

MODIFIKASI ADSORBEN SILIKA DARI ABU SEKAM PADI DENGAN KITOSAN UNTUK ADSORPSI ION MANGAN (TOTAL)

MODIFICATION OF ADSORBEN SILICA FROM RICE HUSK ASH WITH CHITOSAN TO ADSORPTION ION MANGANESE (TOTAL)

Akhmad Fauzi*, Alimuddin dan Nanang Tri Widodo

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman
Jalan Barong Tongkok No. 4 Kampus Gunung Kelua, Samarinda, 75123

*E-mail: akhmadfauzineu@gmail.com

Received: 12 November 2019, Accepted: 10 August 2020

ABSTRACT

Adsorbent silica from rice husk ash supported by chitosan can be used to adsorb Mn (Total) metal. The adsorbent is regulated by adjusting the composition of 65% silica and 35% chitosan. The characteristics of the silica-chitosan adsorbent and the adsorbent interaction with Mn (Total) are believed to be based on Fourier Transform Infrared (FTIR) data. The concentration of Mn (Total) ion after adsorption is determined by Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). The results showed optimum pH at pH 5 percentage adsorption 79.45% and optimum contact time at 60 minutes with adsorption percentage 96.78%, and obtained chitosan-silica adsorption capacity of Mn (Total) ions of 1.0349 mg/g.

Keywords: *Adsorbent, Silica, Rice Husk Ash, Chitosan, Mn Ion (Total), Adsorption.*

PENDAHULUAN

Logam berat merupakan unsur-unsur kimia yang mempunyai bobot jenis lebih besar dari 5 g/cm³ [1]. Macam-macam logam berat seperti kadmium (Cd), timbal (Pb), merkuri (Hg) dan mangan (Mn) merupakan zat pencemar yang cukup berbahaya. Logam mangan termasuk logam yang beracun apabila konsentrasi tinggi di dalam tubuh, walaupun diperlukan manusia untuk bertahan hidup [2]. Kadar Mangan dalam tubuh manusia berbobot 70 kg adalah sebesar 12-16 mg [3]. Mangan dalam air berbentuk mangan bikarbonat (Mn(HCO₃)), mangan sulfat (MnSO₄) dan mangan klorida (MnCl₂) [4].

Salah satu cara dalam menangani pencemaran logam ialah dengan menggunakan adsorben. Adapun adsorben (zat penjerap) yang bisa dipergunakan dalam proses adsorpsi ialah karbon aktif, alumina, zeolit, silika, oksida-oksida logam serta arang tulang [5]. Silika ialah salah satu senyawa anorganik yang berupa padatan yang mempunyai situs aktif gugus silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si) [6]. Adanya gugus -OH pada situs aktif permukaan silika yang memiliki kemampuan polarisabilitas rendah yang memiliki sifat basa keras (*hard*), hal tersebut menyebabkan silika cenderung untuk melakukan

interaksi dengan logam berat yang umumnya mempunyai kemampuan polarisabilitas yang tinggi atau bersifat asam lunak (*soft*) secara teoritis relatif tidak begitu kuat. Hal tersebut yang menyebabkan modifikasi pada permukaan silika perlu dilakukan [7]. Salah satu sumber silika ialah sekam padi. Jika sekam padi dibakar diperoleh hasil akhir berupa abu sekam padi. abu sekam padi memiliki kandungan silika sebesar 86,9 % - 97,3 % [8].

Dalam penelitian ini adsorben silika dimodifikasi dengan kitosan. Menurut [8], kitosan ialah polimer alam yang melimpah sehingga mudah didapatkan dan banyak pula digunakan sebagai adsorben. Kitosan memiliki kapasitas adsorpsi yang besar untuk logam berat karena adanya gugus amino (-NH₂) dan gugus hidroksil (-OH). Atom nitrogen dan oksigen memiliki elektron bebas yang dapat berinteraksi dengan kation logam [9]. Silika dapat meningkatkan porositas kitosan [8].

Berdasarkan dengan uraian di atas maka adsorben kitosan-silika merupakan adsorben yang baik sehingga diharapkan dapat mengadsorpsi ion mangan (total) yang ditinjau dengan pengaruh pH optimum, waktu kontak serta pengaruh konsentrasi ion mangan (total).

METODOLOGI PENELITIAN

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Spektrofotometer Serapan Atom (*SavantAA GBC*), Spektroskopi *Fourier Transform Infra Red* (8400/*Shimadzu*), *hotplate*, *shaker bath*, tanur, oven, desikator, neraca analitik, pengaduk magnetik, pH meter, blender, lumpang, alu, ayakan 100 mesh, pipet volume, pipet tetes, *bulp*, spatula, botol semprot, batang pengaduk, corong kaca serta peralatan gelas.

Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah kitosan, akuades, larutan yang berkategori pro analisis terdiri dari larutan standar MnSO_4 , HNO_3 65%, HCl 37%, asam asetat 99,9%, glutaraldehid 50% dan NaOH serta sekam padi didapatkan dari wilayah Lempake Samarinda Kalimantan Timur.

Prosedur Penelitian

Preparasi silika

Sekam padi dicuci bersih dan dikeringkan menggunakan oven kemudian diabukan selama 5 jam pada suhu 900°C . Dilanjutkan dengan proses pemurnian silika melalui pencucian abu sekam padi menggunakan 70 mL HCl 6 M (1:1) dan dipanaskan dengan menggunakan *hot plate* selama 2 jam. Hasil destruksi dicuci dengan akuades sampai pH netral, kemudian dipanaskan 105°C selama 1 jam, selanjutnya didinginkan dan dihaluskan hingga 100 mesh [8].

Pembuatan adsorben silika-kitosan

Kitosan dilarutkan dalam 80 mL asam asetat 2 %. Pada larutan kitosan ditambahkan silika kemudian diaduk semalam. Campuran dinetralkan dengan NaOH 1 M hingga pH 7 dan didiamkan. Endapan didekantasi dan direndam dalam 40 mL glutaraldehid 0,5 % selama 24 jam. Hasil yang didapat disaring dengan kertas Whatman no.1, dipanaskan 105°C hingga berat konstan selanjutnya didinginkan dan dihaluskan hingga 100 mesh. Komposisi kitosan dan silika diatur yaitu dengan digunakan 3,5 gram kitosan dan 6,5 gram silika [8].

Analisis gugus fungsi

Analisis gugus fungsi dilakukan untuk mengetahui gugus-gugus fungsi yang ada pada adsorben. Analisis gugus fungsi dilakukan menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) pada interval bilangan gelombang $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$. Adsorben yang dikarakterisasi FTIR berupa kitosan-silika dan kitosan-silika dengan ion Mn. Komposisi masing-masing sampel yang digunakan sebanyak 0,5 gram.

Adsorpsi Mn

Penentuan pH optimum

Disiapkan sebanyak 20 mL larutan ion Mn dengan konsentrasi 20 mg/L yang telah diatur pH larutan menjadi pH 3, 4, 5, 6 dan 7 yang diatur dengan cara menambahkan HNO_3 dan NaOH . Kemudian dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer. Setelah itu ditambahkan kitosan-silika sebanyak 0,2 gram ke dalam masing-masing erlenmeyer. Dikocok larutan dengan menggunakan *shaker* selama 15 menit dengan kecepatan 100 rpm. Disaring filtrat, lalu diukur konsentrasinya menggunakan spektrofotometer serapan atom.

Penentuan waktu kontak optimum

Disiapkan sebanyak 20 mL larutan ion Mn dengan konsentrasi 20 mg/L yang telah diatur pH larutan pada pH optimum dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer. Setelah itu ditambahkan kitosan-silika sebanyak 0,2 gram ke dalam masing-masing erlenmeyer. Dikocok larutan dengan menggunakan *shaker* dengan variasi waktu kontak 15, 30, 45, 60, 75 dan 90 menit dengan kecepatan 100 rpm. Disaring filtrat lalu diukur konsentrasinya menggunakan spektrofotometer serapan atom.

Penentuan konsentrasi dan kapasitas adsorpsi maksimum

Disiapkan sebanyak 20 mL larutan ion Mn dengan konsentrasi 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60 dan 70 mg/L yang telah diatur pH larutan pada pH optimum dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer. Setelah itu ditambahkan kitosan-silika sebanyak 0,2 gram ke dalam masing-masing erlenmeyer. Dikocok larutan dengan menggunakan *shaker* selama waktu kontak optimum dengan kecepatan 100 rpm. Disaring filtrat lalu diukur konsentrasinya menggunakan spektrofotometer serapan atom.

Analisis Data

Berdasarkan teknik analisa data di atas dapat disusun analisa data dengan menggunakan rumus: Penentuan % Teradsorpsi ion logam [10].

Berikut Rumus yang digunakan:

$$R (\%) = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

Keterangan:

- R = Prosentase Teradsorpsi (%)
- C_0 = Konsentrasi awal (mg/L)
- C_e = Konsentrasi akhir (mg/L)

Penentuan jumlah ion teradsorpsi:

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times v}{w} \quad (2)$$

Keterangan:

- Qe = Jumlah ion teradsorpsi (mg/g)
- Co = Konsentrasi awal (mg/L).
- Ce = Konsentrasi akhir (mg/L)
- v = Volume (L)
- w = Berat adsorben (gram)

Penentuan kapasitas adsorpsi maksimum menggunakan isotherm Langmuir dan isotherm Freundlich [11]. Seperti pada persamaan berikut: Persamaan umum isotherm Langmuir:

$$Q_e = q_m \frac{K_{ads} \times C_e}{1 + K_{ads} \times C_e} \quad (3)$$

Apabila ditulis dalam persamaan linier menjadi

$$\frac{1}{Q_e} = \frac{1}{q_m \times K_{ads}} \left(\frac{1}{C_e} \right) + \frac{1}{q_m} \quad (4)$$

Keterangan:

- Ce = Konsentrasi akhir ion logam (mg/L)
- Qe = Jumlah ion teradsorpsi (mg/g)
- qm = Kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)
- K_{ads} = Konstanta adsorpsi Langmuir

Grafik $\frac{1}{Q_e} vs \frac{1}{C_e}$ dibuat dengan slope $\frac{1}{qm}$ dan intersep $\frac{1}{K_{ads} qm}$ sehingga dapat ditentukan kapasitas adsorpsi maksimum [12].

Berikut persamaan umum Freundlich:

$$Q_e = K_f \times C_e^{1/n} \quad (5)$$

Apabila ditulis dalam persamaan linier menjadi

$$\text{Log } Q_e = \text{Log } K_f + \frac{1}{n} \text{Log } C_e \quad (6)$$

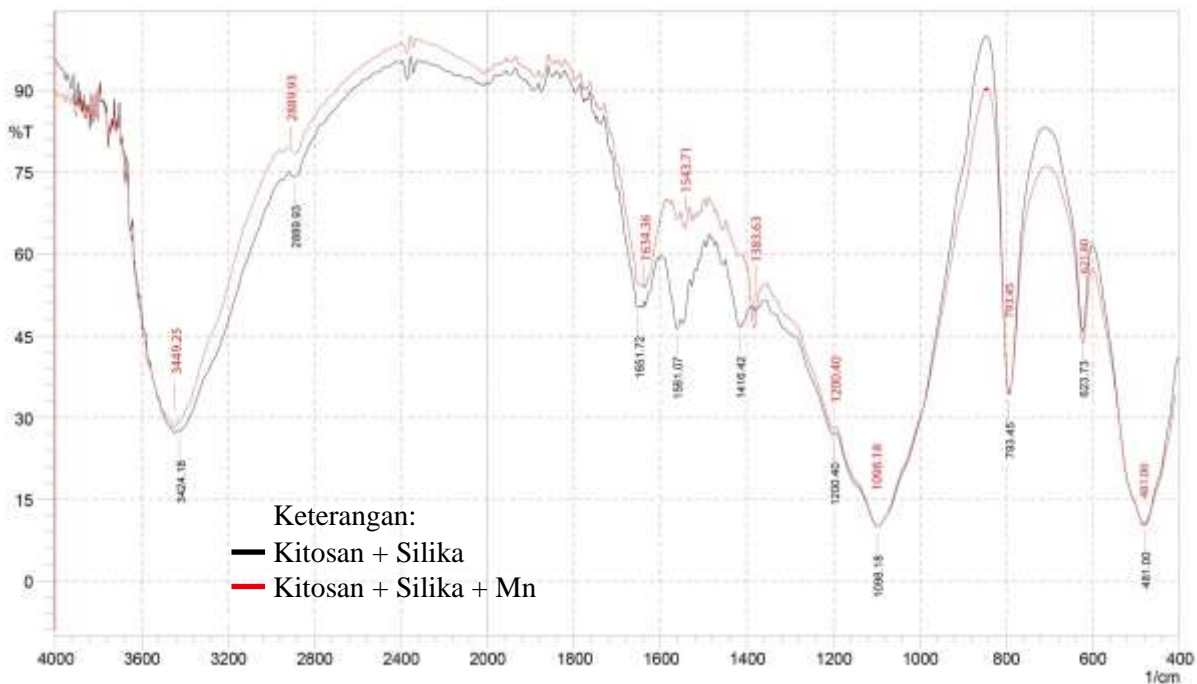
Keterangan:

- Ce = Konsentrasi akhir ion logam (mg/L)
- Qe = Jumlah ion teradsorpsi (mg/g)
- K_f = Konstanta adsorpsi Freundlich
- n = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

Grafik log Qe vs log Ce dibuat dengan slope 1/n dan intersep adalah log K_f sehingga dapat ditentukan kapasitas adsorpsi maksimum [12].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil karakterisasi pada adsorben kitosan-silika serta kitosan-silika + Mn yang dianalisa menggunakan *Fourier Transform Infrared (FTIR)* dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 1.

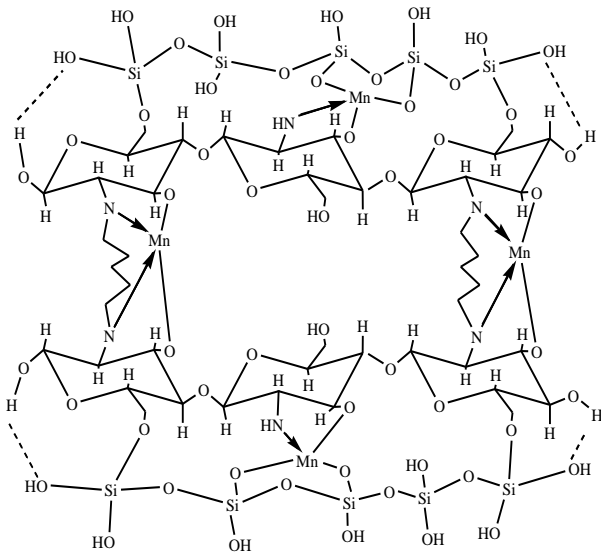


Gambar 1. Spektrum FTIR dari Kitosan-Silika serta Kitosan-Silika + Mn.

Berdasarkan Gambar 1 di atas dapat dilihat gugus-gugus fungsi pada sampel adsorben silika-kitosan. Karakteristik silika ditunjukkan pada serapan-serapan dengan bilangan gelombang sekitar 3424,18; 1908,18; 793,45 dan 481,00 cm⁻¹. Serapan yang muncul pada bilangan gelombang 3424,18 cm⁻¹ menunjukkan serapan dari gugus -OH yang berasal dari silika maupun kitosan yang ada pada permukaan adsorben, 1098,18 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi

peregangan asimetris dari gugus fungsi -Si-O yang berasal dari siloksan (Si-O-Si). Gugus fungsi -Si-O juga memberikan serapan vibrasi peregangan simetris pada bilangan gelombang 793,45 cm⁻¹ dan pada bilangan gelombang 481,00 cm⁻¹ muncul serapan vibrasi pembengkokan dari gugus siloksan (-Si-O-Si). Pada karakteristik kitosan ditunjukkan pada bilangan gelombang berikut; Pada bilangan gelombang 3424,18 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi

peregangan dari gugus -OH dan -NH₂, 2889,93 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi peregangan gugus -CH yang berasal dari -CH dan -CH₂. Setelah ditambahkan Mn terjadi pergeseran pada bilangan gelombang sekitar 1561,07 cm⁻¹ menjadi 1543,71 cm⁻¹. Hasil menandakan kemungkinan terbentuknya khelat antara gugus amina dengan Mn. Hal ini menandakan bahwa terdapat peristiwa adsorpsi karena Mn berikatan dengan gugus amina dari kitosan. Kemungkinan reaksi pengikatan Mn ditunjukkan pada Gambar 2.



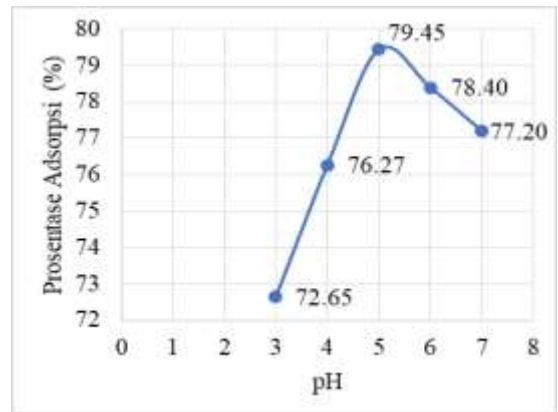
Gambar 2. Perkiraan reaksi pengikatan Mn [13-15].

Adsorpsi Ion Mn

Penentuan pH optimum

Hasil penelitian dapat dijelaskan pada Gambar 3. Didapatkan konsentrasi ion H⁺ yang tinggi pada pH kurang dari 5 disebabkan karena terjadinya protonasi gugus-gugus aktif yang terdapat dalam adsorben kitosan-silika utamanya protonasi gugus -NH₂ menjadi -NH₃⁺. Semakin tinggi konsentrasi ion H⁺ maka kecenderungan protonasi gugus aktif semakin besar menyebabkan adsorpsi terhadap ion Mn menurun, karena tidak ada lagi pasangan elektron bebas yang dapat berikatan.

Sedangkan pada pH 5, ion Mn diduga memiliki afinitas lebih tinggi untuk dapat berikatan dengan gugus aktif adsorben, sehingga terjadi peningkatan jumlah ion yang teradsorpsi. Selanjutnya, jumlah ion Mn yang teradsorpsi akan semakin menurun dengan kenaikan pH larutan. Hal tersebut terjadi akibat dari menurunnya kelarutan logam dalam larutan, karena ion Mn masih dalam bentuk senyawa MnSO₄·4H₂O yang stabil. Oleh karena hal tersebut, pasangan elektron bebas yang terdapat pada gugus aktif seperti siloksan, amina dan hidroksi pada kitosan-silika kurang efektif mengikat ion Mn [16].



Gambar 3. Grafik penentuan pH optimum terhadap % Mn teradsorpsi.

Penentuan waktu kontak optimum

Dimana hasil penelitian dapat dijelaskan pada Gambar 4.

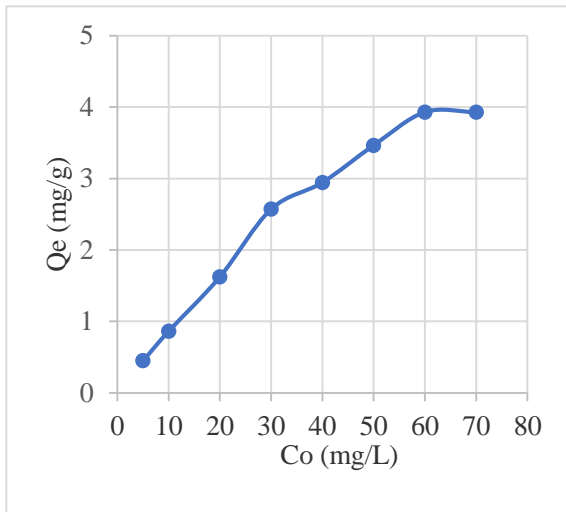


Gambar 4. Grafik penentuan waktu kontak optimum terhadap % Mn teradsorpsi.

Berdasarkan dengan hasil yang didapatkan peningkatan jumlah ion Mn yang teradsorpsi terjadi pada lama kontak antara 15 hingga 60 menit. Hal tersebut terjadi karena proses adsorpsi ion Mn kedalam pori-pori adsorben akan semakin baik seiring dengan semakin lama waktu interaksi. Adsorpsi ion Mn dalam larutan menurun dengan berjalannya waktu karena pengikatan oleh adsorben pada waktu tertentu akan tercapai kesetimbangan. Ketika telah mencapai keadaan yang dapat dikatakan setimbang yang terjadi pada menit 45 dan 60, kecepatan adsorpsi sama dengan desorpsi. Kemudian, situs aktif dalam kitosan-silika diperkirakan telah jenuh oleh adanya ion Mn sehingga proses difusi berlanjut terhadap pori-pori adsorben tidak menyebabkan ikatan antara ion logam dengan situs aktif yang terdapat pada adsorben [16].

Penentuan konsentrasi dan kapasitas adsorpsi maksimum

Penentuan kapasitas adsorpsi adsorben kitosan-silika terhadap ion Mn dapat ditentukan dengan mempelajari pengaruh konsentrasi. Dimana pada penentuan kapasitas adsorpsi maksimum data yang didapatkan yaitu hasil dalam mg/L diubah dalam bentuk jumlah ion teradsorpsi dalam mg/g. Dimana hasil penelitian dapat dijelaskan pada Gambar 5.

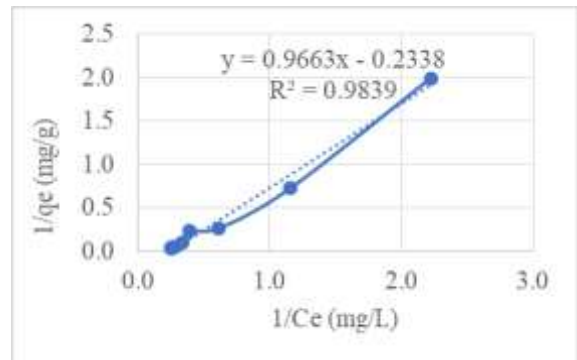


Gambar 5. Grafik pengaruh konsentrasi terhadap % Mn teradsorpsi.

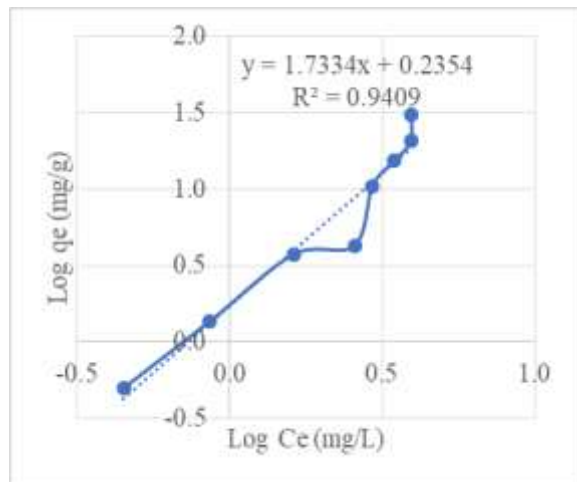
Berdasarkan grafik yang didapatkan dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi ion Mn terjadi peningkatan jumlah ion Mn yang teradsorpsi seperti hasil yang tertera pada Gambar 5. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi ion Mn dalam larutan yang semakin tinggi akan menyebabkan difusi terus-menerus ke permukaan adsorben kitosan-silika berlangsung semakin baik, hal tersebut dikarenakan konsentrasi partikel ion Mn yang tinggi didalam larutan menyebabkan frekuensi tumbukan antar partikel akan semakin besar. Keadaan tersebut terus terjadi hingga adsorben kitosan-silika dalam keadaan jenuh. Dimana keadaan jenuh terjadi pada saat waktu kesetimbangan tercapai yaitu pada menit ke-60. Pada konsentrasi 60 dan 70 mg/L tercapai kesetimbangan jumlah ion Mn teradsorpsi hal ini disebabkan oleh gugus aktif pada permukaan adsorben telah terpenuhi dengan ikatan ion logam sehingga penambahan konsentrasi ion Mn dalam larutan tidak akan menambah jumlah ion Mn yang teradsorpsi. Keadaan tersebut menandakan bahwa kitosan-silika telah mencapai jenuh, sehingga penambahan konsentrasi dari ion Mn dalam larutan tidak meningkatkan peluang terjadinya ikatan antara ion Mn yang bertindak sebagai atom pusat, untuk

berikatan koordinasi dengan gugus aktif kitosan-silika yang bertindak sebagai ligan [16].

Pada penentuan kapasitas adsorpsi maksimum data yang didapatkan dalam jumlah Mn teradsorpsi dalam mg/g digunakan untuk menghitung kapasitas adsorpsi maksimum. Diketahui bahwa terdapat dua jenis persamaan pola isoterm adsorpsi yang sering digunakan pada proses adsorpsi dalam larutan yaitu persamaan adsorpsi Langmuir dan Freundlich. Berikut data yang menunjukkan hasil permodelan isoterm Langmuir dan Freundlich pada proses adsorpsi ion Mn seperti pada Gambar 6. dan Gambar 7.



Gambar 6. Grafik Isoterm Langmuir adsorpsi ion Mn.



Gambar 7. Grafik Isoterm Freundlich adsorpsi ion Mn.

Hasil grafik pada penentuan kapasitas adsorpsi diperoleh bahwa jenis isoterm Langmuir dan Freundlich. Proses adsorpsi ma sesuai dengan jenis isoterm Langmuir karena nilai regresi yang didapatkan pada jenis isoterm Langmuir didapatkan nilai R² sebesar 0,9839. Hasil nilai tersebut mengikuti pada nilai regresi yang telah ditetapkan pada persamaan isoterm Langmuir dan Freundlich. Harga nilai regresi yang dapat diterima adalah $\geq 0,95$ atau $\geq 95\%$ [17]. Sedangkan pada jenis isoterm

Freundlich tidak mengikuti karena hasil R^2 yang diperoleh sebesar 0,9409. Menurut [18], Asumsi yang digunakan pada persamaan Langmuir adalah adsorpsi terjadi secara kimia, adsorbat yang terjerap membentuk lapisan tunggal (*monolayer*) dan tidak ada interaksi antar molekul yang terjerap. Berdasarkan dengan hasil penelitian didapatkan kapasitas adsorpsi maksimum ion Mn sebesar 1,0349 mg/g.

KESIMPULAN

1. Adsorben kitosan-silika dari abu sekam padi memiliki karakter fisik berwarna kecoklatan. Dan pada karakteristik kimia dari adsorben kitosan-silika ditampilkan pada hasil spektrum IR ditunjukkan dengan adanya gugus aktif (O-H, Si-OH, C-H, C=O amida sekunder, N-H, C-O, Si-O-C, Si-O-Si).
2. Berdasarkan penelitian didapatkan hasil adsorpsi optimum untuk ion Mn ialah pada pH 5 dengan persen adsorpsi 79,45 % dan waktu 60 menit dengan persen adsorpsi 96,78 %.
3. Berdasarkan dengan hasil penelitian didapatkan kapasitas adsorpsi maksimum ion Mn sebesar 1,0349 mg/g.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Miettinen K. J. 1997. *The accumulation and excretion of heavy metals in organism. in: ecological research. Mc.Intrye, A.D. and C.F. Mills. (Eds).* Plenum Press. New York.
- [2] Palar, H. 1994. *Pencemaran dan toksikologi logam berat.* Jakarta: Rineka Cipta.
- [3] <https://www.slideshare.net/affandzeko23/profil-mangan-mn>
- [4] Suprayudi M. dan Abdi M. F. 2016. *Analisa kadar mangan (Mn) pada air sumur di daerah cipto mulyo kecamatan sukun kota Malang.* Malang: Akademi Analisis Kesehatan Malang.
- [5] Suzuki M. 1990. *Adsorption Engineering.* Tokyo: Elsevier.
- [6] Oscik J. dan Cooper L. 1982. *Adsorptions.* New York: Ellis Horwood Limited John Wiley and Sons.
- [7] Atkins P. W. 1999. *Kimia Fisika.* Edisi ke-2. Jakarta: Erlangga.
- [8] Mulyasuryani A., Barlah R., Chandrawati C. dan Soebiantoro. 2013. Adsorpsi Pb^{2+} dan Cu^{2+} menggunakan kitosan-silika dari abu sekam padi. *Jurnal Universitas Brawijaya. Valensi.* 3(2):88-92.
- [9] Ghaee A., Niassar M. S., Barzin J. dan Zarghan A. 2012. Adsorption of copper and nickel ions on macroporous chitosan membrane: equilibrium study. *Applied Surface Science.* 258:7732-7743.
- [10] Nurafriyanti, Prihatini N. S. dan Syuqiah I. 2017. Pengaruh variasi pH dan berat adsorben dalam pengurangan konsentrasi Cr total pada limbah artifisial menggunakan adsorben ampas daun teh. *Jurnal Teknik Lingkungan Fakultas Teknik ULM.* 3(1):56-65.
- [11] Bird T. 1993. *Kimia Fisika untuk Universitas.* Jakarta: Gramedia.
- [12] Mandasari I. dan Purnomo A. 2016. Penurunan ion besi (Fe) dan mangan (Mn) dalam air dengan serbuk gergaji kayu kamper. *Jurnal Teknik Lingkungan ITS.* 5(1):F11-F16.
- [13] Widyanti A. P. 2009. *Pemanfaatan kitosan dari cangkang rajungan pada proses adsorpsi logam nikel dari larutan $NiSO_4$.* Jakarta: Skripsi Universitas Indonesia.
- [14] Hastuti B., Abu M. dan Fariha I. 2011. Modifikasi kitosan melalui proses swelling dan crosslinking menggunakan glutaraldehid sebagai pengadsorpsi logam Cr (VI) pada limbah industri batik. *Journal Ekosains.* 3(3).
- [15] Muflikhah, Rusdiarso B., Putra E. G. R. dan Nuryono. 2017. Modification of silica coated on iron sand magnetic material with chitosan for adsorption of Au(III). *Indones. J. Chem.* 17(2):264 – 273.
- [16] Riskadita, R. 2017. Pengaruh pH, Lama kontak, dan konsentrasi pada adsorpsi ion logam Cd^{2+} menggunakan kitosan-silika. Malang: *Skripsi Universitas Brawijaya.*
- [17] Kurniaty N. 2008. Kestimbangan adsorpsi residu minyak dari limbah cair pabrik minyak sawit (POME) menggunakan gambut aktif. Pekanbaru: *Skripsi, Teknik Kimia, Fakultas Teknik UR.*
- [18] Al-Duri B. 1995. A review in equilibrium in single and multicomponent liquid adsorption system. *Review in Chemical Engineering.* 11:101-143.