya akan menurunkan kadar etanol yang dihasilkan karena telah melewati titik optimum yang dimilikinya.

Pada penelitian yang dilakukan Mussatto dan Roberto, 2004, digunakan temperatur di bawah 160°C untuk dapat menghidrolisis hemiselulosa dan menekan dekomposisi gula sederhana. Suhu yang lebih tinggi akan mempermudah dekomposisi gula sederhana dan senyawa lignin. Pada suhu dan tekanan tinggi, glukosa dan xylosa akan terdegradasi menjadi furfural dan hidroksimetilfurfural.

Jika furfural dan hidroksimetil furfural terdekomposisi lanjut, akan didapat asam levulinat dan asam formiat (Mussatto dan Roberto, 2004; Palmqvist dan Hahn-Hägerdal, 2000).

Tabel 3. Pengaruh Waktu Hidrolisis terhadap persentase kadar etanol yang dihasilkan (Konsentrasi asam sulfat = 2%, Ragi Roti, $T = 140^{\circ}\text{C}$, berat ragi = 10% berat)

No.	Waktu Hidrolisis (menit)	Kadar Etanol yang dihasilkan (%)
1.	30	0,047
2.	60	3,562
3.	90	3,911
4.	120	4,314
5.	150	4,484



Gambar 3. Pengaruh waktu hidrolisis terhadap kadar etanol yang dihasilkan

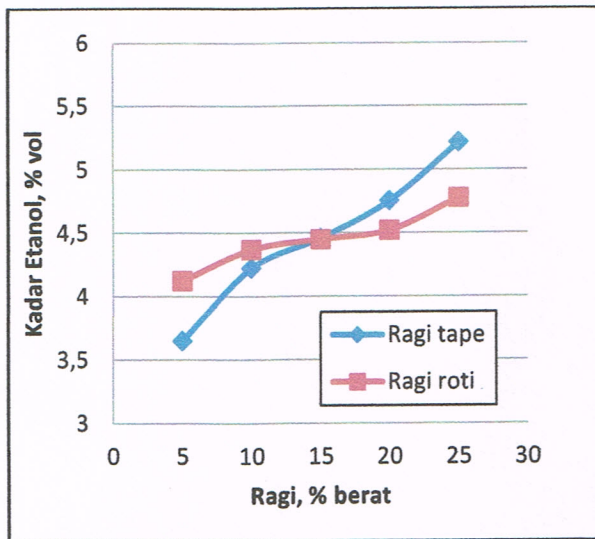
Dari gambar 3 terlihat bahwa konversi selulosa menjadi glukosa sangat dipengaruhi oleh waktu hidrolisis. Semakin lama waktu proses, maka kesempatan selulosa melakukan dekomposisi lebih panjang, sehingga kadar etanol naik. Tetapi kenaikan itu sudah tidak begitu mencolok setelah waktu hidrolisis mencapai 120 menit karena kadar etanol yang didapatkan tidak begitu bertambah secara signifikan.

B. Pengaruh Berat dan Jenis Ragi terhadap Kadar Bioetanol yang Dihasilkan

Tabel 4. Pengaruh berat ragi (%) terhadap kadar etanol yang dihasilkan (Konsentrasi asam sulfat = 2%, $T = 140^{\circ}\text{C}$, waktu hidrolisis = 150 menit)

No	Ragi (% berat)	Kadar Etanol yang dihasilkan (%) ragi tape	Kadar Etanol yang dihasilkan (%) ragi roti
1.	5	3,65	4,12
2.	10	4,22	4,37
3.	15	4,46	4,45
4.	20	4,76	4,52

5.	25	5,22	4,78
----	----	------	------



Gambar 4. Pengaruh variasi jenis dan berat ragi terhadap kadar etanol yang dihasilkan

Pada gambar 4. menunjukkan bahwa semakin banyak ragi yang ditambahkan maka kadar etanol yang dihasilkan juga semakin besar karena dengan semakin banyak ragi yang ditambahkan, maka bakteri yang mengurai glukosa menjadi etanol pun semakin banyak. Pada penelitian ini penggunaan ragi roti dan ragi tape pada proses fermentasi tidak terlalu menunjukkan perbedaan yang signifikan, karena kedua jenis ragi sama-sama mengandung *Saccharomyces cerevisiae*.

4. Kesimpulan

- 1) Koran bekas dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol karena masih mengandung selulosa sekitar 61% yang dapat diubah menjadi glukosa dengan menggunakan asam encer pada proses hidrolisisnya dan ragi pada fermentasi.
- 2) Pengaruh beberapa variabel terhadap kadar etanol yang dihasilkan:
 - a) Kadar etanol semakin besar apabila konsentrasi asam yang digunakan juga semakin besar. Pada penelitian ini didapatkan konsentrasi asam sulfat terbaik sebesar 2,5 % vol.
 - b) Semakin tinggi temperatur hidrolisis, maka hidrolisis akan berlangsung lebih cepat. Dari penelitian didapatkan temperatur hidrolisis terbaik sebesar 140 °C.
 - c) Semakin lama waktu hidrolisis yang digunakan maka dekomposisi selulosa yang diubah menjadi glukosa akan semakin banyak sehingga kadar etanolnya semakin besar. Hal itu terlihat dari hasil penelitian bahwa pada waktu hidrolisis selama 180 menit dihasilkan kadar etanol yang paling besar.

- d) Jumlah kadar etanol yang dihasilkan berbanding lurus dengan jenis dan massa ragi yang digunakan. Pada penggunaan ragi roti didapatkan kadar etanol tertinggi sebesar 4,77 % vol, sedangkan pada ragi tape didapatkan kadar etanol tertinggi sebesar 5,22 % vol.

Daftar Pustaka

- Anonim. 2007. *New and emerging issues relating to the conservation and sustainable use of biodiversity. Biodiversity and liquid biofuel production. Convention on Biological Diversity. UNEP, UNESCO : Paris, France*
- Anonim. 2008. *The potential impacts of biofuels on biodiversity. Convention on Biological Diversity. UNEP, UNESCO : Bonn, Germany*
- Del Campo, I., Alegria, I., Zazpe, m., Echeverria, M., Echeverria, I. 2006. *Diluted acid hydrolysis pretreatment of agri-food wastes for bioethanol production. Industrial Crops and Products, 24: 214 – 22*
- Hamelinck, C.N., G. van Hooijdonk, and A.P.C. Faaij. 2005. *Ethanol from lignocellulosic biomass: Techno-economic performance in short-, middle- and long-term. Biomass and Bioenergy 28: 384–410*
- Hendriks, A.T.W.M., G. Zeeman. 2009. *Pretreatments to Enhance the Digestibility of Lignocellulose Biomass. Biores. Technol. 100, 10-18*
- Holtzapple, M.T., R.R. Davison, L.L. Lowery Jr, and C.B. Granda. 2004. *Methods and Systems for Pretreatment and Processing of Biomass (US Pat. No. 2004/0168960 A1)*
- Humphrey, S.R. and P.G.R. Jodice. 1992. *Big Cypress fox squirrel Sciurus niger avicennia. Pages 224-233 in S.R. Humphrey (ed.), Rare and endangered biota of Florida. Vol. I. Mammals. University Press of Florida : Gainesville, Florida*
- Iranmahboob, J., Nadim, F., Monemi, S. 2002. *Optimizing acid-hydrlysis: a critical step for production of ethanol from mixed wood chips. Biomass and Bioenergy, 22: 401 – 404*
- Lee, Y.C. 1990. *High-Performance Anion-Exchange Chromatography for Carbohydrate Analysis, Anal. Biochem. 189:151-162*
- Mosier, N., C. Wyman, B. Dale, R. Elander, Y. Lee, M. Holtzapple, and M. Ladish. 2005. *Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. Bioresour. Technol. 96: 673–686*
- Mussatto, S.I., Roberto, I.C. 2004. *Alternatives for detoxification of dilute-acid lignocellulosic hydrolyzates for use in fermentative process: a review. Bioresource Technology, 93, 1-10*
- Palmqvist, E., Hahn-Hägerdal, B. 2000. *Review paper. Fermentation of lignocellulosic hydrolysates. II: inhibitors and mechanisms of inhibition. Bioresource Technology, 74, 25-33*

- Perry, R.H. 1984. *Perry Chemical Engineering Hands Book*. Mc Grow Hill, Singapore
- Prihandana, dkk. 2007. *Bioetanol Ubi Kayu: Bahan Bakar Masa Depan*. PT AgroMedia Pustaka:Jakarta
- Pusat Gambara Indonesia (Pusgrafin). 2009. *HTI, Industri Kertas dan Industri Gambar*. <http://pusgrafin.go.id> diakses tanggal 16 Oktober 2011
- Statistik Persampahan Domestik Indonesia. 2008. Kementerian Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia
- Sun, Y., Cheng, J. 2002. *Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review*. *Bioresource Technology*, 83:1-11
- Taherzadeh, M.J., and Karimi, K. 2007. *Process for ethanol from lignocellulosic materials I: Acid-based hydrolysis processes*. *BioResources* 2(3), 472-499
- Taherzadeh M.J. dan K. Karimi. 2008. *Pretreatment of Lignocellulosic Waste to Improve Bioethanol and Biogas Production*. *Int. J. Mol. Sci.* (9) : 1621-1651