PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI KERTAS KARTON DENGAN *UP-FLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET* (UASB) DAN LUMPUR AKTIF

Kristaufan J.P.*, Sri Purwati, Yusup Setiawan****
*Perekayasa pada Balai Besar Pulp dan Kertas
**Peneliti pada Balai Besar Pulp dan Kertas
e-mail : kristaufan@yahoo.com

Naskah diterima tanggal : 13 Januari 2010

WASTEWATER TREATMENT OF BOARD PAPER INDUSTRY BY UP-FLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET (UASB) AND ACTIVATED SLUDGE

ABSTRACT

Paper mill is one of the industries that discharge huge wastewater containing high pollutant. A low-rate wastewater treatment system is not adequate anymore to treat wastewater which has high dissolved organic pollutant. Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) system is one of the anaerobic processes which has high efficiency and can be run at high organic loading rate as well. As post treatment, the activated sludge could further reduce organic pollutant. The wastewater discharged from a paperboard industry was used on this research. Granular sludge was seeded into UASB reactor which was provided by a biogas measurement. The activated sludge reactor was seeded by activated sludge taken from an aeration tank of a wastewater treatment of the paperboard mill. Varied HRT of 24, 18, 12, and 10 hours were implemented with organic loading rate of 0.88 – 4.65 kg COD/m^3.day. Results indicated that the UASB reactor could reduce COD up to 87%, TSS up to 85%, and BOD_5 up to 95% at organic loading rate of 0.88 – 1.94 kg COD/m^3.day. The wastewater threshold for the coarse paper industry COD of 175 mg/L, TSS of 80 mg/l, and BOD_5 of 90 mg/l could be complied by the results of the treatments accomplished by the UASB reactor and the activated sludge process arrangement at the time retention of 18 – 24 hours.

Keywords : wastewater, activated sludge, granular sludge, paperboard industry, UASB

INTISARI

Industri kertas karton adalah salah satu industri yang mengeluarkan air limbah dalam jumlah besar yang mengandung bahan pencemar cukup tinggi. Sistem pengolahan air limbah yang berkategori *low-rate* kurang sesuai lagi untuk mengolah air limbah yang mengandung cemaran organik tinggi dan bersifat kompleks terlarut. Sistem *Up-flow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) adalah salah satu proses anaerobik dengan efisiensi tinggi yang dapat beroperasi pada beban organik tinggi. Proses aerobik sistem lumpur aktif sebagai pengolahan lanjutan dapat menurunkan kadar cemaran organik lebih lanjut. Pada percobaan digunakan air limbah yang berasal dari industri kertas karton. Lumpur granul digunakan sebagai bibit lumpur reaktor UASB yang dilengkapi dengan alat pengukur biogas. Reaktor lumpur aktif konvensional yang diberi bibit lumpur aktif dari bak aerasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) industri kertas karton digunakan sebagai pengolahan lanjutan. Waktu tinggal divariasikan secara bertahap dari 24 jam, 18 jam, 12 jam, dan 10 jam dengan laju beban organik 0,88 – 4,65 kg COD/m^3 .hari. Hasil menunjukkan bahwa reaktor UASB dapat mereduksi COD dengan efisiensi tertinggi 87%, TSS 85%, dan BOD_5 95% pada laju beban organik 0,88 – 1,94 kg COD/m^3.hari. Pengolahan air limbah dengan kombinasi UASB dan lumpur aktif pada waktu tinggal 18 – 24 jam telah dapat memenuhi baku mutu air limbah industri kertas kasar yaitu COD = 175 mg/l, TSS = 80 mg/l, dan BOD_5 = 90 mg/l.

Kata kunci : air limbah, lumpur aktif, lumpur granul, industri kertas karton, UASB

PENDAHULUAN

Industri kertas karton adalah salah satu industri yang mengeluarkan air limbah dalam jumlah besar dan mengandung bahan pencemar yang cukup tinggi. Namun di sisi lain industri kertas ini merupakan salah satu industri penting di Indonesia yang cukup besar kontribusinya terhadap pendapatan negara dari nilai ekspornya.

Pada umumnya instalasi pengolahan air limbah (IPAL) industri kertas khususnya industri kertas karton yang sudah ada, menggunakan proses pengolahan secara kimia dan biologi proses lumpur aktif. Proses kimia dan proses lumpur aktif konvensional masih memiliki keterbatasan efisiensi, membutuhkan biaya operasi dan lahan yang besar serta memerlukan kontrol proses yang lebih serius. Dalam upaya meningkatkan efisiensinya, industri kertas umumnya telah melakukan sistem daur ulang air dan serat di dalam proses produksinya. Konsekuensinya air limbah yang dihasilkan menjadi lebih pekat dan bersifat terlarut. Banyak kendala dan permasalahan yang timbul dalam operasi IPAL tersebut yang disebabkan oleh perubahan karakteristik air limbah. Teknologi yang berkategori *low-rate* tidak sesuai lagi untuk digunakan mengolah air limbah yang mengandung cemaran organik tinggi dan bersifat terlarut tersebut.

Beberapa air limbah industri pulp dan kertas yang memiliki polutan organik yang tinggi dapat diolah secara efektif dengan proses anaerobik (Ayati dan Ganjidoust, 2006). Dengan demikian, proses anaerobik dengan reaktor *Up-flow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) memberikan keunggulan yang prospektif untuk diaplikasikan secara komersial yang sekaligus dapat mengantisipasi peraturan baku mutu air limbah yang makin ketat. Selain efisiensi yang lebih tinggi, proses UASB dapat dioperasikan pada beban organik tinggi, toleransi terhadap *shock loading* (Shanmugam dan Akunna, 2008), tanpa memerlukan energi bahkan dapat memproduksi energi berupa biogas, serta relatif tidak membentuk lumpur berlebih (Garner, 1991). Dengan menurunnya produksi lumpur sebesar 0,05 - 0,15 kg VSS/ kg COD terolah, biaya yang diperlukan untuk pengolahan lumpur selanjutnya dapat berkurang (Ghangrekar dan Kahalekar, 2003). Secara umum penerapan IPAL dengan sistem UASB di industri kertas dapat meningkatkan kinerja IPAL dan mereduksi biaya pengelolaan lingkungan secara keseluruhan.

Sistem UASB adalah salah satu proses anaerobik dengan efisiensi tinggi yang dapat mengolah air limbah dengan beban organik relatif tinggi. Di bawah kondisi mesofilik pada beban volumetrik $\geq$ 25 kg COD/m^3.hari dan waktu tinggal $\leq$ 5 jam, sistem pengolahan ini dapat mereduksi COD $\geq$ 85% (Lettinga, *et al*., 1980). Pada instalasi UASB yang lain dengan beban organik 5,75 kg COD/m^3.hari, efisiensi reduksi COD sebesar 80 – 85% dapat dicapai (Chinnaraj dan Rao, 2005). Pada sistem dengan beban organik maksimal 6 kg COD/m^3.hari, efisiensi reduksi COD maksimum sebesar 88,38% dapat diperoleh (Natpinit, *et al*., 2004). Saat musim panas dan dingin, kinerja reaktor UASB mencapai nilai efisiensi reduksi COD masing-masing 63% dengan beban organik 2,2 kg COD/m^3.hari dan 46% dengan beban organik 1,22 kgCOD/m^3.hari (Azimi dan Zamanzadeh, 2004). Hasil pengkajian instalasi pengolahan air limbah pencucian proses penyulingan, kinerja UASB dengan beban organik 8,7 kg COD/m^3.hari, reduksi COD sebesar 74,5% dapat dicapai (Kumar, *et al*., 2007).

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 lumpur granul ini akan menyebabkan biomassa mikroba terfluidisasi dan kontak lebih baik sehingga sistem dapat beroperasi pada beban organik yang jauh lebih besar. Pengolahan air limbah dengan kondisi lumpur granul memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan lumpur *flocculent* 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, dkk, 1985; De Zeeuw, 1987). Pembentukan lumpur granul dari lumpur *flocculent* 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).

Selain reaktor UASB, sistem pengolahan air limbah industri perlu dilengkapi dengan reaktor lumpur aktif. Secara keseluruhan, kombinasi sistem pengolahan air limbah ini memberikan keuntungan efisiensi pengolahan. Sistem pengolahan yang diawali dengan reaktor UASB akan terjadi biodegradasi oleh bakteri anaerobik yang merombak cemaran organik kompleks menjadi struktur lebih sederhana yang selanjutnya bersifat mudah dibiodegradasi oleh bakteri aerobik dalam proses lumpur aktif. Efisiensi reduksi COD 69 – 84 % dapat dicapai oleh reaktor UASB, 43 – 56% dapat dicapai oleh sistem lumpur aktif, dan 85 – 93% dapat diperoleh oleh sistem keseluruhan (Von Sperling, *et al*., 2001).

Dalam penelitian ini operasi reaktor UASB untuk air limbah kertas karton menggunakan lumpur granul yang telah terbentuk dari operasi UASB dari air limbah kertas lain. Makalah ini membahas potensi dan efektifitas lumpur granul yang terbentuk dari hasil operasi UASB digunakan untuk mengolah air limbah yang berbeda. Dari hasil penelitian yang diperoleh dapat memberikan gambaran bahwa lumpur granul dapat diproduksi dan digunakan sebagai sumber mikroba yang efektif dan efisien dalam mengoperasikan sistem pengolahan UASB.

BAHAN DAN METODA

Air limbah yang digunakan pada percobaan ini adalah air limbah yang berasal dari industri kertas karton. Lumpur granul yang digunakan berasal dari lumpur UASB yang terbentuk pada pengolahan air limbah proses pemutihan pulp yang telah memiliki diameter sekitar 1 – 3 mm dan mempunyai kecepatan pengendapan 92 – 150 cm/menit. Ke dalam reaktor UASB dimasukan bibit lumpur *granular* sebanyak ± 40% volume reaktor yang mengandung TS = 67940 mg/L dan VS = 58860 mg/L sehingga kadar biomassa dalam reaktor adalah MLSS = 27176 mg/L dan MLVSS = 23544 mg/L. Diagram alir percobaan pengolahan air limbah yang terdiri dari tangki umpan, reaktor UASB, alat ukur biogas, proses lumpur aktif, kompresor, pompa, dan *diffuser*. Sedangkan rangkaian percobaan dapat dilihat pada Gambar 1.

Reaktor UASB yang digunakan dalam percobaan terbuat dari *fiber glass* transparan berdiameter dalam 10 cm, tinggi 1,9 m volume 15 L yang dilengkapi dengan alat pengukur biogas seperti terlihat pada Gambar 1. Penambahan makronutrisi ke dalam tangki umpan dilakukan terdiri dari 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 antara 6,5 – 7,0. Pompa peristaltik digunakan untuk mengalirkan umpan air limbah dari tangki umpan ke reaktor UASB dengan pengaturan debit sebagai perlakuan waktu tinggal dalam reaktor. Perlakuan waktu tinggal diatur dalam 4 tahap yaitu 24 jam, 18 jam, 12 jam, dan 10 jam. Effluen reaktor UASB ditampung dan dianalisa, sedangkan biogas yang terbentuk diukur dengan alat pengukur biogas.

Gambar 1. Rangkaian Percobaan Pengolahan Air Limbah

Gambar 2. Reaktor Lumpur Aktif

Reaktor proses lumpur aktif konvensional dalam percobaan ini terbuat dari *fiber glass* transparan mempunyai volume 15 L digunakan sebagai pengolahan lanjutan seperti terlihat pada Gambar 2. Bibit lumpur aktif yang dimasukan ke dalam reaktor lumpur aktif berupa lumpur *flocculent* dari bak unit aerasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) industri kertas

karton yang mengandung TS = 17620 mg/L dan VS = 9080 mg/L sebanyak ± 20% volume reaktor sehingga kadar MLSS = 3524 mg/L dan MLVSS = 1816 mg/L. Ke dalam reaktor lumpur aktif dialirkan udara dengan kompresor melalui diffuser supaya kadar oksigen terlarut didalam reaktor > 2 mg/L.

Lokasi pelaksanaan penelitian dan pengujiian ini dilakukan di Balai Besar Pulp dan Kertas (BBPK), Bandung.

Metoda Pengumpulan Data

Dengan waktu sampling seminggu sekali, influen dan effluen dari reaktor UASB dan lumpur aktif di analisa kadar parameter COD, BOD_5, TSS, pH, MLSS dan MLVSS berdasarkan *Standard Methods for Examination of Water and Waste Water* (APHA, 2005). Pengamatan dan pengujian karakteristik lumpur dilakukan menggunakan *Scanning Electrone Microscope* (SEM). Kecepatan pengendapan lumpur granul diukur berdasarkan metoda Andras, dkk, (1989). Volume biogas yang terbentuk diukur dengan alat pengukur biogas seperti pada Gambar 10. Alat ukur ini menggunakan prinsip bahwa jika biogas terbentuk dari reaktor UASB maka biogas tersebut akan mendorong air sehingga biogas akan menempati ruangan yang sebelumnya ditempati air. Dengan demikian biogas yang masuk ke dalam tabung pengukur biogas dapat diukur volumenya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Air Limbah

Karakteristik air limbah dari industri kertas karton yang digunakan pada percobaan ini seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Air Limbah Industri Kertas Karton

No.	Parameter	Unit	Konsentrasi
1.	COD_T	mg/l	657 - 1939
2.	BOD_5	mg/l	79 - 1223
3.	TSS	mg/l	62 - 825
4.	pH	-	6,56 – 7,20

Tabel 1 menunjukkan bahwa air limbah kertas karton mengandung cemaran organik cukup tinggi dengan kisaran nilai COD 657 – 1939 mg/L dan BOD 79 – 1223 mg/L. Atas dasar rasio kandungan COD terhadap BOD yang berkisar antara 1,6 – 8,3 mengindikasikan bahwa cemaran organik bersifat kompleks dan sulit terbiodegradasi secara aerobik. Dari hasil analisa TSS menunjukkan bahwa cemaran padatan tersuspensi air limbah relatif rendah. Karakteristik air limbah seperti tersebut di atas cukup efektif bila diolah dengan proses anaerobik khususnya dengan reaktor UASB.

Karakteristik Bibit Mikroba

Bibit mikroba yang dipergunakan pada UASB adalah bibit anaerobik yang sudah berbentuk granul seperti terlihat pada Gambar 3, sebagai lumpur dorman yang telah terinkubasi selama periode waktu ± 1 tahun. Dari hasil analisa lumpur granul memiliki kepekatan dengan kadar padatan total (TS) = 67940 mg/L dan kadar padatan organik (VS) = 58860 mg/L. Dengan rasio VS/TS = 86,6% kondisi ini menunjukkan bahwa lumpur granul tersebut memenuhi syarat digunakan sebagai bibit mikroba. Berbeda halnya dengan bibit mikroba yang digunakan pada pengolahan aerobik lumpur aktif. Lumpur *flocculent* yang berasal dari unit aerasi memberikan hasil analisa TS = 17620 mg/L dan VS = 9080 mg/L. Kondisi lumpur yang memberikan rasio VS/TS = 51,5% menunjukkan kurang baik digunakan sebagai bibit mikroba.

Kecepatan pengendapan bibit lumpur granul diukur dengan alat seperti pada Gambar 4. Hasil pengukuran, lumpur granul yang digunakan memiliki diameter sekitar 1 – 3 mm dengan kecepatan pengendapan antara 55 – 90 m/jam yang diklasifikasikan bahwa lumpur granul tersebut memiliki kecepatan pengendapan medium sampai cepat (Andras, dkk, 1989; Lettinga, *et al*., 1980).

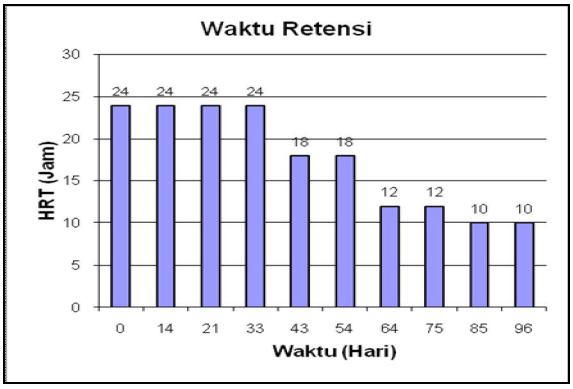
Pengolahan Air Limbah dengan Reaktor UASB

Percobaan pengolahan air limbah dari industri kertas karton dilakukan dengan reaktor UASB dilanjutkan dan proses lumpur aktif konvensional dalam skala laboratorium. Waktu tinggal diterapkan secara bertahap dari 24 jam, 18 jam, 12 jam, dan 10 jam, seperti terlihat pada Gambar 5. Pada tahap awal, air limbah diolah terlebih dahulu di dalam reaktor UASB yang diberi bibit lumpur granul seperti pada Gambar

3. dengan kandungan MLSS = 27176 mg/L dan MLVSS = 23544 mg/L dan dioperasikan dengan waktu tinggal 24 jam.

Gambar 3. Bibit Lumpur Granul

Gambar 4. Alat Ukur Kecepatan Lumpur Granul



Gambar 5. Waktu Tinggal Percobaan

Nilai influen dan efluen reaktor UASB, dan efisiensi pengolahan untuk parameter COD, BOD_5 dan TSS dapat terlihat pada Gambar 6, 7, dan 8. Percobaan yang dilakukan dengan kondisi waktu tinggal 24 jam, selama 33 hari pertama, berlangsung pada laju beban organik volumetrik 1,25 – 1,94 kg COD/m^3.hari dan laju beban organik lumpur 0,05 – 0,08 kg COD/kg VSS.hari. Konsentrasi COD air limbah di awal percobaan sebagai umpan reaktor UASB sekitar 1246 - 1936 mg/L sedangkan konsentrasi COD efluennya sekitar 221 – 937 mg/L. Efisiensi reduksi konsentrasi COD tersebut dapat mencapai 87%. Nilai ini lebih tinggi daripada percobaan UASB oleh Wongnoi dan Phalakornkule (2004) yang mencapai efisiensi reduksi COD sebesar 80% dengan laju beban organik volumetrik 2 kg COD/m^3.hari.

Percobaan pengolahan yang dioperasikan dengan laju beban organik rendah tersebut dimaksudkan agar berlangsung proses aklimatisasi/adaptasi bagi mikroba yang berbentuk lumpur granul tersebut dengan air limbah yang diolah. Perbedaan karakteristik air limbah ternyata tidak memerlukan waktu yang lama untuk mikroba beradaptasi. Hal ini dapat dilihat dari kenaikan efisiensi reduksi COD yang bertahap naik dari 25% hingga mencapai 87% dalam periode waktu 33 hari pertama.

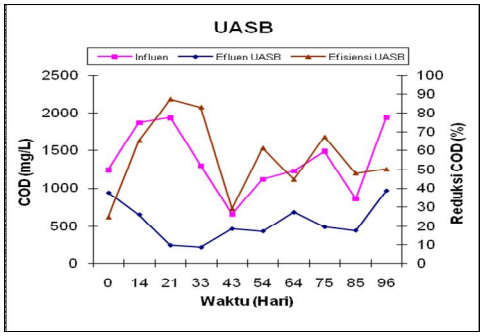
Pada tahap selanjutnya, percobaan dengan reaktor UASB dilakukan dengan kondisi waktu tinggal 18 jam dengan laju beban organik volumetrik 0,88 – 1,49 kg COD/m^3.hari dan laju beban organik lumpur 0,04 – 0,06 kg COD/kg VSS.hari. Percobaan berlangsung pada periode waktu ke-33 – 54 hari atau selama 20 hari. Konsentrasi COD, TSS, dan BOD_5 air limbah sebagai umpan reaktor UASB adalah sekitar 657 - 1121 mg/L, 164 – 180 mg/L, dan 79 – 140 mg/L, kemudian konsentrasi COD, TSS, dan BOD_5 pada efluennya adalah 435 – 466 mg/L, 40 – 46 mg/L, dan 69 – 125 mg/L. Dengan kenaikan laju beban organik dari 0,88 ke 1,49 kg COD/m^3.hari, efisiensi reduksi COD tertinggi mengalami penurunan hanya mencapai 67%.

Kemudian percobaan dengan reaktor UASB dilakukan dengan kondisi waktu tinggal 12 jam dengan laju beban organik volumetrik 2,46 – 2,98 kg COD/m^3.hari dan laju beban organik lumpur 0,10 – 0,13 kg COD/kg VSS.hari yang berlangsung sampai periode ke-75 hari. Konsentrasi COD, TSS, dan BOD_5 air limbah sebagai umpan reaktor UASB adalah sekitar 1231 - 1489 mg/L, 92 – 208 mg/L, dan 357 – 649 mg/L, kemudian konsentrasi COD, TSS, dan BOD_5 pada efluennya adalah 489 – 681 mg/L, 22 – 68 mg/L, dan 50 – 310 mg/L. Dengan kenaikan laju beban organik dari 2,46 ke 2,98 kg COD/m^3.hari, efisiensi reduksi COD sedikit mengalami penurunan hingga efisiensi tertinggi hanya mencapai 61%.

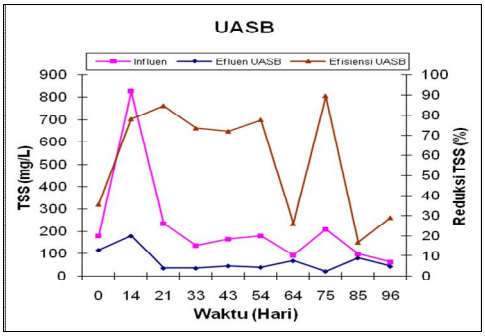
Pada tahap akhir, percobaan dengan reaktor UASB dilakukan dengan kondisi waktu tinggal 10 jam dengan laju beban organik

volumetrik 2,05 – 4,65 kg COD/m^3.hari dan laju beban organik lumpur 0,09 – 0,20 kg COD/kg VSS.hari. Konsentrasi COD, TSS, dan BOD_5 air limbah sebagai umpan reaktor UASB adalah sekitar 854 - 1939 mg/L, 62 – 96 mg/L, dan 155 – 236 mg/L, kemudian konsentrasi COD, TSS, dan BOD_5 pada efluennya adalah 443 – 965 mg/L, 44 – 80 mg/L, dan 93 – 154 mg/L. Dengan kenaikan laju beban organik dari 2,05 ke 4,65 kg COD/m^3.hari, efisiensi reduksi COD mengalami penurunan pencapaian tertinggi hanya mencapai 48%.

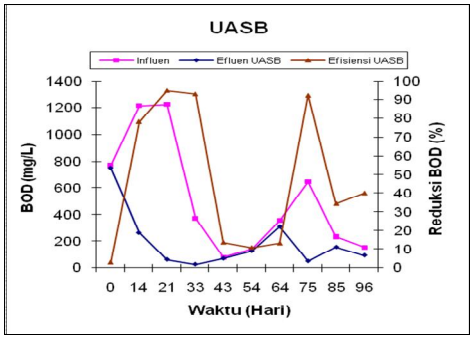
Efisiensi reduksi kadar COD berkurang pada perubahan waktu tinggal yang semakin singkat, demikian juga untuk efisiensi reduksi TSS dan efisiensi reduksi BOD_5. Hal ini dapat terjadi karena adanya peningkatan beban organik akibat peningkatan kecepatan umpan atau debit air limbah. Pada awal periode waktu peningkatan beban organik akan membuat *shock loading* sehingga aktivitas mikroorganisme menurun, namun bila mikroorganisme cukup teradaptasi dalam periode waktu tertentu maka efisiensi reduksi akan cenderung meningkat lagi. Dalam percobaan ini periode waktu pengolahan masing-masing perlakuan hanya berlangsung 20 hari (lihat Gambar 5). Waktu yang singkat tersebut belum cukup yang diperlukan untuk adaptasi mikroorganisme terhadap kenaikan beban organik.



Gambar 6. Konsentrasi COD dan Reduksi



Gambar 7. Konsentrasi TSS dan Reduksi



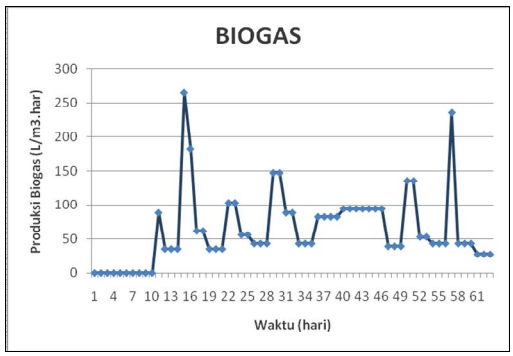
Gambar 8. Konsentrasi BOD dan Reduksi

Pada penelitian ini, efisiensi reduksi COD yang diperoleh reaktor UASB untuk seluruh percobaan dengan beban organik volumetrik 0,88 – 4,65 kg COD/m^3.hari adalah berkisar 25 – 87%. Percobaan lain yang dilakukan oleh Ganesh, dkk, (2007) untuk dua reaktor UASB dengan beban organik volumetrik 0,80 – 4,80 kg COD/m^3.hari memperoleh efisiensi reduksi COD UASB(A) 26,1 – 71,2% dan untuk UASB(B) 28,5 – 70,2%. Secara umum perbandingan efisiensi reduksi COD tersebut tidak jauh berbeda. Perbedaan yang cukup terlihat adalah pada nilai efisiensi reduksi COD puncak sebesar 87% lebih tinggi daripada percobaan (Ganesh, dkk, 2007) dengan nilai 71,2% dan 70,2%. Nilai efisiensi reduksi COD inipun masih lebih tinggi daripada hasil yang diperoleh dari percobaan UASB lain yang dilakukan oleh Von Sperling, *et al*., (2001) yang memperoleh efisiensi reduksi COD hingga 84%.

Dengan perlakuan waktu tinggal dari 24 jam hingga 10 jam, yang memberikan peningkatan laju beban organik 531% memberikan penurunan efisiensi reduksi kadar pencemar COD dari 87% menjadi 48%; BOD_5 dari 95% turun menjadi 34%. Dari data tersebut dapat dinyatakan bahwa peningkatan beban organik yang drastis masih dapat ditoleransi terhadap penurunan efisiensi reduksi pencemar organik. Dengan demikian pengolahan dengan lumpur granul mempunyai kemampuan adaptasi terhadap perubahan beban organik.

Sejalan dengan laju biodegradasi pencemar organik terjadi pula laju pembentukan biogas. Data yang terlihat pada Gambar 9 memperlihatkan fluktuasi laju biogas yang terbentuk cukup lebar berkisar antara 27,4 – 264,9 L/m^3.hari. Percobaan UASB lain yang dilakukan oleh Ganesh, *et al*., (2007) dengan laju beban organik 0,80 – 4,80 kg COD/m^3.hari dapat membentuk biogas dengan laju 284,3 –

425,1 L/m^3.hari untuk UASB(A) dan 280,6 – 448,1 L/m^3.hari untuk UASB (B). Laju pembentukan biogas pada percobaan lain tersebut lebih tinggi karena jenis air limbah yang diolah berasal dari air limbah industri susu yang lebih mudah didegradasi dibandingkan dengan air limbah industri kertas. Disamping itu percobaan UASB pada penelitian ini belum stabil dan belum mencapai kondisi optimal.



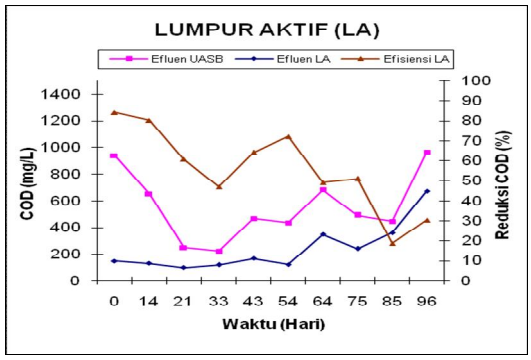
Gambar 9. Pembentukan Biogas

Gambar 10. Pengukur Biogas

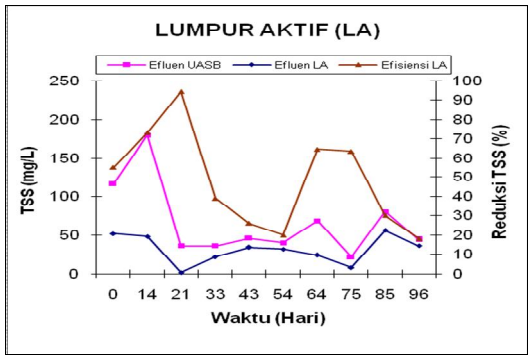
Pengolahan Air Limbah lanjutan dengan Proses Lumpur Aktif

Hasil pengolahan air limbah lanjutan dengan reaktor lumpur aktif dapat dilihat pada Gambar 11, 12, dan 13. Pada Gambar 11 terlihat bahwa efisiensi reduksi COD pada reaktor lumpur aktif untuk waktu tinggal 24 jam dan 18 jam cukup tinggi yaitu sebesar 84 – 95% dari nilai COD influennya 221 – 937 mg/L menghasilkan efluen 98 – 167 mg/L. Kemudian dengan perlakuan perubahan waktu tinggal yang lebih singkat ke 12 jam hingga 10 jam yang berarti meningkatkan laju beban organik dari 1,49 menjadi 2,46 kg COD/m^3.hari. Nilai efisiensi reduksi COD menurun hingga berkisar dari 19 – 75%, sedangkan percobaan lumpur aktif lain yang dilakukan oleh Von Sperling, *et al*., (2001) mencapai nilai efisiensi reduksi COD 43 – 56%. Nilai maksimal efisiensi reduksi COD yang dicapai percobaan ini masih lebih tinggi daripada percobaan lumpur aktif oleh von Sperling, *et al*., (2001). Namun untuk mendapatkan pencapaian baku mutu parameter COD perlu dioperasikan laju beban organik pada waktu tinggal 18 – 24 jam.

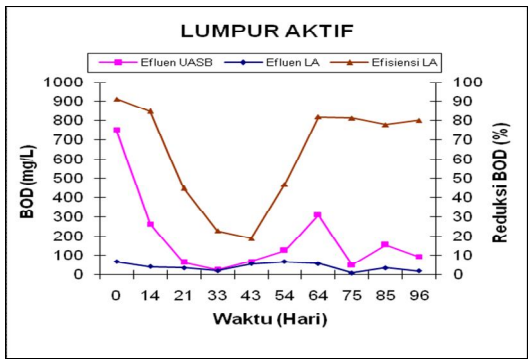
Untuk waktu tinggal 24 – 10 jam, pada Gambar 12 terlihat bahwa nilai TSS efluen yang dihasilkan cukup rendah 2 – 56 mg/L, dengan efisiensi reduksi TSS berkisar dari 19 – 95%, yang memberikan nilai efluen dalam kisaran memenuhi baku mutu.



Gambar 11. Konsentrasi COD dan Reduksi



Gambar 12. Konsentrasi TSS dan Reduksi



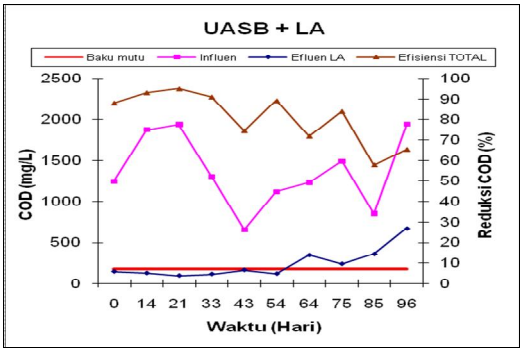
Gambar 13. Konsentrasi BOD dan Reduksi

Hal yang tidak jauh berbeda terjadi pula dengan kadar BOD_5 dalam waktu tinggal 24 – 10 jam. Pada Gambar 13 terlihat nilai BOD_5 efluen cukup rendah 9 – 67 mg/L dalam kisaran memenuhi baku mutu dengan efisiensi reduksi kadar BOD_5 yang memiliki rentang yang lebar dari 19 – 91%, selain disebabkan dari perubahan beban juga karena fluktuasi dari influennya yang merupakan hasil dari UASB. Dengan demikian, reaktor lumpur aktif ini walaupun kurang adaptif terhadap beban BOD_5 namun hasilnya masih mencapai baku mutu.

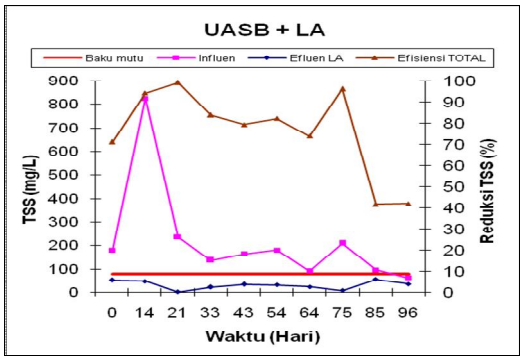
Pengolahan Air Limbah dengan Kombinasi Reaktor UASB dan Lumpur Aktif

Nilai influen dan efluen sistem kombinasi UASB dan lumpur aktif beserta nilai efisiensi reduksi total untuk parameter COD, TSS, dan BOD_5 dapat dilihat pada Gambar 14, 15 dan 16. Dengan variasi waktu tinggal dari 24 jam hingga 10 jam, sistem gabungan tersebut dapat mencapai reduksi kadar COD dari 657 – 1939 mg/L ke 98 – 671 mg/L, reduksi BOD_5 dari 79 – 1223 mg/L ke 9 – 67 mg/L, dan TSS dari 62 – 825 mg/L ke 2 – 56 mg/L. Efisiensi reduksi total COD yang dapat diperoleh dengan pengolahan gabungan UASB dan lumpur aktif mencapai hingga 95%, nilai tersebut masih lebih tinggi dibandingkan dengan percobaan oleh Von Sperling, *et al*., (2001) sebesar 93%. Kemudian untuk nilai efisiensi reduksi total BOD_5 dan TSS masing-masing mencapai nilai 99%.

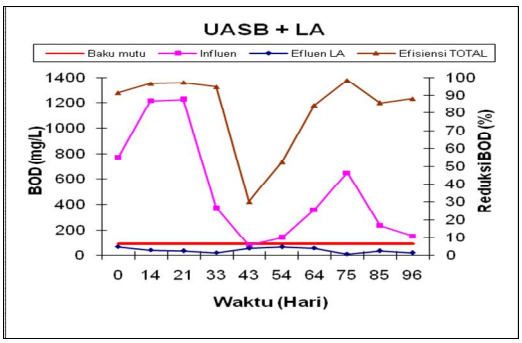
Bila dibandingkan dengan baku mutu limbah cair untuk industri kertas kasar di Indonesia yaitu COD = 175 mg/l, BOD_5 = 90 mg/l dan TSS = 80 mg/l, nilai efluen proses lumpur aktif untuk parameter COD dengan waktu tinggal 24 jam dan 18 jam yang memiliki nilai 98 – 167 mg/L telah terpenuhi baku mutu, sedangkan untuk nilai COD dengan waktu tinggal 12 jam dan 10 jam yang memiliki nilai 240 – 671 mg/L belum memenuhi nilai baku mutu. Untuk parameter TSS dengan nilai 2 – 52 mg/L dan BOD_5 dengan nilai 9 – 67 mg/L yang diperoleh dari proses lumpur aktif dengan perlakuan waktu tinggal dari 24 jam hingga 10 jam telah memenuhi nilai baku mutu.



Gambar 14. Konsentrasi COD dan Reduksi

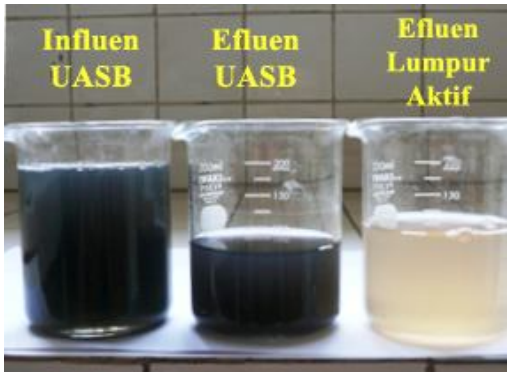


Gambar 15. Konsentrasi TSS dan Reduksi



Gambar 16. Konsentrasi BOD dan Reduksi

Secara keseluruhan Gambar 17 menunjukkan foto warna air limbah influen UASB, efluen UASB/influen proses lumpur aktif, dan efluen proses lumpur aktif. Dari gambar tersebut terlihat bahwa pengolahan gabungan UASB dan lumpur aktif pada kondisi operasi waktu tinggal 24 jam selain dapat menurunkan polutan organik hingga seluruh parameter memenuhi baku mutu dapat juga meningkatkan kualitas warna air limbah olahan menjadi jernih.



Gambar 17. Influen dan Efluen Reaktor UASB dan Lumpur Aktif

KESIMPULAN

1. Pengolahan dengan kombinasi anaerobik UASB dan aerobik lumpur aktif memberikan hasil yang efektif dalam mengolah air limbah kertas karton hingga memenuhi nilai baku mutu.
2. Kinerja UASB dengan menggunakan lumpur granul cukup efektif dan efisien dalam meningkatkan kualitas efluen pada kisaran laju beban relatif tinggi.
3. Pada waktu tinggal 24 jam dipersingkat hingga 10 jam, dengan laju beban organik meningkat dari 0,88 – 4,65 kg COD/m^3.hari, reaktor UASB dapat mereduksi COD hingga 87 %, TSS 85%, dan BOD_5 95%, sedangkan pada proses lumpur aktif sebagai pengolahan lanjut dapat mereduksi COD hingga 84 %, TSS 95%, dan BOD_5 91%.
4. Pengolahan air limbah dengan kombinasi UASB dan lumpur aktif pada waktu tinggal 18 - 24 jam, konsentrasi efluen COD 98 – 167 mg/L telah memenuhi nilai baku mutu, demikian pula konsentrasi efluen TSS dan BOD_5 dengan nilai masing-masing 2 – 52 mg/L dan 9 – 67 mg/L. Dengan waktu tinggal 10 – 12 jam hanya TSS dan BOD_5 yang telah memenuhi nilai baku mutu.

DAFTAR PUSTAKA

Andras E., Kennedy K, & Richardson D.A. 1989. *Test for Characterizing Settle ability of Anaerobic Sludge*, Environ. Techno. Lett.

APHA, 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, American Public Health Association, New York.

Ayati, B., Ganjidoust, H. 2006. *Comparing the Efficiency of UAFF And UASB with Hybrid Reactor in Treating Wood Fiber Wastewater*, Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng., Vol. 3, No. 1, 39-44.

Azimi, A. A., Zamanzadeh, M., 2004. Determination of design criteria for UASB reactors as a wastewater pretreatment system in tropical small communities, *International Journal of Environmental Science & Technology* Vol. 1, No. 1, 51- 57.

Chinnaraj. S., Rao, G. V. 2005. *Implementation of an UASB anaerobic digester at bagasse-based pulp and paper industry*, Elsevier Ltd.

De Zeeuw WJ. Granular sludge in UASB reactors. In: Lettinga G, Zehnder AJB, Grotenhuis JTC, Hulshoff Pol LW, editors. 1987. *Granular anaerobic sludge: Microbiology and technology*. The Netherlands: Pudoc.Wageningen, 132–45.

Ganesh, P. S., Ramasamy, E. V., Gajalakshmi, S., Sanjeevi, R., and Abbasi S. A., 2007. Studies on treatment of low-strength effluents by UASB reactor and its application to dairy industry wash waters. *Indian Journal of Biotechnology* Vol 6, 234-238.

Garner, J.W. 1991. *Environmental Solutions for the Pulp and Paper Industry*. Miller Freeman, San Francisco, 105-106.

Ghangrekar, M. M., Kahalekar, U. J., 2003. Performance and Cost Efficacy of Two-stage Anaerobic Sewage Treatment*, IE (I) Journal* Vol 84.

Kosaric, N., Blaszczyk, R & Orphan, L. 1990. *Factors Influencing formation and Maintenance of Granules in Anaerobic Sludge Blanket Reactors (UASBR)*, Wat. Sci. Tech., 22: 275 - 282.

Kumar,G.S., *et al*. 2007. Anaerobic Hybrid Reactor - A Promising Technology for the Treatment of Distillery Spent Wash, *Journal of Indian School of Mines*, Vol.11, No.1 25-38.

Lettinga,G. *et al*., (1980), *Biotechnology and bioengineering*, 22, 699 – 734.

Natpinit, S., *et al*. 2004. *Development of Granule in UASB Reactor for Wastewater from Fishery-based Industry*, The Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE)", Hua Hin, Thailand.

Shanmugam, A. S., Akunna, J. C., 2008. *Comparing the performance of UASB and GRABBR treating low strength wastewaters,* Water Science & Technology—WST, 58.1, 2008.

Von Sperling, M., *et al*. 2001. *Performance evaluation of a UASB – activated sludge system treating municipal wastewater,* Water Science and Technology Vol 43 No 11, 323–328.

Wongnoi, R., dan Phalakornkule, C., 2004. *Efficiency Enhancement of Up-flow Anaerobic Sludge Bed (UASB) by a Modified Three-phase Separation*. The Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE)", Thailand.

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.