

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kakao merupakan salah satu komoditas perkebunan yang peranannya cukup penting bagi perekonomian nasional, khususnya sebagai penyedia lapangan kerja, sumber pendapatan dan devisa negara. Komoditas kakao menempati peringkat ketiga ekspor sektor perkebunan dalam menyumbang devisa negara, setelah komoditas karet dan CPO. Pada 2006 ekspor kakao mencapai US\$ 975 juta atau meningkat 24,2% dibanding tahun sebelumnya (Suryani dan Zulfebriansyah, 2005).

Semakin meningkatnya produksi kakao baik karena pertambahan luas areal pertanaman maupun yang disebabkan oleh peningkatan produksi per satuan luas, akan meningkatkan jumlah limbah buah kakao. Komponen limbah buah kakao yang terbesar berasal dari kulit buahnya atau biasa disebut pod kakao, yaitu sebesar 75 % dari total buah (Ashadi, 1988). Jika dilihat dari data produksi buah kakao pada tahun 2006 yang mencapai 779,5 ribu ton, maka limbah pod kakao yang dihasilkan sebesar 584,6 ribu ton. Apabila limbah pod kakao ini tidak ditangani secara serius maka akan menimbulkan masalah lingkungan.

Pod buah kakao merupakan limbah perkebunan kakao yang sangat potensial dan mempunyai nilai produktif yang bisa dikembangkan para petani. Pod kakao merupakan limbah lignoselulosik yang mengandung lignin, selulosa dan hemiselulosa. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Ashadi mengenai pembuatan gula cair dari pod kakao didapatkan data mengenai komposisi buah kakao dan kandungan kimiawi pod kakao. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pod kakao mengandung 20.11 % lignin, 31.25 % selulosa, dan 48.64 % hemiselulosa. Kandungan selulosa dan hemiselulosa pada pod kakao cukup potensial untuk diolah lebih lanjut menjadi produk bernilai ekonomi. Salah satunya yaitu etanol.

Etanol yang berasal dari gula dan pati dalam jangka panjang kurang ekonomis. Hal ini karena sumber pertanian yang banyak mengandung gula dan pati digunakan sebagai pangan dan pakan. Alternatif solusinya yaitu membuat etanol dari selulosa yang juga merupakan polimer glukosa. Namun, pembuatan etanol dari selulosa memerlukan tahapan sebelum dilakukan fermentasi. Hal ini karena struktur selulosa yang lebih kompleks sehingga harus dirombak agar fermentasi untuk menghasilkan etanol dapat berlangsung dengan optimal. Menurut Shofiyanto (2008), bahan selulosa pada limbah dapat dimanfaatkan sebagai sumber karbon untuk produksi etanol dengan melakukan hidrolisis terlebih dahulu. Proses hidrolisis dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan gula sederhana yang kemudian diperolah oleh khamir untuk menghasilkan etanol.

Proses hidrolisis dapat dilakukan dengan penambahan asam, seperti asam sulfat dan asam klorida. Selain itu, hidrolisis dapat dilakukan dengan menggunakan enzim yang sering disebut hidrolisis enzimatis. Enzim tersebut merupakan enzim selulase atau lainnya yang dapat memecah selulosa menjadi monomer-monomernya. Keuntungan dari hidrolisis enzimatis yaitu dapat mengurangi penggunaan asam sehingga dapat meminimalisir efek negatif terhadap lingkungan. Namun, penggunaan enzim memerlukan biaya yang lebih mahal daripada asam. Setelah proses hidrolisis dilakukan fermentasi menggunakan *yeast* seperti *S. cerevisiae* untuk mengkonversi menjadi etanol.

Tujuan

Gagasan tertulis ini bertujuan untuk memberikan solusi pemanfaatan pod kakao yang merupakan limbah terbesar dari perkebunan atau industri pengolahan kakao. Pod kakao tersebut dapat diolah menjadi produk yang mempunyai nilai tambah tinggi yaitu etanol. Etanol dari pod kakao yang merupakan limbah lignoselulosa merupakan etanol generasi kedua yang menjadi harapan solusi bahan bakar masa depan.

TELAAH PUSTAKA

Pod Kakao (*Theobroma cacao*)

Pod kakao merupakan bagian mesokarp atau dinding buah kakao yang mencakup kulit terluar sampai daging buah sebelum kumpulan biji. Pod buah kakao merupakan bagian terbesar dari buah kakao. Komposisi bagian-bagian buah kakao dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Buah Kakao

Komponen	Presentase (DB)
Pod (kulit buah)	75.70
Biji dan pulp	21.18
Plasenta	2.6

Sumber : Ashadi, 1988

Pod kakao merupakan limbah lignoselulosik. Lignoselulosa merupakan komponen berenergi terbesar yang dimiliki oleh limbah. Limbah lignoselulosik dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan etanol, sehingga menghindari persaingan dengan bahan pangan. Lignoselulosa terdiri atas tiga penyusun utama, yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin, yang saling terikat erat membentuk satu kesatuan. Komposisi kimia pod kakao disajikan pada Tabel 2

Tabel 2. Komposisi Kimia Pod Kakao

No	Komponen	Persentase (DB)
1	Kadar air	12.96
2	Kadar abu	11.10
3	Kadar Lemak	1.11
4	Kadar Protein	8.75
5	Kadar Karbohidrat	16.27
6	Kadar Lignin	20.11
7	Kadar Selulosa	31.25
8	Kadar Hemiselulosa	48.64

Sumber : Ashadi, 1988

Lignin tersusun atas jaringan polimer fenolik yang berfungsi merekatkan serat selulosa dan hemiselulosa sehingga menjadi sangat kuat. (Sun dan Cheng, 2002) Struktur kimia lignin mengalami perubahan di bawah kondisi suhu yang tinggi dan asam. Pada reaksi dengan temperatur tinggi mengakibatkan lignin terpecah menjadi partikel yang lebih kecil dan terlepas dari selulosa (Taherzadeh dan Karimi, 2008).

Selulosa merupakan polisakarida yang terdiri atas satuan-satuan glukosa yang terikat dengan ikatan β -1,4-glikosidik. Molekul selulosa merupakan mikrofibril dari glukosa yang terikat satu dengan lainnya membentuk rantai polimer yang sangat panjang. Hidrolisis sempurna selulosa akan menghasilkan monomer selulosa yaitu glukosa, sedangkan hidrolisis tidak sempurna akan menghasilkan disakarida dari selulosa yaitu cellobiosa (Fan *et al.*, 1982). Selulosa dapat dihidrolisis menjadi glukosa dengan menggunakan asam atau enzim. Selanjutnya glukosa yang dihasilkan dapat difermentasi menjadi etanol.

Hemiselulosa merupakan polisakarida yang mempunyai berat molekul lebih kecil daripada selulosa. Molekul hemiselulosa lebih mudah menyerap air, bersifat plastis, dan mempunyai permukaan kontak antar molekul yang lebih luas dari selulosa (Oshima, 1965). Hemiselulosa mirip dengan selulosa yang merupakan polimer gula. Namun, berbeda dengan selulosa yang hanya tersusun atas glukosa, hemiselulosa tersusun dari bermacam-macam jenis gula. Monomer gula penyusun hemiselulosa terdiri dari monomer gula berkarbon lima (C-5) dan gula berkarbon enam (C-6). Hemiselulosa lebih mudah dihidrolisis daripada selulosa, tetapi gula C-5 lebih sulit difermentasi menjadi etanol daripada gula C-6. (Perez *et al.*, 2005)

Proses Produksi Etanol

Pretreatment limbah lignoselulosa harus dilakukan untuk meningkatkan hasil gula yang diperoleh dari tahapan hidrolisis. (Mosier, *et al.*, 2005). Gula yang diperoleh tanpa *pretreatment* kurang dari 20%, sedangkan dengan *pretreatment*

dapat meningkat menjadi 90% dari hasil teoritis (Hamelinck, Hooijdonk, & Faaij, 2005). Tujuan *pretreatment* adalah untuk membuka struktur lignoselulosa agar selulosa menjadi lebih mudah diakses oleh enzim yang memecah polimer polisakarida menjadi monomer gula. Proses penggiling merupakan salah satu sara pretreatment limbah lignoselulosa. Tujuan dari penggilingan yaitu memperkecil ukuran bahan selulosa dan memecah ikatan kimia pada rantai molekul yang panjang. Proses ini tidak dapat menghilangkan lignin, tetapi akan mempermudah perlakuan selanjutnya.

Hidrolisis adalah salah satu tahapan dalam pembuatan etanol berbahan baku limbah lignoselulosa. Hidrolisis bertujuan untuk memecah selulosa dan hemiselulosa menjadi monosakarida (glukosa & xylosa) yang selanjutnya akan difermentasi menjadi etanol. Secara umum teknik hidrolisis dibagi menjadi dua, yaitu: hidrolisis berbasis asam dan hidrolisis dengan enzim. Hidrolisis sempurna selulosa menghasilkan glukosa, sedangkan hemiselulosa menghasilkan beberapa monomer gula pentose (C5) dan heksosa (C6).

Proses hidrolisis bahan lignoselulosa secara asam telah dilakukan sejak awal abad 20. Proses hidrolisis asam dapat dikatakan sederhana dan langsung diketahui hasilnya, namun memiliki beberapa kekurangan. Proses hidrolisis asam sering menghasilkan produk campuran glukosa, selobiosa, dan produk hidrolisis hemiselulosa, serta degradasi produk dari pemecahan monomer gula menjadi aldehid dan keton. Rendemen glukosa yang tinggi dapat dihasilkan dari hidrolisis asam bila dicapai kondisi yang optimum.

Pada metode hidrolisis asam, limbah lignoselulosa dipaparkan dengan asam pada suhu dan tekanan tertentu selama waktu tertentu. Proses hidrolisis asam menghasilkan monomer gula dari polimer selulosa dan hemiselulosa. Beberapa asam yang umum digunakan untuk hidrolisis asam antara lain adalah asam sulfat, asam perklorat, dan asam klorida.

Hidrolisis asam pekat merupakan teknik yang sudah dikembangkan cukup lama. Braconnot di tahun 1819 pertama kali menemukan bahwa selulosa dapat dikonversi menjadi gula (Taherzadeh & Karimi, 2007). Hidrolisis asam pekat menghasilkan gula yang tinggi (90% dari hasil teoritik) dibandingkan dengan

hidrolisis asam encer, dan dengan demikian akan menghasilkan etanol yang lebih tinggi (Hamelinck, Hooijdonk, & Faaij, 2005).

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. Kelemahan dari hidrolisis asam encer adalah degradasi gula yang dihasilkan melalui proses 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 (Taherzadeh & Karimi, 2007).

Jika hidrolisis dilakukan dengan menggunakan asam pekat akan mempercepat proses hidrolisis tetapi akan menurunkan hasil hidrolisis karena glukosa mudah sekali diuraikan. Sedangkan jika menggunakan asam encer proses hidrolisis akan berlangsung lambat karena adanya daya tahan dari kristal selulosa, tetapi dapat mengurangi penguraian glukosa oleh asam.

Berdasarkan penelitian Ashadi (1988), kadar glukosa yang dihasilkan dari proses hidrolisis dipengaruhi oleh konsentrasi asam dan lama waktu hidrolisis. Peningkatan konsentrasi asam yang digunakan akan menurunkan glukosa yang dihasilkan karena glukosa yang terbentuk akan terdegradasi lebih lanjut. Menurut Grethlein (1984), pada hidrolisis dengan menggunakan asam pada konsentrasi tinggi, gula yang dihasilkan akan diubah menjadi senyawa-senyawa furfural yang akan menghambat proses fermentasi.

Lama waktu hidrolisis mempengaruhi proses degradasi selulosa menjadi glukosa dan juga mempengaruhi degradasi glukosa sebagai produk. Waktu hidrolisis yang melebihi waktu optimum akan mendegradasi glukosa menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana yang biasanya bersifat racun terhadap mikroorganisme (Grethlein, 1984).

Aplikasi hidrolisis menggunakan enzim secara sederhana dilakukan dengan mengganti tahap hidrolisis asam dengan tahap hidrolisis enzim. Hidrolisis enzimatis memiliki beberapa keuntungan dibandingkan hidrolisis asam, antara

lain tidak terjadi degradasi gula hasil hidrolisis, kondisi proses yang lebih lunak (suhu rendah, pH netral), berpotensi memberikan hasil yang tinggi, dan biaya pemeliharaan peralatan relatif rendah karena tidak ada bahan yang korosif (Taherzadeh & Karimi, 2007). Beberapa kelemahan dari hidrolisis enzimatis antara lain adalah membutuhkan waktu yang lebih lama, dan kerja enzim dihambat oleh produk. Selain itu, enzim bekerja secara spesifik dan tidak bisa menembus lignin yang mengikat selulosa dan hemiselulosa. Sehingga sebelum dihidrolisis secara enzimatis, limbah lignooselulosik harus mengalami proses penghilangan lignin atau biasa disebut delignifikasi. Harga enzim yang relatif lebih mahal dibandingkan asam juga menjadi kerugian penggunaan hidrolisis enzimatis. (Palonen, 2004)

Fermentasi adalah suatu proses perubahan kimia pada substrat organik, baik karbohidrat, protein, lemak, atau sejenisnya melalui kegiatan katalis biokimia yang dikenal sebagai enzim yang dihasilkan oleh mikroba spesifik (Prescott dan Dunn, 1981). Khamir mampu mengkonsumsi berbagai substrat gula, tergantung spesies yang digunakan. Secara umum, mikroorganisme ini dapat tumbuh dan memfermentasi gula menjadi etanol secara efisien pada pH 3.5 – 6 dan suhu 28 – 35 °C.

METODE PENULISAN

Penulisan gagasan pemanfaatan limbah pod kakao untuk menghasilkan etanol sebagai sumber energi terbarukan ini didasari dari data-data mengenai jumlah limbah pod kakao yang begitu banyak dan belum dimanfaatkan secara optimal. Apabila tidak ditangani dengan baik maka limbah pod kakao ini akan menjadi masalah tersendiri bagi masyarakat khususnya petani kakao. Berdasarkan data tersebut maka dibuat solusi untuk pemanfaatan pod kakao.

Perumusan solusi untuk mengatasi masalah ini diperoleh dari berbagai literatur seperti buku, jurnal dan skripsi sehingga memberikan gambaran yang mendukung tentang pemanfaatan limbah kakao yang sudah ada. Berdasarkan gambaran dan informasi yang telah diperoleh kemudian dirancang suatu solusi tentang pemanfaatan limbah pod kakao menjadi produk yang memiliki nilai guna tinggi, yaitu etanol. Setelah itu dilakukan diskusi dengan dosen terkait untuk memberikan masukan dan perbaikan pada solusi yang ditawarkan.

ANALISIS DAN SINTESIS

Analisis Permasalahan

Kakao merupakan komoditas yang sedang digalakkan oleh Pemerintah. Hal ini dapat dilihat dari luas areal perkebunan dan produktivitas yang terus mengalami pertumbuhan. Peningkatan produksi kakao tentu akan meningkatkan jumlah limbah pod kakao yang dihasilkan. Pod kakao merupakan limbah terbesar dari perkebunan atau industri pengolahan kakao. Jumlahnya mencapai 75 % dari bobot buah kakao. Jika dilihat dari data produksi buah kakao yang mencapai 779,5 ribu ton, maka limbah pod kakao yang dihasilkan sebesar 584,6 ribu ton/tahun. Sampai saat ini pod kakao belum dimanfaatkan secara optimal. Pod kakao merupakan limbah lignoselulosa yang mengandung komponen utama berupa lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Ashadi mengenai pembuatan gula cair dari pod kakao, didapatkan data mengenai komposisi buah kakao dan kandungan kimiawi pod kakao. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pod kakao mengandung 20.11 % lignin, 31.25 % selulosa, dan 48.64 % hemiselulosa. Kandungan selulosa pada pod kakao cukup potensial untuk diolah lebih lanjut menjadi produk bernilai ekonomi. Salah satunya yaitu etanol.

Etanol yang berasal dari gula dan pati dalam jangka panjang kurang ekonomis. Hal ini karena sumber pertanian yang banyak mengandung gula dan pati digunakan sebagai pangan dan pakan. Altenatif solusinya yaitu membuat etanol dari selulosa yang juga merupakan polimer glukosa. Namun, pembuatan etanol dari selulosa memerlukan tahapan pendahuluan sebelum dilakukan fermentasi. Hal ini karena struktur selulosa yang lebih kompleks sehingga harus dirombak agar fermentasi untuk menghasilkan etanol dapat berlangsung dengan optimal.

Tahapan awal dalam pembuatan etanol dari pod kakao adalah menyiapkan bahan baku berupa pod kakao agar siap untuk tahapan selanjutnya. Pod kakao

yang telah dipisahkan dari bijinya mengandung kadar air yang cukup tinggi, sehingga tidak bisa langsung digunakan. Selain itu, pod kakao memiliki ukuran yang cukup besar sehingga perlu dilakukan pengecilan ukuran agar mudah dalam proses pengerjaan selanjutnya.

Tahapan proses yang penting dalam menghasilkan etanol dari pod kakao adalah hidrolisis dan fermentasi. Melalui proses hidrolisis, selulosa pada pod kakao akan dirombak menjadi glukosa, sedangkan hemiselulosa akan diuraikan menjadi monomer penyusunnya yaitu gula pentosa dan heksosa. Namun, adanya lignin yang terikat bersama dengan selulosa dan hemiselulosa membentuk struktur serat menjadi rintangan tersendiri dalam proses hidrolisis selulosa. Lignin tersusun atas jaringan polimer fenolik yang berfungsi merekatkan serat selulosa sehingga menjadi sangat kuat.

Apabila hidrolisis dilakukan dengan menggunakan metode asam, maka pemecahan ikatan lignin dapat dilakukan secara bersamaan dengan perombakan selulosa dan hemiselulosa menjadi monomernya. Hal ini menjadikan proses hidrolisis menjadi lebih singkat dan efisien. Konsekuensinya adalah kandungan hidrolisat yang dihasilkan tidak spesifik, tetapi mengandung berbagai macam monomer gula dari polimer selulosa dan hemiselulosa. Selain itu, kemungkinan terjadinya perombakan produk gula yang dihasilkan menjadi senyawa lain seperti furfural sangat mungkin terjadi. Apalagi jika asam yang digunakan berkonsentrasi tinggi.

Hidrolisis secara enzimatis memerlukan waktu dan tahapan yang lebih panjang dibandingkan dengan hidrolisis asam. Pada hidrolisis enzimatis lignin harus dihilangkan terlebih dulu. Lignin dapat menjadi penghalang penetrasi enzim ke selulosa, sehingga penghilangan lignin merupakan hal yang harus dilakukan jika ingin didapatkan kondisi hidrolisis yang optimal. Proses penghilangan lignin biasa disebut delignifikasi. Setelah mengalami delignifikasi selanjutnya dilakukan hidrolisis menggunakan enzim. Enzim merupakan katalis spesifik yang hanya dapat bekerja pada substrat tertentu yang sesuai, sehingga penanganan untuk hidrolisis enzimatis menjadi lebih kompleks.

Hidrolisat yang dihasilkan dari proses hidrolisis akan digunakan oleh mikroorganisme dalam proses fermentasi untuk menghasilkan etanol. Pada umumnya proses fermentasi dilakukan oleh khamir, sehingga diperlukan kondisi yang optimum agar perombakan glukosa menjadi etanol dapat berlangsung dengan optimal.

Sintesis Pemecahan Permasalahan

Pengolahan pod kakao menjadi etanol melalui beberapa tahapan yang memiliki ciri khas masing-masing. Tahapan awal merupakan perlakuan pendahuluan dimana pod kakao diberi perlakuan fisik berupa pengeringan dan pengecilan ukuran menjadi bentuk bubuk. Pengecilan ukuran dari pod kakao bertujuan untuk memutuskan struktur serat sehingga lebih mudah untuk dihidrolisis. Selanjutnya dilakukan hidrolisis. Proses hidrolisis terbagi menjadi dua kelompok besar yaitu dengan menggunakan asam atau menggunakan enzim. Kedua tipe hidrolisis ini mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing.

Pada hidrolisis asam dilakukan dalam dua tahapan. Asam yang digunakan yaitu asam klorida dengan konsentrasi yang rendah sehingga mengurangi terjadinya resiko perombakan produk gula menjadi senyawa furfural. Pada hidrolisis pertama digunakan asam klorida dengan konsentrasi 0,3% dengan waktu hidrolisis selama 1 jam. Hidrolisis pertama akan memecah hemiselulosa menjadi monomernya. Hidrolisat yang dihasilkan dari hidrolisis tahap pertama dipisahkan, sedangkan bahan yang masih tersisa akan dihidrolisis kembali. Pada hidrolisis kedua konsentrasi asam klorida yang digunakan lebih tinggi daripada hidrolisis pertama yaitu 1%. Bahan yang masih tersisa sebagian besar terdiri dari selulosa. Selulosa lebih sulit untuk dihidrolisis sehingga pada hidrolisis kedua konsentrasi asam ditingkatkan. Hidrolisat dari hidrolisis pertama dan kedua kemudian difermentasikan dalam fermentor.

Pada hidrolisis enzimatis, proses didahului dengan delignifikasi yaitu penghilangan lignin. Proses penghilangan lignin dilakukan dengan penambahan

NaOH yang bertujuan untuk memecah ikatan lignin. Selulosa kemudian dihidrolisis dengan menambahkan enzim selulase yang berfungsi untuk merombak selulosa menjadi glukosa. Hidrolisat berupa produk gula yang dihasilkan dari hidrolisis enzimatis kemudian difermentasi dalam fermentor.

Pada proses fermentasi digunakan mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae* yang merupakan salah satu spesies khamir. *Saccharomyces cerevisiae* memiliki daya konversi gula menjadi etanol sangat tinggi. *Saccharomyces cerevisiae* memerlukan suhu 30 °C dan pH 4.0.- 4.5 agar dapat tumbuh dengan baik. Waktu yang diperlukan untuk mencapai hasil yang optimal pada proses fermentasi ini adalah 72 jam.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pod kakao merupakan komponen limbah terbesar dari buah kakao. Volume limbah pod kakao yang begitu besar merupakan suatu permasalahan apabila tidak ditangani dengan baik. Alternatif penanganan limbah pod kakao yang dapat meningkatkan nilai tambah dan bernilai ekonomi yaitu dengan mengolahnya menjadi etanol. Etanol merupakan sumber energi terbarukan yang potensial untuk dikembangkan. Hal ini dikarenakan jumlah energi fosil yang semakin menipis sehingga perlu dicari energi alternatif untuk menggantikannya.

Pengolahan pod kakao menjadi etanol melalui beberapa tahapan. Hidrolisis merupakan salah satu tahapan yang sangat penting, karena menentukan kandungan gula yang akan digunakan untuk proses fermentasi yang menghasilkan etanol. Secara tidak langsung, kadar etanol yang dihasilkan dari proses fermentasi berkaitan erat dengan keberhasilan proses hidrolisis.

Hidrolisis lignoselulosa terbagi menjadi dua kelompok, yaitu hidrolisis asam dan hidrolisis enzimatis. Kedua tipe hidrolisis ini mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing. Hidrolisis asam lebih mudah dilakukan dan memerlukan waktu yang lebih singkat. Biayanya pun lebih murah dibandingkan dengan penggunaan enzim. Namun, pada hidrolisis asam dapat dihasilkan produk samping yang dapat mengganggu proses fermentasi. Hal ini dapat diatasi dengan menggunakan asam dengan konsentrasi yang tepat, sehingga pembentukan produk samping dapat diminimalisir.

Pada hidrolisis enzimatis tidak terjadi pembentukan produk yang akan menghambat proses fermentasi. Prosesnya pun lebih lunak karena tidak memerlukan temperatur proses yang tinggi. Hidrolisis enzimatis memerlukan biaya yang lebih tinggi, karena biaya pembelian enzim lebih mahal dibandingkan dengan asam. Selain itu, sebelum hidrolisis enzimatis harus dilakukan

delignifikasi untuk menghilangkan lignin. Secara keseluruhan waktu proses yang dibutuhkan menjadi lebih lama dibandingkan dengan hidrolisis asam.

Saran

Pemanfaatan limbah pod kakao menjadi etanol berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut. Mengingat luasnya perkebunan kakao dan produktivitasnya dalam setahun. Selain itu perlu dipikirkan solusi lain untuk memanfaatkan limbah pod kakao yang lebih efektif dan efisien.

Jika dilihat pada tahapan prosesnya, maka proses pembuatan etanol dari limbah pod kakao yang paling penting adalah hidrolisis. Jika dikembangkan dalam skala besar hidrolisis asam merupakan pilihan tepat. Pemilihan ini tentu saja memperhatikan aspek kemudahan dan finansial. Hidrolisis asam dalam skala yang lebih besar akan lebih optimal jika menggunakan tangki berpengaduk sehingga asam akan terpapar secara sempurna. Tetapi, hidrolisis secara enzimatis juga sangat potensial untuk dikembangkan, karena penggunaanya aman bagi lingkungan dan dapat menghasilkan hidrolisat glukosa dengan rendemen yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashadi, R.W. 1988. *Pembuatan Gula Cair dari Pod Coklat dengan Menggunakan Asam Sulfat, Enzim, serta Kombinasi Keduanya.* Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.
- Fan, L.T., Y.H. Lee, dan M.M.Gharpuray. 1982. *The Nature of Lignocellulosics and Their Pretreatment for Enzymatic Hydrolysis.* Adv. Bichem. Eng. 23: 158 – 187.
- Grethlein, H. E. 1984. *Pretreatment for Enhanced Hydrolysis of Cellulosic Biomass.* Biotechnology Advances 2(1), 43-62.
- Hamelinck, C. N.; Hooijdonk, G. v. & Faaij, A. P. 2005. *Etol from Lignocellulosic Biomass: Techno-Economic Performance in Short, Middle, and Long-Term.* Biomass and Bioenergy 28(4), 384–410.
- Moore, H.K. *Process of Making Ethyl Alcohol from Wood.* 1,323,540 United State of America, 1919.
- Mosier, Nathan, et al. 2005. *Features of Promising Technologies for Pretreatment of Lignocellulosic Biomass.* Bioresource Technology 96 , pp. 673–686.
- Oshima, M. 1965. *Wood Chemistry Process Engineering Aspect.* Noyes Develop. Corp. New York.
- Palonen, Hetti. 2004. *Role of Lignin in the Enzymatic Hydrolysis of Lignocellulose.* VTT Biotechnology.
- Perez, J. et al. 2005. *Biodegradation and Biological Treatments of Cellulose, Hemicellulose, and Lignin: An Overview.* Int Microbiol, Vol. 5, pp. 53-63.
- Prescott, S.C. dan C.G. Dunn. 1981. *Industrial Microbiology.* Mc Graw-Hill Book Co.Ltd. New York.
- Shofiyanto, M.E. 2008. *Hidrolisis Tongkol Jagung oleh Bakteri Selulotik untuk Produksi Bietanol dalam Kultur Campuran.* Skripsi.
- Sun, Y. and Cheng, J. 2002. *Hydrolysis of Lignocellulosic Materials for Ethanol Production: A Review.* Bioresource Technology, Vol. 83, pp. 1-11.
- Suryani, Dinie dan Zulfebriansyah. 2007. *Komoditas Kakao : Potret dan Peluang Pembiayaan.* Economic Review, No. 210.

Taherzadeh, Muhammad J. and Karimi, Keikhosro. 2008. *Pretreatment of Lignocellulosic Waste to Improve Bioethanol and Biogas Production*. Int. J. Mol. Sci 9, pp. 1621-1651.

Taherzadeh, M.J. and Karimi, K. 2007. *Acid-Based Hydrolysis Processes for Ethanol from Lignocellulosic Materials: A Review*. Bioresources 2(3), pp. 472-499.