

PRODUKSI ETANOL SECARA SINAMBUNG DENGAN SEL TERTAMBAT MENGUNAKAN BIOREAKTOR TANGKI BERPENGADUK

Ronny Kurniawan, Salafudin, Hadi Nugraha, Sandi F

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

*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 salah satunya adalah *Schizosacharomyces 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. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan konsentrasi etanol dan yield etanol yang dihasilkan pada proses fermentasi glukosa secara sinambung dalam bioreaktor tangki berpengaduk dengan ragi *Schizosacharomyces pombe* dan menggunakan batu apung sebagai media penambat. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan ukuran batu apung 8/12 mesh, 18/20 mesh dan 35/40 mesh. Proses fermentasi berlangsung dalam kondisi anaerob pada temperatur 34 °C, pH = 4,5, konsentrasi glukosa 150 g/L, waktu tinggal substrat 48 jam dan putaran pengaduk 40 rpm. Melihat dari konsentrasi dan yield yang dihasilkan, didapat kondisi terbaik pada penelitian ini terjadi pada ukuran batu apung 35/40 mesh yang menghasilkan konsentrasi etanol sebesar 29,70 g/L, dan yield sebesar 0,43*

Kata kunci: Etanol, Fermentasi, Immobilized cell, Batu apung

Pendahuluan

Etanol atau ethyl alcohol (C_2H_5OH) termasuk kelompok *hydroksil* 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 dikembangbiakkan, 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* dan fermentor tangki berpengaduk. *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 sedangkan fermentor jenis tangki berpengaduk memiliki kelebihan dari sisi perpindahan panasnya lebih merata dan perpindahan massanya relative lebih baik.

Salah satu permasalahan lain 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 tangki berpengaduk..

Metodologi Penelitian

Pendekatan Percobaan

Proses pembuatan etanol dari fermentasi glukosa ini dilakukan secara sinambung dalam Bioreaktor tangki berpengaduk. 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. putaran pengaduk sebesar 40 rpm

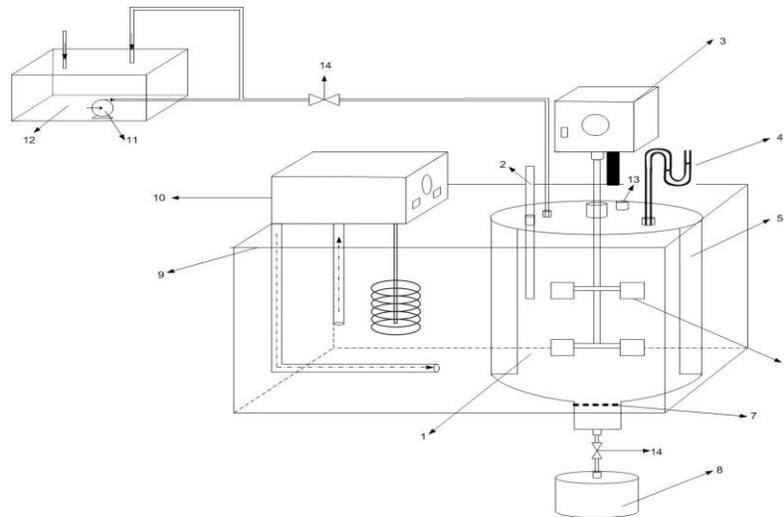
sedangkan variabel yang berubah pada penelitian ini adalah:

1. Ukuran batu apung 8/12 mesh, 18/20 mesh, dan 30/40 mesh.

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 Tangki Berpengaduk Sel Tertambat Proses Sinambung

Keterangan Gambar :

- | | | |
|----------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| 1. Bioreaktor tangki berpengaduk | 7. <i>Screen support</i> | 13. Lubang untuk memasukan batu apung |
| 2. Termometer | 8. Tangki produk | 14. <i>valve</i> |
| 3. Motor pengaduk | 9. <i>Water bath</i> | |
| 4. Leher angsa | 10. <i>Thermostat</i> | |
| 5. <i>Baffle</i> | 11. Pompa | |
| 6. Pengaduk | 12. Tangki substrat | |

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

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pengaruh Variasi Ukuran Batu Apung terhadap Jumlah Sel Tertambat

Proses fermentasi etanol pada penelitian ini, sel ditambatkan pada media penambat berupa batu apung. Dalam pelaksanaannya, jumlah batu apung yang sudah ditentukan sebanyak 400gr dimasukan kedalam bioreaktor dan dijadikan variabel yang divariasikan ukurannya, karena volume serta waktu tinggal substrat di dalam bioreaktor diinginkan tetap. Variasi ukuran batu apung yang digunakan adalah (8/12 , 18/20 dan 35/40) mesh. Pemilihan variasi ukuran batu apung ini berdasarkan pada perbedaan luas penampang dari batu apung yang akan berpengaruh terhadap jumlah sel yang tertambat. Setelah

dimasukan batu apung dengan variasi ukuran tertentu, kemudian ditambahkan substrat atau glukosa ke dalam bioreaktor sebanyak 4000 ml . Volume bioreaktor dalam keadaan kosong adalah 5000 ml dan dioprasikan pada volume 4000 ml dengan waktu tinggal (waktu fermentasi) 2 hari (48jam), kemudian didapatkan laju alir 1,38 ml/mnt.

Proses penambatan sel pada batu apung yang dilakukan dalam bioreaktor ini yaitu dalam keadaan diaduk pelan sebesar 20 rpm. Fungsi pengadukan pada proses penambatan yaitu agar mobilitas sel ragi dan batu apung menjadi lebih optimal sehingga ragi akan lebih mudah teradsorpsi ke permukaan batu apung.

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 seperti terlihat pada Tabel 1.

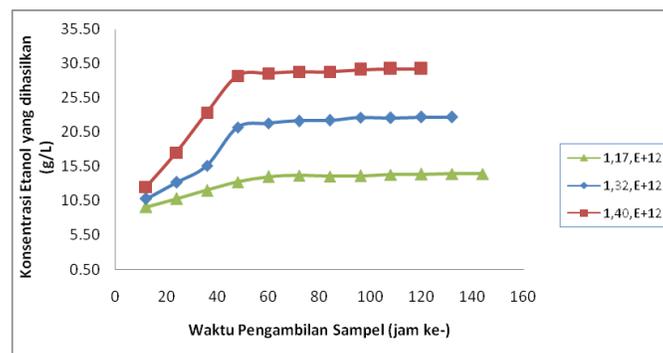
Tabel 1. Jumlah Sel Tertambat Untuk Berbagai Batu Apung

Ukuran Batu Apung	Jumlah Sel Yang Tertambat
8/12 mesh	$1,17 \times 10^{12}$
18/20 mesh	$1,32 \times 10^{12}$
35/40 mesh	$1,40 \times 10^{12}$

Faktor lain yang dapat mempengaruhi banyaknya jumlah sel tertambat pada batu apung yaitu faktor waktu penambatan. Waktu penambatan yang paling baik adalah pada saat sel ragi berada pada fasa stationer yaitu pada jam ke- 13 sampai dengan jam ke-19. Proses penambatan pada penelitian ini dilakukan selama 3 jam pada fasa stationer dengan metode adsorpsi, karena rentan waktu pada fasa stationer hanya 6 jam maka pemilihan waktu 3 jam dirasa sudah cukup. Selebihnya sisa waktu dipakai untuk menyiapkan batu apung dan inokulum sel ragi yang akan ditambatkan. Selain waktu penambatan ada faktor lain yang mungkin dapat mempengaruhi banyaknya jumlah sel, yaitu dengan memvariasikan putaran pengaduk pada saat penambatan.

Pengaruh Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Konsentrasi Etanol Pada Berbagai Variasi Jumlah Sel Tertambat Untuk Waktu Fermentasi 48 Jam

Ukuran batu apung akan berpengaruh kepada jumlah sel yang tertambat serta 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 di bawah ini.



Gambar 2 Pengaruh Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Konsentrasi Etanol Untuk Berbagai Variasi Jumlah Sel Tertambat pada Waktu Fermentasi 48 Jam

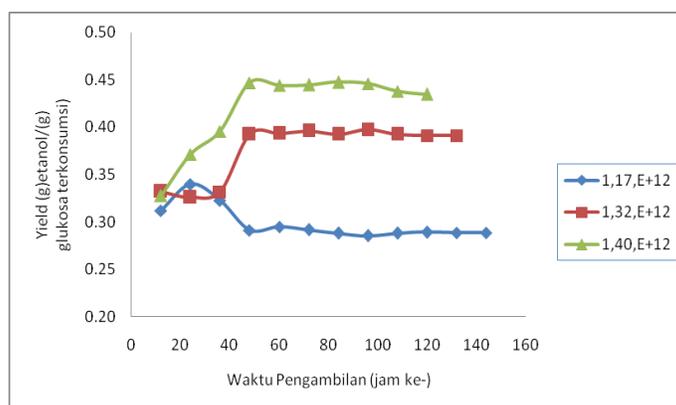
Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa konsentrasi etanol yang dihasilkan semakin meningkat seiring bertambahnya waktu dan kemudian konstan untuk berbagai variasi jumlah sel. Jumlah sel tertambat akan berpengaruh langsung pada produksi etanol yang dihasilkan. Semakin banyak sel yang tertambat maka etanol yang dihasilkan akan semakin tinggi. Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa semakin kecil ukuran batu apung maka semakin banyak sel yang dapat tertambat pada media dan akan menghasilkan enzim yang lebih

banyak. Enzim yang dihasilkan oleh sel ini berfungsi untuk mengkonversi glukosa menjadi etanol, maka dengan semakin banyaknya enzim yang dihasilkan semakin banyak pula glukosa yang akan terkonversi menjadi etanol seperti terlihat pada Gambar 2.

Dari Gambar 2 dapat terlihat juga bahwa waktu untuk mencapai kondisi steady 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 banyak waktu yang dibutuhkan untuk mencapai steady akan lebih cepat, karena semakin banyak jumlah sel yang tertambat berpengaruh terhadap laju fermentasi glukosa menjadi etanol meningkat, sehingga keadaan steady akan lebih cepat tercapai. Dapat dilihat untuk jumlah sel $1,17 \times 10^{12}$ mencapai steady pada jam ke-132, untuk jumlah sel $1,32 \times 10^{12}$ mencapai steady pada jam ke-120 dan untuk jumlah sel $1,40 \times 10^{12}$ mencapai steady pada jam ke-108 setelah run dimulai. Hasil ini membuktikan adanya hubungan antara jumlah sel tertambat dengan kondisi steady.

Pengaruh Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Yield

Yield yang dihasilkan dari proses fermentasi sinambung dalam bioreaktor sel tertambat dengan jumlah sel tertambat yang berbeda, dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 4.3 Pengaruh Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Yield Pada Variasi Jumlah Sel Tertambat Untuk Waktu Fermentasi 48 jam

Yield yang dihasilkan pada penelitian ini adalah membandingkan antara berat etanol yang dihasilkan terhadap glukosa terkonsumsi dengan pengertian tidak semua glukosa yang terkonsumsi dikonversikan menjadi etanol. Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa nilai yield etanol cenderung mengalami penurunan terhadap waktu fermentasi untuk jumlah sel yang tetap, atau mengalami kenaikan pada awalnya lalu mengalami penurunan. Penurunan nilai yield etanol ini terlihat dimana semakin lama waktu fermentasi untuk jumlah sel tertambat yang tetap, glukosa yang terkonsumsi semakin besar tetapi etanol yang dihasilkan jumlahnya tidak terlalu besar 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 bioreaktor 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.

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

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 Tertambat	Jumlah Sel yang Terlepas	% jumlah sel yang terlepas (jumlah sel terlepas/jumlah sel tertambat)
8/12 mesh	$1,17 \times 10^{12}$	$2,30 \times 10^{11}$	19,60
18/20 mesh	$1,32 \times 10^{12}$	$2,46 \times 10^{11}$	18,60
35/40 mesh	$1,40 \times 10^{12}$	$2,54 \times 10^{11}$	18,10

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa jumlah sel yang terlepas semakin banyak dengan mengecilnya ukuran batu apung. Banyaknya sel ragi yang terlepas bisa disebabkan karena pada awal penambatan sel ragi yang ditambatkan pada batu apung kemungkinan ada yang tidak tertambat dan ada pula yang tidak terbuang. Adapun faktor lain yang bisa menyebabkan sel ragi terlepas dari permukaan batu apung yaitu pada saat penambatan terjadi gangguan dari pengadukan yang dapat mempengaruhi pada proses penambatan menjadi lebih banyak atau bahkan sel ragi yang sudah tertambat pada permukaan batu apung akan terlepas kembali. Pada setiap ukuran batu apung memiliki luas permukaan adsorpsi yang berbeda-beda dan akan mempengaruhi dari banyaknya jumlah sel yang tertambat dan terlepas. Semakin kecil ukuran batu apung luas permukaan adsorpsi akan semakin besar sehingga berpengaruh terhadap peningkatan jumlah sel yang tertambat dan terlepas.

Dari persentase sel yang terlepas dapat dilihat performa batu apung sebagai medium penambat. Sel yang ditambatkan pada batu apung cukup banyak yang terlepas, namun jika dibandingkan dengan sel yang tertambat, persentasenya lumayan kecil (<20%). Hal ini dapat menunjukkan bahwa batu apung dapat menjadi medium penambat yang cukup baik dengan metode adsorpsi sel.

Kesimpulan

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), menghasilkan konsentrasi, dan yield etanol semakin besar.
3. Semakin banyak jumlah sel tertambat yang digunakan, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi steady semakin cepat.
4. Kondisi terbaik pada penelitian ini dilihat dari jumlah sel tertambat, konsentrasi, dan yield etanol yang diperoleh yaitu pada ukuran batu apung 35/40 mesh dengan jumlah sel tertambat sebanyak $1,40 \times 10^{12}$, konsentrasi etanol sebesar 29,70 dan yield yang diperoleh sebesar 0,43.

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.

Gita dan Vinny . *Pengaruh pH Substrat dan Temperatur Fermentasi Terhadap Produksi Etanol Dengan Schizosaccharomyces pombe dan Batu Apung Sebagai Media Penambat*, ITENAS. 2006.

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

Klein, J., K. D. Vorlop. 1985. *Immobilized Techniques Cells*, Comprehensive Biotechnology, vol 4, Pergamon Press, California.

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

Taufiq dan Indri . *Produksi Etanol Melalui Proses Fermentasi Batch Dari Glukosa Menggunakan Schizosaccharomyces pombe dengan immobilized cell dan Batu Apung Sebagai Media Penambat*, ITENAS, 2006



SEMINAR REKAYASA KIMIA DAN PROSES, 4-5 Agustus 2010
ISSN : 1411-4216