The Indonesian Green Technology Journal
DOI: *10.21776/ub.igtj.2021.010.01.03*

E-ISSN. 2338-1787
ISSN. 2355-4010

Biosorpsi Timbal (Pb) pada Larutan Menggunakan *Aspergillus niger* Amobil: Teknologi Hijau untuk Penghilangan Logam Berat

Avander Alexander Nuban[1], Ulfa Andayani[1], Anna Safitri,[1,2*]

[1]Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya, Indonesia
[2]Pusat Studi SMONAGENES (Smart Molecules of Natural Genetic Resources), Universitas Brawijaya, Indonesia
*Corresponding author email: a.safitri@ub.ac.id

Abstrak

Timbal memiliki sifat yang sangat toksik dan tidak dapat terdegrasi di perairan yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan seperti gangguan sistem saraf, jantung, ginjal, saluran pencernaan, dan menurunnya daya ingat. Metode yang ramah lingkungan yang dapat mengurangi bahkan menghilangkan Pb tersebut salah satunya adalah dengan proses biosorpsi. Salah satu mikroorganime yang dapat digunakan pada teknologi biosorpsi ini adalah *Aspergillus niger*. Pada penelitian ini, biosorpsi Pb dilakukan dengan memodifikasi *Aspergillus niger* yang diimobilisasi pada matriks Ca-alginat. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kondisi optimum biosorpsi yang meliputi pH, waktu kontak, dan konsentrasi awal Pb, dan massa adsorben. Hasil penelitian menunjukkan kondisi optimum biosorpsi Pb adalah pada pH 6,0 dengan waktu kesetimbangan 4 jam, konsentrasi awal Pb adalah 80 ppm, dan konsentrasi adsorben sebesar 3 gram, dengan persen Pb teradsorpsi sebesar 98,40%. Hasil spektra FTIR menunjukkan bahwa proses biosorpsi Pb menyebabkan pergeseran serapan pada bilangan gelombang tertentu, dari 1296.16 cm^{-1} ke 1307.74 cm^{-1} yang merupakan ciri khas dari gugus amina/amida (C-N) dan pergeseran pada bilangan gelombang 1122.57 cm^{-1} ke 1168.86 cm^{-1} merupakan gugus fungsi dari C-O-C pada glikosidik polisakarida. Interaksi yang terjadi antara Pb dengan permukaan adsorben diduga melalui merupakan adsorpsi fisika, dan hanya terjadi mekanisme adsorpsi secara fisik, sehingga bersifat dapat balik (reversible).
Kata kunci: Biosorpsi, Ca-alginat, Timbal(Pb), Imobilisasi, *Aspergillus niger*

Abstract

Lead has very toxic properties and cannot be degraded in waters that leads to health problems, such as disorders of the nervous system, heart, kidneys, digestive tract, and causing memory loss. One of the environmentally friendly methods that can reduce and even eliminate Pb is the biosorption. One of the microorganisms that can be utilized in biosorption technology is *Aspergillus niger*. Pb biosorption was carried out in the current study by modifying *Aspergillus niger,* which was immobilized in the Ca-alginate matrix. This study aims to determine the optimum biosorption conditions including pH, contact time, initial Pb concentration, and adsorbent amount. Results showed that the optimum conditions for Pb biosorption were pH 6.0, with contact time of 4 h, Pb concentration was 80 ppm, and at adsorbent concentration of 3 g, with the percentage of Pb adsorbed was 98.40%. FTIR spectra results show that the Pb biosorption process causes shifts in certain wavenumbers, from 1296.16 cm^{-1} to 1307.74 cm^{-1} which was a characteristic of the amine amide (CN) group, and a shift in wavenumber from 1122.57 cm^{-1} to 1168.86 cm^{-1} which was from carboxyl functional group. The interaction between Pb and the adsorbent surface was suggested through physical adsorption, and hence the adsorption process was reversible.
Keywords: biosorption, Ca-alginate, Lead(Pb), Immobilization, *Aspergillus niger*

PENDAHULUAN

Pencemaran logam berat merupakan masalah lingkungan yang penting karena efek toksik dan penumpukannya pada rantai makanan dapat menyebabkan masalah kesehatan [1]. Salah satu logam berat yang memiliki tingkat toksitustas tinggi adalah timbal (Pb). Timbal merupakan logam yang sangat beracun pada ekosistem air yang dapat menyebabkan ikan pada lingkungan tersebut rentan terhadap efek toksik dari Pb. Hal ini secara langsung dapat mempengaruhi kesehatan manusia apabila mengonsumsi ikan yang terpapar logam Pb [2].

Biosorpsi merupakan suatu pemanfaatan mirkroorganisme sebagai biosorben dalam penyerapan logam dengan memperhatikan berbagai parameter seperti faktor lingkungan, bahan penyerap dan spesies logam yang akan dihilangkan, dan sangat tergantung pada apakah kultur mikroba hidup atau mati. Biosorpsi telah menunjukkan efisiensi penghilangan yang menjanjikan dengan beberapa logam berat seperti Cd, Cu, Ni, Pb, dan Zn [3].

Faktor penting dari proses biosorpsi adalah adanya gugus fungsi yang merupakan situs aktif pada permukaan adsorben yang bertanggung jawab dalam mengakumulasi ion logam [4][5]. Salah satu penerapan organisme jamur pada bidang teknologi biosorpsi adalah *Aspergillus niger*. Penggunaan *A. niger*

dikarenakan pada *A. niger* terdapat beberapa gugus funsgi yang berperan sebagai situs aktif dalam pengikatan ion logam seperti hidroksil, karboksil, disulfida, fosfat, dan amina [4] [6].

Berbagai pemanfaatan mikroorganisme *A. niger* sebagai adsorben telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Penelitian yang dilakukan Barros (2003) [7], menunjukan hasil yang baik dalam menghilangkan logam berat dari air pabrik pada industry minyak. Efektivitas mikroorganisme *Aspergillus niger* juga telah dilaporkan oleh Maria (2016) [4]. Hasil menunjukkan bahwa biomassa *A. niger* berpotensi digunakan sebagai biosorben dalam penghilangan ion logam Zn(II) dan Cr(IV).

Biomassa jamur memiliki masalah praktis, seperti kekuatan mekanik yang rendah, ukuran partikel kecil, kesulitan memisahkan biomassa dari aliran cair setelah biosorpsi, dan kehilangan massa selama pasca pemisahan sehingga diperlu suatu pengembangan melalui modifikasi biosorben. Biomassa yang diimobilisasi dapat meningkatkan kekuatan partikel, ketahanan kimia, ukuran pori yang kecil, karakteristik porositas, kemudahan regenerasi dan penggunaan kembali biomassa serta pemisahan padat-cair yang mudah, sehingga imobilisasi biomassa pada bahan berpori besar dapat meningkatkan proses penyerapan biomassa [8].

Biosorpsi ion-ion Hg(II), Cd(II) dan Pb(II) dari limbah yang dievaluasi menggunakan *beads* Ca-alginat sebagai sistem kontrol telah dilaporkan Bayramoğlu (2006) [9]. Adsorpsi ion Hg(II), Cd(II) dan Pb(II) pada mikroalga amobil menunjukkan nilai tertinggi pada sekitar pH 5,0-6,0. serta hasil penelitian dilengkapi dengan baik menggunakan model isoterm Langmuir dan Freundlich.

Berdasarkan tinjauan diatas maka perlu dilakukan penelitian biosorpsi Pb dengan menggunakan biomassa *A. niger* yang terimobilisasi Ca-alginat serta menguji efektivitasnya menggunakan beberapa parameter seperti pH, waktu kontak, dan massa biosorben. Identifikasi gugus fungsional yang terlibat dalam proses biosorpsi Pb(II) dianalisis menggunakan spektrometer FT-IR.

METODE PENELITIAN

Kultur *Aspergillus niger*

Isolat jamur *A. niger* didapat dari Laboratorium Biokimia, FMIPA Universitas Brawijaya. Isolat ditumbuhkan pada media padat yaitu PDA (*potato dextrose agar*) yang disterilkan dengan autoklaf selama 15 menit pada temperatur 121 °C dengan tekanan 15 psi. Peremajaan biakan murni *Aspergillus niger* dilakukan di dalam *laminar air flow* yang telah disterilkan dengan alkohol 70%. Setelah itu kultur *A. niger* yang telah diremajakan diinkubasi dalam inkubator selama 144 jam pada temperatur 35-40 °C.

Imobilisasi *Aspergillus niger* ke dalam Ca-alginat

Sebanyak 2,0 gram natrium alginat dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang berisi inokulum *A. niger* sambil dipanaskan pada 40 ˚C dan diaduk dengan pengaduk magnet hingga larut. Campuran dimasukkan ke dalam larutan yang mengandung 3% $CaCl_2$ dan dihomogenkan dengan menggunakan pengaduk magnet untuk membentuk manik-manik Ca-alginat (terbentuk bulatan kecil). Setelah didiamkan *beads* Ca-alginat disaring dan dikeringkan dalam suhu kamar dan disimpan dalam lemari pendingin selama 48 jam [10][11].

Biosorpsi Pb(II) menggunakan *Aspergillus niger* terimobilisasi Ca-alginat

Proses biosorpsi Pb(II) dilakukan dalam sistem *batch*, pada suhu kamar dengan variasi pH awal yaitu 4; 5; 6; 7 dan 8. pH awal ini disesuaikan dengan menggunakan HCl 0,1 M dan NaOH 0,1 M. Proses ini diulangi pada pengaruh waktu kontak yang berbeda pada: 1; 2; 4; 6; dan 8 jam dengan kondisi pH awal optimum yang berkontribusi terhadap biosorpsi Pb(II), sedangkan kondisi lain yang digunakan adalah konsentrasi awal Pb(II) 20 mg/L sebanyak 20 mL dan biomassa *A. niger* yang terimobilisasi Ca-alginat sebanyak 0,5 gram yang ditambahkan ke dalam masing-masing pH dan waktu kontak yang telah divariasikan, kemudian dikocok dengan *shaker* pada 100 rpm selama 2 jam. Pengaruh konsentrasi awal larutan sampel Pb ditentukan dengan dengan variasi konsentrasi 10, 20, 40, 60, dan 80 ppm. Masing-masing larutan diambil sebanyak 20,0 mL dan dimasukkan ke dalam 5 buah Erlenmeyer. Pada masing-masing Erlenmeyer ditambahkan 0,5 gram *A. niger* amobil. Kemudian larutan di kocok dengan *shaker* pada pH dan waktu kontak optimun. Pengaruh massa adsorben dilakukan dengan variasi massa biomassa *A. niger* terimobilisasi Ca-alginat sebesar 1.0; 1.5; 2.0; 2.5 dan 3.0 g. Kemudian larutan dikocok dengan *shaker* pada kondisi pH, waktu kontak, dan konsentrasi awal Pb yang optimum. Semua perlakuan dilakukan dalam tiga kali pengulangan. Konsentrasi Pb yang tersisa pada filtrat yang diperoleh pada setiap akhir biosorpsi diukur menguunakan spektrofotometer serapan atom (Thermo scientific, ICE 300 series) pada panjang gelombang 217 nm. Persentase Pb yang teradsorpsi ditentukan menggunakan persamaan:

$$\%\ Pb\ teradsorpsi = \frac{C_0 - C_t}{C_0} x\ 100\%$$

Di mana: Co = konsentrasi Pb sebelum proses biosorpsi; Ct = konsentrasi Pb setelah proses biosorpsi.

Identifikasi gugus fungsi *A. niger* yang terimoblisasi Ca-alginat

Gugus fungsional pada *A. niger* sebelum dan sesudah proses biosorpsi pada larutan Pb diidentifikasi menggunakan spektrofotometer inframerah (IR Prestige 21 /Shimadzu) dengan metode pelet KBr. Data bilangan gelombang dan %T yang diperoleh di plot membentuk spektra FTIR, pada bilangan gelombang 4000-400 cm^{-1}.

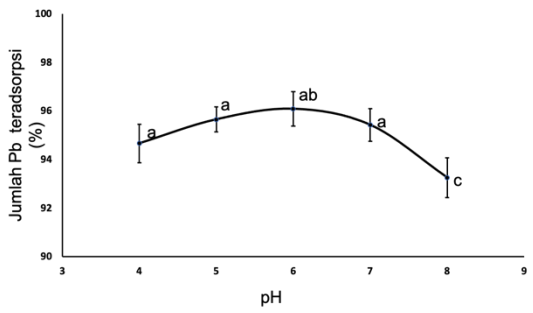
Analisis Data

Analisis statistik dilakukan dengan menggunakan SPSS software versi 16.0 untuk windows. Data akan ditampilkan sebagai rerata ± standar deviasi. Analisis varian satu arah (ANOVA) diikuti dengan uji *post hoc Tukey* digunakan untuk analisis data. Perbedaan pada p<0,05 dianggap signifikan secara statistik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh pH terhadap Biosorpsi Pb

Parameter utama pada proses biosorpsi logam dalam larutan adalah pH, karena pH akan mempengaruhi muatan pada situs aktif dari permukaan adsorben. Pada pH rendah situs aktif dari adsorben akan menjadi lebih positif dikarenakan ion H^+ yang banyak sehingga tidak dapat mereduksi ion logam berat untuk berikatan dengan situs aktif. Situs aktif adsorben akan mengalami netralisasi seiring dengan meningkatnya pH sehingga logam yang teradsorpsi menjadi meningkat. pH yang semakin meningkat menyebabkan Pb(II) terhidrolisis menjadi spesi-spesinya seperti $Pb(OH)^+$, $Pb_2(OH)_2^{2+}$, $Pb(OH)_2$, $Pb(OH)_3^-$, dan $Pb(OH)_4^{2-}$ sehingga dapat mengakibatkan terjadi penurunan persen adsorpsi pada pH menuju basa.



Gambar 1. Kurva hubungan antara pH awal larutan terhadap jumlah Pb yang teradsorpsi. Notasi huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan antara perlakuan untuk tingkat p <0,05.

Gambar 1 menunjukkan pengaruh pH terhadap kemampuan biosorpsi Pb oleh *A. niger* amobil yang diukur pada pH 4; 5; 6; 7 dan 8 dengan konsentrasi awal Pb yang digunakan adalah 20 ppm. Persen adsorpsi menunjukan peningkatan pada kondisi pH 5 dan pH 6 yang disebabkan oleh sedikitnya konsentrasi ion H^+ yang berikatan dengan situs aktif dari adsorben dan kembali menurun seiring dengan bertambahnya nilai dari pH menuju basa.

Hal ini menunjukkan bahwa biomassa *A. niger* mengadsorpsi ion logam pada pH sedikit lebih asam (pH medium 5,6-6) [6]. Kondisi pH optimum adalah pada pH 6 dengan presentase 96,08 %.

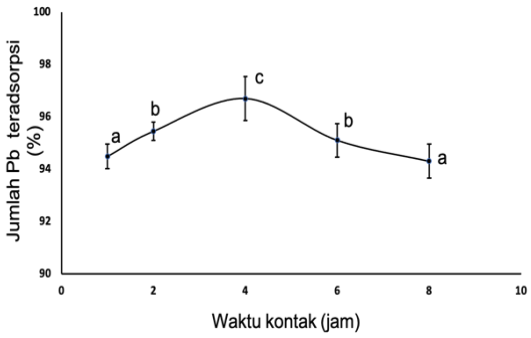
pH media mempengaruhi kelarutan ion logam dan ionisasi gugus fungsi seperti $-COO^-$, OPO_3^{2-}-, dan $-NH_2$ dari dinding sel *A. niger*; yang bersifat asam dan membawa muatan negatif membuat dinding sel menjadi pemerangkap kation yang kuat [12]. Pada pH yang sangat rendah, gugus fungsi tetap dalam bentuk terprotonasi dan menciptakan kondisi muatan pengikatan yang kurang kondusif untuk biosorpsi karena pengurangan permukaan bermuatan negatif. Namun, dengan peningkatan pH, kerapatan muatan negatif pada permukaan sel meningkat karena deprotonasi situs pengikatan logam, sehingga meningkatkan daya tarik ion logam dengan muatan positif dan memungkinkan biosorpsi pada permukaan sel [13]. Beberapa peneliti telah menyelidiki pengaruh pH pada biosorpsi ion logam berat dengan menggunakan berbagai jenis mikroorganisme dan telah melaporkan hasil yang serupa [14, 15].

Pada pH yang tinggi, 7 sampai 8 menyebabkan adanya kompetisi antara situs aktif adsorben yang bermuatan negatif dengan ion OH^- sehingga dapat mengurangi jumlah ion logam yang terserap pada adsorben. pH 8 memiliki persen biosorpsi terkecil dengan presentase 93,04 %.

Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Biosorpsi Pb

Pengaruh waktu kontak dilakukan untuk mengetahui waktu optimum yang diperlukan adsorben *A. niger* terimbolisasi Ca-alginat dalam mengadsorpsi logam Pb. Penentuan pengaruh waktu kontak terhadap biosorpsi Pb dilakukan dengan variasi waktu kontak 1; 2; 4; 6 dan 8 jam

dengan konsentrasi awal Pb 20 ppm pada pH 6. Meningkatnya waktu kontak menyebabkan semakin banyak situs aktif biosorben yang mengikat ion logam sehingga terjadi kesetimbangan yang mengindikasikan bahwa situs aktif telah jenuh dan menyebabkan tidak menambah persen adsorpsi ion logam. Presentase biosorpsinya cenderung menurun setelah melewati titik jenuh [16][17].



Gambar 2. Kurva hubungan antara waktu kontak terhadap jumlah Pb yang teradsorpsi. Notasi huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan antara perlakuan untuk tingkat p <0,05.

Peningkatan persen biosorpsi terjadi mulai dari jam pertama hingga jam ke empat, dan terjadi penurunan seiring bertambahnya waktu pada 6-8 jam. Peningkatan persen biosorpsi pada jam ke 1-4 dikarenakan masih banyaknya situs aktif pada biosorben yang kontak dengan logam Pb sehingga yang terikat pada permukaan biosorben semakin banyak. Waktu kontak optimum terjadi pada waktu 4 jam dengan persen adsorpsi sebesar 96.70 %. Setelah jenuh, pada jam 6-8 situs aktif pada permukaan biosorben tidak mampu lagi menyerap logam Pb, sehingga partikel-partikel logam Pb yang diserap kemungkinan terlepas kembali ke permukaan dari biosorben. Hal ini ditunjukkan terjadi penurunan pada jam ke 6 dan 8 masing-masing 95.10 % dan 94.30 %. Menurunnya persen biosorpsi disebabkan juga oleh pengaruh proses pengadukan yang mengakibatkan ikatan menjadi tidak stabil [8].

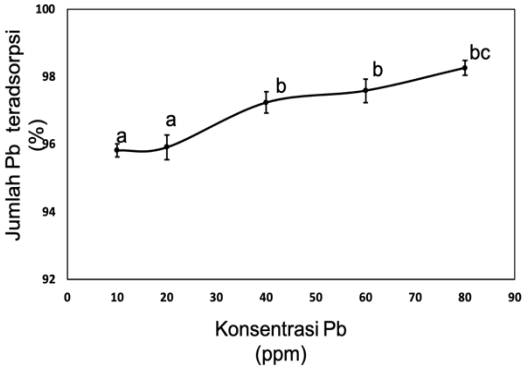
Sehingga prosesbiosorpsi Pb(II) diduga terjadi melalui proses yang terjadi dalam dua tahapan. Tahapan pertama adalah adsorpsi pasif secara ke situs bermuatan negatif di dinding sel *A. niger*, kemudian tahapan kedua diikuti dengan adsorpsi yang lebih lambat. Hasil ini sesuai dengan penelitian tentnag biosorpsi dari berbagai logam yang menggunakan berbagai kelompok mikroorganisme [18]. Kinetika biosorpsi yang diamati dalam proses biosorpsi diusulkan disebabkan oleh interaksi fisika-kimiawi murni antara mikroorganisme dan larutan logam [19]. Biosorpsi Pb(II) oleh jenis adsorben yang berbeda, menggunakan jamur *T. viride* pernah dilakukan sebelumnya oleh Taloin. dkk [20], hasil menunjukkan bahwa persentase mencapai 90,2%, akan tetapi dengan waktu optimum hingga 20 jam.

Pengaruh Konsentrasi Awal Pb terhadap Biosorpsi Pb

Gambar 3 menunjukkan bahwa pada konsentrasi awal Pb 10 ppm, permukaan biosorben masih belum terlalu banyak berikatan dengan Pb, dikarenakan konsentrasi logam Pb yang kecil, sehingga penyerapannya berlangsung kurang efektif. Akan tetapi, pada konsentrasi logam Pb yang semakin bertambah, maka dapat meningkatkan kemampuan dari biosorben *A. niger* amobiluntuk mengikat logam Pb, sehingga menyebabkan jumlah logam Pb yang terikat juga semakin banyak, yaitu dengan presentase optimum pada konsentrasi Pb 80 ppm sebesar 98,27%.

Pengaruh konsentrasi dalam biosorpsi dapat dijelaskan bahwa pada awal proses, situs aktif pada dinding sel *A. niger* dengan cepat menyerap ion logam. Hal ini mungkin karena situs aktif negatif pada permukaan dinding sel yang masih kosong, atau mungkin karena tumbukan yang lebih tinggi antara ion logam dan gugus fungsi negatif [21]. Peningkatan kapasitas biosorpsi yang lambat pada konsentrasi tinggi dapat dikaitkan dengan perbedaan gradien konsentrasi antara larutan dan bagian dalam sel mikroba. Pada tingkat zat terlarut yang sangat tinggi, kesetimbangan padat-cair menjadi dibatasi oleh difusi ion logam ke dalam sel [22].

Semakin besarnya konsentrasi awal logam maka dapat meningkatkan tumbukan yang terjadi antara Pb dan permukaan aktif adsorben, sehingga memungkinkan berlangsungnya proses penjerapan dalam jumlah yang lebih banyak [23].

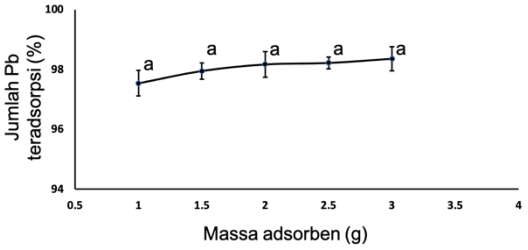


Gambar 3. Kurva hubungan antara konsentrasi awal Pb terhadap jumlah Pb yang teradsorpsi. Notasi huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan antara perlakuan untuk tingkat p <0,05.

Pengaruh Massa Adsorben terhadap Biosorpsi Pb

Berdasarkan hasil penelitian, semakin banyak jumlah biosorben, maka semakin besar persentase logam Pb yang terbiosorpsi. Pada jumlah biosorben 1 g terjadi peningkatan sampai massa 2 gram. Hal ini dikarenakan semakin banyaknya adsorben, maka menyebabkan luas permukaan semakin besar sehingga meningkatkan situs aktif dari permukaan biosorben yang mengakibatkan jumlah logam Pb yang berikatan dengan situs aktif semakin banyak.

Akan tetapi, pada massa biosorben 2 hingga 3 gram tidak terjadi perubahan yang signifikan dikarenakan semua ion logam sudah terserap yang menyebabkan biosorben mulai jenuh dalam mengikat logam Pb. Penyerapan tertinggi dari proses biosorpsi ini terjadi pada massa 3 g dengan presentase yang teradsorbsi yaitu 98,40 % sedangkan penyerapan yang rendah dari proses biosorpsi ini terjadi pada jumlah biosorben 1 g dengan presentase yang teradsorbsi yaitu 97,54%.



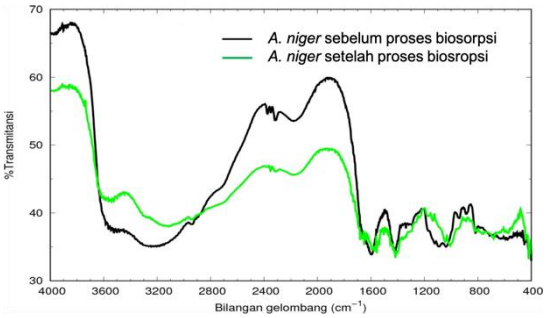
Gambar 4. Kurva hubungan antara massa *A. niger* amobil terhadap jumlah Pb yang teradsorpsi. Notasi huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan antara perlakuan untuk tingkat p <0,05.

Keterbatasan dalam penelitian ini adalah, karena dilakukan dengan system batch, sehingga biomassa *A. niger* amobil dalam kalsium alginate tidak digunakan ulang. Selain itu, logam Pb tidak di-regenerasi kembali. Penelitian lain menyebutkan bahwa setelah proses biosorpsi logam berat dapat di-regenerasi menggunakan asam, alkali dan agen pengkelat (seperti asam tetraasetat etilen diamina) [24]. Tetapi dilaporkan juga bahwa tingkat keberhasilan yang sangat terbatas dalam beberapa penelitian, hanya sampai pada siklus adsorpsi dan siklus desorpsi [25].

Identifikasi Gugus Fungsional

Biosorpsi dipengaruhi oleh reaksi yang melibatkan pertukaran ion logam dengan gugus fungsi yang terkandung didalam biosorben [20].

Beberapa gugus fungsional seperti gugus karboksil, karbonil, dan gugus hidroksil serta amina yang terkandung dalam biosorben kemungkinan memiliki peran dalam mengikat ion logam [12]. Analisis dengan metode FTIR spektrofotmetri digunakan untuk melihat pita serapan dari *A. niger* terimobilisasi pada daerah bilangan gelombang tertentu dengan kondisi pH 6, waktu kontak, 4 jam konsentrasi awal Pb 80 mg/L, dan massa adsorben 3 gram.



Gambar 5. Spektra FTIR untuk *A. niger* amobil pada Ca-alginat sebelum proses biosorpsi (gari hitam), dan setelah proses biosorpsi pada pH 6, waktu kontak 4 jam, konsentrasi awal Pb 80 mg/L, dan massa adsorben 3 gram.

Gambar 5 menunjukkan spektra FTIR dari adsorben *A. niger* terimobilisasi Ca-alginat sebelum dan sesudah menyerap logam Pb. Kedua spektra diatas memiliki puncak yang sama dan tidak menunjukkan perubahan yang signifikan. Hanya beberapa puncak yang mengalami pergeseran setelah terjadi *blending* dengan logam Pb. Pergeseran dari bilangan gelombang 2910,58 cm^{-1} ke 2931,80 cm^{-1} merupakan streching ikatan C-H dari $–CH_3$. Pergeseran pada bilangan gelombang 1593,2 cm^{-1} ke 1591,27 cm^{-1} mengindikasikan adanya gugus C=C aromatik. Adanya pergeseran pada bilangan gelombang 1296,16 cm^{-1} ke 1307,74 cm^{-1} yang merupakan ciri khas dari gugus amina/amida (C-N) dan

pergeseran pada bilangan gelombang 1122,57 cm^{-1} ke 1168.86 cm^{-1} merupakan gugus fungsi C-O-C yang merupakan ikatan glikosidik polisakarida yang diperkuat dengan adanya serapan pada daerah sidik jari 817.82 cm^{-1} yang diduga ciri khas dari mannuronat. Perubahan relatif pada pita FTIR ditabulasikan pada Tabel 1. Adanya pergeseran yang terjadi pada pita serapan dalam gugus fungsi di atas menunjukkan bahwa biosorben A. *niger* terimobilisasi mampu mengikat Pb yaitu melalui gugus-gugus aktifnya seperti amina dan karboksil.

Secara keseluruhan, data dari biosorpsi dan spektra IR menunjukkan bahwa mekanisme biosorpsi Pb oleh *A. niger* amobil dalam penelitian ini diusulkan melalui adsorpsi pada permukaan biomassa atau adsorben. Pengikatan Pb oleh *A. niger* amobil melibatkan interaksi logam positif pada dinding sel bermuatan negatif dari polimer ekstraseluler *A. niger* seperti –C-O, dan $–NH_2$.

Tabel 1. FTIR spektofotometri untuk proses biosorpsi Pb(II) oleh *A. niger* terimobiliasi pada kondisi pH, waktu kontak, dan konsentrasi awal Pb(II) optimum

No	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Perubahan Setelah Adsorpsi (cm^{-1})	Gugus fungsional
1	2910.58	2931.80	C-H dari alkana
2	1593.2	1591.27	C=C aromatik
3	1296.16	1307.74	C-N amina
4	1122.57	1168.86	C-O-C Glikosidik

KESIMPULAN

Jamur *A. niger* terimobilisasi pada Ca-alginat memiliki kemampuan biosorpsi Pb dari larutan dengan memperhatikan beberapa kondisi seperti pH, waktu kontak, konsentrasi awal Pb, dan massa adsorben. Kondisi optimum yang diperoleh adalah pH 6 dengan waktu kontak 4 jam, konsentrasi awal Pb 80 ppm, dengan massa adsorben 3 g. Mekanisme biosorpsi yang terjadi adalah melalui penyerapan Pb pada permukaan biosorben *A. niger* terimobilisasi Ca-alginat dengan melibatkan gugus fungsi bermuatan negatif seperti C-O-C dan NH_2.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Anna Safitri, S.Si.,M.Sc.,Ph.D dan Ibu Dr. Ulfa Andayani, S.Si.,M.Si selaku dosen pembimbing yang telah berkenan membimbing, memberikan saran dan nasehat serta semua pihak lain yang secara langsung maupun tidak langsung yang telah berperan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A.E. Sharief, “Enhancement Biosorption of Heavy Metals from Factory Effluents via Recombinants Induced in Yeast and Bacteria,” *Aust. J. Basic Appl. Sci.*, pp. 701–717, 2008.

[2] J. W. Lee *et al.*, “Toxic effects of lead exposure on bioaccumulation, oxidative stress, neurotoxicity, and immune responses in fish: A review,” *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, vol. 68, pp. 101–108, 2019.

[3] S. Papirio *et al.*, "Heavy Metal Removal from Wastewaters by Biosorption: Mechanisms and Modeling". In: Rene E., Sahinkaya E., Lewis A., Lens P. (eds) Sustainable Heavy Metal Remediation. Environmental Chemistry for a Sustainable World, vol 8. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58622-9_2in, 2017.

[4] M. do S. Vale, R. F. do Nascimento, R. C. Leitão, and S. T. Santaella, “Cr and Zn biosorption by Aspergillus niger,” *Environ. Earth Sci.*, vol. 75, no. 6, 2016.

[5] S. M. Bowman and S. J. Free, “The structure and synthesis of the fungal cell wall,” *BioEssays*, vol. 28, no. 8, pp. 799–808, 2006.

[6] N. Komari and A. Yudistri, “Penggunaan Biomassa Aspergillus niger Sebagai Biosorben Cr (III) (Using of Aspergillus niger As Biosorbent of Chromium (III)),” *J. Mns. dan Lingkung.*, vol. 19, no. 1, pp. 46–51, 2012.

[7] L. M. Barros Júnior, G. R. Macedo, M. M. L. Duarte, E. P. Silva, and A. K. C. L. Lobato, “Biosorption of cadmium using the fungus aspergillus niger,” *Brazilian J. Chem. Eng.*, vol. 20, no. 3, pp. 229–239, 2003.

[8] Z. Chaidir, P. N. Sari, R. Zein, and E. Munaf, “Calcium alginate immobilized sugar palm fruit (Arenga pinnata Merr) Shell for the removal of Pb (II) and Cd (II) ions,” *J Chem. Pharm. Res.*, vol. 7, no. 5, pp. 965–972, 2015.

[9] M. Y. Arica, G. Bayramoğlu, M. Yilmaz, S. Bektaş, and Ö. Genç, “Biosorption of Hg^{2+}, Cd^{2+}, and Zn^{2+} by Ca-alginate and immobilized wood-rotting fungus Funalia trogii,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 109, no. 1–3, pp. 191–199, 2004.

[10] C. Gok and S. Aytas, “Biosorption of uranium(VI) from aqueous solution using calcium alginate beads,” *J. Hazard.*

Mater., vol. 168, no. 1, pp. 369–375, 2009.

[11] G. Bayramoğlu, I. Tuzun, G. Celik, M. Yilmaz, and M. Y. Arica, "Biosorption of mercury(II), cadmium(II) and lead(II) ions from aqueous system by microalgae Chlamydomonas reinhardtii immobilized in alginate beads," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 81, no. 1, pp. 35–43, 2006.

[12] K. Meena, S.. Sachdeva, "Bioremediation Options for Heavy Metal Pollution," *J Health Poll*., Vol 9, No 24, 191203, 2019.

[13] A Abdi, M. Kazemi, "A review study of biosoprtion of heavy metals and comparison between different biosorbent", *J. Mater Environ. Sci.*, Vol 6, 1386-1899, 2015.

[14] A.S. Ayangbenro, O.O., Babalola, "A new strategy for heavy metal polluted environments: A review of microbial biosorbents," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, Vol 14, 94-99, 2017.

[15] B. Hemambika, M.J. Rani,m V.R. Kannan,"Biosoprtion of heavy metlas by immobilized and dead fungal cells : A comparative assesment, J. *Ecol, Nat. Environ*, Vol 3, 168-175, 2011.

[16] H. Hasri, "Studi Adsorpsi Logam Pb(II) Menggunakan Adsorben biomassa Aspergillus niger Hasil Pemerangkapan," *SAINSMAT "Jurnal Sains, Mat. dan Pembelajarannya*, vol. 4, no. 2, pp. 126–135, 2015.

[17] P. R. Wulandari, "Biosoprsi Ion Seng(II) Oleh Serbuk Akar Enceng Gondok (*Eichhornia crassipe*s) Terimmobilisasi Pada Kalsium Alginat," *J Kimia Pend. Kimia*, vol. 1, no. 3, pp. 140–148, 2016.

[18] A. Abdi, M.Kazemi, "A revies study of biosorption of heavy metals and comparison between differenet adsorbnets, *J. Mater Environ. Sci*, Vol 6, 1386-1399, 2015.

[19] A. Safitri, S. Prasetyawan, P. Mahardini, A. Roosdiana, "Biosorption of Cr(VI) in Aqueous Solution using Microorganims: Comparison of the Use of Rhizopus oryzae, Bacillus firmus, and Trichoderma viride," I*OP Conf. Series: Mat. Sci. En*g, Vol 299, 012023, 2018.

[20] R. Taloin, A. Safitri, and S. Prasetyawan, "Biosorption of Pb^{2+} using Trichoderma viride as Alternative Solution for Heavy Metal Pollution in the Waters," *J. Pure Appl. Chem. Res.*, vol. 7, no. 1, pp. 70–78, 2018.

[20] I. Yantyana, V. Amalia, and R. Fitriyani, "Adsorpsi Ion Logam Timbal(II) Menggunakan Mikrokapsul Ca-Alginat," *al-Kimiya*, vol. 5, no. 1, pp. 17–26, 2018.

[21] D. Kumar, J. Rai, J.P. Gaur, "Metal biosorption by two cyanobacterial mats in relation to pH, biomass concentration, pretreatment and reuse," *Biores. Technol*., Vol. 102, Issue 3, 2529-2535, 2011,

[22] D. Kumar, J. Rai, J.P. Gaur, "Removal of metal ions by Phormidium bigranulatum (Cyanobacteria)-dominated mat in batch and continuous flow systems," *Biores. Technol*. Vol 104, 202–207, 2012.

[23] Yustinah, Hudzaifah, A. Maya, and A. Syamsudin, "Kesetimbangan Adsorpsi Logam Berat (Pb) Dengan Adsorben Tanah Diatomit Secara Batch," *J. Konversi,* vol. 9, no. 1, pp. 17–28, 2019.

[24] S., Lata, P.K. Singh, S.R. Samadder, "Regeneration of adsorbents and recovery of heavy metals: a review," I*nt. J. Environ. Sci. Technol.* Vol 12, 1461–1478, 2015.

[25] Y.F., Zhou, R.J. Haynes, "A Comparison of Inorganic Solid Wastes as Adsorbents of Heavy Metal Cations in Aqueous Solution and Their Capacity for Desorption and Regeneration," *Water Air Soil Pollut*. Vol 218, 457–470, 2011