

# **PENINGKATAN EFEKTIVITAS PENGOLAHAN AIR LIMBAH PROSES PEMUTIHAN PULP DENGAN REAKTOR UP-FLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET (UASB) DAN LUMPUR AKTIF TERMOBILISASI**

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

\* Balai Besar Pulp dan Kertas, Bandung.

## **INCREASING THE EFFECTIVITY OF PULP BLEACHING PROCESS EFFLUENT TREATMENT BY UP-FLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET (UASB) AND MOBILIZED ACTIVATED SLUDGE REACTORS**

### **ABSTRACT**

*Treatment of pulp bleaching effluent using Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) and Suspended Carrier Biofilm (SCB) systems have been carried out. Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) and Suspended Carrier Biofilm (SCB) reactors were run on the Hydraulic Retention Time (HRT) of 12 hours, respectively. Micronutrient solution containing some traces elements was added into feed wastewater of UASB reactor to accelerate the growth of granular sludge. Sludge characteristics of UASB and activated sludge reactors were observed and analyzed. Settling rate of granular sludge in UASB reactor was also measured. Effluent of UASB reactor was treated further in Suspended Carrier Biofilm (SCB) reactor. Concentration of COD, TSS and AOX parameters both influent and effluent of UASB reactor as well as suspended carrier biofilm (SCB) reactor were analyzed. Result revealed that UASB reactor run on the Hydraulic Retention Time (HRT) of 12 hours could remove COD up to 90%, TSS up to 91% and AOX up to 84%. Addition of micronutrient solution has accelerated the growth of granular sludge. Dark-brownish color of granular sludge with the diameter of 1 - 4 mm having settling rate of 70 - 120 m/hr has been formed. SCB reactor as post-treatment could remove COD of 85%, TSS of 73% and AOX of 76%. Sequential UASB and SCB reactor could increase the effectivity of pulp and paper mill wastewater treatment with the removal of dissolved and suspended organic pollutant more than 94%.*

*Keywords: AOX, COD, activated sludge, granular sludge, UASB.*

### **INTISARI**

Pengolahan air limbah proses pemutihan pulp dengan sistem *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) dan lumpur aktif termobilisasi telah dilakukan. Reaktor (UASB) dan lumpur aktif termobilisasi masing-masing dioperasikan pada waktu tinggal 12 jam. Larutan mikronutrisi yang mengandung ion-ion logam dalam jumlah sedikit ditambahkan ke dalam umpan reaktor UASB untuk mempercepat pertumbuhan lumpur granul. Karakteristik lumpur reaktor UASB diamati dan dianalisa. Kecepatan pengendapan lumpur granul juga diukur. Efluen reaktor UASB diolah lebih lanjut dalam reaktor lumpur aktif termobilisasi. Parameter COD, TSS dan *Adsorbable Organic Halides* (AOX) pada influen dan efluen baik reaktor UASB dan lumpur aktif termobilisasi dianalisa. Hasil menunjukkan bahwa pada waktu tinggal 12 jam, reaktor UASB dapat mereduksi COD 90%, TSS 91% dan AOX 84%. Penambahan larutan mikronutrisi berpengaruh signifikan terhadap pertumbuhan mikroorganisme dalam pembentukan lumpur granul. Lumpur granul yang terbentuk berdiameter 1 - 4 mm berwarna hitam kecoklatan memiliki kecepatan pengendapan 70 - 120 m/jam. Pengolahan lanjutan dengan sistem lumpur aktif termobilisasi masing-masing dapat mereduksi COD 85%, TSS 73% dan AOX 76%. Sistem pengolahan air limbah gabungan reaktor UASB dan lumpur aktif termobilisasi dapat meningkatkan efektifitas pengolahan air limbah industri pulp dan kertas dengan reduksi pencemar organik terlarut dan tersuspensi lebih besar dari 94 %.

Kata kunci : AOX, COD, lumpur aktif, lumpur granul, UASB



## PENDAHULUAN

Industri pulp dan kertas merupakan salah satu industri penting Indonesia yang cukup besar kontribusinya terhadap pendapatan negara dari nilai eksportnya. Pada saat ini ada 84 pabrik pulp dan kertas terdiri dari 3 pabrik pulp, 71 pabrik kertas, dan 10 pabrik terintegrasi pulp dan kertas (IPPI Directory, 2007). Berdasarkan survai dan data yang diperoleh, ada 9 pabrik pulp dan kertas yang memproduksi pulp putih dengan kapasitas produksi antara 39.600 – 1.820.000 ton pulp putih per tahun. Dalam proses produksi tersebut, proses pemutihan pulp masih ada yang menggunakan secara konvensional dan ada juga yang sudah modern menggunakan proses pemutihan *Elementally Chlorine Free (ECF)*. Kadar *Adsorbable Organic Halides (AOX)* pada air limbah proses pemutihan pulp secara konvensional, tinggi sampai 25 mg/l, sedangkan pada sistem ECF jauh lebih rendah. Umumnya industri pulp dan kertas sudah mempunyai instalasi pengolahan air limbah menggunakan proses lumpur aktif.

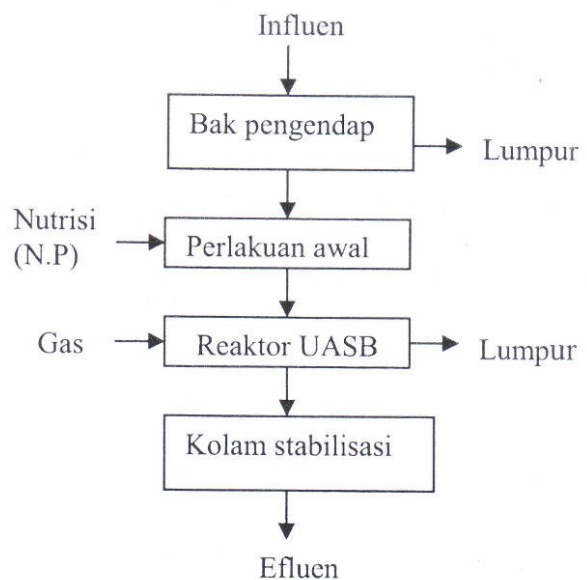
Beberapa literatur menyebutkan bahwa air limbah proses pemutihan dapat menyebabkan gangguan kesehatan. Lebih dari 200 jenis senyawa terklorinasi telah teridentifikasi dari air limbah proses pemutihan pulp kraft. Beberapa senyawa organik terklorinasi ini bersifat toksik dan terakumulasi di lingkungan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

Semakin ketatnya peraturan pemerintah dalam pembuangan air limbah telah mendorong industri pulp dan kertas untuk mengolah air limbah dengan sistem pengolahan anaerobik. Dalam kurun waktu 10-15 tahun terakhir di beberapa negara di Eropa dan Amerika, penggunaan sistem anaerobik pada pengolahan air limbah industri pulp dan kertas meningkat. Sistem anaerobik ini menawarkan beberapa keuntungan antara lain: menurunkan terbentuknya lumpur, menurunkan konsumsi energi, menghasilkan energi gas metan, menurunkan toksisitas efluen, menurunkan besarnya kebutuhan lahan, dan menurunkan kebutuhan kimia (Garner, 1991).

Pada saat ini, industri cenderung menurunkan konsumsi air proses dan meningkatkan

rendemen pulp, sehingga menghasilkan air limbah yang semakin pekat mengandung polutan yang lebih tinggi. Karakteristik air limbah demikian memerlukan pengolahan secara anaerobik yang menggunakan bakteri untuk mnuraikan zat organik (COD, BOD) menjadi gas  $CH_4$  dan  $CO_2$ . Proses penguraian zat organik oleh bakteri terjadi dalam 2 tahapan yaitu asetogenesis dan metanogenesis

Terdapat banyak jenis reaktor anaerobik yang dapat digunakan untuk pengolahan air limbah, namun reaktor UASB lebih sesuai untuk pengolahan air limbah industri pulp dan kertas. Reaktor UASB mempunyai kemampuan mengolah air limbah dengan beban organik tinggi dan toleran terhadap proses beban kejut (*shock loading*). Gambar 1 memperlihatkan konsep proses pengolahan air limbah dengan reaktor UASB..



Gambar 1. Konsep pengolahan air limbah dengan reaktor UASB dan kolam stabilisasi

Komponen utama dari proses pengolahan ini adalah *clarification*, *pretreatment*, sistem UASB, dan *aerobic stabilization basin (ASB)*. *Clarification* diperlukan untuk menurunkan kadar zat tersuspensi (TSS) yang terkandung dalam air limbah. *Pretreatment tank* diperlukan untuk menambahkan bahan kimia nutrisi (N & P) ke dalam air limbah agar proses dalam



reaktor UASB optimal. Reaktor UASB terdiri dari 3 bagian yang berbeda fasa yaitu padatan, cairan, dan gas. *Sludge blanket* berada di bagian bawah reaktor yang tingginya sekitar 1/3 reaktor. Sistem pengumpulan gas terjadi di bagian tengah reaktor UASB, dan air limbah terolah keluar dari bagian atas reaktor UASB.

Proses lumpur aktif sebagai pengolahan lanjutan yang biasanya dioperasikan pada F/M 0,4, waktu tinggal 12 jam atau lebih, dan beban organik sekitar 0,75 kg COD/m<sup>3</sup>.hari hanya dapat mereduksi COD sampai 56% dan AOX sekitar 25 - 30%. Untuk meningkatkan beban organik dan aktifitas biomassa mikroba, reaktor dapat dioperasikan pada waktu tinggal yang lebih singkat dan F/M lebih tinggi untuk menghasilkan efisiensi reduksi yang lebih tinggi. Atas dasar hal tersebut dilakukan penelitian pengolahan air limbah dengan sistem *Suspended Carrier Biofilm (SCB)*. Sistem SCB berupa reaktor *biofilm* yang dioperasikan secara kontinyu tanpa adanya resirkulasi lumpur. *Biofilm* tumbuh pada permukaan plastik carrier yang bergerak karena aliran aerasi atau pengadukan mekanik (Luostarinen, 2005). Proses SCB merupakan inovasi baru dalam bidang pengolahan air limbah industri untuk mereduksi zat organik (Münch, *et al*, 2000). Pada sistem ini tidak perlu adanya pengembalian lumpur aktif (*return sludge*) dan volume reaktor dapat lebih kecil dari sistem konvensional (Vanhooren *et al*, 2002).

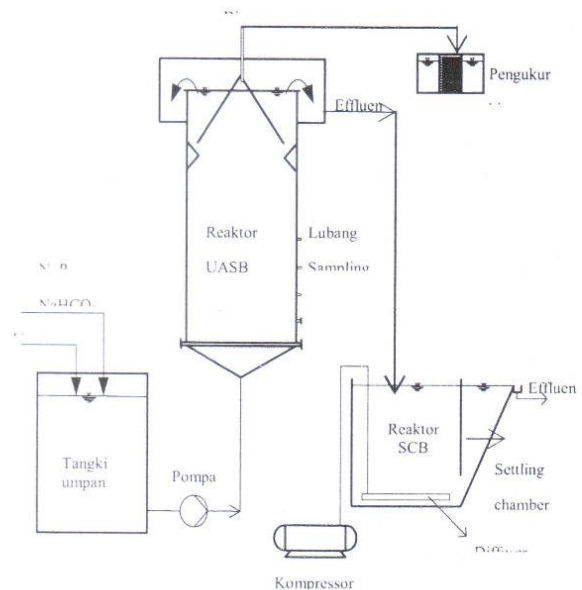
Sampai saat ini industri pulp dan kertas di Indonesia belum ada yang menggunakan reaktor UASB dalam pengolahan air limbahnya, karena lumpur granul masih diimpor. Untuk mengantisipasi baku mutu air limbah yang semakin ketat, reaktor UASB mempunyai prospek untuk diterapkan dalam sistem pengolahan air limbah industri pulp dan kertas. Atas dasar uraian tersebut diatas penelitian peningkatan efektivitas pengolahan air limbah industri pulp dan kertas dengan proses (UASB) dan lumpur aktif termobilisasi dilakukan.

Makalah ini menjelaskan hasil penelitian peningkatan kinerja pengolahan air limbah industri pulp dan kertas dengan reaktor UASB dan reaktor lumpuraktif termobilisasi dalam menurunkan kadar pencemar AOX, COD, dan TSS. Selain itu juga membahas pertumbuhan dan perkembangan per-tumbuhan pembentukan lumpur granul dan kualitas lumpur granul yang dihasilkan dalam reaktor UASB.

## BAHAN DAN METODA

### a). Reaktor UASB

Reaktor UASB yang digunakan dalam percobaan terbuat dari *fiber glass* transparan berdiameter dalam 10 cm, tinggi 1,9 m dan volume 15 L yang dilengkapi dengan alat pengukur biogas. Diagram alir percobaan seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir percobaan

Air limbah yang digunakan pada percobaan ini adalah air limbah dari proses pemutihan pulp konvensional industri pulp dan kertas terintegrasi. Di dalam reaktor UASB terisi lumpur granul yang mulai terbentuk dari hasil percobaan pengolahan air limbah pemutihan pulp sebelumnya. Pada permulaan percobaan sebelumnya, 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 antara 0,80 - 3,25 kgCOD/m<sup>3</sup>.hari sampai hari 287. Selanjutnya reaktor UASB dioperasikan dengan waktu tinggal 12 jam sampai hari ke-441 dengan beban organik antara 1,92-5,0 kgCOD/m<sup>3</sup>. Setelah hari ke-441 percobaan dilanjutkan dengan air limbah yang sama; memiliki karakteristik seperti pada Tabel 1. Ke dalam tangki umpan ditambahkan juga makronutrisi yaitu urea sebagai sumber N dan K<sub>2</sub>HPO<sub>3</sub> sebagai sumber P dengan perbandingan COD : N : P = 350 : 7 : 1.



Tabel 1. Karakteristik Air limbah pemutihan pulp

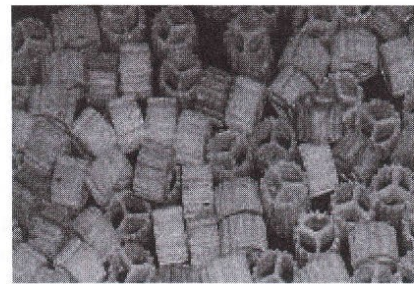
No.	Parameter	Unit	Konsentrasi
1.	AOX	mg/l	1,7 – 32,3
2.	COD <sub>T</sub>	mg/l	128 – 2.349
3.	TSS	mg/l	28 – 745
4.	pH	-	6,5 – 7,6

Mikronutrisi sebanyak 1 mL/L yang mengandung  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} = 1.250 \text{ mg/L}$ ,  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} = 300 \text{ mg/L}$ ,  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 20 \text{ mg/L}$ ,  $\text{ZnCl}_2 = 50 \text{ mg/L}$ ,  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 80 \text{ mg/L}$ ,  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 60 \text{ mg/L}$ ,  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} = 60 \text{ mg/L}$  dan  $\text{H}_3\text{BO}_3 = 20 \text{ mg/L}$  juga ditambahkan ke dalam tangki umpan reaktor UASB untuk mempercepat pertumbuhan lumpur granul.  $\text{NaHCO}_3$  sebagai *buffer* dengan konsentrasi 1.000 – 2.500 mg/L dicampurkan juga dengan air limbah dalam tangki umpan. Air limbah umpan reaktor UASB dipertahankan pada pH antara 6,5 - 7,0. Pompa peristaltik digunakan untuk mengalirkan umpan air limbah dari tangki umpan ke reaktor UASB. Effluen reaktor UASB ditampung dan dianalisa. Biogas yang terbentuk diukur dengan alat pengukur biogas.

**b). Reaktor proses lumpur aktif termobilisasi (Suspended Carrier Biofilm/SCB)**

Reaktor proses lumpur aktif termobilisasi (*Suspended Carrier Biofilm/SCB*) dengan volume 15 L terbuat dari *fiber glass* transparan mempunyai digunakan sebagai pengolahan lanjutan. Reaktor diisi dengan plastik *carrier* sebanyak 30% volume reaktor. Plastik *carrier* ini berbentuk silinder seperti terlihat pada Gambar 3 berdiameter 1 cm dan tinggi 1 cm terbuat dari *High Density PolyEthylene (HDPE)* dengan berat jenis sekitar 0,94 - 0,96 gram/mL.

Bibit lumpur aktif berupa lumpur *flocculent* yang mengandung MLSS = 5.000 mg/L dimasukkan kedalam reaktor. Ke dalam reaktor dialirkan udara dengan kompresor melalui difuser supaya kadar oksigen terlarut dalam reaktor > 2 mg/L. Reaktor lumpur aktif dioperasikan dengan waktu tinggal 12 jam.



Gambar 3. Plastik carrier HDPE

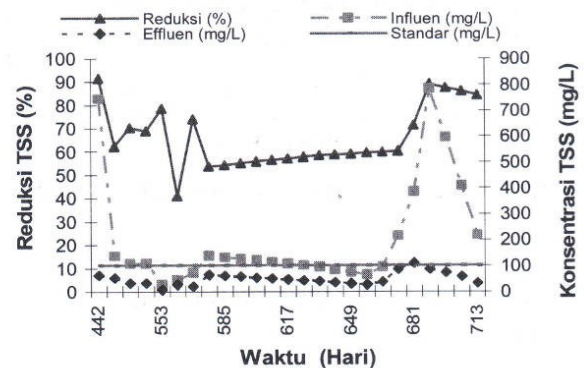
**c). Metoda Analisa**

Kadar COD, BOD, TSS, pH, MLSS dan MLVSS dianalisa berdasarkan Standard Methods for Examination of Water and Waste Water (APHA). Kadar AOX dianalisa menggunakan AOX analyzer, Mitsubishi TOX-100, menggunakan metoda adsorpsi-pirolisatitansi. Pengamatan dan pengujian karakteristik lumpur dilakukan menggunakan *Light Optical Microscope Leica DMLM dan S4E* dan *Scanning Electrone Microscope (SEM) Philips FEI Quanta 200* dan *Thermal Electrone Microscope (TEM)*. Kecepatan pengendapan lumpur granul diukur berdasarkan metoda Andras *et al*, 1989.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Kinerja Reaktor UASB dalam Penurunan Kadar Pencemar**

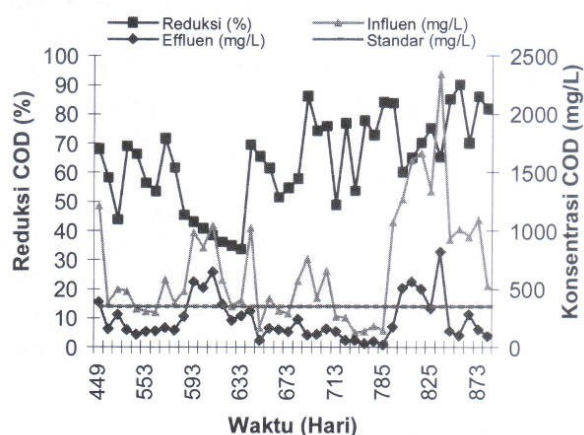
Pada pengoperasian reaktor UASB dengan waktu tinggal 12 jam, reduksi TSS relatif stabil dan meningkat secara perlahan hingga reduksi TSS dapat mencapai 91,54% seperti pada Gambar 4.



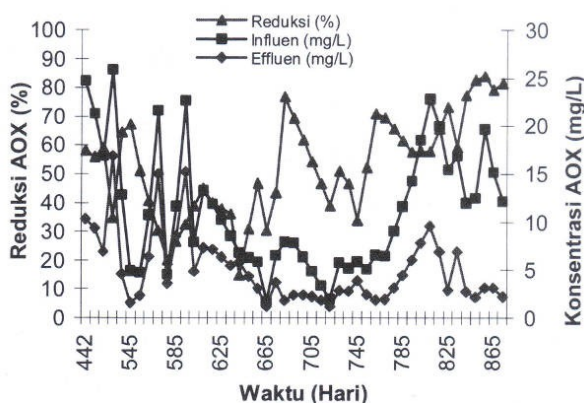
Gambar 4. Kinerja reaktor UASB dalam reduksi TSS



Bila dibandingkan dengan baku mutu, konsentrasi TSS efluen reaktor UASB berkisar antara 6 - 110 mg/L yang secara keseluruhan dapat memenuhi baku mutu yaitu  $\leq 100$  mg/L. Kinerja reaktor UASB dalam mereduksi COD dan AOX dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6. Pada waktu tinggal 12 jam reaktor UASB dapat mereduksi COD antara 34 - 90% dengan konsentrasi COD efluen reaktor UASB antara 24 - 817 mg/L. Dari Gambar 5 terlihat bahwa ada sebagian COD efluen reaktor UASB masih diatas baku mutu. Adapun reduksi AOX yang dihasilkan berkisar antara 15 - 84% dengan konsentrasi AOX berkisar antara 1,6 - 15,3 mg/L.



Gambar 5. Kinerja reaktor UASB dalam reduksi COD



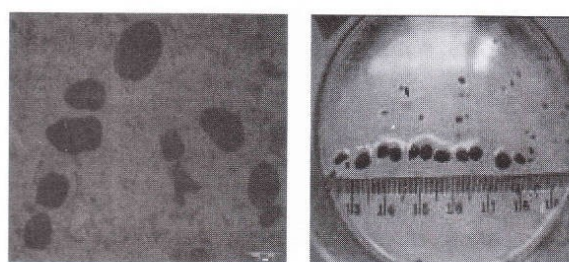
Gambar 6. Kinerja reaktor UASB dalam reduksi AOX

### Perkembangan Pertumbuhan Lumpur Granul

Pada permulaan pembentukan lumpur granul, bagian dasar reaktor UASB mengandung MLSS = 52.694 mg/L dan MLVSS = 37.856 mg/L atau perbandingan VSS/SS = 0,71. Lumpur sudah berwarna hitam kecoklatan dan

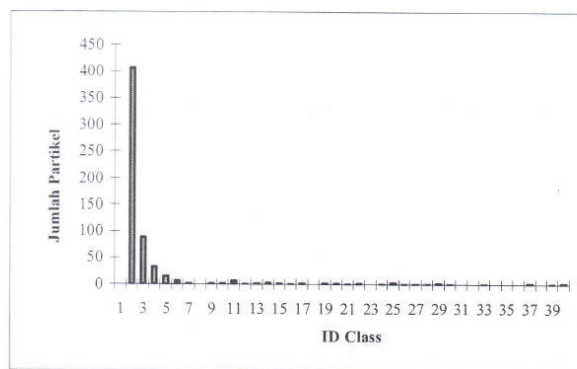
sudah mulai terbentuk lumpur granul berdiameter kurang dari 2 mm.

Dengan penambahan terus mikronutrisi dan dipertahankannya kondisi optimum dalam reaktor UASB, lumpur granul dalam reaktor UASB tumbuh makin besar. Ukuran lumpur granul yang terbentuk berdiameter 1 - 4 mm yang memiliki *specific gravity* (sg) 1,12 (Gambar 7). Lumpur granul merupakan suatu gumpalan kumpulan dari partikel-partikel lumpur yang mengandung mikroorganisme dan mineral-mineral. Karakteristik lumpur granul yang terbentuk telah berada pada kisaran lumpur granul pada umumnya yang mempunyai perbandingan VSS/SS antara 0,70 sampai 0,85.



(a) Uji image (b) Uji Visual

Gambar 7. Lumpur granul yang terbentuk

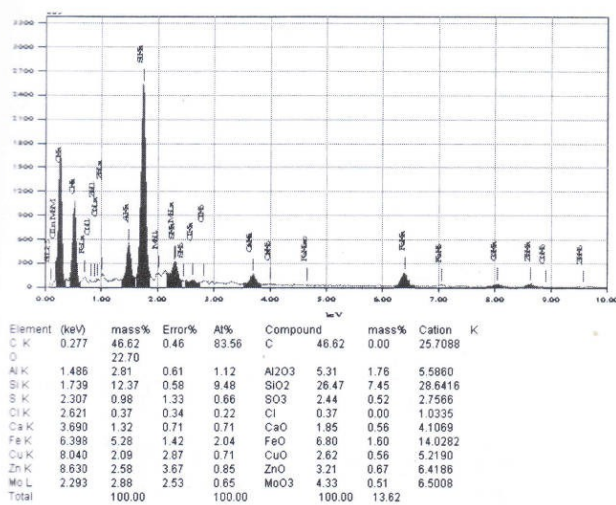


Gambar 8. Distribusi ukuran partikel lumpur granul

Gambar 8 menunjukkan bahwa partikel lumpur granul yang paling banyak terbentuk dari satu pengukuran berjumlah 597 partikel adalah ID Class 2 yaitu berukuran antara 50 - 100  $\mu\text{m}$  sebanyak 407 partikel, selanjutnya ID Class 3 berukuran antara 100 -150  $\mu\text{m}$  sebanyak 89 partikel dan sisanya berukuran lebih kecil. Dari pengukuran distribusi partikel tersebut diperoleh ukuran minimum, rata-rata dan maksimum partikel lumpur granul masing-masing adalah 54  $\mu\text{m}$ , 158  $\mu\text{m}$  dan 1.986  $\mu\text{m}$ .



Didalam percobaan ini penambahan mikronutrisi memberikan pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan bakteri dalam pembentukan lumpur granul di dalam reaktor UASB. Penambahan mikronutrisi sebanyak 1 mL/L dapat mencukupi kebutuhan *trace elements* seperti Ni, Co, Mo, dan Zn dalam pembentukan lumpur granul pengolahan air limbah proses pemutihan pulp. Terlihat dari hasil uji SEM lumpur granul bahwa lumpur granul mengandung beberapa mineral dari mikronutrisi yang ditambahkan ke dalam air limbah serta mineral lainnya yang kemungkinannya berasal dari air limbah sendiri (Gambar 9).



Gambar 9. Kandungan mineral dalam lumpur granul

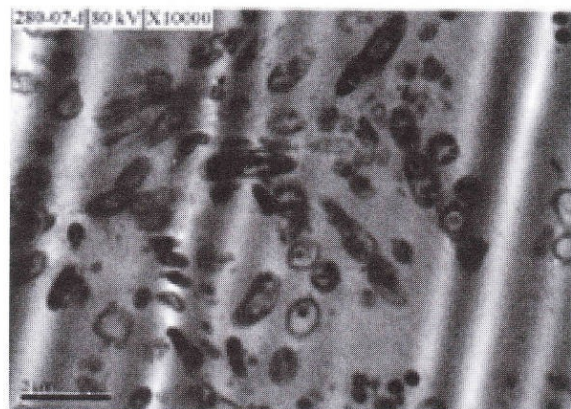
Bila lumpur granul telah terbentuk di dalam reaktor UASB, kecepatan pengendapan lumpur akan menjadi sangat baik. Hal ini terlihat pada saat pengukuran kecepatan pengendapan lumpur granul yang mana semakin besar ukuran lumpur granul, kecepatan pengendapannya semakin besar. Lumpur granul yang terbentuk dalam reaktor UASB mempunyai kecepatan pengendapan baik yaitu sekitar 70 - 120 m/jam yang diklasifikasikan kecepatan pengendapan tinggi (Andras, *et al.*, 1989; Lettinga *et al.*, 1980).

Dengan demikian reaktor UASB dapat dioperasikan stabil pada beban organik yang tinggi tanpa kehilangan lumpur karena terbawa oleh aliran. Lumpur granul akan mempunyai waktu tinggal sel yang lama di dalam reaktor, sehingga akan terjadi akumulasi bakteri metanogenik yang mempunyai keaktifan metanogenik tinggi. 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.

Hasil uji *Thermal Electrone Microscope (TEM)* (Gambar 10) menunjukkan bahwa lumpur granul yang terbentuk merupakan kumpulan beberapa populasi bakteri yang terkomposisi dari bakteri berbentuk batang dan *coccus*. Mikroorganisme bakteri batang bisa terdiri dari 2 sampai 4 sel atau lebih yang diperkirakan adalah *Methanotric sp.*, dan bakteri yang berbentuk *coccus* adalah *Methanosarcina* (Wu Wei-min, *et al.*, 1985).

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



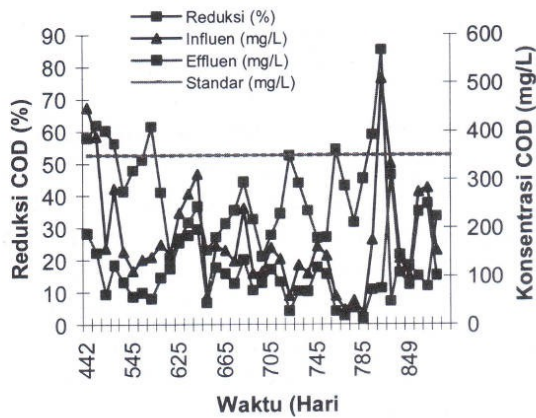
Gambar 10. Uji TEM lumpur granul

Bakteri-bakteri tersebut dapat ditemukan juga dalam lumpur granul pada 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).

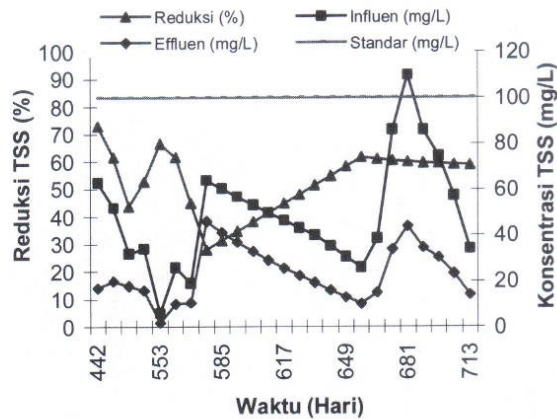
#### Kinerja Reaktor Proses Lumpur Aktif Termobilisasi (Suspended Carrier Biofilm) dalam Penurunan Kadar Pencemar

Hasil percobaan reaktor lumpur aktif termobilisasi (SCB) dapat dilihat pada Gambar 11, 12, dan 13. Pada waktu tinggal 12 jam, SCB dapat mereduksi COD 7 - 85% dengan konsentrasi COD efluen berkisar antara 13 - 309 mg/L yang memenuhi baku mutu. Sedangkan untuk parameter TSS, reaktor SCB mereduksi TSS sekitar 28 - 73% dengan konsentrasi efluen jauh dibawah baku mutu.

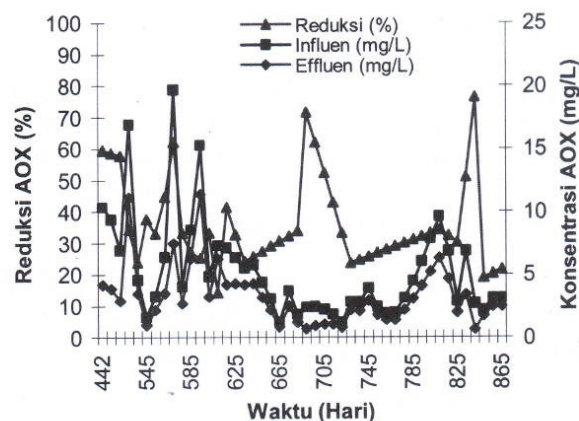




Gambar 11. Konsentrasi dan efisiensi Reduksi COD



Gambar 12. Konsentrasi dan efisiensi reduksi TSS

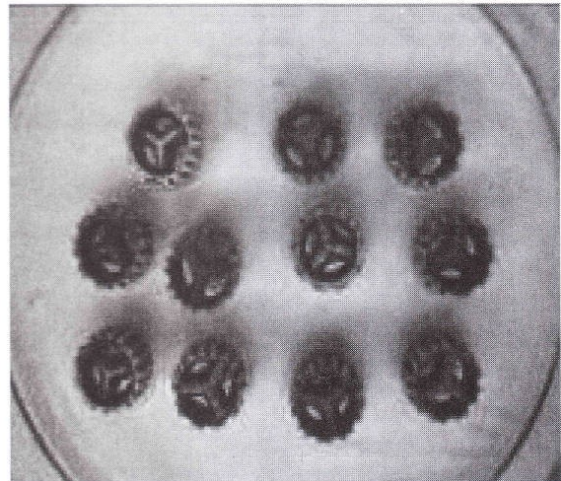


Gambar 13. Konsentrasi dan efisiensi reduksi AOX

Adapun reaktor SCB sebagai pengolahan lanjutan dapat mereduksi AOX sekitar 14 - 76% dengan konsentrasi AOX sekitar 0,6 - 11,4 mg/L.

### Penempelan Lumpur Aktif pada Permukaan Plastik Carrier Dalam Reactor SCB

Pada permulaan percobaan, dalam reaktor SCB berisi bibit lumpur dan plastik *carrier* yang bersih seperti pada Gambar 3 bergerak berputar-putar mengikuti gerakan aliran udara yang keluar dari difuser untuk mempertahankan kadar oksigen terlarut > 2 mg/L. Oleh karena makin sering kontak antara lumpur aktif dengan plastik *carrier*, maka warna permukaan plastik *carrier* terutama dibagian dalam plastik *carrier* dan juga di bagian luarnya berubah warna yang makin lama makin gelap dikarenakan makin banyaknya mikroorganisme dalam lumpur aktif yang menempel di permukaan plastik *carrier* seperti pada Gambar 14.



Gambar 14. Lumpur aktif menempel pada permukaan plastik *carrier*.

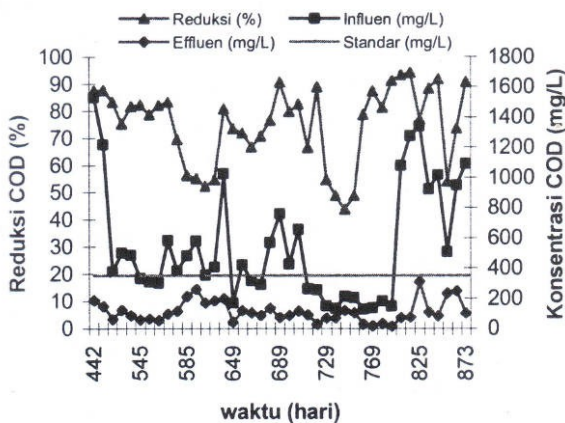
Hasil pengujian berat lumpur aktif yang menempel pada permukaan plastik *carrier* adalah sekitar 1,4 gram lumpur per gram berat plastik *carrier*. Ini menunjukkan bahwa makin banyaknya lumpur yang menempel pada permukaan plastik *carrier* konsentrasi lumpur aktif dalam bak aerasi akan semakin tinggi. Hal ini akan meningkatkan kemampuan mikroorganisme dalam mereduksi senyawa organik terlarut. Tidak seperti pada proses lumpur aktif konvensional, pada proses SCB tidak ada lumpur yang dibuang setelah pengendapan di ruang pengendapan (*settling chamber*) dimana air limbah terolah keluar dari bagian atas.



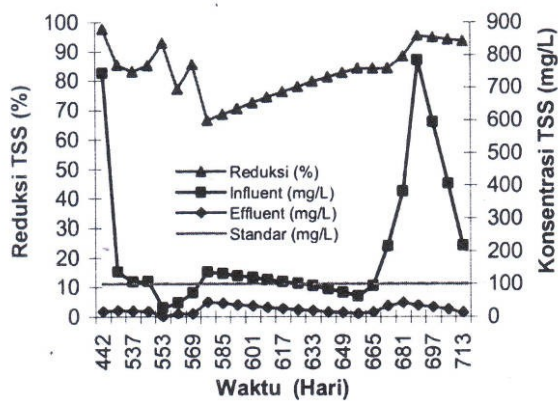
settling chamber sedangkan lumpur yang mengendap dibagian bawah settling chamber sebagian besar bercampur lagi di bak aerasi.

**Kinerja Gabungan Reaktor UASB dan Proses Lumpur Aktif Termobilisasi dalam Penurunan Kadar Pencemar**

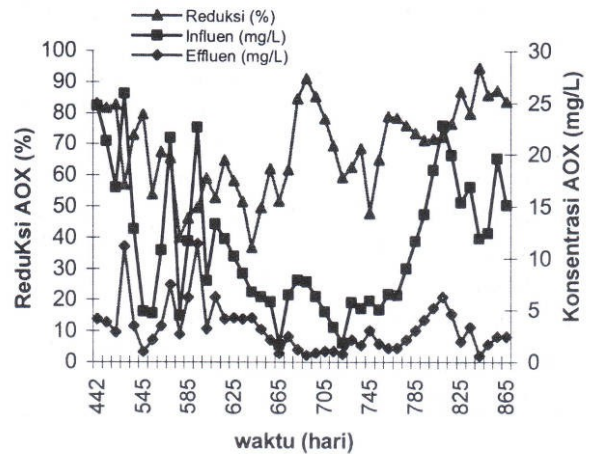
Konsentrasi influen reaktor UASB dan effluen reaktor lumpur aktif untuk masing-masing parameter COD, TSS, dan AOX serta total efisiensi reduksinya dapat dilihat pada Gambar 15, 16, dan 17. Total efisiensi reduksi pada waktu tinggal 12 jam untuk parameter COD antara 52 - 94%, TSS 71 - 98%, dan AOX 37 - 95% dengan konsentrasi efluennya untuk parameter COD = 13- 474 mg/L, TSS = 2 - 44 mg/L dan AOX = 0,6 - 11,4 mg/L.



Gambar 15. Konsentrasi dan total efisiensi reduksi COD



Gambar 16. Konsentrasi dan total efisiensi reduksi TSS



Gambar 17. Konsentrasi dan total efisiensi reduksi AOX

Hasil yang diperoleh ini relatif lebih tinggi dan lebih stabil daripada yang diperoleh dari percobaan sebelumnya, dimana reduksi untuk masing-masing parameter TSS (31 - 98%), COD (76 - 96 %) dan AOX (37 - 95%); lebih berfluktuasi. Begitu juga dengan konsentrasi efluennya yang dihasilkan untuk parameter TSS dan COD dapat memenuhi baku mutu.

**KESIMPULAN**

- Reaktor UASB dengan waktu tinggal 12 jam dapat mereduksi COD 90%, TSS 91% dan AOX 84% .
- Pada pengolahan air limbah proses pemutihan pulp dengan reaktor UASB, dapat terbentuk lumpur granul berwarna hitam kecoklatan berdiameter mencapai 4 mm yang memiliki kecepatan pengendapan sampai 120 m/jam.
- Populasi bakteri lumpur granul terdiri dari bakteri *filament* (*Methanotric sp.*) dan *coccus* (*Methanosarcina*) yang sangat berguna pada granulasi lumpur dan reduksi senyawa organik.
- Reaktor lumpur aktif termobilisasi (*Suspended Carrier Biofilm*) dapat mereduksi COD tertinggi 85%, AOX tertinggi 76% dan TSS tertinggi 73%.
- Lumpur aktif dapat menempel pada permukaan plastik *carrier* HDPE. Makin tinggi konsentrasi lumpur aktif yang menem-



- pel akan meningkatkan kemampuan mikro-organime dalam mereduksi senyawa organik terlarut
- Pengolahan air limbah proses pemutihan pulp dengan sistem reaktor UASB dan lum-pur aktif termobilisasi (*Suspended -Carrier Biofilm*) dapat meningkatkan efektifitas pengolahan air limbah industri pulp dalam mereduksi senyawa organik terlarut dan tersuspensi sampai > 94% dengan kualitas efluen telah memenuhi baku mutu.

#### DAFTAR PUSTKA

- Andras E; Kennedy K; Richardson D.A. (1989), *Test for Characterizing Settleability of Anaerobic Sludge*, Environ. Technol. Lett.
- 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.
- Fang, H.H.P; Chui H.K; Li Y.Y. (1995). Microbial structure and Activity of UASB Granules Treating Different Wastewaters, *Wat. Sci. Tech.*, Vol.29, No. 5-6, 87-92.
- Garner, Jerry W (1991), *Environmental Solutions for the pulp and paper industry*, Miller Freeman, San Francisco, 90 – 92.
- Indonesian Pulp and Paper Industry Directory (2007), Indonesian Pulp and Paper Association, PT. Gramedia Jakarta.
- 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.
- Lettinga, G. et al.,(1980), *Biotechnology and bioengineering*, 22, 699 – 734.
- Luostarinen S, 2005, *Anaerobic On-Site Wastewater Treatment at Low Temperatures*, Jyväskylä Studies in Biological and Environmental Science 158, University of Jyväskylä, Jyväskylä.
- 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.
- Münch E.v, Barr K, Watts S, and Keller J (2000), Suspended carrier technology allows upgrading high-rate activated sludge plants for nitrogen removal via process intensification, *Water Science and Technology J.* Vol 41 No 4–5:5–12 © IWA Publishing
- Vanhooren H, Yuan Z., and Vanrolleghem P., A (2002), Benchmarking nitrogen removal suspended-carrier biofilm systems using dynamic simulation, *Water Science and Technology Journal.* Vol 46 No 1–2 pp 327–332 , IWA Publishing.
- 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.