



Proses Start Up Produksi Bioetanol dari Tepung Sorghum Menggunakan Reaktor Anaerobik Berpenghalang

Rosadela Lucky Artha^{*}, Ade Tia Suryani, Margono, Mujtahid Kaavessina, dan
Endah Retno Dyartanti⁵

Program Studi Teknik Kimia, FT, UNS Jl. Ir. Sutami no. 36 A, Surakarta 27126 Telp/fax:0271-632112

*E-mail: rosadela_lucky@yahoo.com

Abstract

Sorghum bicolor grain is a potential raw material for bioethanol production. Sorghum bicolor grain contain a high starch, i.e. 65 – 70% by weight. This is much higher than cassava starch. The objective of this research is to produce bioethanol from Sorghum bicolor grain using Simultaneous Saccharification and Fermentation Process in Anaerobic Baffled Reactor (ABR) and biocatalyst of co-immobilisation yeast-glucoamylase. ABR is a reactor which has 4 compartment and has working volume of 2,5 L respectively. These experiments focused to study start-up process of the fermentation.. The start up was initiated with batch process for 16 hours followed by continuous fermentation in order to get steady process. During start-up process showed increasing concentration of bioethanol and decreasing of reducing sugar as well as total sugar. The results show that the best ethanol concentration in start-up process were 1,277 g/L for compartment A, 1,572 g/L for compartment B, 1,69 g/L for compartment C, and 1,454 g/L for compartment D at 19 hours of fermentation time.

Keywords: *sorghum bicolor grain, bioethanol, Simultaneous Saccharification and Fermentation, Anaerobic Baffled Reactor*

Pendahuluan

Di zaman modern ini, energi menjadi kebutuhan yang tidak dapat terelakkan untuk mendukung segala aktivitas manusia. Pertambahan jumlah penduduk yang disertai dengan peningkatan kesejahteraan masyarakat berdampak pada semakin meningkatnya kebutuhan akan transportasi dan aktivitas industri. Selama ini, masyarakat Indonesia hanya menggantungkan sumber energi minyak yang terbuat dari fosil untuk pembangkit tenaga motor dan aktivitas industri. Padahal, cadangan minyak bumi saat ini semakin menipis dan akan segera habis dalam beberapa tahun mendatang. Menurut Ditjen Migas, dengan asumsi pertumbuhan permintaan Bahan Bakar Minyak (BBM) sebesar 4% per tahun dengan produksi BBM sebesar 677 ribu barel per hari, maka kebutuhan BBM tahun 2015 diperkirakan mencapai 1.294 ribu barel per hari atau setara dengan 3 kilang minyak tambahan. Selain itu, *crude oil* sebagai bahan baku BBM seharusnya dapat dimanfaatkan lebih lanjut sebagai bahan *petrochemical* yang mempunyai nilai jual lebih tinggi dibandingkan jika digunakan sebagai BBM.

Melihat kondisi tersebut, pemerintah telah mengumumkan rencana untuk mengurangi ketergantungan Indonesia pada bahan bakar minyak, dengan meluncurkan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional untuk mengembangkan sumber energi alternatif sebagai pengganti BBM. Walaupun kebijakan tersebut menekankan penggunaan batu bara dan gas, akan tetapi juga menetapkan sumber daya yang dapat diperbaharui seperti bahan bakar nabati sebagai alternatif pengganti BBM. Bahan bakar berbasis nabati juga dapat mengurangi pencemaran lingkungan, sehingga lebih ramah lingkungan. Bahan bakar berbasis nabati salah satu contohnya adalah bioetanol. Bioetanol dapat diproduksi dari jagung, singkong, sorgum, kentang, gandum, tebu, bit, dan juga limbah biomassa seperti tongkol jagung, limbah jerami, dan limbah tumbuhan lainnya.

Berdasarkan letak geografis, Indonesia dikenal sebagai negara agraris dengan tanahnya yang subur sehingga banyak lahan potensial yang dapat dikembangkan sebagai lahan pertanian. Di Indonesia terdapat banyak tanaman penghasil glukosa maupun pati yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol, salah satunya adalah sorgum putih (*Sorghum Bicolor L. Moench*). Tanaman ini mempunyai kadar pati yang cukup tinggi 70 – 80 % di bagian biji (Duodu, 2003). Sorgum memiliki potensi besar untuk dapat dibudidayakan dan dikembangkan secara komersial karena memiliki daya adaptasi luas, produktivitas tinggi, perlu input relatif lebih sedikit, tahan terhadap hama dan penyakit tanaman, serta lebih toleran kondisi marjinal (kekeringan, salinitas dan lahan masam). Selain itu, biji sorgum yang mengandung karbohidrat cukup tinggi sering digunakan sebagai bahan baku bermacam industri seperti industri *beer*, pati, gula cair (sirup), etanol, lem, cat, kertas, *degradable plastics* dan lain-lain. Adapula jenis sorgum yang batangnya mengandung kadar gula cukup tinggi dan disebut sorgum manis





(*sweet sorghum*). Sorgum manis sangat ideal digunakan untuk pakan ternak ruminansia, gula cair (sirup), *jaggery* dan bioetanol (Aboubacar, 2001).

Reaktor Anaerobik Berpenghalang atau yang sering disebut *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) merupakan sistem pengolahan dalam bioreaktor berpenyekat dengan rangkaian reaktor *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) karena dibagi menjadi beberapa kompartemen. Serangkaian sekat vertikal yang dipasang dalam ABR membuat cairan mengalir secara *anuler and over*, sehingga terjadi kontak antara cairan dengan biomassa aktif (Nachaiyasit and Stucky, 1997). Bakteri dalam bioreaktor mengapung dan mengendap sesuai karakteristik aliran dan gas yang dihasilkan, tetapi bergerak secara horisontal ke ujung reaktor secara perlahan sehingga meningkatkan *cell retention time*. Reaktor Anaerobik Berpenghalang terdiri dari 4 kompartemen dan serangkaian *baffle* vertikal yang mengarahkan air limbah di bagian bawah dan atas *baffle* dari *inlet* menuju *outlet* (Nguyen, 2010).

ABR memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan sistem mapan lainnya. ABR memerlukan periode *start-up* lebih pendek dengan waktu pengoperasiannya yang panjang (Movahedian, 2007). Profil konsentrasi senyawa organik bervariasi sepanjang ABR sehingga menghasilkan pertumbuhan populasi mikroorganisme berbeda pada masing-masing kompartemen tergantung pada kondisi lingkungan spesifik yang dihasilkan oleh senyawa hasil penguraian (Nachaiyasit and Stucky, 1997). Limbah cair berkontak dengan biomassa aktif selama mengalir dalam reaktor, sehingga efluen terbebas dari padatan biologis (*biological solids*). Konfigurasi tersebut mampu menunjukkan tingkat penyisihan COD yang tinggi (Grobicki and Stucky, 1991). Penggunaan Reaktor Anaerobik Berpenghalang dalam fermentasi kontinyu dapat meningkatkan konsentrasi produk yang diinginkan. Keuntungan lain dari penggunaan ABR adalah tidak membutuhkan energi listrik yang besar, biaya operasi murah, dan waktu pemakaian yang lama. Desainnya sederhana, tidak memerlukan pengaduk mekanis sehingga biaya konstruksi relatif murah. Pati sorgum dapat dikonversi menjadi bioetanol melalui proses hidrolisis dan fermentasi.

Metode hidrolisis dapat dilakukan dengan katalis asam dan secara enzimatis. Metode hidrolisis secara enzimatis lebih sering digunakan karena lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan katalis asam. Proses hidrolisis secara enzimatis terbagi menjadi dua proses yaitu *liquifikasi* dan *sakarifikasi*. *Liquifikasi* merupakan proses mengubah pati menjadi gula kompleks (dekstrin). Sedangkan *sakarifikasi* adalah proses mengubah dekstrin menjadi gula sederhana atau glukosa. Oleh karena proses *liquifikasi* dan fermentasi merupakan salah satu proses yang penting pada proses konversi sorgum menjadi bioetanol. Pada tahap *ko-immobilisasi* dibagi menjadi empat tahapan yaitu *silanisasi silika*, *immobilisasi enzim* dan *silika*, *Ko-immobilisasi enzim* dan *yeast* dalam *Na-alginat*, dan pembuatan *bead* biokatalis. Pada tahap ini dihasilkan *bead* biokatalis dengan 25% enzim *glukoamilase* dan 7% *yeast* dalam *Na-alginat*. Teknik *immobilisasi sel* dapat digambarkan sebagai pembatasan gerak fisik atau lokalisasi dari sel pada suatu wilayah ruang dengan preservasi aktivitas katalis yang diinginkan. Keunggulan teknik *immobilisasi sel* yaitu dapat meningkatkan produktivitas volumetrik, meningkatkan konsentrasi produk dalam aliran keluaran, mampu menurunkan konsentrasi substrat dalam aliran keluaran, dan mencegah terjadinya *wash out* pada aliran keluar produk.

Penelitian ini berfokus pada proses *start-up* saat fermentasi. Proses *start-up* sangat penting dilakukan untuk mendapatkan hasil terbaik saat fermentasi bioetanol selanjutnya. Dengan demikian, penelitian tentang proses *start-up* pada pembuatan bioetanol dari fermentasi tepung sorgum dengan menggunakan *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) ini penting untuk dilakukan.

Metode Penelitian

Pembuatan Bead Biokatalis

a. Silanisasi silika

Silika disuspensikan dalam larutan γ -AMPTS 0,5% dengan perbandingan 3 ml larutan/gram silika pada suhu 75°C selama 3 jam disertai pengadukan. Suspensi yang terbentuk disaring, silika dicuci dengan aquadest dan setelah itu dikeringkan di dalam oven bersuhu 60°C sampai benar-benar kering.

b. Immobilisasi enzim dalam silika

Silika hasil silanisasi dilarutkan dalam larutan 5% *glutaraldehyde-buffer phosphate* dengan pH 7, selama 1 jam kemudian disaring dan dibilas dengan aquadest berlebih, hasilnya disebut dengan *glutaraldehyde-bound-carriers*. Untuk proses immobilisasi, *glutaraldehyde-bound-carriers* dicampur dengan larutan enzim *glukoamilase-buffer asetat* dengan rasio 10 ml larutan/ gram *glutaraldehyde-bound-carriers*. Immobilisasi dilakukan pada suhu 25°C selama 36 jam. Enzim amobil yang telah terbentuk disaring dan dicuci dengan buffer asetat.

c. Ko-immobilisasi enzim-yeast

Na-Alginat (6% w/v) dilarutkan dalam buffer asetat dengan pH 4,2 pada suhu 40°C dan ditambahkan wet enzim amobil serta *yeast ekstrak* (10% w/v) pada suhu 35°C, diaduk hingga homogen.

d. Pembuatan bead biokatalis

Larutan gel ko-immobilisasi diteteskan ke dalam larutan CaCl_2 0,2 M menggunakan corong pemisah menjadi



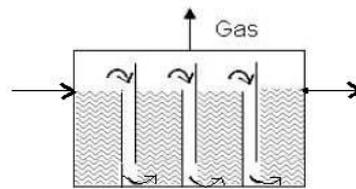
beads biokatalis, beads biokatalis disimpan dalam lemari pendingin selama 24 jam sebelum digunakan.

Pembuatan Medium Fermentasi (Proses Liquifikasi)

Tepung sorghum (20% w/v) disuspensikan ke dalam larutan CaCl_2 0,01 M. Suspensi yang diperoleh dipanaskan dan diaduk sehingga terbentuk gelatin, ditambahkan enzim α -amylase (2% v/v) dengan pH 6,0-6,5 pada suhu 85°C , dipanaskan dan dibiarkan mendidih selama 5 menit. Suspensi disentrifugasi dengan kecepatan 4000 rpm selama 1 menit. Cake yang tersisa dilarutkan kembali menggunakan aquadest dengan perbandingan 1:1 untuk disentrifugasi kembali.

Proses Fermentasi

Medium fermentasi sebanyak 10 L dimasukkan ke dalam reaktor yang sudah berisi beads biokatalis. Medium tersebut dikondisikan memiliki pH 4,2 dengan penambahan asam asetat. Fermentasi dilakukan dengan sistem *batch* selama 16 jam dan kontinyu dengan mengalirkan medium melalui tangki bahan selama 14 hari pada suhu 30°C dengan proses start up yang terjadi selama 3 hari, dengan dilakukan pengambilan sampel setiap 3 jam pada setiap ruang (ruang A, B, C, dan D) sehingga dalam satu hari dilakukan pengambilan sampel sebanyak 5 kali yaitu pukul 07.00 sampai 19.00 WIB. Medium fermentasi memiliki laju alir medium sebesar 0,42 L/jam.



Gambar 1. Reaktor Anaerobik Berpenghalang

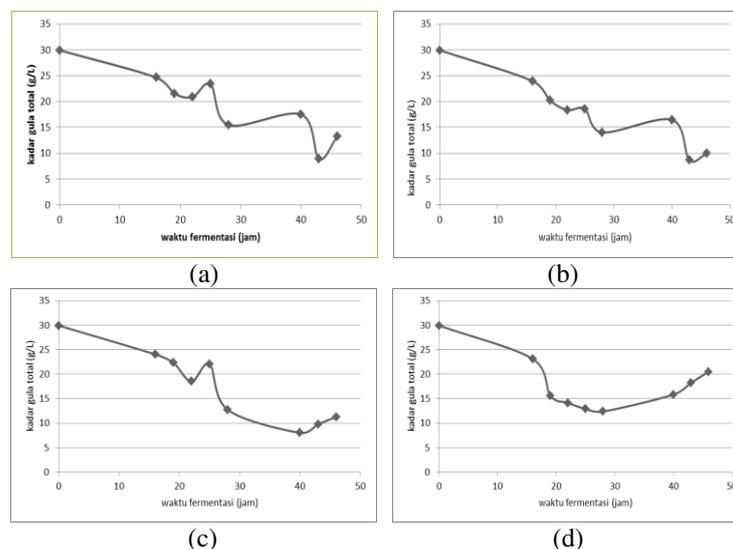
Analisis Sampel

Analisa sampel hasil fermentasi meliputi tiga bagian, yaitu penentuan kadar gula total, gula reduksi, dan etanol. Kadar gula total dianalisis dengan menggunakan metode Dubois (Dubois, 1956). Kadar gula reduksi dianalisis dengan menggunakan *glucose kit* Glucose GOD FS 10' Diasys (Germany). Kadar etanol dianalisis dengan pengukuran densitas larutan serta diverifikasi menggunakan cara gas kromatografi.

Hasil dan Pembahasan

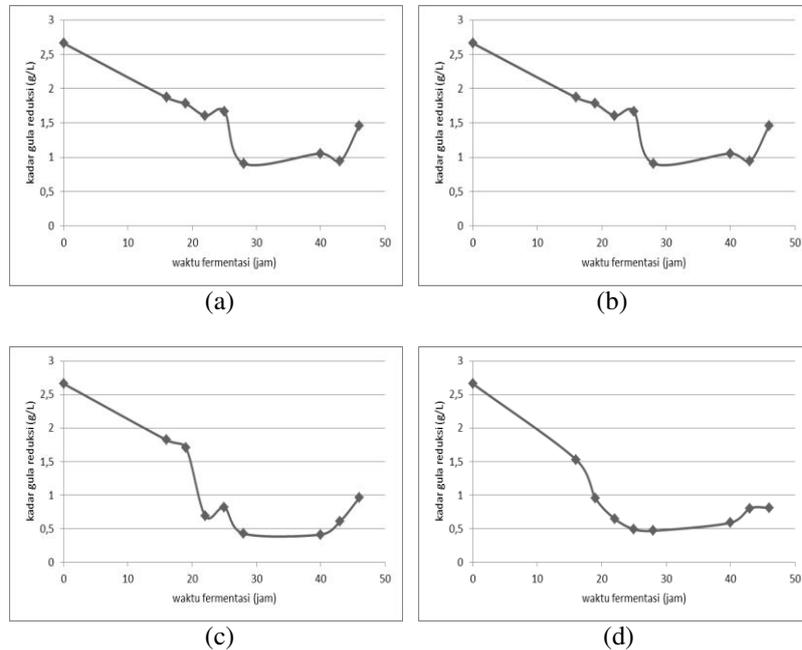
Dari hasil percobaan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa setelah tahap persiapan selesai bead biokatalis dapat langsung digunakan untuk proses fermentasi. Hal ini sejalan dengan data percobaan yang diperoleh, baik data gula total, gula reduksi, maupun etanol. Profil kadar gula total menunjukkan bahwa imobilisasi oleh *Saccaromichess cerevisae* berlangsung sejak awal fermentasi, yaitu pada 15 jam pertama.

Analisa hasil fermentasi meliputi 3 data, yaitu analisa gula total, gula reduksi, dan kadar etanol. Profil kadar gula total, gula reduksi, dan etanol disajikan dalam gambar (2), (3), dan (4) :



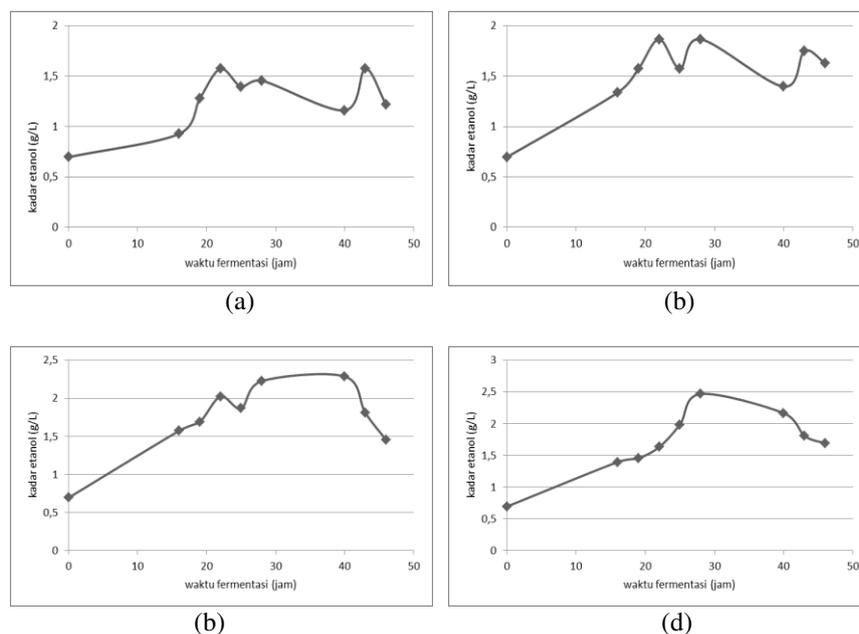
Gambar 2. Profil kadar gula total pada setiap kompartemen : (a) Ruang A (b) Ruang B (c) Ruang C (d) Ruang D

Pada profil kadar gula total memiliki kecenderungan *trend* berupa penurunan yang signifikan pada awal fermentasi yaitu pada jam ke-0 sampai jam ke-19, kemudian mengalami kenaikan dilanjutkan dengan keadaan steady state. Hal ini dikarenakan gula total mengalami proses sakarifikasi oleh enzim *glucoamylase* yang ada dalam beads biokatalis membentuk glukosa yang berlangsung secara simultan. Konsentrasi gula total pada fase start up pada setiap ruang sebesar 21,546 g/l untuk ruang A, 20,198 g/l untuk ruang B, 22,359 g/l untuk ruang C, dan 15,554 g/l untuk ruang D.



Gambar 3. Profil kadar gula reduksi pada setiap kompartemen : (a) Ruang A (b) Ruang B (c) Ruang C (d) Ruang D

Pada profil kadar gula reduksi memiliki kecenderungan *trend* sebanding dengan profil kadar gula total, yaitu berupa penurunan yang signifikan di awal proses fermentasi kemudian mengalami kenaikan dilanjutkan dengan keadaan steady state. Pada fase start up, konsentrasi gula total (gambar 2) dan gula reduksi (gambar 3) semakin menurun. Konsentrasi gula reduksi pada fase start up yaitu waktu fermentasi ke-19 jam pada setiap ruang sebesar 1,78 g/L untuk ruang A, 0,983 g/L untuk ruang B, 1,71 g/L untuk ruang C, dan 0,955 g/L untuk ruang D.



Gambar 4. Profil kadar etanol pada setiap kompartemen : (a) Ruang A (b) Ruang B (c) Ruang C (d) Ruang D



Pada profil kadar etanol memiliki kecenderungan *trend* berupa kenaikan yang signifikan pada awal fermentasi yaitu pada jam ke-0 sampai jam ke-19, kemudian mengalami perlambatan dilanjutkan dengan keadaan steady state. Konsentrasi etanol berbanding terbalik dengan konsentrasi gula total dan gula reduksi. Pada fase start up, konsentrasi etanol (gambar 4) semakin meningkat sedangkan konsentrasi gula total (gambar 2) dan gula reduksi (gambar 3) semakin menurun. Konsentrasi etanol pada waktu fermentasi ke-19 jam sebesar 1,277% untuk ruang A, 1,572% untuk ruang B, 1,69% untuk ruang C, dan 1,454% untuk ruang D.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pada fase awal fermentasi, gula total dan gula reduksi terkonversi menjadi etanol dalam jumlah besar sehingga mengakibatkan konsentrasi gula total dan gula reduksi rendah. Proses start up terjadi pada waktu fermentasi ke-19 jam ditandai dengan fase steady state. Konsentrasi gula total pada fase start up sebesar 21,546 g/l untuk ruang A, 20,198 g/l untuk ruang B, 22,359 g/l untuk ruang C, dan 15,554 g/l untuk ruang D. Konsentrasi gula reduksi pada fase start up sebesar 1,78 g/L untuk ruang A, 0,983 g/L untuk ruang B, 1,71 g/L untuk ruang C, dan 0,955 g/L untuk ruang D. Konsentrasi etanol pada fase start up sebesar 1,277% untuk ruang A, 1,572% untuk ruang B, 1,69% untuk ruang C, dan 1,454% untuk ruang D.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan melalui Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi (PUPT) 2015.

Daftar Pustaka

- Aboubacar A, Axtell JD, Huang, C-P., A Rapid Protein Digestibility Assay for Identify Highly Digestible Sorghum Lines. *Cereal Chemistry* 2001; 78.
- Dubois, M., et al. Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. *Analytical Chemistry* 1956; 28: 350-356.
- Doudu, KG, Ezeogu LI, Emmambux, M.N. and Taylor, J.R.N. Influence of Cooking Conditions on The Protein Matrix of Sorghum and Maize Endosperm Flours. *Cereal Chem.* 2008; 85:397-402.
- Grobicki A and Stuckey, DC. Performance of The Anaerobic Baffled Reactor Under Steady-State and Shock Loading Conditions. *Biotechnol.* 1991.
- Movahedyan A, Assadi A, Parvaresh. Performance Evaluation of Anaerobic Baffled Reactor Treating Wheat Flour Starch Industry Wastewater. *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.* 2007; 4 (2): 77-84.
- Nguyen S, Turgeon J, Matte. The Anaerobic Baffled Reactor: A Study of the Wastewater Treatment Process Using the Anaerobic Baffled Reactor, Worcester Polytechnic Institute. 2010.
- Nachaiyasit S, Stuckey DC.. The Effect of Shock Loads on The Performance of an Anaerobic Baffled Reactor (ABR): I, Step Changes in Feed Concentration at Constant Retention Time, 1997.





Lembar Tanya Jawab

Moderator : Akbarningrum Fatmawati (Universitas Surabaya)

Notulen : Retno Ringgani (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Hargono (UNDIP Semarang)
Pertanyaan : Apa yang membedakan gula total dengan gula reduksi?
Jawaban : yang membedakan adalah cara mengukurnya, gula reduksi → metode glukoskid Gula total → metode de Borst
2. Penanya : Akbarningrum (UBAYA Surabaya)
Pertanyaan : Analisa alkohol dilakukan dengan 2 cara, bagaimana dengan hasilnya apakah ada perbedaan?
Jawaban : Hasilnya cenderung/relatif sama.

