



Produksi Etanol Secara *Continue* dengan Sel Tertambat Menggunakan *Bioreactor Tower Fluidized Bed*

Ronny Kurniawan, S.Juhanda, Melati Septiyanti, Yuditha Resgiaty

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri Itenas Bandung
Jl. PHH. Mustafa No 23 Bandung 40132, Telp (022)7272215 Fax (022)7202892
E-mail: Kurniawan_Itenas@yahoo.co.id

Abstract

The need of ethanol in Indonesia increases each year because of its wide use. One of its use is, as fuel additives which comes from renewable material. Ethanol industry that has been developing is the ethanol which is produced from fermentation process (bioethanol). Ethanol or ethyl alcohol (C_2H_5OH) is organic compound which is very important in chemical industry and it has many benefits in human life. Thus, we need the innovation of ethanol fermentation technology which can produce the ethanol with good quality and quantity. There are two processes of ethanol production, chemical synthesis and fermentation. The difficulty in fermentation process is the separation between product and microorganism. Immobilized cell method considered to solve that problem and the use of volcanic stone as immobilized media can be an alternative. Fermentation process can be done by using bioreactor tower, fixed bed or fluidized bed. Fermentation process by using fluidized bed has some advantages. The advantages are the immobilized cell has a dynamic characteristic which allows more contact with substrate and better heat transfer. The purposes of this research are to decide the best condition by analyzing ethanol concentration and yield of ethanol production from glucose fermentation continuously in bioreactor tower fluidized bed and use *Schizosacharomyces pombe* with immobilized cell method with volcanic stone as immobilized media. This research will use many varieties, size of volcanic stone, these are 8/12, 18/20 and 30/40 mesh and the time of fermentation is 2 day. Fermentation process will be in the anaerob condition with the temperature $34^\circ C$, pH 4,5 and 150 g/L glucose concentration. Retention time substrat 48 hours and total height of biocatalyst 20 cm. based on concentration, productivity, and yield ethanol, the best condition in this experiment occurred in the pumice side 30/40 mesh which produced ethanol concentration 16,41%v/v, ethanol productivity was 2,715 g/L.hour, and % yield ethanol was 4,3.

Keywords: Ethanol, Fermentation, Immobilized cell, Volcanic stone, Bioreactor Tower Fluidized Bed

Pendahuluan

Etanol atau ethyl alcohol (C_2H_5OH) 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 $78.32^\circ C$. Indeks bias dan viskositas pada temperatur $20^\circ C$ 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 *batch* dan *continue*. Kedua metode tersebut memiliki kekurangan dan kelebihan. Kelebihan dari proses *batch* 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 *continue* kelebihan, 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 (Purnama Dita Indah dan Nanda Rusyda Saufa, 2009).

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* (Febriningrum, 2000)

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* (McKetta, John J, 1977). Permasalahan yang timbul pada *fixed bed reactor* adalah sering terjadinya gradien panas yang tidak diinginkan, sulit dalam pengontrolan suhu dan sulit untuk dibersihkan atau diperbaiki, *fluidized bed reactor* adalah adanya agitasi berat yang terjadi akibat kerusakan dari katalis dan terbentuknya debu. Namun, *Fluidized bed* mempunyai keuntungan yaitu, pencampurannya dapat terjadi dengan baik, temperaturnya konstan disetiap bagian reaktor, katalisnya dapat diperbaharui secara terus menerus (McKetta, John J, 1983).

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 (Tzeng, J. W, et. Al, 1991).

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 *continue* menggunakan *Schizosaccharomyces pombe* yang ditambatkan pada batu apung dengan *bioreactor tower fluidized bed*.

Metodologi Penelitian

Pendekatan Percobaan

Proses pembuatan etanol dari fermentasi glukosa ini dilakukan secara *continue* dalam *Bioreactor tower fluidized 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 parameter penelitiannya adalah:

1. Konsentrasi glukosa, 150 g/L
2. Temperatur, 34°C
3. pH, 4,5
4. Tinggi batu apung, 20 cm
5. Tinggi unggun, 118 cm
6. Laju alir substrat, 1,8 mL/menit
7. Laju sirkulasi pada setiap ukuran batu apung

8/12 mesh	: 473,18 mL/menit
18/20 mesh	: 806,45 mL/menit
30/40	: 1094,89 mL/menit

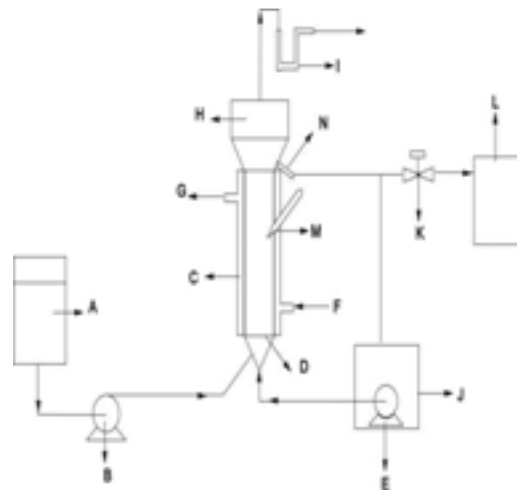
sedangkan variabel penelitian ini adalah:

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 *continue*, dan
2. Peralatan pendukung, digunakan dalam persiapan pelaksanaan fermentasi serta analisis.



Gambar 1. Skema Alat Bioreactor Tower Fluidized Bed Proses Continue

Keterangan gambar :

- A. Tangki penampung substrat
- B. Dosing pump
- C. Jacket pemanas
- D. Screen support
- E. Pompa sirkulasi
- F. Inlet air pemanas

- G. Outlet air pemanas
- H. Bioreaktor tower
- I. Leher angsa
- J. Tangki recycle
- K. Kerangan
- L. Tangki produk
- M. Thermometer
- N. Outlet produk



Gambar 2. Photo Alat Bioreaktor Tower Fluidized Bed Proses Continue

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

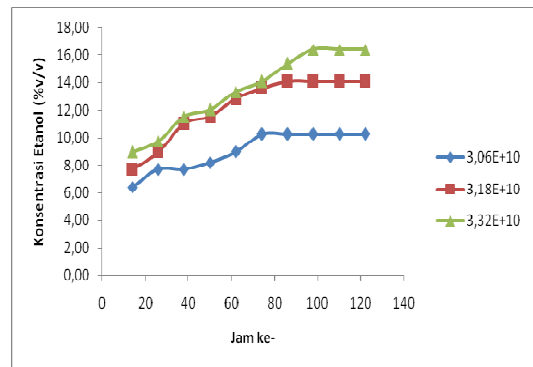
Analisis

Analisis yang perlu dilakukan dalam penelitian ini adalah analisis konsentrasi glukosa (analisis Somogyi-Nelson), Jumlah sel (*Counting Chamber*), dan konsentrasi etanol (Refraktometri).

Hasil Penelitian dan Pembahasan

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

Ukuran batu apung akan berpengaruh kepada jumlah sel yang tertambat. Jumlah sel tertambat akan berpengaruh langsung pada konsentrasi etanol yang dihasilkan. Semakin banyak sel yang tertambat maka semakin tinggi konsentrasi etanol yang dihasilkan, hal ini dapat dilihat pada Gambar 3



Gambar 3 Kurva Hubungan Konsentrasi Etanol Terhadap Waktu Pengambilan Sampel Etanol pada Waktu Fermentasi 48 Jam dengan Variasi Jumlah Sel pada Keadaan Awal

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa konsentrasi etanol yang dihasilkan semakin meningkat. Jumlah sel tertambat akan berpengaruh langsung pada konsentrasi etanol yang dihasilkan. Semakin banyak sel yang tertambat maka konsentrasi etanol yang dihasilkan juga akan semakin tinggi. Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa semakin kecil ukuran batu apung maka semakin banyak sel yang dapat tertambat pada media dan akan menghasilkan enzim yang lebih banyak sehingga kemampuan untuk mengubah glukosa menjadi etanol pun lebih banyak. Banyaknya enzim yang dihasilkan mengakibatkan konsentrasi etanol yang diperoleh semakin tinggi (Bailey, James E. dan David F. Ollis, 1986).

Laju alir *recycle* pun berpengaruh terhadap konsentrasi etanol. Semakin besar laju *recycle* maka konsentrasi etanol yang dihasilkan semakin besar hal ini disebabkan semakin besar laju alir *recycle* maka intensitas kontak antara substrat dengan mikroorganismenya dalam hal ini ragi akan semakin sering terjadi. Dengan intensitas kontak yang sering ini maka memungkinkan terkonversinya glukosa menjadi etanol dengan konsentrasi yang lebih tinggi.

Konsentrasi etanol juga meningkat seiring berjalannya waktu fermentasi karena semakin lama waktu fermentasi maka aktivitas ragi semakin tinggi

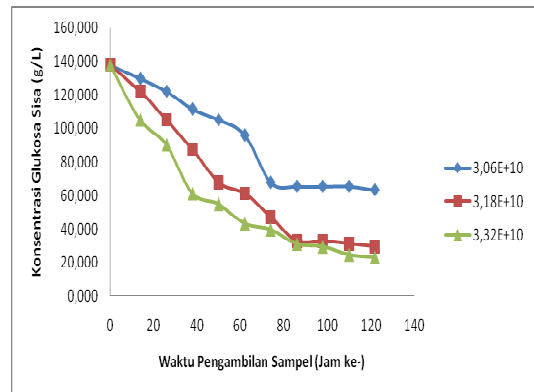
dalam mengonversi glukosa menjadi etanol. Namun pada titik tertentu akan tercapai keseimbangan antara laju substrat dengan aktivitas ragi dalam *bioreactor* sehingga konsentrasi etanol yang dihasilkan tetap. Kondisi ini dapat dikatakan telah mencapai *steady state* (Bailey, James E. dan David F. Ollis, 1986).

Keadaan *steady state* adalah sebuah kondisi dalam keadaan stabil yaitu memiliki banyak sifat yang tidak berubah terhadap waktu. Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa waktu untuk mencapai kondisi *steady state* berbeda-beda. Dalam hal ini pada laju alir masuk dan keluar yang sama jumlah ragi yang hidup di dalam *bioreactor* sama dengan jumlah ragi yang mati sehingga enzim yang dihasilkan pun akan relatif tetap yang mengakibatkan tidak lagi terjadi perubahan terhadap konsentrasi etanol yang dihasilkan. Untuk jumlah sel tertambat yang lebih besar waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *steady state* akan lebih lambat. Dapat dilihat untuk jumlah sel $3,06E+10$ kondisi *steady state* tercapai pada jam ke 74 setelah run dimulai, untuk jumlah sel $3,18E+10$ kondisi *steady state* tercapai pada jam ke 86 setelah run dimulai, dan untuk jumlah sel $3,32E+10$ kondisi *steady state* tercapai pada jam ke 98 setelah run dimulai. Kondisi ini disebabkan oleh jumlah ragi yang semakin banyak akan mengonversikan glukosa menjadi etanol dengan konsentrasi yang lebih tinggi dalam jangka waktu yang lebih lama akibat aktivitas ragi yang tinggi.

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 memiliki konsentrasi 150 g/L. Setelah dilakukan analisis Somogyi-Nelson, konsentrasi glukosa yang sebenarnya adalah 137,698 g/L karena glukosa yang digunakan adalah glukosa teknis yang masih mengandung pengotor.

Glukosa yang dimasukkan ke dalam *bioreactor* 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 dan bereproduksi (Bailey, James E. dan David F. Ollis, 1986). Seiring berjalannya waktu, konsentrasi glukosa akan berkurang sejalan dengan bertambahnya konsentrasi etanol yang terbentuk. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4



Gambar 4 Hubungan Konsentrasi Glukosa Sisa Terhadap Waktu Pengambilan Sampel pada Waktu Fermentasi 48 Jam dengan Variasi Jumlah Sel pada Keadaan Awal

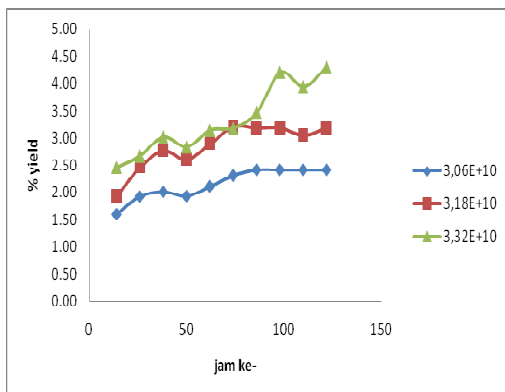
Pada Gambar 4 dapat dilihat konsentrasi glukosa semakin menurun seiring waktu fermentasi berlangsung dan semakin banyak jumlah sel ragi maka jumlah glukosa yang terkonsumsi semakin banyak.

Dapat dilihat bahwa konsentrasi glukosa yang tersisa semakin kecil dengan semakin banyaknya jumlah sel tertambat yang digunakan untuk waktu fermentasi yang sama. Jumlah sel berpengaruh terhadap glukosa yang terkonsumsi. Semakin banyak sel semakin banyak enzim yang dihasilkan sehingga semakin banyak glukosa yang terkonversi menjadi etanol. Berkurangnya glukosa dalam *bioreactor* tidak hanya akibat dari terkonversi menjadi etanol tapi juga karena sebagian glukosa terkonsumsi untuk mempertahankan hidup dan bereproduksi. Aktivitas utama ragi pada kondisi *bioreactor tower* yang anaerob adalah fermentasi namun tidak menutup kemungkinan terjadinya reproduksi walaupun hanya sedikit karena ragi aktif bereproduksi pada kondisi aerob.

Konsentrasi glukosa semakin menurun seiring berjalannya waktu fermentasi karena glukosa yang tersedia setiap waktunya terkonversi menjadi etanol akibat dari aktivitas sel ragi dan juga digunakan untuk makanan untuk sel ragi mempertahankan hidupnya dan bereproduksi.

Pengaruh Jumlah Sel Tertambat Terhadap Yield

Yield yang dihasilkan dari proses fermentasi continue dengan *bioreactor tower* dan sel tertambat dengan jumlah yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 5



Gambar 5 Kurva Hubungan Yield Etanol Terhadap Waktu Penganblian Sampel pada Waktu Fermentasi 48 Jam dengan Variasi Jumlah Sel pada Keadaan Awal

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa nilai yield etanol mengalami kenaikan terhadap waktu fermentasi untuk semua variasi jumlah sel. Kenaikan nilai yield etanol ini terlihat dari data pada Gambar 5 dimana semakin lama waktu fermentasi, dengan konsentrasi umpan glukosa yang tetap etanol yang dihasilkan konsentrasinya semakin tinggi, hal ini dapat disebabkan karena semakin lamanya waktu fermentasi maka semakin banyak substrat yang terkoversi oleh sel ragi.

Dilihat dari jumlah sel tertambat yang berbeda nilai yield mengalami kenaikan untuk waktu fermentasi yang sama. Jumlah ragi yang paling banyak menghasilkan yield yang paling tinggi karena semakin banyak sel ragi maka akan semakin banyak enzim yang dihasilkan untuk mengkonversi glukosa menjadi etanol (Bailey, James E. dan David F. Ollis, 1986).

Laju alir recycle pun berpengaruh terhadap yield etanol. Semakin besar laju recycle maka yield etanol yang dihasilkan semakin besar hal ini disebabkan semakin besar laju alir recycle maka intensitas kontak antara substrat dengan mikroorganisme dalam hal ini ragi akan semakin sering terjadi. Dengan intensitas kontak yang sering ini maka memungkinkan terkonversinya glukosa menjadi etanol dengan konsentrasi yang lebih tinggi, dengan konsentrasi yang tinggi yield etanol yang dihasilkan pun akan tinggi pula.

Namun, jumlah etanol yang dihasilkan relatif kecil karena jumlah sel ragi tertambat yang relatif sedikit dimana hamparan batu apung hanya 1/6 bioreactor, kenaikan konsentrasi etanol yang kecil pada setiap waktunya yang dibandingkan dengan konsentrasi glukosa awal berpengaruh pada yield etanol yang kecil.

Pengaruh Variasi Ukuran Batu Apung Terhadap Jumlah Sel yang Terlepas

Penambatan sel dilakukan langsung pada batu apung yang telah ditempatkan pada *bioreactor tower* dengan metode adsorpsi. Dari hasil analisis yang dilakukan pada tiga sampel acak terlihat bahwa masih ada sel yang terlepas. Jumlah sel ragi yang terlepas pada fermentasi secara *continue* dengan *bioreactor tower* sel tertambat dengan variasi ukuran batu apung dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. Pengaruh Variasi Ukuran Batu Apung Terhadap Jumlah Sel yang Terlepas

Batu apung	Jumlah sel tertambat	Jumlah sel terlepas/ml			% Lepas		
		jam 14	jam 74	jam 122	jam 14	jam 74	jam 122
8/12 mesh	3,06E+10	6,15E+06	5,50E+05	4,00E+05	20,08	1,80	1,31
18/20 mesh	3,18E+10	1,27E+07	9,50E+05	6,50E+05	39,91	2,99	2,04
30/40 mesh	3,32E+10	2,11E+07	2,55E+06	2,00E+06	63,48	7,69	6,03

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa semakin kecil ukuran batu apung pada waktu yang sama semakin banyak sel yang terlepas. Hal ini disebabkan oleh semakin kecil ukuran batu apung maka semakin besar laju *recycle* yang dibutuhkan sehingga memungkinkan terjadinya pengikisan ragi yang tertambat di permukaan batu apung. Laju *recycle* yang tinggi dapat melepaskan ragi dari batu apung karena ikatan antara permukaan batu apung dan ragi memiliki stabilitas yang rendah karena proses penambatannya hanya diredam tanpa adanya pengadukan atau penambahan zat lain untuk memperkuat ikatan. Faktor lain yang mempengaruhi persen sel terlepas adalah gesekan antar batu apung yang memungkinkan melepaskan ikatan antara sel ragi dengan permukaan batu apung.

Pada pengambilan tiga sampel acak dapat dilihat semakin lama waktu fermentasi pada ukuran batu apung yang sama maka semakin kecil persen sel yang terlepas. Sel ragi yang ada di dalam *bioreactor* tidak seluruhnya tertambat pada batu apung, sebagian ragi bisa saja hanya terperangkap diantara porositas hamparan batu apung sehingga pada kondisi awal banyak sel ragi yang terbawa aliran keluar. Namun, semakin lama waktu fermentasi dengan adanya tangki *recycle* memungkinkan sel ragi yang terbawa aliran tertambat kembali di permukaan batu apung ketika aliran *recycle* kembali masuk ke dalam *bioreactor tower*.

Pada keadaan *steady state* yaitu pada jam ke 122 jumlah persen terlepas masih di bawah 10 % yang artinya tidak banyak sel yang terlepas dari penambat yang berupa batu apung dan penambatan dinilai cukup efektif dalam proses fermentasi ini.

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 lambat.
4. Kondisi terbaik pada penelitian ini dilihat dari jumlah sel tertambat, konsentrasi, dan yield etanol yang diperoleh yaitu pada ukuran batu apung 30/40 mesh dengan jumlah sel tertambat sebanyak $3,32 \times 10^{10}$, konsentrasi etanol sebesar 16,41%v/v, produktivitas etanol 2,715 g/L.jam dan yield yang diperoleh sebesar 4,3%.

Pustaka

- Bailey, James E. dan David F. Ollis. *Biochemical Engineering Fundamental, 2nd edition*. McGraw-Hill Company, 1986.
- Febriningrum, Panca Nugrahini. *Produksi Etanol Proses Sinambung dengan Schizosaccharomyces pombe*. Penulisan Usulan Penelitian, Jurusan Teknik Kimia ITB. 2000.
- 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.
- Purnama, Dita Indah dan Nanda Rusyda Saufa. *Produksi Etanol Secara Sinambung dengan Sel Tertambat Menggunakan Bioreactor Tower Fixed Bed*. Penulisan Laporan Penelitian, Jurusan Teknik Kimia ITENAS. 2009.
- Tzeng, J. W, et. al. *Ethanol Fermentation Using Immobilized Cells in a Multistage Fluidized Bed Bioreactor*. *Biotechnology and Bioengineering, volume 38*.1991

