

# PEMBENTUKAN LUMPUR GRANUL DALAM PENGOLAHAN AIR LIMBAH PEMUTIHAN PULP DENGAN REAKTOR UP-FLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET (UASB)

Yusup Setiawan\*, Sri Purwati, Kristaufan J.P., Rina S Soetopo

\* Peneliti kelompok lingkungan dan derivat selulosa, Balai Besar Pulp dan Kertas

## GRANULAR SLUDGE FORMATION IN TREATING OF BLEACHING EFFLUENT BY UP-FLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET (UASB) REACTOR

### ABSTRACT

*UASB reactor is not used yet by pulp and paper industries in Indonesia in treating their wastewater caused by granular sludge must be imported and needs high skill in the operation. To anticipate the more stringent of effluent standard and implementation of Adsorbable Organic halide (AOX) as a key parameter, UASB reactor has a good prospect to be used in treating of pulp and paper wastewater.*

*In the beginning of experiment, UASB reactor was operated with the hydraulic retention time (HRT) of 3 days and OLR of 0.10 – 0.23 kgCOD/m<sup>3</sup>.day for 141 days. UASB reactor was then operated with the HRT of 19 hrs and OLR of 0.80 – 3.25 kgCOD/m<sup>3</sup>.day for 287 days. Since day 288<sup>th</sup>, UASB reactor was operated in the HRT of 12 hrs and OLR of 1.92 – 5.0 kgCOD/m<sup>3</sup>.day. In this condition, micronutrient solution in the amount of 1 mL/L was added into feed wastewater of UASB reactor to accelerate the growth of granular sludge. Concentration of parameters such as COD, BOD, TSS, pH, and Adsorbable Organic Halides (AOX) were analyzed. Sludge characteristic was tested and observed by Light Optical Microscope Leica DMLM and S4E and Scanning Electron Microscope (SEM) Philips FEI Quanta 200. Settling rate of granular sludge was also measured.*

*The result showed that on the HRT of 12 hrs and the OLR of 1.92 – 5.0 kgCOD/m<sup>3</sup>.day with the up-flow velocity of 0,16 m/hr, treatment system by UASB reactor could reduce COD of 34.23 – 90.28% (average of 67.41%) and AOX of 59.65 – 70.12% (average of 67.93%). The addition of micronutrient solution in the amount of 1 mL/L had significant effect to the growth of microorganism and the granular sludge formation. The formed granular sludge had black-brownies color, VSS/SS ratio of 0.72, diameter up to 2 mm, specific gravity (sg) of 1.12, and high settling rate of 54.6 m/hr. Bacterial population content of the granular sludge consist of filament bacteria (Methanotric sp.) with the diameter of 1 – 2.94 µm and coccus bacteria (Methanosarcina) with the diameter of 2 - 29 µm. This is very useful and has a role in the sludge granulation and the reduction of organic compounds.*

Keywords: Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), MLSS, MLVSS, AOX, granular sludge, methanotric sp., methanosarcina.

### INTISARI

*Sampai saat ini industri pulp dan kertas di Indonesia belum ada yang menggunakan reaktor UASB dalam pengolahan air limbahnya, karena lumpur granul masih harus diimpor dan diperlukan ketrampilan tinggi dalam mengoperasikannya. Untuk mengantisipasi baku mutu buangan air limbah yang semakin ketat dan penerapan Adsorbable Organic Halide (AOX) sebagai parameter kunci, reaktor UASB mempunyai prospek yang baik untuk digunakan dalam pengolahan air limbah industri pulp dan kertas.*

*Pada permulaan percobaan reaktor UASB dioperasikan dengan waktu tinggal 3 hari dengan beban organik sekitar 0,10 – 0,23 kgCOD/m<sup>3</sup>.hari selama 141 hari. Setelah itu reaktor UASB dioperasikan dengan waktu tinggal 19 jam dan beban organik antara 0,80 – 3,25 kgCOD/m<sup>3</sup>.hari sampai hari 287. Sejak hari 288, reaktor UASB dioperasikan dengan waktu tinggal 12 jam dan beban organik antara 1,92 – 5,0 kgCOD/m<sup>3</sup>.hari. Pada kondisi tersebut ke dalam umpan reaktor UASB*

ditambahkan larutan mikronutrisi untuk mempercepat pertumbuhan lumpur granul sebanyak 1 mL/L. Kadar parameter COD, BOD, TSS, pH, dan Adsorbable Organic Halides (AOX) influen dan effluen dianalisa. Karakteristik lumpur diamati dan diuji menggunakan Light Optical Microscope Leica DMLM dan S4E dan Scanning Electrone Microscope (SEM) Philips FEI Quanta 200. Kecepatan pengendapan lumpur granul juga diukur.

Hasil menunjukkan bahwa pada waktu tinggal 12 jam dan beban organik antara 1,92 – 5,0 kgCOD/m<sup>3</sup>.hari dengan up-flow velocity = 0,16 m/jam, sistem pengolahan dengan reaktor UASB dapat mereduksi COD = 34,23% – 90,28% (rata-rata = 67,41%) dan AOX = 59,65% – 70,12% (rata-rata = 67,93%). Penambahan larutan mikronutrisi sebanyak 1 mL/L mempunyai pengaruh signifikan dalam pertumbuhan mikroorganisme dan pembentukan lumpur granul. Lumpur granul yang terbentuk berwarna hitam kecoklatan, memiliki VSS/SS = 0,72, dengan diameter mencapai 2 mm, dengan nilai specific gravity (sg) 1,12 dan memiliki kecepatan pengendapan tinggi mencapai 54,6 m/jam. Populasi bakteri pada lumpur granul diantaranya terkomposisi dari bakteri filament (*Methanotric sp.*) berdiameter antara 1 – 2,94  $\mu$ m dan coccus (*Methanosarcina*) berdiameter antara 2 - 29  $\mu$ m yang sangat berperan pada granulasi lumpur dan reduksi senyawa organik.

Kata kunci : Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), MLSS, MLVSS, AOX, lumpur granul, methanotric sp., methanosarcina.

## PENDAHULUAN

Industri pulp dan kertas merupakan salah satu industri penting di Indonesia yang cukup besar kontribusinya terhadap pendapatan negara dari nilai eksportnya. Pada saat ini ada 81 pabrik pulp dan kertas di Indonesia, 9 pabrik diantaranya memproduksi pulp putih dengan kapasitas produksi antara 39.600 – 1.820.000 ton pulp putih per tahun. Dalam proses produksi pulp putih tersebut, sebagian masih menggunakan proses pemutihan secara konvensional, namun ada juga yang sudah menggunakan proses pemutihan “*Elementally Chlorine Free (ECF)*”. Pada proses pemutihan pulp secara konvensional, air buangan proses pemutihan mengandung kadar “Adsorbable Organic Halides (AOX)” sampai 25 mg/l, sedangkan pada sistem ECF kadarnya lebih rendah.

Beberapa literatur menyebutkan bahwa buangan air limbah dari proses pemutihan konvensional dapat mengganggu kesehatan karena mengandung senyawa organik terklorinasi. Lebih dari 200 jenis senyawa terklorinasi telah teridentifikasi dari air buangan pemutihan pulp kraft (Reeve and Earl, 1989). Beberapa senyawa organik terklorinasi ini bersifat toksik dan terakumulasi di lingkungan perairan (Bryant *et.al.*, 1987; Martinsen *et. al.*, 1988; Leach, 1980) sehingga di beberapa negara maju sudah ada tekanan-tekanan baik melalui peraturan lingkungan maupun tuntutan pasar untuk menurunkan atau menghilangkan senyawa organik terklorinasi tersebut dari buangan limbah.

Penelitian penurunan kadar AOX yang terkandung dalam air limbah proses pemutihan pulp secara konvensional dengan tahap klorinasi-ekstraksi-hipoklorit (CEH), menggunakan reaktor UASB telah dilaksanakan secara berkelanjutan. Hasil awal menunjukkan bahwa reaktor UASB yang diberi bibit lumpur “*flocculent*” yang dioperasikan dengan waktu tinggal 20 jam dan beban organik 0,79 kgCOD/m<sup>3</sup>.hari dapat menurunkan AOX sampai 57,8%. Pada kondisi proses yang sama telah dilakukan juga dengan reaktor UASB yang diberi bibit lumpur campuran granul dan “*flocculent*”. Hasilnya dapat menurunkan kadar AOX sampai 73,3%. Hasil observasi dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa waktu aklimatisasi reaktor UASB yang diberi bibit lumpur campuran granul dan “*flocculent*” jauh lebih cepat dari pada reaktor UASB yang diberi bibit lumpur “*flocculent*” saja.

Sampai saat ini industri pulp dan kertas di Indonesia belum ada yang menggunakan reaktor UASB dalam pengolahan air limbahnya. Hal ini disebabkan selain lumpur granul masih diimpor diperlukan juga keterampilan tinggi dalam mengoperasikannya. Untuk mengantisipasi baku mutu buangan air limbah yang semakin ketat dan AOX sebagai parameter kunci dalam baku mutu limbah cair, reaktor UASB mempunyai prospek yang baik untuk digunakan dalam pengolahan air limbah industri pulp dan kertas. Penelitian pembentukan lumpur granul dari lumpur “*flocculent*” telah dilakukan melalui pengaturan kondisi operasi diantaranya beban hidrolis dan kondisi hidrodinamik serta mengoptimalkan kondisi lingkungan bagi pertumbuhan mikroba dalam proses granulasi. Dalam makalah ini

diuraikan kinerja reaktor UASB dalam menurunkan kadar pencemar meliputi parameter AOX, COD, dan TSS, serta pelaksanaan pembentukan lumpur granul dan kualitas lumpur granul yang dihasilkan.

## TINJAUAN PUSTAKA

Sistem *Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) yang dikembangkan oleh Lettinga *et.al.*, 1980) adalah salah satu proses anaerobik dengan efisiensi tinggi. Dibawah kondisi mesofilik pada beban volumetrik  $\geq 25$  kgCOD/m<sup>3</sup>.hari dan waktu tinggal  $\leq 5$  jam, sistem pengolahan ini dapat mereduksi COD  $\geq 85\%$  (Lettinga *et.al.*, 1980). Kestabilan operasi dan keberhasilan kinerja sistem UASB sangat tergantung pada kualitas lumpur yang memiliki kecepatan pengendapan yang besar dan keaktifan metanogenik tinggi, yang biasanya terdapat dalam bentuk lumpur granul. Sifat kecepatan pengendapan yang besar lumpur granul ini akan menyebabkan lumpur terkonsentrasi dibagian bawah reaktor UASB sehingga sistem dapat beroperasi pada beban organik yang jauh lebih besar. Jika lumpur di dalam reaktor UASB masih dalam bentuk "floculent", kehilangan banyak lumpur akan terjadi karena terbawa aliran air limbah. Pengolahan air limbah dengan kondisi lumpur granul memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan lumpur "floculent" yaitu mempunyai kecepatan pengendapan dan keaktifan spesifik yang lebih besar sehingga memiliki kapasitas pengolahan air limbah yang jauh lebih tinggi. Pengembangan pembentukan lumpur granul dalam reaktor UASB yang mengolah beberapa jenis air limbah telah banyak diteliti, sehingga pembentukan lumpur granul dalam reaktor UASB sangat diperlukan dan dapat diaplikasikan dalam skala komersial (Wu Wei-Min, 1985; de Zeeuw, 1987).

Pembentukan lumpur granul dari lumpur "floculent" anaerobik dan pemeliharaannya dipengaruhi oleh beberapa parameter yaitu komposisi dan suhu air limbah, konfigurasi reaktor, kecepatan beban, dan kondisi hidrodinamik yang merupakan parameter paling penting (Kosaric, 1990). Wu Wei-Min, 1985, melaporkan bahwa faktor utama yang diperlukan untuk dapat menghasilkan lumpur granul adalah sebagai berikut :

### ***Kebutuhan nutrisi***

Kebutuhan nutrisi dengan perbandingan COD:N untuk pembentukan lumpur granul sama seperti proses anaerobik pada umumnya. Perbandingan COD:N = 30 – 55 : 1 merupakan kondisi yang sesuai, walaupun lumpur granul dapat juga terbentuk pada perbandingan COD:N = 200 : 1 jika campuran dalam reaktor telah memiliki kapasitas *buffer* yang cukup. Selain Nitrogen dan Posfor, dibutuhkan juga mikronutrisi untuk mengoptimalkan kinerja proses anaerobik dan pertumbuhan lumpur granul seperti Fe dan Ni dengan konsentrasi sebesar 1 – 5 ppm, serta Co, Mo, dan Se dengan konsentrasi sekitar 0,05 ppm.

### ***Varibel pengoperasian***

Varibel pengoperasian yang paling penting adalah besarnya laju pembebanan COD. Lumpur granul akan mulai nampak terbentuk pada beban COD 0,3 kg/kgVSS.hari. Disarankan setelah tahap start-up, beban COD dinaikkan menjadi > 0,6 kg/kgVSS.hari agar mempercepat proses granulasi. Pengaturan beban hidraulik sebesar 0,25 – 0,40 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jam telah cukup besar untuk pembentukan granul.

### ***Kondisi fisik dan kimia***

Temperatur yang sesuai untuk mendapatkan lumpur granul adalah 35 – 40 °C. pH sebaiknya berkisar antara 6,5 – 7,2 dilengkapi dengan alkalinitas yang cukup sebagai *buffer*. Konsentrasi Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, dan NH<sub>3</sub>-N masing-masing harus lebih rendah dari 3.500, 2.500, dan 1.700 mg/l (Koster, 1984).

Pengolahan secara biologi untuk menurunkan kadar senyawa organik terklorinasi dalam air limbah pemutihan yang menunjukkan hasilnya sangat signifikan dalam penurunan COD dan AOX pulp telah banyak dilaporkan di beberapa literatur (McFarlane, 1995). Granulasi lumpur anaerobik dalam reaktor UASB adalah faktor yang paling penting dalam kinerja UASB reaktor untuk mereduksi senyawa toksik dalam effluen. UASB reaktor dapat mereduksi COD sebesar 30 -70%, dan AOX = 25 -67% (Lepisto, 1994). Penggunaan reaktor UASB untuk pengolahan air limbah industri pulp dan kertas skala komersial telah mulai diterapkan di Eropa sejak tahun 1980.

## METODOLOGI

Reaktor UASB yang digunakan dalam percobaan ini terbuat dari "fiber glass" transparan berdiameter dalam 10 cm, tinggi 1,9 m dengan volume 15 L yang dilengkapi alat pengukur biogas. Diagram dan foto reaktor UASB dapat dilihat pada Gambar 1.

Bibit lumpur "floculent" dengan kandungan MLSS = 22.400 mg/L dan MLVSS = 10.400 mg/L yang diambil dari kolam fakultatif yang mengolah air limbah industri pulp dan kertas dimasukkan.

Ke dalam reaktor UASB sampai 60% volume reaktor. Air limbah yang digunakan pada percobaan ini adalah air limbah dari proses pemutihan pulp konvensional dari industri pulp dan kertas yang terintegrasi. Karakteristik air limbah pemutihan pulp yang digunakan pada percobaan dapat dilihat pada Tabel 1. Ke dalam tangki umpan ditambahkan makronutrisi yaitu urea sebagai sumber N dan  $K_2HPO_3$  sebagai sumber P dengan perbandingan COD : N : P = 350 : 7 : 1.

$NaHCO_3$  sebagai *buffer* dengan konsentrasi 1.000 – 2.500 mg/L dicampurkan juga dengan air limbah dalam tangki umpan. pH umpan reaktor UASB dipertahankan pada pH 6,5 – 7,0. Pompa peristaltik digunakan untuk mengalirkan air limbah dari tangki umpan ke reaktor UASB.

Tabel 1. Karakteristik Air limbah bahan percobaan

No.	Parameter	Unit	Konsentrasi
1.	AOX	mg/l	2.59 – 23.28
2.	COD <sub>T</sub>	mg/l	315 – 2.565
3.	TSS	mg/l	30 – 2,300
4.	pH	-	6.5 – 7.6

Tabel 2. Komposisi mikronutrisi

Bahan Kimia	Konsentrasi
▪ $FeCl_2 \cdot 4H_2O$	1,250 mg
▪ $MnCl_2 \cdot 4H_2O$	300 mg
▪ $CuCl_2 \cdot 2H_2O$	20 mg
▪ $ZnCl_2$	50 mg
▪ $CoCl_2 \cdot 6H_2O$	80 mg
▪ $NiCl_2 \cdot 6H_2O$	60 mg
▪ $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$	60 mg
▪ $H_3BO_3$	20 mg
▪ Aquadest menjadi 1 liter	

Pada permulaan percobaan, reaktor UASB dioperasikan dengan waktu tinggal 3 hari dan beban organik sekitar 0,10 – 0,23 kgCOD/m<sup>3</sup>.hari selama 141 hari. Setelah itu, reaktor UASB dioperasikan dengan waktu tinggal 19 jam dan beban organik 0,80 – 3,25

kgCOD/m<sup>3</sup>.hari sampai hari ke 287. Selama pengoperasian reaktor UASB ini, contoh lumpur dari bagian dasar reaktor diambil dan diamati dengan mikroskop dan *Scanning Electrone Microscope (SEM)*. Sejak hari ke 288, reaktor UASB dioperasikan dengan waktu tinggal 12 jam dan beban organik 1,92 – 5,0 kgCOD/m<sup>3</sup>.hari dan kedalam umpan reaktor UASB ditambahkan mikronutrisi sebanyak 1 mL/L dengan komposisi seperti pada Table 2 untuk mempercepat pertumbuhan lumpur granul. Effluen reaktor UASB ditampung dan dianalisa. Biogas yang terbentuk diukur dengan alat pengukur biogas.

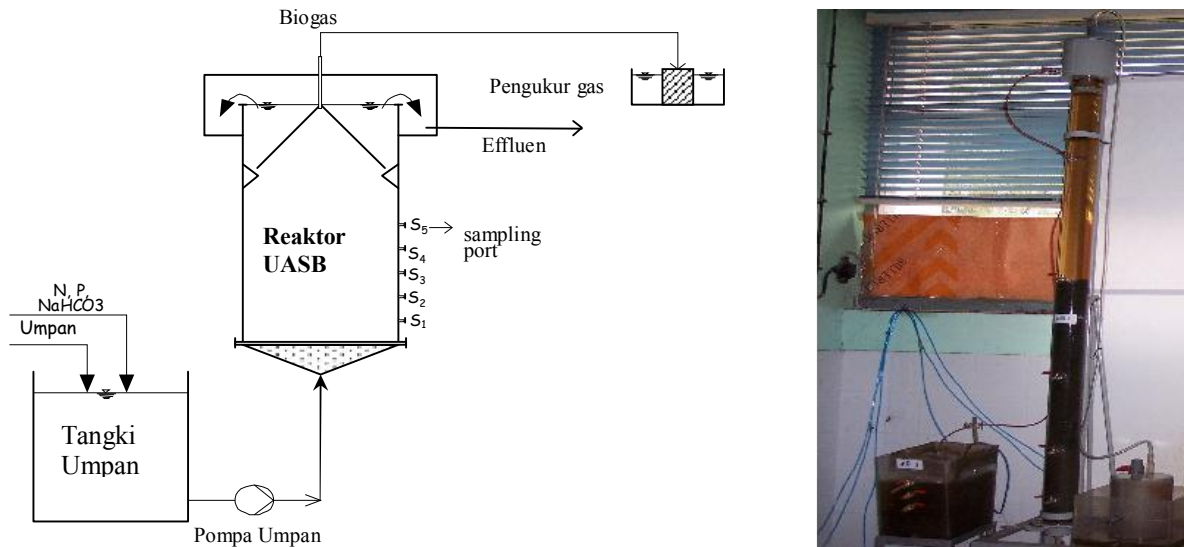
### Metoda Analisa

Parameter COD, BOD, TSS, pH, MLSS dan MLVSS dianalisa menggunakan *Standard Methods for Examination of Water and Waste Water (APHA)*. Kadar AOX dianalisa dengan metoda adsorpsi-pirolisa-titrasi menggunakan AOX analyzer, Mitsubishi TOX-100. Pengamatan dan pengujian karakteristik lumpur dilakukan menggunakan *Light Optical Microscope Leica DMLM dan S4E*, serta *Scanning Electrone Microscope (SEM) Philips FEI Quanta 200*. Kecepatan pengendapan lumpur granul diukur berdasarkan metoda Andras *et al*, 1998.

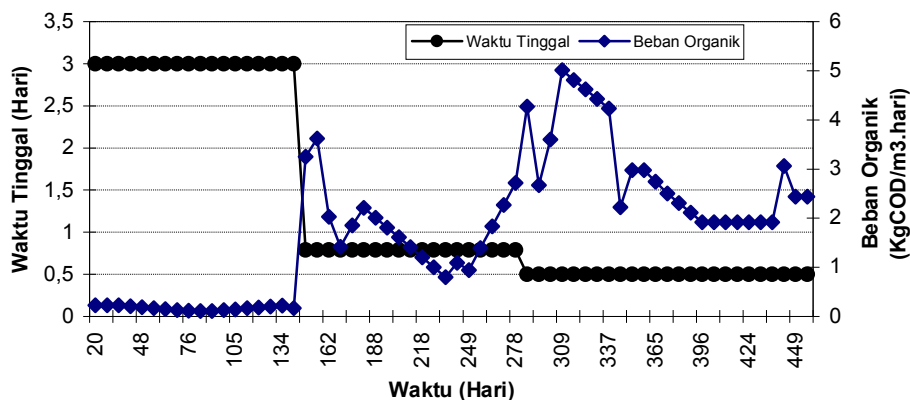
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kinerja Reaktor UASB dalam Penurunan Kadar Pencemar

Pada permulaan percobaan, reaktor UASB dioperasikan dengan waktu tinggal 3 hari dengan beban organik sekitar 0,10 – 0,23 kgCOD/m<sup>3</sup>.hari selama 141 hari. Konsentrasi COD dan AOX air limbah diawal percobaan sebagai umpan reaktor UASB masing-masing berkisar 502 – 700 mg/L dan 2,34 – 3,25 mg/L. Pada percobaan lanjut konsentrasi zat organik umpan reaktor UASB meningkat dengan konsentrasi COD = 1.127 – 2.565 mg/L dan AOX = 16,03 – 23,28 mg/L dengan waktu tinggal diturunkan menjadi 19 jam sehingga beban organik naik menjadi sekitar 0,80 – 3,62 kgCOD/m<sup>3</sup>.hari sampai pengoperasian reaktor UASB hari ke 287. Setelah itu reaktor UASB dioperasikan pada laju beban lebih tinggi dengan waktu tinggal 12 jam dan beban organik antara 1,92 – 5,0 kgCOD/m<sup>3</sup>.hari untuk melihat kinerja reaktor UASB lebih lanjut. Gambar 2 menunjukkan kondisi operasi beban organik dan waktu tinggal reaktor UASB.



Gambar 1. Diagram dan foto reaktor UASB

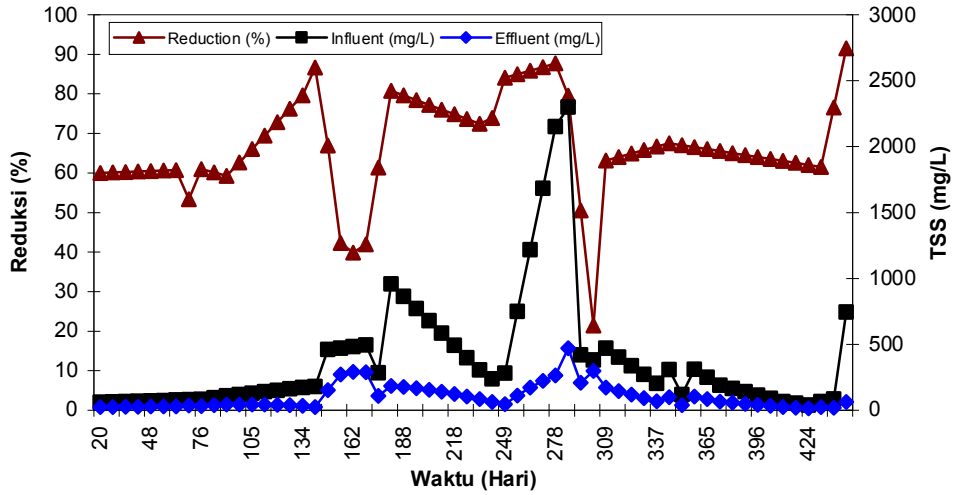


Gambar 2. Beban organik dan waktu tinggal reaktor UASB

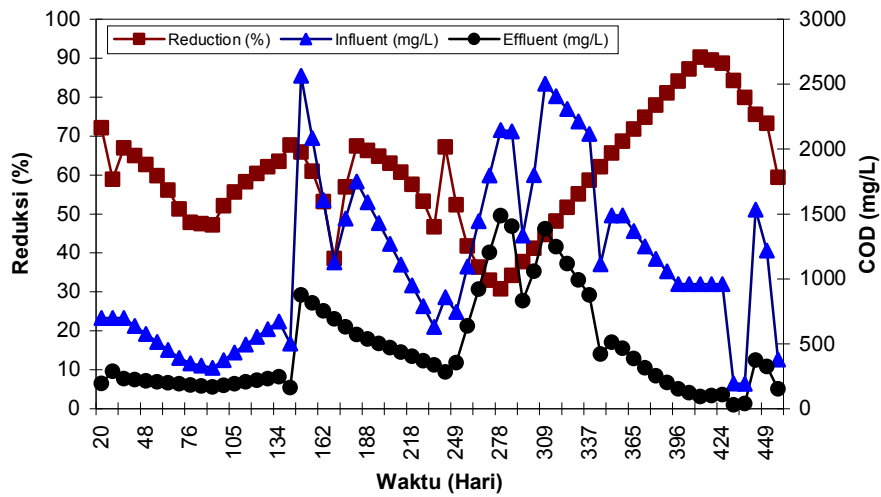
Pada minggu pertama pengoperasian reaktor UASB, konsentrasi TSS pada effluen reaktor umumnya lebih besar dari pada influen. Hal ini disebabkan lumpur *flocculent* yang digunakan ringan sehingga terbawa aliran ke effluen sedangkan lumpur fraksi yang lebih berat tertahan dalam reaktor. Setelah minggu kedua sudah terlihat lumpur menjadi kompak dengan reduksi TSS dapat dilihat seperti pada Gambar 3.

Pada pengoperasian awal reaktor UASB dengan waktu tinggal 3 hari, reduksi TSS dapat dicapai sampai 86,67%. Penurunan reduksi

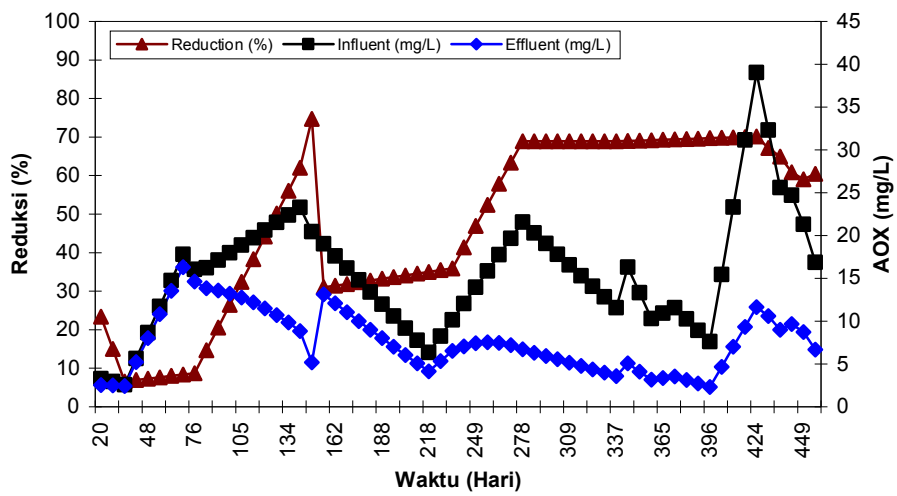
TSS terjadi pada saat permulaan perubahan operasi penurunan waktu tinggal, yaitu dari 3 hari menjadi 19 jam dan kemudian menjadi 12 jam, yang berkaitan dengan peningkatan beban organiknya. Pada awal penurunan waktu tinggal menjadi 19 jam, reduksi TSS turun menjadi sampai 39,81% dan setelah mulai stabil reduksi TSS meningkat lagi dan dapat mencapai sampai 87,62%. Kejadian serupa terjadi lagi pada saat penurunan waktu tinggal menjadi 12 jam, disini reduksi TSS turun drastis menjadi 21,43%. Kondisi stabil meningkat secara perlahan dengan reduksi TSS mencapai 91,54%.



Gambar 3. Kinerja reaktor UASB dalam reduksi TSS



Gambar 4. Kinerja reaktor UASB dalam reduksi COD



Gambar 5. Kinerja reaktor UASB dalam reduksi AOX

Kinerja reaktor UASB dalam mereduksi COD dan AOX dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5. Pada waktu tinggal 3 hari dengan beban organik sekitar 0,10 – 0,23 kgCOD/m<sup>3</sup>.hari reaktor UASB dapat mereduksi COD antara 47,21% – 72,15% dan AOX antara 6,56% – 61,98%. Sedangkan pada waktu tinggal 19 jam dan beban organik dinaikkan menjadi sekitar 0,80 – 3,62 kgCOD/m<sup>3</sup>.hari, pada awal perubahan terjadi penurunan reduksi baik untuk COD maupun untuk AOX. Hal ini disebabkan terjadinya beban kejut (*shock loading*) terhadap mikroba dengan meningkatnya beban organik tersebut.

Selanjutnya reduksi COD maupun AOX meningkat kembali secara perlahan, walaupun ada sedikit fluktuasi. Reduksi COD dan AOX yang dapat dicapai masing-masing adalah 30,74% – 67,43% dan 30,98% – 74,98%. Hasil analisa lumpur pada bagian dasar reaktor mengandung MLSS = 31.940 mg/L dan MLVSS = 22.220 mg/L atau perbandingan VSS/SS = 0,69 dan lumpur masih berwarna abu-abu. Bila dihitung berdasarkan konsentrasi MLVSS, beban lumpur reaktor UASB adalah 0,04 – 0,14 kgCOD/kgVSS.hari dan 0,36 – 1,23 grAOX/kgVSS.hari dan keaktifan lumpur reaktor UASB adalah 0,04 – 0,06 kgCOD<sub>removed</sub>/kgVSS.hari dan 0,34 – 0,86 gr AOX<sub>removed</sub>/kgVSS.hari. Bila dilihat dari jumlahnya, konsentrasi lumpur di bagian bawah reaktor meningkat hampir dua kali lipat dari awal percobaan. Akan tetapi hasil pengamatan secara visual masih belum menunjukkan adanya pembentukan lumpur granul.

Mulai hari ke 288, mikronutrisi sebanyak 1 mL/L ditambahkan ke dalam air limbah umpan reaktor UASB yang bertujuan untuk memberikan pengaruh positif terhadap pertumbuhan pembentukan lumpur granul. Reaktor UASB dioperasikan dengan waktu tinggal 12 jam dan beban organik antara 1,92 – 5,0 kgCOD/m<sup>3</sup>.hari dengan *up-flow velocity* = 0,16 m/jam, lebih tinggi dari pengoperasian sebelumnya. Pada kondisi operasi ini, reduksi yang dapat dicapai yaitu COD = 34,23% – 90,28% (rata-rata = 67,41%) dan AOX = 59,65% – 70,12% (rata-rata = 67,93%).

Setelah reaktor UASB dioperasikan selama 169 hari dari sejak penambahan

mikronutrisi, hasil analisa lumpur pada bagian dasar reaktor menunjukkan konsentrasi MLSS = 52.694 mg/L dan MLVSS = 37.856 mg/L atau perbandingan VSS/SS = 0,72. Bila dilihat dari jumlahnya, konsentrasi lumpur telah meningkat lebih dari tiga kali lipat dari awal percobaan. Lumpur sudah berwarna hitam dan mulai terbentuk lumpur granul. Bila dihitung berdasarkan konsentrasi MLVSS, beban lumpur reaktor UASB adalah 0,01 – 0,13 kgCOD/kgVSS.hari dan 0,40 – 2,06 grAOX/kgVSS.hari dan keaktifan lumpur dalam reaktor UASB adalah 0,03 – 0,05 kgCOD<sub>removed</sub>/kgVSS.hari dan 0,66 – 1,44 grAOX<sub>removed</sub>/kgVSS.hari. Dengan meningkatnya jumlah lumpur dan sudah mulai terbentuknya lumpur granul, reduksi AOX cenderung meningkat.

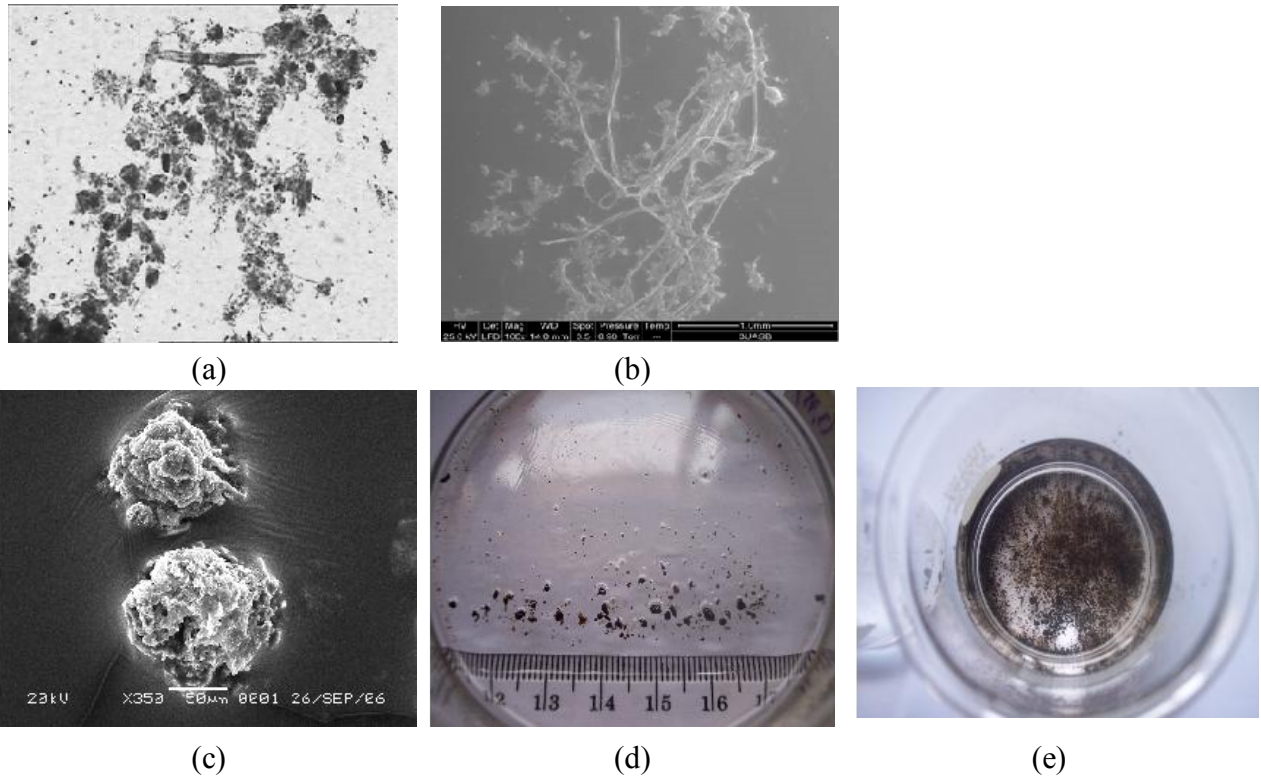
### ***Pembentukan Lumpur Granul dan Keunggulannya***

Pengamatan secara visual maupun dengan *Light Optical Microscope* dan *Scanning Electrone Microscope (SEM)* terhadap lumpur di dalam reaktor UASB yang dioperasikan sampai 287 hari, kondisi lumpur masih dalam bentuk “*flocculent*”, belum menunjukkan adanya pembentukan lumpur granul (Gambar 6a dan 6b). Setelah 169 hari penambahan mikronutrisi, hasil analisa lumpur pada bagian dasar reaktor UASB mengandung MLSS = 52.694 mg/L dan MLVSS = 37.856 mg/L atau perbandingan VSS/SS = 0,72.

Lumpur yang dihasilkan berwarna hitam kecoklatan dan terbentuk lumpur granul (Gambar 6c, 6d dan 6e). Ukuran lumpur granul yang terbentuk berdiameter 0,1 - 2 mm, dengan nilai *specific gravity (sg)* 1,12 dan memiliki kecepatan pengendapan tinggi yaitu sekitar 10,47 – 54,6 m/jam yang diklasifikasikan kecepatan pengendapan rendah sampai medium (Andras, *et al.*, 1988; Lettinga *et al.*, 1980).

Karakteristik lumpur granul yang terbentuk telah berada pada kisaran lumpur granul yang pada umumnya mempunyai perbandingan VSS/SS antara 0,70 sampai 0,85. Tepatnya waktu pembentukan lumpur granul tidak dapat dinyatakan secara pasti akan tetapi relatif hampir sama dengan pembentukan lumpur granul pada reaktor UASB yang mengolah air limbah bir yaitu sekitar 170 hari dan pembentukan lumpur granul pada reaktor UASB yang mengolah air limbah pemotongan hewan sekitar 166 hari walaupun kondisi operasinya berbeda (Hu Ji-cui, 1985).



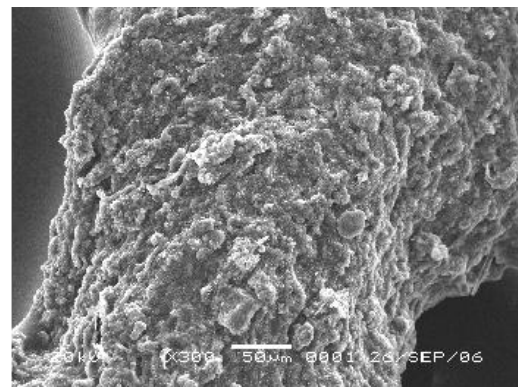


Gambar 6. Lumpur flocculent : (a) Uji mikroskopis & (b) Uji SEM, dan lumpur granul : (c) Uji SEM & (d) – ((e) Uji visual

Dalam percobaan ini penambahan mikro-nutrisi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap pertumbuhan bakteri dalam pembentukan lumpur granul dalam reaktor UASB. Penambahan mikronutrisi sebanyak 1 mL/L yang mengandung *trace elements* seperti unsur Fe, Mn, Cu, Ni, Co, Mo, B dan Zn sudah dapat mencukupi dalam pembentukan lumpur granul pengolahan air limbah proses pemutihan pulp. Peningkatan pertumbuhan lumpur granul dan kecepatan pengendapannya di dalam reaktor UASB akan diamati dan dipelajari lebih lanjut.

Hasil uji *Scanning Electrone Microscope (SEM)* menunjukkan bahwa permukaan lumpur granul terlihat kasar dan bentuknya tidak beraturan yang merupakan kumpulan beberapa populasi bakteri dan komponen lainnya (Gambar 7). Beberapa populasi bakteri pada permukaan lumpur granul diantaranya terkomposisi dari bakteri *filament* berdiameter antara 1 – 2,94  $\mu\text{m}$  dan *coccus* berdiameter antara 2 - 29  $\mu\text{m}$ . Mikroorganisme bakteri *filament* bisa terdiridari 2 sampai 4 sel atau lebih yang dapat diperkirakan adalah *Methanotric sp.*, dan bakteri yang berbentuk *coccus* adalah *Methanosarcina* (Wu Wei-min, *et.al.*, 1985).

Dengan demikian bila komponen utama bakteri metanogenik dari lumpur granul dalam pengolahan air limbah pemutihan pulp yang teramati diantaranya teridentifikasi sebagai *Methanotric sp.* dan *Methanosarcina*, maka sangat berguna dan berperan sekali pada granulasi lumpur.



Gambar 7. Permukaan lumpur granul

Bakteri-bakteri tersebut dapat ditemukan juga pada lumpur granul hasil pengolahan air limbah industri bir, air limbah pemotongan hewan, dan air limbah industri asam sitrat (Wu Wei-min *et.al.*, 1985, Fang *et.al.*, 1995).



Bila dibandingkan dengan kondisi lumpur yang masih dalam bentuk “*flocculent*”, lumpur granul yang terbentuk di dalam reaktor UASB mempunyai kecepatan pengendapan lumpur yang jauh lebih tinggi. Dengan demikian reaktor UASB dapat dioperasikan pada beban organik yang lebih tinggi tanpa kehilangan lumpur karena terbawa aliran. Dalam hal ini lumpur granul akan mempunyai waktu tinggal sel yang lama di dalam reaktor, sehingga akan terjadi akumulasi bakteri metanogenik yang mempunyai keaktifan metanogenik tinggi. Dalam hal ini biofilm lumpur granul dapat melindungi bakteri metanogenik terhadap dampak kondisi yang kurang menguntungkan seperti beban kejut (*shock loading*), pH rendah dalam waktu singkat, dan lainnya.

## KESIMPULAN

- Pada waktu tinggal 12 jam dan beban organik volumetrik antara 1,92 – 5,0 kgCOD/m<sup>3</sup>.hari atau beban organik lumpur 0,01 – 0,13 kgCOD/kgVSS.hari dengan *up-flow velocity* = 0,16 m/jam, reaktor UASB dapat mereduksi COD = 34,23% – 90,28% (rata-rata = 67,41%) dan AOX = 59,65% – 70,12% (rata-rata = 67,93%).
- Penambahan mikronutrisi yang terdiri dari campuran unsur Fe, Mn, Cu, Zn, Co, Mo dan B sebanyak 1 mL/L mempunyai pengaruh signifikan dalam pembentukan lumpur granul pengolahan air limbah proses pemutihan pulp.
- Lumpur granul yang terbentuk berwarna hitam kecoklatan, memiliki VSS/SS = 0,72, dengan diameter mencapai 2 mm, dengan nilai *specific gravity* (*sg*) 1,12, dan memiliki kecepatan pengendapan tinggi mencapai 54,6 m/jam.
- Meningkatnya jumlah lumpur dan terbentuknya lumpur granul serta reduksi COD dan AOX cenderung meningkat dan relatif stabil setelah mendapat perlakuan penambahan mikronutrisi dan beroperasi 169 hari.
- Populasi bakteri pada lumpur granul diantaranya terkomposisi dari bakteri *filament* (*Methanotric sp.*) berdiameter antara 1 – 2,94 μm dan *coccus* (*Methanosarcina*) berdiameter antara 2 - 29 μm sangat berguna dan berperan sekali pada granulasi lumpur dan reduksi senyawa organik.

## DAFTAR PUSTKA

1. Andras E; Kennedy K; Richardson D.A., 1989, *Test for Characterizing Settleability of Anaerobic Sludge*, Environ. Techno. Lett.
2. Lettinga, G. et al.,(1980), *Biotechnology and Bioengineering*, 22, 699 – 734.
3. Kosaric, N; Blaszczyk, R and Orphan, L. 1990, *Factors Influencing formation and Maintenance of Granules in Anaerobic Sludge Blanket Reactors (UASBR)*”, *Wat. Sci. Tech.*, 22, 275 - 282.
4. McFarlane,P.N.; Stuthridge, T.R.1995, *Adsorbable Organic Halide Removal Mechanism in a Pulp and Paper Mill Aerated Lagoon Treatment System*, *Wat. Sci. Tech.*, Vol.29, No.5-6, 195-208.
5. Lepisto, Raghida; Rintala, Jukka, 1994, *The Removal of Chlorinated Phenolic Compounds from Chlorine Bleaching Effluents Using Thermophilic Anaerobic Processes*, *Wat. Sci. Tech.*, Vol.29, No. 5-6, 373-380.
6. De Zeeuw W., 1987, *Granular Sludge in UASB Reactor*, In: *Proceedings of the GASMAT Workshop*. Lunteren, the Netherlands, 132-145.
7. Wu Wei-min, Hu Ji-cui, Gu Xia-sheng 1985, *Properties of Granular Sludge in Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactors and Its Formation*, *Proceeding of the fourth International Symposium on Anaerobic Digestion*, Guan Zhou, China, 11-15 November 1985.
8. Fang, H.H.P; Chui H.K;Li Y.Y. 1995. *Microbial structure and Activity of UASB Granules Treating Different Wastewater*, *Wat. Sci. Tech.*, Vol.29, No. 5-6, 87-92.
9. Martinsen,K;Kringstad,A;Carlberg,G.E.1988,*Methods for Determination of Sum Parameters and Characterization of Organochlorine Compounds in Spent Bleach Liquors from Pulp Mills and Water, Sediment and Biological Samples from receiving Waters*, *Wat. Sci. Tech.*, 20(2), 13-24.
10. Leach, J.M 1980. *Loading and effects of chlorinated organic from bleached pulp mills. Proc.3<sup>rd</sup> Conf. Water Chlorination: Environmental Impacts and Health Effects*, October 28 – November 2, 1979, Colorado Springs, USA, Vol. 3, 325-334.
11. Bryant C.W; Amy G.L; Allerman B.C.,1987, *Organic Halide and Organic Carbon Distribution and Removal in a Pulp and Paper Wastewater Lagoon*, *J.Water Pollution Control Fed*, 59(10),890-896.
12. Koster I.W., and Lettinga, G. 1984, *Agriculture Wastes*, 9, 205 – 216