

# EFEKTIVITAS APLIKASI ENZIM DALAM SISTEM LUMPUR AKTIF PADA PENGOLAHAN AIR LIMBAH PULP DAN KERTAS

Syamsudin\*, Sri Purwati, Andri Taufick R.

\*Balai Besar Pulp dan Kertas, Bandung.

e-mail: [syamsudin@depperin.go.id](mailto:syamsudin@depperin.go.id)

## ENZYME APPLICATION'S EFFECTIVITY IN ACTIVATED SLUDGE SYSTEM OF PULP AND PAPER'S MILL WASTEWATER TREATMENT

### ABSTRACT

*The organic complex compound contained in pulp and paper's mill wastewater such as lignin and cellulose is difficult to be degraded, that causes low biodegradability of aerobic microorganism in high organic loading rate activated sludge system. Xylanase and cellulase application experiment on activated sludge system process had taken in batch process, aimed to enhance organic complex compound's biodegradation effectivity. The experiment used a combination of pulping's wastewater (black liquor) and paper's mill wastewater to have COD  $\pm$  1500 mg/L. The treatment variations are : activated sludge concentrations (MLSS), enzyme dosages, and residence times. Activated sludge concentrations are MLSS 0, 2000, and 4000 mg/L, xylanase and cellulase's dosages are control, 50, and 100 ppm, and residence time are 12, 18, and 24 hours. This experiment yield highest COD reduction of 35,55% in activated sludge with 50 ppm xylanase application, where 50,96% reached with 100 ppm cellulase application, both occurred in MLSS 2000 mg/L and residence time 24 hours. Compared with control whose only reached COD reduction of 31,12%, xylanase enhanced the reduction 4,43%, when cellulase enhanced 19,84%.*

*Keyword: COD, cellulose, xylanase, cellulase, activated sludge, acclimatization*

### INTISARI

Senyawa organik kompleks dalam air limbah pulp dan kertas seperti lignin dan selulosa sulit dibiodegradasi sehingga menyebabkan rendahnya kemampuan biodegradasi mikroorganisme aerobik pada proses lumpur aktif bila dioperasikan pada laju beban organik tinggi. Penelitian penambahan xilanase dan selulase pada proses sistem lumpur aktif telah dilakukan secara batch, dengan tujuan meningkatkan efektifitas biodegradasi senyawa organik kompleks. Penelitian dilakukan terhadap campuran air limbah pemasakan (lindi hitam) dengan air limbah kertas yang menghasilkan COD campuran  $\pm$  1500 mg/L. Variasi perlakuan percobaan terdiri dari tiga faktor yaitu konsentrasi lumpur aktif (MLSS), dosis enzim, dan waktu tinggal (RT). Konsentrasi lumpur aktif terdiri dari MLSS 0, 2000 dan 4000 mg/L, dosis xilanase dan selulase masing-masing terdiri dari kontrol, 50 dan 100 ppm, dan RT terdiri dari 12, 18, dan 24 jam. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pengolahan air limbah sistem lumpur aktif dapat mereduksi COD tertinggi mencapai 35,55% pada penambahan xilanase dosis 50 ppm dan 50,96% pada penambahan selulase dosis 100 ppm, keduanya terjadi pada MLSS 2000 mg/L dan RT 24 jam. Dibandingkan dengan hasil pengolahan lumpur aktif saja yang hanya mencapai reduksi 31,12%, berarti terjadi peningkatan reduksi COD sebesar 4,43% dengan xilanase dan 19,84% dengan selulase.

Kata kunci: COD, selulosa, xilanase, selulase, lumpur aktif, aklimatisasi

### PENDAHULUAN

Peningkatan kapasitas produksi pulp dan kertas akan meningkatkan permasalahan lingkungan. Konsekuensinya adalah kewajiban manajemen industri untuk melakukan pelestarian lingkungan sesuai dengan peraturan yang

berlaku. Beberapa upaya perlu dilakukan mulai dari bahan baku, proses produksi sampai ujung akhir proses pengolahan air limbah.

Industri pulp dan kertas merupakan industri yang banyak mengeluarkan limbah cair yaitu dari unit pembuatan pulp dan unit pembuatan kertas. Air limbah proses pembuatan

pulp berupa lindi hitam yang didominasi oleh senyawa lignin (Servos, 1996), sehingga termasuk kategori bahan pencemar tinggi. Senyawa lignin mengandung gugus kromofor berwarna coklat kehitam-hitaman (Chupka, 1995). Pada umumnya di industri pulp dan kertas skala besar, lindi hitam ini dipulihkan kembali sebagai konservasi energi dari bahan kimia pemasak (Monacelli, 1998; Philippe, 1998), namun demikian masih ada sisa lindi hitam ini yang terbawa keluar bersama air limbah. Sedangkan kandungan air limbah proses pembuatan kertas lebih didominasi oleh senyawa hemiselulosa dan selulosa (Smook, 2001).

Pada umumnya, penanganan air limbah di industri pulp dan kertas menggunakan pengolahan sistem lumpur aktif. Pengolahan biologi saat ini menjadi pilihan karena efektif untuk pengolahan air limbah organik terlarut. Namun keberhasilan pengolahan biologi sangat tergantung pada aktivitas dan kemampuan mikroorganisme pendegradasi bahan organik dalam air limbah. Kandungan senyawa lignin dalam air limbah pulp sulit dibiodegradasi, sehingga menyebabkan rendahnya kemampuan biodegradasi mikroorganisme aerobik pada pengolahan proses lumpur aktif (Brigitte, 2002).

Proses pengolahan secara lumpur aktif pada prinsipnya memanfaatkan populasi mikroorganisme aerobik yang hanya mampu merombak senyawa organik sederhana menjadi gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O (Klopping, 1995). Pemutusan rantai senyawa organik kompleks yang terkandung dalam air limbah menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana akan meningkatkan proses biodegradasi aerobik dalam sistem lumpur aktif. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa senyawa organik kompleks dapat dihidrolisis oleh enzim menjadi senyawa-senyawa organik sederhana sehingga lebih mudah dimetabolisme sel mikroorganisme (Yin Li, 2006; Damasceno, 2008). Enzim merupakan molekul biopolimer protein yang tersusun dari serangkaian asam amino dalam komposisi dan susunan rantai yang teratur dan tetap. Enzim berfungsi sebagai aktivator dalam reaksi biokimia dan bersifat spesifik terhadap substrat sehingga mempermudah proses pemutusan suatu rantai kompleks tertentu (Farabeel, 2008). Setiap enzim memiliki

daerah sisi ikatan yang dinamakan sisi aktif. Di dalam sisi aktif ini terdapat sisi ikatan yang memungkinkan substrat mempunyai orientasi tetap membentuk ikatan kompleks enzim-substrat, dan sisi katalitik yang memungkinkan terjadinya reaksi yang dikatalisis. Reaksi yang dikatalisis enzim dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu suhu, pH, konsentrasi substrat, produk, serta keberadaan aktivator dan inhibitor (Black, 1999).

Xilanase merupakan enzim ekstraseluler yang menghidrolisis polisakarida  $\beta$ -1,4-xilan yang merupakan komponen utama hemiselulosa menjadi xilooligosakarida dan xilosa (Richana, 2002). Struktur xilan cukup bervariasi, mulai dari rantai linier 1,4- $\beta$ -polixilosa sampai heteropolisakarida bercabang banyak (Neidleman, 1997). Xilanase dapat diklasifikasikan berdasarkan substrat yang dihidrolisis, yaitu  $\beta$ -1,4-D-xilosidase (EC 3.2.1.37), eksoxilanase, dan endo- $\beta$ -1,4-xilanase (EC 3.2.1.8) atau biasa disebut endoxilanase (Yarema, 2005).  $\beta$ -1,4-D-xilosidase yaitu xilanase yang mampu menghidrolisis xilooligosakarida rantai pendek menjadi xilosa. Aktivitas enzim akan menurun dengan meningkatnya rantai xilooligosakarida. Xilosa selain merupakan hasil hidrolisis juga merupakan inhibitor bagi enzim  $\beta$ -1,4-D-xilosidase. Eksoxilanase mampu memutus rantai polimer xilan pada ujung reduksi, sehingga menghasilkan xilosa sebagai produk utama dan sejumlah oligosakarida rantai pendek. Endoxilanase mampu memutus ikatan  $\beta$ -1-4 pada bagian dalam rantai xilan secara teratur. Ikatan yang diputus ditentukan berdasarkan panjang rantai substrat, derajat percabangan, ada atau tidaknya gugus substitusi, dan pola pemutusan dari enzim hidrolase (Richana, 2002; Jeffries, 1996). Xilanase dari strain *Bacillus* sp., *Geobacillus stearothermophilus*, *Clostridium stercorarium*, *Penicillium* sp., *Staphylococcus* sp., dan *Sulfolobus solfataricus* mempunyai kestabilan pada pH 7-8 dan suhu 25-30 °C (Brenda, 2008).

Selulosa merupakan polisakarida kompleks yang tersusun dari polimer linier ikatan glukosa melalui ikatan  $\alpha$ -1,4- dan biasanya tersusun dalam struktur mikrokristalin yang sangat sulit untuk dilarutkan atau dihidrolisis pada kondisi alami. Derajat polimerisasi rantai selulosa berkisar 500 – 25.000 (Woodings, 2001).

Selulase adalah enzim kompleks yang dapat menghidrolisis selulosa menjadi  $\beta$ -glukosa. Selulase tersusun dari campuran kompleks protein enzim dengan spesifisitas berbeda-beda dalam menghidrolisis ikatan glikosidik. Selulase terbagi dalam tiga kelas aktivitas utama enzim, yaitu (1) 1,4- $\beta$ -D-glukan glukanohidrolase (endoglukanase); (2) 1,4- $\beta$ -D-glukan sellobiohidrolase dan 1,4- $\beta$ -D-glukan glukohidrolase (eksoglukanase); dan (3)  $\beta$ -D-glukosida glukohidrolase ( $\beta$ -glukosidase) (Wyman, 1996). Berat molekul selulase berkisar 5.600-89.000 (Wyman, 1996). Selulase dari *Lysobacter* sp., *Phaseolus vulgaris*, *Humicola grisea*, *Bacillus* sp. HSH-810, *Aspergillus niger*, dan *Trichoderma viride* mempunyai kestabilan pada pH 6-10 dan suhu 25-35 °C (Brenda, 2008).

Dalam proses lumpur aktif terjadi penguraian senyawa organik oleh mikroorganisme yang terdiri atas bakteri, fungi, protozoa dan mikroorganisme lain menghasilkan gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Aktivitas mikroorganisme tersebut sangat dipengaruhi oleh tersedianya nutrisi dan kondisi lingkungan terutama pH dan oksigen terlarut (DO) dalam air limbah. Secara umum, proses mikrobiologi yang terjadi dalam sistem lumpur aktif berlangsung di dalam reaktor aerasi. Proses biodegradasi oleh mikroorganisme aerobik akan berlangsung optimal, jika DO dan nutrisi tersedia pada konsentrasi yang sesuai (Metcalf, 2004; Kloppling, 1995). Biodegradasi mikroorganisme lumpur aktif terhadap senyawa organik hasil enzimasi menunjukkan hasil yang lebih efisien dibandingkan dengan hasil biodegradasi saja oleh mikroorganisme anaerobik (Yin Li, 2006). Berdasarkan hasil penelitian tersebut, telah diteliti prospek penggunaan enzim untuk mengolah air limbah yang mengandung senyawa organik kompleks pada air limbah pulp dan kertas.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat biodegradasi pencemar organik kompleks yang dinyatakan sebagai *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada sistem lumpur aktif dengan penambahan enzim. Percobaan dilakukan dengan proses batch yang merupakan tahap awal untuk mengetahui efektivitas penambahan enzim pada pengolahan

air limbah industri pulp dan kertas proses lumpur aktif.

## BAHAN DAN METODA

### Bahan

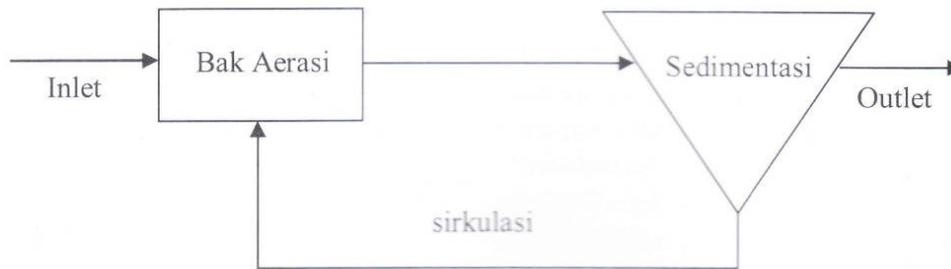
Air limbah yang digunakan dalam penelitian ini merupakan campuran lindi hitam dari cairan sisa pemasakan pulp jerami proses soda dengan air limbah proses pembuatan kertas. Bibit mikroorganisme lumpur aktif diperoleh dari instalasi pengolahan air limbah (IPAL) proses lumpur aktif dari pabrik kertas cetak di daerah Karawang, Jawa Barat.

Bahan kimia yang digunakan adalah minyak silikon (Si-Oil) sebagai bahan antibusa, urea sebagai nutrisi nitrogen (N), asam fosfat untuk penetralan sekaligus berfungsi sebagai nutrisi fosfor (P) dalam sistem lumpur aktif, dan bahan kimia pengujian antara lain untuk parameter lignin, BOD, COD, pH, dan *Total Suspended Solids* (TSS). Enzim yang digunakan berupa xilanase dan selulase dari LIPI – Bioteknologi, Cibinong. Penyimpanan enzim dilakukan di dalam lemari es dengan suhu sekitar 3 °C.

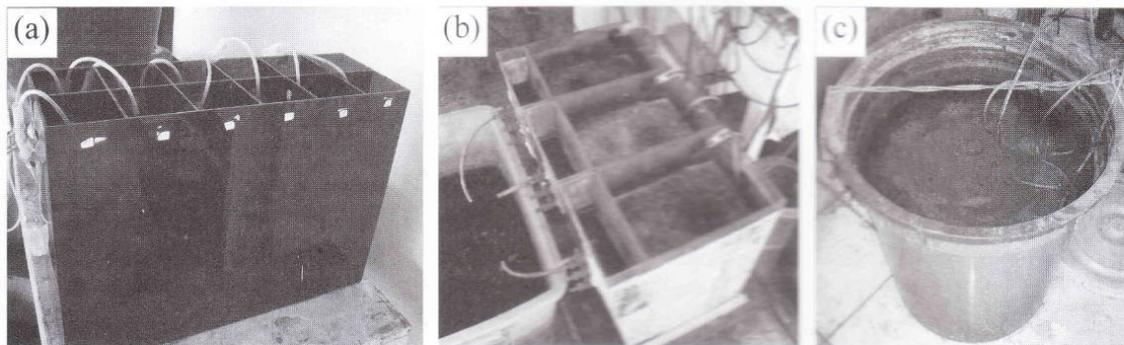
### Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari delapan belas unit reaktor proses batch volume 3 liter berupa kolom aerasi terbuka yang dilengkapi dengan *diffuser* dan *aerator*, terbuat dari bahan *fiber glass*. Tiga unit reaktor lumpur aktif kontinyu yang terdiri dari kolom aerasi terbuka yang dilengkapi dengan *diffuser* dan *aerator*, serta kolom sedimentasi yang dilengkapi dengan pompa *return sludge* (Gambar 1 dan 2) yang berfungsi untuk proses aklimatisasi lumpur aktif dan dua unit reaktor lumpur aktif batch yang terdiri dari kolom aerasi terbuka yang dilengkapi dengan *diffuser* dan *aerator* berfungsi untuk membiakkan lumpur aktif.

Beberapa alat-alat pendukung, antara lain DO-meter untuk kontrol konsentrasi DO dalam unit aerasi, penjepit untuk mengatur debit udara dan debit air limbah inlet, pompa peristaltik untuk mengatur debit air limbah inlet ke dalam reaktor kontinyu, gelas ukur 1 liter untuk mengukur SVI. Peralatan uji yang digunakan adalah peralatan untuk analisa lignin, BOD, COD, pH, dan TSS yang pelaksanaannya dilakukan di Laboratorium lingkungan BBPK.



Gambar 1. Skema Rangkaian Reaktor Konvensional Kontinyu



Gambar 2. Reaktor yang Digunakan dalam Percobaan: (a) Reaktor Enzim Batch, (b) Reaktor Konvensional Kontinyu, dan (c) Reaktor Batch Lumpur Aktif

## Metoda

### Penyediaan dan Karakterisasi Air limbah Stok

Air limbah stok yang digunakan dalam percobaan berupa campuran air limbah dengan perbandingan 22 mL lindi hitam (COD 33000 mg/L) per 1 liter air limbah proses pembuatan kertas (COD 800 mg/L) yang menghasilkan COD  $\pm$  1500 mg/L. Terhadap air limbah tersebut ditambahkan bahan antibusa minyak silikon (Si-Oil) untuk mencegah terbentuknya busa. Karakterisasi terhadap air limbah meliputi parameter lignin, pH, BOD, COD dan TSS. Analisis dilakukan sebelum dan sesudah ditambahkan Si-Oil.

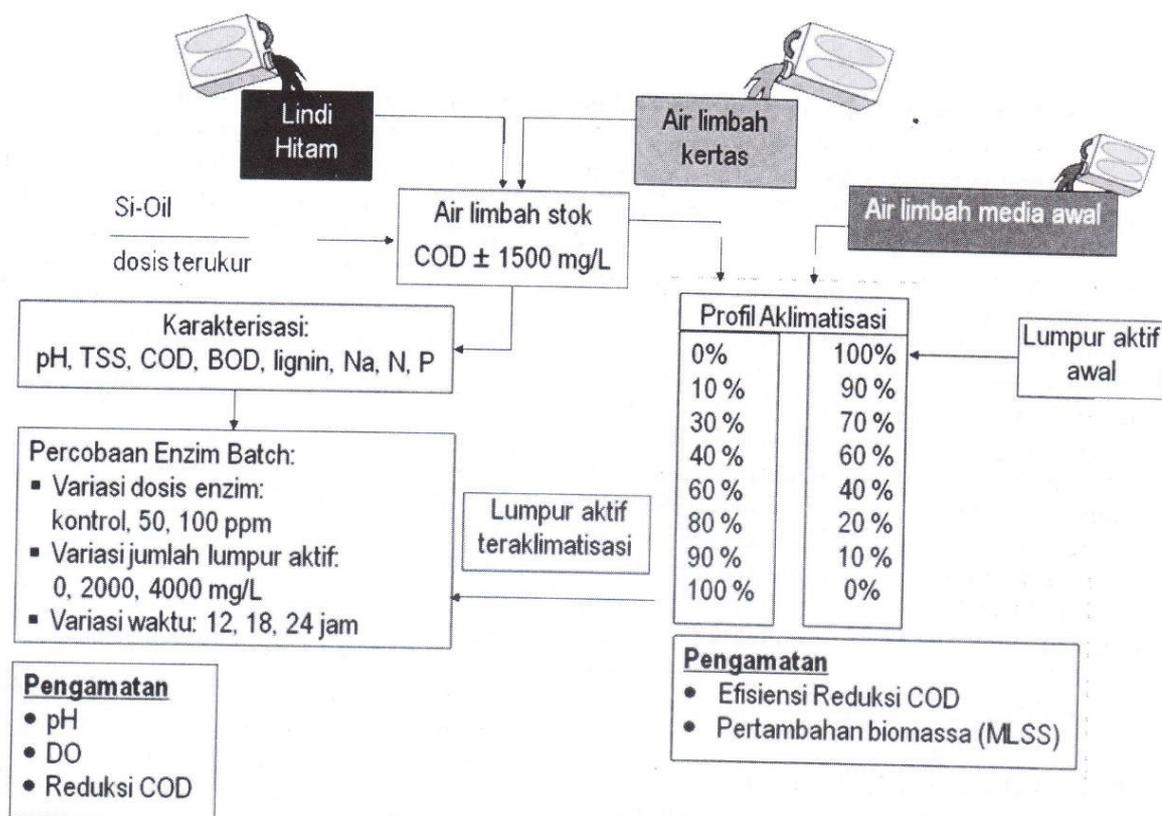
### Aklimatisasi Lumpur Aktif

Starter bibit mikroorganisme untuk proses lumpur aktif dibiakkan dalam air limbah pabrik kertas yang sudah diendapkan selama  $\pm$ 1 jam dan telah diketahui karakteristiknya. Tahapan aklimatisasi dapat dilihat pada Gambar 3. Proses aklimatisasi dilakukan menggunakan reaktor lumpur aktif kontinyu pada MLSS 3000 mg/L dan waktu tinggal 48 jam. Aklimatisasi dilakukan secara bertahap dari 10, 30, 40, 60, 80,

90, dan 100% air limbah stok. Nilai COD pada proses aklimatisasi berkisar 150-3200 mg/L. Pengamatan dilakukan setiap dua hari sekali terhadap parameter MLSS, COD influent dan COD effluent untuk setiap tahapan yang masing-masing berlangsung dalam waktu 1 minggu. Lumpur aktif dianggap sudah teraklimatisasi bila efisiensi reduksi COD sudah relatif sama dengan efisiensi sebelumnya.

### Pengolahan Air Limbah Secara Batch

Percobaan pengolahan air limbah dengan proses lumpur aktif dilakukan secara batch dengan variasi penambahan dosis enzim dan tanpa enzim (kontrol). Untuk mendapatkan kondisi operasi optimal digunakan perlakuan percobaan meliputi variasi dosis enzim (xilanase dan selulase), MLSS dan waktu tinggal (RT). Variasi dosis enzim adalah 50; 100 ppm dan kontrol untuk masing-masing xilanase dan selulase. Variasi perlakuan proses lumpur aktif adalah MLSS (0, 2000, dan 4000 mg/L) dan RT (12, 18, dan 24 jam) pada masing-masing perlakuan dosis enzim.



Gambar 3. Rangkaian Proses Aklimatisasi dan Percobaan Enzim dalam Lumpur Aktif

### Metode Analisis

COD air limbah ditentukan dengan metoda kolorimetri. Biodegradabilitas air limbah diukur berdasarkan parameter BOD, sedangkan konsentrasi DO diukur dengan instrument DO-meter. Total padatan tersuspensi (TSS) dan berat biomasa mikroorganisme (MLSS) ditentukan dengan mengeringkan sampel pada 105°C. Analisis parameter COD mengacu pada SNI 06-6989.2-2004, BOD dan DO mengacu pada Standard Methods 2005 dan SNI 06-6989.14-2004, TSS pada SNI 06.6989.3-2004, dan MLSS pada Standard Methods 2005.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Karakteristik Air Limbah

Karakteristik air limbah sebelum pengolahan dapat dilihat pada Tabel 1. Karakteristik air limbah stok awal sebelum pengolahan menunjukkan bahwa air limbah stok bersifat basa dengan pH 8,7 sehingga berpotensi terbentuk busa pada saat dilakukan aerasi. Untuk mencegah terbentuknya busa dapat dilakukan penetralkan sebelum dilakukan pengolahan. Penetralkan dilakukan dengan menambahkan asam fosfat yang sekaligus berfungsi sebagai nutrisi. Selain dengan

penetralkan, pencegahan terbentuknya busa juga dilakukan dengan menambahkan bahan antibusa berupa minyak silikon (Si-Oil) 0,1% pada dosis optimum 20 ppm.

Tabel 1. Karakterisasi Awal Air limbah Stok untuk Percobaan

Parameter	Satuan	Nilai
pH	-	8,7
TSS	mg/L	32
COD	mg/L	1356
BOD	mg/L	172
Organik Total	mg/L	305
Lignin	mg/L	385
Natrium (Na)	mg/L	721
Total Nitrogen (N)	mg/L	3,49
Total Fosfat (P)	mg/L	0,44

Air limbah stok yang akan digunakan percobaan ini berwarna coklat yang menunjukkan adanya kandungan senyawa lignin (385 mg/L) yang cukup tinggi. Kadar padatan tersuspensi (TSS) yang relatif rendah (32 mg/L) menunjukkan bahwa bahan pencemar yang terkandung dalam air limbah stok campuran tersebut lebih bersifat terlarut, sehingga tidak memerlukan pengolahan proses kimia koagulasi flokulasi lebih dahulu. Hasil analisa logam

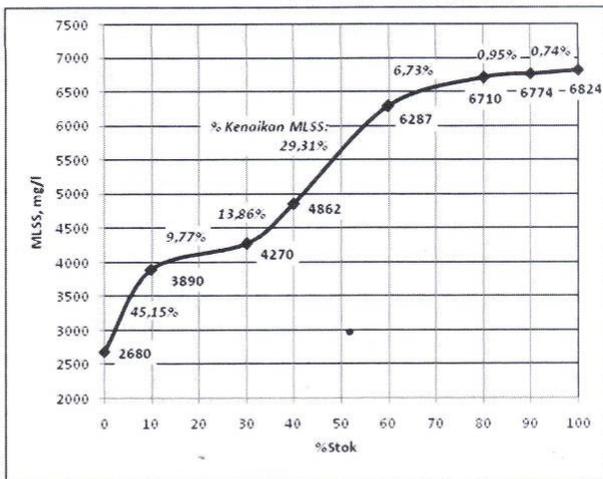
natrium (Na) yang terkandung dalam air limbah stok menunjukkan kadar yang cukup tinggi (721 mg/L), yang berarti cukup memberikan kontribusi dalam sifat mudah terbusakan. Sedangkan kadar nutrisi N dan P bagi mikroorganisme menunjukkan nilai yang rendah sehingga perlu penambahan nutrisi berupa urea dan asam fosfat. Ditinjau dari kandungan senyawa organik COD dan BOD, serta kadar lignin yang cukup tinggi menunjukkan bahwa air limbah lebih dominan mengandung senyawa organik yang bersifat kompleks dengan tingkat pencemaran yang cukup tinggi sehingga perlu adanya sistem pengolahan biologi. Nilai rasio COD/BOD (11,6) yang sangat tinggi dan TSS (32 mg/L) yang rendah menunjukkan bahwa air limbah stok tersebut didominasi oleh organik kompleks yang bersifat terlarut sehingga memerlukan pengolahan biologi dengan sistem organik beban tinggi.

### Proses Aklimatisasi Lumpur Aktif

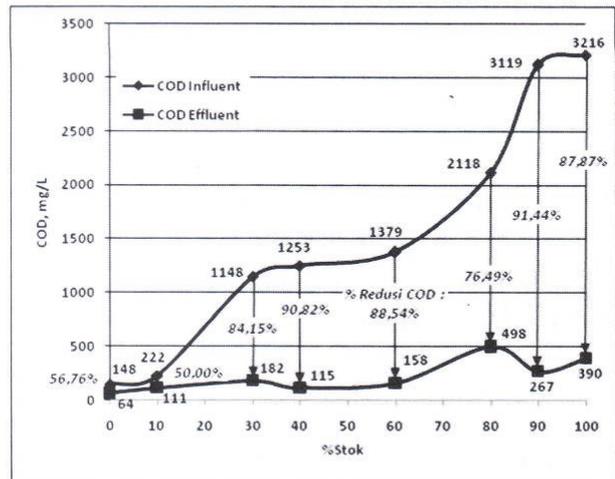
Pengamatan pertumbuhan mikroorganisme dalam lumpur aktif dilakukan melalui analisa MLSS dan hasil aktivitas biodegradasinya melalui perhitungan efisiensi reduksi COD yang ditampilkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Dari

kedua gambar tersebut, tampak bahwa pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme pada proses aklimatisasi semakin meningkat. Peningkatan ini ditunjukkan dengan penambahan berat biomassa lumpur aktif (MLSS) dan reduksi COD. Meskipun konsentrasi MLSS semakin banyak, namun % kenaikan agak menurun pada komposisi air limbah yang semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena dengan bertambahnya air limbah, kandungan senyawa organik kompleks semakin bertambah, yang artinya mikroorganisme mulai mengalami kesulitan dalam mendegradasi air limbah. Namun secara umum, berat biomassa dalam air limbah semakin meningkat, yang artinya mikroorganisme mampu beradaptasi dalam media air limbah konsentrasi tinggi.

Pada data reduksi pencemar organik COD yang ditampilkan pada Gambar 5, menunjukkan bahwa proses biodegradasi berlangsung stabil, yang artinya mikroorganisme secara bertahap sudah teraklimatisasi terhadap air limbah yang akan diolah. Kemampuan biodegradasinya terhadap substrat organik (COD) relatif tinggi, yaitu pada kisaran reduksi COD rata-rata 50 – 92%.



Gambar 4. Proses Adaptasi Mikroorganisme Lumpur Aktif dalam Air Limbah



Gambar 5. Aktivitas Biodegradasi Mikro-Organisme Lumpur Aktif pada Proses Aklimatisasi

## **Pengolahan Air Limbah Secara Batch**

### **a. Aplikasi Xilanase**

#### **Pengamatan Oksigen Terlarut**

Konsentrasi DO pada percobaan pengolahan air limbah tanpa dan dengan menggunakan lumpur aktif ditunjukkan pada Tabel 2. Dari Tabel 2 terlihat bahwa konsentrasi DO seluruhnya memberikan nilai DO >2 mg/L sehingga sudah memenuhi persyaratan hidup mikroorganisme.

Pada perlakuan menggunakan lumpur aktif dan enzim, peningkatan MLSS lebih tinggi menyebabkan peningkatan kebutuhan DO makin besar, ditunjukkan dengan konsentrasi DO yang semakin menurun. Penurunan DO tersebut karena lumpur aktif merupakan biomassa mikroorganisme aerobik, sehingga semakin tinggi MLSS maka makin tinggi konsumsi DO untuk proses metabolisme mikroorganisme. Pada lumpur aktif dengan MLSS 2000 mg/L terjadi konsumsi DO oleh mikroorganisme sebesar 1,4 - 2,0 mg/L, sedangkan pada MLSS 4000 mg/L terjadi konsumsi sebesar 2,9 - 4,3 mg/L.

Tabel 2. Data DO Rata-Rata pada Percobaan Lumpur Aktif dan Xilanase

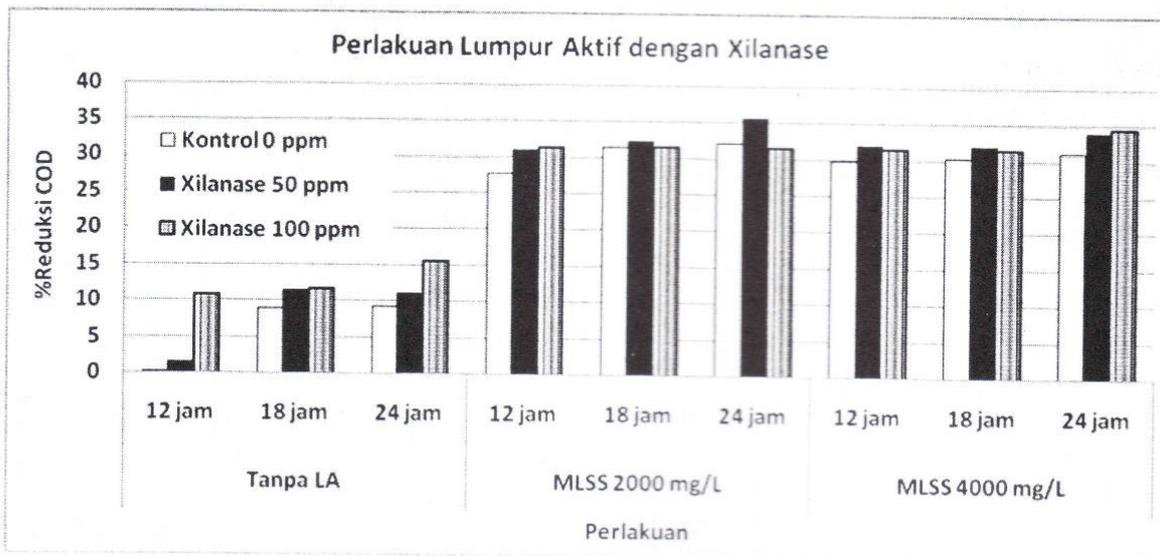
Dosis Xilanase	Tanpa Lumpur Aktif	Lumpur aktif (MLSS)	
		2000 mg/L	4000 mg/L
Kontrol	6,9	5,5	4,0
50 ppm	6,7	4,9	3,7
100 ppm	6,6	4,6	2,3

Secara umum, penambahan dosis enzim dan jumlah lumpur aktif membutuhkan DO makin bertambah, sehingga memerlukan suplai DO dari luar lebih besar. Suplai DO dapat dilakukan dengan menambahkan alat aerator yang dilengkapi dengan diffuser. Untuk mencegah terbentuknya buih yang berlebih maka diffuser dibuat dengan porous yang agak besar, karena makin kecil ukuran porous terdapat kecenderungan jumlah buih yang terbentuk makin banyak.

#### **Pengamatan Terhadap COD**

Konsentrasi COD pada percobaan pengolahan air limbah menggunakan lumpur aktif dan xilanase secara batch ditunjukkan pada Gambar 6. Dari hasil karakterisasi air limbah menunjukkan konsentrasi COD awal = 1356 mg/L. Tingginya nilai COD menunjukkan bahwa air limbah yang diolah mengandung senyawa-senyawa kompleks yang sulit didegradasi oleh mikroorganisme. Pada perlakuan dengan xilanase tanpa lumpur aktif, penambahan dosis xilanase tidak banyak menurunkan konsentrasi COD. Reduksi COD masih kecil karena sebagian besar senyawa-senyawa hasil hidrolisis senyawa organik kompleks oleh xilanase masih terdeteksi sebagai COD, dimana pengukuran COD mendeteksi keseluruhan senyawa organik, baik organik kompleks maupun organik sederhana. Jika dilihat dari komposisi air limbah dengan komposisi lindi hitam 22 mL (COD 33000 mg/L) dalam 1 liter air limbah proses pembuatan kertas (COD 800 mg/L), maka xilanase menghidrolisis sebagian senyawa organik kompleks, yaitu senyawa hemiselulosa yang berasal dari air limbah proses pembuatan kertas yang diperkirakan jumlahnya sedikit. Terjadinya reduksi COD yang kecil ini karena senyawa organik sederhana hasil hidrolisis mempunyai nilai COD lebih kecil dibandingkan senyawa organik kompleks yang memiliki berat molekul lebih besar. Selain itu, organik sederhana yang terbentuk memperbesar luas permukaan kontak, dan berpengaruh pada meningkatnya reaksi oksidasi antara oksigen dari proses aerasi dengan senyawa organik sederhana. Pada percobaan ini, pengukuran dilakukan terhadap COD terlarut yang terdapat dalam supernatan, setelah dilakukan pemisahan endapannya.

Dengan adanya lumpur aktif, reduksi COD meningkat karena senyawa-senyawa hasil hidrolisis xilanase maupun senyawa-senyawa sederhana bukan hasil hidrolisis didegradasi oleh mikroorganisme lumpur aktif. Sedangkan pengaruh RT dalam reaktor terlihat pada kecenderungan peningkatan reduksi COD dengan RT lebih lama. Hal ini karena semakin banyak waktu yang tersedia bagi mikroorganisme untuk mendegradasi senyawa organik sederhana.



Gambar 6. Persentase Reduksi COD pada Percobaan Lumpur Aktif dan Xilanase

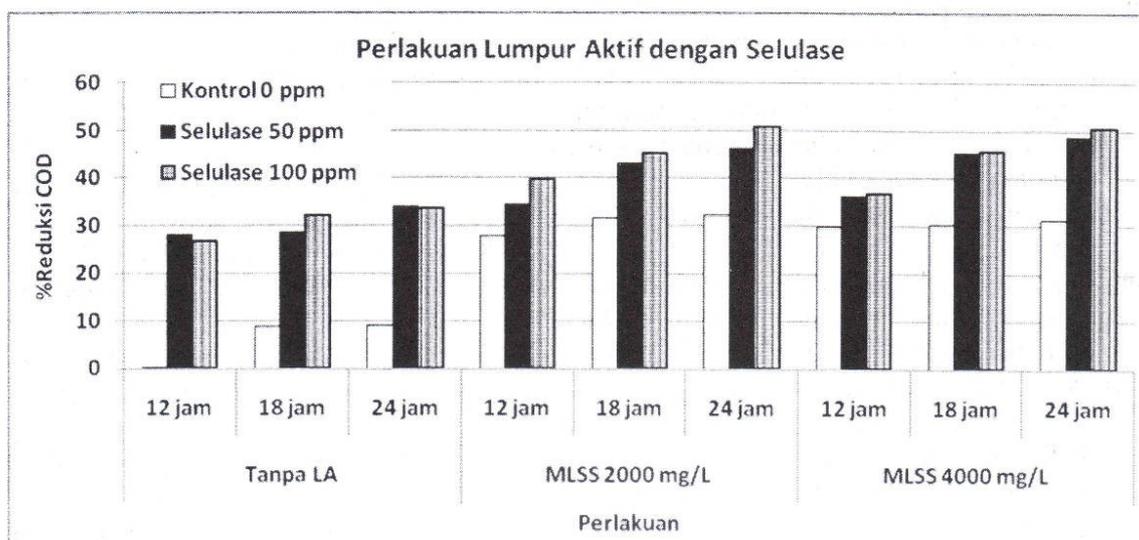
Pada variasi konsentrasi MLSS 2000-4000 mg/L tidak menunjukkan peningkatan reduksi COD. Hal ini disebabkan karena pada konsentrasi MLSS yang lebih tinggi (4000 mg/L) memiliki rasio F/M yang lebih kecil. Pada kondisi ini senyawa sederhana yang menjadi substrat bagi mikroorganisme diperkirakan telah terdegradasi secara optimal pada konsentrasi 2000 mg/L, sehingga walaupun konsentrasi MLSS ditingkatkan tidak terjadi pendegradasian senyawa organik yang signifikan. Pada MLSS 4000 mg/L, RT 24 jam, dan dosis xilanase 100 ppm, reduksi COD mencapai 34,51%. Sedangkan reduksi COD tertinggi mencapai 35,55% pada MLSS 2000 mg/L, RT 24 jam, dan dosis xilanase 50 ppm. Dibandingkan dengan hasil lumpur aktif tanpa xilanase yang hanya mencapai reduksi 31,12%, maka hal ini menunjukkan telah terjadi peningkatan reduksi COD sebesar 4,43%.

#### b. Aplikasi Selulase

##### Pengamatan Terhadap COD

Konsentrasi COD pada percobaan pengolahan air limbah menggunakan lumpur aktif dan selulase secara batch ditunjukkan pada Gambar 7. Pada perlakuan dengan selulase tanpa lumpur aktif, penambahan selulase dapat menyebabkan reduksi COD mencapai 33,85% pada dosis 50 ppm dan RT 24 jam. Pada proses ini, selulase mendegradasi organik selulosa dalam air limbah menjadi organik yang lebih sederhana, sehingga

reduksi COD-nya menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan reduksi oleh xilanase. Pada campuran selulase dan lumpur aktif, reduksi COD makin meningkat karena terjadi kerja simultan antara selulase dan lumpur aktif, yaitu selulase menghidrolisis senyawa selulosa menjadi senyawa-senyawa sederhana dilanjutkan oleh mikroorganisme lumpur aktif mendegradasi senyawa-senyawa sederhana hasil hidrolisis selulase tersebut. Penambahan dosis selulase dari 0-100 ppm dapat meningkatkan reduksi COD hampir pada semua perlakuan RT dan MLSS, namun peningkatannya tidak signifikan. Pada variasi RT dalam reaktor terjadi kecenderungan yang sama seperti pada penambahan xilanase, yaitu semakin lama RT dalam reaktor, semakin tinggi reduksi COD pada masing-masing perlakuan jumlah mikroorganisme. Sedangkan pada variasi MLSS 2000-4000 mg/L, tidak memberikan peningkatan terhadap reduksi COD. Pada MLSS 4000 mg/L, RT 24 jam, dan dosis selulase 100 ppm, reduksi COD mencapai 50,66%. Sedangkan pada MLSS 2000 mg/L, RT 24 jam, dan dosis selulase 100 ppm reduksi COD mencapai tertinggi 50,96%. Dibandingkan dengan hasil lumpur aktif tanpa selulase yang hanya mencapai reduksi 31,12%, hal ini menunjukkan peranan selulase dalam meningkatkan reduksi COD sebesar 19,84 %.



Gambar 7. Persentase Reduksi COD pada Percobaan Lumpur Aktif dan Selulase

## KESIMPULAN

- Enzim cukup prospektif digunakan dalam proses pengolahan air limbah. Penambahan xilanase atau selulase dapat meningkatkan reduksi pencemar COD.
- Proses lumpur aktif tanpa penambahan enzim, dapat mereduksi COD hanya 31,12%.
- Penambahan xilanase 50 ppm pada proses lumpur aktif (MLSS 2000 mg/L, 24 jam) dapat menaikkan reduksi COD menjadi 35,55%.
- Penambahan selulase 100 ppm pada proses lumpur aktif (MLSS 2000 mg/L, 24 jam) dapat menaikkan reduksi COD menjadi 50,96%.

## DAFTAR PUSTAKA

- Black, Jacquelyn G., 1999, *Microbiology, Principles and Explorations*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Brenda, 2008, "Brenda, The Comprehensive Enzyme Information System", <http://www.brenda-enzymes.info/>.
- Brigitte H., Christian S., and Peter A.W., 2002, Fate of Lignin in the Process of Aerobic Biological Treatment of Paper Mill Wastewater, *Acta hydrochimica et hydrobiologica*, 29(5):296-300, Wiley-VCH, <http://www3.interscience.wiley.com/journal/90010818>.
- Chupka, A.E., Lyalin, G.N. and Chupka, E.I., 1995, Spectral-luminescent properties of lignins in a cellulose matrix during thermal aging, *Journal of Applied Spectroscopy*, 62(6), Springer, New York.
- Damasceno, F.R, Freire, D.M, and Cammarota, M.C., 2008, Impact of the addition of an enzyme pool on an activated sludge system treating dairy wastewater under fat shock loads, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 83(5):730-738, John Wiley & Sons, Ltd., <http://www.ingentaconnect.com/>.
- Farabee, M.J., 2008, Reactions and Enzymes, <http://www.emc.maricopa.edu/faculty/farabee/BIOBK/BioBookEnzym.html>.
- Jeffries, T.W, 1996, Biochemistry and genetics of microbial xylanases", [http://calvin.biotech.wisc.edu/jeffries/xylanase\\_review/xyl\\_rev.html#RTFTOC3](http://calvin.biotech.wisc.edu/jeffries/xylanase_review/xyl_rev.html#RTFTOC3).
- Klopping, Paul H., Mashall, Jr., Richard H., Richard, Michael G., 1995, *Activated Sludge Operations for Pulp & Papermills*, Callan and Brooks Publishing Company, Corvallis, Oregon.
- Metcalf and Edy, 2004. *Wastewater Engineering, Treatment Disposal, Reuse*, Tata Mc Graw-Hill Publ. Co. Ltd., New Delhi.
- Monacelli, J.E. and Johnson, D.W., 1998, Black liquor gasifier, *US Patent No. 5752994*, [www.patentstorm.us/patents/5752994.html](http://www.patentstorm.us/patents/5752994.html).

- Neidleman, S.L. and Laskin, A.I., 1997, *Advances in Applied Microbiology*, Academic Press.
- Philippe, L.C., Duchateau, E.L., Scheeff, D.R., Verloop, A., 1998, Methods of improving productivity of black liquor recovery boilers, *US Patent No.6799526*  
<http://www.freepatentsonline.com/6799526.html>.
- Richana, N., 2002, Produksi dan Prospek Enzim Xilanase dalam Pengembangan Bioindustri di Indonesia, *Buletin AgroBio*, 5(1):29-36.
- Servos, M., 1996, Environmental Fate and Effects of Pulp and Paper Mill Effluents: Mill Effluents', CRC Press  
<http://books.google.com/books?id=cHll-vjxoXQC>.
- Smook, G.A. and Kocurek, M.J., 2001, *Handbook for Pulp & Paper Technologists*, Tappi & Canadian Pulp and Paper Association, Canada.
- Woodings, C., 2001, *Regenerated Cellulose Fibres*, Woodhead Publishing, England,  
<http://books.google.com/books?id=tufL4gBjZ2UC>.
- Wyman, C., 1996, *Handbook on Bioethanol: Production and Utilization*, Taylor & Francis.
- Yarema, K.J., 2005, *Handbook of Carbohydrate Engineering*, Taylor & Francis.
- Yin Li and Ryszard, J.C., 2006, "Microbial enzymatic activities in aerobic activated sludge model reactors", *Enzyme and Microbial Technology*, 39(4):568-572,  
<http://www.sciencedirect.com>.
-