

MAKALAH BIDANG
KAJIAN

A

BIOTEKNOLOGI



PRODUKSI ETANOL SECARA SINAMBUNG DENGAN SEL TERTAMBAT MENGUNAKAN *BIOREACTOR TOWER FIXED BED*

Ronny Kurniawan, Salafudin, Nanda R.Saufa, Dita Indah

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri Itenas Bandung

Jl. PHH. Mustafa No 23 Bandung 40132, Telp (022)7272215 Fax (022)7202892

Email : Kurniawan Itenas@yahoo.co.id

Abstrak

Sektor industri di Indonesia saat ini sedang berkembang. Hal ini mendorong kebutuhan bahan baku dan energi menjadi meningkat. Di antara industri tersebut, cukup banyak yang menggunakan alkohol sebagai bahan bakunya. Industri etanol merupakan salah satu bagian dari industri alkohol. Industri etanol yang mulai dikembangkan adalah etanol yang dihasilkan dari proses fermentasi (bioetanol). Bioetanol dapat digunakan sebagai energi alternatif dan bahan bakunya memanfaatkan sumber daya alam terbarukan.

Etanol atau etil alkohol (C_2H_5OH) merupakan senyawa organik yang sangat penting dalam industri kimia dan mempunyai cukup banyak manfaat dalam kehidupan manusia. Pembuatan etanol dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu secara sintetik melalui reaksi kimia dan secara fermentasi melalui aktivitas mikroorganisme. Proses pembuatan etanol secara fermentasi telah dilakukan sejak ribuan tahun yang lalu dengan menggunakan bahan yang mengandung karbohidrat sebagai bahan bakunya. Fermentasi glukosa menjadi etanol dilakukan dengan mikroorganisme yang terbagi ke dalam dua jenis, yaitu bakteri dan ragi. Namun penggunaan ragi sebagai biokatalis lebih sering digunakan, karena ragi lebih mudah dikembangbiakan dan lebih mudah dikontrol pertumbuhannya. Ragi yang digunakan dalam proses fermentasi etanol ini adalah *Schizosaccharomyces pombe*. Kesulitan yang sering dijumpai dalam proses fermentasi yaitu dalam pemisahan produk dari ragi yang digunakan. Metode sel tertambat (*immobilized cell*) dianggap dapat mengatasi masalah tersebut, dan penggunaan batu apung sebagai media penambat dapat dijadikan alternatif.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kondisi terbaik yang dapat dilihat dari nilai konsentrasi dan perolehan etanol dari kondisi percobaan yaitu variasi ukuran batu apung, yang dihasilkan dari proses fermentasi secara sinambung menggunakan *Schizosaccharomyces pombe* yang ditambatkan pada batu apung dengan bioreaktor menara unggun diam. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan ukuran batu apung 0,75"/0,5", 0,5"/0,375, 0,25"/0,125". Proses fermentasi berlangsung dalam kondisi anaerob pada temperatur 34 °C, pH = 4,5, konsentrasi glukosa 150 g/L, waktu tinggal substrat 48 jam dan tinggi hamparan batu apung 135 cm. Melihat dari konsentrasi dan yield etanol yang dihasilkan, didapat kondisi terbaik pada penelitian ini terjadi pada ukuran batu apung 0,25"/0,125" yang menghasilkan konsentrasi etanol sebesar 28,80 g/L dan yield etanol sebesar 0,678.

Kata kunci: Etanol, Fermentasi, *Immobilized cell*, Batu apung, *Bioreactor tower*.

Abstract

Now, industry in Indonesia is expanding. That fact motivates increase in requirement of raw material and energy. In those industries, plenty of them use alcohol as their raw material. Ethanol industry is a part of alcohol industry. Technology development starts research about producing ethanol by fermentation process (bioethanol). Bioethanol can be used as alternative energy and its raw material use renewable natural resources.

Ethanol or ethyl alcohol (C_2H_5OH) is an organic compound which very important in chemical industries and human being. Ethanol can be produced in two ways, they are synthetic process with chemical reaction and fermentation process through the activity of microorganisms. Ethanol has been produced by fermentation of at materials contain carbohydrates its raw material since thousands years ago. Microorganisms of glucose fermentation to ethanol are divided into two types, bacteria and yeast. However, yeast is used as biocatalyst more often because it multiplies more easily and its growth is easier to control. The yeast used in the ethanol fermentation process is *Schizosaccharomyces pombe*. The problem

frequently faced in the ethanol fermentation process is separation of the product from the yeast. The immobilized cell method is considered to solve this problem and the use of pumice as immobilizing media can be an alternative.

The aim of this research is to determine the ethanol concentration, the ethanol productivity as well as the yield ethanol produced in glucose fermentation by continue method with *Schizosaccharomyces pombe* yeast and the use of pumice as the cell binding media in the fixed bed condition. The experiment varied the size of the pumice from 0,75"/0,5", 0,5"/0,375, 0,25"/0,125". The fermentation was done in anaerobic condition in the temperature 34 °C, pH = 4.5, glucose concentration 150 g/L, retention time substrat 48 hours and total height of biocatalyst 135 cm. Based on concentration and yield ethanol, the best condition in this experiment occurred in the pumice side 0,25"/0,125" which produced ethanol concentration 28,80 g/L and yield ethanol was 0,678.

Keywords: Ethanol, Fermentation, Immobilized cell, Pumice, Bioreactor tower.

Pendahuluan

Etanol atau ethyl alcohol (C₂H₅OH) termasuk kelompok *hidroksil* yang memberikan polaritas pada molekul dan mengakibatkan meningkatnya ikatan hidrogen intermolekuler. Etanol ini merupakan cairan yang mudah menguap, mudah terbakar, jernih, dan tidak berwarna. Etanol memiliki massa jenis 0.7893 g/mL. Titik didih etanol pada tekanan atmosfer adalah 78.32 °C. Indeks bias dan viskositas pada temperatur 20 °C adalah 1.36143 dan 1.17 cP (Kirk dan Othmer, 1965). Etanol digunakan pada berbagai produk meliputi campuran bahan bakar, produk minuman, penambah rasa, industri farmasi, dan bahan-bahan kimia.

Dalam proses pembuatannya, etanol dapat diproduksi dengan 2 cara, yaitu secara sintetik melalui reaksi kimia dan fermentasi. Proses fermentasi etanol dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu secara curah (*batch*) dan sinambung (*continue*). Kedua metode tersebut memiliki kekurangan dan kelebihan. Kelebihan dari proses curah antara lain mudah dilakukan, resiko kerugian cukup rendah dan lebih mudah dalam pengontrolan bahan baku, tetapi kekurangannya membutuhkan waktu yang cukup lama dalam proses fermentasi. Sedangkan untuk proses sinambung kelebihannya, waktu yang diperlukan relatif lebih singkat, hasil yang didapat lebih banyak, dan kerugiannya mudah terkontaminasi (terjadinya mutasi atau adanya mikroorganisme lain) dan lebih sulit dalam mengatur laju fermentasinya.

Faktor-faktor penting yang dapat mempengaruhi kualitas dan kuantitas produksi etanol secara fermentasi, antara lain pemilihan jenis mikroorganisme yang akan digunakan, teknik pemisahan produk dari mikroorganisme, pemilihan proses fermentasi dan jenis fermentor yang digunakan.

Mikroorganisme merupakan salah satu faktor yang sangat berperan dalam fermentasi

etanol. Hal ini disebabkan karena mikroorganisme berfungsi sebagai biokatalis. Mikroorganisme yang biasa digunakan dalam proses fermentasi ada 2 jenis, yaitu bakteri dan ragi. Namun dalam hal ini ragi lebih sering digunakan dalam proses fermentasi, karena ragi lebih mudah dikembangkan, lebih mudah dikontrol pertumbuhannya dan dapat menghasilkan etanol dengan konsentrasi yang tinggi. Salah satu jenis ragi yang dapat digunakan adalah *Schizosaccharomyces pombe*.

Jenis fermentor yang sering digunakan dalam proses fermentasi yaitu tubular fermentor. Tubular fermentor ini terdiri dari dua jenis yaitu *fluidized bed reactor* dan *fixed bed reactor*. Permasalahan yang timbul dari *fluidized bed reactor* adalah adanya agitasi berat yang terjadi akibat kerusakan dari katalis dan terbentuknya debu. Sedangkan masalah yang timbul pada *fixed bed reactor* adalah sering terjadinya gradien panas yang tidak diinginkan, sulit dalam pengontrolan suhu dan sulit untuk dibersihkan atau diperbaiki.

Salah satu permasalahan yang biasa timbul adalah sulitnya pemisahan produk dari ragi yang digunakan. Untuk menangani masalah tersebut, maka dapat digunakan cara penambatan ragi pada suatu media penambat (*Immobilized cell*), yakni suatu teknik peningkatan sel bebas pada suatu penambat yang ukurannya lebih besar daripada sel sehingga sel tersebut tidak dapat bergerak.

Dalam proses ini digunakan batu apung sebagai media penambat karena memiliki porositas yang cukup besar. Selain itu kemungkinan terjadinya reaksi yang dapat menghambat proses fermentasi kecil karena peran batu apung disini hanya untuk menambatkan ragi di permukaannya.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kondisi terbaik yang dapat dilihat dari nilai konsentrasi dan perolehan etanol dari kondisi percobaan yaitu variasi ukuran batu

apung, yang dihasilkan dari proses fermentasi secara sinambung menggunakan *Schizosaccharomyces pombe* yang ditambatkan pada batu apung dengan bioreaktor menara unggun diam

Metodologi Penelitian

Pendekatan Percobaan

Proses pembuatan etanol dari fermentasi glukosa ini dilakukan secara sinambung dalam *Bioreaktor Tower.Fixed Bed*. Mikroorganisme (ragi) yang digunakan adalah *Schizosaccharomyces pombe* yang ditambatkan (*immobilized cell*).

Bahan penambat yang digunakan dalam proses ini adalah batu apung dengan menggunakan metode adsorpsi. Alasan pemilihan batu apung sebagai media penambat yang digunakan dalam teknik penambatan sel ini, karena porositas yang dimiliki batu apung yang cukup besar sehingga diharapkan mudahnya mengadsorpsi ragi.

Pada penelitian ini variabel yang dianggap tetap adalah:

1. Temperatur fermentasi 34 °C
2. Waktu tinggal substrat 2 hari
3. Konsentrasi glukosa 150 gr/L, dan
4. pH fermentasi 4,5
5. Tinggi hamparan 135 cm

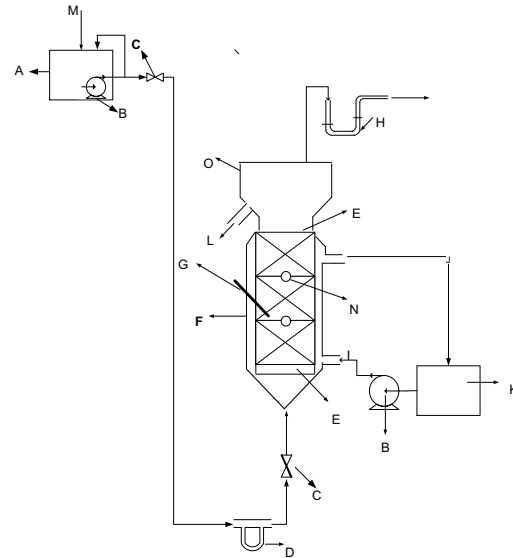
sedangkan variabel yang berubah pada penelitian ini adalah:

1. Ukuran batu apung (0.75"/0. 5", 0. 5"/0.375", 0.25"/0.125").

Peralatan percobaan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu:

1. Peralatan utama, digunakan untuk melangsungkan proses fermentasi etanol secara sinambung, dan
2. Peralatan pendukung, digunakan dalam persiapan pelaksanaan fermentasi serta analisis.



Gambar 1 Skema Alat *Bioreaktor Tower.Fixed Bed* Sel Tertambat Proses Sinambung

Keterangan Gambar :

- | | |
|------------------------------|----------------------------|
| A. Tangki penampung substrat | L. Keluaran produk |
| B. Pompa | M. Substrat masuk |
| C. Kerangan | N. <i>Sample port</i> |
| D. <i>Orificemeter</i> | O. <i>Bioreaktor Tower</i> |
| E. <i>Screen support</i> | |
| F. Jaket pemanas | |
| G. Termometer | |
| H. Leher angsa | |
| I. Inlet air pemanas | |
| J. Outlet air pemanas | |
| K. <i>Water bath</i> | |

Bahan

Bahan bahan yang yang digunakan,yaitu:

1. Glukosa,
2. Ragi *Schizosaccharomyces pombe*,
3. Batu apung

Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap yaitu:

1. Tahap pendahuluan, dan
2. Tahap pembentukan produk etanol (fermentasi secara anaerob).

Tahap Pendahuluan

Tahap pendahuluan ini dilakukan dalam beberapa kegiatan kerja:

1. Pertumbuhan secara *batch*
2. Pertumbuhan inokulum.
3. Penambatan sel

Analisis

Analisis yang perlu dilakukan dalam penelitian ini adalah analisis konsentrasi glukosa (analisis Somogyi-Nelson), Jumlah sel

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pengaruh Variasi Ukuran Batu Apung terhadap Laju Alir Substrat dan Jumlah Sel Tertambat

Proses fermentasi etanol pada penelitian ini, sel ditambatkan pada media penambat berupa batu apung dengan kondisi hamparan tetap (*fixed bed*). Dalam pelaksanaannya, batu apung menjadi variabel yang divariasikan ukurannya. Karena tinggi hamparan serta waktu tinggal substrat di dalam reaktor diinginkan tetap, ukuran batu apung akan mempengaruhi laju alir substrat. Ukuran batu apung akan mempengaruhi porositas batu apung di dalam reaktor sehingga laju alir substratnya akan berubah. Tinggi hamparan yang diinginkan adalah 135 cm, dengan waktu tinggal (waktu fermentasi) 2 hari (48 jam), ukuran volume reaktor dalam keadaan kosong adalah 5120 mL. Volume reaktor ini akan berubah setelah batu apung ditempatkan di dalamnya, tergantung ukuran dan porositas hamparan batu apung. Untuk mendapatkan laju alir umpan yang sesuai dengan waktu tinggalnya perlu dilakukan percobaan pendahuluan. Dari percobaan pendahuluan didapatkan laju alir umpan yang berbeda-beda untuk setiap variasi ukuran batu apung yang ditunjukkan pada Tabel 1. Laju alir ini ditentukan berdasarkan ketinggian hamparan yang sama. Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa dengan semakin kecilnya ukuran batu apung maka laju alir umpan yang dibutuhkan semakin kecil, hal ini dikarenakan dengan semakin kecilnya ukuran batu apung maka batu apung yang menempati ruang kosong di dalam reaktor akan semakin padat, dengan kata lain porositas hamparan batu apung semakin kecil. Kondisi ini menyebabkan volume larutan yang dapat mengisi reaktor pun akan semakin kecil. Kondisi ini akan menyesuaikan dengan variabel tetap yaitu waktu tinggal (waktu fermentasi) 2 hari (48 jam), sehingga didapatkan laju alir umpan/substrat akan semakin kecil. Ukuran batu apung juga mempengaruhi jumlah sel yang tertambat. Ukuran batu apung akan mempengaruhi besarnya luas permukaan yang dapat digunakan untuk penambatan sel. Semakin kecil ukuran batu apung, semakin besar luas permukaan penambatan yang tersedia sehingga sel yang tertambat akan meningkat jumlahnya.

(*Counting Chamber*), dan konsentrasi etanol (Refraktometri).

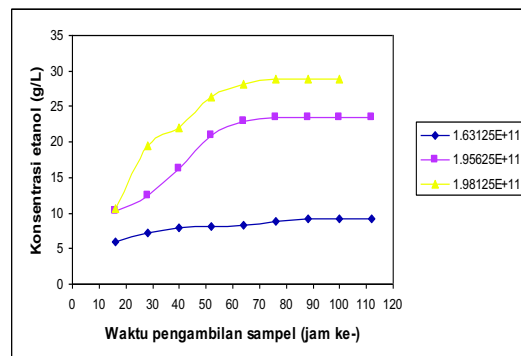
Tabel 1 Laju Alir Umpan dan Jumlah Sel Tertambat Untuk Berbagai Ukuran Batu Apung

Ukuran Batu apung	Laju Alir Substrat (ml/menit)	Jumlah Sel Tertambat
0.75"/0.5"	1.3	1.63125E+11
0.5"/0.375"	1.2	1.95625E+11
0.25"/0.125"	1	1.98125E+11

Faktor lain yang dapat mempengaruhi banyaknya jumlah sel tertambat pada batu apung yaitu faktor waktu penambatan. Proses penambatan pada penelitian ini dilakukan selama 3 jam dengan metode adsorpsi, ada kemungkinan jika waktu yang digunakan untuk penambatan ditambah jumlah sel yang tertambat juga akan menjadi lebih banyak.

Pengaruh Jumlah Sel Tertambat terhadap Konsentrasi Etanol pada Waktu Fermentasi 48 Jam

Ukuran batu apung akan berpengaruh kepada jumlah sel yang tertambat serta laju alir substrat seperti yang telah dijelaskan dalam penjelasan di atas. Jumlah sel tertambat akan berpengaruh langsung pada produksi etanol yang dihasilkan. Semakin banyak sel yang tertambat maka etanol yang dihasilkan juga akan semakin tinggi, hal ini dapat terlihat pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2 Kurva Hubungan Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Konsentrasi Etanol pada Waktu Fermentasi 48 jam dengan Variasi Jumlah Sel

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa konsentrasi etanol yang dihasilkan semakin meningkat. Jumlah sel tertambat akan berpengaruh langsung pada produksi etanol yang dihasilkan. Semakin banyak sel yang tertambat maka etanol yang dihasilkan juga akan semakin tinggi. Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa makin kecil ukuran batu apung maka makin banyak sel yang dapat tertambat pada media dan akan menghasilkan enzim yang lebih banyak sehingga kemampuan untuk mengubah glukosa menjadi etanol pun lebih baik. Banyaknya enzim yang dihasilkan akan digunakan untuk mengkonversi substrat menjadi etanol sehingga konsentrasi etanol yang dihasilkan semakin besar yang dapat terlihat pada Gambar 2.

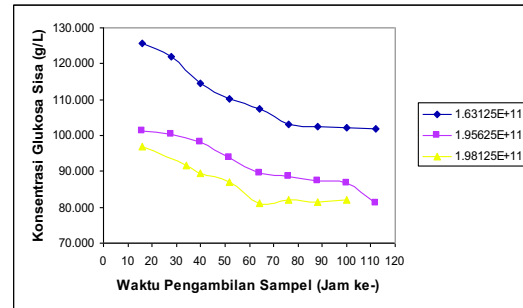
Pada Gambar 2 dapat terlihat juga bahwa waktu untuk mencapai kondisi steady juga terdapat perbedaan. Keadaan steady adalah kondisi pada saat konsentrasi etanol yang dihasilkan telah mencapai kestabilan setelah jangka waktu tertentu. Untuk jumlah sel tertambat yang lebih besar waktu yang dibutuhkan untuk mencapai steady akan lebih cepat. Dapat dilihat untuk jumlah sel 1.63×10^{11} kondisi steady tercapai pada jam ke-88 setelah run dimulai, untuk jumlah sel 1.956×10^{11} dan 1.98×10^{11} mencapai steady pada jam ke-76. Kondisi steady untuk jumlah sel 1.956×10^{11} dan 1.98×10^{11} dicapai pada waktu yang sama, seharusnya melihat kecenderungan yang ada dengan jumlah sel tertambat yang lebih banyak waktunya akan lebih cepat. Kondisi ini dapat disebabkan rentang waktu pengambilan sampel yang terlalu panjang, hal ini mengindikasikan kemungkinan kondisi steady tercapai sebelum waktu pengambilan sampel. Semakin banyak jumlah sel yang tertambat laju fermentasi glukosa menjadi etanol akan meningkat sehingga keadaan steady akan lebih cepat tercapai.

Pengaruh Jumlah Sel Tertambat terhadap Konsentrasi Substrat Glukosa pada Waktu Fermentasi 48 Jam

Penelitian ini menggunakan glukosa sebagai substrat yang akan dikonversi menjadi etanol. Glukosa yang digunakan adalah glukosa teknis dengan konsentrasi 150 gr/liter. karena yang digunakan adalah glukosa teknis, konsentrasi sebenarnya dari substrat tidak tepat 150 gr/liter. Setelah dilakukan analisis Somogyi-Nelson, konsentrasi glukosa substrat sebenarnya adalah 139.46 gram/liter.

Glukosa yang dimasukkan ke dalam reaktor akan terkonversi menjadi etanol oleh enzim yang dihasilkan dari ragi

Schizosaccharomyces pombe. Selain terkonversi menjadi etanol, glukosa pun berfungsi sebagai bahan makanan bagi ragi untuk mempertahankan hidupnya. Seiring berjalannya waktu, konsentrasi glukosa akan berkurang sejalan dengan bertambahnya konsentrasi etanol yang terbentuk. Hal ini dapat terlihat pada Gambar 3.

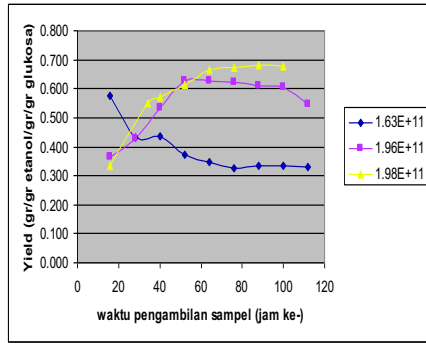


Gambar 3 Kurva Hubungan Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Konsentrasi Glukosa Sisa pada Waktu Fermentasi 48 jam dengan Variasi Jumlah Sel

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa konsentrasi glukosa yang tersisa semakin kecil dengan semakin banyaknya jumlah sel tertambat yang digunakan untuk waktu fermentasi yang sama. Jumlah sel tertambat akan berpengaruh langsung pada produksi etanol yang dihasilkan. Semakin banyak sel yang tertambat maka glukosa yang terkonversi menjadi etanol dan yang terkonsumsi untuk bertahan hidup oleh ragi akan semakin meningkat dan sisa glukosa yang tidak terkonversi pada aliran produk akan semakin kecil. Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa makin banyak sel yang dapat tertambat pada media akan menghasilkan enzim yang lebih banyak, sehingga kemampuan untuk mengubah glukosa menjadi etanol pun lebih banyak. Banyaknya enzim yang dihasilkan akan digunakan untuk mengkonversi substrat menjadi etanol sehingga konsentrasi glukosa yang tersisa semakin kecil. Berkurangnya glukosa di dalam bioreaktor tidak hanya akibat dari terkonversi menjadi etanol tetapi juga karena sebagian kecil terkonsumsi untuk mempertahankan hidup ragi.

Pengaruh Jumlah Sel Tertambat terhadap Yield

Yield yang dihasilkan dari proses fermentasi sinambung dengan fermentor sel tertambat dengan jumlah sel tertambat yang berbeda, dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Kurva Hubungan Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Yield Etanol pada Waktu Fermentasi 48 jam dengan Variasi Jumlah Sel

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa nilai yield etanol mengalami penurunan terhadap waktu fermentasi untuk jumlah sel yang sama, atau mengalami kenaikan pada awalnya lalu mengalami penurunan. Penurunan nilai yield etanol ini terlihat dari data pada Gambar 2 dan Gambar 3 dimana semakin lama waktu fermentasi untuk jumlah sel tertambat yang sama, glukosa yang terkonsumsi semakin besar tetapi etanol yang dihasilkan jumlahnya kecil walaupun mengalami kenaikan dengan semakin lamanya waktu fermentasi, hal ini dapat disebabkan karena semakin lamanya waktu fermentasi maka substrat yang terkonsumsi oleh sel ragi tidak seluruhnya dikonversi menjadi etanol melainkan ada sebagian yang digunakan oleh sel ragi untuk mempertahankan hidupnya, sehingga kenaikan konsentrasi etanol yang dihasilkan menjadi lebih kecil yang berpengaruh pada yield etanol. Jika melihat lagi antara rasio pengurangan glukosa terhadap penambahan konsentrasi etanol yang kurang seimbang setelah waktu pengambilan sampel lebih dari 48 jam terjadi kemungkinan adanya reproduksi sel di dalam bioreactor sehingga konsumsi glukosa meningkat.

Dilihat dari jumlah sel tertambat yang berbeda terdapat perbedaan waktu penurunan yield. Waktu yang dibutuhkan saat terjadi penurunan yield ini bisa berbeda karena pada jumlah sel yang lebih sedikit akan menghasilkan enzim lebih sedikit untuk mengkonversi glukosa menjadi etanol, tetapi persaingan untuk penyediaan makanan tidak begitu berarti sehingga glukosa yang ada lebih banyak dihabiskan untuk bertahan hidup dibandingkan untuk dikonversi menjadi etanol. Untuk jumlah sel lebih banyak akan menghasilkan enzim yang lebih banyak dan menghasilkan etanol lebih besar dibandingkan yang digunakan untuk

dikonsumsi dan bertahan hidup. Dengan keadaan ini maka etanol yang dihasilkan akan lebih besar dibandingkan dengan pengurangan konsentrasi glukosa sehingga pada keadaan awal yieldnya mengalami kenaikan baru kemudian mengalami penurunan yield karena kenaikan konsentrasi etanol yang tidak sebanding dengan konsumsi glukosa oleh ragi.

Seperti terlihat pada Gambar 2 dan Gambar 3 nilai konsentrasi glukosa berbanding terbalik dengan nilai konsentrasi etanol. Semakin lamanya waktu fermentasi konsentrasi glukosa semakin menurun sedangkan konsentrasi etanol semakin meningkat. Semakin banyaknya substrat yang dikonversi menjadi produk etanol maka konsentrasi substrat (glukosa) semakin berkurang dan konsentrasi etanol semakin meningkat. Hal ini terjadi karena seiring dengan waktu kontak yang terjadi semakin intens antara ragi dengan substrat sehingga pengkonversian glukosa menjadi etanol meningkat pula.

Untuk jumlah sel tertambat yang berbeda, semakin banyaknya sel yang digunakan yield yang dihasilkan mengalami kenaikan. Hal ini dapat disebabkan ragi yang tertambat, dan terlibat, pada proses fermentasi akan semakin banyak sehingga etanol yang dihasilkan semakin besar. Konsentrasi etanol yang meningkat pasti disertai dengan pengurangan konsentrasi glukosa yang meningkat pula dan menghasilkan nilai yield yang lebih tinggi.

Pengaruh Variasi Ukuran Batu Apung terhadap Jumlah Sel yang Terlepas

Pada percobaan ini, sel ragi *Schizosaccharomyces pombe* ditambat pada batu apung dengan metode adsorpsi. Penambatan sel dilakukan langsung pada batu apung yang telah ditempatkan di dalam bioreaktor tower. Dari hasil analisis yang dilakukan pada 3 sample acak terlihat bahwa masih ada sel yang terbawa serta ke aliran produk.

Jumlah sel ragi yang terlepas pada proses fermentasi secara sinambung dengan fermentor sel tertambat dengan variasi ukuran batu apung dapat di lihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Pengaruh Variasi Ukuran Batu Apung terhadap Jumlah Sel yang Terlepas

Ukuran Batu Apung	Jumlah sel yang terlepas	% jumlah sel yang terlepas (jumlah sel tertambat/jumlah sel terlepas)
0.75"/0.5"	12500000	0.077
0.5"/0.375"	11458333	0.059

Dari Tabel 2 dapat di lihat bahwa makin kecil ukuran batu apung makin sedikit sel yang terlepas. Makin kecil ukuran batu apung luas permukaan adsorpsi juga semakin besar. Proses penambatan pada batu apung yang ukurannya lebih besar memiliki kemungkinan terjadi ikatan antarsel ragi selain ikatan permukaan antara sel ragi dengan batu apung. Ikatan antarsel ragi di permukaan batu apung tidak lebih kuat dibandingkan dengan ikatan antara sel ragi dengan permukaan batu apung sehingga dapat terlepas jika ada aliran yang melewatinya.

Pada batu apung dengan ukuran 0,25"/0.125", sel ragi yang terlepas memiliki jumlah paling banyak. Pada ukuran batu apung ini sel ragi tidak semuanya tertambat dalam batu apung melainkan sebagian terjebak diantara permukaan batu apung satu dengan yang lainnya. Sehingga pada saat pengeluaran sel ragi yang terjebak diantara batu apung tidak ikut keluar. Sedangkan dengan adanya aliran substrat sel ragi yang tertahan (terjebak) diantara batu apung akan ikut terbawa aliran substrat.

Hal lain yang dapat mempengaruhi terlepasnya sel ragi dari media penambat yaitu bentuk konstruksi dari bioreaktor yang digunakan. Proses penambatan sel ragi dilakukan langsung di dalam bioreaktor *fixed bed* yang diletakkan secara vertikal, pada saat proses penambatan mungkin saja terjadi sel yang terendap di bagian bawah bioreaktor akibat gaya gravitasi yang dapat mengakibatkan kurang optimalnya penambatan sel di dalam reactor.

Dari persentase sel yang terlepas dapat dilihat performa batu apung sebagai medium penambat. Walaupun ada sel yang terlepas, namun jika dibandingkan dengan sel yang tertambat, persentasenya sangat kecil. Hal ini dapat menunjukkan bahwa batu apung dapat menjadi medium penambat yang cukup baik hanya dengan metode adsorpsi sel.

Penentuan kondisi Terbaik pada Fermentasi Etanol

Dilihat dari data hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kondisi terbaik pada tiap variasi batu apung yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Penentuan kondisi Terbaik pada Fermentasi Etanol

Variable	ukuran batu apung		
	0,75"/0,5"	0,5"/0,375"	0,25"/0,125"
konsentrasi etanol, g/L	9,15	23,46	28,80
konsentrasi glukosa terkonsumsi, g/L	37,627	58,394	57,339
Produktivitas, g/L.jam	0,191	0,489	0,60
Yield	0,330	0,545	0,678
Jumlah sel tertambat	1,631 x 10 ¹¹	1,956 x 10 ¹¹	1,981 x 10 ¹¹
jumlah sel terlepas	1,25 x 10 ⁸	1,15 x 10 ⁸	2,29 x 10 ⁸

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa kondisi terbaik penelitian ini adalah pada ukuran batu apung 0,25"/0.125". pada ukuran batu apung 0,25"/0.125" menghasilkan nilai konsentrasi etanol, produktivitas dan yield paling tinggi dibandingkan dengan variasi ukuran batu apung yang lainnya. Perolehan tertinggi yang didapat pada ukuran batu apung 0,25"/0.125" selain dari nilai konsentrasi, produktivitas dan yield juga dapat dilihat dari jumlah sel ragi yang tertambat.

Dilihat dari jumlah sel yang terlepas pada ukuran batu apung 0,25"/0.125" menunjukkan hasil yang cukup tinggi dibandingkan variasi batu apung yang lainnya. Untuk jumlah sel terlepas kondisi terbaik didapat pada ukuran batu apung 0,5"/0.375".

Setelah membandingkan dari hasil yang terlampir dalam Tabel 6 maka dapat ditarik kesimpulan bahwa kondisi terbaik terdapat pada ukuran batu apung 0,25"/0,125". Penentuan ini dilihat dari jumlah sel, konsentrasi etanol, produktivitas dan yield yang didapat. Walaupun jumlah sel yang terlepas lebih besar dibandingkan dengan variasi batu apung yang lainnya, tetapi hanya sebagian kecil dari sel yang tertambat yaitu kurang dari 0,1%.

Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Semakin kecil ukuran batu apung, maka jumlah sel yang tertambat semakin banyak.
2. Semakin banyak jumlah sel tertambat yang digunakan pada waktu fermentasi yang sama (48 jam), akan menghasilkan konsentrasi, produktivitas, dan yield etanol yang semakin besar.

3. Semakin banyak jumlah sel tertambat yang digunakan waktu yang di butuhkan untuk mencapai kondisi steady semakin cepat.
4. Substrat glukosa yang digunakan pada proses fermentasi kontinyu tidak hanya terkonversi menjadi etanol tetapi digunakan juga sebagai makanan sel ragi untuk bertahan hidup.
5. Kondisi terbaik pada penelitian ini dilihat dari jumlah sel tertambat, konsentrasi, produktivitas dan yield etanol dicapai pada ukuran batu apung 0,25”/0,125”, berturut-turut $1,981 \times 10^{11}$, 28.80 g/L, 0.60 g/L.jam, dan 0,678.

Pustaka

Bailey, James E. dan David F. Ollis. *Biochemical Engineering Fundamental*, 2nd edition. McGraw-Hill Company, 1986.

Ghose, T. K dan Tyagi. *Rapid Ethanol Fermentation of Cellulose Hydrolysate Batch Versus Continous Systems*. Biotechnology and Bioengineering, volume 21. 1979.

Jones, S.T, et. al. *Ethanol Fermentation in a Continous Tower Fermentor*. Biotechnology and Bioengineering, volume 26. 1984.

McKetta, John J. *Encyclopedia of Chemical Engineering and Design*, volume 19. New York : Marcel Dekker, 1983.

McKetta, John J. *Encyclopedia of Chemical Engineering and Design*, volume 4. New York : Marcel Dekker, 1977.

Othmer, Kirk. *Encyclopedia of Chemical Technology*, volume 10, 5th edition. New Jersey, USA : John Wiley and Sons, 2005.

Perry, Robert H. dan Don Green. *Perry's Chemical Engineer's Handbook*, 6th edition. New York, USA : McGraw-Hill Company, 1988.

Prihandana, Rama, dkk. *Bioetanol Ubi Kayu, Bahan Bakar Masa Depan*. Jakarta : Agromedia Pustaka, 2007.

Tzeng, J.W. *Ethanol Fermentation Using Immobilized in a Multi Stage Fluidized Bed Reactor*. Biotechnology and Bioengineering. 1991.