

## POTENSI SELULASE DAN PENGARUH LAJU PEMBEBANAN PADA EFEKTIVITAS PENGOLAHAN AIR LIMBAH KERTAS PROSES LUMPUR AKTIF

Andri Taufick Rizaluddin\*, Sri Purwati

Balai Besar Pulp dan Kertas, Jl. Raya Dayeuhkolot 132 Bandung 40258

Diterima : 26 Juli 2016, Revisi akhir : 22 Desember 2016, Disetujui terbit : 30 Desember 2016

### POTENTIAL OF CELLULASE AND EFFECT OF LOADING RATE ON TREATMENT OF PAPER WASTEWATER OF ACTIVATED SLUDGE PROCESS

#### ABSTRACT

*As the effluent quality standards for industrial wastewater are becoming more stringent, it is important for the industry to improve their wastewater treatment efficiency. The research about potential of cellulase application in the activated sludge process has been done. Theoretically, the addition of cellulase was required to support the activity of microorganism on the activated sludge. Since cellulose is the major organic pollutant component in the wastewater, it was expected that cellulase addition could improve the performance of activated sludge process. The experiments were conducted in a continuous process and consisted of two treatments which were with and without activated sludge at about 2400 mg MLVSS/L. The variations in each treatment were the enzyme dosages of 0; 0.2; 0.5; and 0.7 unit/g COD, and the residence time of 4, 8, 12, and 24 hours. The experiment result showed that the addition of cellulase can increase COD and BOD reduction compared to the treatment without enzymes. The highest COD reduction increment was 7.9% at the enzyme dosage of 0.2 unit/g COD and the residence time of 4 hours, while the highest BOD reduction increment was 14.6% at the same enzyme dosage and residence time. In conclusion, cellulase application can be combined with the activated sludge process which will be effective in the high load organic wastewater.*

*Keywords: cellulase, activated sludge, chemical oxygen demand, biological oxygen demand*

#### ABSTRAK

Dengan semakin ketatnya baku mutu air limbah, peningkatan efisiensi dalam pengolahan limbah menjadi sangat penting bagi industri. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi selulase dan pengaruh laju pembebanan pada efektifitas pengolahan air limbah kertas sistem lumpur aktif. Secara teori, penambahan selulase diperlukan untuk membantu aktivitas mikroorganisme lumpur aktif. Dengan adanya kandungan selulosa sebagai komponen utama pencemar organik dalam air limbah, penambahan selulase diharapkan dapat meningkatkan kinerja proses lumpur aktif. Percobaan dilakukan dengan proses kontinyu yang terdiri dari dua perlakuan, yaitu tanpa dan dengan lumpur aktif pada MLVSS sekitar 2400 mg/L. Variasi pada setiap perlakuan berupa variasi dosis selulase (0; 0,2; 0,5; dan 0,7 unit/g COD) dan variasi laju pembebanan dengan mengatur waktu tinggal 4, 8, 12, dan 24 jam. Hasil percobaan menunjukkan bahwa perlakuan lumpur aktif dengan penambahan selulase dapat menghasilkan peningkatan reduksi COD dan BOD bila dibandingkan perlakuan tanpa menggunakan selulase. Peningkatan reduksi COD tertinggi mencapai 7,9% dengan perlakuan selulase dosis 0,2 unit/g COD dan waktu tinggal 4 jam, sedangkan peningkatan reduksi BOD tertinggi mencapai 14,6%. Perlakuan selulase dapat dikombinasikan dengan proses lumpur aktif yang berjalan efektif pada waktu tinggal yang lebih singkat atau pada beban tinggi.

Kata kunci: selulase, lumpur aktif, *chemical oxygen demand*, *biological oxygen demand*

\* Alamat korespondensi :  
E-mail: andritr3@gmail.com

## PENDAHULUAN

Industri pulp dan kertas merupakan industri yang banyak mengeluarkan air limbah sehingga penting bagi industri untuk mengolahnya agar sesuai dengan peraturan yang berlaku. Dengan semakin ketatnya baku mutu air limbah industri yang merupakan batas maksimum air limbah yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan (KemenLH, 2014) telah mendorong industri pulp dan kertas untuk terus meningkatkan efisiensi dalam pengolahan limbahnya agar dapat tetap memenuhi baku mutu yang berlaku.

Pada umumnya, penanganan air limbah di industri pulp dan kertas menggunakan pengolahan biologi sistem lumpur aktif sebagai pengolahan air limbahnya. Pengolahan biologi menjadi pilihan karena selain lebih efektif untuk pengolahan air limbah organik juga relatif lebih murah dibandingkan pengolahan kimia. Namun, keberhasilan pengolahan biologi sangat tergantung pada aktivitas dan kemampuan mikroorganisme pendegradasi bahan organik dalam air limbah. Beban organik yang tinggi dalam air limbah pulp dan kertas dapat menyebabkan kendala pada proses pengolahan lumpur aktif, yaitu kemampuan biodegradasi mikroba aerob menjadi menurun terutama untuk organik kompleks seperti lignin dan selulosa (Richard, 2003; Lei, Chen and Li, 2013).

Selulosa merupakan polimer linier ikatan glukosa melalui ikatan  $\alpha$ -1,4- dan umumnya tersusun dalam struktur mikrokristalin yang sangat sulit untuk dilarutkan atau dihidrolisis secara alami serta sangat stabil dalam banyak kondisi kimia. Senyawa polimer selulosa termasuk kompleks dengan derajat polimerisasi (DP) rantai selulosa berkisar 500 – 25.000 (Shaikh, 2010). Dengan karakteristik tersebut, selulosa merupakan substrat dalam air limbah yang cukup sulit didegradasi oleh mikroba aerob. Dalam proses pembuatan kertas banyak serat-serat selulosa yang tersisihkan dan masuk ke dalam air limbah, terutama dari *white water* yang merupakan keluaran drainase selama proses pembentukan lembaran kertas.

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. Dalam proses lumpur aktif terjadi penguraian senyawa organik oleh mikroorganisme yang terdiri atas bakteri, berlangsung optimal, jika jumlah substrat, DO, dan nutrisi tersedia pada konsentrasi yang sesuai (Aonofriesei and Petrosanu, 2007; Ahansazan *et al.*, 2014).

Selulase adalah enzim yang dapat menghidrolisis selulosa menjadi  $\beta$ -glukosa. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa enzim ini memainkan peran berbeda secara kooperatif dalam menghidrolisis selulosa menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana (Jin, 2010). 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 glukohidrolase (endoglukanase); (2) 1,4- $\beta$ -D-glukan sellobiohidrolase dan 1,4- $\beta$ -D-glukan glukohidrolase (eksoglukanase); (3)  $\beta$ -D-glukosida glukohidrolase ( $\beta$ -glukosidase). Berat molekul selulase berkisar 5.600 – 89.000 (Shaikh, 2010; Zhang and Zhang, 2013; Brenda, 2016).

Proses pengolahan air limbah secara lumpur aktif pada prinsipnya memanfaatkan populasi mikroba aerob yang hanya mampu merombak senyawa organik sederhana. Pemutusan rantai kompleks senyawa selulosa yang terkandung dalam air limbah kertas menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana oleh enzim akan meningkatkan proses biodegradasi secara aerobik dalam pengolahan sistem lumpur aktif karena lebih mudah digunakan oleh sel mikroba.

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa senyawa organik dapat dihidrolisis oleh enzim menjadi senyawa-senyawa dengan molekul lebih sederhana (Singh *et al.*, 2009; Jin, 2010; Maeda *et al.*, 2011; Zhao *et al.*, 2011; Mugdha and Usha, 2012). Reaksi enzim bersifat spesifik terhadap substrat sehingga mempermudah proses pemutusan suatu rantai kompleks tertentu untuk kemudian dibiodegradasi lanjut oleh mikroba aerobik.

Beban organik merupakan parameter operasi penting yang berpengaruh pada kinerja proses lumpur aktif, yang didefinisikan sebagai aplikasi dari jumlah materi organik dalam unit volume air limbah per unit waktu. Untuk lumpur aktif, penentuan beban organik umumnya menggunakan parameter *Food/Microorganism* (F/M) dan waktu tinggal (*residence time*) dengan besaran F/M untuk lumpur aktif konvensional

pada kondisi normal berada pada kisaran 0,2-0,5 kg BOD/kg MLVSS/hari (Springer, 2000). Laju beban organik pada sistem pengolahan air limbah lumpur aktif di industri kertas sering mengalami fluktuasi bahkan cenderung tinggi yang berakibat menurunkan kinerja pengolahan. Dengan beban organik yang cenderung tinggi tersebut, dibutuhkan efisiensi pengolahan yang tinggi pula untuk dapat memenuhi baku mutu yang berlaku sesuai PerMen LH No.5 tahun 2014 (KemenLH, 2014).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi penggunaan selulase dan pengaruh laju pembebanan pada efektivitas pengolahan pencemar organik pada air limbah industri kertas pada sistem pengolahan air limbah proses lumpur aktif. Percobaan pengolahan air limbah ini dilakukan secara kontinu pada kondisi operasi lumpur aktif secara normal sebagai pembanding, dan untuk mengetahui kondisi operasi yang efektif dan efisien dari penggunaan selulase pada berbagai pengaruh laju beban. Penelitian ini merupakan lanjutan dari penelitian pengolahan air limbah sebelumnya yang dilakukan secara *batch* (Syamsudin, Purwati and Rizaluddin, 2008). Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai dasar pemikiran untuk aplikasi teknologi enzim dalam sistem pengolahan air limbah di industri pulp dan kertas.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

Air limbah yang digunakan sebagai bahan percobaan diambil dari saluran air limbah pabrik kertas berbahan baku kertas bekas. Bibit mikroba

sebagai lumpur aktif pada percobaan ini diperoleh dari IPAL proses lumpur aktif dari industri kertas sejenis yang diaerasi dan diberi nutrisi untuk mengaktifkan kembali mikroba. Bahan kimia yang digunakan adalah beberapa bahan kimia untuk uji parameter pengamatan antara lain BOD, COD, pH, dan TSS.

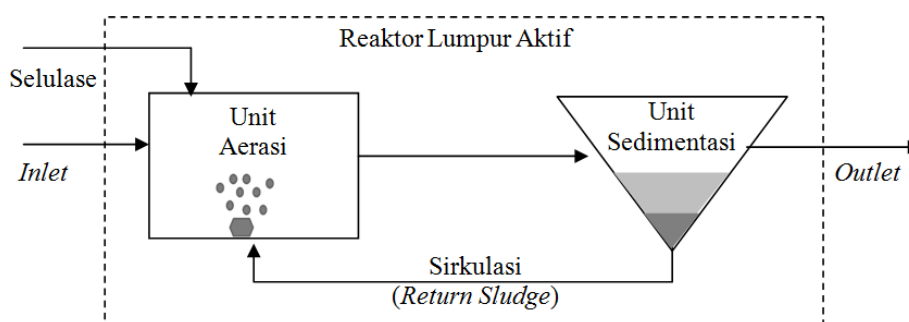
Enzim yang digunakan berupa selulase dengan aktivitas 27,4 unit/mL yang diperoleh dari Bioteknologi-LIPI Cibinong. Metode pengukuran aktivitas enzim yang digunakan mengacu pada metode *Measurement of Cellulase Activities* (Ghose, 1987) dengan penyimpanan selulase dilakukan di dalam lemari es dengan suhu sekitar 3 °C.

### Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian antara lain:

- empat unit reaktor dari bahan *fiber glass* yang berupa kolom aerasi terbuka yang dilengkapi dengan *diffuser aerator*, serta kolom sedimentasi yang volumenya masing-masing tujuh liter, dioperasikan untuk percobaan pengolahan secara kontinu.
- dua unit reaktor dengan volume 14 liter yang dilengkapi *diffuser aerator*, berfungsi untuk proses aklimatisasi lumpur aktif.
- satu unit reaktor lumpur aktif secara *batch* yang dilengkapi dengan *diffuser aerator* berfungsi untuk membiakkan lumpur aktif.

Diagram alir percobaan proses lumpur aktif kontinu dapat dilihat pada Gambar 1. Beberapa alat-alat pendukung, antara lain: DO meter untuk kontrol konsentrasi oksigen terlarut



Gambar 1. Skema rangkaian reaktor lumpur aktif konvensional kontinu

dalam unit aerasi, pompa dosis untuk mengatur debit air limbah *inlet* ke dalam reaktor kontinyu, gelas ukur ukuran 1 liter untuk mengukur SVI. Peralatan uji untuk mengukur BOD, COD, pH, dan TSS, antara lain pH meter, oven, desikator, dan spektrofotometer.

## Metode

Pengertian dari BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi materi organik sederhana yang terkandung dalam air limbah melalui aktivitas mikroorganisme selama suatu periode inkubasi 5 hari secara biokimia pada suhu tertentu (20°C). Sementara, pengertian COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi materi organik yang terdapat pada air limbah menggunakan oksidator kuat (kalium dikromat atau permanganat) dalam media asam kuat. Nilai COD umumnya lebih besar dari BOD karena oksidator kuat dapat mengoksidasi seluruh materi organik termasuk senyawa kompleks seperti selulosa yang dominan terkandung dalam air limbah kertas dan senyawa lignin dalam air limbah pulp (Springer, 2000; Arrojo, 2007).

Tahapan percobaan ini meliputi: karakterisasi air limbah, penyediaan lumpur aktif awal, proses pertumbuhan dan aklimatisasi lumpur aktif, serta percobaan pengolahan air limbah secara lumpur aktif, dengan dan tanpa penggunaan selulase pada berbagai laju beban

### a. Karakterisasi Air Limbah

Karakterisasi pencemar organik, anorganik, dan nutrisi air limbah meliputi parameter pH, *Total Suspended Solid* (TSS), COD, BOD, N terlarut, dan selulosa dengan metode mengacu pada SNI 06-6989.2-2004 (COD), SNI 06.6989.3-2004 (TSS), Standard Methods 2005 (BOD, N terlarut, MLVSS), dan SNI 0444:2009 (Selulosa). Pengujian parameter pencemar dilakukan di laboratorium pengujian air limbah Balai Besar Pulp dan Kertas.

### b. Penyediaan *Starter* Lumpur Aktif dan Aklimatisasi Media Pertumbuhan

*Starter* lumpur aktif dikembangbiakkan sebagai stok dalam media pertumbuhan dengan penambahan nutrisi dan diaerasi pada kondisi DO 3-4 mg/L. Proses aklimatisasi lumpur aktif

terhadap air limbah yang akan diolah dilakukan secara kontinyu pada MLVSS awal 2400 mg/L dan waktu tinggal 24 jam dengan menggunakan media pertumbuhan yang berasal dari air limbah pabrik kertas di mana lumpur aktif tersebut berasal. Proses aklimatisasi dilakukan secara bertahap dengan meningkatkan konsentrasi air limbah yang akan diolah dari 25, 50, 75, dan 100%. Pengamatan dilakukan setiap dua hari sekali terhadap aliran masuk COD dan aliran keluar COD untuk setiap tahapan peningkatan konsentrasi air limbah yang berlangsung selama 1 minggu.

Lumpur aktif dianggap sudah teraklimatisasi terhadap air limbah dengan konsentrasi lebih tinggi bila efisiensi reduksi COD sudah relatif sama dengan efisiensi sebelumnya. Beban organik *Food/Microorganism* (F/M) untuk penyediaan starter lumpur aktif adalah sekitar 0,24 – 0,27 g COD/ g MLVSS.hari, sedangkan beban organik pada proses aklimatisasi dengan pertimbangan rasio F/M yang umum untuk lumpur aktif konvensional yaitu 0,2 – 0,5 g BOD/ g MLVSS.hari. Atas dasar konversi dari BOD menjadi COD dengan rasio COD/BOD adalah 1,9; maka beban organik untuk proses aklimatisasi lumpur aktif tersebut menjadi 0,38 – 0,95 g COD/ g MLVSS.hari.

### c. Percobaan Pengolahan Air Limbah Perlakuan Enzim secara *Batch*

Sebelum dilakukan percobaan pengolahan air limbah secara kontinyu, dilakukan percobaan pengolahan air limbah secara *batch* untuk mengetahui pengaruh perlakuan dosis selulase terhadap reduksi pencemar organik COD. Percobaan *batch* dilakukan pada variasi dosis selulase 0; 0,5; 1,0; 1,5 dan 2,0 unit/g COD dengan waktu tinggal 24 jam dan pH 6. Percobaan *batch* ini dilakukan untuk mengkonfirmasi dengan percobaan sebelumnya (Syamsudin, Purwati and Rizaluddin, 2008), dan untuk menentukan kisaran dosis enzim yang akan diaplikasikan ke pengolahan lumpur aktif.

### d. Percobaan Pengolahan Lumpur Aktif Kontinyu dengan Perlakuan Selulase dan Laju Beban

Percobaan pengolahan air limbah secara kontinyu dilakukan pada lumpur aktif tanpa dan



dengan perlakuan selulase. Untuk mendapatkan kondisi operasi optimal digunakan perlakuan percobaan meliputi variasi dosis selulase dan waktu tinggal sebagai laju beban. Percobaan proses lumpur aktif dilakukan pada MLVSS 2400 mg/L dengan variasi dosis selulase 0; 0,2; 0,5 dan 0,7 unit/g COD dan variasi waktu tinggal 4, 8, 12 dan 24 jam dengan frekuensi ulangan sebanyak dua kali. Parameter pengamatan terdiri dari parameter BOD dan COD. Beban organik *Food/Microorganism* (F/M) untuk lumpur aktif proses ini adalah sekitar 0,5 g COD/ g MLVSS. hari untuk waktu tinggal 24 jam (beban rendah). Untuk perlakuan laju pembebanan lebih tinggi diperlukan pengaturan mempersingkat waktu tinggal hingga 4 jam.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Air Limbah

Karakteristik air limbah yang digunakan untuk percobaan ini dapat dilihat pada Tabel 1. Karakterisasi ini menunjukkan bahwa air limbah bersifat sedikit asam dengan pH 5,96 sehingga memerlukan penetralan terlebih dahulu. Kadar padatan tersuspensi (TSS) yang relatif rendah (200 mg/L) menunjukkan bahwa pencemar air limbah tersebut lebih bersifat terlarut sehingga dapat langsung dilakukan pengolahan secara biologi.

Ditinjau dari nilai COD dan BOD yang cukup tinggi dan rasio BOD/COD sebesar 0,52, air limbah awal memiliki tingkat pencemaran organik kompleks yang cukup tinggi, namun masih dapat dibiodegradasi oleh mikroba lumpur aktif.

Hasil karakterisasi juga menunjukkan bahwa air limbah mengandung selulosa sebesar 680 mg/L. Dengan adanya kandungan selulosa dalam air limbah, penambahan selulase akan memutus rantai selulosa, menghidrolisis selulosa menjadi senyawa yang lebih sederhana sehingga akan memudahkan mikroba untuk menguraikan dan menurunkan tingkat pencemaran organik yang direpresentasikan oleh COD dan BOD. Kandungan unsur N dalam air limbah mengindikasikan ketersediaan nutrisi potensial untuk penggunaan pengolahan biologi.

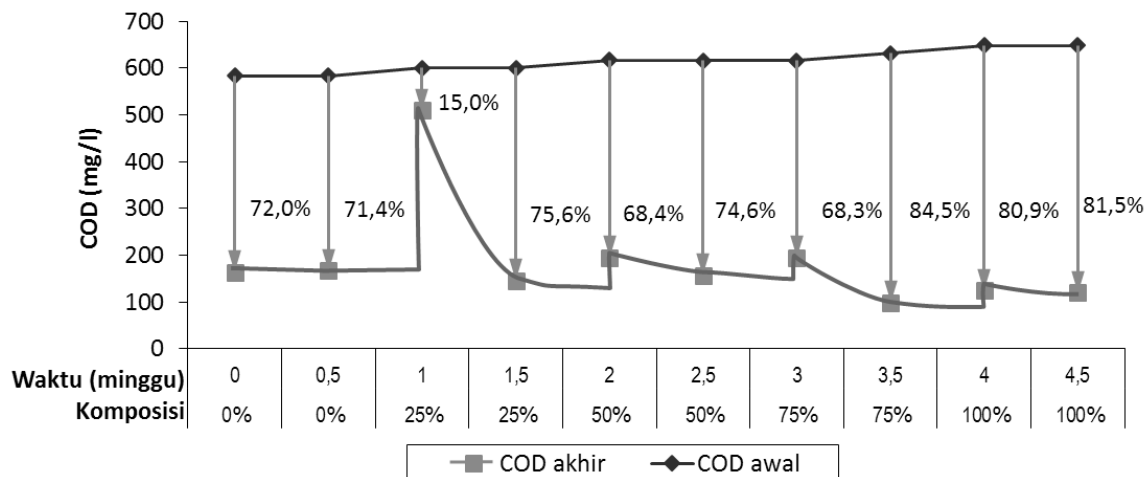
### Proses Pertumbuhan dan Aklimatisasi Lumpur Aktif

Proses aklimatisasi dimaksudkan untuk penyesuaian mikroorganisme terhadap air limbah baru atau yang akan diolah secara bertahap sehingga kemampuan biodegradasinya dapat maksimal. Pertumbuhan mikroorganisme diamati melalui analisa MLVSS dan kemampuan biodegradasi diamati melalui efisiensi reduksi COD. Kemampuan biodegradasi mikroba lumpur aktif pada proses aklimatisasi ditampilkan pada Gambar 2.

Perkembangan efisiensi reduksi COD selama proses aklimatisasi yang merupakan pengurangan nilai COD sebelum (awal) dan setelah aklimasi yang ditampilkan pada Gambar 2. menunjukkan kecenderungan stabil pada efisiensi reduksi sekitar 80 %. Berarti kemampuan biodegradasi lumpur aktif selama proses aklimatisasi cukup tinggi yang artinya lumpur aktif secara bertahap dapat menyesuaikan diri terhadap karakteristik air limbah yang akan diolah. Pada peningkatan

Tabel 1. Karakterisasi air limbah awal (influen)

Parameter	Satuan	Nilai	Baku Mutu Air Limbah untuk Pulp Berbahan Baku Kertas Bekas (PerMenLH No.5/2014)
pH	-	5,96	Netral
TSS	mg/L	200	100
COD	mg/L	1326	300
BOD	mg/L	689	100
N terlarut	mg/L	0,43	-
Selulosa	mg/L	680	-



Gambar 2. Kurva kemampuan biodegradasi lumpur aktif pada proses aklimatisasi

konsentrasi air limbah selama proses aklimatisasi dari 0% --100% tidak menunjukkan adanya *shock loading* di dalam aktivitas mikroorganisma

Reduksi COD mencapai 71-85% selama 4,5 minggu proses aklimatisasi, dengan beban organik diawali dari 0,24 gr COD/gr MLSS.hari dan secara bertahap meningkat hingga 0,5 gr COD/gr MLVSS.hari.

### Percobaan Pengolahan Air Limbah Proses Lumpur Aktif

#### a. Percobaan Secara *Batch*

Hasil percobaan pengolahan air limbah secara *batch* dapat dilihat pada Tabel 2, dimana terlihat bahwa penambahan dosis selulase menyebabkan kenaikan reduksi pencemar organik. Semakin tinggi dosis selulase yang diberikan, akan semakin besar reduksi pencemar organik yang dihasilkan. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya (Syamsudin, Purwati and Rizaluddin, 2008).

Tabel 2 menunjukkan bahwa pengolahan secara *batch* selama 24 jam sudah dapat menghasilkan kadar pencemaran COD yang berada di bawah baku mutu. Penambahan dosis terkecil sebesar 0,5 unit/g COD.hari sudah dapat menurunkan nilai COD hingga 130,7 mg/L (di bawah 300 mg/l). Dengan penambahan dosis selulase yang lebih besar berarti kadar COD dapat lebih diturunkan lagi, namun hal ini menjadi tidak ekonomis.

### Percobaan Lumpur Aktif Secara Kontinyu

#### Oksigen Terlarut (DO)

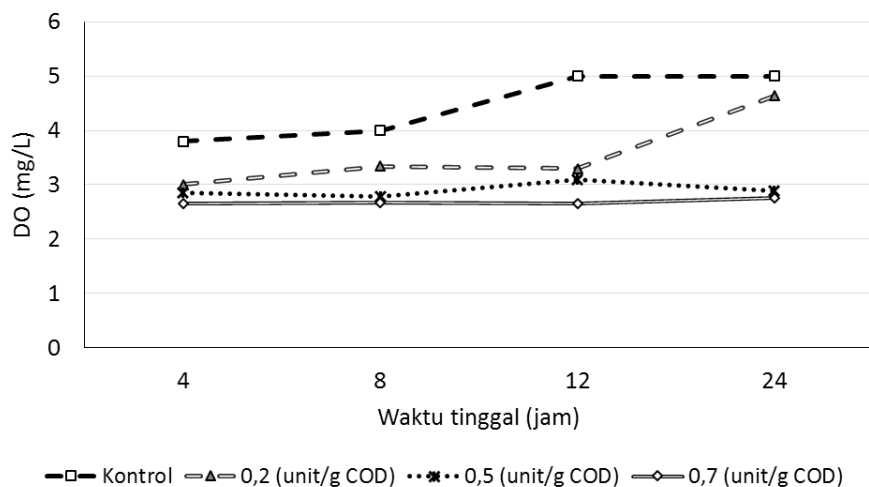
Konsentrasi DO pada percobaan pengolahan air limbah tanpa dan dengan menggunakan selulase pada sistem lumpur aktif secara kontinyu ditunjukkan pada Gambar 3. Pengukuran konsentrasi DO dilakukan sekitar 4 jam setelah pemasukan air limbah.

Konsentrasi oksigen terlarut pada sistem lumpur aktif seluruhnya memberikan nilai  $DO > 2$  mg/L sehingga sudah memenuhi kebutuhan mikroba. Hasil pengamatan nilai DO memperlihatkan adanya pengaruh aplikasi selulase terhadap konsentrasi DO, semakin tinggi dosis selulase menunjukkan penurunan konsentrasi DO walau dengan pasokan udara yang tetap, hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya (Syamsudin, Purwati and Rizaluddin, 2008). Adanya penurunan DO tersebut menunjukkan terjadinya aktivitas enzim dan mikroba lumpur aktif yang bersama-sama mengkonsumsi oksigen untuk proses biodegradasi organik.

Pengamatan terhadap adanya penurunan DO air limbah sejalan dengan makin tingginya penggunaan selulase, menunjukkan bahwa penggunaan dosis selulase sebaiknya tidak lebih dari 0,7 unit/g COD. Hal ini dimaksudkan untuk mencegah turunnya DO hingga  $< 2$  mg/L, dikarenakan peningkatan dosis enzim dapat menurunkan kandungan DO pada air

Tabel 2. Data perlakuan dosis selulase terhadap reduksi COD

No	Dosis Selulase (unit/g COD.hari)	COD (mg/L)	Reduksi COD (%)	Pemenuhan Baku Mutu Air Limbah
Inlet	0	1326,0	-	-
1	0	154,6	88,3	Memenuhi
2	0,5	130,7	90,1	Memenuhi
3	1,0	126,7	90,4	Memenuhi
4	1,5	100,8	92,4	Memenuhi
5	2,0	88,5	93,3	Memenuhi



Gambar 3. Data DO (mg/L) rata-rata pada percobaan lumpur aktif dan selulase

limbah yang diperlukan mikroba lumpur aktif sehingga dapat menyebabkan tidak terpenuhinya kebutuhan oksigen bagi mikroba lumpur aktif untuk mendegradasi pencemar organik dalam air limbah .

Selanjutnya, dosis perlakuan selulase yang dipilih untuk dikombinasikan dengan proses lumpur aktif secara kontinyu adalah 0; 0,2; 0,5 dan 0,7 unit/g COD.hari dengan waktu tinggal 4 – 24 jam. Dasar pertimbangan pemilihan dosis adalah bahwa pada dosis tersebut diperkirakan sudah dapat mencapai baku mutu yang disyaratkan. Selain itu, penambahan dosis selulase lebih dari 0,7 unit/g COD dikhawatirkan dapat menyebabkan penurunan kadar DO hingga di bawah 2 mg/L. Penambahan pasokan udara yang lebih besar tidak dilakukan karena akan berpengaruh terhadap pembentukan buih yang akan mengganggu proses lumpur aktif.

### Pengaruh Selulase pada Proses Lumpur Aktif Efektivitas Reduksi COD

Pengaruh penambahan selulase terhadap tingkat reduksi COD pada percobaan pengolahan air limbah proses lumpur aktif secara kontinyu ditunjukkan pada Gambar 4. Pada dosis selulase yang tetap, terlihat bahwa bertambahnya waktu tinggal (dari 4 jam menuju 24 jam) atau makin rendah laju pembebanan maka reduksi COD cenderung semakin besar, atau nilai COD cenderung semakin kecil. Hal ini mengindikasikan bahwa hasil reaksi enzimatik selulase dapat membantu mikroba lumpur aktif dalam mereduksi bahan pencemar yang berada pada air limbah, terutama selulosa yang bersifat kompleks. Selulase menghidrolisis senyawa kompleks khususnya selulosa menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana (Jin,

2010) dilanjutkan dengan mikroba lumpur aktif mendegradasi senyawa-senyawa yang lebih sederhana hasil hidrolisis selulase tersebut.

Peningkatan reduksi COD tertinggi mencapai 7,9 %, terjadi pada dosis selulase 0,2 unit/g COD dan waktu tinggal 4 jam (Gambar 4). Hal ini menunjukkan bahwa selulase memiliki potensi lebih baik pada waktu tinggal yang singkat atau pada beban tinggi 2,7 g COD/g MLVSS.hari. Selulase yang digunakan pada penelitian ini terlihat memiliki potensi lebih efektif pada dosis kecil (0,2 unit/g COD), karena dengan dosis lebih besar (0,5 dan 0,7 unit/g COD) tidak menunjukkan hasil yang lebih baik. Hal ini disebabkan dengan bertambahnya dosis selulase akan bertambah pula konsumsi DO untuk menghidrolisis senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Dengan demikian meningkatnya BOD sebagai hasil aktivitas selulase adalah sebagai substrat mikroba lumpur aktif yang harus dibiodegradasi. Hal ini akan menjadikan kurang optimalnya aktivitas mikroorganisme karena penambahan dosis selulase tidak diikuti dengan pertambahan pasokan udara yang masuk ke dalam reaktor.

**Efektivitas Reduksi BOD**

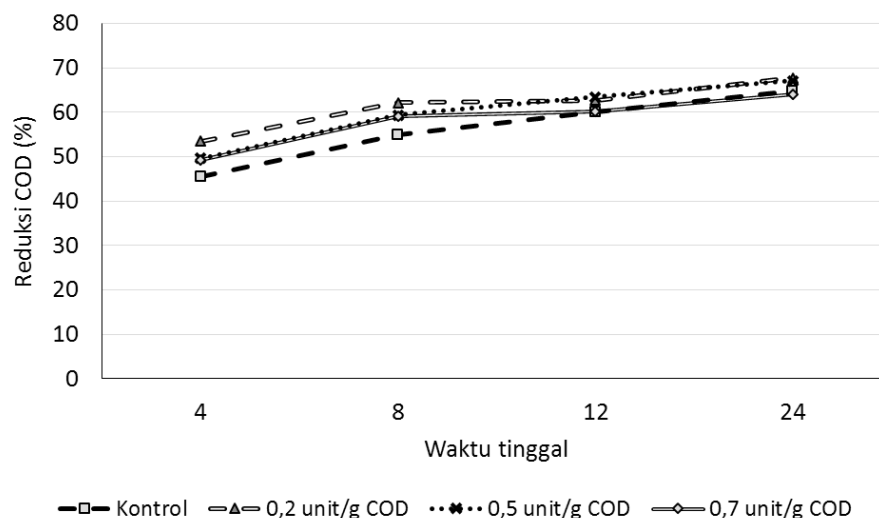
Reduksi BOD pada percobaan pengolahan air limbah menggunakan lumpur aktif dengan penambahan selulase secara kontinyu ditunjukkan pada Gambar 5. Hasil analisis BOD menunjukkan bahwa variasi perlakuan waktu tinggal 4 hingga

24 jam akibat pengolahan dan penambahan selulase 0,2 - 0,7 unit/g.COD berpotensi dapat meningkatkan reduksi BOD. Pada pengaruh waktu tinggal, terlihat bahwa pada dosis selulase yang tetap, terlihat bahwa dengan bertambahnya waktu tinggal maka reduksi BOD cenderung semakin besar, atau dengan kata lain nilai BOD cenderung semakin kecil. Hal ini sejalan dengan pengamatan sebagaimana terjadi pada pengamatan COD yaitu mengindikasikan terjadinya kerja simultan antara selulase dan lumpur aktif, yaitu selulase menghidrolisis senyawa kompleks khususnya selulosa menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana dilanjutkan dengan mikroba lumpur aktif mendegradasi senyawa-senyawa yang hasil hidrolisis tersebut.

Sama halnya dengan peningkatan reduksi COD, peningkatan reduksi BOD tertinggi mencapai 14,6 % juga terjadi pada dosis selulase 0,2 unit/g COD dan waktu tinggal 4 jam (Gambar 5). Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi selulase memiliki potensi lebih baik pada waktu tinggal yang singkat atau pada laju beban lebih tinggi (2,7 g COD/g MLVSS.hari).

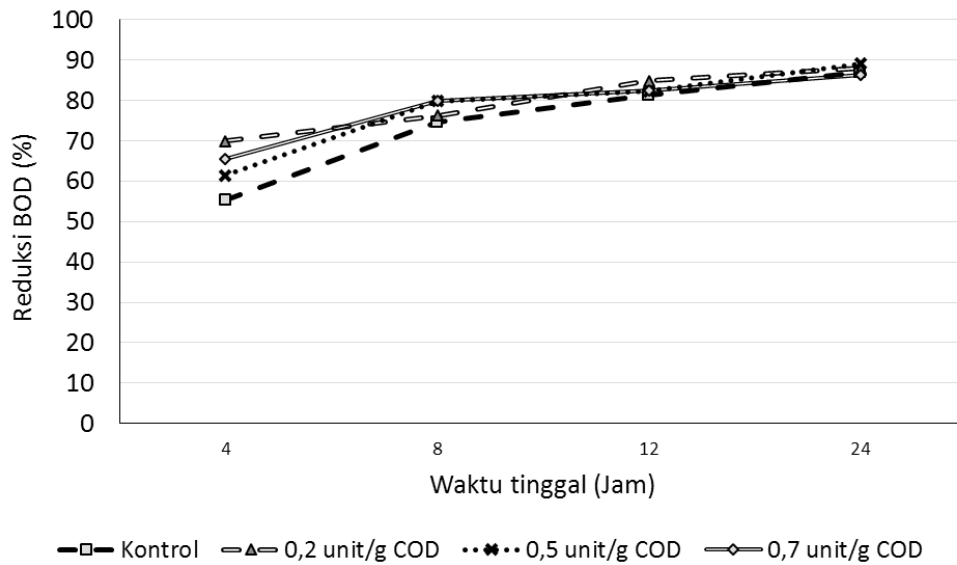
**Pengamatan terhadap Rasio BOD / COD**

Pada prinsipnya penambahan selulase pada air limbah dapat menguraikan kandungan senyawa kompleks dalam air limbah menjadi senyawa lebih sederhana yang bersifat mudah dibiodegradasi sehingga akan meningkatkan nilai BOD yang

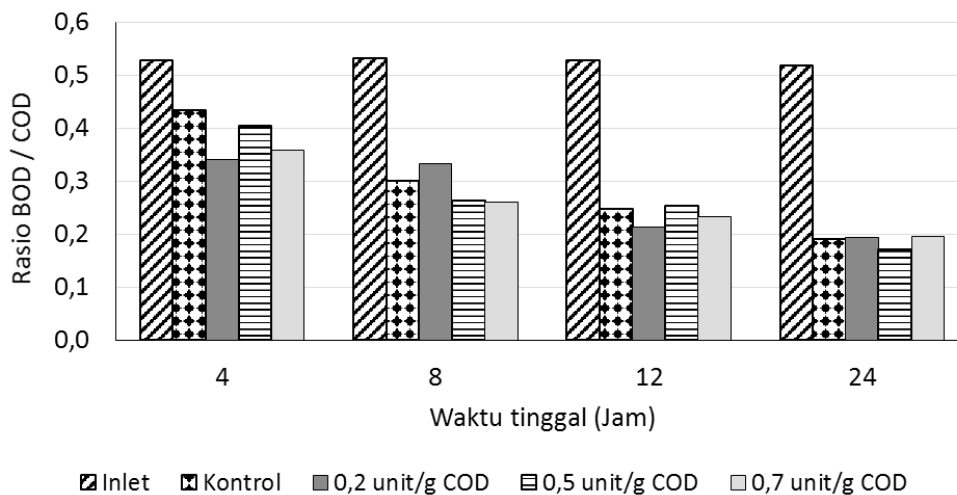


Gambar 4. Pengaruh penambahan selulase terhadap % reduksi COD dalam lumpur aktif





Gambar 5. pengaruh penambahan selulase terhadap % reduksi BOD dalam lumpur aktif



Gambar 6. Pengaruh penambahan selulase terhadap rasio BOD/COD

berarti bahwa rasio BOD/COD akan meningkat dibandingkan dengan air limbah sebelumnya. Kondisi air limbah berada pada zona mudah dibiodegradasi dengan rasio BOD/COD antara 0,5 – 0,8 berarti air limbah dapat diolah langsung dengan proses lumpur aktif (Samudro dan Mangkuedihardjo, 2010). Pada Gambar 6, terlihat bahwa rasio BOD/COD setelah pengolahan lumpur aktif tanpa selulase cenderung menurun seiring dengan bertambahnya waktu tinggal. Hal ini menunjukkan bahwa proses biodegradasi oleh mikroba lumpur aktif hanya berlangsung terhadap organik sederhana yang ditandai dengan

menurunnya nilai BOD, yang menyebabkan turunnya rasio BOD/COD. Pada pengolahan lumpur aktif dengan penambahan dosis selulase, rasio BOD/COD mengalami kecenderungan relatif tetap atau tidak terjadi perubahan yang signifikan. Bahkan pada waktu tinggal 24 jam, rasio BOD/COD setelah pengolahan lumpur aktif dengan dan tanpa selulase memiliki nilai yang relatif sama. Keadaan ini menunjukkan pada beban rendah, penambahan selulase pada proses lumpur aktif tidak berjalan efektif. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh penambahan selulase yang mengakibatkan proses hidrolisis senyawa kompleks selulosa menjadi

senyawa-senyawa yang lebih sederhana sehingga nilai BOD akan naik yang mengakibatkan beban organik BOD proses lumpur aktif menjadi tinggi. Namun pada penelitian ini peningkatan beban organik ini tidak diiringi oleh penambahan suplai oksigen untuk meningkatkan kinerja lumpur aktif.

## KESIMPULAN

Ditinjau dari aspek teknis, selulase memiliki potensi digunakan pada sistem pengolahan air limbah industri kertas proses lumpur aktif untuk meningkatkan reduksi pencemar organik kompleks terutama selulosa. Pengaruh selulase terhadap peningkatan reduksi COD dan BOD tergantung pada dosis penambahan selulase, waktu tinggal atau laju pembebanan, dan ketersediaan oksigen terlarut (DO) dalam sistem lumpur aktif. Potensi selulase terlihat dapat meningkatkan reduksi COD dan BOD pada sistem lumpur aktif yang dioperasikan dengan waktu tinggal singkat atau pada beban organik tinggi. Sementara itu, pada waktu tinggal relatif lebih lama atau beban organik lebih rendah, penggunaan selulase relatif kurang memberikan pengaruh dalam peningkatan reduksi COD dan BOD. Peningkatan dosis selulase pada air limbah dapat mempengaruhi menurunnya kandungan DO sehingga dapat mempengaruhi menurunnya kinerja proses lumpur aktif. Aplikasi enzim pada lumpur aktif akan membutuhkan penambahan pasokan udara yang semakin besar sehingga akan berpengaruh juga terhadap pembentukan buih yang mengganggu proses lumpur aktif dan kebutuhan energi yang diperlukan. Walaupun hasilnya belum signifikan, penambahan selulase memperlihatkan peningkatan reduksi COD dan BOD dibandingkan dengan pengolahan lumpur aktif tanpa penambahan selulase. Peningkatan reduksi COD sebesar 7,9 % dan BOD sebesar 14,6 % dicapai pada penambahan selulase 0,2 unit/g COD dan waktu tinggal 4 jam dengan laju beban organik sebesar 2,7 g COD/g MLVSS. hari. Potensi selulase pada sistem pengolahan air limbah memerlukan penentuan jenis dan dosis selulase yang digunakan, dan pengaturan kondisi operasi terutama sistem aerasi serta laju beban yang sesuai pada sistem lumpur aktif.

## SARAN

Pada penelitian ini, selulase yang digunakan memiliki aktivitas cukup kecil sehingga dari hasil

penelitian ini diharapkan dapat memiliki peluang memberikan efisiensi pengolahan lebih baik dengan selulase yang memiliki aktivitas lebih besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahansazan, B., Afrashteh, H., Ahansazan, N. and Ahansazan, Z. (2014) 'Activated Sludge Process Overview', *International Journal of Environmental Science and Development*, 5(1), pp. 81–85.
- Aonofriesei, F. and Petrosanu, M. (2007) 'Activated Sludge Bulking Episodes and Dominant Filamentous Bacteria At Waste Water Treatment Plant Constanța Sud (Romania)', in *Proceedings of the Romanian Academy, Series B*, pp. 83–87.
- Arrojo, B. (2007) *Advanced Systems for Biological Treatment of High Nitrogen-loaded Wastewater*. Universidade De Santiago De Compostela.
- Brenda (2016) *Cellulase*, [http://www.brenda-enzymes.info/search\\_result.php?quicksearch=1&noOfResults=10&a=9&W\[2\]=cellulase&T\[2\]=2](http://www.brenda-enzymes.info/search_result.php?quicksearch=1&noOfResults=10&a=9&W[2]=cellulase&T[2]=2).
- Ghose, T. K. (1987) 'Measurement of Cellulase Activities', *Pure and Applied Chemistry*, 59(2), pp. 257–268.
- Jin, X. (2010) *Breaking Down Cellulose*, <http://large.stanford.edu/courses/2010/ph240/jin2/>.
- KemenLH (2014) *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah*, <http://peraturan.go.id/permen/kemenlh-nomor-5-tahun-2014.html>.
- Lei, L., Chen, S. and Li, Y. (2013) 'Effect of Biological Treatment on Characteristics of Soluble Organic Compounds in Hardwood KP Bleaching Effluent', *BioResources*, 8(3), pp. 4349–4358.
- Maeda, R. N., Serpa, V. I., Rocha, V. A. L., Mesquita, R. A. A., Anna, L. M. M. S., de Castro, A. M., Driemeier, C. E., Pereira Jr, N. and Polikarpov, I. (2011) 'Enzymatic Hydrolysis of Pretreated Sugar Cane Bagasse using *Penicillium funiculosum* and *Trichoderma harzianum* Cellulases', *Process Biochemistry*. Elsevier Ltd, 46(5), pp. 1196–1201.
- Mugdha, A. and Usha, M. (2012) 'Enzymatic Treatment of Wastewater Containing Dyestuffs using Different Delivery Systems', *Sci. Revs. Chem. Commun*, 2(1), pp. 31–40.
- Richard, M. (2003) 'Activated Sludge Microbiology Problems and Their Control', in *Proceedings of the 20th Annual USEPA National Operator Trainers Conference*. Buffalo, NY, pp. 1–21.

- Shaikh, M. A. (2010) 'Enzymes: A Revaluation in Textile Processing', *Pakistan Textile Journal*, 59(4), pp. 48–51.
- Singh, R., Varma, A. J., Seeta Laxman, R. and Rao, M. (2009) 'Hydrolysis of Cellulose Derived from Steam Exploded Bagasse by *Penicillium* Cellulases: Comparison with Commercial Cellulase', *Bioresource Technology*. Elsevier Ltd, 100(24), pp. 6679–6681.
- Springer, A. M. (2000) 'Overview of Water Pollutants and Their Impact: Pulp and Paper Industry', in Springer, A. M. (ed.) *Industrial Environmental Control: Pulp and Paper Industry*. 3rd edn. Atlanta: TAPPI Press, pp. 8–10.
- Syamsudin, Purwati, S. and Rizaluddin, A. T. (2008) 'Efektivitas Aplikasi Enzim Dalam Sistem Lumpur Aktif pada Pengolahan Air Limbah Pulp dan Kertas', *Berita Selulosa*, 43(2), pp. 83–92.
- Zhang, X. and Zhang, Y. P. (2013) 'Cellulases: Characteristics, Sources, Production, and Applications', in Yang, S.-T., El-Enshasy, H. A., and Thongchul, N. (eds) *Bioprocessing Technologies in Biorefinery for Sustainable Production of Fuels, Chemicals, and Polymers*. First. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., pp. 131–146.
- Zhao, G., Liu, Y., Zhao, M., Ren, J. and Yang, B. (2011) 'Enzymatic Hydrolysis and Their Effects on Conformational and Functional Properties of Peanut Protein Isolate', *Food Chemistry*. Elsevier Ltd, 127(4), pp. 1438–1443.

