

PENGARUH VARIASI SUBSTRAT DAN ORGANIC LOADING RATE PADA PEMBENTUKAN BIOGRANULAR AEROB DALAM SEQUENCING BATCH REACTOR

EFFECT OF SUBSTRATE AND ORGANIC LOADING RATE VARIATION IN FORMATION AEROBIC GRANULAR WITH SEQUENCING BATCH REACTOR

***¹Melati Sekar Pertiwi dan ²Marisa Handajani**

Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132
e-mail : ¹melati.sp@gmail.com dan ²m_handajani@yahoo.com

Abstrak : Sistem lumpur aktif konvensional merupakan sebuah teknologi pengolahan air limbah secara biologi yang sudah sering dijumpai dalam instalasi pengolahan air limbah. Terdapat dua tangki pengolahan dalam lumpur aktif konvensional, yaitu tangki aerasi dan tangki pengendapan. Pada tangki pengendapan, biomassa tersuspensi memiliki kecepatan pengendapan yang relatif rendah sehingga waktu retensi hidrolis menjadi lebih lama. Hal ini menyebabkan luas lahan yang dibutuhkan untuk tangki pengendapan menjadi lebih besar. Untuk mengoptimalkan penggunaan lahan, diperlukan unit pengolahan yang lebih kompak, yaitu dengan menggunakan Sequencing Batch Reactor. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk membentuk granular aerob yang memiliki kecepatan pengendapan yang tinggi serta unit pengolahan yang lebih kompak. Penelitian dilakukan dengan menggunakan kolom reaktor setinggi 1,2 m dengan volume sebesar 2,4 liter. Penelitian dilakukan dengan dua jenis substrat, yaitu glukosa dan asetat. Variasi Organic Loading Rate (OLR) yang dilakukan yaitu 24 dan 5 kg COD/m³.hari. Waktu pengendapan dijadikan variabel tetap dengan durasi 10 menit. Laju aliran udara yang digunakan yaitu 1 liter/menit. Hasil yang diperoleh dari penelitian dengan OLR 24 kg COD/m³.hari pada substrat glukosa dapat membentuk granular dengan ukuran berkisar antara 1,6-13,77 mm, sedangkan pada substrat asetat dapat membentuk granular dengan ukuran berkisar antara 1,3-26,5 mm. Pada variasi OLR 5 kg COD/m³.hari, kedua substrat menunjukkan hasil yang hampir serupa, yaitu dapat membentuk granular dengan ukuran sebesar 0,3-2 mm.

Kata Kunci : Granular Aerob, Organic Loading Rate (OLR), Sequencing Batch Reactor(SBR)

Abstract : Conventional activated sludge system is a technology for biological wastewater treatment that has been often encountered in wastewater treatment facility. There are two treatment tank in a conventional activated sludge, the aeration tanks and settling tanks. In the settling tank, the suspended biomass has a relatively low deposition rate so that the hydraulic retention time becomes longer. This causes the area of land required to be larger settling tanks. To optimize the use of land, it required a more compact processing units, by using a Sequencing Batch Reactor. The purpose of this study is to establish an aerobic granular which has a high deposition rate and a compact unit. This research using column which height is 1.2 m and volume of 2.4 liters. The study was conducted with two types of substrates, glucose and acetate. Variation of Organic Loading Rate (OLR) conducted the 24 and 5 kg COD/m³.hari. Settling time be fixed with a variable duration of 10 minutes. The air flow rate used is 1 liter / min. Results obtained from studies with OLR 24 kg COD/ m³.hari glukosa dapat formed on a substrate with a granular size ranged from 1.6 to 13.77 mm, while the acetate to form a granular substrate with a size ranging from 1.3 to 26.5 mm. At 5 kg COD/ m³.hari OLR variations, both substrates showed almost identical results, which can be formed with a granular size of 0.3-2 mm.

Keywords : Aerobic Granular, Organic Loading Rate (OLR), Sequencing Batch Reactor(SBR)

PENDAHULUAN

Biogranular adalah kumpulan dari mikroba berbentuk padat yang dapat dibentuk dari self-immobilisasi atau agregasi dari mikroorganisme. Biogranular terdiri dari sel mikroba, partikel inert, partikel terdegradasi dan substansi ekstraseluler polimer. Spesies bakteri yang terdapat dalam biogranular sangat beragam dan mengandung jutaan organisme per gram biomassa. Bakteri tersebut memiliki peran masing-masing dalam mendegradasi limbah cair. Keuntungan yang didapatkan dari biogranular tersebut yaitu kemampuan pengendapannya yang baik, waktu retensi biomassa tinggi, dan dapat mengolah limbah cair yang mengandung polutan organik terlarut seperti organik, nitrogen, fosfor dan zat-zat beracun. Pembentukan biogranular untuk mengolah limbah cair dapat dilakukan melalui granulasi anaerob dan aerob (Tay *et al.* 2002).

Teknologi pembentukan granular secara aerob sudah dikembangkan dan dipelajari secara luas selama dua dekade terakhir (Beun *et al.*, 1999). Pembentukan granular aerob dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu komposisi substrat, *Organic Loading Rate* (OLR), tegangan geser, waktu pengendapan, waktu detensi/*Hydraulic Retention Time* (HRT), *Aerobic Starvation*, rasio F/M, kecepatan pertumbuhan mikroorganisme, serta beberapa faktor lainnya (Liu *et al.*, 2004). Dibandingkan dengan proses lumpur aktif konvensional, granular aerob memiliki permukaan yang lebih bersih, kompak, struktur mikroba yang kuat, waktu *start-up* lebih cepat, kemampuan pengendapan yang lebih baik, waktu retensi biomassa lebih tinggi dan kemampuannya dalam mengolah *organic loading rate* (OLR) yang tinggi. (Chen *et al.*, 2008)

Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) merupakan sebuah sistem pengolahan biologi yang sering digunakan pada pembentukan biogranular dalam kondisi anaerob. Pengolahan tersebut memiliki beberapa kelebihan, yaitu dapat membentuk granular yang memiliki kecepatan pengendapan tinggi, kebutuhan energi yang rendah, reaktor yang kompak, serta dapat mengatasi konsentrasi pencemar organik yang tinggi. Namun sistem UASB memiliki waktu *start-up* yang lebih lama dibandingkan dengan proses aerob, pertumbuhan mikroorganisme metan yang lambat, serta tidak dapat mengatasi konsentrasi pencemar organik yang rendah (De kreuk. 2006). Untuk mengatasi masalah tersebut, maka perlu dikembangkan penelitian mengenai pembentukan biogranular yang dilakukan secara aerob dengan menggunakan *Sequencing Batch Reactor* (SBR).

Telah dijelaskan sebelumnya bahwa faktor yang mempengaruhi proses pembentukan granular aerob yaitu besar *Organic Loading Rate* (OLR). Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa OLR dapat mempengaruhi karakteristik fisik dari granular aerob. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa granulasi aerobik ini terjadi optimal pada rentang OLR 2,5-15 kg COD/ m^3 .hari (Liu *et al.* 2003). Kemudian komposisi substrat juga mempengaruhi pembentukan granular aerob. Jenis sumber karbon dapat mempengaruhi keberagaman dan dominan spesies bakteri serta struktur permukaan granular (Tay *et al.*, 2001c).

Dalam bioreaktor, rasio F/M juga dapat mempengaruhi pertumbuhan bakteri dan mempermudah proses granulasi aerobik. Oleh karena itu, penelitian dilakukan dengan menggunakan variasi OLR dengan dua jenis substrat, yaitu glukosa dan asetat, serta pada F/M tertentu.

METODOLOGI

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kualitas Air Program Studi Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung. Metoda penelitian yang diuraikan dibawah ini mencakup limbah cair, konfigurasi reaktor, seeding, aklimatisasi, karakterisasi awal seeding, running reaktor SBR, pengukuran parameter uji dan pengolahan data.

Komposisi Limbah Cair

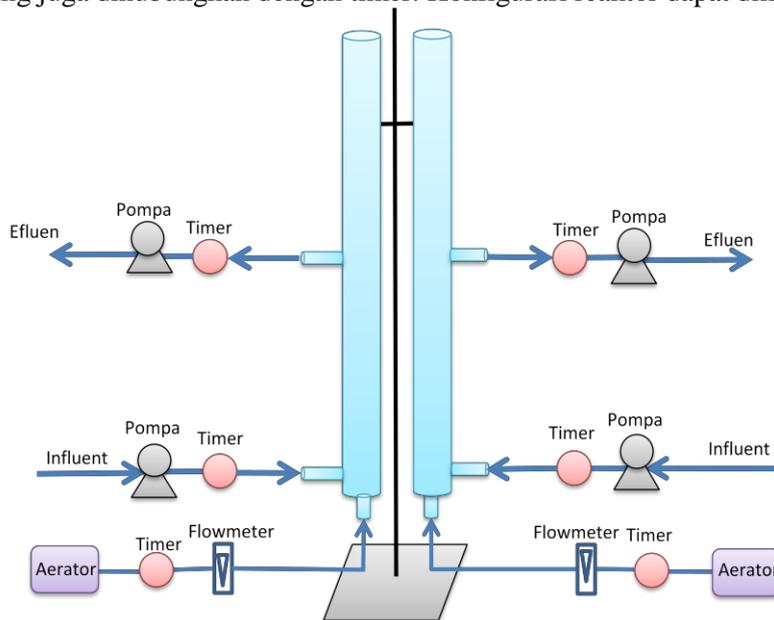
Limbah cair yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu limbah sintesis. Terdapat dua jenis substrat yang akan digunakan, yaitu glukosa dan asetat. Variasi OLR yang digunakan yaitu 24 dan 5 kg COD/ m^3 .hari. **Tabel 1** memperlihatkan komposisi substrat yang digunakan dalam penelitian. Komposisi substrat yang digunakan mengacu pada penelitian yang telah dilakukan oleh K.Y. Koh.

Tabel 1. Komposisi Substrat (K.Y.Koh.2009)

Beban	24 kg COD/m ³ hari		5 kg COD/m ³ hari	
Jenis Substrat	Glukosa	Asetat	Glukosa	Asetat
COD(mg/l)	2000	5063	350	890
NH ₄ Cl(mg/l)	382,2	955,5	66,8	169,87
K ₂ HPO ₄ (mg/l)	56,2	140,5	9,825	24,98
KH ₂ PO ₄ (mg/l)	44	110	7,692	19,56
CaCl ₂ ·2H ₂ O(mg/l)	75	187,5	13,11	33,33
MgSO ₄ ·7H ₂ O(mg/l)	62,6	156,5	10,944	27,82

Konfigurasi Reaktor

Reaktor yang digunakan terdiri dari dua kolom dengan ketinggian 1,2 m dengan volume kerja 2,4 liter. Kolom reaktor ini dioperasikan sebagai sistem *Sequencing Batch Reactor* selama penelitian. Kedua reaktor memiliki konfigurasi geometrik dan diameter dalam reaktor sebesar 5 cm. Kemudian terdapat empat buah pompa peristaltik. Dua buah pompa berfungsi sebagai pompa untuk memasukkan influen dari bagian bawah reaktor, sedangkan kedua pompa lainnya digunakan untuk mengeluarkan effluen dari bagian tengah reaktor. Pompa dihubungkan dengan timer yang sudah diprogram untuk menyala pada waktu-waktu tertentu. Effluen diambil dari *sampling port* bagian tengah kolom. Kemudian terdapat aerator yang juga dihubungkan dengan timer. Konfigurasi reaktor dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Konfigurasi Reaktor (K.Y.Koh.2009)

Seeding, Aklimatisasi, dan Karakterisasi Awal Seeding

Sumber bakteri pendegradasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu berasal dari lumpur aerob PAU. Kemudian dilakukan aklimatisasi, yaitu dengan menambahkan substrat yang akan diolah ke dalam kultur biomassa. Dengan adanya penambahan substrat, bakteri sudah dapat beradaptasi dengan limbah yang akan diolah dan siap untuk digunakan dalam reaktor. Karakterisasi awal seeding juga dilakukan dengan menguji beberapa parameter, yaitu TSS dan COD. Data ini akan digunakan dalam menentukan jumlah bakteri yang akan digunakan dalam reaktor.

Running Reaktor

Reaktor yang dioperasikan selama 4 jam untuk setiap siklus. Setiap siklus terdiri dari waktu pengisian (*fill*) selama 60 menit, waktu aerasi (*react*) selama 162 menit, waktu pengendapan (*settling*) selama 10 menit dan waktu pengurasan (*draw*) selama 8 menit. Tidak ada waktu *idle* dalam penelitian ini. Aliran udara dimasukkan melalui *diffuser* dengan aerator di bagian bawah kolom. Laju

aliran udara diatur dengan menggunakan flowmeter. Besar laju udara yang digunakan yaitu 1 liter/menit. Rasio F/M yang digunakan yaitu 1,1 gr COD/gr SS.hari. Dalam penelitian ini reaktor 1 (R1) diberi umpan glukosa sebagai sumber karbon tunggal dan reaktor 2 (R2) diberi asetat sebagai sumber karbon tunggal. Kondisi operasional lainnya dijaga tetap sama untuk kedua reaktor. Variasi OLR yang akan dilakukan selama penelitian yaitu 24 dan 5 kg COD/m³..hari. Kerangka percobaan dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Kerangka Percobaan

Laju Aliran Udara (Lt/menit)	Rasio F/M (gr COD/gr)	Jenis Substrat	OLR (kg COD/m ³ .hari)	Parameter yang Diukur
1	1,1	Glukosa	24 5	pH, DO, Temperatur, COD, SVI, TSS, VSS, Kecepatan
		Asetat	24 5	Pengendapan, Densitas, Morfologi

Pengambilan dan Pengukuran Parameter Uji

Metode sampling yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel sesaat (*grab sampling*) yaitu sampel diambil langsung dari satu titik pada saat tertentu. Volume sampel yang diambil setiap kali sampling yaitu sebanyak 50 ml. Pengukuran parameter uji dilakukan dengan skala laboratorium. Laboratorium yang digunakan yaitu Laboratorium Penelitian Kualitas Air Program Studi Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung. Keseluruhan parameter pengukuran, metode pengukuran yang digunakan, serta jumlah pemeriksaan dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Parameter pengukuran, metode pengukuran dan jumlah pemeriksaan

No	Parameter	Metode - Jumlah	Pemeriksaan
1	pH	SMEWW - 4500 H ⁺	Setiap hari
2	DO	DO meter	
3	Temperatur	SMEWW-2550	
4	SVI		
5	TSS	SMEWW-2450-E	
6	VSS	SMEWW 2540-E	
7	Kecepatan Pengendapan		
8	Aspek Rasio		
9	Densitas	SMEWW-2450-E	1 x seminggu
10	Bentuk dan ukuran		
11	Struktur	Pewarnaan Gram	2 x seminggu
12	COD	COD kromat dari SMEWW-5220 C	

Kecepatan pengendapan diukur dengan menghitung waktu pengendapan pada jarak tertentu. Perhitungan yang dilakukan yaitu dengan membagi jarak dengan waktu. Kemudian nilai aspek rasio didapatkan dengan membandingkan ukuran tekecil dengan ukuran terpanjang dari granular. Bentuk dan ukuran granular dapat diketahui dari pengelihatian secara kasat mata sedangkan untuk struktur granular dilakukan dengan melakukan pewarnaan gram dan menggunakan mikroskop.

Efisiensi Penyisihan Pencemar

Untuk mengetahui besar efisiensi penyisihan konsentrasi pencemar organik (♦♦) dalam proses pembentukan granular aerob, dapat digunakan **Persamaan (1)**.

Dimana :

C_0 = Konsentrasi pada inlet (mg/l) ; C_e = Konsentrasi pada outlet (mg/L)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Faktor Lingkungan dalam Sistem

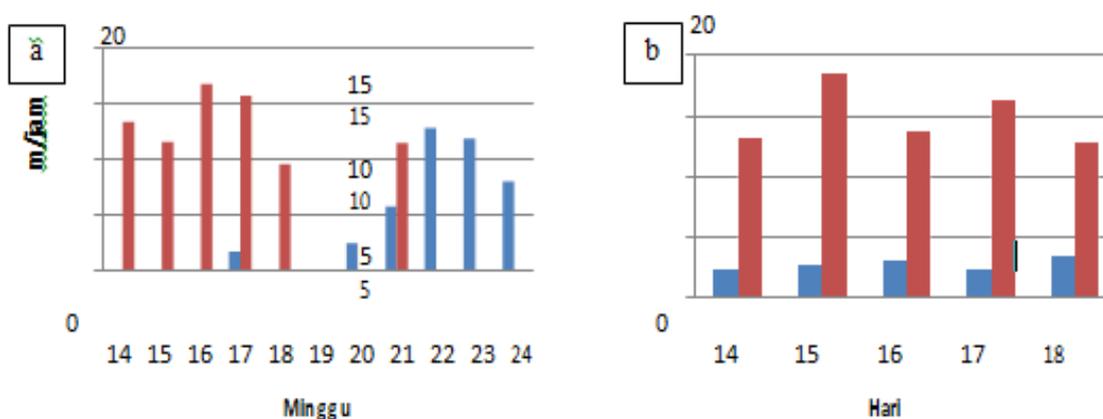
Beberapa parameter lingkungan sistem yang dilakukan pengukuran, yaitu pH, temperatur, dan *Dissolve Oxygen* (DO). Hasil pengukuran pada substrat glukosa dengan OLR 24 kg COD/m³ (selanjutnya akan ditulis dengan OLR 24) menunjukkan bahwa nilai pH berkisar antara 2,84 hingga 5,91, sedangkan pada substrat asetat menunjukkan nilai pH berada pada 6,02 sampai 8,37. Kemudian hasil pengukuran dengan menggunakan variasi OLR 5 kg COD/m³.hari (selanjutnya akan ditulis dengan OLR 5) menunjukkan kecenderungan yang sama pada uji sebelumnya, yaitu nilai pH glukosa berkisar antara 2,84 sampai 8,1 sedangkan untuk substrat Asetat yaitu berkisar antara 6,88 hingga 8,72. Terlihat dengan jelas bahwa nilai pH pada substrat glukosa lebih rendah dibandingkan nilai pH pada substrat asetat. Hal ini disebabkan karena terjadi penguraian substrat glukosa menjadi asam yang lama kelamaan terakumulasi sehingga menyebabkan terjadinya penurunan pH. Kecepatan pertumbuhan bakteri pada umumnya dipengaruhi oleh temperatur. Suhu optimal bakteri untuk tumbuh yaitu berada pada suhu kamar yang berkisar antara 20-25°C. Pada percobaan menggunakan variasi OLR 24 pada glukosa dan asetat menunjukkan bahwa nilai temperatur berada antara 24-27°C. Terjadi pula kemiripan nilai temperatur pada percobaan dengan variasi OLR 5 pada kedua substrat, yaitu berada antara 23-27°C. Hal ini menunjukkan bahwa temperatur sudah sesuai dengan suhu optimal untuk pertumbuhan bakteri. Berdasarkan rentang temperatur terjadinya pertumbuhan, bakteri tersebut tergolong ke dalam jenis bakteri mesofilik. Bakteri ini dapat tumbuh optimum pada rentang 20-40 °C.

Keberadaan oksigen terlarut sangat mempengaruhi pertumbuhan bakteri. Oksigen akan bertindak sebagai aseptor elektron sehingga terjadi proses oksidasi. Pada penelitian variasi OLR 24, nilai DO dengan substrat glukosa dan asetat yang diperlihatkan pada tahap pengisian (*fill*) berkisar antara 0-0,02 mg/L. Sedangkan ketika tahap reaksi (*react*) nilai DO pada substrat glukosa berkisar antara 0,04-7,07 mg/L, dan substrat asetat berkisar antara 5-7 mg/L. Begitu juga dengan variasi OLR 5 menunjukkan hal yang serupa. Nilai DO pada tahap pengisian sangat rendah diakibatkan tidak adanya proses aerasi.

Karakteristik Fisik Granular Aerob

Beberapa parameter yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik fisik granular aerob yaitu pengukuran TSS, VSS, kecepatan pengendapan, *Sludge Volume Index* (SVI), densitas, serta ukuran, struktur dan morfologi granular. Nilai TSS dan VSS menunjukkan jumlah biomassa yang ada dalam reaktor. Nilai TSS pada OLR 24 menunjukkan bahwa terjadi penurunan biomassa dari 2630 mg/L menjadi 330 mg/L pada substrat asetat, sedangkan pada substrat glukosa terjadi penurunan jumlah biomassa dari 1210 mg/L menjadi

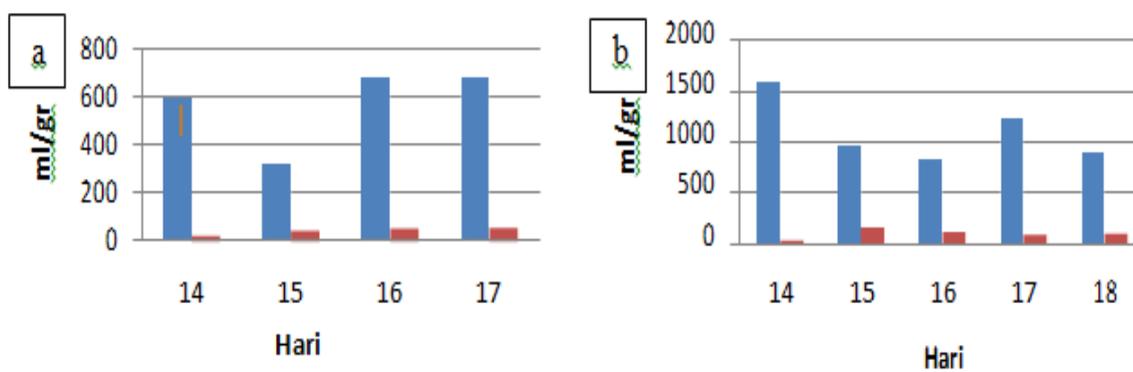
280 mg/L. Begitu juga pada OLR 5. Hal ini disebabkan karena terjadi proses seleksi mikroba. Mikroba yang memiliki kecepatan pengendapan yang lambat akan keluar melalui effluen sehingga jumlah mikroba yang ada dalam reaktor menjadi lebih sedikit. Berkurangnya jumlah mikroba menyebabkan rasio F/M menjadi meningkat. Pengukuran kecepatan pengendapan granular menunjukkan besarnya kemampuan pengendapan dari granular. Grafik kecepatan pengendapan granular pada minggu terakhir dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Kecepatan Pengendapan Granular pada variasi OLR 24 kg COD/m³ (a), dan OLR 5 kg COD/m³ (b) dengan variasi substrat Glukosa (■) dan Asetat (■)

Kecepatan pengendapan pada substrat glukosa dengan OLR 24 pada minggu terakhir yaitu berkisar antara 1,79-13,36 m/jam serta pada substrat asetat berkisar antara 1,53-16,84 m/jam. Kemudian pada OLR 5 dengan substrat glukosa berkisar antara 2,16-4,04 m/jam dan pada substrat asetat berkisar antara 2,16-18,28 m/jam. Diperlihatkan bahwa granular substrat glukosa memiliki kecepatan pengendapan yang lebih rendah dibandingkan dengan granular substrat asetat. Namun, nilai kecepatan pengendapan yang telah didapatkan tersebut masih dapat dikategorikan rendah jika dibandingkan dengan literatur. Pada literatur, kecepatan pengendapan dari granular aerob dapat mencapai 30-70 m/jam (Beun et al.,2000;Tay et al.,2001b).

Pada pemeriksaan SVI, nilai SVI pada OLR 24 dengan substrat glukosa berkisar antara 0,9 sampai 680 ml/gr, sedangkan pada substrat asetat berkisar antara 2,84 hingga 55 ml/gr. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai SVI pada glukosa lebih besar dibandingkan dengan substrat asetat. Kemudian pada hasil penelitian dengan OLR 5 menunjukkan bahwa nilai SVI pada substrat asetat berkisar antara 14 sampai 157 ml/gr, sedangkan pada substrat glukosa berkisar antara 6-1800 ml/gr. Pada umumnya, nilai SVI pada granular aerob tergolong baik jika berada dibawah 50 ml/gr (Liu et al, 2003f; Qin et al, 2004). Grafik SVI pada setiap substrat di akhir minggu pengukuran dapat dilihat pada **Gambar 3**.



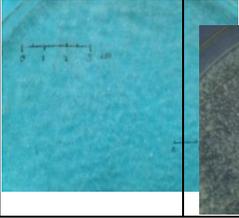
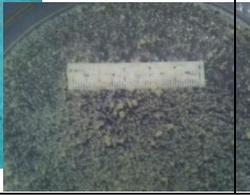
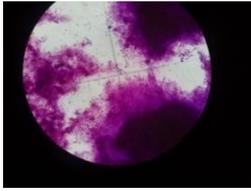
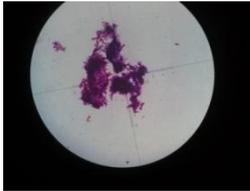
Gambar 3. Nilai SVI dengan variasi OLR 24 kg COD/m³ (a), dan OLR 5 kg COD/m³ (b) dengan variasi substrat Glukosa (■) dan Asetat (■)

Densitas dengan variasi OLR 24 pada substrat asetat berkisar antara 12,61 sampai 14,45 gr/L, sedangkan pada substrat glukosa berkisar antara 1,16 sampai 27,49 gr/L. Pada variasi OLR 5, densitas pada substrat Asetat berkisar antara 5,68-16,37, sedangkan pada substrat glukosa berkisar antara 0,89-2,57. Terlihat bahwa nilai densitas pada substrat asetat lebih besar dibandingkan dengan substrat glukosa sehingga dapat disimpulkan bahwa granular substrat asetat lebih berat. Kemudian dapat disimpulkan pula bahwa semakin besar nilai OLR, maka nilai densitas granular akan semakin besar. Namun nilai densitas tersebut masih jauh dari kriteria granular yang baik, yaitu berkisar antara 53 hingga 97 gr/L (De Kreuk and van Loosdrecht, 2006).

Morfologi granular aerob diperiksa dengan menggunakan mikroskop. Hasil analisa menunjukkan karakteristik yang sangat berbeda antara granular substrat glukosa dan asetat. **Tabel 5** merupakan foto hasil pengelihatian kasat mata dan hasil mikroskopis pada variasi OLR 5.

Tabel 5 Foto Granular Substrat Glukosa dan Asetat (OLR 5)

Substrat	Minggu	Mi	
		Perbesaran 100x	Perbesaran 10x
Glukosa			

Substrat	Minggu	Mi	
Asetat			 Perbesaran 100x
			 Perbesaran 10x

Pada minggu pertama, pembentukan granular pada substrat glukosa cenderung lebih cepat dibandingkan dengan granular substrat asetat. Terdapat bakteri berfilamen pada substrat glukosa. Namun pada minggu kedua, pembentukan granular substrat asetat sudah terlihat dengan jelas. Permukaan struktur granular asetat lebih bersih dibandingkan dengan granular glukosa. Kemudian granular asetat memiliki struktur yang lebih padat dibandingkan dengan granular pada substrat glukosa yang berfilamen serta berongga. Keberadaan filamen pada granular glukosa diperlihatkan pada foto mikroskop. Terlihat terdapat sekat-sekat pada struktur granular dengan substrat glukosa. Sekat-sekat tersebut menunjukkan adanya filamen pada struktur granular glukosa. Hal ini tidak terjadi pada pembentukan granular asetat. Pada pengelihatian mikroskopis, terlihat struktur granular yang berkumpul dan padat. Tidak satupun menunjukkan adanya sekat-sekat yang muncul pada granul glukosa. Hal ini sesuai dengan pengelihatian kasat mata bahwa pada granular asetat terlihat lebih padat dan permukaannya lebih bersih, sedangkan granular glukosa memiliki struktur tidak sepadat granular asetat serta permukaannya yang berfilamen. Hal ini juga mempengaruhi nilai SVI pada kedua substrat. Sebelumnya telah diperlihatkan bahwa nilai SVI pada substrat Glukosa lebih tinggi dibandingkan dengan nilai SVI pada substrat asetat. Angka SVI yang tinggi menunjukkan bahwa dalam tingginya proses terbentuknya granular yang bersifat ringan dan mengapung/melayang dalam air, yaitu akibat tingginya jumlah bakteri berfilamen. Keberadaan granular mengapung tersebut akan mengganggu dalam pada tahap proses pengendapan. **Gambar 4** memperlihatkan keadaan pada tahap pengendapan.



Gambar 4 Kondisi granular pada tahap pengendapan

Begitu juga yang terjadi pada granular yang terbentuk pada OLR 24. Terdapat granular berfilamen pada substrat glukosa, sedangkan granular pada substrat asetat menunjukkan permukaan yang lebih bersih. Dapat disimpulkan bahwa variasi jenis substrat dapat mempengaruhi pembentukan struktur granular aerob.

Dilihat dari bentuk dan ukuran, terlihat bahwa ukuran granular dengan pada kedua substrat dengan OLR 5 berkisar antara 0,3-2 mm. Pada OLR 24, terlihat pada substrat glukosa berkisar antara 1,61-13,78, sedangkan pada substrat asetat berkisar antara 2,33-26,49. Hasil tersebut sesuai dengan literatur yang menyebutkan bahwa diameter rata-rata granular aerob berkisar antara 0,2-16 mm (Beun et al, 1999; Toh et al, 2003; Zheng et al, 2006; Li et al, 2008;. Gao et al, 2010). Dapat disimpulkan bahwa peningkatan OLR dapat menyebabkan peningkatan ukuran granular. Kemudian

dilakukan pengukuran terhadap besar aspek rasio. Aspek rasio adalah perbandingan ukuran tekecil dengan ukuran terpanjang dari granular. Semakin besar nilai aspek rasio, maka granular yang terbentuk semakin bulat. Aspek rasio dengan OLR 5 pada substrat glukosa berkisar antara 0,3-0,7, sedangkan pada substrat asetat berkisar antara 0,4-0,8. Kemudian pada OLR 24 menunjukkan bahwa nilai aspek rasio berkisar antara 0,31 hingga 0,82 untuk granular glukosa, sedangkan untuk granular asetat berkisar antara 0,27 hingga 0,83. Terlihat bahwa nilai aspek rasio pada substrat asetat lebih besar dibandingkan dengan substrat glukosa. Hal ini menunjukkan bahwa granular pada substrat asetat memiliki permukaan yang lebih bulat dibandingkan dengan granular glukosa. Literatur menunjukkan bahwa rata-rata aspek rasio dari substrat glukosa yaitu 0,79 dan dari substrat asetat yaitu 0,73. **Tabel 6** menunjukkan besar ukuran dan aspek rasio dari granular pada substrat Glukosa dan Asetat.

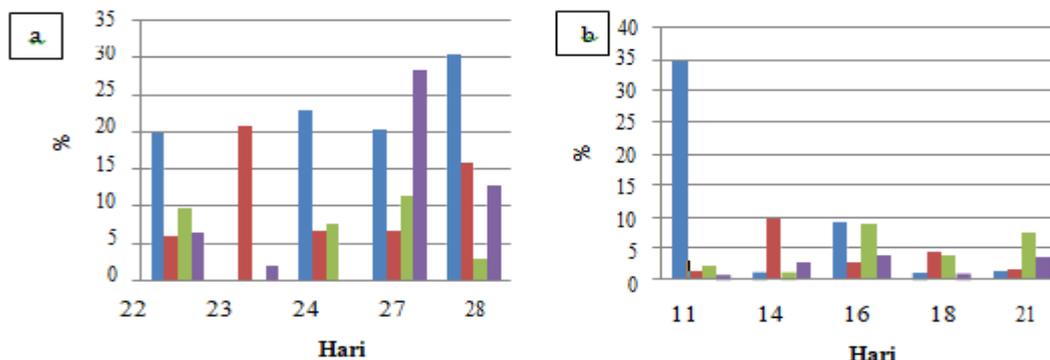
Tabel 6 Besar Ukuran dan Aspek Rasio Granular

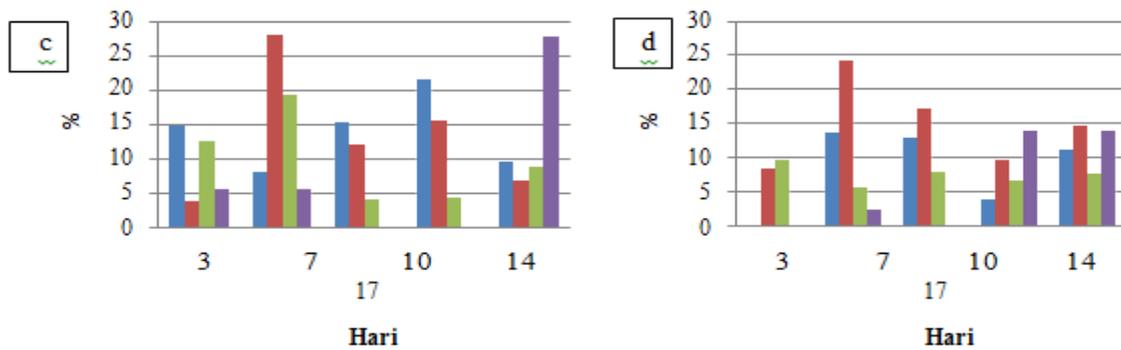
Glukosa										
Minggu Ke-	2					3				
Hari Ke-	8	9	10	11	12	15	16	17	18	21
Ukuran	1.143	0.913	0.513	0.411	0.253	1.402	0.403	0.576	0.412	0.557
Aspek Rasio	0.498	0.598	0.371	0.397	0.579	0.544	0.651	0.523	0.703	0.781
Asetat										
Minggu Ke-	2					3				
Hari Ke-	8	9	10	11	12	15	16	17	18	21
Ukuran	0.856	0.718	0.815	0.583	0.643	1.245	1.054	0.882	2.039	1.65
Aspek Rasio	0.511	0.630	0.505	0.797	0.813	0.616	0.713	0.805	0.654	0.86

Glukosa OLR								
Minggu Ke-	2			3		4		
Hari Ke-	6	9	14	16	22	23	27	29
Ukuran (mm)	13.78	9.27	3.52	3.23	1.79	1.61	2.59	2.39
Aspek Rasio	0.72	0.72	0.82	0.35	0.31	0.78	0.54	0.44
Asetat OLR								
Minggu Ke-	2				3			
Hari Ke-	8	10	11	12	16	18	19	21
Ukuran (mm)	26.49	5.38	4.26	5.42	7.03	8.31	2.33	2.09
Aspek Rasio	0.27	0.53	0.58	0.65	0.51	0.74	0.83	0.52

Efisiensi Penyisihan COD

Pada proses pembentukan granular, dilakukan pemantauan terhadap penurunan konsentrasi COD dalam air limbah. Nilai efisiensi penyisihan COD pada OLR 24 dengan substrat Glukosa yaitu berkisar antara 0- 32%, sedangkan pada substrat Asetat berkisar antara 0-77%. Pada OLR 5, besar efisiensi penyisihan COD pada substrat Glukosa yaitu berkisar antara 0-33%, sedangkan pada substrat Asetat berkisar antara 0-50%. Nilai efisiensi yang didapatkan menunjukkan angka yang rendah. Dapat disimpulkan bahwa dalam proses pembentukan granular aerob, kemampuan granular dalam menyisihkan COD masih rendah. Hal ini kemungkinan disebabkan akibat granular yang masih belum terbentuk sempurna. Grafik penyisihan COD pada minggu terakhir penelitian diperlihatkan pada **Gambar 5**.





Gambar 5. Nilai efisiensi penyisihan COD pada substrat glukosa OLR 24 (a), asetat OLR 24 (b), glukosa OLR 5 (c), dan asetat OLR 5 (d) yang diukur pada fase feeding (■), aerasi (■), settling (■) dan efluen (■)

KESIMPULAN

Pada penelitian ini, diketahui bahwa kecepatan pengendapan granular dengan substrat glukosa lebih rendah daripada granular dengan substrat asetat. Kemudian nilai SVI pada granular dengan substrat glukosa lebih besar dibandingkan granular dengan substrat asetat. Dilihat dari nilai densitas, substrat asetat memiliki nilai densitas yang lebih besar dibandingkan dengan substrat glukosa. Dilihat dari morfologi granular, struktur granular pada granular substrat glukosa memperlihatkan struktur berfilamen, sedangkan granular pada substrat asetat menunjukkan permukaan granular yang lebih bersih dan bulat. Hal ini menunjukkan bahwa variasi jenis substrat dapat mempengaruhi pembentukan struktur granular aerob. Kemudian dari penelitian juga dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai OLR, maka nilai densitas dan ukuran granular akan semakin besar. Hasil efisiensi penyisihan COD yang terjadi selama proses granulasi masih sangat rendah pada kedua substrat.

DAFTAR PUSTAKA

- Beun, J.J., Hendriks, A., Van Loosdrecht, M.C.M., Morgenroth, E., Wilderer, P.A., Heijnen, J.J., (1999) Aerobic granulation in a sequencing batch reactor. *Water Res.* 33 (10), 2283–2290
- Chen, Y., Jiang, W., Liang, D.T., Tay, J.H., (2008). Aerobic Granulation Under The Combined Hydraulic and Loading Selection Pressure. *Biosource Technology.* 99 (2008), 7444- 7449
- De Kreuk, M.K., van Loosdrecht, M.,C.,M., (2006). Formation of Aerobic Granules with Domestik Sewage. *Journal of Environmental Engineering,* 132, 694.
- Liu, Y., Tay, J.W., (2004). State of The Art of Biogranulation Technology fo Wastewater Treatment. *Biotechnology Advances.* 22,533-563
- Liu, Y., Tay, J., H., (2002). The essential role of hydrodynamic shear force in the formation of biofilm and granular sludge. *Water Res.* 36 (7), 1653–1665.
- Lee, D. J, Chen, Y., Y. (2010) Advances in Aerobic Granule Stability in the Course of Storage adn Reactor Operation. *Biotechnology Advances.* 28, 919-934
- Koh, K.Y., Kueh, K.H., Loh K.T., Leong H. J, Chu A. S. M., Hashim M. A. (2009) Effect of seeding sludge type and hydrodynamic shear force on the aerobic sludge granulation in sequencing batch airlift reactors. *Asia-Pac. J. Chem. Eng.* 4, 826–831