

PENGEMBANGAN *SEQUENCHING BATCH BIOREACTOR* UNTUK PRODUKSI PLASTIK BIODEGRADABLE (*POLIHIDROKSIALKANOAT*) DARI LIMBAH CAIR INDUSTRI TAPIOKA

D. Handayani¹, M. Endy Yulianto¹, Fahmi Arifan¹, M. Arief B²,
Endah Lestari¹, Erlangga¹

¹Jurusan Teknik Kimia PSD III Teknik, UNDIP Semarang

²Jurusan Teknik Lingkungan, UNDIP Semarang

Jl. Prof Sudarto SH, Pedalangan Tembalang, Semarang 50239

e-mail : fahmiarifan@yahoo.com

Abstrak

Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengatasi masalah yang ditimbulkan oleh sampah plastik adalah dengan membuat material plastik yang dapat didegradasi, antara lain dengan memanfaatkan limbah cair industri pangan berbahan baku tepung terigu yang memiliki kandungan zat-zat organik (C, H, O, N, S). Adanya zat-zat ini dapat dimanfaatkan dengan pengolahan secara fermentasi menggunakan mikroorganisme lumpur aktif menjadi plastik yang terdegradasi. Jenis plastik yang terbentuk dalam proses ini adalah Polihidroksialkanoat (PHA). PHA dapat terdegradasi sempurna dan memiliki sifat yang mirip dengan kelebihan yang dimiliki oleh plastik konvensional. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari pengaruh waktu tahapan dalam satu siklus *sequencing batch bio reactor* (SBB), membandingkan antara siklus pendek dan siklus biasa dalam sistem SBR terhadap akumulasi PHA dan jenis PHA yang diperoleh, mengkaji kondisi operasi optimum pembentukan PHA. 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 penelitian menunjukkan bahwa tempuhan dengan variasi waktu aerob:anaerob 6:3 jam dan panjang waktu pengumpanan sama, kandungan PHA rata-rata tertinggi diperoleh pada percobaan dengan 6 jam waktu anaerob selama tahap pengisian (*filling*) dengan diselingi waktu aerob. Pemendekan waktu pengumpanan menghasilkan kandungan PHA rata-rata tertinggi yaitu 0,16 g/gsel.

Kata Kunci : PHA; plastik; limbah

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 bioreactor* (SBB) sebagai salah satu modifikasi sistem lumpur aktif diharapkan mampu mengatasi kelemahan sistem lumpur aktif konvensional, sehingga PHA dapat terakumulasi semaksimal mungkin. Oleh karenanya, perlu menela'ah pengolahan limbah cair menjadi PHA, untuk menentukan kondisi optimum bioreaktor sebelum proses ini diterapkan secara komersial.

Bahan dan Metode Penelitian

Pada penelitian ini digunakan *sequencing batch bioreactor* (SBB) yang merupakan salah satu modifikasi dari sistem pengolahan limbah lumpur aktif. SBB 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 dan Bahan

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian untuk memproduksi PHA berupa rangkaian SBB 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. Peralatan yang diperlukan untuk analisis sampel meliputi instrumen analisis dan peralatan gelas atau penunjang. Instrumen analisis berupa neraca, pH meter, oven, alat sentrifugasi, pengukur titik leleh, dan spektrofotometer ultraviolet. Sedangkan peralatan penunjangnya adalah pompa vakum, desikator, digester, kondensor, pemanas listrik, gelas kimia, labu erlenmeyer, buret, pipet volum, labu takar, gelas ukur, dan lain-lain.

Bahan-bahan penelitian yang digunakan diantaranya: metanol, kloroform, kalium dikromat, (K₂Cr₂O₇), air demin, ferro amonium sulfat (FAS), 1,10-phenanthroline monohydrate, FeSO₄.7H₂O, FeSO₄.7H₂O, H₂SO₄, Ag₂SO₄ dan HgSO₄

Prosedur Penelitian

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.

Tahap Pembibitan dan Aklimatisasi

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, sehingga mikroorganisme dapat berkembang biak dengan baik.

Tahap Percobaan Utama

Lumpur aktif sebanyak 1,5 liter dimasukkan ke dalam bioreaktor. Kemudian bioreaktor diisi dengan limbah industri pangan hingga mencapai volum kerja 6 liter. Satu siklus SBB membutuhkan waktu 12 jam. Kondisi-kondisi yang diusahakan tetap adalah temperatur kamar, pH netral (pada awal operasi), dan SRT selama 20 hari. Variabel tetap lainnya adalah waktu pengendapan 6 jam dan waktu dekantasi 1 jam. Rasio waktu aerob : anaerob juga ditetapkan 3 : 6 jam/jam, dimana pada penelitian yang dilakukan oleh Purnama [2001] rasio ini memberikan hasil PHA terbesar. Kondisi aerob dicapai dengan mengalirkan udara ke dalam reaktor hingga kelarutan oksigen sekitar 2 mg/L. 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, COD, TKN, dan kandungan PHA. Pengamatan ini dilakukan sampai diperoleh kondisi stabil, dimana konsentrasi MLSS dan COD efluen relatif tetap. Setelah kondisi stabil dicapai, dilakukan pengamatan setiap jam selama siklus operasi SBR untuk besaran-besaran pH, MLSS, COD, TKN, dan kandungan PHA. Pada kondisi ini pula dilakukan analisis BOD terhadap konsentrasi umpan dan efluen, dan analisis TVA untuk kondisi aerob dan anaerob pada setiap variasi percobaan.

Penentuan kandungan PHA dilakukan berdasarkan pengamatan titik leleh PHA dan pengukuran absorbansi pada 23 nm. Pengambilan PHA dilakukan dengan memecah dinding sel dan ekstraksi menggunakan larutan kloroform. Larutan ini dibagi dua, yaitu (1) dilarutkan dengan asam sulfat pekat untuk pengukuran absorbansi, dan (2) diendapkan dengan menambahkan larutan metanol dan membiarkannya hingga kering untuk pengukuran titik leleh.

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.

Prosedur Analisa

Analisa dilakukan untuk mengetahui konsentrasi MLSS dan kandungan PHA.

Analisis MLSS (mixed-liquor suspended solid)

MLSS menunjukkan besarnya padatan tersuspensi di dalam limbah. Analisis MLSS dilakukan dengan metode gravimetri.

Analisis PHA

Pada penentuan konsentrasi PHA, biopolimer yang terdapat di dalam sel diekstraksi dengan penambahan natrium hipoklorit dan kloroform pada sel seperti yang dilakukan oleh Hahn dkk. [1993]. PHA yang larut dalam kloroform dianalisa konsentrasinya dengan cara yang dilakukan oleh Law dan Slepecky [1961].

Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini dilakukan sebagai studi awal mengenai proses pembuatan plastik biodegradabel dengan memanfaatkan limbah cair sintesis industri pangan. Pembahasan diberikan dalam dua kondisi, yaitu tahap pembibitan dan aklimatisasi (kondisi transien) dan tahap percobaan utama (kondisi tunak).

Karakteristik Limbah Cair Industri Pangan

Limbah cair industri pangan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan limbah cair sintesis untuk mendapatkan kondisi studi awal yang sama untuk tiap variabel tahap percobaan utama. 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 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Untuk itu sebagai studi awal, dilakukan analisa terhadap limbah cair industri pangan untuk menjadi kondisi standar selama proses percobaan. Limbah yang diambil dari industri pangan, disimpan selama satu hari untuk 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 pangan 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

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

Tahap Percobaan Utama

Pada akhir waktu siklus, sampel diambil dan dianalisis untuk besaran-besaran MLSS, COD, TKN, dan kandungan PHA. Pengamatan ini dilakukan sampai diperoleh kondisi stabil, dimana konsentrasi MLSS dan COD

efluen relatif tetap. Setelah kondisi stabil dicapai, dilakukan pengamatan setiap jam selama siklus operasi SBB untuk besaran-besaran pH, MLSS, COD, TKN, dan kandungan PHA. Pada kondisi ini pula dilakukan analisis BOD terhadap konsentrasi umpan dan efluen, dan analisis TVA untuk kondisi aerob dan anaerob pada setiap variasi percobaan.

Penentuan kandungan PHA dilakukan berdasarkan pengamatan titik leleh PHA dan pengukuran absorbansi pada 23 nm. Pengambilan PHA dilakukan dengan memecah dinding sel dan ekstraksi menggunakan larutan kloroform. Larutan ini dibagi dua, yaitu (1) dilarutkan dengan asam sulfat pekat untuk pengukuran absorbansi, dan (2) diendapkan dengan menambahkan larutan metanol dan membiarkannya hingga kering untuk pengukuran titik leleh.

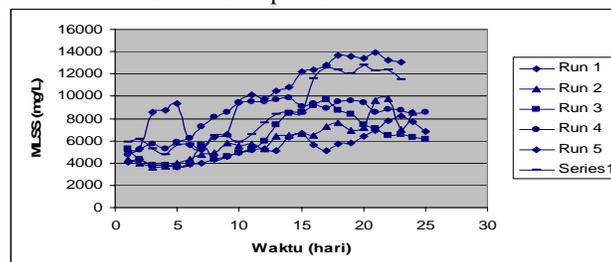
Tabel 2. Hasil percobaan

Run	Lambang	Hasil	
		Konsentrasi MLSS mg/l	Kandungan PHA mg/l
1	Y1	4300	496,693
2	Y2	7700	894,656
3	Y3	7200	569,302
4	Y4	6700	487,651
5	Y5	6100	531,868
6	Y6	6500	679,824
7	Y7	6600	704,892
8	Y8	6900	670,305
9	Y9	6400	566,870
10	Y10	5200	573,809
11	Y11	7100	509,803
12	Y12	4700	831,420
13	Y13	5600	263,811
14	Y14	8100	629,122
15	Y15	5600	365,321
16	Y16	6000	329,329

Tabel 2 menunjukkan perolehan PHA dan konsentrasi MLSS. 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. Oleh karenanya, variabel yang paling berpengaruh adalah lamanya siklus dalam *Sequencing Batch Bioreactor* (SBB). Untuk itu penentuan kondisi optimum didasarkan pada waktu siklus dalam SBB.

Pengamatan MLSS dan COD

Hasil pengamatan terhadap MLSS pada semua tempuhan yang didasarkan waktu siklus dalam *Sequencing Batch Bioreactor* (SBB) disajikan pada Gambar 1. Gambar 1 menunjukkan 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 SBB. Meskipun semua kondisi dalam SBR diusahakan tetap, namun kadangkala terjadi sedikit perubahan di luar kontrol yang menyebabkan timbulnya fluktuasi selama kondisi adaptasi mikroba.



Gambar 1. Grafik hubungan MLSS terhadap waktu tempuhan

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 3.

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 3 menunjukkan bahwa pada 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 -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)

Pada percobaan ini digunakan 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 0C, sedangkan titik leleh standar PHV adalah 100 0C [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 4.



Gambar 2. Foto plastik *biodegradable* hasil percobaan

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 0C dengan nilai rata-rata 143,58 0C. 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.

Tabel 4. Titik leleh PHA untuk setiap tempuhan

Run	Waktu Pengisian	Rentang Titik Leleh ($^{\circ}$ C)	Titik-Leleh Rata-rata ($^{\circ}$ 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

Pengaruh variasi periode aerob-anaerob

Pada bagian diuraikan pengaruh variasi penggunaan periode aerob-anaerob pada tempuhan-tempuhan dengan waktu pengumpanan yang sama, terhadap polimer yang dihasilkan. Perbandingan data parameter yang diamati disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan data tempuhan 1 – 5

Variabel	Temp. 1	Temp. 2	Temp. 3	Temp. 4	Temp. 5
Penyisihan COD (%)	88,69	87,07	87,73	87,46	88,15
Penyisihan TKN (%)	79,87	73,74	79,19	73,04	72,74
MLSS	5100	6000	6700	8700	10300
PH	7 – 8	7 – 8	6,9 – 8,1	6,9 – 7,6	6,8 – 7,9
Titik leleh ($^{\circ}$ C)	143,58	140,84	132,92	126,00	133,52
Kandungan PHA (g PHA/g Sel)	0,0809	0,0813	0,1353	0,1453	0,1328

Tabel 5 dapat dilihat penyisihan COD pada tempuhan 1-5 mempunyai nilai yang tidak terlalu jauh berbedameskipun pada tempuhan 1 periode aerob berlangsung lebih lama. Hal ini dapat terjadi karena periode aerob pada tempuhan 1 hanya berbeda 1 jam dari tempuhan yang lain, sehingga walaupun penyisihan COD pada tempuhan 1 sedikit lebih tinggi daripada tempuhan yang lain, namun perbedaannya tidak begitu nyata.

Dari penelitian sebelumnya (Sondjaja dkk, 2001) danm Purnama, 2001) diketahui bahwa semakin panjang periode aerob maka nilai COD keluaran semakin kecil atau dengan kata lain penyisihan COD semakin besar. Kondisi ini dapat dipahami karena dengan makin panjang periode aerob mikroorganisme mempunyai kesempatan berkembang yang lebih besar. Untuk keperluan pemeliharaan dan pembiakan, mikroorganisme memerlukan sumber karbon lain dari limbah. Sebagai akibatnya terjadi proses degradasi limbah yang lebih besar yang ditunjukkan dengan nilai COD keluaran lebih kecil atau persen penyisihan COD semakin besar.

Tabel 5 juga nampak bahwa tidak ada perbedaan yang nyata untuk penyisihan TKN pada tempuhan 1-5. Seperti halnya pada penyisihan COD, angka penyisihan TKN tempuhan 1 hanya sedikit lebih tinggi daripada tempuhan 2-5, karena perbandingan waktu aerob-anaerob pada kelima tempuhan ini tidak begitu berbeda (5 : 4 untuk tempuhan 1 dan 4 : 5 untuk tempuhan 2-5).

Pengamatan MLSS pada tempuhan 1 tidak menunjukkan pertumbuhan yang lebih tinggi walaupun digunakan periode aerob lebih panjang (5 jam) dibandingkan dengan tempuhan lain yang menggunakan periode aerob 4 jam. Demikian pula pada tempuhan 2 yang menggunakan 4 jam periode aerob tanpa diselingi periode anaerob. Hasil pengamatan MLSS yang rendah terjadi karena karakter efluen yang sulit mengendap. Pada kedua tempuhan ini diperoleh efluen berwarna kecoklatan yang menunjukkan sebagian mikroorganisme terbawa keluar bersama efluen. Hal ini dapat terjadi pada kondisi kekurangan pasokan oksigen yang menyebabkan dominasi pertumbuhan mikroorganisme filamen sehingga kemampuan pengendapan menjadi rendah (Metcalf dan Eddy, 1991). Pada tempuhan 4 dan 5 diperoleh MLSS yang lebih tinggi. Kondisi ini dapat terjadi akrena untuk kedua tempuhan ini, 2 jam tahap reaksi pada akhir siklus dilakukan periode aerob, selain itu pada tempuhan 5, COD rata-rata umpan yang digunakan lebih tinggi.

Periode anaerob yang lebih panjang menyebabkan hambatan terhadap siklus TCA yang semakin besar, sehingga asetil-koA dan propionil-koA yang tersedia semakin banyak Mino dkk. [1998] menyatakan bahwa semakin lama periode anaerob maka kemungkinan pembentukan kopolimer HV semakin besar. Satuan HV terbentuk dari ikatan asetil-koA dengan propionil-koA. Kedua prekursor ini dihasilkan dari jalur yang berbeda, yaitu jalur glikolisis yang berlangsung pada kondisi aerob menghasilkan asetil-koA dan jalur suksinat-propionat yang berlangsung pada kondisi anaerob menghasilkan propionil-koA. Ikatan antara asetil-koA dan propionil-koA akan membentuk 3-ketovaleril-koA yang pada akhirnya membentuk 3-hidroksivalerat. Pada tempuhan 2 – 5 periode anaerob berlangsung lebih lama dibandingkan dengan tempuhan 1. Karena sifat HV lebih kentur dari pada HB, maka PHA dengan kandungan HV yang lebih tinggi juga mempunyai sifat yang lebih lentur.

Titik leleh yang rendah diperoleh pada tempuhan 4. Pada tempuhan ini dari 6 jam waktu pengumpanan, 4 jam dilakukan dalam periode anaerob. Periode anaerob yang panjang selama pemberian umpan menyebabkan semakin

besarnya hambatan terhadap siklus TCA, sehingga pembentukan asetil-koA maupun propionil-koA semakin besar. Sebagai akibatnya pembentukan HV juga semakin banyak dan diperoleh titik leleh yang lebih rendah.

Untuk durasi pengumpanan yang sama tempuhan 4 memberikan hasil kandungan PHA yang lebih tinggi daripada tempuhan 5 walaupun kedua tempuhan ini umpan diberikan dalam 4 jam periode anaerob tetapi perolehan PHA-nya lebih rendah daripada tempuhan 4. Hal ini dapat terjadi karena periode anaerob yang panjang pada tempuhan 5 sehingga memungkinkan terjadinya proses denitrifikasi. Proses ini mengakibatkan terdegradasinya PHA yang telah terbentuk, yang digunakan sebagai substrat padat. Pemanfaatan PHA dalam peristiwa denitrifikasi dinamakan denitrifikasi fasa padat (*solid-phase denitrification*). Dari penelitian yang dilakukan oleh Hiraishi dan Khan (2003) diketahui bahwa diantara beberapa biopolimer yang pernah digunakan, PHA merupakan substrat padat yang paling sesuai. PHA sendiri adalah material cadangan mikroba, sehingga diharapkan termetabolisasi oleh mikroorganisme denitrifikasi. Salah satu faktor yang mempengaruhi proses denitrifikasi jenis ini adalah kristalinitas polimer. PHA yang bersifat amorf lebih mudah terdegradasi daripada PHA yang bersifat kristalin. PHA bentuk amorf terdapat dalam tubuh bakteri (intraseluler), sedangkan produk PHA yang telah diekstraksi (ekstraksi berbentuk kristalin). Faktor lain yang juga mempengaruhi efisiensi degradasi adalah kandungan hidroksivalerat (HV). Margaret dkk (1995) melaporkan bahwa PHBV lebih cepat terdegradasi dibandingkan dengan PHB dalam lingkungan berair.

Kesimpulan

Hasil penyisihan COD dan TKN pada periode aerob dan tahap pengumpanan panjang menghasilkan COD dan TKN yang besar. Durasi tahap pengumpanan 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 DIKTI atas dukungan dana dalam kegiatan Penelitian Hibah Bersaing.

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 Harremoës, 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.