

# PENGURANGAN LOGAM BERAT PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI PERCETAKAN DENGAN TEKNOLOGI BIOSORPSI

## (REDUCING OF HEAVY METALS FROM PRINTING WASTE WATER BY USING BIOSORPTION TECHNOLOGY)

Emmy Ratnawati, Sri Pudji Rahayu, Retno Yunilawati, dan Bumiarto Nugroho Jati

Balai Besar Kimia dan Kemasan, Kementerian Perindustrian  
Jl. Balai Kimia No.1 Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta Timur

E-mail : [emmyratna.hs@gmail.com](mailto:emmyratna.hs@gmail.com)

Received 23 Agustus 2011; revised : 12 September 2011; accepted 3 Oktober 2011

### ABSTRAK

Limbah cair industri pengguna tinta cetak mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3). Pada penelitian ini digunakan biosorben dari limbah hasil samping industri fermentasi bir yang mengandung khamir *Saccharomyces cerevisiae*. Biosorben dibuat dalam bentuk pelet (rendemen 24 g pelet per liter limbah bir dengan kadar air 9%), selanjutnya diaplikasikan di industri pengguna tinta cetak. Dari hasil penelitian kondisi optimum biosorpsi dengan variabel pH, berat biosorben dan waktu kontak diperoleh hasil optimum pada pH 10, berat biosorben 0,5 g/500 mL limbah percetakan dan waktu kontak 0,5 jam dapat menurunkan konsentrasi logam Pb sebesar 95,8% telah memenuhi baku. Selain itu juga terjadi penurunan Hg sebesar 95%. Penurunan nilai BOD dan COD dengan aerasi sebesar 37% dan 67% *effluent*-nya memenuhi baku mutu limbah cair. Hasil pengolahan secara biosorpsi akan dibandingkan pengolahan secara kimia fisika untuk menganalisa tekno ekonominya. Kebutuhan bahan kimia untuk pengolahan secara biosorpsi hanya untuk menaikkan pH, perlu 1 mL CaO 30 % atau Rp. 120,- /m<sup>3</sup> limbah cair percetakan. Sedangkan kebutuhan pelet biosorben 0,5 g/500 mL limbah cair percetakan, sehingga biaya operasional untuk pengolahan secara biosorpsi per-m<sup>3</sup> limbah cair percetakan adalah Rp. 120,- ditambah biaya angkut 41,6 liter limbah bir untuk menghasilkan 1 kg biosorben (Rp. 1667,- ) dan biaya pengeringan 1 kg biosorben (Rp. 4166,- ), sehingga total biaya Rp. 5954,- per-m<sup>3</sup> limbah percetakan. Sedangkan kebutuhan bahan kimia untuk pengolahan secara kimia fisika pada optimal pH 11, alum 10% 5 mL, flokulan 0,3 % 1 mL adalah Rp. 21.390,- per-m<sup>3</sup> limbah percetakan.

Kata Kunci : Biosorpsi, Logam berat, Limbah cair industri, Tinta cetak, Biosorben, *Saccharomyces cerevisie*, Ramah lingkungan

### ABSTRACT

*Waste water from printing industry contains hazardous and toxic materials. This research developed waste water treatment by using biosorbent from industrial byproduct of beer fermentation which contains Saccharomyces cerevisie. The biosorbent was made in the form of pellet (rendemen 24 g/L of beer waste water with water content 9%). This research indicates that the optimum bosorption occurred at pH 10 with biosorbent concentration 0.5 g/ 500 mL of waste water and contact time 0.5 hours. The condition also reduced Pb concentration from 4.77 mg/L to 0.20 mg/L (95.8 % fulfill waste water standard requirement (0.30 mg/L)) and Hg concentration from 1.02 mg/L to 0.05 mg/L (95.0% fulfill waste water standard requirement(0.002 mg/L)). Reduction of BOD and COD concentration was carried out by aeration process untill the effluent fulfill standard requirement of waste water. The biosorption and physico chemical treatment will be compared to find economical analysis. Biosorption treatment need 1 mL CaO 30% or Rp. 120,-/m<sup>3</sup> of printing waste water, while biosorbent pellet 0.5 g/500 mL of printing waste water, so the operation cost of biosorption per m<sup>3</sup> of printing waste water is Rp. 120,-, handling cost for 41.6 litre of beer waste water to get 1 kg biosorbent (Rp. 1667,-) and drying cost for 1 kg biosorbent. (Rp 4166,-). Total cost of biosorption treatment is Rp. 5954,- per m<sup>3</sup> of printing waste water. Physico chemical treatment need chemicals such as 5 mL aluminium sulphate 10% and 1 mL anionic flocculant 0.3%. to get the optimum conditions at pH 1. Total cost of physico chemical treatment Rp. 21.390,- per m<sup>3</sup> of printing waste water.*

Key words : Biosorption, Heavy metals, Waste water of printing industry, Biosorbent, *Saccharomyces cerevisie*, Environmental friendly

## PENDAHULUAN

Limbah cair industri percetakan menurut PP No.45 Tahun 1999 tentang Pengolahan Limbah B3, sebagian termasuk dalam kategori limbah yang berbahaya dan beracun (B3), karena limbah dari industri ini mengandung berbagai logam berat dan pelarut organik yang bersifat racun. Logam berat yang umum terdapat dalam limbah cair industri percetakan/printing tersebut adalah timbal (Pb), merkuri (Hg), krom (Cr), besi (Fe) dan mangan (Mn). Logam berat dalam limbah biasanya berada dalam berbagai macam kondisi seperti tidak terlarut, terlarut, tereduksi, teroksidasi dan kompleks.. Beberapa ion logam berat seperti timbal, kadmium dan krom sangat berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan alam, walaupun pada konsentrasi yang rendah. Efek ion logam berat dapat berpengaruh langsung hingga terakumulasi pada rantai makanan. Selanjutnya timbal menunjukkan efek beracun pada sistem syaraf, hematologi dan dapat mempengaruhi kerja ginjal (Suhendrayatna 2001).

Industri percetakan sebagian besar merupakan industri kecil dan menengah yang belum melakukan pengolahan limbah cair yang dihasilkan, sedangkan untuk industri percetakan berskala besar, pengolahan limbah cairnya sudah dilakukan secara kimia fisika dengan cara oksidasi dan reduksi, koagulasi dan sedimentasi, filtrasi, pengolahan elektrokimia dan penguapan (Baik *et al.* 2002).

Oleh karena itu perlu dikembangkan suatu cara pengolahan air limbah dengan suatu teknologi alternatif yang ramah lingkungan, kemampuan beberapa mikroorganisme sebagai penyerap logam berat. Salah satu teknologi alternatif adalah dengan biosorpsi, dengan tersedianya berbagai bahan biosorben seperti fungi, bakteri, yeast, alga dan biopolimer seperti alginat dan kitosan.

Biosorpsi merupakan teknologi pengolahan limbah untuk mengikat logam dan logam berat yang berada dalam suatu larutan yaitu dengan cara pertukaran ion dimana ion-ion pada dinding sel mikroorganisme digantikan oleh ion-ion logam berat (Martias *et al.* 2006). Proses biosorpsi dapat terjadi karena adanya material biologis yang disebut biosorben dan adanya larutan yang mengandung logam berat dengan afinitas yang tinggi sehingga mudah terikat dengan biosorben (Sinly dan Johan 2007).

Kompleksitas ion logam berat yang bermuatan positif berinteraksi dengan pusat aktif yang bermuatan negatif pada permukaan dinding

sel atau dalam polimer ekstra seluler, seperti protein dan polisakarida sebagai sumber gugus fungsi berperan penting dalam mengikat ion logam berat. Proses penyerapan ini berlangsung cepat dan terjadi pada sel hidup maupun sel yang telah mati. Biosorpsi dapat dilakukan dengan menggunakan bakteri, khamir (*yeast*), dan algae sebagai biosorben. (Parvathi *et al.* 2007)

Untuk skala industri, biaya pengadaan biomassa mikroorganisme ini secara ekonomi kurang menguntungkan, oleh karena itu limbah biomassa dari limbah industri fermentasi dapat dimanfaatkan. Bailey *et al.* (1999) telah membuktikan penggunaan biosorben yang murah yaitu dari limbah hasil samping industri bir, karena keberadaannya yang berlimpah dan bisa berfungsi dengan baik.

Diketahui bahwa *Saccharomyces cerevisiae* digunakan sebagai ragi dalam pembuatan bir, sehingga di dalam limbah yang dihasilkan dari produk samping proses fermentasi bir juga mengandung *Saccharomyces cerevisiae* (Zimmermann and Wolf 2002). Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah dari produk samping dari proses fermentasi bir yang mengandung *Saccharomyces cerevisiae* sebagai biosorben untuk mengikat logam berat pada industri percetakan. Keuntungan lain dari pengolahan limbah secara bioteknologi diharapkan membutuhkan biaya yang rendah, dapat meminimisasi lumpur (*sludge*) yang terbentuk dan selama proses pengolahan tersebut tidak memerlukan tambahan bahan kimia lain sebagai nutrisi.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah : limbah industri percetakan (*inlet*), limbah produk samping dari fermentasi bir, air suling (akuades), NaOH 50%, HNO<sub>3</sub> pekat, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, AgSO<sub>4</sub>, kalium hidrogen ftalat, barium klorida, natrium sulfat, alkohol 70%, *buffered peptone water* (peptone, NaCl, dinatrium hidrogen fosfat, kalium dihidrogen fosfat, dan air suling), *potato dextrose agar* (*infusion from white potatoes*, dextrose, agar dan air suling), asam tartrat 10% dan antibiotik *streptomycine*.

Pengambilan limbah cair dilakukan pada industri percetakan di wilayah Slipi, Jakarta

Barat dan limbah hasil samping industri fermentasi bir dilakukan di PT Delta Djakarta Tbk yang berlokasi di Jalan Inspeksi Tarum Barat, Bekasi Timur.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah : jirigen plastik, kertas saring, lampu spiritus, cawan petri (100x15mm), botol pengencer steril, pipet steril ukuran 1 mL dan 10 mL steril, lemari inkubasi (suhu 25°C), mikroskop, timbangan analitik (Toledo, kapasitas 100 g), penangas air, oven, tanur (*furnace*), desikator, labu *erlenmeyer* 250 mL, cawan porselen, gelas sentrifus, sentrifusa (Tipe H-103N), *beaker glass* 250 mL, gelas ukur, pH Meter (Horiba F-22), pengaduk magnet, corong, lempeng pemanas (*hot plate*), Spektrofotometer Serapan Atom (AAS SHIMADZU 6501)

**Metode**

Penelitian dilakukan di Laboratorium Cemar dan Laboratorium Instrumen Balai Besar Kimia dan Kemasan.

**Karakterisasi Limbah Produk Samping Ragi Bir**

Meliputi uji khamir (*Saccharomyces cerevisiae*), penentuan *total suspended solid* (TSS) dan *total volatile suspended solid* (TVSS) serta penentuan *mixed liquor suspended solid* (MLSS) dan *mixed liquor volatile suspended solid* (MLVSS).

**Pembuatan Pelet Biosorben dari Limbah Fermentasi Bir**

Pembuatan pelet dimulai dengan pemisahan endapan (*sludge*) dari cairan, kemudian endapan (*sludge*) yang didapatkan dimasukkan ke dalam *filter press* untuk mengurangi air sehingga didapatkan hasil perasan yang lebih padat. Hasil perasan dikeringkan dalam oven pada suhu 80 °C selama 2 hari, kemudian dilakukan pembuatan pelet dengan memasukkannya ke dalam ekstruder. Pelet biosorben yang dihasilkan siap digunakan.

**Uji Karakteristik Limbah Percetakan**

Sampel limbah cair (*inlet* dan *outlet*) yang diambil dari industri percetakan dianalisis kualitas limbah cairnya sesuai parameter Baku Mutu Limbah Cair untuk industri percetakan yang ditetapkan oleh Gubernur DKI Jakarta No. 582 Tahun 1995.

Cara uji kadar total padatan tersuspensi (*Total Suspended Solid*) dalam contoh uji air limbah dilakukan secara gravimetri sesuai JIS K. 0102.14.1;1998. Penentuan konsentrasi logam

berat dalam air limbah dengan cara Spektrofotometri Serapan Atom (AAS) sesuai JIS K.0102.54.1998. Uji parameter lain seperti COD, BOD, pH, Logam berat lainnya, amonia, minyak dan lemak dilakukan sesuai SNI.

**Pembuatan Limbah Sintetis**

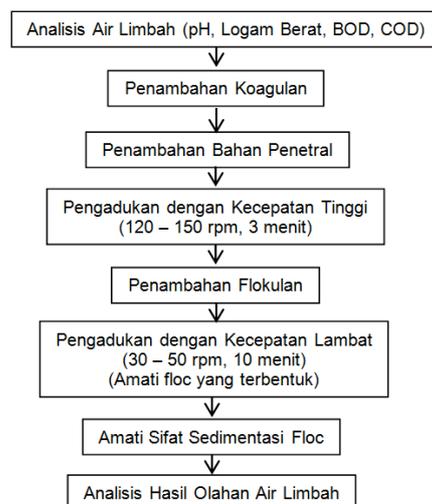
Limbah sintesis dibuat dengan melarutkan 10 g standar Pb dalam 1 liter akuades menggunakan labu ukur. Konsentrasi logam berat Pb yang didapatkan adalah sebesar 10 g/L. Volume larutan standar dibuat sesuai dengan kebutuhan untuk percobaan.

**Penentuan Tren Penurunan Konsentrasi Pb dengan Limbah Sintetis**

Limbah sintesis, masing-masing sebanyak 500 mL dimasukkan ke dalam 7 gelas beaker, selanjutnya dilakukan pengukuran pH untuk pH 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 dengan penambahan NaOH 10% dan 1 beaker untuk pembandingan yaitu limbah sintesis tanpa pengaturan pH. Ke dalam semua beaker ditambahkan 1 gram pelet biosorben, kemudian dilakukan proses biosorpsi dengan menggunakan *Jar Test* dengan kecepatan pengadukan 250 rpm selama 2 jam. Setelah itu dilakukan penyaringan dengan kertas saring, filtratnya didestruksi terlebih dahulu sebelum dilakukan pengukuran logam berat Pb dengan AAS.

**Penentuan Kondisi Optimum Biosorpsi untuk Limbah Percetakan**

Faktor faktor yang mempengaruhi kondisi optimum biosorpsi adalah pH, berat atau konsentrasi biosorben dan waktu kontak.



Gambar 8. Pengolahan limbah cair secara kimia fisika dengan prosedur *Jar Test*

a. Penentuan pH Optimum

Limbah industri percetakan yang telah diketahui karakteristiknya, masing masing sebanyak 500 mL dimasukkan ke dalam 7 gelas beaker, selanjutnya dilakukan pengukuran pH untuk pH 5, 6,7,8,9,10,11 dengan penambahan NaOH 10 % dan 1 beaker untuk pembandingan yaitu limbah asli tanpa pengaturan pH. Ke dalam semua beaker ditambahkan 1 gram pelet biosorben, kemudian dilakukan proses biosorpsi dengan menggunakan *Jar Test* dengan kecepatan pengadukan 250 rpm selama 2 jam. Setelah itu dilakukan penyaringan dengan kertas saring, filtratnya didestruksi terlebih dahulu sebelum dilakukan pengukuran logam berat Pb dengan AAS

b. Penentuan Berat Biosorben Optimum.

Limbah industri percetakan yang telah diketahui karakteristiknya sebanyak 500 mL dengan pH optimum yang telah didapatkan dimasukkan kedalam beaker, selanjutnya ditambahkan biosorben dengan variabel berat 0,25 g, 0,5 g, 1,0 g, 1,5 g, 2,0 g, 2,5 g dan 3,0 g. Setelah itu dilakukan proses biosorpsi dengan *Jar Test* dengan kecepatan pengadukan 250 rpm dan waktu kontak selama 2 jam. Setelah disaring, filtratnya didestruksi, kemudian diukur konsentrasi Pb dengan AAS.

c. Penentuan Waktu Kontak Optimum.

Limbah percetakan dengan pH dan berat biosorben optimum yang telah diperoleh, sebanyak 500 mL dimasukkan ke dalam beaker. Kemudian dilakukan proses biosorpsi dengan variabel waktu kontak 0,5 jam; 1,0 jam; 1,5 jam; 2,0 jam; 2,5 jam dan 3 jam. Larutan disaring dan filtratnya didestruksi terlebih dahulu sebelum dilakukan pengukuran logam berat Pb dengan AAS.

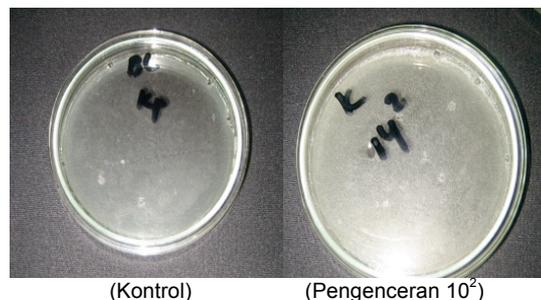
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Limbah Produk Samping Ragi Bir

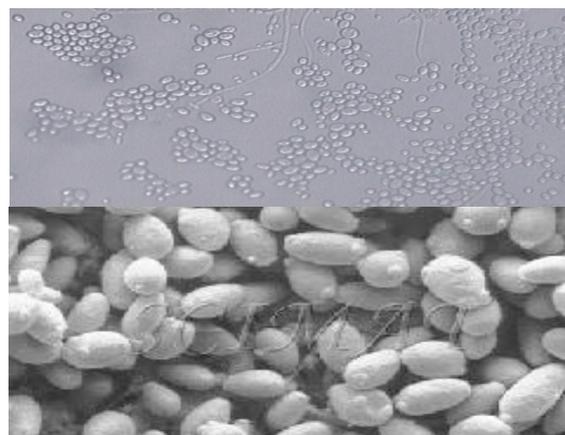
Karakteristik dari limbah produk samping ragi bir yang dijadikan biosorben untuk proses biosorpsi limbah percetakan, dianalisis berdasarkan SNI No. 19-2897-1997 tentang uji cemaran mikroba, kelompok kapang dan khamir. Analisis dilaksanakan dengan perlakuan kontrol/tanpa pengenceran ( $10^0$ ) dan pengenceran ( $10^2$ ).

Setelah dilakukan pengamatan dibawah mikroskop, untuk kontrol belum terlihat koloni yang tumbuh, sedangkan untuk pengenceran ( $10^2$ ) koloninya terlihat banyak sekali hampir menutupi seluruh permukaan media dan susah dilakukan penghitungan jumlahnya dengan metode *Total Plate Count (TPC)*. Koloninya terlihat mengkilat, licin, dan lembab/basah; dengan bentuk bulat dan agak lonjong. Menurut Walker (1998) biakan ini merupakan khamir *Saccharomyces cerevisiae*, dapat tumbuh dan berkembang biak dengan cepat secara vegetatif (*budding*) serta dapat dipanen dalam 3 hari.

Hasil uji identifikasi khamir yang dilakukan di Balai Besar Veteriner menunjukkan adanya *Saccharomyces cerevisiae* seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Koloni *Saccharomyces cerevisiae* pada media tumbuh PDA setelah 5 hari masa inkubasi, baik pada perlakuan kontrol ( $10^0$ ) maupun pada perlakuan dengan pengenceran  $10^2$

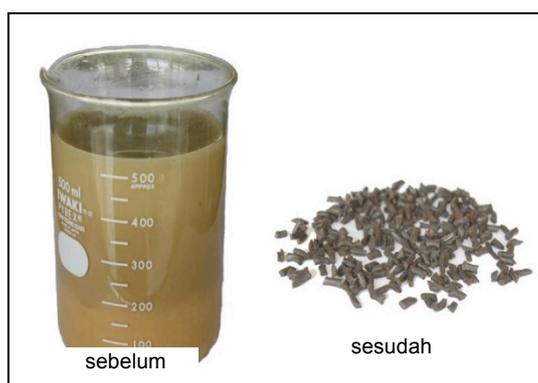


Gambar 2. Hasil uji identifikasi khamir *Saccharomyces Cerevisie*

Tabel 1. Karakteristik limbah hasil samping proses fermentasi bir

No.	Parameter Uji	Konsentrasi (mg/L)
1.	TSS	13.720
2.	TVSS	8.400
3.	MLSS	25.000
4.	MLVSS	15.000

Keterangan:  
 TSS (*Total Suspended Solid*)  
 TVSS (*Total Volatile Suspended Solid*)  
 MLSS (*Mixed Liquor Suspended Solid*)  
 MLVSS (*Mixed Liquor Volatile Suspended Solid*)



Gambar 3. Limbah produk samping industri fermentasi bir sebelum dan sesudah menjadi pelet

Pada Tabel 1 dapat dilihat, nilai konsentrasi dari padatan tersuspensi total (*Total Suspended Solid/TSS*) sebesar 13.720 mg/L, nilainya lebih besar dibanding nilai *TVSS (Total Volatile Suspended Solid)* sebesar 8.400 mg/L. Hal ini disebabkan karena *TSS* merupakan total suspensi terlarut maupun yang tidak terlarut di dalam larutan, sedangkan *TVSS* merupakan total material/*volatile* dari suspensi yang terlarut maupun yang tidak terlarut setelah dipanaskan pada temperatur 600 °C.

Nilai konsentrasi *MLSS (Mixed Liquor Suspended Solid)* yang didapat lebih besar dibanding *MLVSS*, karena *MLSS* merupakan total biomass dan mineral yang tersuspensi, termasuk mikroorganisme yang berada dalam cairan tersebut. Kemudian diukur *MLVSS (Mixed Liquor Volatile Suspended Solid)* yang nilainya lebih kecil dibanding nilai *MLSS*, hal ini disebabkan karena *MLVSS* merupakan komposisi bahan mikrobial baik yang hidup maupun yang mati dan mineral yang tersuspensi setelah dipanaskan pada temperatur 600 °C.

#### Pembuatan Pelet Biosorben Limbah Fermentasi Bir

Dari hasil pembuatan pelet yang berasal dari produk samping industri fermentasi bir,

diperoleh rendemen sebesar 480 g/20L atau 24 g/L limbah bir dengan kadar air 9%. Limbah bir sebelum dan sesudah menjadi pelet dapat dilihat pada Gambar 3.

#### KARAKTERISTIK LIMBAH CAIR INDUSTRI PENGGUNA TINTA CETAK

##### Pengambilan Sampel Limbah Industri Pengguna Tinta Cetak

Pengambilan sampel limbah cair industri pengguna tinta cetak dilakukan di salah satu industri percetakan (*paper board printing*) di Jakarta Barat untuk melihat langsung lokasi dan titik sampling limbah cair percetakan setelah dilakukan pemisahan dengan minyak serta pelarut dan sebelum masuk ke Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) perusahaan.

Pengujian karakteristik limbah cair industri percetakan dilakukan berdasarkan parameter yang ditetapkan oleh Keputusan Gubernur Kepala Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 582 Tahun 1995, tentang Penetapan Peruntukan dan Baku Mutu Air Sungai/Badan Air serta Baku Mutu Limbah Cair di Wilayah Daerah Khusus Ibukota Jakarta, sebagaimana tercantum pada Tabel 2. Uji dilakukan di Laboratorium Cemar Balai Besar Kimia dan Kemasan

Dari hasil karakterisasi limbah di atas, dapat dilihat bahwa logam berat Pb dan Hg nilainya jauh di atas baku mutu, demikian juga untuk COD dan BOD. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan diturunkan terutama untuk konsentrasi logam Pb dengan biosorpsi.

Tabel 2. Karakteristik limbah cair industri percetakan (*paper board printing*)

No	Parameter Uji	Hasil Uji (mg/l)		
		Inlet	Outlet	Baku Mutu
1	Zat padat koloid	1250	650	1000
2	Zat padat tersuspensi	55	30	100
3	pH	6,8	7,3	6-9
4	Timbal (Pb)	4,77	0,5	0,3
5	Merkuri (Hg)	1,02	0,32	0,002
6	Sianida (CN)	< 0,05	< 0,05	0,05
7	Ammonia (NH <sub>3</sub> )	11,55	6,59	5,0
8	Arsen (As)	0,06	< 0,05	0,1
9	Besi (Fe)	0,73	0,05	0,5
10	Mangan (Mn)	0,44	0,04	2,0
11	Nitrat (NO <sub>3</sub> )	2,07	0,20	1,0
12	Fenol	1,05	0,03	0,5
13	COD	877	310	100
14	BOD	256	101	75,0
15	Minyak dan Lemak	1,22	0,36	5,0
16	Zat Organik	282	92	85

### Tren Penurunan Konsentrasi Pb Dengan Limbah Sintetis

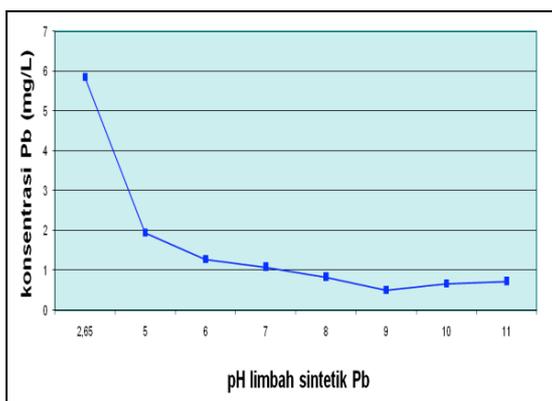
Untuk mengetahui tren penurunan konsentrasi Pb, dilakukan biosorpsi dengan menggunakan limbah sintetis yang mengandung Pb 10 mg/L dengan hasil seperti pada Gambar 4. Gambar 4 menunjukkan bahwa terjadi penurunan logam Pb mulai pH 5 dan optimum pada pH 9. Semakin tinggi nilai pH, semakin besar persen penurunan logam Pb, namun pH yang terlalu tinggi dapat mempengaruhi presipitasi dari kompleks logam (Wang and Chen 2006). Mapolelo and Torto (2004) telah membuktikan bahwa kemampuan biosorpsi dari  $Cd^{2+}$ ,  $Cr^3$ ,  $Cr^{6+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  dan  $Zn^{2+}$  sangat tergantung pada pH, dan nilai pH optimal untuk semua ion logam tersebut berkisar di atas 5. Khusus untuk proses biosorpsi ion Cd dan Pb, pH optimalnya berada antara 5-8.

### Penentuan Kondisi Optimum Biosorpsi Untuk Limbah Percetakan

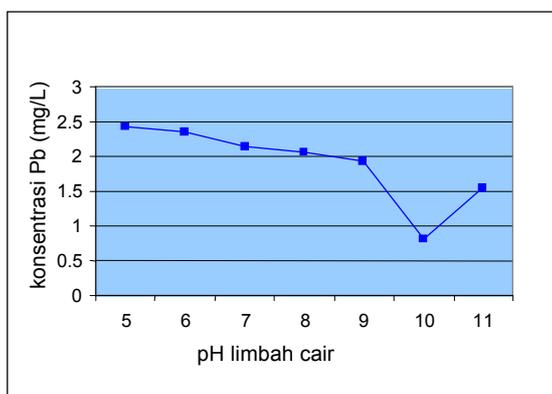
Tren penurunan logam Pb dengan menggunakan limbah sintetis optimal pada pH 9. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan penentuan pH optimum untuk limbah percetakan. Gambar 5 menunjukkan bahwa mulai pH 5 sudah terjadi penurunan logam Pb dan optimal pada pH 10 dengan nilai 0,80 mg/L. Selanjutnya dengan pH optimal (pH 10) ini dilakukan percobaan biosorpsi dengan variabel berat absorben. Hasil percobaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 6.

Pada percobaan biosorpsi dengan pH optimal 10 dan variabel berat biosorben mulai dari 0,25 g, 0,5 g, 1g, 1,5 g, 2 g, 2,5 g, dan 3 g diperoleh hasil optimal penurunan logam Pb pada berat absorben 0,5 g. Makin berat biosorben, kemampuan biosorpsi nya makin turun karena Pb yang tertinggal makin tinggi. Menurut Kim *et.al* (2005), kemampuan biosorpsi logam Pb oleh khamir dipengaruhi oleh berat biosorben, dimana konsentrasi biosorben yang tinggi dapat menyebabkan aglomerasi sel dan reduksi dalam ruang intraseluler, serta penangkapan (*uptake*) logam yang semakin tinggi apabila ruang intraselulernya makin besar yang terbentuk apabila konsentrasi biosorbennya rendah.

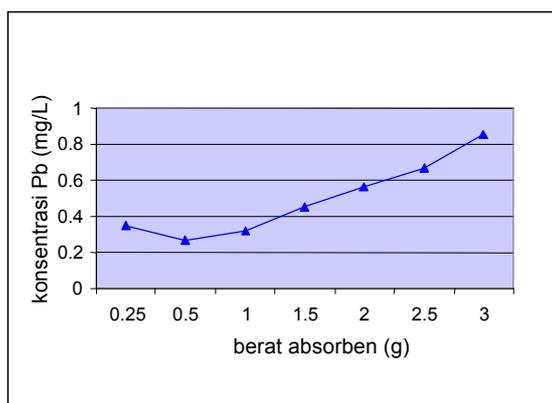
Dengan menggunakan pH optimal 10 dan berat biosorben optimal 0,5 g, proses biosorpsi dilanjutkan untuk variabel waktu kontak 0,5 jam, 1 jam, 1,5 jam, 2 jam, 2,5 jam dan 3 jam seperti pada Tabel 6 dan Gambar 7.



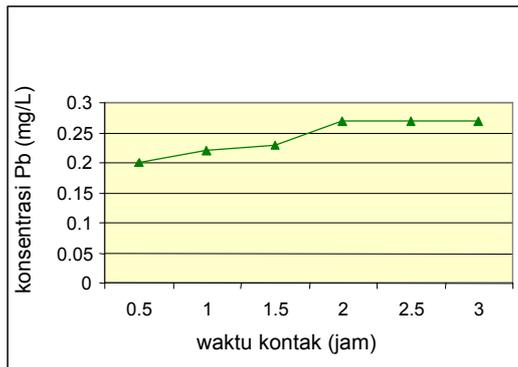
Gambar 4. Grafik pengaruh pH terhadap konsentrasi logam berat Pb pada proses biosorpsi menggunakan limbah sintetis 10 mg/L dan 1 gram biosorben



Gambar 5. Grafik pengaruh pH terhadap konsentrasi Pb limbah cair industri percetakan pada proses biosorpsi



Gambar 6. Grafik pengaruh berat biosorben terhadap konsentrasi Pb limbah cair industri percetakan pada proses biosorpsi



Gambar 7. Grafik pengaruh waktu kontak terhadap konsentrasi Pb limbah cair industri percetakan pada proses biosorpsi

Hasil dari proses biosorpsi dengan pH dan berat biosorben optimal dan variabel waktu kontak diperoleh hasil yang optimal pada waktu kontak 0,5 jam dengan konsentrasi Pb sebesar < 0,27 mg/L dimana nilai ini sudah memenuhi baku mutu limbah cair untuk logam Pb, yaitu 0,3 mg/L.

Setelah proses biosorpsi optimal pada pH 10, berat absorben 0,5 g, dan waktu kontak 0,5 jam, dilakukan uji karakteristik limbah hasil biosorpsi seperti pada Tabel 3.

Meskipun konsentrasi Pb sudah bisa diturunkan, namun nilai COD dan BOD masih di atas baku mutu limbah cair (Tabel 8). Oleh karena itu, perlu dilakukan proses aerasi untuk menurunkan nilai COD dan BOD serta logam lain (Hg) yang masih sedikit di atas baku mutu limbah cair yang ditetapkan. Proses aerasi dilakukan untuk limbah cair setelah biosorpsi selama 5 hari dan diamati setiap hari untuk parameter BOD dan COD. Data hasil uji limbah cair percetakan setelah proses biosorpsi dan diaerasi selama 5 hari dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Hasil Uji karakteristik limbah cair percetakan setelah biosorpsi optimum

No.	Parameter Uji	Hasil uji (mg/L)	Baku mutu* (mg/L)
1.	Pb	0,20	0,30
2.	Hg	0,05	0,002
3.	Zn	0,20	2,0
4.	Cd	< 0,04	0,15
5.	Fe	< 0,06	5,0
6.	Cu	< 0,05	1,0
7.	Cr total	< 0,05	0,5
8.	pH	7,09	6-9
9.	COD	278	100
10.	Amonia	4,85	5,0
11.	BOD	101	75

\*) Baku Mutu sesuai Keputusan Gubernur DKI No.582 Th 1995.

Tabel 4. Hasil uji limbah cair percetakan setelah biosorpsi dan aerasi

No.	Perlakuan	Hasil Uji (mg/L)	
		COD	BOD
1	Aerasi 0 hari	278	101
2	Aerasi 1 hari	251	98
3	Aerasi 2 hari	225	87
4	Aerasi 3 hari	201	82
5	Aerasi 4 hari	151	76
6	Aerasi 5 hari	98	63

Dari uji aerasi diperoleh hasil yang optimum untuk aerasi pada hari ke lima yaitu dengan nilai BOD sebesar 63 mg/L dan COD sebesar 98 mg/L. Hasil uji tersebut sudah memenuhi baku mutu (COD 100 mg/L dan BOD 75 mg/L) sehingga *effluent* dapat dibuang ke lingkungan.

### Pengolahan Limbah Cair Percetakan Secara Kimia Fisika

Pengolahan secara kimia fisika ini dilakukan untuk membandingkan hasil olahan limbahnya dan biaya operasional pengolahan limbah cair percetakan secara biosorpsi.

Pengolahan secara kimia fisika ini dimulai dengan penentuan jenis bahan penetral, koagulan dan flokulan serta dosisnya dan dilakukan dengan prosedur *Jar Test*. Bahan penetral yang dipakai adalah NaOH 30% dan CaO 30%, koagulan aluminium sulfat (alum) 10 % dengan berbagai variabel 1 mL, 3 mL, 5 mL, 7 mL dan 19 mL serta flokulan anionik 0,3% 1 mL. Data hasil uji *effluent* setelah diolah sesuai prosedur *Jar Test* dapat dilihat pada Tabel 5.

Pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa pengolahan dengan bahan penetral CaO pada pH 10 dengan berbagai variabel konsentrasi koagulan, nilai BOD, COD dan logam berat masih tinggi. Oleh karena itu perlu dilakukan pengolahan dengan pH yang lebih tinggi yaitu pH 11, bahan penetral CaO dan berbagai variabel alum, hasil uji *effluent* nya terlihat pada Tabel 6.

Pada Tabel 6 dapat dilihat bahwa nilai COD, BOD dan logam berat sudah turun tetapi penurunannya belum maksimal, oleh karena itu pada pengolahan selanjutnya adalah dengan penambahan flokulan anionik 0,3% sebanyak 1 mL dengan tujuan untuk lebih meningkatkan

Tabel 5. Kualitas *effluent* pada pH 10 dengan bahan penetral CaO dan variabel koagulan aluminium sulfat (alum)

No.	Variabel	Parameter (mg/L)							
		BOD	COD	Pb	Hg	Fe	Mn	NO <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>
1	1 mL Alum 10%	212	400	0,72	0,30	0,06	0,22	0,27	5,92
2	3 mL Alum 10%	185	302	0,67	0,30	0,06	0,20	0,21	5,9
3	5 mL Alum 10%	162	202	0,50	0,27	0,05	0,18	0,20	5,22
4	7 mL Alum 10%	168	300	0,52	0,30	0,05	0,21	0,23	5,23
5	10 mL Alum 10%	170	290	0,57	0,28	0,05	0,22	0,22	5,31

Tabel 6. Kualitas *Effluent* pada pH 11 dengan Bahan Penetral CaO dan Variabel Koagulan Aluminium Sulfat (alum)

No.	Variabel	Parameter (mg/L)							
		BOD	COD	Pb	Hg	Fe	Mn	NO <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>
1	1 mL Alum 10%	170	355	0,58	0,28	0,05	0,15	0,22	5,30
2	3 mL Alum 10%	147	221	0,50	0,27	0,05	0,20	0,21	5,22
3	5 mL Alum 10%	126	170	0,50	0,22	0,05	0,18	0,20	5,13
4	7 mL Alum 10%	129	180	0,50	0,27	0,05	0,17	0,22	5,35
5	10 mL Alum 10%	132	184	0,50	0,27	0,05	0,18	0,23	5,32

pengikatan logam berat dan memperbesar *floc* seperti pada Tabel 7.

Pada Tabel 7 dapat dilihat bahwa hasil uji *effluent* dengan penambahan flokulan anionik dapat menurunkan nilai COD, BOD dan logam berat tetapi masih sedikit diatas baku mutu air limbah. Nilai optimum terjadi pada penambahan alum 10% sebanyak 5 mL yaitu nilai BOD 102 mg/L, COD 150 mg/L, sedangkan jumlah CaO yang diperlukan pada kondisi tersebut adalah 8 mL CaO 30%, serta flokulan anionik 0,3% sebanyak 1 mL. Jumlah/volume *sludge* yang terbentuk pada kondisi ini adalah 18 mL/500 mL limbah cair atau 2,5 g *sludge* kering/500 mL limbah cair.

Dari dosis optimum yang diperoleh untuk pengolahan secara kimia fisika dan dosis

optimum yang diperoleh untuk pengolahan secara biosorpsi dapat diperhitungkan biaya operasionalnya sehingga dapat diketahui efisiensi pengolahan limbah cair secara biosorpsi. Perbandingan biaya operasional kedua cara pengolahan tersebut dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 7. Kualitas *Effluent* pada pH 11 dengan Bahan Penetral CaO dan Variabel Koagulan Aluminium Sulfat (alum) dan flokulan anionik 0,3 % 1 mL

No.	Variabel	Parameter (mg/L)							
		BOD	COD	Pb	Hg	Fe	Mn	NO <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>
1	1 mL Alum 10%	157	322	0,52	0,25	0,05	0,20	0,22	5,27
2	3 mL Alum 10%	119	207	0,50	0,21	0,05	0,20	0,21	5,1
3	5 mL Alum 10%	102	150	0,50	0,20	0,04	0,15	0,20	5,03
4	7 mL Alum 10%	110	170	0,47	0,25	0,05	0,17	0,22	5,32
5	10 mL Alum 10%	112	175	0,52	0,27	0,05	0,15	0,23	5,13

## KESIMPULAN

Limbah hasil samping industri fermentasi bir mengandung khamir *Saccharomyces cerevisiae* dapat digunakan sebagai biosorben untuk menghilangkan logam Pb dengan persen penurunan sebesar 95,8% dan logam Hg sebesar 95,0%. Rendemen limbah hasil samping industri fermentasi bir setelah menjadi pelet biosorben sebesar 24 g/L limbah bir dengan kadar air 9%. Kondisi optimum dicapai pada berat biosorben 0,5 g/500mL, pH 10 dan waktu kontak 0,5 jam dapat menurunkan Hg sebesar 95,8% (di bawah baku mutu). Nilai COD dan BOD setelah proses aerasi yang memenuhi baku mutu limbah cair yaitu sebesar 63 mg/L dan COD sebesar 98 mg/L. Kebutuhan bahan kimia untuk biosorpsi hanya untuk menaikkan pH perlu CaO 30% 1 mL atau Rp. 120,-/m<sup>3</sup> limbah cair dan kebutuhan pelet biosorben 0,5 g/500 mL limbah cair

Tabel 8. Perbandingan biaya operasional pengolahan limbah secara biosorpsi dan kimia fisika

Pengolahan Limbah Secara Biosorpsi		Pengolahan Limbah Secara Kimia Fisika	
CaO 30%	Rp 120,-	CaO 30% = 480 g/m <sup>3</sup>	= 0,48 x Rp. 2.000,- = Rp. 960,-
Pelet biosorben 1 kg/m <sup>3</sup> pengeringan dan pengangkutan	Rp. 4.166,- Rp. 1.667,-	Alum 10% = 100 g/m <sup>3</sup>	= 0,1 x Rp. 4.000,- =Rp 400,-
		Flokulan 0,3% = 0,6 g/m <sup>3</sup>	=0,0006 x Rp. 50.000,- =Rp 30,-
		Biaya Pengolahan <i>Sludge</i> = 5 kg/m <sup>3</sup>	=5/1000 x Rp. 4000000 = Rp. 20.000,-
Total Biaya Pengolahan	Rp 5954,-/m <sup>3</sup> limbah percetakan	Total Biaya Pengolahan	Rp 21.390,- / m <sup>3</sup> limbah percetakan

sehingga biaya operasional untuk pengolahan secara biosorpsi per m<sup>3</sup> limbah cair percetakan adalah Rp. 120,- ditambah biaya angkut 41,6 liter limbah bir untuk menghasilkan 1 kg biosorben (Rp. 1667,-) dan biaya pengeringan 1 kg biosorben Rp.. 4166,- sehingga total biaya Rp. 5954,-/m<sup>3</sup> limbah percetakan. Kebutuhan bahan kimia untuk pengolahan air limbah secara kimia fisika optimal pH 11, alum 10% 5 mL, flokulan 0,3% 1 mL adalah Rp. 21.390,-. per m<sup>3</sup> limbah percetakan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ahalya, N., Ramachandra T.V., and Kanamadi R.D. 2003. Biosorption of Heavy Metals, *Res J. Chem. Environment* No.7(4): 71-79.
- Baik, W.Y., Bae J.H.; Cho K.M. Hartmeier W. 2002. Biosorption of heavy metals using whole mold mycelia and parts thereof, *Bioresource Technology*, Vol. 81, No. 3, p. 167-170.
- Brady, D., and Duncan J.R. 1994. Binding of heavy metals by the cell walls of *Saccharomyces cerevisiae*. *Enzyme Microb. Technol.* 16: 633-638.
- Gokulapalan, C., Das, Lulu and Nair M.C. 1994. *Advanced in Mushroom Biotechnology*, ed 1, Scientific Publisher, Jodhpur, India.
- Gupta, R., Ahuja P., Khan S., Saxena R.K., and Mohapatra H. 2000. Microbial biosorbents: Meeting Challenges of Heavy Metals Pollution in Aqueous Solutions. *Current Science.* 78(8): 967-973.
- Han, R., Hongkui L., Yanhu L., Zhang J., Xiao H., and Shi J. 2006. Biosorption of Copper and Lead ions by waste beer yeast. *Journal of Hazardous Materials*, Vol.137, No.3, p. 1569-1576.
- Kapoor, A., and Viraraghavan T. 1995. Heavy metal biosorption sites in *Aspergillus niger* *Bioresource Technology*, Vol. 61. No.3, p. 221-227
- Martins, B.L., Cruz C.V., Luna A.S., and Henriques C.A. 2006. A Sorption and desorption of Pb<sup>2+</sup> ions by dead *Sargassum sp.* Biomass. *Biochemical Engineering Journal*, Vol. 27, No. 3: 310-314.
- Metcalf and Eddy. 1991. *Wastewater Engineering. Treatment, Disposal, and Reuse*. Third Edition. McGraw-Hill, Inc., New York.
- Parvathi, K., Nagendran R., and Narehkumar R. 2007. Lead biosorption onto waste beer yeast by-product, a means to decontaminate *effluent* generated from battery manufacturing industry. *Electronic Journal of Biotechnology*, Vol.10, No.1.
- Sinly, E.P., dan Johan A.P. 2007. Bioremoval, Metode Alternatif untuk Menanggulangi Pencemaran Logam Berat, *Artikel*, Universitas Lampung.
- Suhendrayatna. 2001. Bioremoval Logam Berat dengan Menggunakan Mikroorganisme: Suatu Kajian Kepustakaan (Heavy metal bioremoval by microorganisms : A literature study). *Institute for Science and Technology Studies (ISTECS)-Chapter Japan*. Disampaikan pada Seminar on-Air Bioteknologi untuk Indonesia Abad 21.
- Wang, J., and Chen C. 2006. Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*; A review, *Biotechnology Advances*, Vol.24, No.5, p. 427-451.
- Zimmermann, M., and Wolf K. 2002. Biosorption of Metals. *The mycota, Industrial application*. Vol.10: 355-364.