

# TINGKAT TOKSISITAS AKUT AIR LIMBAH PROSES PEMUTIHAN PULP HASIL PENGOLAHAN BIOLOGI

Krisna Adhitya W<sup>a</sup>, Rina S. Soetopo<sup>a</sup>, Djumhana<sup>a</sup>, Enung Fitri M<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Balai Besar Pulp dan Kertas

Jl. Raya Dayeuhkolot 132 Bandung 40258 Telp. (022) 5202980 Fax. (022) 5202871

e-mail : bbpk@bbpk.go.id

Diterima : 03 Agustus 2010, Revisi akhir : 09 Desember 2010

## ***THE ACUTE TOXICITY LEVEL OF PULP BLEACHING WASTEWATER AFTER BIOLOGICAL TREATMENT***

### ***ABSTRACT***

*Pulp bleaching process effluent could make problem to environment. AOX which has toxic, bioaccumulate, carcinogen, and persistent characteristic is specific pollutant from bleaching effluent. The toxicity test used three kinds of wastewater samples, which were from bleaching process, Up Flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) effluent and combined biological treatment (UASB + activated sludge) effluent. The results showed that UASB treatment could remove AOX and COD concentration up to 44% and 59% respectively, and combined biological treatment (UASB + activated sludge treatment) remove AOX and COD concentration up to 73% and 89% respectively. Biological treatment could reduce toxicity level of bleaching effluent by  $EC_{50}$  value for bleaching wastewater at range of 1,05 – 1,38 ppm (AOX concentration),  $EC_{50}$  value for UASB effluent at range of 3,77-4,98 ppm and after UASB+activated sludge treatment, wastewater showed practically non-toxic characteristic.*

*Key words : bleaching wastewater, AOX, UASB, activated sludge, Daphnia magna*

### **INTISARI**

Tahap pemutihan pulp dapat menghasilkan air limbah yang menyebabkan permasalahan bagi lingkungan. AOX merupakan polutan spesifik yang berasal dari air limbah proses pemutihan pulp, yang mempunyai karakteristik beracun, bioakumulatif, karsinogen, dan persisten. Kombinasi pengolahan biologi anaerob dan aerob diharapkan dapat menurunkan nilai AOX dan mengurangi kadar toksisitas dalam air limbah. Uji toksisitas menggunakan tiga sampel air limbah, yaitu air limbah proses pemutihan sebelum pengolahan, air limbah proses pemutihan yang telah diolah secara anaerob menggunakan *Up Flow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) dan juga air limbah yang telah diolah secara anaerob (UASB) yang kemudian dilanjutkan dengan pengolahan biologi secara aerob (lumpur aktif). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengolahan UASB dapat mereduksi AOX dan COD dari air limbah pemutihan sebesar 44% dan 59% sementara kombinasi pengolahan biologi (UASB+Lumpur aktif) dapat mereduksi AOX dan COD hingga 73% serta 89%. Selain itu pengolahan biologi dapat menurunkan tingkat toksisitas air limbah pemutihan dengan Nilai  $EC_{50}$  dari air limbah pemutihan sebelum pengolahan berada pada kisaran konsentrasi AOX 1,05 – 1,38 ppm.  $EC_{50}$  dari air limbah pemutihan setelah pengolahan dengan UASB berada pada kisaran konsentrasi AOX 3,77-4,98 ppm dan setelah pengolahan dengan UASB+lumpur aktif, air limbah menunjukkan efek tidak toksik pada *Daphnia magna*.

Kata kunci : air limbah pemutihan, AOX, UASB, lumpur aktif, *Daphnia magna*

## PENDAHULUAN

Industri pulp dan kertas merupakan salah satu industri yang memberikan kontribusi pencemaran lingkungan cukup tinggi. Salah satu sumber pencemaran, yaitu yang berasal dari proses pemutihan menghasilkan kontaminan-kontaminan yang bersifat toksik dan berbahaya bagi lingkungan, seperti senyawa AOX (*Adsorbable Organic Halide*). Rosita (2003) menyatakan bahwa AOX merupakan kumpulan dari senyawa-senyawa organik yang mengandung halida (fluorida, klorida, bromida dan yodida), dimana sebagian besar mengandung klorida yang menunjukkan karakteristik beracun, hidrofobik, bioakumulatif, karsinogen, dan persisten. Abitibi (2009) menjelaskan bahwa beberapa dari molekul ini bersifat toksik pada konsentrasi yang tinggi, sehingga dapat bersifat terakumulasi pada rantai makanan, dan akan mengancam organisme perairan.

Air limbah industri pulp dan kertas dipersyaratkan oleh peraturan lingkungan untuk diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke perairan, sehingga industri wajib memiliki unit pengolahan air limbah. Saat ini, hampir seluruh industri pulp dan kertas di Indonesia melengkapi sistem pengolahan air limbahnya dengan cara biologi. Hal ini didasarkan atas pertimbangan karakteristik air limbah yang cenderung bersifat terlarut. Pengolahan secara biologi ada dua jenis, yaitu biologi aerobik dan biologi anaerobik. Operasional pengolahan biologi aerobik berdasarkan kebutuhan oksigen dari mikroorganisme aerob, sedangkan pada pengolahan anaerobik tidak membutuhkan oksigen. Terdapat banyak jenis reaktor anaerobik yang digunakan dalam sistem pengolahan air limbah, termasuk didalamnya jenis *Up Flow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB). UASB ini mempunyai kemampuan mengolah air limbah dengan beban organik tinggi dan toleran terhadap proses beban kejutan (*shock loading*) yang paling banyak diaplikasikan. Reaktor UASB dengan waktu tinggal 12 jam, dapat mereduksi COD dan AOX pada air limbah pemutihan sebesar 34 – 90% dan 15 – 84% (Setiawan, 2008). Chen dan Horan dalam Tezel (2001) menyatakan bahwa kemampuan COD *removal* dari UASB sekitar 66% pada waktu tinggal 6 jam. Selain itu, Thompson

dalam Tezel (2001) menyatakan bahwa UASB dapat mereduksi COD  $\pm 80\%$ , tetapi residual COD yang berkisar 800 mg/L memerlukan *additional treatment*. Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka pada penelitian ini, pengolahan UASB dilanjutkan dengan pengolahan lumpur aktif dalam rangka mengatasi residual COD hasil olahan UASB yang diperkirakan masih cukup tinggi. Selain itu, *post treatment aerobic* dapat diaplikasikan dalam rangka untuk mencapai konsentrasi BOD dan COD pada air limbah pemutihan yang memenuhi persyaratan peraturan yang ada (Saleh, 2004).

Vidal dalam Saleh (2004) menjelaskan bahwa tingkat toksisitas dari air limbah pemutihan proses *Elemental Chlorine Free* (ECF) tidak jauh berbeda dengan air limbah pemutihan dari proses *chlorine* tetapi lebih bersifat toksik jika dibandingkan dengan air limbah pemutihan proses *Total Chlorine Free* (TCF). Salah satu komponen AOX yaitu pentaklorofenol memiliki tingkat toksisitas akut yang tinggi. Hasil uji toksisitas akut pentaklorofenol terhadap organisme perairan *Daphnia magna* yang dilakukan Soetopo (2007) menunjukkan bahwa  $EC_{50}$ -24 jam berkisar antara 359-455 ppb. Pengolahan terhadap air limbah pemutihan diharapkan dapat menurunkan tingkat toksisitas air limbah seperti yang dijelaskan Bright (2005) bahwa air limbah proses pemutihan pulp setelah pengolahan dengan cara biologi tidak menunjukkan sifat toksisitas akut.

Penelitian ini mencoba mengetahui tingkat toksisitas akut air limbah pemutihan proses ECF setelah diolah dengan menggunakan kombinasi pengolahan aerob dan anaerob. Penggunaan kombinasi pengolahan aerob dan anaerob dilakukan dengan pertimbangan bahwa air limbah proses pemutihan mengandung senyawa organik kompleks yang sulit didegradasi oleh mikroorganisme aerobik, sehingga pengolahannya diawali dengan proses anaerobik yang kemudian dilanjutkan dengan proses aerob (lumpur aktif). Dengan cara demikian, maka pengolahan aerobik akan lebih efektif karena senyawa organik yang bersifat kompleks telah dirubah menjadi bentuk yang lebih sederhana.

Artikel ini menjelaskan hasil penelitian tentang perubahan tingkat toksisitas akut air limbah pemutihan setelah proses pengolahan secara biologi anaerobik-aerobik dengan tujuan untuk

mengetahui efektivitasnya dalam mereduksi senyawa AOX dan menurunkan tingkat toksisitas akut dalam air limbah proses pemutihan pulp

## BAHAN DAN METODA

### Bahan dan Peralatan

Bahan-bahan yang digunakan terdiri dari air limbah pemutihan proses ECF, organisme uji berupa *Daphnia magna*, vermipan untuk makanan *Daphnia magna*, medium pengkulturan berupa air tanah, dan medium nutrisi yang terdiri dari  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgSO}_4$ , dan  $\text{KCl}$ . Peralatan yang digunakan meliputi reaktor UASB (diameter dalam 10 cm, tinggi 1,9 m dan bervolume 15 liter dioperasikan secara kontinyu) dan reaktor lumpur aktif (kapasitas 10 liter), kompresor untuk suplai udara ke reaktor lumpur aktif, *beaker glass* untuk pelaksanaan uji toksisitas, akuarium untuk tempat pembiakan *Daphnia magna*, peralatan uji seperti *pH meter*, *conductivity meter*, dan *DO meter*.

### Metoda

#### Karakterisasi Air Limbah Proses Pemutihan Pulp

Pada tahap ini dilakukan karakterisasi terhadap air limbah pemutihan sebelum dan sesudah pengolahan yang meliputi analisa pH, COD (SNI 06-6989.2-2004), BOD (SNI 06-6989.14-2004), TSS (SNI 06.6989.3-2004), dan AOX (DIN EN 1485).

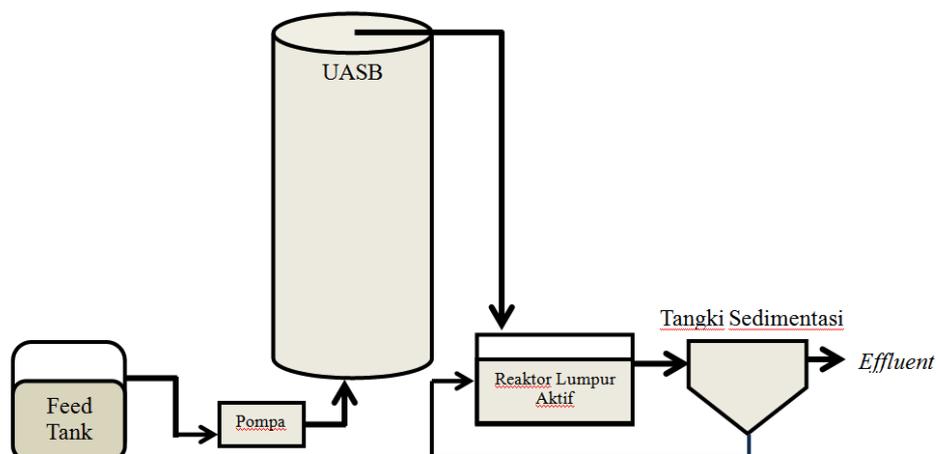
## Pengolahan Air Limbah

Sistem pengolahan biologi terdiri dari *feed tank*, reaktor anaerobik (UASB), reaktor aerobik (lumpur aktif), dan *settling tank* yang dilustrasikan seperti Gambar 1.

Lumpur yang digunakan dalam reaktor UASB berasal dari lumpur dorman anaerobik yang telah diaktifkan. Kondisi operasi yang digunakan pada sistem pengolahan berdasarkan hasil penelitian sebelumnya. Waktu tinggal dalam reaktor UASB adalah 24 jam dengan nilai MLSS dan MLVSS pada reaktor adalah 33660 mg/L dan 18100 mg/L. Sedangkan lumpur aktif untuk reaktor aerobik berasal dari proses lumpur aktif dari IPAL industri kertas. Pengaktifan lumpur aktif dilakukan dengan melakukan aerasi dan memberi substrat air limbah ke dalam reaktor lumpur aktif. Konsentrasi MLSS dan MLVSS pada reaktor lumpur aktif adalah sebesar 2820 mg/L dan 1580 mg/L yang dioperasikan pada waktu tinggal 24 jam. Operasional reaktor UASB dan lumpur aktif dilakukan secara kontinyu. Pengamatan kinerja reaktor UASB dan lumpur aktif melalui analisa TSS, BOD, COD dan AOX pada *effluent* setelah kondisi *steady*.

#### Persiapan Medium Uji Toksisitas Akut dan *Daphnia magna*

Pembuatan medium untuk uji toksisitas akut dilakukan berdasarkan ISO 641-1998 (*Water Quality- Determination of the inhibition of the mobility of Daphnia magna Straus (Cladocera,*



Gambar 1. Diagram Proses Pengolahan secara Biologi

*Crustacea*)- *Acute toxicity test* ) dengan cara melarutkan 11,76 g  $\text{CaCl}_2$  , 4,93 gram  $\text{MgSO}_4$  , 2,59 gram  $\text{NaHCO}_3$ , 0,23 gram KCl , masing-masing dalam 100 ml akudes, kemudian encerkan sampai volume satu liter. Setelah itu dari masing-masing larutan diambil 25 ml dan campurkan serta encerkan sampai volume satu liter dengan menggunakan akuades yang memiliki konduktivitas tidak melebihi 10  $\mu\text{Scm}^{-1}$ . Medium air diaerasi sampai jenuh oksigen atau sekitar 24 jam dengan waktu minimal dua jam, kemudian simpan selama dua hari tanpa aerasi lagi.

Organisme uji yang digunakan adalah *Daphnia magna* Strauss. Dalam pengkulturan, ada beberapa hal menyangkut persyaratan yang harus diperhatikan antara lain air pengencer , suhu kultur, dan pH. Air pengencer dapat berasal dari air kolam, air rawa, air tanah yang tidak terkontaminasi, ataupun media pengencer air limbah. Suhu kultur harus dijaga pada kisaran 18-24°C, pH berada pada kisaran 6-8,5. Sebelum pengujian dilakukan pemisahan induk *Daphnia magna* yang hamil dan kemudian diletakkan dalam *beaker glass* yang didalamnya berisi medium percobaan untuk memperoleh *neonate* yaitu anak *Daphnia magna* yang umurnya  $\leq 24$  jam). Aklimatisasi *Daphnia magna* dilakukan sebelum digunakan untuk pengujian. Uji toksisitas akut dilakukan dengan menggunakan *neonate*. Pengamatan kematian *neonate* dilakukan setelah satu hari uji toksisitas akut.

### Uji Toksisitas terhadap *Daphnia magna*

Pelaksanaan penentuan tingkat toksisitas air limbah pemutihan pulp sebelum dan sesudah pengolahan dilakukan berdasarkan ISO 641-1998 (*Water Quality- Determination of the inhibition of the mobility of Daphnia magna strauss (Cladocera, Crustacea)- Acute toxicity test* ). *Daphnia magna* yang digunakan minimal adalah generasi ke tiga dari ekosistem sebelumnya. Induk *Daphnia magna* yang hamil dipisahkan sehari sebelum pelaksanaan penelitian untuk mendapatkan *neonate*. Jumlah *neonate* dalam setiap bejana adalah lima ekor dengan kepadatan *neonate* per bejana tidak melebihi 1 *Daphnia magna* 2 ml.

### Pengolahan Data

Pengolahan data terhadap data-data jumlah kematian *neonate Daphnia magna* yang didapatkan dari uji toksisitas akut pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *EPA Probit Analysis Program Used for Calculating LC/EC Values version 1.5*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Air Limbah Sebelum dan Sesudah Pengolahan

Hasil karakterisasi air limbah pemutihan pulp sebelum dan setelah pengolahan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Air Limbah Proses Pemutihan Pulp Sebelum dan Sesudah Pengolahan

Parameter	Sebelum Pengolahan	Sesudah Pengolahan dengan UASB	% removal	Sesudah Pengolahan dengan UASB+Lumpur Aktif	Total % removal
pH	6,54	7,91	-	7,58	-
TSS (mg/L)	60	80	-	40	33%
COD (mg/L)	609	248	59%	66	89%
BOD (mg/L)	78	60	23%	28	64%
AOX (mg/L)	17,19	9,55	44%	4,6	73%
BOD/COD	0,13	0,24	-	0,42	-

Sumber : Hasil Penelitian, 2009

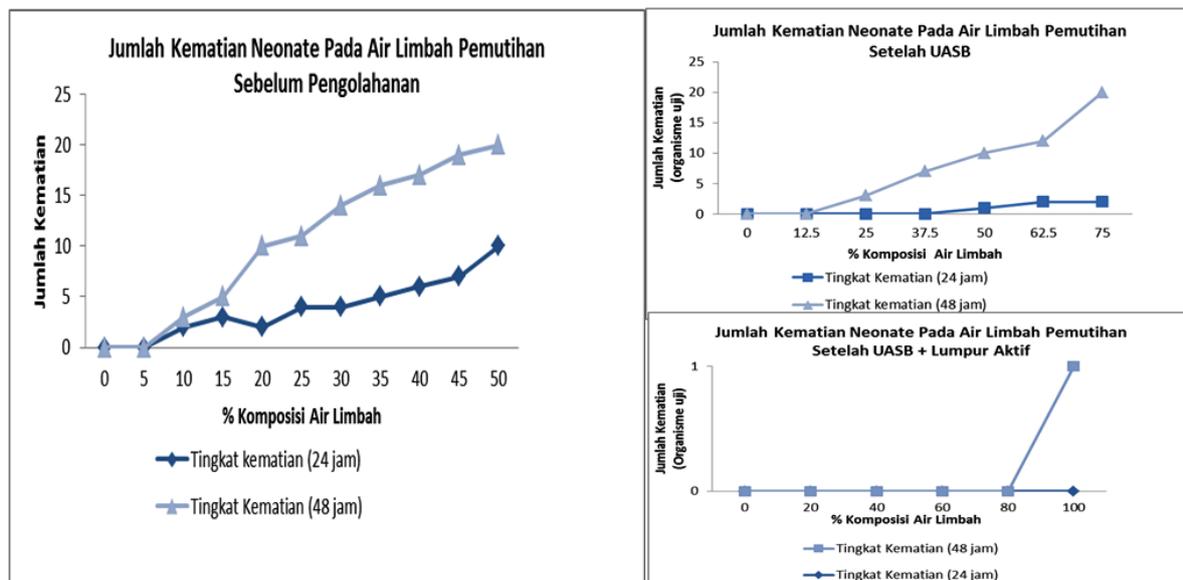
Data pH menunjukkan bahwa pH air limbah pemutihan pulp baik sebelum maupun setelah pengolahan cenderung netral. Data TSS, baik sebelum maupun setelah pengolahan menunjukkan nilai yang rendah dibawah 100. Hal tersebut menunjukkan bahwa air limbah proses pemutihan pulp sebelum dan setelah pengolahan bersifat terlarut. Ditinjau dari perbandingan nilai BOD terhadap nilai COD, air limbah sebelum pengolahan menunjukkan nilai 0,13.

Nilai yang kecil mendekati nol ini menandakan bahwa air limbah tersebut didominasi oleh senyawa organik yang sifatnya kompleks dan relatif sulit didegradasi. Parameter AOX mencerminkan jumlah total dari kandungan senyawa organoklorin teradsorpsi baik dari fraksi berat molekul tinggi (BM>1000) maupun dari fraksi berat molekul rendah (BM<1000). Nilai AOX air limbah proses pemutihan cukup tinggi, yaitu 17,19 mg/L yang artinya air limbah cukup banyak mengandung senyawa organoklorin yang dapat diduga bersifat toksik. Menurut Allan, senyawa organoklorin yang memiliki berat molekul rendah lebih bersifat toksik dibanding berat molekul tinggi (Soetopo, 2007). Karakteristik air limbah pemutihan yang digunakan memiliki karakteristik yang tidak jauh berbeda dengan karakteristik limbah pemutihan yang yang dilaporkan oleh CPP (2007). Unit pengolahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Pengolahan biologi secara anaerobik berupa UASB (*Up Flow Anaerobic Sludge Blanket*) yang kemudian dilanjutkan dengan pengolahan secara aerobik berupa lumpur aktif.

Unit pengolahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Pengolahan biologi secara anaerobik berupa UASB (*Up Flow Anaerobic Sludge Blanket*) yang kemudian dilanjutkan dengan pengolahan secara aerobik berupa lumpur aktif. Unit UASB mampu mengurangi nilai AOX dan COD dalam air limbah pemutihan sebesar 44% dan 59%. Nilai tersebut tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian Setiawan (2008) yang menyatakan bahwa reduksi dari unit UASB terhadap nilai AOX dan COD pada air limbah pemutihan berkisar antara 34-

90% dan 15-84%. Ditinjau dari segi efektivitas pengolahan, kemampuan *removal* pencemar yang dihasilkan oleh UASB pada penelitian ini memang tidak terlalu besar. Hal ini dapat disebabkan oleh sifat toksik dari air limbah pemutihan yang dapat mempengaruhi kerja mikroba methanogen namun demikian UASB efektif dalam mendegradasi senyawa organik kompleks menjadi bentuk lain yang lebih sederhana. Hal itu terlihat dari rasio BOD:COD yang naik menjadi 0,24 yang juga menandakan terjadi penurunan jumlah senyawa kompleks yang ada dalam air limbah. Karakteristik air limbah setelah pengolahan dengan UASB sebenarnya sudah memenuhi baku mutu berdasarkan Keputusan Menteri LH no. 51 tahun 1995 untuk dapat dibuang dibadan air kecuali baku mutu AOX yang memang tidak terdapat pada Keputusan Menteri tersebut. Dengan pertimbangan bahwa penelitian ini mencoba mendapatkan data mengenai keefektifan kombinasi proses anaerob dan aerob dalam menurunkan toksisitas air limbah pemutihan, maka *effluent* UASB tetap diolah dengan menggunakan lumpur aktif.

Setelah pengolahan air limbah pemutihan dengan menggunakan kombinasi *Up Flow Anaerobic Sludge Blanket* dan lumpur aktif, maka didapatkan reduksi nilai AOX dan COD pada air limbah pemutihan mencapai 73 % dan 89%. Nilai ini menunjukkan peningkatan yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan karakteristik air limbah pemutihan hasil pengolahan dengan UASB saja sehingga dapat dikatakan bahwa keberadaan pengolahan tambahan berupa unit lumpur aktif sesudah pengolahan UASB efektif dalam mengurangi residual COD dari UASB. Kombinasi pengolahan anaerob+aerob ini dapat mendegradasi senyawa-senyawa organik kompleks didalam air limbah pemutihan yang cukup tinggi pada awalnya. Hal ini juga bisa dilihat dari rasio BOD/ COD yang makin besar pada air limbah hasil olahan UASB+lumpur aktif, yaitu 0,42 yang menunjukkan bahwa keberadaan senyawa organik kompleks pada air limbah hasil olahan sudah banyak berkurang dibandingkan sebelum dilakukan pengolahan dengan menggunakan lumpur aktif.



Gambar 2. Tingkat Kematian *Neonate Daphnia Magna* pada Air Limbah Pemutihan Sebelum dan Sesudah Pengolahan

Tabel 2. Nilai  $EC_{50}$  Air Limbah Pemutihan

Air Limbah Pemutihan	Nilai $EC_{50}$ Kisaran Konsentrasi AOX (mg/L)
Sebelum Pengolahan	1,05 – 1,38
Sesudah Pengolahan dengan UASB	3,77 – 4,98
Setelah Pengolahan dengan UASB + Lumpur Aktif	Tidak Dapat Ditentukan

Sumber : Hasil Perhitungan, 2009

### Tingkat Toksisitas Akut

Dari Gambar 2 diatas dapat dilihat bahwa tingkat toksisitas air limbah pemutihan makin menurun seiring dengan terjadinya pengolahan dengan menggunakan unit UASB dan lumpur aktif. Hal itu bisa dilihat dari tingkat kematian *neonate Daphnia magna* yang makin berkurang setelah adanya pengolahan air limbah. Selain itu penurunan tingkat toksisitas air limbah juga dapat dilihat dari nilai  $EC_{50}$  pada tabel 2.

Dari tabel 2 diatas dapat dilihat bahwa nilai  $EC_{50}$  air limbah pemutihan yang belum diolah berada pada kisaran konsentrasi AOX = 1,05 – 1,38 ppm. Seiring terjadinya penurunan kadar pencemar pada air limbah hasil olahan UASB, terjadi juga penurunan tingkat toksisitas akut air limbah yang ditunjukkan dengan peningkatan rentang nilai  $EC_{50}$  yang berkisar pada konsentrasi AOX = 3,77-4,98 mg/L. Kisaran konsentrasi pada air limbah sebelum pengolahan dan

setelah pengolahan dengan UASB berdasarkan klasifikasi dari US EPA masuk dalam katagori *moderately toxic*. Naiknya kisaran nilai  $EC_{50}$  menunjukkan bahwa tingkat toksisitas akut air limbah menurun sehingga bisa dikatakan UASB cukup efektif dalam menurunkan tingkat toksisitas akut air limbah. Hasil uji toksisitas ini didukung oleh pernyataan Kovacs dalam Bright (2005) bahwa setelah pengolahan dengan *secondary treatment*, air limbah pemutihan tidak menunjukkan efek toksisitas. Selain itu, hasil penelitian dengan menggunakan air limbah pemutihan yang telah diolah dengan UASB + lumpur aktif menunjukkan bahwa nilai  $EC_{50}$  dari limbah pemutihan hasil olahan UASB + lumpur aktif tidak dapat ditentukan (>100%) dikarenakan pada pelaksanaan penelitian dengan konsentrasi air limbah pemutihan hasil olahan UASB + lumpur aktif 100% (konsentrasi AOX = 4,6 mg/L), tingkat kematian *neonate Daphnia magna* hanya 5%.

Hasil penelitian ini sesuai dengan pendapat peneliti dari Duke University (Anonim, 1995) yang menyatakan bahwa *secondary treatment* dapat menghilangkan zat-zat yang bersifat akut terhadap organisme di badan air penerima sehingga tingkat toksisitas effluent dari *secondary treatment* memiliki tingkat toksisitas akut yang lebih rendah. Selain itu mereka juga menyatakan bahwa modifikasi dalam proses pengolahan biologi yang dilakukan akan makin menurunkan tingkat toksisitas dalam air limbah pemutihan proses ECF. Modifikasi dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan kombinasi pengolahan anaerobik dan aerobik dan hasilnya menunjukkan bahwa kombinasi pengolahan anaerob + aerob lebih efektif dalam menurunkan tingkat toksisitas akut air limbah pemutihan dibandingkan jika hanya menggunakan pengolahan anaerob atau aerob saja

## KESIMPULAN

Unit pengolahan biologi kombinasi pengolahan anaerobik (UASB) dan aerobik (lumpur aktif) dapat menurunkan kadar pencemar TSS, COD, dan BOD dalam air limbah pemutihan hingga memenuhi baku mutu. UASB sendiri mampu mereduksi konsentrasi nilai AOX dan COD dari air limbah pemutihan sebesar 44% dan 59%, sementara penambahan pengolahan lumpur aktif sesudah UASB dapat meningkatkan tingkat reduksi menjadi sebesar 73% dan 89%. Dari segi toksisitas air limbah pemutihan, kombinasi unit pengolahan biologi mampu menurunkan tingkat toksisitas air limbah pemutihan pulp. Hal ini ditunjukkan dari nilai  $EC_{50}$  dari air limbah pemutihan, mulai dari sebelum pengolahan dengan nilai  $EC_{50}$  pada kisaran konsentrasi AOX 1,05 – 1,38 ppm. setelah pengolahan dengan UASB berada pada kisaran konsentrasi AOX 3,77-4,98 ppm dan setelah pengolahan dengan UASB + lumpur aktif tidak menunjukkan efek toksik pada *Daphnia magna* ( $EC_{50} > 100\%$ ).

## DAFTAR PUSTAKA

- Abitibi Bowater.2009. *Absorbable Organic Halide (AOX) Fact Sheet*. <http://www.bowater.ca/environment/water.aspx?id=58>
- Anonim. 1995. *Environmental Comparison of Bleached Kraft Pulp Manufacturing Technologies*. Duke University. Paper Task Force.
- Bright, Doug, et al. 2005. *Evaluation of Ecological Risks Associated With The Use of Chlorine Dioxide for the Bleaching of Pulp*. Royal Roads University
- CPP. 2007. *Industrial and Hazardous Waste Treatment and Management*. ARRPE Phase II (2004-2007) Review Report.
- ISO 641-1998 (*Water Quality- Determination of the inhibition of the mobility of Daphnia magna Straus (Cladocera, Crustacea)- Acute toxicity test*)
- Rosita, Hermin. 2003. *The Second National Workshop On The Reduction of Absorbable Organic Halide (AOX) in Pulp and Paper Waste Water and The Assessment of Heavy Metal Pollution.* "National Strategy for AOX Standard".
- Saleh, Medhat M.A, et al. 2004. *Anaerobic Digestion Technology For Industrial Wastewater Treatment*. Eight International Water Technology Conference , IWTC8 2004, Alexandria, Egypt.
- Setiawan, Yusup, dkk. 2008. *Peningkatan Efektivitas Pengolahan Air Limbah Industri Pulp dan Kertas Dengan Proses Reaktor Up Flow Anerobic Sludge Blanket (UASB) dan Lumpur Aktif Termobilisasi*. Berita selulosa Vol. 43 (2). Desember 2008
- Soetopo, Rina dkk. 2007. *Tingkat Toksisitas Pentaklorofenol Terhadap Organisme Air Tawar*. Berita Selulosa Vol. 42 No.2, Desember 2007.
- Tezel, Ulas et.al. 2001. *Sequential (Anaerobic / Aerobic) Biological Treatment of Dalaman Seka Pulp and Paper Industry Effluent*. September 12-15, 2001. NATO –ARW, Security of Industrial Water Supply and Management.