

REKAYASA BIODERAGADASI LIMBAH CAIR INDUSTRI PANGAN MENJADI PLASTIK *BIODEGRADABLE* DENGAN MENGGUNAKAN LUMPUR AKTIF

Deddy Kurniawan Wikanta, Mohamad Endy Yulianto, Fahni Arifan

Jurusan Teknik Kimia PSD III Teknik, UNDIP Semarang
Jl. Prof Sudarto SH, Pedalangan Tembalang, Semarang 50239
E-mail : dedi_k@yahoo.com

Abstract

Plastics waste has a negative effect on our environment. One effort to solve a problem exerted in plastic waste is by making a degradable plastic material. Polihidroksialkanoat (PHA) is one of biodegradable plastic material which is include in the polyester group. PHA can be completely degraded and has similar properties with conventional plastic. The usage of liquid food industry waste is a good alternative for the production of PHA, since liquid waste of food industry comprise of organics substance such as C, H, O, N and S. The production of Polihidroksialkanoat (PHA) from liquid waste of flour industry was conducted in a of sequencing batch reactor (SBR). The objectives of this research are to study the effect of batch time in one cycle of sequencing batch reactor (SBR), to compare between short and ordinary cycle in SBR system to PHA accumulation and kind of PHA, to study optimum condition of producing PHA. The first experiment was done in time of less than 12 hours by using filling time variable and ratio of duration of aerob and anaerob process. The constant conditions were ambient temperature and neutral pH (at the begining). The results shows that at running with time ratio of aerob:anaerob was 6:3 hours and a same duration of feeding, the highest average PHA content was got at the run when filling step is in six hours anaerob with aerob breaking time. The feeding duration also influence the PHA formation. The short feeding duration yielded the highest average PHA content. An average PHA 0.1838 g/gsel was yielded at two hours feeding duration.

Key Words: biodegradable; plastic; waste

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 demikian, kelebihan ini pula yang menjadikan plastik sebagai salah satu polutan yang sangat besar pengaruhnya. Hal ini disebabkan harga plastik murah, sehingga dibuang 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. Sementara itu, laporan terbaru dari Amerika menyimpulkan lebih dari 100.000 hewan laut yang mati per tahun karena memakan kantong plastik. Setiap perut hewan tersebut ditemukan

plastik, yang menyebabkan pencernaan terhambat dan mengakibatkan keaparan.

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. 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. Industri pangan untuk 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.

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari pengaruh waktu tahapan dalam satu siklus *sequencing batch reactor* (SBR), membandingkan antara siklus pendek dan siklus biasa dalam sistem SBR terhadap akumulasi PHA dan jenis PHA yang diperoleh, mengkaji kondisi operasi optimum pembentukan PHA. Diharapkan informasi teknologi ini nantinya dapat dikembangkan, dimanfaatkan dan diproduksi secara terpadu oleh industri-industri makanan berbasis tepung terigu secara komersial.

Metode Penelitian

Limbah sintesis yang digunakan terdiri dari tepung terigu, NH_4Cl , $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, KH_2PO_4 , CaCl_2 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Prosedur penelitian dibagi menjadi dua tahap, yaitu (1) tahap pembibitan dan aklimatisasi, dan (2) tahap percobaan utama. Pengamatan pada tahap kedua dibedakan menjadi dua, yaitu pada kondisi transien dan pada kondisi stabil.

Pembibitan bertujuan untuk menyediakan bibit mikroorganisme yang akan dipakai dalam pengolahan limbah. Pada percobaan ini, lumpur yang digunakan berasal dari pengolahan limbah industri tekstil. Setelah mikroorganisme berkembang dan mencapai konsentrasi tertentu, dilakukan aklimatisasi yang bertujuan untuk menjadikan mikroorganisme adaptif dengan lingkungan yang sesuai pada percobaan yang dilakukan.

Percobaan utama dilakukan dalam waktu kurang lebih selama 12 jam dengan menggunakan variabel waktu pengisian dan lama ratio proses aerob dan anaerobik. Kondisi-kondisi yang diusahakan tetap adalah temperatur kamar dan pH netral (pada awal operasi).

Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini dilakukan sebagai studi awal mengenai proses pembuatan plastik biodegradabel dengan memanfaatkan limbah cair sintesis industri pangan berbahan baku tepung terigu. Variabel yang digunakan merupakan variasi waktu antara proses aerob dan proses anaerob. Pembahasan diberikan dalam dua kondisi, yaitu tahap pembibitan dan aklimatisasi (kondisi transien) dan tahap percobaan utama (kondisi tunak).

Karakteristik Limbah Cair Industri Pangan Berbahan Baku Tepung Terigu

Limbah cair industri pangan berbahan baku tepung terigu yang digunakan dalam penelitian ini merupakan limbah cair sintesis untuk mendapatkan kondisi studi awal yang sama untuk tiap variabel tahap percobaan utama.

Studi pendahuluan berupa analisa limbah air industri pangan berbahan baku tepung terigu

untuk menentukan kondisi standar selama proses percobaan. Limbah yang diambil dari industri pangan berbahan baku tepung terigu, disimpan selama satu hari agar mengendapkan padatan tersuspensi. Setiap hari sebelum air limbah digunakan, dilakukan pengukuran pH dan COD, sementara pengukuran TKN dilakukan setiap dua hari sekali dan BOD diukur pada setiap akhir tempuhan. Karakteristik air limbah industri tepung terigu yang telah mengalami pengendapan disajikan pada Tabel 1. Sebelum digunakan, pH umpan diatur pada kondisi pH 8 untuk mendapatkan kondisi reaktor ideal bagi pertumbuhan bakteri lumpur aktif.

Tabel 1. Karakteristik Limbah Cair Industri Pangan Berbahan Baku Tepung Terigu

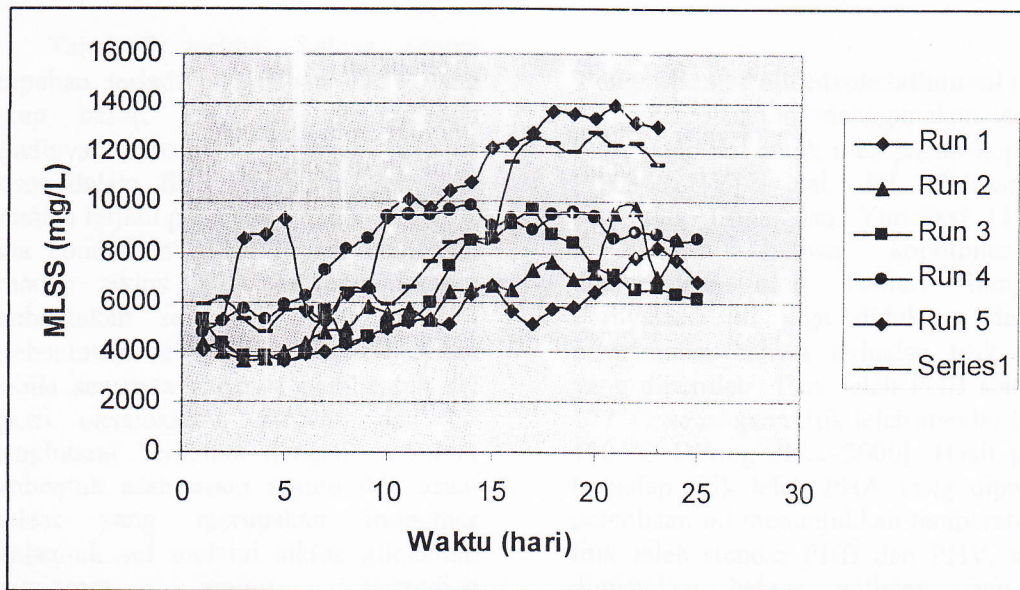
Parameter	Rentang	Rata-rata
pH	3,6 – 5,3	4,4
COD (mg/L)	5271 – 14952	9056
BOD (mg/L)	2358 – 4681	3863
TKN (mg/L)	135,77 – 286,53	196,5

Pengamatan pada Tahap Pembibitan dan Aklimatisasi (Kondisi Transien)

Pada kondisi transien, dilakukan analisa tiap hari untuk mengamati MLSS, COD, perolehan PHA, dan TKN (dua hari sekali). Analisa BOD dilakukan pada awal dan akhir percobaan tiap tempuhan dan TVA juga dilakukan tiap tempuhan.

Pengamatan MLSS dan COD

Hasil pengamatan terhadap MLSS pada semua tempuhan yang dilakukan disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik hubungan MLSS terhadap waktu tempuhan

Gambar 1. terlihat bahwa MLSS yang diperoleh pada akhir tahapan lebih tinggi dibanding MLSS pada awal proses. Kondisi ini menunjukkan adanya perkembangan mikroorganisme yang tumbuh dalam SBR. Perbedaan yang nyata tampak pada percobaan 5 dan 6 dibandingkan dengan percobaan 1-4. Hal ini diperkirakan terjadi karena nilai rata-rata COD lebih tinggi pada percobaan 5 dan 6 daripada substrat percobaan 1-4. Nilai COD yang tinggi dapat diasosiasikan dengan tingginya kandungan senyawa organik sebagai sumber karbon untuk pertumbuhan mikroorganisme. Pada awal percobaan terjadi penurunan MLSS, hal ini disebabkan karena mikroorganisme yang sedang melakukan adaptasi terhadap kondisi SBR. Meskipun semua kondisi dalam SBR diusahakan tetap, namun dampaknya terjadi sedikit perubahan di luar kontrol yang menyebabkan timbulnya fluktuasi lama kondisi adaptasi mikroba.

Senyawa organik merupakan sumber karbon bagi mikroorganisme lumpur aktif, kondisi ini menjadi dasar bagi pengolahan limbah secara biologis. Dengan pemberian aerasi yang cukup, diharapkan mikroorganisme lumpur aktif dapat berkembang biak menggunakan bahan organik dalam limbah sebagai sumber karbon.

Pengamatan TKN

Pengamatan terhadap penyisihan TKN dilakukan untuk mengetahui banyaknya nitrogen yang dikonsumsi oleh mikroorganisme. Nitrogen dalam bentuk amonium merupakan bahan penyusun asam amino dan asam nukleat yang berperan dalam pembentukan sel-sel baru. Hasil pengamatan terhadap penyisihan TKN untuk masing-masing tempuhan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Persentase penyisihan TKN untuk setiap tempuhan

Tempuhan	Rentang penyisihan (%)	Rata-rata (%)
1	70,00-89,39	79,87
2	30,83-87,50	73,74
3	62,26-89,57	79,19
4	55,33-90,37	73,04
5	65,30-91,09	72,74
6	44,29-82,95	63,19

Tabel 2 terlihat bahwa semua tempuhan terjadi penyisihan TKN yang cukup besar. Hal ini menunjukkan terjadinya konsumsi nitrogen selama proses dalam SBR. Konsumsi nitrogen terutama terjadi pada saat kondisi anaerob. Pada kondisi ini tidak terjadi hambatan terhadap siklus TCA sehingga proses pembentukan sel berlangsung normal. Pembentukan sel-sel baru dapat berjalan apabila senyawa-senyawa pembentuk sel seperti oksaloasetat, piruvat, dan α -oksoglutarat berikatan dengan amonium pembentuk asam-asam amino dan asam nukleat yang merupakan monomer pembentuk sel melalui siklus glioksilat. Asam-asam amino kemudian berpolimerisasi membentuk protein. Polimerisasi juga akan membentuk polisakarida, lipida, dan pada akhirnya membentuk sel baru. Selama proses pembentukan sel ini berjalan lancar maka amonium yang digunakan dalam proses jumlahnya semakin banyak, sehingga penyisihan nitrogen yang terukur akan semakin besar.

Pengamatan Polihidroksialkanoat (PHA)

Percobaan ini menggunakan asumsi bahwa PHA yang terbentuk merupakan kopolimer dari P(HB-ko-HV). Hal ini didasarkan pada penelitian Chua dan Yuridiksi [1999], yang menyatakan bahwa kopolimer tersebut diakumulasi oleh bakteri lumpur aktif. Pernyataan ini juga didukung dengan hasil pengamatan bahwa terhadap titik leleh PHA yang diperoleh. Titik leleh PHB standar adalah 177°C , sedangkan titik leleh standar PHV adalah 100°C [Wong dkk., 2000]. Hasil pengamatan terhadap titik leleh PHA yang diperoleh pada percobaan ini menunjukkan temperatur di antara titik leleh standar PHB dan PHV, maka dapat dinyatakan bahwa polimer yang terbentuk merupakan gabungan keduanya atau berbentuk kopolimer. Jadi apabila titik leleh PHA yang diamati semakin rendah, maka dapat dinyatakan bahwa kandungan HV semakin besar, dengan kata lain kandungan HB semakin kecil. Hasil pengamatan titik leleh PHA untuk tempuhan 1-6 disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Titik leleh PHA untuk setiap tempuhan

Run	Waktu Pengisian	Rentang Titik Leleh ($^{\circ}\text{C}$)	Titik-Leleh Rata-rata ($^{\circ}\text{C}$)	% HV rata-rata	Kandungan PHA rata-rata (g/gsel)
1	6 jam	139 – 148	143,58	11,28	0,0809
2	6 jam	135 – 145	140,84	13,26	0,0813
3	6 jam	120 – 142	132,92	19,01	0,1353
4	6 jam	120 – 134	126,00	24,02	0,1453
5	6 jam	122 – 150	133,52	18,57	0,1328
6	2 jam	120 – 134	126,26	23,83	0,1838

Pada setiap tempuhan, PHA mempunyai rentang titik leleh tertentu. Perbedaan rentang titik leleh ini menunjukkan perbedaan kandungan HB dan HA. Pada tempuhan 1 titik leleh PHA berkisar antara $139 - 148^{\circ}\text{C}$ dengan nilai rata-rata $143,58^{\circ}\text{C}$. Nilai rata-rata titik leleh pada tempuhan 1 ini lebih tinggi dibanding tempuhan-tempuhan yang lain.

Walaupun perbedaan titik leleh PHA-nya tidak begitu signifikan, terutama jika dibandingkan dengan tempuhan 2, namun kondisi ini menunjukkan bahwa kandungan HB pada tempuhan 1 lebih banyak daripada tempuhan yang lain.

Pengamatan terhadap kandungan PHA rata-rata untuk semua tempuhan tidak memberikan

perbedaan yang besar, namun dapat dilihat bahwa perolehan terendah didapat pada tempuhan 1 yaitu tempuhan dengan periode aerob yang terpanjang (5 jam). PHA terutama dibentuk pada periode anaerob yaitu saat terjadi hambatan terhadap siklus TCA, sehingga semakin panjang periode aerob maka PHA yang dihasilkan semakin rendah.

Kesimpulan

Hasil penyisihan COD dan TKN pada periode aerob dan tahap pengumpulan panjang menghasilkan COD dan TKN yang besar. Durasi tahap pengumpulan berpengaruh terhadap pembentukan PHA, waktu filling pendek menghasilkan PHA yang lebih banyak. Kandungan PHA rata-rata diperoleh pada percobaan dengan waktu filling 4 jam.

Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT serta terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional atas dukungan dana dalam kegiatan Penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- American Public Health Association, 1992, *Standard Method for the Examination of Water and Wastewater*, 18th ed., APHA, Washington USA.
- 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.
- Chua, H., P.H.F. Yu, dan L.Y. Ho, 1997, Coupling of Wastewater Treatment with Storage Polymer Production, *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 63, hal. 627-635.
- 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.
- Horan, N.J., 1991, **Biological Wastewater Treatment Systems : Theory and Operation**, John Wiley & Sons, England, hal. 197, 230-233.
- Jogdand, S.N., 2000, Welcome to the World of Eco-Friendly Plastics : Bioplastics, *C:\ProgramFiles\TeleportPro\Projects\Bioplastic_India\BP6.htm*
- Lee, S.Y., 1996, Plastic Bacteria? Progress and Prospects for Polyhydroxyalkanoate Production in Bacteria, *Tibtech*, 14, hal. 431-438.
- Mino, T., M.C.M. Van Loosdrecht, dan J.J. Heijnen, 1998, Microbiology and Biochemistry of the Enhanced Biological Phosphate Removal Process, *Wat. Res.*, 32(11), hal. 3193-3207.
- 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.
- Purnama, H., 2001, Kajian Awal Pembentukan Polihidroksialkanoat (PHA) pada Sistem Pengolah Limbah Lumpur Aktif dengan Sequencing Batch Reactor (SBR), *Tesis Magister*, Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung.
- 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.