



---

## MODIFIKASI KITOSAN MELALUI TAUT SILANG DENGAN NATRIUM TRIPOLIFOSFAT SEBAGAI ADSORBEN ION Mn(II)

Oleh

Khabibi<sup>1)</sup>, Suprihatin<sup>2)</sup> & Rum Hastuti<sup>3)</sup>

<sup>1,2,3</sup>Departemen Kimia FSM Universitas Diponegoro, Jl. Prof. H Soedarto SH Tembalang Semarang

Email: <sup>1</sup>[khabibi@live.undip.ac.id](mailto:khabibi@live.undip.ac.id), <sup>2</sup>[suprihatin@live.undip.ac.id](mailto:suprihatin@live.undip.ac.id) & <sup>3</sup>[rumhastuti@live.undip.ac.id](mailto:rumhastuti@live.undip.ac.id)

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pembuatan gel kitosan-tripolifosfat dan mengaplikasikannya sebagai adsorben ion logam Mn(II). Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah penentuan derajat deasetilasi kitosan awal, re-deasetilasi kitosan dan penentuan derajat deasetilasi kitosan hasil re-deasetilasi menggunakan FTIR. Kitosan kemudian dimodifikasi melalui taut silang dengan natrium tripolifosfat dan dikarakterisasi menggunakan FTIR. Kitosan-tripolifosfat dimanfaatkan sebagai adsorben ion logam Mn(II). Pada penelitian ini ditentukan pengaruh pH dan waktu kontak optimum adsorpsi kitosan termodifikasi terhadap ion Mn(II). Hasil penelitian ini adalah adsorben dalam bentuk gel hasil modifikasi kitosan yang tertaut silang natrium tripolifosfat. Waktu kontak 3 jam dan pH 5 merupakan kondisi optimum adsorpsi kitosan-tripolifosfat terhadap ion Mn(II). Kemampuan adsorpsi kitosan-tripolifosfat pada ion logam Mn(II) adalah sebesar 9,99 mg/g yang lebih baik dibandingkan adsorpsi Mn(II) menggunakan kitosan tanpa termodifikasi yang sebesar 7,82 mg/g.

**Kata Kunci:** Kitosan, Natrium Tripolifosfat, Taut Silang, Adsorpsi & Mn

### PENDAHULUAN

Mangan (Mn) merupakan salah satu logam berat yang digunakan untuk produksi baterai kering, keramik, dan gelas. Mangan merupakan logam esensial yang berbahaya dan menyebabkan keracunan pada makhluk hidup apabila melebihi ambang batas [1]. Oleh karena itu diperlukan metode untuk menghilangkan logam mangan, salah satunya dengan adsorpsi [2-3].

Kitosan merupakan salah satu adsorben alami. Keberadaan gugus amina ( $\text{NH}_2$ ) dan  $-\text{OH}$  pada struktur kitosan telah menjadikannya mampu mengadsorpsi logam berat [4-6]. Kitosan berpotensi dimodifikasi dengan adanya gugus  $-\text{OH}$  dan  $-\text{NH}_2$  yang dapat direaksikan dengan agen taut silang [7-8]. Salah satu agen taut silang yang dapat digunakan adalah natrium tripolifosfat [9]. Natrium tripolifosfat dapat digunakan sebagai agen taut silang dikarenakan dapat terionisasi menghasilkan

polianion tripolifosfat yang dapat berikatan dengan polikation kitosan dalam media asam. Polianion tripolifosfat yang terikat pada polikation kitosan akan dapat menambah gugus  $-\text{OH}$  dan fosfat yang dapat juga berfungsi sebagai basa lewis sehingga dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi kitosan sebagai pengkhelat ion logam [10].

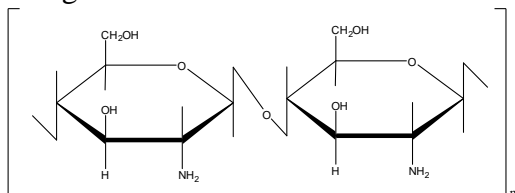
Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa modifikasi kitosan dengan natrium tripolifosfat mampu meningkatkan kemampuan adsorpsinya terhadap adsorpsi ion logam berat [2,9]. Pada penelitian dilakukan modifikasi kitosan dengan cara ditautsilangkan dengan tripolifosfat membentuk kitosan-tripolifosfat, dan mengaplikasikannya pada proses adsorpsi ion logam Mn(II). Pada penelitian ini juga dilakukan penentuan kondisi optimum dengan variasi pH dan waktu kontak.



## LANDASAN TEORI

### Kitosan.

Kitosan merupakan polimer tidak beracun, alami, biodegradabel, biokompatibel, dan bioadhesif, serta polimer dari glukosamin dan N-asetil glukosamin yang terikat oleh ikatan  $\beta$  1-4 glukosidik. Kitosan tersusun oleh N-deasetilasi dari kitin [10]. Struktur kitosan sebagai berikut:



Gambar 1 Struktur Kitosan

Kitosan telah menjadi adsorben populer untuk mencegah ion logam dalam larutan berair, dan sering digunakan dalam aplikasi pencegahan pencemaran air [11]. Penyusun utama kitosan adalah poly( $\beta$ -1-4)-2-amino-2-deoxy-D-glucopyranose, yang merupakan salah satu biopolimer yang banyak ditemukan di alam. Kitosan menunjukkan afinitas yang tinggi terhadap ion logam sebab kitosan memiliki tiga gugus aktif yaitu gugus amina ( $-NH_2$ ), gugus hidroksil primer dan hidroksil sekunder ( $-OH$ ). Gugus fungsi ini merupakan bagian yang dapat membentuk kompleks koordinasi yang stabil dengan ion logam berat [9,12]

Kitosan larut dalam larutan asam encer seperti asam asetat, asam klorida, dan larut sebagian dalam asam format, asam nitrat, dan asam sitrat tetapi tidak dapat larut dalam asam sulfat, air, dan larutan yang bersifat alkali dengan pH di atas 6,5 [13]. Schmul dkk. [14], menyatakan bahwa kitosan dapat digunakan sebagai adsorben untuk menghilangkan logam berat meliputi Cu(II), Pb(II), U(VI), Cr(III), Cr(VI), Ni(II), Cd(II), Zn(II), Co(II), Fe(II), Mn(II), Pt(IV), Ir(III), Pd(II), V(V), dan V(VI) dalam air limbah.

### Derajat Deasetilasi Kitosan.

Kitosan dibuat dengan melakukan deasetilasi kitin, sehingga derajat deasetilasi digunakan untuk mengidentifikasi kitosan.

Nilai derajat deasetilasi menggambarkan proporsi unit monomer yang telah dihilangkan gugus asetilnya dan mengidentifikasi proporsi gugus amina pada kitosan. Penghilangan gugus asetil (deasetilasi) dari kitin dengan menambahkan larutan sodium hidroksida pekat (50%) pada suhu 800C selama satu jam. Konsentrasi NaOH akan mempengaruhi laju deasetilasi. Semakin tinggi konsentrasi NaOH yang digunakan, laju deasetilasi akan semakin cepat. Hal ini disebabkan gugus fungsional amino ( $-NH_3^+$ ) yang mensubstitusi gugus asetil kitin di dalam sistem larutan semakin aktif, maka semakin sempurna proses deasetilasi, tetapi konsentrasi NaOH yang tinggi juga belum tentu tinggi [15]. Kolodziejcska [16] menemukan bahwa laju deasetilasi optimum akan diperoleh jika konsentrasi NaOH yang digunakan sebesar 50%. Konsentrasi 50% juga menghasilkan deasetilasi lebih baik jika deasetilasi akan dilakukan pada suhu yang rendah.

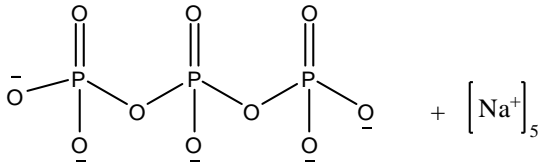
Metode yang dipakai untuk menentukan derajat deasetilasi kitosan adalah menggunakan spektroskopi FTIR [17]. Pengukuran derajat deasetilasi kitosan dengan spektroskopi FTIR menggunakan range frekuensi 400-4000  $cm^{-1}$ . Perhitungan derajat deasetilasi (DD) kitosan menggunakan base line Domszy dan Robert [18].

### Natrium Tripolifosfat ( $Na_5P_3O_{10}$ )

Natrium tripolifosfat ( $Na_5P_3O_{10}$ ) dibuat dengan mereaksikan mononatrium fosfat dan dinatrium fosfat berdasarkan reaksi:



Berbentuk serbuk Kristal putih, BM 367,869 g/mol, tidak berbau, dan larut dalam air. Dalam bentuk larutan, natrium tripolifosfat akan membentuk ion-ionnya. Menurut Bhumkar dan Pokharkar [10], ionisasi natrium tripolifosfat sebagai berikut:



Gambar 2 Ionisasi natrium tripolifosfat

Tripolifosfat (TPP) adalah polianion ( $\text{P}_3\text{O}_{10}$ )-5 non toksik yang dapat berinteraksi dengan kitosan, gugus amin kitosan yang diprotonasi akan berinteraksi dengan polianion tripolifosfat sehingga membentuk interaksi jaringan ikatan silang ionik [9]. Gugus amin pada kitosan dapat menjadi kationik dalam media asam sebab terjadi proses protonasi dari gugus amin, sehingga dapat mengikat polianion tripolifosfat [13]. Polianion tripolifosfat yang berikatan dengan kitosan dapat menambah gugus OH yang berfungsi sebagai basa lewis sehingga dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi kitosan sebagai pengkhelat ion logam berat [19].

#### Modifikasi kitosan

Modifikasi kitosan secara fisik dan kimia dapat menambah selektivitas dan kapasitas adsorpsi ion logam. Kitosan memiliki sifat kimia yaitu bioadhesif memungkinkan adanya interaksi kitosan dengan senyawa lain melalui gugus amina, sehingga dapat dimodifikasi dengan senyawa lain untuk menambah gugus aktif kitosan [12,21]. Sifat fisik kitosan yaitu mudah dibentuk menjadi spons, larutan, gel, pasta, membran, dan serat yang sangat aplikatif. Selain sifat kimia dan fisik, kitosan juga memiliki sifat biologi yaitu biokompatibel menyebabkan kitosan dapat dimodifikasi melalui ikatannya dengan senyawa biologi seperti sel mamalia dan mikroba [22].

Bhumkar dan Pokharkar [10], telah memodifikasi kitosan dengan natrium tripolifosfat dalam pembelajaran pengaruh pH. Interaksi kitosan dengan tripolifosfat akan membentuk biokompatibel pengikat silang kitosan. Modifikasi kitosan dengan natrium tripolifosfat pernah dilakukan oleh Wan Ngah dan Fatinathan [9] yang mempelajari karakterisasi adsorpsi ion Pb(II) dan Cu(II) secara kinetik dan termodinamik. Modifikasi kitosan dengan natrium tripolifosfat mampu

menghilangkan ion Pb(II) dan Cu(II) yang secara termodinamik, adsorpsi spontan dan endotermik. Pada tahun 2006 Sun dkk. [11], memodifikasi kitosan-karboksimetil dengan ion Pb(II) sebagai cetakan. Modifikasi tersebut terbukti mampu selektif menyerap ion Pb(II) dari campuran ion Pb(II), Cu(II), dan Zn(II).

## METODE PENELITIAN

### Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan meliputi: Akuades, Kitosan teknis, Natrium tripolifosfat ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ) tekni, NaOH (Merck) p.a,  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (Merck) p.a, Etil Asetat (Merck) p.a, HCl (Merck) p.a,  $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  (Merck) p.a,  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (Merck) p.a

Alat-alat yang digunakan: seperangkat peralatan gelas (Pyrex), spin coater, Spektrometri UV-Vis (Shimadzu), AAS (perkin-elmer) dan FTIR (Shimadzu).

### Prosedur Penelitian

**Re-deasetilasi Kitosan.** Serbuk kitosan direndam dalam NaOH 50% dengan perbandingan 1:20 b/v. Kemudian diaduk dengan magnetik stirer, dipanaskan pada suhu  $120^\circ\text{C}$  selama 4 jam. Residu dan filtrat dipisahkan dengan penyaringan, kemudian residu dinetralkan melalui pencucian dengan akuades sampai pH netral. Residu dikeringkan dalam oven suhu  $80^\circ\text{C}$  selama 24 jam [22]. Kitosan yang telah dire-deasetilasi diuji derajat deasetilasinya dengan menggunakan FTIR.

**Pembuatan Kitosan Termodifikasi Natrium Tripolifosfat.** Serbuk kitosan hasil re-deasetilasi dilarutkan dalam asam asetat 2% sampai homogen, kemudian ditambahkan natrium tripolifosfat yang telah dilarutkan dalam akuades, diaduk dengan magnetik stirer sampai homogen. Larutan kental yang terbentuk, selanjutnya ditetesi etil asetat sambil distirer selama 45 menit pada kecepatan tinggi, kemudian butiran kitosan-tripolifosfat didekantasi. Butiran yang diperoleh kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu  $30^\circ\text{C}$  sampai tercapai berat konstan [23].



**Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi Mn(II).** Larutan Mn(II) dengan konsentrasi 100 ppm pada pH 5, dimasukkan ke dalam gelas beker yang telah berisi adsorben kitosan-tripolifosfat. Masing-masing erlenmeyer digojog dengan kecepatan 150 rpm selama 3 jam, 6 jam, 9 jam, 12 jam, dan 15 jam, disaring dan filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan SSA.

**Pengaruh pH Terhadap Adsorpsi Mn(II).** Larutan Mn(II) dengan konsentrasi 100 ppm diatur keasamannya pada pH 2, 3, 4, 5, 6, dan 7 dengan menggunakan larutan HCl dan NaOH. Selanjutnya dimasukkan ke dalam gelas beker yang telah berisi adsorben kitosan-tripolifosfat. Masing-masing gelas beker digojog dengan kecepatan 150 rpm selama waktu optimum, disaring dan filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan SSA.

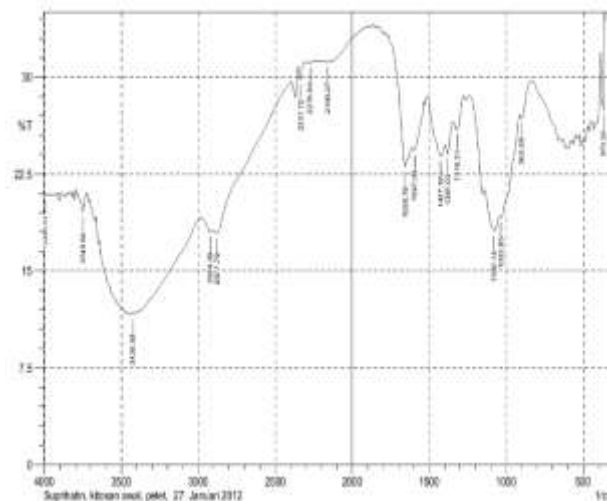
**Adsorpsi Ion Mn(II) Terhadap Larutan Ion Logam Mn(II).** Kitosan-tripolifosfat ditambahkan ke dalam larutan mengandung ion logam Mn(II) 100 ppm pada pH optimum. Larutan digojog selama waktu optimum dengan kecepatan 150 rpm, kemudian disaring. Filtrat yang diperoleh dianalisis dengan SSA. Proses diulang dengan menggunakan larutan ion logam Cd(II) 100 ppm.

**Karakterisasi.** Spektra pada kitosan awal, kitosan re-deasetilasi, dan kitosan-tripolifosfat diperoleh dengan menggunakan Fourier Transform Infrared (FTIR) Shimadzu 820 IPC. Sedangkan untuk penentuan Mn(II) dilakukan dengan AAS.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Penentuan Derajat Deasetilasi Kitosan Awal.

Kitosan dianalisis menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi dan menghitung derajat deasetilasi kitosan dengan menggunakan metode *base line* Domszy dan Robert [18]. Spektra FTIR dari kitosan dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Spektra FTIR Kitosan Awal

Penentuan derajat deasetilasi kitosan dilakukan untuk mengetahui persen gugus asetil yang telah hilang dari struktur kitin dan digantikan oleh gugus amina. Menurut Anderson dkk. [2] gugus-gugus fungsi yang ada pada kitosan dapat dilihat dari bilangan gelombang yang muncul sebagai berikut:

**Tabel 1. Bilangan gelombang dan prediksi gugus fungsi yang ada pada spektra FTIR kitosan**

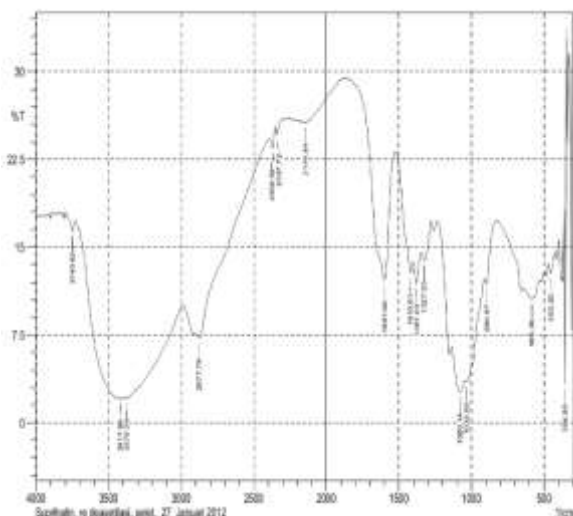
Bilangan gelombang (cm <sup>-1</sup> )	Prediksi gugus fungsi
3425,58	Uluran OH dan uluran N-H
2924,09 dan 2877,79	Uluran C-H
1658,78	N-H tekuk
1381,03 dan 1319,31	Uluran C-N dan OH tekuk
1080,14 dan 1033,85	Uluran C-O

Tabel 1. sesuai dengan gugus fungsi khas kitosan menurut Puspawati dan Simpen [22], terdapat pada puncak 3425,58 yang menunjukkan gugus fungsi uluran OH dan uluran N-H serta puncak 1658,78 yang menunjukkan gugus fungsi N-H tekuk. Berdasarkan perhitungan metode *base line* Domszy dan Robert [18], diperoleh derajat deasetilasi kitosan awal sebesar 67,44%.

**Re-deasetilasi Kitosan.** Re-deasetilasi kitosan dilakukan untuk meningkatkan derajat deasetilasi kitosan awal. Semakin tinggi derajat



deasetilasi kitosaan diharapkan meningkatkan kemampuan kitosaan untuk berikatan dengan ion tripolifosfat, sebab ion tripolifosfat akan terikat pada gugus amina pada kitosaan sehingga semakin banyak gugus amina maka ion tripolifosfat yang terikat akan semakin banyak [23]. Kitosaan hasil re-deasetilasi diuji kembali dengan menggunakan spektrofotometri FTIR guna mengetahui derajat deasetilasinya. Spektra FTIR hasil re-deasetilasi kitosaan dapat dilihat pada gambar 4.



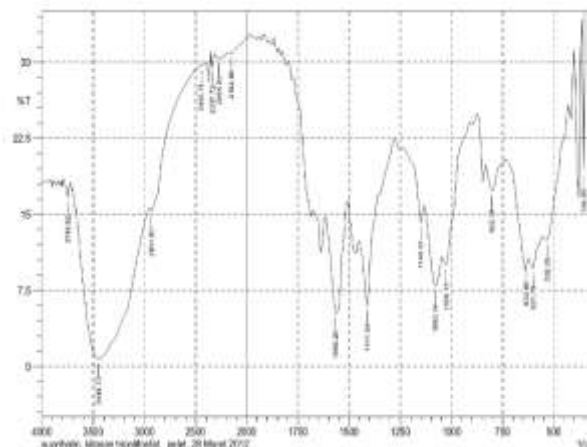
**Gambar 4. Spektra re-deasetilasi kitosaan**

Berdasarkan gambar 4, gugus fungsi pada kitosaan hasil re-deasetilasi tidak berbeda secara signifikan jika dibandingkan dengan kitosaan sebelum proses re-deasetilasi, yang membedakan adalah absorbansi pada uluran O-H dan uluran N-H (3417,86) serta N-H tekuk (1597,06) mempunyai % transmitansi yang lebih kecil. Nilai transmitansi yang lebih kecil menyebabkan absorbansinya lebih besar, sebab transmitansi berbanding terbalik dengan absorbansi. Berdasarkan perhitungan derajat deasetilasi dengan menggunakan metode *base line*, diperoleh derajat deasetilasi sebesar 76,96%.

**Pembuatan Kitosaan Termodifikasi Natrium Tripolifosfat.** Tujuan modifikasi kitosaan dengan natrium tripolifosfat adalah untuk menambah gugus aktif pada kitosaan sehingga mampu meningkatkan kemampuan kitosaan mengadsorpsi logam berat. Semakin banyak gugus aktif dalam suatu adsorben, ion logam

yang terikat akan semakin banyak. Tripolifosfat merupakan polianion  $(P_3O_{10})^{-5}$  dapat berikatan dengan kitosaan pada gugus  $NH_3^+$ . Sehingga ion tripolifosfat dapat menyumbang lima gugus hidroksil sebagai donor elektron [19].

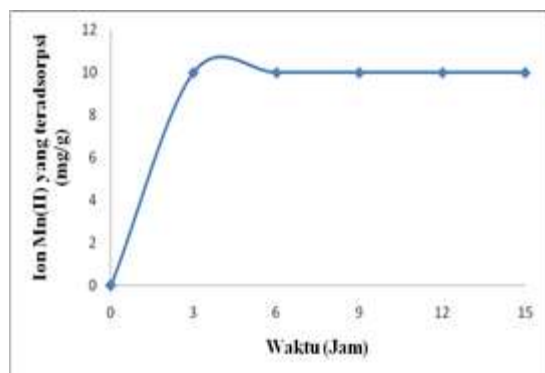
Kitosaan tripolifosfat yang terbentuk dikarakterisasi dengan menggunakan spektrofotometer FTIR guna mengetahui adanya interaksi antara kitosaan-tripolifosfat. Spektra FTIR hasil modifikasi kitosaan dengan ion tripolifosfat dapat dilihat pada gambar 5. sebagai berikut:



**Gambar 5. Spektra FTIR kitosaan-tripolifosfat**

Spektra FTIR kitosaan-tripolifosfat puncak  $1149,57\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan gugus fungsi uluran P=O yang merupakan gugus fungsi pada ion tripolifosfat, sehingga dapat diketahui bahwa ion tripolifosfat telah terdapat pada kitosaan [9].

**Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi Mn(II).** Hasil penelitian pengaruh waktu kontak terhadap adsorpsi Mn(II) ditunjukkan pada gambar 6. Gambar 6, menjelaskan bahwa waktu kontak adsorpsi Mn(II) kitosaan-tripolifosfat pada waktu 3 jam telah mengalami kestabilan. Semakin lama waktu kontak antara adsorben dan adsorbat, maka semakin banyak molekul yang teradsorpsi, sampai tercapai kapasitas adsorpsi maksimum [12].



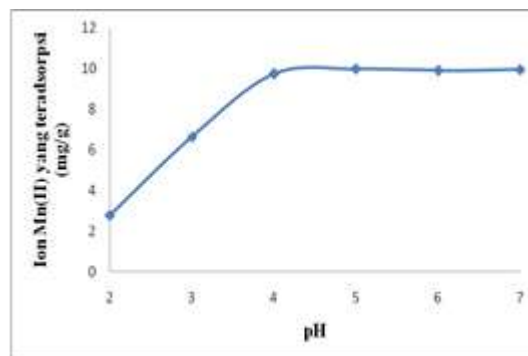
**Gambar 6. Grafik adsorpsi ion logam Mn(II) pada variasi waktu**

### Pengaruh pH Terhadap Adsorpsi Mn(II).

Gambar 7. menunjukkan proses adsorpsi meningkat pada pH 2-5 dan menurun setelah pH 5. Hal ini dapat dijelaskan berdasarkan spesiasi logam Mn menurut diagram pourbaix pada pH 1-9 menunjukkan bahwa larutan logam Mn berada dalam keadaan ion logam  $Mn^{2+}$ , sehingga memungkinkan untuk terikat pada adsorben kitosan-tripolifosfat. Proses adsorpsi dengan pertukaran ion, adsorpsi dipengaruhi oleh banyaknya proton dalam larutan. Pada pH asam (pH=2) memungkinkan terdapat banyak proton  $H^+$  yang dapat terikat dan menutupi permukaan gugus aktif  $NH_2$  pada kitosan dan gugus hidroksil pada tripolifosfat sehingga terjadi kompetisi antara ion  $Mn(II)$  dengan ion hidrogen untuk menempati sisi aktif gugus amina dan hidroksil, mengakibatkan ion  $Mn(II)$  yang teradsorpsi berkurang, sehingga efisiensi penghilangan  $Mn(II)$  menurun. Dengan peningkatan pH larutan, jumlah proton  $H^+$  akan berkurang sehingga ion  $Mn(II)$  dapat terikat pada gugus amina dan hidroksil dari kitosan-tripolifosfat, menyebabkan adsorpsi logam meningkat.

Adsorpsi ion  $Mn(II)$  menurun pada pH di atas 5 karena dengan bertambahnya pH, jumlah ion  $OH^-$  meningkat sehingga interaksi antara ion  $Mn(II)$  dengan  $OH^-$  semakin kuat. Interaksi antara ion  $Mn(II)$  dan  $OH^-$  menurunkan jumlah ion  $Mn(II)$  yang terikat pada kitosan-tripolifosfat. pH larutan yang

lebih tinggi dari 9, ion  $Mn(II)$  berikatan dengan gugus hidroksil ( $OH^-$ ) membentuk endapan  $MnOH^{(+)}$ . Pada penelitian ini, pH optimum adsorpsi ion  $Mn(II)$  terjadi pada pH 5. Hal ini dimungkinkan karena pada pH 5, jumlah proton  $H^+$  dan ion  $OH^-$  dalam larutan tidak terlalu banyak, sehingga ion  $Mn(II)$  dapat berikatan dengan adsorben dalam jumlah optimal.



**Gambar 7. Grafik adsorpsi ion Mn(II) pada variasi pH**

### Uji Adsorpsi Ion Mn(II).

Uji adsorpsi terhadap ion  $Mn(II)$  di lakukan dengan adsorpsi pada larutan ion logam tunggal  $Mn(II)$ . Hasil uji adsorpsi  $Mn(II)$  dapat dilihat pada tabel 2. Berdasarkan tabel 2, hasil adsorpsi kitosan-tripolifosfat terhadap  $Mn(II)$  lebih tinggi dibandingkan dengan kitosan saja. Hal ini terjadi karena pada kitosan-tripolifosfat selain adanya gugus  $-OH$  dan  $-NH_3$  yang berasal dari kitosan juga karena adanya gugus tambahan fosfat yang berasal dari tripolifosfat yang dapat berinteraksi dengan  $Mn(II)$ . Proses adsorpsi dilakukan pada waktu optimum (3 jam) dan pH optimum (pH=5).

**Tabel 2. Uji adsorpsi ion Mn(II)**

Adsorben	Ion logam Mn (II) yang teradsorpsi (mg/g)
Kitosan	7,82
Kitosan-tripolifosfat	9,99



## PENUTUP

### Kesimpulan

Telah dihasilkan kitosan-tripolifosfat sebagai adsorben. Waktu kontak 3 jam dan pH 5 merupakan kondisi optimum adsorpsi kitosan-tripolifosfat terhadap ion Mn(II). Kemampuan adsorpsi kitosan-tripolifosfat pada uji ion Mn(II) lebih baik dibandingkan adsorpsi dengan kitosan tanpa modifikasi.

### Saran

Penelitian dapat dikembangkan dengan mengaplikasikannya untuk pemisahan beberapa ion logam berat untuk mengetahui selektivitasnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]Purnomo, T., dan Muchyuddin, 2005, Analisis Kandungan Timbal (Pb) pada Ikan Bandeng (*Chanos chanos* Forsk.) di Tambak Kecamatan Gresik, *skripsi*, Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya
- [2]Ngah W.S.W., Teong L.C., dan Hanafiah M.A.K.M., 2011, Adsorption of dyes and heavy metal ions by chitosan composites: A review, *Carbohydrate Polymers*, Volume 83, Issue 4, 1 February 2011, Pages 1446-1456
- [3]Minceva, M., Markovska, L., dan Meshko, V., 2007, Removal of Zn(II), Pb(II) and Cd(II) From Binary Aqueous Solution by Natural Zeolit and Granulated Activated Carbon, *Macedonia Journal of Chem. And Chem. Eng.*, Vol.26, No. 2, Hal. 125-134
- [4]Khamidah I.N., Djunaidi M.C, dan Khabibi K., 2011, Pemanfaatan Kitosan Termodifikasi Asam Askorbat Sebagai Adsorben Ion Logam Kobalt (II) dan Nikel (II), Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi 14 (1), 21-25.
- [5]Pramesti S.T., Khabibi K., dan Prasetya N.B.A., 2012, Pemanfaatan Kitosan Termodifikasi Asam Askorbat sebagai Adsorben Ion Logam Besi (III) dan Kromium (III), Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi 15 (2), 70-75.
- [6]Herwanto, B., dan Santoso, E., 2006, Adsorpsi Ion Logam Pb(II) Pada Membran Selulosa-Khitosan Terikat Silang, *Akta Kimindo*, Vol. 2, No.1, Hal. 9-24
- [7]Rahayu P dan Khabibi K., 2016, Adsorpsi Ion Logam Nikel (II) oleh Kitosan Termodifikasi Tripolifosfat, Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi 19 (1), 21-26.
- [8]Lusiana R.A., Isdadiyanto S., dan Khabibi K., 2016, Urea Permeability of Citric Acid Crosslinked Chitosan-Poly (Vinyl Alcohol) Blend Membranes, International Journal of Chemical Engineering and Applications 7 ((3)).
- [9]Ngah, W. S. W, dan Fatinathan, S., 2010, Adsorption Characterization of Pb(II) and Cu(II) Ions onto Chitosan-tripolyphosphate Beads: Kinetic, Equilibrium and Thermodynamic Studies, *Journal of Environmental management*, Vol. 91, Hal. 958-969
- [10]Bhumkar, R.D., dan Pokharkar, B.V., 2006, Studies on Effect of pH on Cross-linking of Chitosan With Sodium Tripolyphosphate: A Technical Note, *AAPS PharmSciTech*, Vol. 7, No.2, Artikel 50
- [11]Sun, S., Wang, L., dan Wang, A., 2006, Adsorption Properties of Crosslinked Carboxymethyl-Chitosan Resin With Pb(II) as Template Ions, *Journal of Hazardous Material*, B136, Hal. 930-937
- [12]Sepehran, M., Nasernajed, B., dan Edrissi, M., 2008, Selective Removal of Copper(II) and Nickel(II) from Aqueous Solution Using The Chemically Treated Chitosan: Factorial Design Evaluation, *Metallurgical and Material Transactions*, Vol. 39B
- [13]Sicupira, D., Campos, S., Vincent, T., Leao, V., dan Guibal, E., 2010, Palladium and Platinum Sorption Using Chitosan Bead Hidrogels, *Journal of Adsorption*, 16:127-139
- [14]Schmul, R., Krieg, H. M., dan Keizer, K., 2001, Adsorption of Cu(II) and Cr(IV) Ion by Chitosan: Kinetics and Equilibrium Studies, *Water SA*, Vol. 27, No. 1



- [15]Tobing M.T.L., Prasetya N.B.A., dan Khabibi K., 2011, Peningkatan Derajat Deasetilasi Kitosan dari Cangkang Rajungan dengan Variasi Konsentrasi NaOH dan Lama Perendaman, Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi 14 (3), 83-88.
- [16]Kolodziejska, I., Wojtasz-Pajak, A., Ogonowska, G., dan Sikorski, Z., E., 2000, Deacetylation of Chitin in Two-stage Chemical and Enzymatic Process. *Bull Sea Fish Inst*, 150:15-24
- [17]Khan, T. A., Peh, K. K., dan Hung, S. C., 2002, Reporting degree of deacetylation values of chitosan: the influence of analytical methods. *J. Pharm. Pharmaceutical Sci.*, Vol. 4, No. 3, Hal.232-237
- [18]Serkan, K., 2007, Comparative Adsorption Studies of Heavy Metal Ions on Chitin and Chitosan Biopolymers, *Thesis*, Izmir Institute of Technology.
- [19]Druzynska, G.M., dan Czubenko, O.J., 2008, Sorption of Heavy Metal Ion by Polyelectrolyte Complex Hidrogen Membranes, *XIII ARS Separatoria*, Hal. 127-130
- [20]Lusiana R.A., Pambudi G.A., Sari F.N., Widodo D.S., Khabibi K., dan Isdadiyanto S., 2019, Grafting of Heparin on Blend Membrane of Citric Acid Crosslinked Chitosan/Polyethylene Glycol-Poly Vinyl Alcohol (PVA-PEG), Indonesian Journal of Chemistry 19 (1), 151-159.
- [21]Kaban, J., 2009, Modifikasi Kimia dari Kitosan dan Aplikasi Produk yang dihasilkan, *skripsi*, Universitas Sumatera Utara, Medan, Hal. 5-6
- [22]Puspawati, N.M., dan Simpen, I.N., 2010, Optimasi Deasetilasi Khitin dari Kulit Udang dan Cangkang Kepiting Limbah Restoran Seafood menjadi Kitosan Melalui Variasi Konsentrasi NaOH, *Jurnal Kimia*, Vol. 4, No. 1, Hal. 79-90
- [23]Phromsopha, T., dan Baimark, Y., 2010, Chitosan Microparticles Prepared by The Water-in-Oil Emulsion Solvent Diffusion Method for Drug Delivery, *J. of Biotechnology*, Vol. 9, No. 1, Hal.61-66
- [24]Anderson, J., Bendel, J. D., dan Groundwater, W. P., 2004, *Organic Spectroscopic Analysis*, The Royal Society of Chemistry, Ukraina, Hal 24-27