
UJI KINERJA PADA PROSES PRODUKSI ETANOL MELALUI KOMBINASI PROSES FERMENTASI DAN STRIPPING

Margono*

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No. 36 A, Surakarta 57126 Telp/fax: 0271-632112

*Email: mrgono04@yahoo.com

Abstract: Renewable energy necessity have promote research on ethanol production technology. Ethanol is the potential renewable energy substituting gasoline. However, the conventional problem is high price of the ethanol. The objective of this research was to test the performance of alternative process in producing ethanol, i.e. combination of fermentation process with ethanol stripping in trickle bed bioreactor. The experimental was using *Saccharomyces cerevisiae* FNCC 3012 and sugarcane bagass as bed particle. It was divided into 2 process steps of biofilm development and ethanol production. Biofilm development was done by circulating medium in bioreactor aerobically. Duration of the biofilm development was 24 hours and followed by ethanol production step which was combining anaerobic fermentation and stripping process using nitrogen. Production process was conducted for 36 hours lifetime. This method resulted biofilm developing in fermentation medium, not on baggas surfaces. Consequently, ethanol production happened in circulated fermentation medium. The productivity of this method of ethanol production process was not better than the conventional process. Nevertheless, the experimental showed that the product stripping and fermentation could be done simultaneously. The stripping process increased ethanol product concentration up to 25% higher than in the broth.

Keywords: ethanol, *Saccharomyces cerevisiae* FNCC 3012, trickle bed bioreactor, stripping, biofilm

PENDAHULUAN

Pasokan minyak dunia semakin berkurang dan dalam waktu yang sama kebutuhan minyak dunia semakin meningkat. Mengingat minyak bumi merupakan sumber daya alam yang tidak terbarukan maka kondisi ini menuntut adanya sumber energy alternatif. Salah satu sumber energi terbarukan yang potensial adalah etanol. Etanol merupakan sumber energi alternatif bagi bensin. Keunggulan etanol adalah dapat digunakan dalam bentuk murni maupun dalam bentuk campuran dengan bensin atau hidrogen. Interaksi etanol dengan hidrogen dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi *fuel cell* atau untuk mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) konvensional.

Teknologi produksi etanol yang banyak digunakan saat ini adalah metode fermentasi secara *batch*. Metode ini memiliki kelemahan, yaitu *yield* dan konsentrasi produk rendah

sehingga operasi pemurnian mahal. Dengan demikian, diperlukan teknologi proses alternative yang dapat meningkatkan produktivitas dan salah satunya adalah metode Imobilisasi sel *S. cerevisiae*. Teknologi produksi etanol menggunakan sel amobil terbukti memiliki produktivitas etanol yang lebih tinggi dibandingkan teknologi proses *batch* (Elervi dkk., 2006). Kesimpulan yang sama juga ditunjukkan oleh peneliti lain (Shindo, 2001).

Penggunaan sel amobil untuk produksi etanol dapat diterapkan pada proses kontinyu. Keunggulan penggunaan sel amobil pada proses kontinyu meliputi peningkatan produktivitas volumetrik, meningkatkan konsentrasi produk dalam aliran *output*, menurunkan konsentrasi substrat dalam aliran *output*, dan mencegah terjadinya *wash out* pada aliran *output*.

Namun demikian, sistem proses produksi sebagaimana telah dijelaskan tersebut memiliki kelemahan. Kelemahan tersebut adalah konsentrasi etanol produk terbatas karena etanol bersifat racun. Konsekuensi dari sifat racun pada etanol adalah konsentrasi etanol cukup rendah, yaitu sekitar 10 – 12% karena konsentrasi lebih dari 12% akan meracuni sel *S. cerevisiae* (Taylor dkk., 1995). Akibatnya produktivitas rendah dan biaya proses pemurnian tinggi. Oleh karena itu, upaya mengatasi keterbatasan tersebut akan sangat bermanfaat bagi upaya peningkatan produktivitas etanol dan penekanan biaya produksi.

Salah satu cara menghindarkan pengaruh sifat racun etanol pada proses fermentasi adalah menggabungkan proses fermentasi dengan proses pemisahan sehingga berlangsung simultan. Simultan artinya ketika etanol disintesis oleh *S. cerevisiae* maka pada saat yang sama etanol tersebut dipisahkan dari medium. Cara ini dapat menghindarkan peristiwa keracunan pada *S. cerevisiae* karena konsentrasi etanol dapat dikendalikan sehingga tidak lebih dari 12% v/v.

Dalam praktek, proses simultan antara produksi etanol dengan proses pemisahan dapat dilakukan dengan cara kombinasi antara fermentasi dan stripping. Park dan Geng (1992) menjelaskan bahwa beberapa penelitian telah mempelajari penggabungan antara proses fermentasi dengan pemisahan etanol, antara lain fermentasi pada tekanan vakum (Cysewski dan Wilke, 1977), pervaporasi (Muler dan Pons, 1991; Shabtai dkk., 1991), dan penggunaan *solid adsorbents* (Lencki dkk., 1983). Taylor dkk. (1995) menggabungkan metode pemisahan stripping dengan fermentasi etanol secara kontinyu. Metode tersebut mampu meningkatkan kapasitas produksi etanol, yaitu bioreaktor 2 L yang digabungkan dengan kolom stripping 10 cm dalam waktu 150 jam dapat mengkonversi glukosa umpan sebesar 800 g/L tanpa terjadi kontaminasi. Metode ini masih dibatasi oleh kecepatan alir broth agar sel tidak terbawa arus, sehingga metode ini masih perlu diperbaiki karena konsentrasi sel sebagai produser etanol dalam medium relatif rendah.

Stripping juga dapat dilakukan dengan cara menggelembungkan gas CO₂ dalam broth

fermentasi (Walsh dkk., 1983; Pham dkk., 1989). Cara ini kurang efisien karena tekanan untuk menggelembungkan gas CO₂ dalam broth cukup besar yaitu 70 kPa. Energi untuk menghasilkan tekanan tersebut hampir sama dengan energi untuk distilasi (Walsh dkk., 1983).

Perbaikan metode penggabungan fermentasi dan pemurnian dapat dilakukan pada *trickle bed bioreactor*. Bioreaktor tipe ini dapat digunakan untuk melakukan fermentasi dan pemisahan etanol (stripping) dalam satu alat. Dengan demikian biaya produksi dapat ditekan. Keuntungan lain adalah sel viabel bersifat amobil sehingga konsentrasi sel akan jauh lebih tinggi, kecepatan alir umpan dapat lebih tinggi karena sel menempel pada bahan isian dan tidak akan terbawa oleh arus umpan, dan untuk mengalirkan gas stripper tidak memerlukan energi yang besar karena tidak diperlukan tekanan yang tinggi. Penelitian ini bermaksud menguji kinerja proses produksi etanol melalui kombinasi proses fermentasi dengan stripping etanol pada *trickle bed bioreactor*.

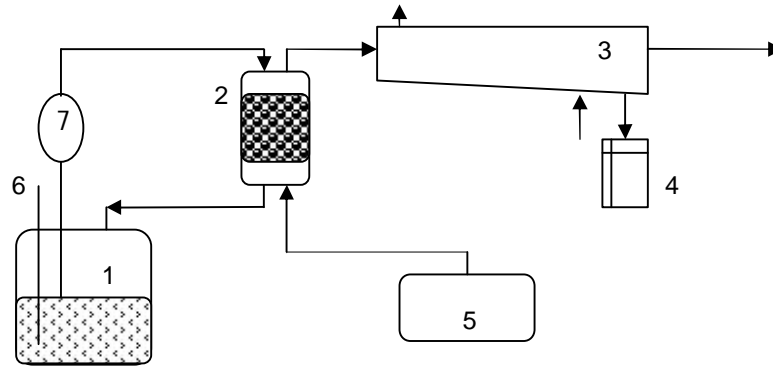
METODE PENELITIAN

Yeast berupa *Saccharomyces cerevisiae* FNCC 3012. Yeast dipelihara dalam medium PGY agar miring dan disimpan dalam refrigerator. Starter (inoculum) dikembangkan dalam 2 tahap proses yaitu starter 1 dan starter 2. Starter 1 menggunakan medium PGY, sedangkan starter 2 menggunakan medium produksi dengan kadar glukosa 20 g/L. Medium produksi menggunakan medium yang digunakan oleh Cysewski dan Wilke (1977), yaitu 100 g/L glukosa, 5 g/L yeast extract, 1,3 g/L NH₄Cl, 0,12 g/L MgSO₄·7H₂O, dan 0,06 g/L CaCl₂.

Starter 1 disiapkan dengan menginokulasi 10 mL medium dengan 2 ose yeast kemudian diinkubasi pada *shaker bath* selama 24 jam dan suhu 30 °C. Starter 2 dibuat dengan menginokulasikan 10 mL starter 1 pada 90 mL medium starter 2 kemudian diinkubasi selama 24 jam dan 30 °C pada *shaker bath*. Fermentasi produksi etanol dimulasi dengan menginokulasikan starter 2 pada bahan isian kemudian medium produksi disirkulasi secara tertutup menggunakan pompa peristaltik. Rangkaian alat dan arah sirkulasi medium dan gas stripper ditunjukkan pada Gambar 1.

Sampel diambil pada posisi input dan output bioreaktor serta bagian produk hasil stripping. Pengambilan sampel dilakukan secara berkala setiap 12 jam. Analisis sampel meliputi pengukuran konsentrasi glukosa pada input dan output bioreaktor dan pengukuran konsentrasi

etanol pada input dan output bioreaktor serta produk hasil stripping. Pengukuran konsentrasi glukosa menggunakan glucose kit (Glucose GOD FS10, Diasys, Germany) dan pengukuran konsentrasi bioethanol dengan metode mikrodifusi menggunakan cawan Conway.



Keterangan Gambar:

- | | | |
|------------------------|---------------------|----------------------|
| 1. Tangki substrat 2 L | 4. Tangki bioetanol | 7. Pompa peristaltik |
| 2. Fix Bed Bioreactor | 5. Kompresor | |
| 3. Kondenser | 6. Termometer | |

Gambar 1. Rangkaian Alat Produksi Etanol Metode Kombinasi Fermentasi dan Stripping

HASIL DAN PEMBAHASAN

Percobaan diawali dengan tahap pembentukan biofilm *S. cerevisiae* pada permukaan partikel padatan (bagas tebu). Dalam tahap ini, inkubasi dilakukan dalam 24 jam dan selama proses ini selalu dihembuskan udara (aerasi) dari kompresor. Selesai tahap pertumbuhan dan pembentukan biofilm yang berlangsung secara aerobik maka dilanjutkan dengan tahap produksi etanol secara fermentasi anaerobik. Selama tahap produksi etanol, udara kompresor diganti dengan gas stripper (gas nitrogen). Sampling dilakukan selama proses produksi etanol secara periodik pada posisi umpan dan keluaran bioreaktor serta produk hasil pengembunan proses stripping. Hasil analisis sampel ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan bahwa konsentrasi etanol pada posisi input (umpan) bioreaktor lebih tinggi dibandingkan pada posisi output bioreaktor (keluaran). Fenomena ini menunjukkan bahwa proses pembentukan etanol terjadi pada saluran dan tangki substrat dan pada bioreaktor hampir tidak terjadi proses produksi etanol. Kesimpulan tersebut diperkuat oleh data konsentrasi etanol pada posisi produk

stripping yang tidak menunjukkan peningkatan yang berarti (konsentrasi etanol pada posisi keluaran bioreaktor dan produk stripping hampir sama). Proses pembentukan etanol yang terjadi pada saluran dan tangki substrat menunjukkan bahwa *S. cerevisiae* tumbuh lebih baik di medium (substrat) dan kurang/tidak dapat bertahan menempel di partikel padatan (bagas tebu). Hal ini kemungkinan disebabkan oleh teknik pembentukan biofilm yang belum sesuai dengan karakter yeast serta partikel yang digunakan untuk pembentukan biofilm.

Tabel 1. Konsentrasi etanol pada input dan output bioreaktor serta produk stripper

No.	Waktu, jam	Konsentrasi etanol, %v/v		
		Input	Output	Produk Stripper
1.	24	0,81	1,03	2,11
2.	36	1,18	1,03	1,00
3.	48	1,04	0,49	0,54
4.	60	1,08	0,25	0,44

Data dalam Tabel 1 juga menunjukkan bahwa konsentrasi etanol pada produk stripper tidak mengalami peningkatan yang signifikan.

Perbedaan konsentrasi etanol pada keluaran bioreaktor dengan produk hasil stripper rata-rata hanya sebesar 0,32% atau peningkatan konsentrasi relatif sebesar 25%. Peningkatan konsentrasi yang tidak signifikan tersebut disebabkan oleh beberapa kemungkinan, yaitu konsentrasi etanol dalam medium broth yang terlalu rendah sehingga stripping tidak mampu lagi untuk memisahkan etanol dari larutannya atau kecepatan gas stripper terlalu tinggi sehingga air sebagai pelarut ikut teradsorpsi dengan kecepatan yang hampir sama dengan etanol. Oleh karena itu, untuk memastikan fenomena tersebut diperlukan penelitian lebih lanjut terhadap proses stripping etanol-air menggunakan gas nitrogen sebagai gas stripping.

Hasil yang ditunjukkan oleh percobaan sebagaimana telah dijelaskan belum berhasil sebagaimana penelitian-penelitian lain (Taylor dkk., 1995; Cysewski dan Wilke, 1977; Muller dan Pons, 1991; Shabtai dkk., 1991; Lencki dkk., 1983). Metode yang digunakan oleh Taylor dkk. (1995) mampu meningkatkan kapasitas produksi etanol, yaitu bioreaktor 2 L dalam waktu 150 jam dapat mengkonversi glukosa umpan sebesar 800 g/L umpan tanpa terjadi kontaminasi. Beberapa penelitian tersebut dilakukan dengan cara fermentasi dalam medium sebagaimana telah dikenal, hanya saja kemudian ditambahkan proses pemisahan dengan berbagai teknik yang berbeda-beda. Artinya, penelitian-penelitian yang telah dilakukan tersebut (termasuk penelitian ini) menunjukkan bahwa proses pemisahan (pemekatan) etanol dapat dilakukan secara simultan dengan proses fermentasi. Namun demikian, yang menjadi pertanyaan pada penelitian ini adalah mengapa tidak ada peningkatan produktivitas etanol yang signifikan. Jawabannya adalah bahwa proses pembentukan biofilm *S. cerevisiae* belum berlangsung baik sehingga proses fermentasi belum berlangsung seperti yang diinginkan. Dengan demikian keberhasilan pembentukan biofilm *S. cerevisiae* pada permukaan partikel padatan merupakan kunci keberhasilan dari upaya kombinasi proses fermentasi dengan stripping pada *trickle bed bioreactor*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih disampaikan kepada Pemerintah Republik Indonesia yang telah membantu dana pelaksanaan penelitian ini melalui Penelitian Hibah Bersaing dari DP2M Ditjen Dikti, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian dengan Nomor Kontrak: 023/SP2H/PL/Dit.litabmas/2011.

DAFTAR PUSTAKA

- Cysewski, G.R. and Wilke, C.R., 1977, Rapid Ethanol Fermentation Using Vacuum and Cell Recycle, *Biotechnol. Bioeng.*, 19, 1125.
- Elervi, P.A. dan Putra, S.R., 2006, Produksi Etanol Menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* yang Diimobilisasi dengan Agar Batang, *Akta Kimindo*, 1(2), 105-114.
- Lencki, R.W., Robinson, C.W., and Moo-Young, M., 1983, On-line Extraction of Ethanol from fermentation Broths Using Hydrophobic Adsorbents, *Biotechnol. Bioeng. Symp. Ser.*, 13, 617 – 628.
- Muller, M. and Pons, M.N., 1991, Coupling of Gas Membrane Smooth Pervaporation and Alcoholic Fermentation of Substrate and Yeast Concentrations, *Bioresource Technology*, 98, 2978 – 2984.
- Park, C.H. and Geng, Q., 1992, simultaneous Fermentation and Separation in the Ethanol and ABE Fermentation. *Sep. Purif. Methods*, 21 (2), 127 – 174.
- Pham, C.B., Motoki, M., Matsamura, M., and Kataloka, H., 1989, Simultaneous Ethanol Fermentation and Stripping Process Coupled with Rectification, *J. Ferment. Bioeng.*, 68(1), 25 – 31.
- Shabtai, Y., Chaimovitz, S., Freeman, A., Katchalski-Katzir, E., 1991, Continuous Ethanol Production by Immobilized Yeast Reactor Couple With Membrane Pervaporation Unit, *Biotechnol. Bioeng.*, 38, 869.
- Shindo, S., Takata, S., Haruo, T., dan Yoshimura, N., 2001, Development of Novel Carrier Using Natural Zeolite and Continuous Ethanol Fermentation With Immobilized *Saccharomyces cerevisiae* in a Bioreactor, *Biotechnology Letters*, 23, 2001-2004.
- Taylor, F., Kurantz, M.J., Goldberg, and Craig, Jr., J.c., 1995, continuous Fermentation and Stripping of Ethanol, *Biotechnol. Prog.*, 11 (6) , 693 – 698.
- Walsh, P.K., Liu, C.P., Findley, M.E., Liapis, A.I., and Siehr, D.J., 1983, Ethanol Separation

from Water in a Two-Stage Adsorption,
Process. Biotechnol. Bioeng. Symp. Ser.,
13, 629 – 641.