

ANALISIS PARAMETER OPTIMUM PENYERAPAN KATION ZN(II) OLEH BIOMASSA *Hydrilla verticillata*

THE ANALYSIS OF OPTIMUM PARAMETER FOR THE ADSORPTION OF KATION ZN(II) BY *Hydrilla verticillata* BIOMASS

Meyrina Eka Putri

Kantor Penelitian dan Pengembangan Daerah,
Kabupaten Tanjung Jabung Barat, Provinsi Jambi
Pos-el : meyrinaekaputri@yahoo.com

ABSTRACT

Hydrilla verticillata has a functional group that has free electrons. If the functional group is contacted with a solution containing heavy metals, it will form a bond with the metals. This study aims to determine the uptake capacity of *Hydrilla verticillata* biomass in optimum condition and its reaction kinetics using measurement methods Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). Based on the research that has been done, the optimum conditions of Zn^{2+} cation absorption by *Hydrilla verticillata* biomass is at pH 5, its contact time is 120 minutes, and its maximum absorption capacity is 125 ppm. The order reaction Zn^{2+} cation absorption by *Hydrilla verticillata* biomass is 1.

Keywords: Biosorption, Zn^{2+} cation, *Hydrilla verticillata*, Reaction kinetics, Functional group

ABSTRAK

Hydrilla verticillata memiliki gugus fungsi yang mempunyai elektron bebas. Apabila gugus fungsi ini dikontakkan dengan larutan yang mengandung logam berat, ikatan dengan logam berat akan terbentuk. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas serapan biomassa *Hydrilla verticillata* pada kondisi optimum dan kinetika reaksinya dengan menggunakan metode pengukuran spektrofotometer serapan atom (SSA). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan kondisi optimum penyerapan kation Zn^{2+} oleh biomassa *Hydrilla verticillata* adalah pada pH 5, dengan waktu kontak 120 menit dan kapasitas serapan maksimum 125 ppm. Orde reaksi penyerapan kation Zn^{2+} oleh biomassa *Hydrilla verticillata* adalah 1.

Kata kunci: Biosorpsi, Kation Zn^{2+} , *Hydrilla verticillata*, Kinetika reaksi, Gugus fungsi

PENDAHULUAN

Tanaman dapat dipandang sebagai suatu sistem biologi dengan aktivitas kehidupan yang menggunakan karbon dioksida (CO_2) dari atmosfer, air, dan nutrisi dari tanah dalam proses metabolismenya, untuk menghasilkan pertumbuhan dan reproduksi.¹ Setiap tanaman memiliki kandungan kimia yang beragam, seperti klorofil, alkaloid, steroid, minyak atsiri, karbohidrat, protein, dan kandungan kimia lain. Komposisi gugus

fungsi yang menyusun tiap jenis kandungan kimia tumbuhan juga berbeda satu dengan yang lain, contohnya senyawa alkaloid yang mempunyai gugus fungsi N-H ($3392,56\text{ cm}^{-1}$), -CH Alifatik ($2927,75\text{ cm}^{-1}$), C=O ($1703,03\text{ cm}^{-1}$), C-N ($1112,85\text{ cm}^{-1}$), dan N-C=O ($613,33\text{ cm}^{-1}$).² Tiap gugus fungsi ini memiliki satu atau lebih atom yang memiliki elektron bebas yang dapat membentuk ikatan dalam bentuk interaksi ionik, interaksi polar, interaksi gabungan, dan

mineralisasi antara logam dengan biopolimer (makromolekul) sebagai sumber gugus fungsional, yang berperan penting dalam mengikat ion logam. Gugus fungsional yang tersedia pada makromolekul seperti gugus karboksil, amina, hidroksil, tiolat, fosfodiester, karbonil, imidazol, dan gugus fosfat dapat berkoordinasi dengan atom pusat logam melalui pasangan elektron bebas.

Proses biosorpsi merupakan teknologi alternatif pengolahan limbah secara biologis untuk mengurangi ion logam berat dari air limbah. Proses biosorpsi ini terjadi pada permukaan/lapisan pertama dinding sel dan permukaan eksternal lain dari suatu biomassa. Biosorpsi diharapkan menjadi salah satu jalan keluar guna mengatasi problem limbah logam berat yang dihasilkan dari proses industri, elektroplating, limbah penambangan, residu pupuk, pestisida, hingga bekas instalasi senjata kimia.³

Penelitian serapan ion telah banyak dilaporkan. Sedy B. Rondonuwu dalam “Fitoremediasi Limbah Merkuri Menggunakan Tanaman dan Sistem Reaktor” melaporkan bahwa serapan Hg oleh *Hydrilla verticillata* sebanyak 83,96%.⁴ Yusafir Hala dkk. dalam “Biosorpsi Campuran Logam Pb²⁺ dan Zn²⁺ oleh *Chaetoceros calcitrans*” melaporkan bahwa serapan optimum dari ion Pb²⁺ adalah 64,44% dan ion Zn²⁺ 53,66%.⁵ Saefudin dkk. dalam *Pengaruh Ph dan Waktu Kontak terhadap Biosorpsi Logam Zn Oleh Biomassa Aspergillus niger van Tieghem pada Larutan Limbah Pertambangan Nikel* melaporkan terjadinya serapan ion Zn²⁺ sebesar 72,42% yang dipengaruhi oleh waktu kontak selama 10 jam dan pH maksimum larutan 5,0.⁶ Muhammad Tsabitul Fuad dkk. dalam “Efektivitas Kombinasi *Salvinia molesta* dengan *Hydrilla verticillata* dalam Remediasi Logam Cu pada Limbah Elektroplating” melaporkan bahwa kombinasi perbandingan berat *S. molesta* sebanyak 10 gram dengan *H. verticillata* sebanyak 25 gram menghasilkan serapan terbanyak yakni sebesar 10,2 l/kg.⁷ Sri Sumiyati dkk. dalam “Pemanfaatan *Hydrilla (Hydrilla verticillata)* untuk Menurunkan Logam Tembaga (Cu) dalam Limbah Elektroplating: Studi Kasus Industri Kerajinan Perak Kelurahan Citran, Kotagede” menemukan bahwa berat yang paling banyak menyerap logam Cu adalah *Hydrilla* dengan berat 250 gram dan kadar logam

Cu dalam air limbah adalah 0,474 mg/l. Efisiensi terbesar adalah 84% serta waktu tinggal optimum yang diperlukan *Hydrilla* untuk menurunkan logam Cu adalah selama 15 hari. Hal ini sesuai dengan hipotesis bahwa *Hydrilla* memerlukan waktu optimum empat sampai 15 hari.⁸

Dari beberapa penelitian yang telah dikemukakan terlihat bahwa banyak yang telah memanfaatkan *Hydrilla verticillata* sebagai biomassa. Hal ini dikarenakan *Hydrilla verticillata* merupakan jenis tumbuhan air yang cukup banyak dijumpai di perairan danau di Indonesia. Tumbuhan ini merupakan tumbuhan air terbenam yang mempunyai permukaan tubuh yang sangat luas, yang berfungsi sebagai substrat untuk tumbuhnya berbagai mikroorganisma pengurai material organik.⁹ *Hydrilla verticillata* merupakan gulma bagi tanaman lain yang ada di bawah permukaan air.¹⁰ Kandungan kimia yang dimiliki oleh *Hydrilla verticillata* di antaranya alkaloid, protein, lemak, karbohidrat, karoten, asam nikotinat, vitamin B1, B2, C, sedikit mengandung nelumbin, pati, kalsium, fosfor, dan besi. Masing-masing kandungan kimia *Hydrilla verticillata* inilah yang akan berikatan dengan logam berat dalam proses biosorpsi.

Kelebihan dari proses biosorpsi logam berat menggunakan *Hydrilla verticillata* ini adalah biayanya yang relatif murah dibandingkan resin penukar ion dan penyerapan dengan karbon aktif. Penyerapan oleh resin penukar ion dan karbon aktif efektif digunakan pada pengolahan air limbah dalam jumlah kecil, tetapi kurang cocok untuk penghilang polutan dalam jumlah besar karena harganya mahal. Jika dibanding dengan penyerapan yang menggunakan biomassa sebagai adsorben maka terdapat selisih besar biaya yang dikeluarkan untuk mengatasi polutan dalam jumlah besar tersebut.

Sebagai salah satu logam berat yakni Zn dihasilkan dari proses pengolahan nikel yang tergolong ke dalam mineral mikronutrien; maksudnya logam ini dibutuhkan sebagai nutrien yang esensial oleh organisme dalam jumlah relatif sedikit, karena jika kadar Zn terserap dalam jumlah yang banyak akan menyebabkan gangguan metabolisme Fe dan Cu, *teratoma*, *ledygioma*, *seminoma*, dan *chorioepithelioma*.⁶ Atas pertimbangan resiko logam Zn pada manusia, maka

harus diadakan suatu proses pengolahan limbah logam. Salah satu alternatif pengolahan limbah logam Zn ini adalah menggunakan proses biosorpsi dengan menggunakan biomassa *Hydrilla verticillata*. Akan tetapi, penelitian yang menggunakan biomassa *Hydrilla verticillata* yang dikontakkan dengan logam Zn masih sangat terbatas. Padahal penelitian ini penting untuk dilakukan agar dapat diketahui bagaimana kondisi optimum dari penyerapan logam Zn oleh biomassa *Hydrilla verticillata* dan seterusnya dapat dilanjutkan dengan menentukan kinetika dari penyerapan logam Zn terhadap biomassa tersebut. Penelitian serapan ini diharapkan dapat memberikan data tambahan kondisi optimum bagi proses penyerapan untuk biomassa *Hydrilla verticillata* dan orde reaksi dari proses biosorpsi tersebut. Selain itu hasil penelitian ini diharapkan menjadi salah satu alternatif dalam proses penanganan pencemaran logam berat limbah cair khususnya logam Zn dengan menggunakan biomassa pada proses biosorpsi. Jika digambarkan dalam sebuah kerangka konsep maka analisis parameter optimum dari proses penyerapan logam Zn oleh biomassa *Hydrilla verticillata* dapat digambarkan sebagai berikut.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium penelitian Jurusan Kimia FMIPA UNP.

Alat

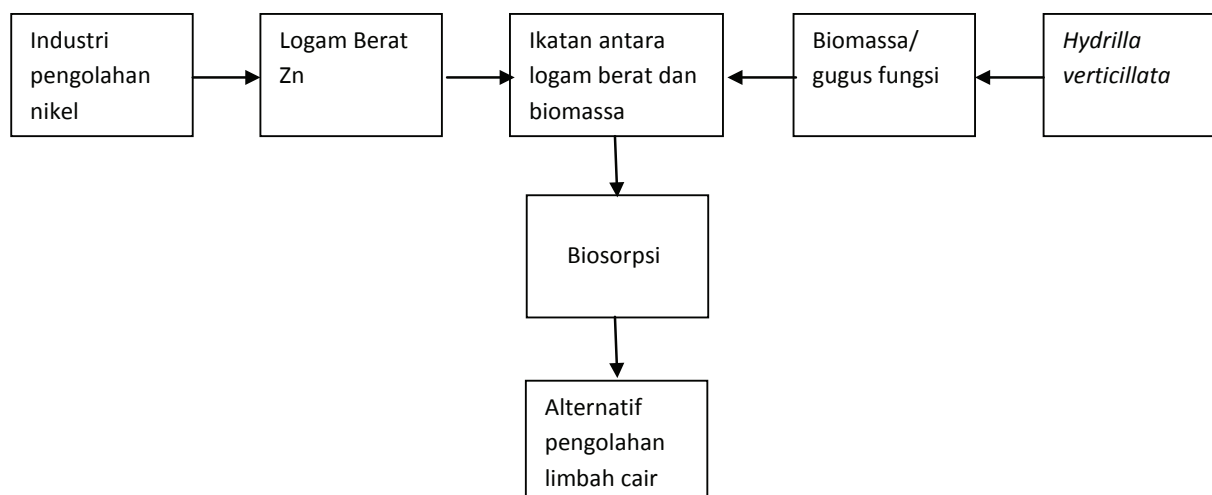
Alat-alat yang digunakan adalah peralatan gelas, *shaker*, pH meter, timbangan analitis, *blender*, pengayak, *centrifugar*, *blender*, desikator spektrofotometer serapan atom (SSA), dan *fourier transform infrared spectroscopy* (FTIR).

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan adalah *Hydrilla verticillata*, kristal $Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$, HNO_3 65%, NH_4OH p.a, dan aquades. Metoda pengukuran konsentrasi logam Zn menggunakan SSA pada panjang gelombang 213,9 nm. Jumlah logam Zn yang diserap dihitung dari selisih antara konsentrasi sebelum dan sesudah dikontak dengan biomassa.

Persiapan Sampel Biomassa

Hydrilla verticillata dipisahkan dari media tumbuh, dicuci, lalu dikeringkan di udara terbuka (tanpa terkena cahaya matahari secara langsung). Biomassa kering dihaluskan dan diayak hingga ukuran sebesar $250 \mu m$. Hasil ayakan direndam dengan larutan asam nitrat encer (1%) selama dua jam, sesekali diaduk, lalu disaring, dicuci, dan dinetralkan dengan aquades. Keringkan kembali dengan cara yang sama. Sebagian kecil biomassa diidentifikasi dengan FTIR. Sisanya disimpan di dalam desikator sebagai adsorben.



Gambar 1. Kerangka Konsep Analisis Parameter Optimum Penyerapan Logam Zn Oleh Biomassa *Hydrilla verticillata*.

Pengukuran spektra biomassa dengan FTIR

Biomassa sebanyak 1 gram dikontakkan dengan larutan Zn^{2+} 25 ppm pada pH 5 kemudian di-shaker dengan kecepatan 165 rpm selama 30 menit. Setelah itu biomassa di-centrifuge selama sepuluh menit, lalu didekantasi agar terpisah filtrat dan residunya. Residu dikeringkan lalu diukur dengan FTIR.

Penentuan pH Optimum.

Ke dalam tiga buah *erlenmeyer* dimasukkan biomassa sebanyak 0,5 gram lalu dikontakkan dengan 25 ml larutan Zn^{2+} 25 ppm. Kemudian pH larutan diatur hingga menjadi tiga. Campuran di-shaker pada kecepatan 165 rpm selama 30 menit pada suhu kamar. Setelah diberi perlakuan, biomassa di-centrifuge selama sepuluh menit kemudian dipisahkan filtrat dan residunya. Filtrat diukur dengan SSA. Hal yang sama dilakukan untuk pH 4, 5, dan 6.

Penentuan waktu kontak optimum

Ke dalam tiga buah *erlenmeyer* dimasukkan biomassa sebanyak 0,5 gram lalu dikontakkan dengan 25 ml larutan Zn^{2+} 25 ppm dengan pH optimum, kemudian campuran di-shaker pada kecepatan 165 rpm dengan waktu kontak selama 30 menit pada suhu kamar. Biomassa di-centrifuge selama sepuluh menit kemudian dipisahkan antara filtrat dan residunya. Filtrat diukur dengan SSA. Hal yang sama dilakukan untuk waktu kontak 60, 90, 120, 150, dan 180 menit.

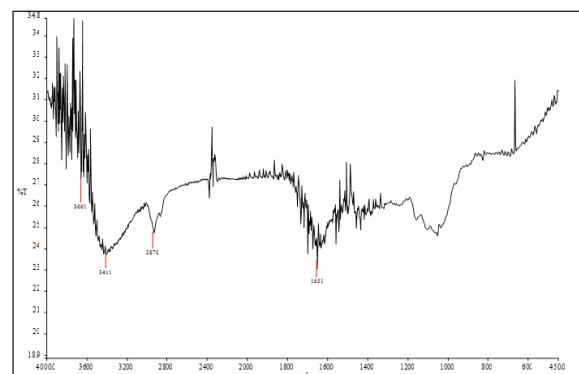
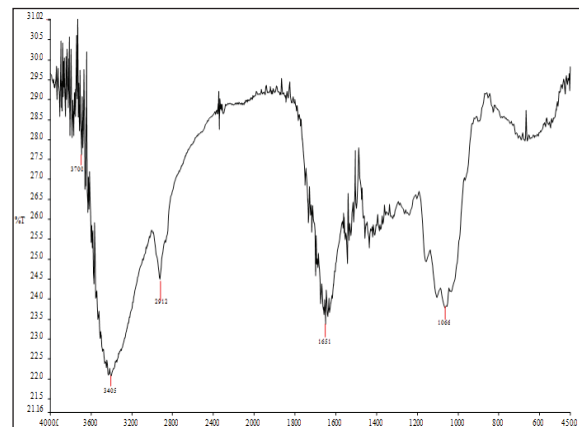
Penentuan serapan maksimum

Ke dalam tiga buah *erlenmeyer* dimasukkan biomassa sebanyak 0,5 gram lalu dikontakkan dengan 25 ml larutan Zn^{2+} 25 ppm, dengan pH optimum. Campuran di-shaker pada kecepatan 165 rpm dengan waktu kontak optimum pada suhu kamar. Biomassa di-centrifuge selama sepuluh menit kemudian dipisahkan antara filtrat dan residunya. Filtrat diukur dengan SSA. Hal yang sama dilakukan untuk konsentrasi awal 50, 75, 100, 125, dan 150 ppm.

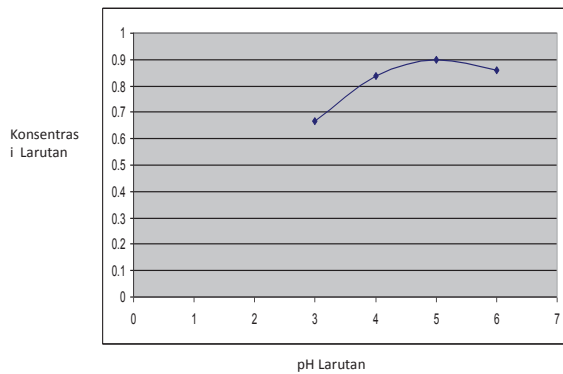
Penentuan orde reaksi. Ke dalam tiga buah *erlenmeyer* dimasukkan biomassa sebanyak 0,5 gram lalu dikontakkan dengan 25 ml larutan ion Zn^{2+} masing-masing dengan variasi konsentrasi 25, 50, 75, 100, dan 125 ppm, pada pH 5. Campuran di-shaker pada kecepatan 165 rpm dengan waktu kontak 30 menit pada suhu kamar. Kemudian, biomassa di-centrifuge selama sepuluh menit kemudian dipisahkan antara filtrat dan residunya. Filtrat diukur dengan SSA.

Untuk menentukan orde reaksi dapat dilakukan melalui percobaan. Salah satu cara menentukan orde reaksi adalah dengan cara metoda laju awal. Setelah mengetahui orde reaksi maka hukum laju reaksi dapat langsung ditentukan sesuai dengan orde reaksi yang dimiliki oleh reaksi tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 2. Spektra FTIR Biomassa *Hydrilla verticillata* Sebelum dan Setelah Dikontak dengan Kation Seng(II).



Gambar 3. Pengaruh pH Larutan Terhadap Serapan Zn^{2+}

Perbandingan biomassa sebelum dan sesudah dikontak dengan larutan Zn^{2+} .

Telah dilakukan uji terhadap biomassa *Hydrilla verticillata* dengan menggunakan FTIR, dan didapatkan hasil bahwa di dalam biomassa ini terdapat gugus fungsi seperti O-H, C=O, dan N-H. Pada saat sebelum dikontakkan dengan larutan Zn^{2+} , gugus fungsi ini memiliki intensitas 22%. Setelah dikontakkan dengan larutan Zn^{2+} intensitasnya bertambah menjadi 23,5%. Hal ini menunjukkan telah terjadi penyerapan oleh gugus fungsi O-H, C=O, dan N-H (penyerapan secara kimia).

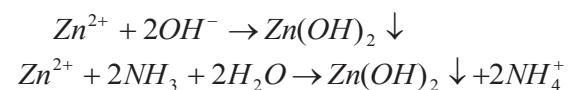
Pengaruh pH Larutan Awal terhadap Penyerapan Ion Zn^{2+} oleh Biomassa *Hydrilla verticillata*

Pada Gambar 3 terlihat bahwa pada pH 3 serapan ion seng(II) oleh biomassa *Hydrilla verticillata* masih rendah yaitu sebesar 0,667 mg/gram biomassa. Serapan maksimum ion seng(II) oleh biomassa *Hydrilla verticillata* terjadi pada pH 5 dengan serapan sebesar 0,899 mg/gram, sedangkan pada pH 6 jumlah ion seng(II) yang terserap mengalami penurunan dengan serapan yaitu 0,8585 mg/gram. Dari data dapat diketahui bahwa pH optimum serapan ion seng(II) oleh biomassa *Hydrilla verticillata* terjadi pada pH 5.

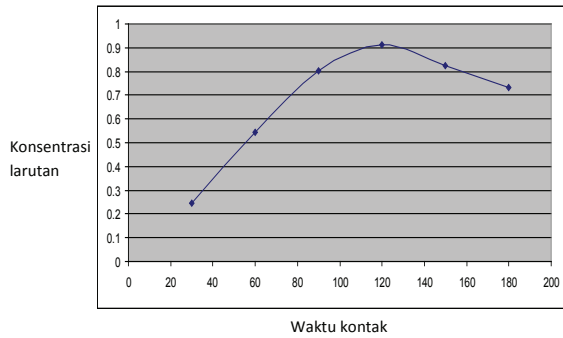
Pada pH di bawah lima serapan ion seng(II) oleh biomassa *Hydrilla verticillata* menurun. Hal ini dikarenakan jumlah ion H^+ dalam larutan

lebih banyak sehingga diduga terjadi persaingan antara ion H^+ dan ion seng(II) untuk berikatan dengan gugus fungsi yang terdapat pada biomassa *Hydrilla verticillata*. Ion H^+ akan menghalangi ion seng(II) untuk berikatan dengan gugus fungsi –OH, C-O, C=O dan N-H. Menurut Pearson dalam Miesler dan Tarr,¹¹ H^+ adalah termasuk kelompok asam keras yang dapat berikatan dengan gugus fungsi yang bersifat basa keras, sedangkan ion seng(II) merupakan kelompok asam antara yang dapat berikatan dengan basa keras dan basa lunak.

Pada pH 5, jumlah ion H^+ yang ada lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah ion H^+ yang ada pada pH < 5. Akibatnya ion seng(II) dapat berikatan dengan gugus fungsi dalam jumlah yang lebih banyak sehingga serapan pada pH 5 ini menjadi lebih besar. Adapun pada pH 6 serapan ion seng(II) turun. Penurunan serapan ini dapat disebabkan karena jumlah ion OH^- yang terdapat pada larutan bertambah akibat penambahan NH_4OH yang digunakan untuk menaikkan pH. Adanya ion OH^- pada larutan tidak memengaruhi gugus fungsi yang terdapat di dalam biomassa, karena OH^- merupakan basa keras, Pearson dalam Miessler dan Tarr¹¹ menyatakan bahwa OH^- termasuk ke dalam kelompok basa keras yang dapat berikatan koordinasi dengan ion seng(II) dari kelompok antara. Akibatnya terjadi persaingan antara ion OH^- dengan gugus fungsi untuk berikatan dengan ion seng(II). Kompetensi ini dapat menurunkan serapan ion seng(II) oleh biomassa *Hydrilla verticillata*. Berdasarkan¹² reaksi antara Zn^{2+} dengan OH^- adalah:



Beberapa faktor penyebab terjadinya pengendapan ion seng(II) di antaranya adalah pengaruh penambahan ion sekutu dan konstanta kelarutan seng hidroksida. Dengan penambahan ion hidroksida, pH larutan awal lima menjadi enam, yang menyebabkan konsentrasi ion hidrogen berkurang dan jumlah ion hidroksida (ion sekutu) bertambah sehingga terjadi pengendapan. Hasil kali kelarutan seng hidroksida yang kecil yaitu 1×10^{-17} pada suhu kamar¹¹ menyebabkan

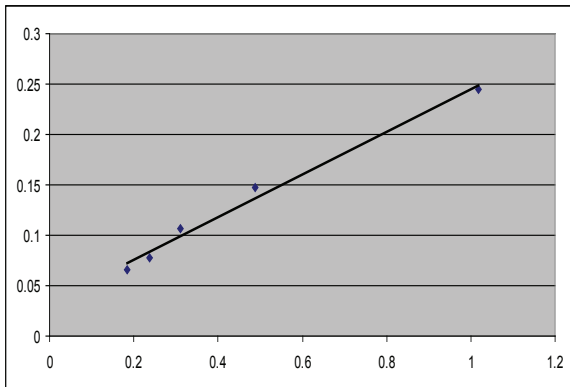


Gambar 4. Pengaruh Waktu Kontak terhadap Serapan Ion Zn^{2+}

kelarutannya rendah sehingga seng hidroksida mudah mengendap.

Pengaruh Waktu Kontak terhadap Serapan ion Zn^{2+} oleh Biomassa *Hydrilla verticillata*

Gambar 4 menunjukkan bahwa penyerapan ion seng(II) oleh biomassa *Hydrilla verticillata* dipengaruhi oleh waktu kontak. Semakin lama waktu kontak jumlah ion seng(II) yang terserap semakin meningkat sehingga tercapai serapan maksimum. Jumlah ion seng(II) terserap maksimum pada waktu kontak 120 menit, yakni sebesar 0,9125 mg/gram. Penambahan waktu kontak di atas 120 menit tidak memberikan peningkatan



Gambar 5. Adsorpsi Isoterm Langmuir Serapan Ion Zn^{2+}

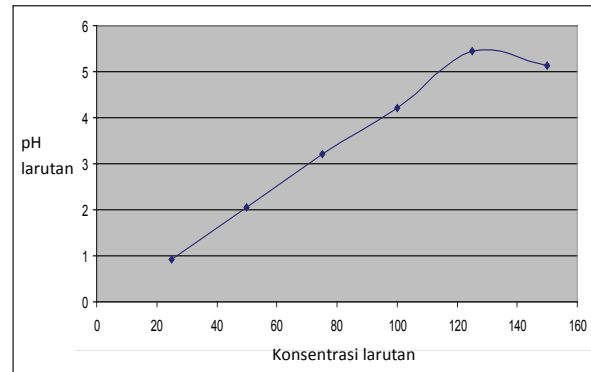
efisiensi penyerapan oleh biomassa *Hydrilla verticillata*. Hal ini dapat disebabkan karena hampir semua permukaan pusat aktif yang terdapat pada dinding sel biomassa *Hydrilla verticillata* ini telah berikatan (jenuh) dengan logam seng. Setelah dicapainya kondisi optimum penyerapan logam

seng oleh biomassa *Hydrilla verticillata*, akan terjadi penurunan jumlah serapan.

Adsorpsi Isoterm Langmuir

Dari data dan hasil yang didapat, penyerapan ion seng(II) terjadi secara kimia sesuai dengan isoterm Langmuir yang menggambarkan bahwa pada permukaan penyerap terdapat sejumlah pusat aktif (gugus fungsi) yang sebanding dengan luas permukaan penyerap, yang pada setiap pusat aktifnya hanya satu molekul yang dapat diserap.

Dari kurva linearitas Langmuir didapatkan garis linear. Hasil ini menunjukkan bahwa proses biosorpsi ion seng(II) oleh biomassa *Hydrilla verticillata* telah memenuhi persamaan Langmuir dan terpenuhinya *adsorpsi isoterm langmuir*. Ini



Gambar 6. Pengaruh Konsentrasi terhadap Serapan Ion Zn^{2+}

berarti reaksi biosorpsi ion seng(II) oleh biomassa *Hydrilla verticillata* ini berorde satu.

Pengaruh Konsentrasi Awal Larutan terhadap Serapan Ion Seng(II) oleh Biomassa *Hydrilla verticillata*

Besarnya penyerapan ion seng(II) oleh biomassa *Hydrilla verticillata* sangat dipengaruhi oleh konsentrasi awal larutan. Dari Gambar 6 terlihat bahwa penyerapan ion seng(II) meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi larutan. Pada konsentrasi 25 ppm jumlah ion seng(II) yang terserap adalah 0,918 mg/gram biomassa. Penyerapan ion seng(II) oleh biomassa *Hydrilla verticillata* meningkat sampai pada konsentrasi 125 ppm dengan jumlah ion seng(II) yang terserap adalah 5,45 mg/gram. Peningkatan konsentrasi larutan ion seng(II) selanjutnya tidak memberikan

peningkatan pada kapasitas penyerapan ion seng(II) oleh biomassa *Hydrilla verticillata*. Hal ini dapat disebabkan karena seluruh gugus fungsi yang terdapat pada biomassa *Hydrilla verticillata* telah berikatan dengan ion seng(II) (gugus fungsi yang ada pada biomassa telah jenuh), sehingga kelebihan ion seng(II) yang terdapat dalam larutan tidak dapat membentuk ikatan lagi dengan gugus fungsi yang ada pada biomassa.

KESIMPULAN

Kondisi optimum penyerapan kation Zn^{2+} oleh biomassa *Hydrilla verticillata* adalah pada pH 5, waktu kontaknya 120 menit, dan kapasitas serapan maksimum adalah 125 ppm. Orde reaksi penyerapan kation Zn^{2+} oleh biomassa *Hydrilla verticillata* adalah 1. Kondisi optimum yang telah didapatkan dari percobaan ini bisa diaplikasikan untuk mengurangi limbah cair dari logam Zn.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹Sitompul, S. M. 2011. *Fisiologi tanaman: kehidupan tanaman (plant life)*. Malang: Universitas Brawijaya.
- ²Aksara, Riska. 2013. Identifikasi senyawa alkaloid dari ekstrak metanol kulit batang mangga (*Mangifera Indica L.*). *Jurnal Entropi Vol. VIII No.1*.
- ³Setiari, Nintya, dan Yulita Nurchayati. 2009. Eksplorasi kandungan klorofil pada beberapa sayuran hijau sebagai alternatif bahan dasar *food supplement*. *Bioma Vol. 11 No.1*.
- ⁴Rondonuwu, Sendi B. 2014. Fitoremediasi limbah merkuri menggunakan tanaman dan sistem reaktor. *Jurnal Ilmiah Sains*. Vol. 11 No.1.
- ⁵Hala, Yusafir. 2012. Biosorpsi campuran logam Pb^{2+} dan Zn^{2+} oleh *Chaetoceros calcitrans*. *Chem. Prog.* Vol. 5 No.2.
- ⁶Saefudin. 2008. *Pengaruh pH dan waktu kontak terhadap biosorpsi logam Zn oleh biomassa Aspergillus niger van Tieghem pada larutan limbah pertambangan nikel*. Bandung: Pendidikan Biologi FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia
- ⁷Tsabilul Fuad, Muhammad. 2013. Efektivitas kombinasi *Salvinia molesta* dengan *Hydrilla verticillata* dalam remediasi logam Cu pada limbah elektroplating. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*. Vol. 2 No.1.
- ⁸Sumiyati, Sri. 2009. Pemanfaatan *Hydrilla (Hydrilla verticillata)* untuk menurunkan logam tembaga (Cu) dalam limbah elektroplating: studi kasus industri kerajinan perak Kelurahan Citran, Kotagede". *Jurnal Prespitasi*. Vol. 7 No. 2.
- ⁹Sunanisari, S. 2008. Kemampuan teratai (*Nymphaea Sp*) dan ganggang (*Hydrilla verticillata*) dalam menurunkan kadar nitrogen dan phosphor air limbah pencucian laboratorium analisis kimia. *Limnotek*. Vol. XV No. 1.
- ¹⁰Komari, Noer. 2008. Kajian adsorpsi Cu(II) dengan biomassa *Hydrilla verticillata* teraktivasi. *Jurnal Sains MIPA*. Vol. 13 No. 1. Hlm. 37–42.
- ¹¹Miesler, G. L., and Tarr, D. A. 1998. *Inorganic chemistry*. New Jersey: Prentice Hall.
- ¹²Vogel. 1990. *Buku teks analisis anorganik kualitatif makro dan semimakro*. Terjemahan L. Setiono, dkk. Jakarta: Kalman Media Pustaka.

