

INOVASI ALAT BIOREAKTOR DENGAN SISTEM FLUIDISASI DALAM PEMBUATAN ETANOL DARI MOLASSES

Amsar, Wahyu Diah Proborini, dan Fenny Suryanti

PS. Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Tribhuvana Tunggaladewi

Abstract

The fermentation process is generally carried out in the community is in a batch, but the process is the concentration of ethanol produced is quite low because of accumulated ethanol production will poison the microorganisms in the fermentation process. Ethanol productivity of batch processes is very small because it takes a long time of about 72 hours. High and low ethanol content is determined in part by sugar levels in the substrate. Sugar compounds are required as a carbon source of energy yeasts. This study aims to determine the maximum results from the opening of flow rate and flow of glucose concentration on the effectiveness of the process and the quality of ethanol. The method used is fluidized semikontinyu fermentation system using *Saccharomyces cerevisiae* immobilized with the order. The results showed that the fermentation process fluidization semikontinyu that teramobilisasi with that carried out during the first day with a sugar concentration of 15%, 20%, 25%, 30% derived ethanol content of 5%, 8%, 13%, 15% at a flow rate of 30 openings °. Ethanol is also obtained by 8%, 12%, 18%, 20% in opening a flow rate of 60°. Ethanol is also obtained by 8%, 13%, 19%, 21% in opening a flow rate of 90°.

Kata kunci : fermentasi, fluidisasi, amobilisasi, etanol

Pendahuluan

Alkohol atau etanol adalah bahan kimia yang banyak digunakan dalam industri baik sebagai pelarut atau *solvent* dan juga sebagai bahan baku industri kimia yang lain seperti pembuatan etil asetat. Hampir semua industri memerlukan etanol antara lain farmasi, industri minuman dan makanan, bidang kedokteran, industri kimia dan lain-lain. Pada dua dasa warsa belakang ini, juga banyak dipakai sebagai bahan bakar yang disebut gasohol yaitu campuran bensin dan etanol dengan komposisi 10% etanol dan 90% bensin. Produksi etanol yang dikembangkan saat ini dapat dibuat dari bahan baku yang

mengandung glukosa, pati, dan selulosa. Pada penelitian ini bahan baku yang digunakan adalah molases karena lebih ekonomis. Molases memiliki kandungan senyawa gula yang tinggi, yaitu berkisar antara 50–65 %. Senyawa gula merupakan komponen dasar yang kemudian dikonversi khamir menjadi etanol. Potensi molases di Indonesia cukup besar. Menurut data Statistik Perkebunan Indonesia (2005), total produksi tebu pada tahun 2005 mencapai 1.702.311 Ton, diperkirakan untuk setiap ton tebu akan menghasilkan sekitar 2,7% molases, sehingga potensi molases nasional 45.962, 4 ton per tahun (Hambali, et. al., 2007).

Efektivitas proses fermentasi merupakan hal yang perlu diperhatikan untuk

mendapatkan kadar etanol optimal. Tinggi rendahnya kadar etanol ditentukan salah satunya oleh kadar gula dalam substrat. Senyawa gula merupakan sumber karbon yang diperlukan sebagai energi khamir, sehingga etanol yang terbentuk sebagai hasil aktivitas khamir tergantung pada persediaan sumber energi tersebut. Semakin besar angka total gula dalam suatu bahan akan menguntungkan industri fermentasi (Kuswuri, 2009). Proses fermentasi yang biasa dilakukan di masyarakat sifatnya adalah konvensional yaitu yang dijalankan dengan proses *batch* sebagai upaya untuk memudahkan kontrol proses fermentasi dari kontaminasi mikroorganisme, namun proses ini mempunyai kendala yaitu konsentrasi etanol yang dihasilkan cukup rendah karena produksi etanol yang terakumulasi akan meracuni mikroorganisme pada proses fermentasi. Penelitian ini memiliki tujuan, yaitu untuk mengetahui kadar etanol yang optimum dari bukaan laju alir aliran, mengetahui kadar etanol yang optimum dari konsentrasi glukosa yang berbeda dan mengetahui efektivitas proses fermentasi fluidisasi terhadap kadar etanol.

Tetes Tebu (Molasses)

Molasses adalah hasil samping dari proses pembuatan gula (Judoamidjojo, et. al., 1992) sedangkan menurut Hambali, et. al., 2007, *molasses* merupakan limbah pabrik gula pasir yang tidak dapat lagi dikristalkan. *Molasses* mengandung sejumlah besar gula, baik sukrosa maupun gula pereduksi. Total kandungan gula berkisar antara 48-56% dan pH-nya sekitar 5,5-5,6. Pembuatan etanol, *molasses* harus mendapat perlakuan pendahuluan. Hal tersebut disebabkan karena *molasses* bersifat kental, kadar

gula dan pH-nya masih terlalu tinggi serta nutrisi yang dibutuhkan khamir belum mencukupi dalam *molasses* ini. Dalam pembuatan etanol tersebut, mula-mula *molasses* diencerkan dengan air sehingga konsentrasi gulanya menjadi 14-18%. Jika konsentrasi gula terlalu tinggi akan berakibat buruk pada khamir yang digunakan atau alkohol yang dihasilkan akan menghambat aktivitas khamir.

Saccharomyces cerevisiae

Khamir adalah fungi ekasel (*uniseluler*) yang beberapa jenis spesiesnya umum digunakan untuk membuat roti, fermentasi minuman beralkohol, dan bahkan digunakan dalam percobaan sel bahan bakar. *Saccharomyces cerevisiae* merupakan mikroorganisme bersel satu tidak berklorofil dan termasuk golongan *Eumycetes*. Penemuan *Saccharomyces cerevisiae* mampu mengubah glukosa menjadi etanol secara efisien dan cepat, merupakan peluang yang penting untuk meningkatkan produktivitas pada proses pembuatan etanol (Rahman, 1992).

Sel atau enzim amobilisasi

Sel atau enzim amobilisasi adalah suatu enzim yang secara fisik terlokalisasi atau terjerat pada suatu daerah. Enzim amobilisasi tersebut tetap mempunyai aktifitasnya sebagai biokatalisator atau katalis, serta enzim tersebut dapat dipergunakan secara terus menerus dan sangat penting untuk proses berkesinambungan (Alexander, et. al., 1990). Imobilisasi enzim dapat dianggap sebagai metode yang merubah enzim dari bentuk larut dalam air "bergerak" menjadi keadaan "tak bergerak" yang tidak larut.

NPK

Pupuk NPK merupakan jenis pupuk majemuk (dalam satu jenis mengandung beberapa jenis unsur hara) yaitu unsur

makro Nitrogen (N), Phospor (P), dan Kalium (K). Dimana Nitrogen berfungsi untuk merangsang pertumbuhan vegetatif pada khamir sebelum mengalami masa produksi, phospor (P) berguna untuk merangsang pembentukan sel dan kalium (K). Kebutuhan NPK dalam proses fermentasi sebanyak 0,2% dari larutan dalam fermentor (Rahman, 1992).

Urea

Pupuk urea adalah pupuk kimia yang mengandung Nitrogen (N) berkadar tinggi. Dimana fungsi urea dalam fermentasi pada proses pembuatan etanol sebagai nutrisi bagi khamir *Saccharomyces cerevisiae*. Pupuk urea berbentuk butir-butir kristal berwarna putih, dengan rumus kimia NH_2CONH_2 , merupakan pupuk yang mudah larut dalam air dan sifatnya sangat mudah menghisap air (higroskopis). Urea yang terurai oleh air akan menjadi karbondioksida (CO_2) dan Amoniak (NH_3).

Fermentor

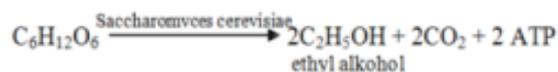
Fermentor berguna untuk memfermentasikan *molasses*. Proses fermentasi ini dengan mencampurkan campuran NPK, khamir *Saccharomyces cerevisiae* dan urea ke dalam cairan *molasses*. Proses ini harus berlangsung secara anaerob, atau hampa udara agar tidak terdapat kuman atau bakteri yang ikut masuk ke dalam tangki fermentor.

Fermentasi

Fermentasi mempunyai arti yang berbeda bagi ahli biokimia dan mikrobiologi industri. Arti fermentasi pada bidang biokimia dihubungkan dengan pembangkitan energi oleh katabolisme senyawa organik. Pada bidang mikrobiologi industri, fermentasi mempunyai arti yang lebih luas, yang menggambarkan setiap proses

untuk menghasilkan produk dari pembiakan mikroorganisme (Rahman, 1992).

Secara umum proses fermentasi dapat ditulis sebagai berikut:



(Energi yang dilepaskan: 118 kJ per mol)

Fluidisasi

Fluidisasi adalah suatu fenomena berubahnya sifat suatu padatan (bed) dalam suatu reactor menjadi bersifat seperti fluida dikarenakan adanya aliran fluida ke dalamnya, baik berupa liquid maupun gas (Soetedjo, 1986).

Etanol

Etanol atau etil alkohol yang di pasaran lebih dikenal sebagai alkohol merupakan senyawa organik dengan rumus kimia $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ atau rumus empiris $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ (Anshory, 2004). Etanol atau alkohol dimanfaatkan untuk berbagai keperluan antara lain:

1. Bahan baku industri atau senyawa kimia, contoh: industri minuman beralkohol, industri asam asetat dan asetaldehid.
2. Pelarut dalam industri, contoh: industri farmasi, kosmetik dan plastik
3. Bahan desinfektan, contoh: peralatan kedokteran, rumah tangga dan peralatan di rumah sakit
4. Bahan bakar kendaraan bermotor

Metode Penelitian

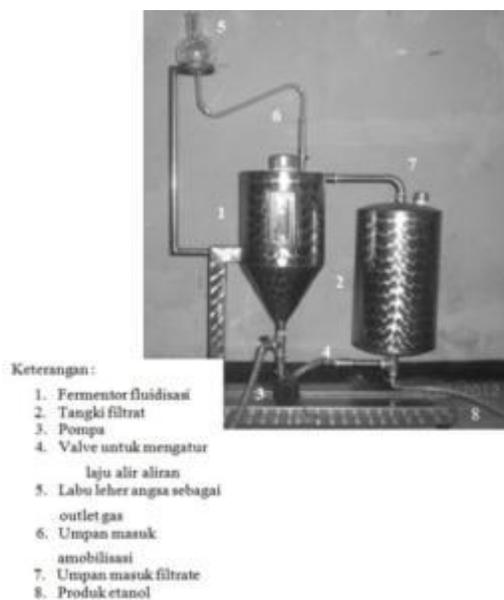
Variabel penelitian

1. Variabel tetap terdiri dari :
 - Bahan : tetes tebu (*molasses*)
 - Khamir : adalah *Saccharomyces cerevisiae*
 - Lama waktu fermentasi 24 jam
 - pH yang digunakan 4,5
 - Kapasitas *molasses* 11 liter
 - Bahan pengikat imobilisasi adalah

- agar powder (tanpa bahan aditif)
- NPK 14 gram
 - Urea 70 gram
2. Variabel berubah
- Bukaan flow = 30°, 60°, 90°
rate feed
- Konsentrasi = 15, 20, 25, dan 30
glukosa (%)

Alat dan bahan

Alat utama yang digunakan yaitu fermentor fluidisasi (Gambar 1).



Gambar 1. Fermentor fluidisasi

Bahan yang diperlukan, yaitu tetes tebu (molasses), *Saccharomyces cerevisiae*, agar-agar powder, NPK, urea, dan air.

Hasil dan Pembahasan

Analisa kadar etanol setelah fermentasi

Secara garis besar penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan fermentasi molasses menjadi etanol dengan menggunakan metode fermentasi fluidisasi secara semikontinyu dengan pengenceran terlebih dahulu yaitu 15%, 20%, 25%, 30% untuk dimasukkan ke dalam tangki filtrat dan ditambahkan nutrisi didalamnya yaitu NPK dan urea. Tujuan dari pengenceran

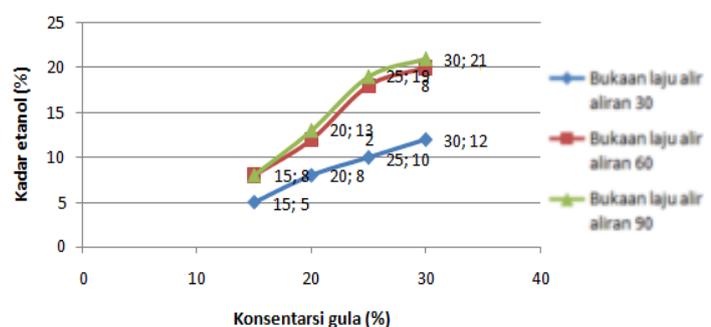
15%, 20%, 25%, 30% adalah untuk mengetahui kadar yang optimum sesuai dengan kadar glukosa yang di inginkan khamir.

Setelah dilakukan pengenceran langkah selanjutnya ialah membuat amobilisasi *Saccharomyces cerevisiae* dengan agar kemudian dimasukkan ke dalam fermentor fluidisasi. Selanjutnya dilakukan proses fermentasi fluidisasi dengan bukaan laju alir aliran 30°, 60°, 90°, dengan ditentukannya bukaan laju alir maka kita dapat mengamati proses fluidisasi. Proses fermentasi tersebut dilakukan selama 24 jam kemudian dianalisa kadar etanolnya dengan menggunakan alkoholmeter.

Tabel 1 Nilai kadar etanol (30°, 60°, 90°) dengan berbagai konsentrasi gula larutan molasses

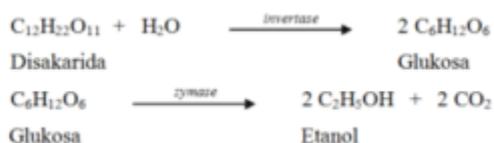
Bukaan valve	Pengenceran (%)	Kadar etanol (%)
30	15	5
	20	8
	25	13
60	30	15
	15	8
	20	13
90	25	18
	30	20
	15	8
	20	13
	25	19
	30	21

Data mengenai nilai kadar etanol pada berbagai variasi bukaan laju alir dan konsentrasi gula larutan molasses dari Tabel 1 disajikan pada Gambar 1.



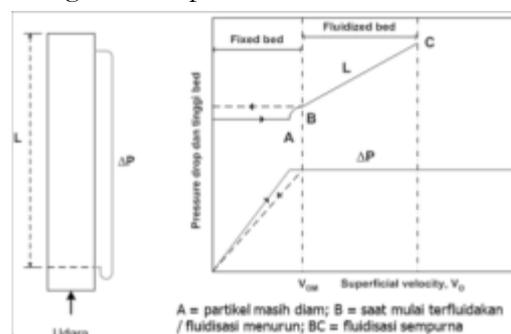
Gambar 1 Hubungan antara konsentrasi gula molasses terhadap kadar etanol

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi gula maka semakin meningkat nilai kadar etanol dan semakin besar bukaan laju alir aliran maka semakin meningkat pula nilai kadar etanolnya seiring dengan penambahan konsentrasi gula. Hal ini dikarenakan senyawa gula merupakan sumber nutrisi yang digunakan sebagai energi bagi aktivitas katabolis *Saccharomyces cerevisiae*, semakin banyak senyawa gula dalam substrat maka semakin besar pula senyawa disakarida yang dirombak menjadi monosakarida (glukosa) yang kemudian dikonversi menjadi senyawa etanol. Selama masih ada gula, fermentasi akan berlangsung terus dan akan berhenti bila semua gula telah habis difermentasi. Aktivitas katabolis *Saccharomyces cerevisiae* meliputi proses enzimatis yang melibatkan enzim invertase dan zymase. Enzim invertase merupakan enzim yang berperan dalam pemecahan disakarida menjadi monosakarida. Enzim zymase berperan terhadap konversi monosakarida menjadi senyawa etanol dan karbondioksida melalui jalur metabolisme Embden Meyernof Parnas (EMP) pada kondisi anaerobik. Proses fermentasi molasses oleh *Saccharomyces cerevisiae* dapat dituliskan dalam bentuk reaksi seperti berikut :



Produksi etanol dari berbagai konsentrasi gula larutan molasses tidak terlepas dari perkembangan konsentrasi khamir. Hal ini dikarenakan peran khamir sebagai biokatalis pada proses fermentasi. Tingkat konsumsi gula oleh khamir menentukan laju pertumbuhannya sedangkan laju pertumbuhan tersebut menentukan

persentase kadar etanol yang dihasilkan. Pada penelitian ini kadar etanol yang dihasilkan pada kondisi bukaan paling besar adalah bukaan laju alir aliran 900 pada konsentrasi gula 30%. Jadi semakin besar bukaan laju alir fluida, maka semakin besar pula kadar etanol yang dihasilkan dari fermentasi fluidisasi. Hal ini disebabkan karena sel menjadi tidak bergerak atau berkurang ruang gerakannya sehingga sel menjadi terhambat pertumbuhannya dan substrat yang diberikan hanya digunakan untuk menghasilkan produk.



Gambar 2 *Pressure drop* dan tinggi unggun

Pada 2 tampak bahwa kecepatan superficial rendah, unggun mula-mula diam (*fixed bed*). Jika kemudian kecepatan superficial dinaikkan (unggun mulai terfluidakan), maka pada suatu saat gaya seret akan menyebabkan unggun mengambang dan menyebabkan tahanan terhadap aliran udara mengecil, sampai akhirnya gaya seret tersebut cukup untuk mendukung gaya berat partikel unggun. Kemudian unggun terfluidisasikan dan sistem padat/fluida menunjukkan sifat-sifat seperti fluida (*fluidized bed*/fluidisasi sempurna). Jadi dapat digambarkan bahwa pada bukaan laju alir fluida 30° terletak pada titik A yaitu partikel (amobilisasi sel) masih diam, pada bukaan laju alir fluida 60° terletak pada titik B dimana amobilisasi sel mulai terfluidakan, dan pada bukaan laju alir fluida 90° terletak pada titik BC yaitu

amobilisasi sel mengalami fluidisasi sempurna (*fluidized bed*). Pada penelitian ini untuk melakukan bukaan laju alir fluida menggunakan pompa stainless steel dengan spesifikasi antara lain power 0,21 Kw, kapasitas 11 liter/menit, head max 8,2 meter, daya hisap max 3 meter terbuat dari SS-316 *Rooled Steel Sheet*, jadi permukaan halus dan gesekan cairan rendah.

Pada bukaan laju alir fluida 30^o menghasilkan kadar etanol optimal sebesar 15% pada konsentrasi gula larutan molasses 30% dan cenderung meningkat dimana semakin besar konsentrasi gula dan semakin besar bukaan laju alir aliran maka semakin meningkat pula kadar etanol yang dihasilkan tetapi masih lebih kecil hasilnya daripada bukaan laju alir fluida 60^o dan 90^o, hal ini terjadi karena laju alir fluida kurang dari laju minimum yang dibutuhkan untuk proses awal fluidisasi. Pada laju alir yang cukup rendah butiran padat akan tetap diam karena gas hanya mengalir melalui ruang antar

partikel tanpa menyebabkan perubahan susunan partikel tersebut. Keadaan yang demikian disebut unggun diam. Hasil pengamatan dari bukaan laju alir fluida 30^o dari suatu partikel unggun yang terfluidisasi dapat diilustrasikan seperti pada gambar di bawah ini.

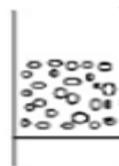


Gambar 3 Hasil pengamatan pada bukaan laju alir fluida 30^o

Gambar 3. terlihat bahwa pada partikel padatan (amobilisasi sel) tidak mengalami gerakan yang banyak atau sebagai unggun diam. Hal ini dikarenakan solid di dalam fermentor fluidisasi cenderung berkumpul lebih

rapat sehingga partikel dan gas yang memasuki amobilisasi terfluidisasi terjadi pencampuran yang kurang merata dan area kontak yang kurang luas antara gas dan partikel.

Pada bukaan laju alir fluida 60^o menghasilkan kadar etanol optimal sebesar 20% pada konsentrasi gula larutan molasses 30% dan cenderung meningkat dimana semakin besar konsentrasi gula dan semakin besar bukaan laju alir aliran maka semakin meningkat pula kadar etanol yang dihasilkan. Pada bukaan laju alir aliran 60^o menghasilkan kadar etanol yang lebih besar jika dibandingkan dengan bukaan laju alir aliran 30^o hal ini terjadi karena laju alir fluida mencapai laju alir minimum yang dibutuhkan untuk proses fluidisasi. Pada laju alir (aliran gas) dinaikkan maka *pressure drop* oleh tahanan partikel padat (amobilisasi sel) juga meningkat, ΔP meningkat. Pada kondisi ini partikel-partikel padat mulai terekspansi. Hasil pengamatan dari bukaan laju alir fluida 60^o dari suatu partikel unggun yang terfluidisasi dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 4.

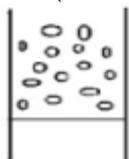


Gambar 4 Hasil pengamatan pada bukaan laju alir fluida 60^o

Gambar 5 terlihat bahwa laju alir dinaikkan akan sampai pada suatu keadaan dimana unggun padatan akan terpisahkan satu sama lain sehingga dapat bergerak dengan lebih mudah. Pada kondisi butiran yang dapat bergerak ini disebut hidrostatis. Hal ini karena besarnya *pressure drop* di dalam unggun padatan terfluidakan sehingga memberikan energi yang diperlukan untuk mengetahui indikasi tentang kelakuan unggun selama

operasi berlangsung sehingga terjadi perpindahan panas secara konveksi dan partikel dalam unggun bersifat isothermal yang menyebabkan pencampuran yang lebih merata dari pada unggun diam sehingga area kontak yang lebih luas antara gas dan partikel.

Pada bukaan laju alir fluida 90° menghasilkan kadar etanol optimal sebesar 21% pada konsentrasi gula larutan molasses 30% dan cenderung meningkat dimana semakin besar konsentrasi gula dan semakin besar bukaan laju alir aliran maka semakin meningkat pula kadar etanol yang dihasilkan. Pada bukaan laju alir aliran 90° menghasilkan kadar etanol yang terbesar jika dibandingkan dengan bukaan laju alir aliran 30° dan 60° , hal ini terjadi karena kecepatan dan distribusi aliran fluida merata, densitas dan distribusi partikel dalam amobilisasi sama atau *homogeny* sehingga ekspansi pada setiap partikel padatan seragam. Pada laju alir fluida ini terus ditingkatkan, maka partikel padat mulai bergerak dan terangkat sampai terjadi *suspense* sempurna (fluidized bed), ΔP konstan. Hasil pengamatan dari bukaan laju alir fluida 90° dari suatu partikel unggun yang terfluidisasi (Gambar 5).



Gambar 5 Hasil pengamatan pada bukaan laju alir fluida 90°

Gambar 6 terlihat bahwa dalam fluidisasi amobilisasi dengan molasses sebagai fluida, partikel-partikel bergerak menjauh satu sama lain dan gerakannya bertambah hebat dengan meningkatnya kecepatan, tetapi

densitas amobilisasi rata-rata pada suatu kecepatan tertentu sama di semua bagian amobilisasi. Proses ini disebut fluidisasi partikulat dan bercirikan ekspansi hamparan yang cukup besar tetapi seragam pada kecepatan tinggi. Amobilisasi terfluidisasi memiliki aplikasi yang luas karena karakteristik perpindahan panasnya yang sangat baik. Hal ini didukung oleh berubahnya sifat dari amobilisasi tersebut menjadi seperti fluida sehingga perpindahan panas yang terjadi adalah secara konveksi. Dengan demikian, partikel dan gas yang memasuki amobilisasi terfluidisasi segera mencapai suhu unggun dan partikel dalam unggun bersifat isothermal pada semua situasi sehingga terjadi pencampuran yang merata dan area kontak yang lebih luas antara gas dan partikel.

Pada hasil penelitian diatas nampak sangat jelas perbedaannya dari peneliti terdahulu dimana hasil kadar etanol yang diperoleh lebih tinggi (21%) pada kondisi konsentrasi gula 30% bukaan laju alir 90° dalam waktu fermentasi selama 24 jam jika dibandingkan dengan penelitian dari Rido, dkk (2012) yang mendapatkan hasil kadar etanol dari bahan molasses sebesar 13,85% pada konsentarsi gula 18% dengan lama fermentasi selama 72 jam. Demikian juga Mauritsius M.S (2011) bahwa dari hasil penelitiannya didapatkan kadar etanol sebesar 5,6 % dalam waktu 72 jam fermentasi.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa :

1. Fermentasi fluidisasi semikontinyu mampu meningkatkan produktivitas etanol lebih efektif 2 hari (48 jam) dibandingkan dengan menggunakan sistem batch yang memerlukan rata-

rata 72 jam untuk fermentasi.

2. Kadar etanol yang dihasilkan akan lebih maksimal pada konsentrasi glukosa 30% sebesar 21% etanol.

Daftar Pustaka

- Anshory. 2004. Etanol Sebagai Bahan Bakar Alternatif. Erlangga Jakarta
- Alexander, M.A. & T.W. Jeffries. 1990. Respiratory efficiency and metabolize partitioning as regulatory phenomena in yeasts. *Enzyme Microbe. Technol.* 12:2-29.
- Curran, J. 1989. *Industrial Microbiology*. Rand Mc Nally and Co. London, U.K
- Chen, James C. P., and Chung Chi Chou. 1993. *Cane sugar handbook: a manual for cane sugar manufacturers and their chemists*, 12th edition. Wiley and Sons. New York
- Elevri P.A dan Putra S.R, 2006. *Produksi Etanol menggunakan Saccharomyces Cerevisiae yang Diambil dari Agar Batang*, Jurnal Akta Kimindo Vol.1 No.2. ITS Surabaya.
- Hambali, E., Mujdalipah, S., Tambunan, A. H., Pattiwiri, A. W. dan Hendroko, R. 2007. *Teknologi bioenergi*. Agro Media Pustaka, Jakarta
- Hidayat, N., Padaga, M. C. dan Suhartini, S. 2006. *Mikrobiologi Industri*. Andi Offset Yogyakarta.
- Judoamidjojo, Muljono, Darwis, A.A, dan Sa'id, E.G. 1992. *Teknologi Fermentasi*.
- Rahman, A. 1992. *Teknologi Fermentasi*. Arcana. Jakarta
- Sa'id, E.G. 1987. *Teknologi Fermentasi*. CV. Rajawali. Jakarta
- Soetedjo (1986), „Fluid Flow“ , Penerbit, Angkasa Bandung, Bandung,
- Smith. 1982. *Unit Operations of Chemical Engineering*. Singapore