

KAPASITAS SERAPAN DAN ENERGI IKAT PADA BIOSORPSI ION MANGAN(II) OLEH BIOMASSA *Saccharomyces cerevisiae* TERIMOBILISASI PADA CAMPURAN SILIKA GEL DAN ZEOLIT

Jasmidi dan Rahmat Nauli

Dosen Jurusan Kimia, FMIPA Universitas Negeri Medan, Medan – Indonesia

Abstract. *This research aims to study the uptake capacity and binding energy in ion biosorption of manganese(II) by biomass S. cerevisiae immobilized on silica gel and zeolite mixture. As for the method is performed by varying the initial concentration of manganese(II) in solution were contacted with biomass S. cerevisiae immobilized on silica gel and zeolite. To determine the concentration of manganese(II) in the solution used visible spectrophotometric method, using complexing formaldoksim. amount of manganese ions(II) adsorbed by the immobilized biomass was determined by calculating the difference between the concentration of manganese(II) contained in the solution before and after contacted. The results showed that the absorption of manganese(II) increased linearly as a function of concentration up to 50 mg/L, sorption capacity calculations obtained using Langmuir isotherm equation was 10.989 mg/g or $2,0 \times 10^{-4}$ mol/g dry weight biomass S. cerevisiae immobilized. Binding energy value between biomass S. cerevisiae immobilized with manganese ions (II) is 30.69 kJ/mol. Thus the interaction is a chemical interaction*

Key words : Absorption capacity, binding energy, S. cerevisiae, immobilization.

PENDAHULUAN

Perkembangan industri telah dapat meningkatkan kualitas hidup manusia disatu sisi, namun disisi lain dengan berkembangnya industri dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan dengan dihasilkan buangan industri yang mengandung zat-zat kimia berbahaya sehingga terjadinya pencemaran udara, air dan tanah. Salah satu buangan yang dapat menyebabkan pencemaran adalah logam berat, dan sebagai sasaran paling utama dari pencemar ini adalah sistem perairan seperti sungai, danau dan lain-lain.

Pencemar logam berat di dalam lingkungan akuatik berbeda sifatnya dengan pencemar-pencemar zat-zat organik. Pencemar logam berat tidak pernah dirusak (Hancock, 1996). Berbagai upaya pencegahan maupun penyembuhan (remediasi) telah dilakukan untuk mengatasi pencemaran logam berat, yaitu dengan menggunakan metode tradisional seperti metode elektrolitik, pertukaran kation, pengendapan maupun adsorpsi menggunakan adsorben konvensional telah banyak dilakukan, namun hasil yang didapatkan sering tidak memadai untuk mengatasi problem pencemaran tersebut (Manahan, 2000). Selain itu umumnya metode yang telah diperkenalkan memerlukan biaya

operasional dan ongkos teknologi yang tinggi sehingga kurang sesuai untuk diterapkan.

Untuk meminimalkan kandungan logam berat yang merupakan hasil samping industri, maka sistem pengelolaan limbah harus selalu diupayakan agar mampu menurunkan kadar logam berat hingga batas aman. Salah satu pengelolaan limbah adalah melalui adsorpsi. Menurut Mahmoud dkk, (2000), proses adsorpsi dapat dilakukan dengan menggunakan karbon aktif, elektrodialisis, osmosis balik, dan padatan anorganik. Padatan anorganik yang digunakan secara umum adalah padatan yang memiliki sisi aktif pada permukaan seperti gugus silanol (-SiOH) Siloksan (-Si-O-Si-) dan aluminol (-Al(OH)). Selain itu padatan anorganik yang memenuhi syarat tersebut misalnya : silika gel, zeolit, bentonit, lempung, tanah diatome dan kerangka hidup laut seperti chitin dan chitosan. Sedangkan menurut Gadd (1992), mikroorganisme seperti, khamir, jamur, bakteri dan alga dapat menyerap logam-logam berat dan radionuklida dari lingkungan eksternalnya. Jumlah logam yang terserap cukup besar dan berbagai mekanisme fisika, kimia dan biologi mungkin terlibat dalam penyerapan ini termasuk adsorpsi, pengendapan,

pembentukan kompleks dan pertukaran ion. Penggunaan biomassa sebagai biosorben memiliki beberapa kelemahan antara lain : ukuran kecil, berat jenis rendah dan menimbulkan kesulitan teknis dalam penggunaan serta mudah rusak karena dekomposisi oleh mikroorganisme lain. Kelemahan-kelemahan ini telah diatasi melalui cara imobilisasi, sehingga sel biomassa menjadi material keras yang dapat dikemas dalam kolom.

Penelitian menggunakan biomassa baik dalam keadaan bebas maupun terimobilisasi telah dilakukan. Jasmidi dkk. (2004), menggunakan 50 mg biomassa *S. cerevisiae* bebas sebagai biosorben untuk 25 ml larutan Mn(II), 40 mg/L, pH larutan 7 dan waktu kontak 45 menit. Mn (II) yang terserap mencapai 32,67 %. Bila menggunakan silika gel saja pada kondisi yang sama Mn (II) yang terserap 17,55 %. Sedangkan bila menggunakan biomassa *S.cereviseae* yang diimobilisasi pada silika gel (persentase biomassa dalam silika gel 1,12 %), menggunakan kondisi yang sama Mn (II) yang terserap mencapai 41,71 %. Sedang bila menggunakan larutan Cd (II), Jasmidi, (2005) dengan kondisi lain yang sama Cd yang terserap mencapai 98,45 % dan bila menggunakan larutan Pb(II) pada pH =6,5 dengan kondisi lain sama Pb yang terserap 96,27 %. Mamaril dkk. (1997), mempelajari biosorpsi dan desorpsi krom (III) oleh sel biomassa *Rhizobium* (BJVr 12) bebas dan terimobilisasi, diperoleh hasil ternyata bahwa Cr (III) dapat berkurang hingga 49,7 % untuk sel bebas, bila sel diimobilisasi dalam butiran keramik dapat berkurang hingga 95,6 %, Tsekova dan Petrov (2002), mempelajari pemindahan logam berat dari larutan air menggunakan *Miselia Rhizopus delemar* bebas dan terimobilisasi pada poliuretan, diperoleh hasil bahwa *Rhizopus delemar* terimobilisasi lebih tinggi dalam menyerap ion Co (II), Cu (II) dan Fe (II) daripada *Rhizopus delemar* bebas. Boddu dan Smith, (2002) mempelajari biosorben komposit kitosan untuk menyerap logam berat

dari air limbah. Pada penelitian tersebut kitosan diimobilisasi dengan alumina dengan persentase 21,07 % berat kitosan dalam alumina. Dengan pengolahan data menggunakan model isoterm Langmuir diperoleh hasil kapasitas serapan : 13 mg Cd²⁺/g, 75 mg Cr³⁺/g , 79 mg Cr⁶⁺, 130 mg Hg²⁺ dan 78 mg Ni²⁺/g kitosan. Göksungur, dkk (2003) meneliti Biosorpsi ion kadmium and timbal oleh biomassa yeast baker's dari limbah pembuatan etanol. Diperoleh hasil bahwa penyerapan ion Cd²⁺ dan Pb²⁺ secara berturut-turut mencapai 31,75 dan 60,24 mg/g. Budi, (2004) melakukan penelitian Biosorpsi Logam Ion Nikel (II) Oleh Biomassa *S. cerevisiae* Dengan Perlakuan NaOH. Hasil analisis menunjukkan bahwa proses biosorpsi ion logam nikel (II) dipengaruhi pH awal larutan dan waktu kontak. Proses biosorpsi pada selang waktu percobaan mencapai kondisi maksimum pada pH 6 dan waktu kontak 30 menit dengan harga kapasitas penyerapan 1,755 mg/g. Analisis isoterm adsorpsi biomassa *S. cerevisiae* terhadap logam nikel mengikuti isoterm adsorpsi Langmuir dengan harga koefisien regresi (r) = 0,992. Uji reversibilitas pada biomassa *S. cerevisiae* menunjukkan bahwa 14,617 % ion logam nikel (II) terlepas dari biomassa *S. cereviseaie* yang menunjukkan bahwa jenis isoterm adsorpsi yang terjadi kimia-fisika namun mekanisme kimia lebih dominan. Nur (2007), mempelajari Immobilisasi Limbah Fermetasi Pabrik Alkohol Terhadap Logam Berat Kadmium diperoleh hasil perlakuan immobilisasi terhadap adsorben dapat meningkatkan penjerapan logam. Amaria dkk (2007), melakukan penelitian Adsorpsi Seng (II) menggunakan Biomassa *Saccharomyces cereviseae* yang diimobilisasi pada silika secara sol gel.

Hasil-hasil penelitian menunjukkan kestabilan *S. cereviseae* imobil terhadap keasaman medium pH 2-12 relatif tetap, yaitu sebesar 89-90% sedang untuk *S. cereviseae* non mobil pH 2-10 87,96-88,56%. Adsorpsi cenderung konstan pada menit ke 60 unntuk kedua jenis

adsorben dengan jumlah adsorpsi seng (II) oleh biomassa imobil dan non mobil masing-masing sebesar 2,70 dan 2,74 mg/g. Pengaruh konsentrasi awal seng (II) dengan penerapan isoterm Langmuir diperoleh harga kapasitas adsorpsi untuk biomassa imobil dan non mobil masing-masing sebesar 8,53 mg/g dan 15,10 mg/g. Wahyuni dan Widiastuti (2009) meneliti Adsorpsi ion logam Zn(II) pada zeolit A yang disintesis dari Abu dasar batubara PT Ipmomi Paiton dengan metode batch. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa zeolit A mampu mengadsorpsi Zn(II) hingga 99,74% dengan konsentrasi Zn(II) 500 mg/L pada pH 10 selama 240 menit menggunakan 1gram zeolit. Kok, (2008), mempelajari modifikasi zeolit alam dan pemanfaatannya untuk menurunkan kadar pencemar tembaga dari limbah air buangan,. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa zeolit alam hasil modifikasi dengan perendaman menggunakan HCl 1 M kapasitas adsorpsi terhadap Cu^{2+} sebesar $4,81 \pm 0,03$ mg/g. Ginting (2008), menggunakan campuran silika gel dan zeolit (komposisi silika gel : zeolit 1 :1) sebagai pengimobilisasi biomassa *S. cerevisiae* untuk menyerap ion timbal(II) ternyata ion Pb(II) yang terserap mencapai 97,78 %.

Penelitian ini bertujuan mempelajari kapasitas serapan dan energi ikat serapan Mn(II) oleh biomassa *S. cerevisiae* hasil biakan laboratorium yang terimobilisasi pada campuran silika gel dan zeolit. Untuk mengukur konsentrasi Mn(II) dalam larutan digunakan spektrofotometer visibel dengan menggunakan pengompleks formaldoksim.

METODE

Bahan penelitian yang digunakan adalah : Kultur biomassa, Yeast ekstraks, Pepton, Dekstrosa, Mangan(II) sulfat monohidrat ($MnSO_4 \cdot H_2O$), hidrosilamin hidroksida, formalin 35 %, ammonia 37 %, natrium silikat, asam nitrat pekat, asam sulfat pekat, zeolit dan Akuades. Alat yang digunakan adalah : Spektrometer IR ,

spektronik genesys, neraca analitik digital, pH meter, oven, furnace, sentrifugasi, shaker, inkubator dan alat-alat gelas lainnya.

Untuk memperoleh biomassa *S. cerevisiae*, kultur *S. cerevisiae* ditumbuhkan dalam media pertumbuhan YEPD (yeast extract peptone dextrose) yang dinkubasi selama 24 jam pada suhu 30 °C.

Setelah sel berkembang dimatikan dengan cara dipanaskan dalam penangas air pada suhu 80 °C selama 25 menit. Kemudian dipisahkan dari medianya dengan menggunakan sentrifugasi.

Untuk mengaktifkan zeolit alam, sebanyak 200 gram zeolit alam digerus kemudian diayak pada ukuran 200 mesh, kemudian direndam dengan 200 ml HCl 0,1 M, lalu diaduk selama 1 jam kemudian di cuci dengan akuades, perlakuan diulangi kembali, kemudian dicuci kembali sampai pH zeolit netral. Kemudian zeolit dikeringkan dalam oven pada suhu 110 °C selama 2 jam. Zeolit yang sudah kering dipanaskan dalam tanur pada suhu 350 °C selama 3 jam dan diperoleh zeolit aktif.

Biomassa *S. cerevisiae* terimobilisasi pada silika gel dan zeolit dibuat dengan mempersiapkan biomassa *S. cerevisiae*, untuk setiap 50 mg berat kering biomassa dicampur dengan 5 ml asam sulfat 6 N selanjutnya diaduk. Sementara suspensi ini diaduk dengan cepat ditambahkan 10 ml natrium silikat dan 13 gram zeolit aktif, campuran ini diaduk hingga terbentuk gel selama lebih kurang 1 jam. Gel yang terbentuk dibiarkan semalaman kemudian dipotong-potong dan dicuci dengan akuades hingga air cucian netral. Gel tersebut kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 80 °C hingga didapatkan berat kering yang tetap, kemudian digerus dan diayak ukuran 200 mesh. Biomassa ini siap digunakan untuk penelitian.

Pada perlakuan penelitian, disiapkan masing-masing 75 mg biomassa *S. cerevisiae* terimobilisasi pada silika gel dan zeolit ke dalam 7 buah erlenmeyer yang berisi 25 ml

larutan mangan(II) yang pH nya sudah diatur 7 dengan konsentrasi berbeda-beda yaitu : 10, 20, 30, 40, 50, 60 dan 70 mg mangan(II)/L, lalu dikocok dalam shaker waktu kontak 15 menit. Untuk mendapatkan filtrat suspensi diatas lalu disentrifuse selama 10 menit dengan kecepatan 3500 rpm, filtrat diambil lalu ditambah dengan pengompleks formaldoksim kemudian diukur absorbansinya dengan spektrofotometer visibel. Untuk mendapatkan data konsentrasi mangan(II) yang diserap oleh biomassa terimobilisasi data absorbans sampel awal dan hasil perlakuan diubah ke dalam konsentrasi, dengan menggunakan persamaan kurva kalibrasi standar seri mangan(II). Adapun konsentrasi mangan(II) yang terserap biomassa *S. cerevisiae* terimobilisasi (Cb) adalah selisih antara konsentrasi sebelum (Ci) dan sesudah perlakuan (Ceq). Kemudian berdasarkan data (Ceq) dan data (Ceq/Cb) yang diperoleh dari perlakuan variasi konsentrasi awal mangan(II) dibuat kurva yang menghasilkan kurva

linearitas Langmuir. Pengolahan data lebih lanjut akan menghasilkan persamaan regresi linear. Berdasarkan persamaan regresi linear diperoleh koefisien korelasi (r), kapasitas serapan maksimum (am) dan affinitas serapan atau konstanta kesetimbangan (K) untuk serapan mangan(II) oleh biomassa *S. cerevisiae* terimobilisasi pada silika gel. Berdasarkan harga K yang diperoleh dapat dihitung energi adsorpsi dengan menggunakan rumus $\Delta G = -RT \ln K$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk memperoleh harga kapasitas serapan dan energi ikat Mn(II) oleh biomassa *S. cerevisiae* terimobilisasi pada silika gel dan zeolit, maka variabel konsentrasi awal timbal(II) divariasikan, dengan menggunakan masing-masing berat biomassa terimobilisasi 75 mg, waktu kontak 15 menit, pH larutan 7,0 dan volume larutan Mn(II) 25 ml diperoleh hasil penelitian seperti yang terlihat pada Tabel 1 berikut :

Tabel 1. Pengaruh konsentrasi awal larutan mangan(II) terhadap penyerapan mangan(II) oleh biomassa *S. cerevisiae* terimobilisasi pada silika gel dan zeolit.

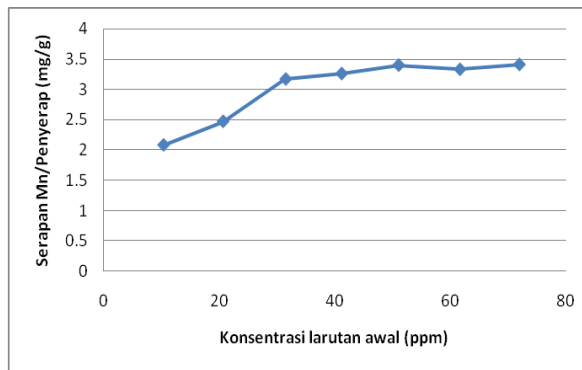
| Konsentrasi Mn (II) awal | Ceq (m) | Cb | Mn(II) Terserap (%) | Serapan Mn(II)/penyerap (mg/g) |
|--------------------------|---------|-------|---------------------|--------------------------------|
| 10,30 | 4,06 | 6,24 | 60,58 | 2,08 |
| 20,61 | 13,21 | 7,40 | 35,90 | 2,47 |
| 31,46 | 21,95 | 9,51 | 30,23 | 3,17 |
| 41,13 | 31,35 | 9,78 | 23,78 | 3,26 |
| 50,99 | 40,80 | 10,19 | 19,98 | 3,40 |
| 61,62 | 51,63 | 9,99 | 16,21 | 3,33 |
| 71,89 | 61,66 | 10,23 | 14,23 | 3,41 |

Keterangan : Ceq = Konsentrasi Mn(II) saat kesetimbangan (sisa).

Cb = Konsentrasi Mn(II) terserap oleh biomassa terimobilisasi

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh konsentrasi awal Mn(II) terhadap serapan Mn(II) oleh biomassa *S. cerevisiae* terimobilisasi pada silika gel dan zeolit yang datanya terdapat pada tabel 1. diatas dapat disajikan

dalam bentuk grafik hubungan antara konsentrasi awal Mn(II) dengan serapan Mn(II) oleh biomassa *S. cerevisiae* terimobilisasi seperti pada Gambar 1. berikut



Gambar 1. Hubungan antara konsentrasi awal larutan mangan(II) dengan serapan mangan(II) oleh biomassa *S. cerevisiae* terimobilisasi pada silika gel dan zeolit

Pada gambar 1. tampak bahwa jumlah mangan(II) yang terserap meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi Mn(II) dalam larutan yang diinteraksikan dengan biomassa terimobilisasi. Peningkatan serapan relatif tajam terjadi pada konsentrasi awal hingga sebesar 50 mg/L. Penambahan konsentrasi awal larutan mangan(II) lebih lanjut relatif tidak menaikkan nilai serapan. Gejala ini ditunjukkan dengan pola grafik yang relatif horizontal mulai konsentrasi awal larutan mangan 50 mg/L.

Keadaan ini sesuai dengan penjabaran Langmuir tentang teori adsorpsinya bahwa pada permukaan penyerap dalam hal ini biomassa *S. cerevisiae* terimobilisasi terdapat sejumlah situs aktif yang proporsional dengan luas permukaan. Pada situs aktif tersebut hanya dapat menyerap satu molekul. Ikatan antara penyerap dan zat yang terserap dapat terjadi secara fisika atau kimia. Tetapi ikatan tersebut harus cukup kuat untuk menjaga terjadinya perpindahan molekul yang telah terserap sepanjang permukaan penyerap (Oscik, 1982). Teori Langmuir mengasumsikan bahwa situs penyerapan adalah ekuivalen dan ikatan linearitas Langmuir penyerapan mangan(II) yang disajikan pada tabel 2 berikut.

yang terjadi tidak tergantung kepada ikatan yang telah terbentuk pada situs aktif yang berada didekatnya (Mahan dkk, 1989). Penyerapan secara kimia terjadi karena terbentuknya ikatan antara situs aktif dengan zat yang diserap. Ikatan yang terjadi membentuk lapisan penyerapan tunggal pada permukaan penyerap (*monolayer adsorption*). Ketika situs aktif yang terdapat pada permukaan penyerap belum jenuh dengan zat terserap maka dengan memperbesar konsentrasi ion logam, jumlah ion logam yang terserap oleh biomassa akan meningkat secara linear. Selanjutnya, jika situs aktif pada permukaan sel biomassa telah jenuh dengan ion logam, maka peningkatan konsentrasi ion logam relatif tidak meningkatkan ion logam. Menurut Macaskie (1991), bahwa jika grafik antara ion logam yang terserap terhadap konsentrasi ion logam yang tersisa dalam larutan menghasilkan kurva tipe L, seperti rektanguler hiperbola, menunjukkan karakteristik isoterm Langmuir.

Untuk memperoleh kapasitas serapan mangan(II) oleh biomassa *S. cerevisiae* terimobilisasi pada silika gel dan zeolit data yang terdapat pada tabel 1. diolah dan didapatkan data

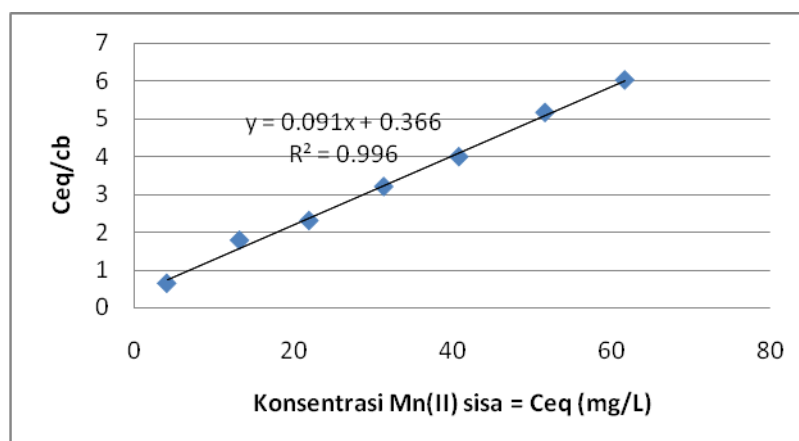
Tabel 2. Data linearitas Langmuir penyerapan mangan(II) oleh biomassa *S. cerevisiae* terimobilisasi

| Ceq | Cb | Ceq/Cb |
|-------|------|--------|
| 4,06 | 6,24 | 0,65 |
| 13,21 | 7,40 | 1,79 |

| | | |
|-------|-------|------|
| 21,95 | 9,51 | 2,31 |
| 31,35 | 9,78 | 3,21 |
| 40,80 | 10,19 | 4,00 |
| 51,63 | 9,99 | 5,17 |
| 61,66 | 10,23 | 6,03 |

Selanjutnya berdasarkan data pada tabel 2 tersebut, pengolahan data untuk penyerapan mangan(II) oleh biomassa

S. cerevisiae terimobilisasi pada silika gel dan zeolit diperoleh kurva linear seperti pada gambar 2 berikut :



Gambar 2. Kurva linearitas Langmuir penyerapan mangan(II) oleh biomassa *S. cerevisiae* terimobilisasi pada silika gel dan zeolit

Dengan menggunakan persamaan regresi linear diperoleh koefisien korelasi (r), kapasitas serapan maksimum (a_m) dan affinitas serapan atau konstanta kesetimbangan (K) untuk serapan mangan oleh biomassa *S. cerevisiae* terimobilisasi pada silika gel dan zeolit berturut-turut diperoleh : 0,996 ; 10,989 mg/g atau $2,0 \times 10^{-4}$ mol/g ; 4,022 L/mg atau 220960,64 L/mol, Hasil penelitian ini menunjukkan serapan mangan(II) terbesar terjadi pada konsentrasi awal 50 mg/L, dengan kapasitas serapan maksimum mangan(II) sebesar 10,989 mg/g atau $2,0 \times 10^{-4}$ mol/g biomassa *S. cerevisiae* terimobilisasi pada silika gel dan zeolit. Bila dihitung energi adsorpsi berdasarkan harga K dengan menggunakan rumus $\Delta G = -RT \ln K$ pada temperatur 27 °C dan $R = 8,314 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$, diperoleh harga energi adsorpsi = 30,69 kJoule/mol. Berdasarkan harga energi adsorpsi ini dapat dinyatakan bahwa adsorpsi yang terjadi merupakan adsorpsi kimia. Hal ini sesuai dengan pendapat Adamson (1990), yang mengemukakan bahwa

batas minimal energi adsorpsi kimia adalah 20,92 kJ/mol. Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa serapan kadmium(II) terbesar terjadi pada konsentrasi awal 60 mg/L, dengan kapasitas serapan maksimum kadmium(II) sebesar 53,476 mg/g atau $4,758 \times 10^{-4}$ mol/g biomassa *S. cerevisiae* terimobilisasi pada silika gel dan diperoleh harga energi adsorpsi = 27,09 kJoule/mol, sedangkan serapan timbal(II) terbesar terjadi pada konsentrasi awal 60 mg/L, dengan kapasitas serapan maksimum timbal(II) sebesar 49,505 mg/g atau $2,389 \times 10^{-4}$ mol/g biomassa *S. cerevisiae* terimobilisasi pada silika gel dan diperoleh harga energi adsorpsi = 28,086 kJoule/mol (Jasmidi, 2005). Sementara itu Suseno (2009) memperoleh hasil bahwa adsorpsi ion logam Pb^{2+} dengan menggunakan adsorben zeolit alam aktif kapasitas serapan maksimum (a_m), affinitas serapan atau konstanta kesetimbangan (K) dan energi adsorpsi diperoleh berturut-turut adalah $1,12 \times 10^{-5}$ mol/g, $1,23 \times 10^4 \text{ Lmol}^{-1}$ dan 23,3 kJ/mol.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut

1. Konsentrasi awal mangan(II) berpengaruh terhadap serapan mangan(II), serapan optimum terjadi pada konsentrasi 50 mg/L.
2. Kapasitas serapan maksimum 10,989 mg atau $2,0 \times 10^{-4}$ mol Mn(II)/g biomassa *S. cerevisiae* terimobilisasi pada silika gel dan zeolit.
3. Harga energi ikat antara biomassa *S. cerevisiae* terimobilisasi dengan mangan(II) adalah 30,69 kJoule/mol.
4. Interaksi yang terjadi antara biomassa *S. cerevisiae* terimobilisasi dengan mangan (II) merupakan interaksi kimia

DAFTAR PUSTAKA

- Adamson, A.W., (1990), *Physical Chemistry of Surface*, 5th ed., John Wiley and Sons Inc., Toronto
- Amaria, Agustini, R. Cahyaningrum S. E., Santoso S. J dan Narsito, (2007), Adsorpsi Seng (II) menggunakan Biomassa *Saccharomyces cerevisiae* yang diimobilisasi pada silika secara sol gel, *Akta Kimia Indonesia* **2(2)**: 63 – 74.
- Boddu, V.M. dan Smith E.D., (2002). A Composite Chitosan Biosorbent for Adsorption of Heavy Metals from Wastewaters, <http://www.asc2002.com/summaries/e/EP-01.pdf>
- Budi, T. S., (2004), Biosorpsi Logam Ion Nikel (II) Oleh Biomassa *Saccharomyces Cerevisiae* Dengan Perlakuan NaOH, *Perpustakaan Digital*, UPT Perpustakaan Pusat, Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Gadd, G.M., (1992). Micobial Control of Heavy Metal Pollution, In *Microbial Control of Pollutian* , Fry, J.C., Gadd, G.M., Herbert, R.A., Jones, R.W. & Watson Craik, I. A. (eds) Society for General Microbiology Symposium, Canbridge University UK, 59-88.
- Ginting, S. H., (2008), Kemampuan Penyerapan *Saccharomyces cerevisiae* Terimobilisasi Pada campuran Antara Silika Gel dan Zeolit Terhadap Ion timbal (Pb) II, *Skripsi*, FMIPA, Unimed, Medan.
- Göksungur, Y., Üren, S. and Güvenç, U., (2005), Biosorption of cadmium and lead ions by ethanol treated waste baker's yeast biomass, *Bioresource Technology* **96(1)**:103–109
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852404000987>
- Hancock, I.C., (1996). Bioremediation of Heavy Metal Pollution Possibilities and Practicalities, The Current Position, In *Symposium and Workshop on Heavy Metal Bioaccumulation*, IUC Biotechnology Gadjah Mada University, Yogyakarta, September 18 – 20, 1996.
- Jasmidi, (2005), Biosorpsi Ion Kadmium (II) dan Timbal (II) oleh Biomassa *Saccharomyces cerevisiae* Terimobilisasi pada Silika Gel, *Laporan Penelitian*, FMIPA, Unimed, Medan.
- Jasmidi, Darmana, A., Juwitaningsih, T. Hasanah, U. dan Kaban B., (2004), Pengaruh Imobilisasi Biomassa *saccharomyces cerevisiae* pada Silika Gel terhadap kapasitas Serapan Ion Mangan (II), *Laporan Penelitian*, FMIPA, Unimed, Medan.
- Kok, T., (2008), Modifikasi Zeolit Alam dan Pemanfaatannya untuk Menurunkan Kadar Pencemaran Tembaga dari Limbah Air Buangan Artocarpus **8(2)**: 74 – 84. <http://isjd.lipi.go.id/admin/jurnal/82087484.pdf>
- Macaskie, L.E., (1991) The Application of Biotechnology to The Treatment of Wastes Produced from The Nuclear Fuel a: Biodegradation and Bioaccumulation as a Means of Treating RadionuclideContaining Streams, *Crit. Rev. in Biotechnol*, **11**, 41-112.

- Mahan, C.A., Majidi, V. and Holcombe, J.A., (1989) Evaluation of Metal Uptake of Several Algae Strains in a Multicomponent Matrix Utilizing inductively Coupled Plasma Emission Spectrometry for Trace Metal Preconcentration, *Anal. Chem.*, 61: 624-627.
- Mahmoud, M. E., Osman M.M. dan Amer, M.E., (2000), Selective Preconcentration and Solid Phase Extraction of Mercury (II) from Natural Water by Silica Gel-Loaded Dithizone Phases, *Anal. Chim. Acta*, 415: 33-40.
- Mamaril, J. C., Paner, E.T. & Alpante, B.M., (1997). Biosorption and desorption studies of chromium (III) by free and immobilized Rhizobium (BJVr 12) cell biomass, *Biodegradation*, 8 : 275-285.
- Manahan S.E., (2000), *Environment Chemistry*. Seventh edition. Washington D. C : Lewis Publishers.
- Nur, A., (2007), Immobilisasi Limbah Fermentasi Pabrik Alkohol Terhadap Logam Berat Kadmium, *Ekulibrium* **6(1)**: 27-31. <http://tk.uns.ac.id/file/index.php?dir=Ekulibrium/Volume%206%20No%201/&file=27-31.pdf>
- Oscik, J., (1982). *Adsorption*, John Wiley & Son, New York.
- Suseno, (2009). Immobilisasi Dithizon Secara Fisika Pada Zeolit Alam Dan Studi Kemampuan Adsorpsinya Terhadap Logam Pb(II), *Jurnal Kimia dan Teknologi*, 72 (01) : 34-42
- Tsekova, K. dan Petrov G., (2002). Removal of Heavy Metals from Aqueous Solution Using *Rhizopus delemar* Mycelia in Free and Polyurethane-Bound Form, <http://www.znaturforsch.com>.
- Wahyuni, S. dan Widiastuti, N., (2009), Adsorpsi Ion Logam Zn(II) pada Zeolit A yang disintesis dari Abu Dasar Batubara PT IPMOMI PAITON dengan Metode Batch, *Prosiding Tugas Akhir Semester Ganjil 2009/2010*, Jurusan Kimia FMIPA ITS. <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-9876-Paper.pdf>