

PEMBUATAN POLIHIDROKSIALKANOAT DARI LIMBAH CAIR INDUSTRI TERIGU DALAM SEQUENCING BATCH REACTOR

Plastik merupakan salah satu polutan yang sulit dihancurkan oleh alam. Peningkatan volume sampah plastik mendorong pencarian dan pengembangan material plastik yang mudah diuraikan oleh alam (plastik biodegradabel). Polihidroksialkanoat (PHA) adalah salah satu jenis plastik biodegradabel yang termasuk dalam kelompok poliester. Bahan baku PHA antara lain glukosa dan asam lemak volatil. PHA dapat dihasilkan dari bermacam-macam bakteri. Kendala yang dihadapi dalam pengembangan PHA berasal dari biaya pemenuhan kebutuhan substrat dan biaya pengambilan dan pemurnian PHA dari biomassa. Upaya yang dapat dilakukan adalah memanfaatkan limbah industri pangan menggunakan sistem lumpur aktif dalam Sequencing batch reactor (SBR) untuk memproduksi PHA. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh perbandingan antara siklus pendek dan siklus panjang dalam sistem SBR terhadap akumulasi PHA serta pengaruh periode aerob dan anaerob. Penelitian dilakukan dalam SBR dengan volume total sebesar 6 L. Lumpur aktif yang digunakan diperoleh dari PT Apac Inti Corpora Ungaran, sedangkan limbah cair terigu yang digunakan adalah limbah sintesis. Variasi dilakukan terhadap tahapan pengisian dan rasio aerob-anaerob. Satu siklus SBR membutuhkan waktu 12 jam. Kondisi-kondisi yang diusahakan tetap adalah temperatur kamar, pH netral (pada awal operasi), dan SRT selama 10 hari. Variabel tetap lainnya adalah waktu pengendapan 2 jam dan waktu dekantasi 1 jam. Analisa kandungan MLSS dan PHA dilakukan diakhir siklus dan tiap hari selama masa STR. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi PHA yang lebih besar mencapai 1,7 g/L diperoleh pada tahapan pengisian panjang. Rasio aerob dan anaerob dengan periode aerob yang lebih besar menghasilkan konsentrasi PHA yang lebih besar dan konsentrasi PHA terbesar diperoleh pada rasio aerob-anaerob 2:1.

Kata Kunci: limbah cair, polihidroksialkanoat, SBR, terigu

I. Hartati

e-mail: indah_hartati@yahoo.com

I. Riwayati

e-mail: riway79@yahoo.com

L. Kurniasari

e-mail: laeli_kurniasari@yahoo.co.id

Laboratorium Proses Kimia
Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik
Universitas Wahid Hasyim
Semarang
Jl Menoreh Tengah X/22
Semarang

Pendahuluan

Plastik merupakan salah satu penemuan dibidang kimia yang menjadikan hidup manusia lebih mudah. Penggunaan plastik yang semakin meluas disebabkan oleh kelebihan yang dimilikinya, yaitu plastik mudah dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran, mempunyai ketahanan kimia yang tinggi, dapat diatur keelastisannya, murah, dan dapat bertahan untuk waktu yang lama. Namun, kelebihan ini pula yang menjadikan plastik sebagai salah satu polutan yang sangat besar pengaruhnya. Karena murah, orang membuang plastik dengan mudah dan menjadikannya tumpukan sampah yang sulit dihancurkan oleh alam. Sebagai gambaran, diperkirakan lebih dari 100 juta ton plastik diproduksi setiap tahun di seluruh dunia. Konsumsi plastik di India adalah 2 kg per orang per tahun, sementara di Eropa 60 kg per orang per tahun dan di Amerika 80 kg per orang per tahun. Hal ini menyebabkan sampah plastik

terakumulasi sebanyak 25 juta ton per tahun [Jogdand, 2000].

Sampah plastik sangat mengganggu keindahan kota, menimbulkan banjir di berbagai daerah dan menyebabkan kematian pada banyak hewan. Suatu program TV di India telah melaporkan kematian 100 ekor sapi per hari akibat tak sengaja memakan kantong plastik. Sedangkan laporan terbaru dari Amerika menyimpulkan adanya lebih dari 100.000 hewan laut yang mati per tahun karena sebab yang sama. Dalam perut setiap hewan tersebut ditemukan plastik, yang menyebabkan pencernaan terhalang dan mengakibatkan kelaparan.

Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengatasi masalah yang ditimbulkan oleh plastik tersebut adalah dengan membuat material plastik yang dengan mudah dapat diuraikan oleh alam. Plastik semacam ini dinamakan plastik biodegradabel. Jenis plastik ini sangat sesuai dengan siklus karbon alami,

karena ketika dibuang ke lingkungan dan didegradasi oleh mikroorganisme diperoleh hasil CO₂. Peristiwa biodegradasi dapat terjadi di semua lingkungan, baik pada kondisi aerob maupun anaerob, dan di dalam tubuh hewan. Dan bila plastik biodegradabel dibakar, hasil pembakaran tersebut bukan merupakan senyawa beracun.

Polihidroksialkanoat (PHA) adalah salah satu jenis plastik biodegradabel yang termasuk dalam kelompok poliester. PHA dapat terdegradasi sempurna dan memiliki sifat yang mirip dengan kelebihan yang dimiliki oleh plastik konvensional. Nilai tambah PHA dibandingkan dengan plastik biodegradabel lain adalah bahan bakunya selalu dapat diperbaharui (*renewable*), seperti glukosa dan asam lemak volatil. PHA dapat dihasilkan dari bermacam-macam bakteri, seperti *Alcaligenes latus*, *Pseudomonas oleovorans* dan *Escherichia coli*. Masing-masing bakteri akan menghasilkan PHA dengan komposisi yang berbeda. Jenis substrat yang dikonsumsi oleh bakteri pun menentukan jenis PHA yang diproduksi.

Salah satu sektor dalam kegiatan pembangunan adalah kegiatan industri, kegiatan ini di beberapa sisi memberi berbagai manfaat dalam kehidupan manusia, namun ada sisi lain yang dianggap dapat menimbulkan akibat yang merugikan yaitu adanya limbah industri yang dapat mencemari lingkungan. Salah satu diantaranya adalah limbah cair industri pangan.

Pada industri pangan dengan skala besar, sedang maupun kecil, limbah yang dihasilkan banyak mengandung zat-zat organik (C, H, O, N, S) yang berasal dari bahan baku proses yang umumnya mengandung karbohidrat, protein, dan lemak. Oleh karena itu salah satu parameter penting dari air buangan industri pangan adalah BOD (*Biological oxygen demand*). Apabila pada air tercemar zat organik, mikroorganisme dapat menghabiskan oksigen terlarut dalam air, selama terjadi proses oksidasi, yang dapat mengakibatkan organisme dalam air tersebut akan mati serta mengakibatkan keadaan menjadi aerob yang menimbulkan bau busuk pada air tersebut. Upaya untuk mengatasi pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh industri pangan berbasis tepung terigu adalah dengan mengolah limbah tersebut menjadi bahan yang bernilai guna, yaitu plastik *biodegradable* (PHA).

Produksi PHA saat ini semakin berkembang luas karena kebutuhan plastik yang 'ramah lingkungan' semakin meningkat. Namun, pemakaian PHA sebagai material pengganti plastik konvensional dibatasi oleh harga jual yang sangat mahal. Kendala ini berasal dari biaya produksi yang cukup tinggi, terutama biaya untuk memenuhi kebutuhan substrat dan biaya pengambilan dan pemurnian PHA dari biomassa. Untuk menekan biaya substrat dilakukan upaya pemanfaatan substrat

yang selama ini terbuang, yaitu bahan-bahan organik yang terdapat dalam limbah industri.

Pemanfaatan limbah industri pangan merupakan suatu alternatif dalam memproduksi PHA, mengingat limbah tersebut merupakan sumber karbon yang berpotensi menghasilkan kopolimer PHA. Pengolahan limbah secara biologis ini menggunakan sistem lumpur aktif yang mengandung bermacam-macam mikroorganisme. Selain dapat menghasilkan PHA dengan biaya substrat rendah, cara ini dapat mengurangi lumpur hasil pengolahan limbah dengan sistem lumpur aktif. *Sequencing batch reactor* (SBR) sebagai salah satu modifikasi sistem lumpur aktif diharapkan mampu mengatasi kelemahan sistem lumpur aktif konvensional, sehingga pHA dapat terakumulasi semaksimal mungkin. Penelitian ini bertujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh perbandingan antara siklus pendek dan siklus panjang dalam sistem SBR terhadap akumulasi PHA serta pengaruh periode aerob dan anaerob.

Metode Penelitian

Pada penelitian ini digunakan *sequencing batch reactor* (SBR) yang merupakan salah satu modifikasi dari sistem pengolahan limbah lumpur aktif. SBR dilengkapi dengan sistem pengaturan operasi untuk mengendalikan jalannya proses anaerobik-aerobik. Peralatan yang digunakan, baik alat utama maupun pendukung, dan bahan-bahan yang dipakai menjadi pembicaraan dalam bab ini. Selain itu, dibicarakan pula prosedur penelitian yang dilakukan dan prosedur analisa yang diperlukan untuk mengetahui kualitas dan kuantitas hasil yang diperoleh.

Peralatan

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian untuk memproduksi PHA berupa rangkaian SBR yang terdiri atas bioreaktor berukuran (20 x 20 x 25) cm³ yang terbuat dari bahan *flexiglass*. Bioreaktor ini dilengkapi dengan sistem aerasi, sistem pengaduk magnet, sistem pengumpanan, dan sistem pembuangan. Peralatan utama dilengkapi dengan peralatan pendukung yang berupa tangki umpan, katup-katup, dan tangki keluaran.

Hasil yang diperoleh dari proses yang terjadi dalam peralatan utama dengan bantuan peralatan pendukung tersebut di atas kemudian dianalisa untuk dapat diambil kesimpulan penelitian yang telah dilakukan.

Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain: metanol, kloroformkalium dikromat, air demin,

ferro amonium sulfat, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, H_2SO_4 , Ag_2SO_4 , $HgSO_4$, $CaCl_2$, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, KH_2PO_4 , $Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$, K_2HPO_4 dan NH_4Cl .

Prosedur Penelitian

Lumpur aktif sebanyak 1,5 liter dimasukkan ke dalam reaktor. Kemudian reaktor diisi dengan limbah industri pangan hingga mencapai volum kerja 6 liter. Satu siklus SBR membutuhkan waktu 12 jam. Kondisi-kondisi yang diusahakan tetap adalah temperatur kamar, pH netral (pada awal operasi), dan SRT selama 10 hari. Variabel tetap lainnya adalah waktu pengendapan 2 jam dan waktu dekantasi 1 jam. Kondisi aerob dicapai dengan mengalirkan udara ke dalam reaktor. Pada kondisi anaerobik, sistem pengaduk magnet dijalankan untuk membantu sirkulasi dan

mencegah pengendapan, sehingga reaksi masih dapat terus berlangsung.

Pada akhir waktu siklus, sampel diambil dan dianalisis untuk besaran-besaran MLSS, dan kandungan PHA. Pengamatan ini dilakukan sampai diperoleh kondisi stabil, dimana konsentrasi MLSS efluen relatif tetap. Setelah kondisi stabil dicapai, dilakukan pengamatan setiap hari selama siklus operasi SBR untuk besaran-besaran MLSS dan kandungan PHA.

Pengambilan PHA dilakukan dengan memecah dinding sel dan ekstraksi menggunakan larutan kloroform. Percobaan utama dilakukan untuk mengamati perbedaan kandungan PHA yang dihasilkan jika waktu pengamatan dan saat dimulainya tahap aerob dan tahap mixing dalam satu siklus divariasikan. Variasi percobaan ini dapat dijelaskan dengan tabel sebagai berikut:

Run 1 :

Proses	Jam ke-											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Filling	■	■										
<i>Aerob</i>					■	■						
<i>Mixing</i>	■	■	■	■			■	■	■			
<i>Settling</i>										■	■	
<i>Decant</i>												■

Run 2 :

Proses	Jam ke-											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Filling	■	■										
<i>Aerob</i>				■	■	■						
<i>Mixing</i>	■	■	■	■			■	■	■			
<i>Settling</i>										■	■	
<i>Decant</i>												■

Run 3 :

Proses	Jam ke-											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Filling	■	■										
<i>Aerob</i>			■	■	■	■						
<i>Mixing</i>	■	■					■	■	■			
<i>Settling</i>										■	■	
<i>Decant</i>												■

Run 4 :

Proses	Jam ke-											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Filling	■	■	■	■	■	■	■	■				
<i>Aerob</i>					■	■	■					
<i>Mixing</i>	■	■	■	■			■	■	■			
<i>Settling</i>										■	■	
<i>Decant</i>												■

Run 5 :

Proses	Jam ke-											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Filling												
<i>Aerob</i>												
<i>Mixing</i>												
<i>Settling</i>												
<i>Decant</i>												

Run 6 :

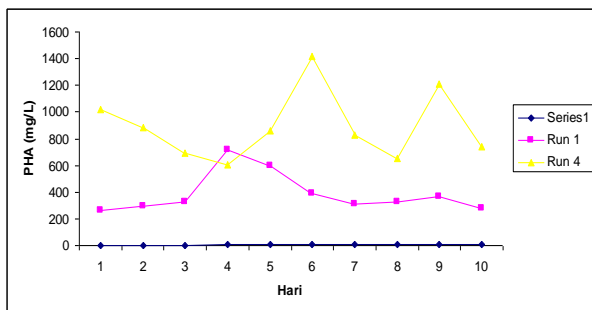
Proses	Jam ke-											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Filling												
<i>Aerob</i>												
<i>Mixing</i>												
<i>Settling</i>												
<i>Decant</i>												

Hasil dan Pembahasan

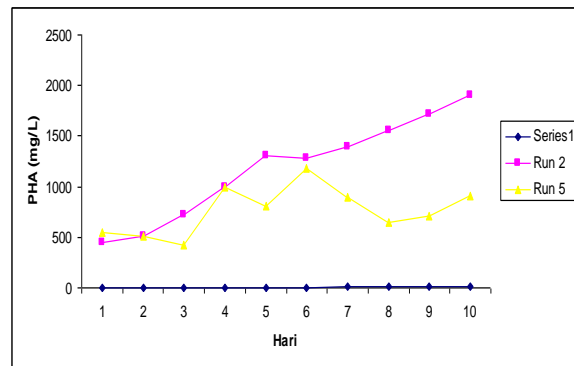
Pada bagian ini disajikan hasil penelitian dan pembahasan mengenai pembentukan PHA dari limbah terigu sintesis menggunakan lumpur aktif yang berlangsung pada Sequencing Batch Reaktor. Limbah cair sintesis digunakan agar komposisi dan karakteristik limbah pada semua running percobaan sama.

Pengaruh Tahapan Pengisian

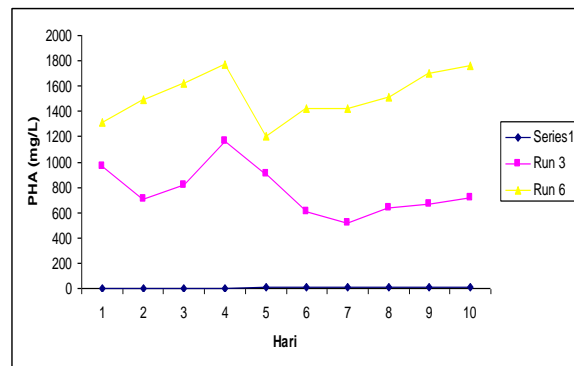
Tahapan pengisian dibedakan menjadi dua yakni panjang dan pendek. Tahap pengisian pendek adalah tahap pengisian selama 2 jam sedangkan tahap pengisian panjang adalah tahapan pengisian selama 8 jam. Dari hasil analisa PHA (mg/L) diketahui bahwa tahapan pengisian panjang menghasilkan PHA dengan konsentrasi yang lebih tinggi. Hasil analisa PHA pada tahapan pengisian panjang dan pendek disajikan pada Gambar 1-3. PHA tertinggi diperoleh pada tempuhan 6 dimana dihasilkan PHA dengan konsentrasi 1,7g/L. Namun demikian tahapan pendek dengan rasio aerob-anaerob 1:1 menghasilkan PHA dengan konsentrasi yang lebih tinggi daripada PHA pada tahapan panjang.



Gambar 3. PHA Tahapan Panjang dan Pendek Run 1 dan 4



Gambar 3. PHA Tahapan Panjang dan Pendek Run 2 dan 5



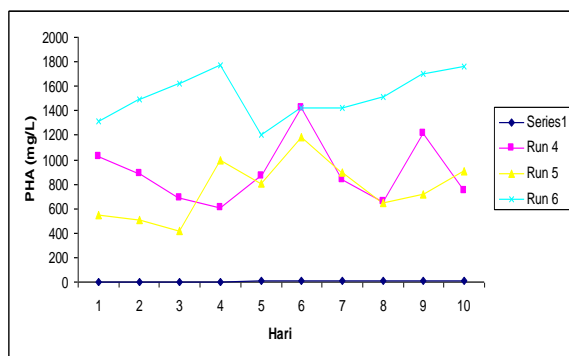
Gambar 3. PHA Tahapan Panjang dan Pendek Run 3 dan 6

Tahapan pengisian yang lebih panjang memungkinkan bagi mikroorganisme untuk menyesuaikan diri serta melewati tahap pertumbuhan. Tahapan pengisian pendek mengakibatkan terjadinya keterbatasan nutrisi yang ada yang berasal dari limbah

cair terigu. Keterbatasan nutrisi pada tahap pengisian pendek menghasilkan konsentrasi PHA yang lebih rendah. Hal tersebut senada dengan hasil penelitian Damajanti (2003) yang menyatakan penyisihan COD pada tahapan pengisian panjang lebih banyak dibandingkan tahapan pengisian pendek. Damajanti juga menyebutkan bahwa penyisihan COD berkorelasi positif dengan peningkatan konsentrasi PHA.

Pengaruh Rasio Aerob-Anaerob

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada periode aerob yang lebih besar dihasilkan konsentrasi PHA yang lebih tinggi (Gambar 4). Hal tersebut dikarenakan semakin panjang periode aerob maka kesempatan mikroorganisme untuk berkembang semakin besar.



Gambar 4. Konsentrasi PHA pada Berbagai Rasio aerob-anaerob

Pada periode anaerob yang panjang juga terjadi proses denitrifikasi. Proses tersebut mengakibatkan terjadinya degradasi PHA yang terbentuk, yang digunakan sebagai substrat padat.

Pemanfaatan PHA dalam peristiwa denitrifikasi dinamakan sebagai denitrifikasi fasa padat. Hiraishi (2003) menyatakan bahwa salah satu faktor yang mempengaruhi peristiwa denitrifikasi adalah jenis kristalinitas polimer.

Polimer yang bersifat kristalin lebih sukar terdegradasi dibandingkan polimer yang bersifat amorf. Polimer PHA pada sel mikroorganisme bersifat amorf sehingga mudah terdegradasi pada proses denitrifikasi fasa padat

Kesimpulan dan Saran

Konsentrasi PHA yang lebih besar mencapai 1,7 g/L diperoleh pada tahapan pengisian panjang. Rasio aerob dan anaerob dengan periode aerob yang lebih besar menghasilkan konsentrasi PHA yang lebih besar. Konsentrasi PHA terbesar diperoleh pada rasio aerob-anaerob 2:1.

Pembentukan PHA dari limbah cair terigu sangat berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut. Namun

demikian perlu diteliti lebih lanjut mengenai faktor-faktor lain yang mempengaruhi proses pembentukan PHA

Daftar Pustaka

- Chua, H., dan P.H.F. Yu, 1999, Production of Biodegradable Plastics from Chemical Wastewater – A Novel Method to Reduce Excess Activated Sludge Generated from Industrial Wastewater Treatment, *Wat. Sci. Tech.*, 39(10-11), hal. 273-280.
- Droste, R.L., 1997, Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment, John Wiley & Sons, New York, hal. 547-612.
- Helmreich, B., D. Schreff, dan P.A. Wilderer, 2000, Full Scale Experiences with Small Sequencing Batch Reactor Plants in Bavaria, *Wat. Sci. Tech.*, 41(1), hal. 89-96.
- Henze, Mogens, Poul Harremoes, Jes la Cour Jansen, dan Erik Arvin, 1995, Wastewater Treatment : Biological and Chemical Process, Springer-Verlag Berlin, Germany, hal. 95-98, 273-283.
- Lee, S.Y., 1996, Plastic Bacteria? Progress and Prospects for Polyhydroxyalkanoate Production in Bacteria, *Tibtech*, 14, hal. 431-438.
- Poirier, Y., C. Nawrath, dan C. Someville, 1995, Production of Polyhydroxyalkanoates, a Family of Biodegradable Plastics and Elastomers, in Bacteria and Plants, *Bio/Technology*, 13, hal. 142-150.
- Satoh, H., T. Mino, dan T. Matsuo, 1999, PHA Production by Activated Sludge, *Intl. Journal. of Biological Macromolecules*, 25, hal. 105-109.
- Satoh, H., Y. Iwamoto, T. Mino, dan T. Matsuo, 1998, Activated Sludge as a Possible Source of Biodegradable Plastic, *Wat. Sci. Tech.*, 38(2), hal. 103-109.
- Slejska, A., 1997, Biodegradable Plastics. Water Environment Federation, 1994, **Basic Activated Sludge Process Control**, Alexandria USA, hal. 3-12.
- Yu, P., H. Chua, A.L. Huang, W. Lo, dan C.Q. Chen, 1998, Conversion of Food Industrial Waste into Bioplastics, *Appl. Biochem. Biotech.*, 70, hal. 603-614.