

Biosorpsi logam Zn oleh biomassa *Saccharomyces cerevisiae*^{*)}

Biosorption of Zn metal by Saccharomyces cerevisiae biomass

Irma KRESNAWATY & TRI-PANJI

Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia, Bogor 16151, Indonesia

Summary

Heavy metal in waste water potentially causes environmental pollution. Generally, heavy metal pollutions come from metal plating, textile, latex-rubber goods, and other industries. The process of latex-rubber good industries uses heavy metal in the form of ZnO as accelerator for rubber vulcanization process, so that Zn^{2+} ion exists in wastewater effluents in concentration as much as 300 ppm, whereas the maximum limit allowed is 2.5 ppm. The chemical way generally used to decrease Zn^{2+} concentration in wastewater effluents is by adding bases, NaOH or $Ca(OH)_2$ until pH reached 11, hence this metal is precipitated as its hydroxide. However, the way is done, is very high cost and has a risk of the emergence secondary pollution caused by excess base. An alternative way to absorb Zn^{2+} considered inexpensive is by using biosorbent in the form of *Saccharomyces cerevisiae* biomass from bioethanol industrial waste. The research was conducted using artificial wastewater with Zn^{2+} ion concentration of 300 ppm and the pH was adjusted to the range between 3-7. Biosorption was conducted by addition of free *S. cerevisiae* biomass as well as by immobilized cells on filter paper. Observation was carried out for Zn^{2+} concentration after contact time of two and five hours. The results of the research indicated that free and immobilized *S. cerevisiae* biomass could absorb Zn^{2+} metal and decreased its concentration from 250-300 ppm to 20-50 ppm. The optimum contact time was reached at one

hour, while optimum sorption process occurred at pH 5. At low concentration, less than 20 ppm *S. cerevisiae* biomass absorbed less Zn^{2+} . The NaOH-treated biomass showed better sorption capabilities compared to cells treated by formaldehyde or heat treatments. The continue experiment showed the high capacity of biomass treated with NaOH to absorb Zn^{2+} , until concentration 24,02- 47,95 ppm in the first sampling and 1,15-10,99 ppm in the second sampling. Combination adsorption process using charcoal and zeolite could adsorb remain concentration of Zn^{2+} , so that could reached the limit concentration-allowed.

[Keywords: Heavy-metal biosorption, latex-goods effluent, Zn^{2+} metal]

Ringkasan

Logam berat di dalam air limbah merupakan penyebab pencemaran lingkungan yang potensial. Pencemaran logam berat pada umumnya berasal dari industri penyepuhan logam, tekstil, barang jadi lateks, serta industri lain. Pada proses industri barang jadi lateks digunakan logam berat dalam bentuk ZnO sebagai akselerator proses vulkanisasi karet, sehingga ion Zn^{2+} terbawa dalam air limbah industri barang jadi dengan konsentrasi mencapai 300 ppm, sedangkan ambang batas konsentrasi yang diperbolehkan maksimal adalah 2,5 ppm. Cara kimia yang umum digunakan untuk menurunkan kandungan

*) Makalah disajikan dalam Pertemuan Ilmiah Tahunan PERMI, Banjarmasin, 30 Agustus- 1 September 2007

Zn²⁺ dalam air limbah adalah dengan cara menambahkan basa, umumnya NaOH atau Ca(OH)₂, sampai pH sekitar 11, sehingga logam berat ini diendapkan sebagai hidroksidanya. Namun demikian, cara ini sangat mahal dan beresiko munculnya pencemaran sekunder akibat kelebihan basa. Salah satu alternatif yang murah untuk penyerapan Zn²⁺ adalah menggunakan biosorben berupa biomassa *Saccharomyces cerevisiae* yang berasal dari limbah pabrik bioetanol.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan air limbah artifisial yang mengandung ion Zn²⁺ dengan konsentrasi 300 ppm. Limbah artifisial diatur pHnya antara 3-7. Biosorpsi dilakukan dengan menambahkan biomassa *S. cerevisiae* bebas maupun yang diamobilisasi dengan kertas saring. Pengamatan dilakukan terhadap kandungan Zn²⁺ setelah waktu kontak dua dan lima jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biomassa *S. cerevisiae* bebas maupun amobil mampu menyerap logam Zn²⁺ dan menurunkan konsentrasinya dari 250-300 ppm menjadi 20-50 ppm. Waktu kontak optimum dicapai setelah satu jam, sedangkan proses sorpsi optimum terjadi pada pH 5. Biomassa *S. cerevisiae* kurang efektif menyerap logam Zn²⁺ pada konsentrasi rendah, di bawah 20 ppm. Perlakuan biomassa menggunakan NaOH menunjukkan kemampuan penyerapan yang lebih baik jika dibandingkan dengan yang diperlakukan menggunakan formaldehida dan pemanasan. Percobaan pada aliran kontinyu yang menggunakan biomassa yang diperlakukan menggunakan NaOH, menunjukkan bahwa limbah artifisial Zn²⁺ dapat diturunkan sampai konsentrasi 24,02-47,95 ppm pada sampling pertama, dan 1,15-10,99 ppm pada sampling kedua. Kombinasi penyerapan menggunakan arang aktif dan zeolit dapat menyerap sisa Zn²⁺ mencapai batas yang diperbolehkan.

Pendahuluan

Saat ini permasalahan lingkungan merupakan aspek yang menjadi perhatian utama banyak pihak, terutama masalah

pencemaran lingkungan akibat limbah industri mengandung logam berat. Polutan ini terbukti meracuni perairan, berdampak buruk bagi kesehatan makhluk hidup di sekitarnya, dan mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan. Pencemaran tersebut pada umumnya berasal dari industri penyepuhan logam, tekstil, barang jadi lateks, serta industri lain yang menggunakan bahan baku mengandung logam berat.

Pada proses vulkanisasi barang jadi lateks digunakan ZnO sebagai akselerator untuk mengontrol proses awal dan laju vulkanisasi, serta reaksi lanjut antara belerang dengan elastomer. Senyawa ZnO yang digunakan akan larut pada proses pencucian untuk menghilangkan sisa asam asetat (koagulan) pada barang jadinya, dan pada akhir proses, ion Zn²⁺ terbawa dalam limbah industri barang jadi karet dalam konsentrasi mencapai 300 ppm (Suryabhuaana, 2006). Jumlah ini sangat berbahaya karena dosis oral dalam jangka panjang menyebabkan masalah pencernaan, menurunkan HDL dan menyebabkan kerusakan sistem imunitas (Mawardi, 2007). Untuk memenuhi ambang batas konsentrasi ion Zn²⁺ yang dibuang ke lingkungan yaitu 0,5-2 ppm (KepMen LH No. 02 tahun 1988) ataupun 2,5 ppm (PP No. 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun), limbah industri karet ini memerlukan perlakuan khusus sebelum dibuang ke lingkungan.

Pada industri barang jadi lateks, cara kimia yang umum digunakan untuk menurunkan kandungan logam Zn²⁺ dalam air limbah adalah dengan menambahkan basa, umumnya NaOH atau Ca(OH)₂, sampai pH sekitar 11, sehingga logam berat ini diendapkan sebagai hidroksidanya. Namun cara ini sangat mahal dan beresiko munculnya pencemaran sekunder

akibat kelebihan basa. Oleh sebab itu perlu proses pengolahan yang lebih ramah lingkungan dan lebih ekonomis.

Saat ini, pengolahan secara biologis untuk mengurangi ion logam berat dari air tercemar menjadi teknologi alternatif yang berpotensi untuk dikembangkan. Salah satu di antaranya adalah biosorpsi yang memanfaatkan kemampuan pertukaran ion, pembentukan kompleks dan penyerapan mikroorganisme untuk menyerap logam berat. Secara umum, keuntungan pemanfaatan mikroorganisme sebagai biosorben adalah (1) biaya operasional rendah, (2) efisiensi dan kapasitas pengikatan logam yang tinggi, (3) meminimumkan terbentuknya *sludge*, (4) kemungkinan untuk *recovery* logam, (5) biosorben dapat diregenerasi, (6) bahan bakunya mudah didapat dan tersedia dalam jumlah banyak, dan (7) tidak memerlukan tambahan nutrisi jika menggunakan mikroba yang sudah mati (Gazsó, 2001 ; Ahalya *et al.*, 2004).

Mikroba telah lama diketahui dapat menyerap logam-logam berat dari lingkungan eksternalnya secara efisien (Horsfall *et al.*, 2006; Chergui *et al.*, 2007). *Saccharomyces cerevisiae* sudah banyak diteliti berkaitan dengan potensinya sebagai biosorben dan bioakumulator logam berat, di antaranya karena memiliki persentase material dinding sel sebagai sumber pengikatan logam yang tinggi dan juga biomassa *S. cerevisiae* mudah diperoleh karena banyak dimanfaatkan pada proses fermentasi. Mawardi *et al.* (1997) telah meneliti pemanfaatan biomassa *S. cerevisiae* untuk penyerapan logam Pb^{2+} . Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa kurang lebih 86% dari total serapan terjadi pada 10 menit pertama waktu kontak dengan serapan maksimum 33,04 mg Pb/g biomassa. Volesky & May-

Philips (1995) melaporkan penyerapan uranium, seng dan tembaga terjadi pada pH optimum 4-5, sedangkan Hadi *et al.* (2003) telah melaporkan kinetika dan kesetimbangan biosorpsi kadmium oleh sel *S. cerevisiae* dengan kondisi optimum penyerapan sebesar 35 mg/g sel.

Limbah pabrik bioetanol yang kaya akan *S. cerevisiae* sampai saat ini belum dimanfaatkan, maka pada penelitian ini limbah tersebut dimanfaatkan untuk penyerapan ion Zn^{2+} , sehingga dapat meningkatkan nilai tambah dari limbah tersebut. Untuk melihat potensi biomassa tersebut, dilakukan berbagai variasi perlakuan yang memungkinkan untuk diaplikasikan di lapangan, di antaranya variasi pH, perlakuan pada biomassa, kemungkinan sistem aplikasi secara kontinu, dan kemungkinan kombinasi penerapannya dengan zeolit atau arang aktif.

Bahan dan Metode

Biomassa *S. cerevisiae* yang digunakan berasal dari limbah pabrik bioetanol di daerah Lampung yang diketahui mengandung ragi *S. cerevisiae* yang sudah mati maupun masih hidup. Limbah Zn^{2+} artifisial digunakan larutan $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$. Konsentrasi Zn^{2+} yang tersisa diukur dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS).

Pengujian kemampuan biosorpsi pada variasi pH

Biomassa *S. cerevisiae* sebanyak 0,5 g kering dimasukkan ke dalam 100 mL larutan Zn^{2+} 250 ppm dengan variasi pH 3, 4 dan 5. Larutan-larutan tersebut dikocok dengan *shaker* pada kecepatan 120 rpm dan dilakukan *sampling* pada dua dan lima

jam untuk analisis konsentrasi Zn^{2+} . Larutan disentrifugasi pada 4000 rpm selama 10 menit, kemudian konsentrasi Zn^{2+} di dalam supernatan ditentukan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS).

Biosorpsi dengan biomassa amobil pada variasi pH

Biomassa *S.cerevisiae* diamobilisasi dengan cara dibungkus menggunakan kertas saring. Sebanyak masing-masing 2 g biomassa yang teramobilisasi ditempatkan ke dalam 200 mL larutan Zn^{2+} 300 ppm dengan variasi pH 5, 6 dan 7. Larutan dikocok menggunakan *shaker* dengan kecepatan 120 rpm selama beberapa jam. *Sampling* dilakukan setiap jam dengan penggantian biomassa amobil untuk mengetahui adanya pengaruh terhadap penyerapan logam dengan melihat bagaimana konsentrasi Zn^{2+} yang tersisa pada penggunaan biomassa I dan II.

Modifikasi biomassa S. cerevisiae

Modifikasi biomassa *S. cerevisiae* untuk meningkatkan kapasitas sorpsi dilakukan dengan cara: 1) Biomassa direndam dengan larutan NaOH 2% disertai pemanasan pada suhu 120°C selama 20 menit, kemudian dicuci dengan akuades sampai netral dan dikeringkan dalam desikator, 2) Biomassa direndam dengan larutan formaldehida 2% disertai pemanasan pada suhu 120°C selama 15 menit, kemudian dicuci dengan akuades dan dikeringkan dalam desikator, dan 3) Biomassa dipanaskan pada suhu 120°C selama 20 menit. Setiap padatan hasil modifikasi diujicobakan kemampuan sorpsinya dalam larutan Zn^{2+} 300 ppm pH 5. Padatan tersebut sebanyak 0,5 gram

yang dibungkus dalam kertas saring direndam dalam larutan Zn^{2+} dan dikocok menggunakan *shaker* dengan kecepatan 120 rpm selama beberapa jam. *Sampling* dilakukan setiap 30 menit sebanyak tiga kali dan masing-masing hasil *sampling* disentrifugasi pada kecepatan 4000 rpm selama 10 menit dan ditentukan konsentrasi Zn^{2+} pada masing-masing perlakuan (Luef *et al.*, 2004).

Pengujian viabilitas S. cerevisiae dalam biomassa dan kemampuan biosorpsi sel hidup

Untuk melihat apakah penyerapan bergantung pada jumlah *S. cerevisiae* yang hidup, biomassa ditumbuhkan pada medium glukosa 10 g/L, *malt extract* 3 g/L, pepton dan *yeast extract* 3 g/L. Pertumbuhan diukur dengan mengukur kerapatan optik pada $\lambda = 610$ nm. Sebagai perbandingan, biomassa *S. cerevisiae* diadaptasikan terlebih dahulu dengan menumbuhkan pada medium yang sama yang mengandung Zn^{2+} 300 ppm selama 21 jam pada suhu ruang menggunakan *shaker* dengan kecepatan 120 rpm.

Pengujian biosorpsi biomassa S. cerevisiae dalam proses kontinu

Untuk penerapan secara kontinu di lapangan, dilakukan percobaan dengan aliran kontinu. Sebanyak 2 g biomassa yang sudah diperlakukan dengan larutan NaOH 1 N ditempatkan di dalam kolom dengan diameter ± 3 cm. Kemudian melalui bagian bawah kolom berisi biomassa yang dimodifikasi, dialirkan larutan Zn^{2+} 300 ppm pH 5 dengan kecepatan alir 1,2 mL/menit, dan dilakukan *sampling* untuk larutan yang sudah melewati

biomassa termodifikasi sebanyak 10 x 10 mL untuk masing-masing eluat. Biomassa yang telah digunakan tersebut dicobakan lagi kemampuan penyerapannya dengan mengalirkan kembali larutan Zn^{2+} 300 ppm pH5 dan dilakukan *sampling* yang sama dengan sebelumnya.

Penyerapan dengan kombinasi biomassa S. cerevisiae dan arang aktif atau zeolit

Untuk menghasilkan penyerapan yang optimum, biomassa *S. cerevisiae* dikombinasikan dengan penggunaan arang aktif atau zeolit. Untuk melihat potensi penyerapannya, arang aktif dan zeolit ditambahkan dengan variasi jumlah masing-masing 1, 2, dan 3 % b/v ke dalam limbah yang telah melalui proses biosorpsi sehingga kadar Zn^{2+} tinggal 20 ppm, kemudian diamati kemampuan penyerapan Zn^{2+} pada pH5 sebagai pH optimum penyerapan. *Sampling* dilakukan tiap 30 menit dan diukur konsentrasi Zn^{2+} di dalam sampel hasil perlakuan dengan masing-masing bahan penyerap.

Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini dilakukan dalam upaya memperoleh proses penurunan kadar Zn^{2+} dalam limbah yang murah, antara lain limbah industri barang jadi lateks yang masih mengandung Zn^{2+} sebesar 300 ppm, dengan memanfaatkan limbah industri bioetanol yang mengandung biomassa *S. cerevisiae*. Untuk aplikasi di lapangan, maka diperlukan suatu desain proses biosorpsi dengan mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut: a) modifikasi biomassa yang sesuai atau perlakuan awal yang akan meningkatkan penyerapan, b)

waktu tinggal limbah atau waktu kontak proses, c) proses pemisahan atau *recovery* biomassa, d) pembuangan biomassa yang telah digunakan, dan e) pertimbangan ekonomis proses (Widle & Benemann, 1993). Oleh sebab itu, penelitian dilakukan dengan perubahan parameter yang akan mempengaruhi penyerapan logam, di antaranya pH, waktu kontak, dan beberapa perlakuan pada biomassa, baik secara fisika maupun dengan perendaman dengan zat kimia seperti NaOH, formaldehida, dan pemanasan. Disamping itu juga dilakukan amobilisasi biosorben untuk memudahkan aplikasi pada proses kontinu.

Kemampuan biosorpsi pada variasi pH

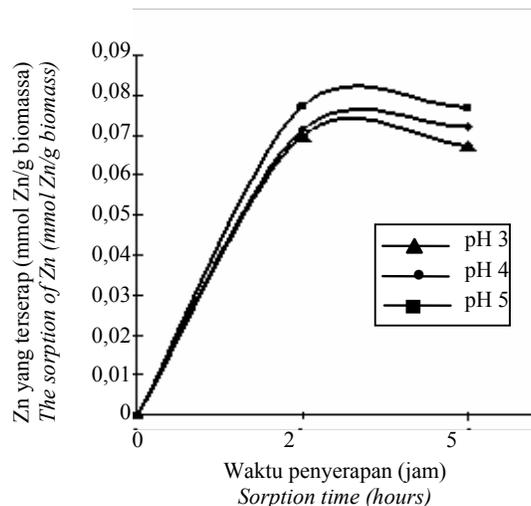
Nilai pH merupakan parameter yang sangat mempengaruhi kemampuan penyerapan logam karena beberapa ikatan antara gugus fungsi protein biomassa dengan ion logam melibatkan penggantian proton, sehingga dipengaruhi oleh pH. Pada pH di atas titik isolistrik, terjadi muatan negatif *netto* pada komponen dinding sel dan keadaan ionik ligan, seperti gugus karboksil, fosfat dan amino yang meningkatkan reaksi dengan kation logam. Pada pH di bawah titik isolistrik, muatan permukaan keseluruhan pada permukaan sel menjadi positif, yang akan menghambat mendekatnya kation bermuatan positif. Proton akan berkompetisi dengan terlebih dahulu dengan berikatan dengan ligan sehingga mengurangi interaksi ion logam dengan komponen sel (Goksungur *et al.*, 2002). Pada pH tinggi, logam Zn^{2+} mengendap menjadi $Zn(OH)_2$, sehingga dilakukan percobaan pada pH yang lebih rendah tetapi di atas pH isolistrik.

Konsentrasi biomassa yang digunakan relatif kecil, sebesar 1% terhadap volume limbah. Penyerapan spesifik Zn^{2+} meningkat pada konsentrasi sel biomassa yang rendah dan menurun pada konsentrasi sel melebihi 2 g/L (Incharoensakdi & Kitjaharn, 2004). Di samping itu, biomassa yang digunakan harus seminimal mungkin agar aplikasinya ekonomis pada skala lapangan.

Dari data (Gambar 1) terlihat bahwa penyerapan tertinggi terjadi pada pH 5 dan waktu penyerapan optimum kurang dari dua jam, karena pada jam kelima terjadi penurunan kemampuan penyerapan. Nilai penyerapan sebesar 0,077 mmol Zn/g biomassa jauh lebih rendah dibanding hasil yang dilaporkan Volesky & May-Philips (1995) bahwa biosorpsi Zn^{2+} oleh *baker's yeast* sebesar 0,56 mmol Zn/g sel. Hal tersebut dapat disebabkan kandungan biomassa yang mengandung bahan anorganik, di antaranya silika, yang diguna-

kan sebagai *filter aid* pada proses filtrasi bioetanol di pabrik, yang diasumsikan mempengaruhi kemampuan penyerapan, baik dilihat dari sisi toksisitas pada *S. cerevisiae*, maupun kadar biomassa pada padatan total yang ditambahkan.

Disamping itu adanya logam lain pada sampel mempengaruhi kapasitas penyerapan, misalnya keberadaan ion kalsium. Penyerapan Zn^{2+} menurun dengan semakin tingginya konsentrasi Ca^{2+} , karena penyerapan kalsium lebih “disukai” dibanding Zn^{2+} (de França *et al.*, 2001). Disamping itu, perbedaan daya serap juga disebabkan biomassa *S. cerevisiae* yang digunakan pada percobaan ini berasal dari limbah pabrik bioetanol (*brewer's yeast*) yang dikulturkan secara anaerob pada medium molase, sedangkan pada percobaan Volesky & May-Philips (1995) digunakan *baker's yeast* yang dikulturkan secara aerob menggunakan medium ekstrak malt.



Gambar 1. Biosorpsi Zn^{2+} oleh *S. cerevisiae* pada pH 3, 4 dan 5.

Figure 1. Biosorption of Zn^{2+} by *S. cerevisiae* at pH 3, 4, and 5

Perbedaan ini bahkan dapat terjadi pada strain dari spesies tunggal dengan kondisi fisiko kimia yang sama. Konsentrasi Zn^{2+} yang tersisa masih di atas ambang batas yang diperbolehkan. Keterbatasan penyerapan Zn^{2+} oleh biomassa dapat dikarenakan proses biosorpsi merupakan proses yang terjadi sampai dicapai kesetimbangan antara jumlah yang terserap dalam padatan dengan jumlah logam yang masih tersisa dalam larutan (Ahalya *et al.*, 2004).

Biosorpsi dengan biomassa amobil pada variasi pH

Proses untuk memperoleh kembali logam yang terserap (*recovery*) merupakan proses pemisahan biomassa dari limbah setelah pengolahan, yang merupakan nilai tambah suatu proses pengolahan limbah. Proses sentrifugasi dan filtrasi yang saat ini rutin dilakukan di laboratorium dinilai tidak praktis bila diterapkan pada proses industri, sehingga penerapan amobilisasi mikroorganisme yang dikemas pada suatu kolom dipandang sangat praktis untuk digunakan (Suhendrayatna, 2001). Wilkinson *et al.* (1989), melaporkan sel amobilisasi dari *Chlorella emersonii* dapat mengakumulasi merkuri lebih tinggi dibandingkan dengan sel tanpa amobilisasi. Selain itu penggunaan sistem amobil sangat cepat dan efisien, karena logam dapat segera dipisahkan dari biomassa dan diperoleh kembali (*recovery*), dan sistem mudah dirancang dengan perhitungan matematis.

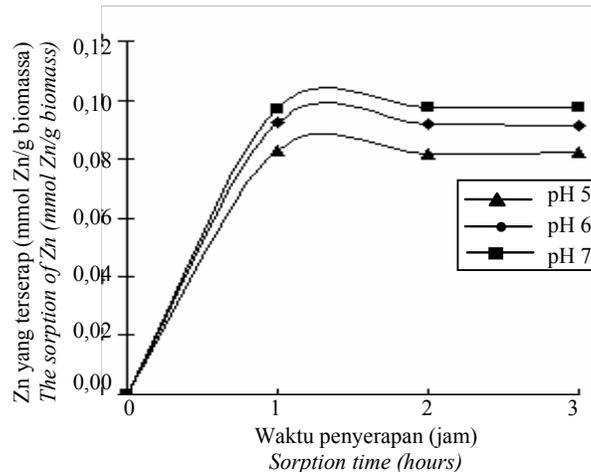
Pada penelitian ini biomassa diamobilisasi dengan menempatkannya pada kertas saring dengan porositas yang memungkinkan ion-ion untuk tetap dapat berpindah dari larutan ke dalam sel biomassa. Dilakukan penggantian biomassa

yang dibungkus dengan kertas saring yang baru, untuk mengetahui apakah dengan penggunaan biomassa yang baru air limbah yang diolah dapat mencapai batas konsentrasi Zn^{2+} yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan.

Dari hasil yang diperoleh (Gambar 2) didapat bahwa konsentrasi Zn^{2+} terserap lebih tinggi dimiliki oleh biomassa yang teramobilisasi (0,0972 mmol Zn/g biomassa) dibanding dengan tidak teramobilisasi (0,077 mmol Zn/g biomassa, Gambar 1). Hal ini tentu saja semakin memperbesar kemungkinan aplikasi di lapangan mengingat keuntungan yang diperoleh jika menggunakan biomassa yang teramobilisasi. Penggunaan biomassa yang baru ternyata tidak mengurangi konsentrasi Zn^{2+} yang tersisa di larutan. Hal ini mengindikasikan bahwa ada batasan konsentrasi maksimal penyerapan. Namun, hal tersebut tidak menjadi masalah selama biomassa dapat digunakan kembali dan dilakukan kombinasi penggunaan dengan bahan penyerap yang lain.

Modifikasi biomassa S. cerevisiae

Afinitas logam terhadap biomassa dapat diubah dengan melakukan perlakuan awal dengan menggunakan perendaman dengan alkali, asam, deterjen dan panas (Ahalya *et al.*, 2004). Biasanya mikroba yang telah mati memiliki afinitas yang lebih tinggi terhadap ion logam dibanding yang masih hidup. Selain itu di industri penggunaan biomassa yang telah mati lebih disukai karena tidak toksik, tidak ada persyaratan medium dan nutrisi untuk pertumbuhan, biosorpsi dapat mudah dilakukan, serta biomassa dapat digunakan kembali setelah dilakukan disorpsi ion logam yang terserap (Cabuk *et al.*, 2004). Pada biomassa yang masih mengandung



Gambar 2. Biosorpsi Zn^{2+} oleh biomassa *S. cerevisiae* teramobilisasi pada pH 5, 6 dan 7, disertai penggantian biomassa pada jam kedua dengan yang baru.

Figure 2. Biosorption of Zn^{2+} by the immobilized *S. cerevisiae* biomass at pH 5, 6 and 7, accompanied by replacement of biomass at second hour with the fresh one.

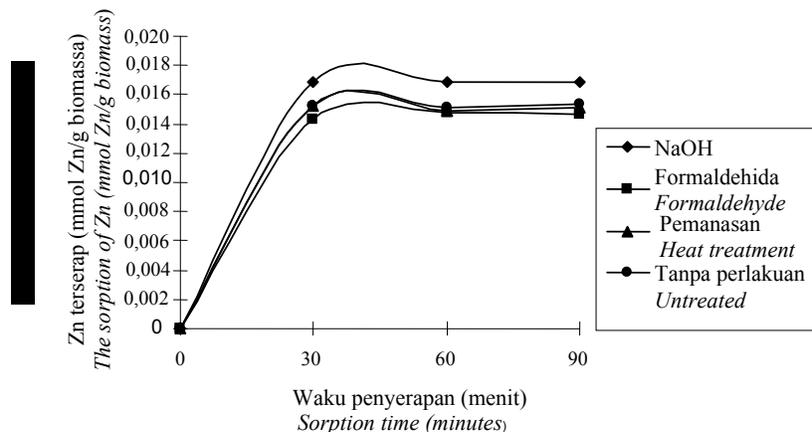
mikroorganisme hidup diberi beberapa perlakuan di antaranya secara fisika dengan pemanasan, dan secara kimia dengan perendaman dalam larutan NaOH dan formaldehid.

Konsentrasi Zn^{2+} yang tersisa paling rendah dihasilkan oleh perlakuan perendaman menggunakan larutan NaOH (Gambar 3). Perendaman NaOH dilakukan untuk mengaktifkan biosorben seperti yang biasa dilakukan pada resin sintetik. Perlakuan awal sampel menggunakan NaOH dapat meningkatkan penyerapan Zn^{2+} . Hal ini mungkin disebabkan oleh penghilangan pengotor pada permukaan sel, sehingga membersihkan permukaan membran dan memungkinkan paparan yang lebih maksimal dari sisi ikatan dengan logam yang akan diserap. Di samping itu, menurut Muraleedharan & Venkobachar (1990), perlakuan dengan

perendaman dengan larutan alkali akan menghancurkan enzim autolitik yang menyebabkan pembusukan (*putrefaction*) biomassa dan menghilangkan lipid dan protein yang menyelubungi sisi aktif pengikatan logam. Perlakuan ini juga dapat melepaskan polimer polisakarida yang memiliki afinitas yang tinggi terhadap ion logam tertentu (Loaec, 1997). Perendaman biomassa dengan larutan NaOH terbukti telah meningkatkan kapasitas penyerapan Zn^{2+} pada *Aspergillus niger* (Luef *et al.*, 2004) dan juga meningkatkan absorpsi logam Fe^{3+} , Cu^{2+} , Cr^{3+} , Hg^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} , Co^{2+} , Ag^+ , Ni^{2+} , dan Fe^{2+} oleh *S. cerevisiae* (Brady *et al.*, 1994).

Pemanasan menyebabkan penurunan serapan Zn^{2+} . Hal ini dapat disebabkan oleh hilangnya gugus fungsi amino yang berperan dalam proses pengikatan logam

Biosorpsi logam Zn oleh biomassa *Saccharomyces cerevisiae*



Gambar 3. Biosorpsi Zn^{2+} oleh biomassa *S. cerevisiae* yang dimodifikasi.

Figure 3. Biosorption of Zn^{2+} by modified *S. cerevisiae* biomass.

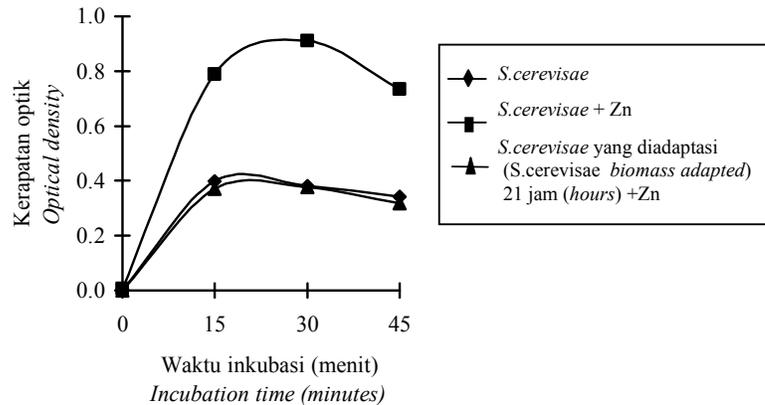
pada permukaan sel melalui reaksi *browning* non-enzimatik akibat pemanasan (Loaec, 1997). Pemanasan ini juga berfungsi untuk mematikan *S. cerevisiae*. Perendaman dengan formaldehida menyebabkan penurunan penyerapan Zn^{2+} . Hal ini disebabkan terjadinya metilasi pada gugus amino yang ada pada dinding sel sehingga menurunkan penyerapan Zn^{2+} (Huang & Huang, 1996).

Viabilitas S. cerevisiae dalam biomassa dan kemampuan biosorpsi sel hidup

Penelitian ini untuk mengetahui pengaruh Zn^{2+} terhadap pertumbuhan *S. cerevisiae* dan kemampuan biosorpsi *S. cerevisiae* hidup. Pertumbuhan diamati dengan mengukur kekeruhan yang dihasilkan menggunakan spektrofotometer pada $\lambda = 610$ nm. Pada kondisi penam-

bahan Zn^{2+} kerapatan optik (OD) lebih rendah dibandingkan dengan keadaan normal (tanpa penambahan Zn^{2+}). Hal ini menunjukkan toksisitas Zn^{2+} terhadap pertumbuhan *S. cerevisiae* sejak kurang dari 15 menit. Inkubasi selama 21 jam memberikan kesempatan untuk pertumbuhan *S. cerevisiae* lebih banyak sehingga meningkatkan kemampuan penyerapan logam (Gambar 4).

Pada tahap awal, penambahan seng tidak terlalu mempengaruhi pertumbuhan *S. cerevisiae*, karena Zn^{2+} sendiri digunakan oleh organisme ini sebagai kofaktor enzim yang mengkatalisis reaksi biokimia pada siklus karbon dan nitrogen. Konsentrasi Zn^{2+} yang tinggi menyebabkan peningkatan durasi fase lag dan penurunan penggunaan substrat yang tentunya mengurangi kemampuan penyerapan logam (Sharma *et al.*, 2002).



Gambar 4. Kerapatan optik biakan *S. cerevisiae* dengan berbagai kondisi : (1) Biomassa *S. cerevisiae* yang dibiakkan normal, (2) *S. cerevisiae* yang dibiakkan pada medium mengandung Zn^{2+} 300 ppm dan (3) Biomassa *S. cerevisiae* yang diadaptasi selama 21 jam dan kemudian ditambahkan Zn^{2+} .

Figure 4. Optical density of *S. cerevisiae* culture with various condition (1) *S. cerevisiae* Biomass cultured normally, (2) *S. cerevisiae* cultured on media containing 300 ppm Zn^{2+} , (3) *S. cerevisiae* biomass adapted in media containing Zn^{2+} 300 ppm for 21 hours .

Biosorpsi biomassa *S. cerevisiae* dalam proses kontinu

Sampel biomassa yang sudah diperlakukan terlebih dahulu dengan NaOH menghasilkan larutan eluat yang jernih, tidak seperti sampel tanpa perlakuan yang menyebabkan eluat menjadi berwarna kemerahan karena masih banyaknya partikel yang dapat larut. Pada percobaan ini dilakukan dengan aliran kontinu dengan laju alir 1,2 mL/menit dan diperoleh variasi konsentrasi Zn^{2+} yang tersisa dalam rentang 24,02 - 41,95 ppm dari konsentrasi awal Zn^{2+} 300 ppm pada elusi pertama (Tabel 1.).

Hal tersebut menunjukkan bahwa biomassa *S. cerevisiae* memiliki kemam-

puan penyerapan lebih dari 80% Zn^{2+} di dalam larutan walaupun dalam aliran kontinu. Pada elusi kedua yang menggunakan sorben sebelumnya diperoleh penurunan yang sangat signifikan dari konsentrasi Zn^{2+} 300 ppm menjadi 1,15 - 10,99 ppm.

Pada pengulangan proses penyerapan Zn^{2+} dengan menggunakan biomassa yang sama dengan kecepatan alir yang sama diperoleh penurunan konsentrasi Zn^{2+} yang sangat signifikan. Hal ini mungkin disebabkan makin banyaknya sisi penyerapan yang aktif akibat suasana asam. Diduga protein yang berperan dalam penyerapan Zn^{2+} telah mengalami perubahan pada saat elusi kedua yang dilakukan 24 jam setelah elusi I.

Biosorpsi logam Zn oleh biomassa Saccharomyces cerevisiae

Tabel 1. Konsentrasi Zn^{2+} yang tersisa pada proses penyerapan dengan aliran kontinu pada konsentrasi Zn^{2+} awal 300 ppm.

Table 1. Concentration of remaining Zn^{2+} after sorption with continuous flow at initial Zn^{2+} concentration of 300 ppm.

No. Sampling	Elusi biomassa I <i>Biomass elution I</i> Konsentrasi (Concentration), ppm	Elusi Biomassa II <i>Biomass elution II</i> Konsentrasi (Concentration), ppm
1	41,95	2,09
2	31,07	4,69
3	33,78	1,15
4	24,02	2,68
5	34,89	4,58
6	35,63	3,32
7	31,55	7,90
8	41,57	9,99
9	34,89	10,99
10	31,18	6,59
Rata-rata (average) \pm sd	34,053 \pm 5,238	5,398 \pm 3,365

Penyerapan dengan kombinasi biomassa S. cerevisiae dan arang aktif atau zeolit

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, disimpulkan kemampuan biosorpsi ion Zn^{2+} hanya mencapai konsentrasi akhir sekitar 20 ppm (\pm 88,56 %, dari Gambar 2), sedangkan ambang batas kadar Zn^{2+} yang diperbolehkan adalah 2,5 ppm. Oleh sebab itu, perlu pengkombinasian biosorben biomassa dengan sorben lain, yaitu arang aktif atau zeolit. Zeolit dengan struktur "*framework*" mempunyai luas permukaan yang besar dan mempunyai saluran yang dapat menyaring ion/molekul karena uni kation pada atom aluminium zeolit dapat dipertukarkan dengan ion H^+ dan aktif sebagai katalisator reaksi (Las, 2006).

Tabel 2 memperlihatkan bahwa penyerapan Zn^{2+} 20 ppm yang diasumsikan merupakan Zn^{2+} yang tersisa dari penyerapan oleh biomassa, dapat terserap dengan baik oleh kedua biosorben bahkan sampai di bawah ambang batas yang ditentukan. Kuantitas biosorben tidak begitu mempengaruhi kemampuan penyerapan, karena itu untuk pemanfaatan selanjutnya dapat dipilih jumlah dan jenis adsorben yang lebih ekonomis, yaitu arang aktif 1%. Jumlah zeolit maupun karbon yang berkisar 1-3% w/v mampu meningkatkan serapan logam secara signifikan. Hal tersebut dapat disebabkan adanya kesetimbangan antara ion terserap dan ion yang berada di larutan seperti dalam rumus kesetimbangan serapan isoterm Langmuir yang hanya dipengaruhi oleh tekanan dan suhu, tapi tidak dipengaruhi oleh jumlah adsorben.

Tabel 2. Konsentrasi Zn^{2+} yang tersisa setelah sorpsi dengan arang aktif dan zeolit pada 1, 2 dan 3% b/v.Table 2. Concentration of remaining Zn^{2+} after sorption with active carbon and zeolite at 1, 2, and 3 % w/v.

Bahan Penyerap (Sorbent)	Konsentrasi Zn^{2+} yang tersisa (ppm) selama (menit) (Concentration of remaining Zn^{2+} , ppm)			
	30 menit	60 menit	90 menit	120 menit
Arang aktif (Charcoal), % b/v (w/v)				
1	3,23	2,92	1,06	1,36
2	2,53	2,88	2,44	2,57
3	2,17	2,77	2,13	2,03
Zeolit, % b/v (w/v)				
1	2,84	2,09	3,01	2,61
2	3,07	2,28	1,95	2,14
3	3,33	2,23	2,17	2,46

Keterangan : Konsentrasi ion Zn^{2+} sebelum sorpsi = 20 ppmNote : Zn^{2+} ion concentration before sorption = 20 ppm

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Biomassa yang mengandung *S. cerevisiae* berpotensi sebagai biosorben dengan pH optimum penyerapan lima dengan serapan sebesar 0,077 mmol Zn/g biomassa selama dua jam.
2. Kemampuan biosorpsi meningkat dengan amobilisasi biomassa menjadi 0,092 mmol Zn/g biomassa.
3. Biomassa *S. cerevisiae* dapat menyerap lebih dari 80% Zn^{2+} dalam larutan berkonsentrasi 300 ppm pada aliran kontinu.
4. Biomassa *S. cerevisiae* kurang efektif menyerap logam Zn^{2+} pada konsentrasi rendah, di bawah 20 ppm, sehingga perlu dikombinasikan dengan penggunaan arang aktif atau zeolit untuk meminimalkan konsentrasi Zn^{2+} di dalam limbah industri, sehingga memenu-

nuhi ambang konsentrasi baku mutu limbah yang ditetapkan.

Daftar Pustaka

- Ahalya, N., T.V. Ramachandra & R.D.Kanamadi (2004). *Biosorption of Heavy Metals*. Bangalore, India. Centre for Ecological Science, Indian Institute of Science.
- Brady D, A. Stoll, J.R. Duncan (1994). Biosorption of heavy metal cations by nonviable ragi biomass. *Environ. Technol.*, **15**, 429–38.
- Cabuk, A., S. Ilhan, C. Filik & F. Caliskan (2004). Pb^{2+} biosorption by pretreated Fungal Biomass. *Turk. J. Biol.*, **29**, 23-28.
- Chergui, A., M.Z. Bhakti, A. Chahboub, S. Haddoum, A. Selatnia, G. A. Junter (2007). Simultaneous biosorption of Cu^{2+} , Zn^{2+} and Cr^{6+} from aqueous solution by *Streptomyces rimosus*. *Desalination*, **206** 179-184.

Biosorpsi logam Zn oleh biomassa Saccharomyces cerevisiae

- de França, F.P., A. P. M. Tavares & A. C. A. da Costa (2001). Calcium interference with continuous biosorption of zinc by *Sargassum* sp. (Phaeophyceae) in tubular laboratory reactors. *Biosource Technol.*, **83**(2), 159-163.
- Gazsó, L. G. (2001). The Key Microbial processes in the removal of toxic metals and radionuclides from the environment. *Central European J. Occupational of Environ. Med.*, **7**(3), 178-185.
- Goksungur, Y., S. Uren & U. Guvenc (2002). Biosorption of copper ion by caustic treated waste baker's yeast biomass. *Turk. J. Biol.*, **27**, 23-29.
- Hadi, B., A. Margaritis, F. Berruti & M. Bergongnon (2003). Kinetic and equilibrium of cadmium biosorption by yeast cells *S. cerevisiae* and *K. fragilis*. *Internat. J. of Chem. Reactor Engin.*, **1**, 1-16.
- Horsfall Jnr, M., F.E. Ogban & E.E. Akporhonor (2006). Recovery of lead and cadmium ions from metal-loaded biomass of wild cocoyam (*Caladium bicolor*) using acidic, basic and neutral eluent solutions. *Elec. J. Biotech.*, **9**, 152-156.
- Huang, C & C.P. Huang (1996). Application of *Aspergillus oryzae* and *Rhizopus oryzae* for Cu (II) removal. *Water Res.*, **30**, 1985-1990.
- Incharoensakdi, A. & P.Kitjaharn (2004). Zinc biosorption from aqueous solution by a halotolerant cyanobacterium *Aphanothece halophytica*. *Appl. Microbiol. & Biotechnol.*, **45**(4), 261-264.
- Las, T. (2006). *Potensi Zeolit untuk Mengolah Limbah Industri dan Radioaktif*. Jakarta, PLTR Batan.
- Loaec, M. (1997). Uptake of lead, cadmium and zinc by a novel bacterial exopolysaccharide. *Water Res.*, **31**(5), 1171-1179.
- Luef, E., T. Prey & C. P. Kubicek (2004). Biosorption of zinc by fungal mycelial wastes. *Appl. Microbiol. & Biotechnol.*, **34**(5), 688-692.
- Mawardi (2007). Kajian biosorpsi ion-ion logam berat oleh biomassa alga hijau *Spyrogyra subsalsa*. *Disertasi*. Jakarta, Fakultas Pascasarjana, Universitas Indonesia, 161p
- Mawardi, Sugiharto, E.Mudjiran & I.D. Prijambada (1997). Biosorpsi timbal (II) oleh biomassa *Saccharomyces cerevisiae*. *BPS-UGM*, **10** (2C), 203-213.
- Muraleedharan, T.R. & C. Venkobachar (1990). Mechanism of biosorption of copper (II) by *Ganoderma lucidum*. *Biotechnol. Bioeng.*, **35**, 320-325.
- Sharma, S., M. G. Dastidar & T. R. Sreekrishnan (2002). Zinc uptake by fungal biomass isolated from industrial wastewater. *ASCE Practice Periodical of Hazardous, Toxic and Radioactive Waste Management*, **6**, 256-261.
- Suhendrayatna (2001). Bioremoval logam berat dengan menggunakan mikroorganisme: Suatu kajian kepustakaan. Disampaikan pada *Seminar on-Air Bioteknologi untuk Indonesia Abad 21*. Japan, Sinergy Forum - PPI Tokyo Institute of Technology.
- Suryabhuna, K. (2006). Komunikasi pribadi.
- Volesky, B & H.A. May-Philips (1995). Biosorption of heavy metal by *S.cerevisiae*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **42**, 797-806.
- Widle, E. W & J. R. Benemann (1993). Bioremoval of heavy metals by the use of microalgae. *Biotech. Adv.*, **11**, 781-812.
- Wilkinson, S. C., K. H. Goulding & P. K. Robinson (1989). Mercury accumulation and volatilization in immobilized cell system, *Biotech. Lett.*, **11**(12), 861-864.