

“Analisis Adsorpsi Ion Logam Pb²⁺ Menggunakan Adsorben Kitosan Terimmobilisasi Lempung Institut Teknologi Kalimantan”

Yanti Banjar Nahor¹, Nia Sasria², Ade Wahyu Yusariarta P.P.³

¹Departement of Earth and Evironmental Sciences, Materials and Metallurgical Engineering, Kalimantan Institute of Technology, Balikpapan. Email: 06171021@student.itk.ac.id

²Departement of Earth and Evironmental Sciences, Materials and Metallurgical Engineering, Kalimantan Institute of Technology, Balikpapan. Email: niasasria@lecturer.ac.id

³Departement of Earth and Evironmental Sciences, Materials and Metallurgical Engineering, Kalimantan Institute of Technology, Balikpapan. Email: adewahyu27@lecture.ac.id

Abstract

Lead metal (Pb) waste is generated from various daily activities and various wastes from companies that use lead in the process. Environmental pollution can be prevented by treating waste before being discharged into the environment. Adsorption is a method of treating liquid waste which is quite efficient. In this research, a chitosan-clay adsorbent will be used. This study begins with the activation of natural clay with a solution acid of 0.5M KMnO₄, 6M H₂SO₄ and 6M HCl, the acid-activated natural clay is immobilized with chitosan with 1% acetic acid solution per 1 gram of chitosan, then soaked in 0.02 ninhydrin solution. %. The purpose of this study was to determine the characterization and ability of the chitosan-clay adsorbent on concentration and contact time. With variations in the concentration of 10, 30 and 50 mg/L and variations in contact time of 5, 30, 55 and 80 minutes. The results of the characterization test of the chitosan-clay adsorbent were in the form of compounds containing SiO₂ and AlO₃ based on XRD testing, functional groups OH, Si-O, Al-O and NH₂ based on FTIR testing and the chitosan-clay adsorbent had a pore size of 1,92 nm which was larger than that of the chitosan-clay adsorbent. the size of the metal ion Pb²⁺ is 1.75. At concentrations of 10, 30 and 50 mg/L with the most optimum contact time of 55 minutes with chitosan-clay adsorption power of 86.5%, 74.866% and 57.4%. In the variation of concentration, the optimum concentration of 10 mg/L was obtained with contact times of 5, 30, 55 and 80 minutes, the adsorption power of chitosan-clay was 81.2%, 82.2%, 86.5% and 81%.

Keywords: Adsorption, Chitosan and clay

Abstrak

Limbah logam timbal (Pb) yang dihasilkan dari berbagai kegiatan sehari-hari dan berbagai limbah dari perusahaan yang menggunakan timbal dalam prosesnya. Pencemaran lingkungan dapat dicegah dengan melakukan pengolahan limbah sebelum dibuang ke lingkungan. Adsorpsi merupakan cara pengolahan limbah cair yang cukup efisien. Pada penelitian ini akan digunakan adsorben kitosan-lempung. Penelitian ini diawali dengan aktivasi lempung alam dengan larutan asam KMnO₄ 0,5M, H₂SO₄ 6M dan HCl 6M, lempung alam yang telah diaktivasi asam di imobilisasikan dengan kitosan dengan larutan asam asetat 1% per 1 gram kitosan, selanjutnya direndam dengan larutan ninhidrin 0,02%. Tujuan dari penelitian ini ialah untuk mengetahui karakterisasi dan kemampuan adsorben kitosan-lempung terhadap konsentrasi dan waktu kontak. Dengan variasi konsentrasi 10, 30 dan 50 mg/L dan variasi waktu kontak 5, 30, 55 dan 80 menit. Hasil uji karakterisasi dari adsorben kitosan-lempung ialah berupa kandungan senyawa SiO₂ dan AlO₃ berdasarkan pengujian XRD, gugus fungsi O-H, Si-O, Al-O dan NH₂ berdasarkan pengujian FTIR dan adsorben kitosan-lempung memiliki ukuran pori 1,92 nm yang lebih besar dari pada ukuran ion logam Pb²⁺ yaitu 1,75 Å. Pada konsentrasi 10, 30 dan 50 mg/L dengan waktu kontak paling optimum 55 menit dengan daya adsorpsi kitosan-lempung sebesar 86.5%, 74.866% dan 57.4%. Pada variasi konsentrasi didapatkan konsentrasi 10 mg/L yang paling optimum dengan waktu kontak 5, 30, 55 dan 80 menit daya adsorpsi kitosan-lempung sebesar 81.2%, 82.2%, 86.5% dan 81%.

Kata Kunci: Adsorpsi, Kitosan, Lempung

1. Pendahuluan

Adsorben pada umumnya membutuhkan material berpori dan memiliki permukaan yang luas. Material yang dapat dijadikan sebagai material adsorben ialah kitosan dan lempung. Menurut Liu (2015) kitosan memiliki luas permukaan dan ukuran pori-pori sebesar $3,983 \text{ m}^2/\text{g}$ dan $10,505 \text{ nm}$. Luas permukaan kitosan yang diperoleh lebih kecil jika dibandingkan dengan luas permukaan lempung. Lempung memiliki luas permukaan dan ukuran pori-pori sebesar $37,678 \text{ m}^2/\text{g}$ dan 7.743 nm . Dimana karakteristik dari kitosan tersebut dapat dimodifikasi dengan lempung untuk mendapatkan nilai luas permukaan yang lebih luas. Proses modifikasi yang dapat dilakukan ialah immobilisasi.

Pembuatan adsorben dengan proses immobilisasi membutuhkan material organik sebagai padatan pendukung untuk melapisi permukaan padatan dengan material organik. Immobilisasi berfungsi untuk meningkatkan gugus aktif dan kemampuan adsorpsi yang dimiliki suatu material adsorben. Bahan yang dapat digunakan sebagai material adsorben adalah kitosan. Dikarenakan kitosan memiliki gugus amina ($-\text{NH}_2$) dan hidroksil (OH) yang berfungsi sebagai tempat terjadinya pengkhelatan ion logam (Supriyantini, dkk, 2018). Selain kitosan, lempung juga dapat digunakan sebagai material adsorben. Dikarenakan lempung merupakan mineral yang dapat digunakan sebagai penukar ion logam dalam limbah cair yang mengandung silanol, siloksan dan aluminol (Bhattacharyya, 2007). Sehingga material adsorben kitosan yang terimmobilisasi lempung diharapkan akan memiliki kemampuan mengikat yang lebih baik, jika dibandingkan material adsorben kitosan atau material lempung saja.

Pada penelitian Nucifera (2016) meneliti mengenai kemampuan adsorben kitosan lempung terhadap logam berat Cu. Nilai kemampuan adsorpsi didapatkan mencapai 99,79% pada konsentrasi larutan logam 30 mg/L. Pada penelitian ini akan menguji kemampuan kitosan-lempung terhadap ion logam Pb. Hasil dari pengujian dapat berbeda dikarenakan logam yang akan diserap oleh adsorben memiliki ukuran yang berbeda.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Dewi, 2018) menganalisis kandungan logam berat Pb di Sungai Manggar Balikpapan dengan dua titik pengambilan sampel di bagian hulu dan hilir sungai. Hasil penelitian menunjukkan pada bagian hulu sungai memiliki kandungan logam Pb sebesar 0,311 mg/L dan bagian hilir sungai memiliki kandungan logam Pb sebesar 0,276 mg/L. Kandungan timbal di perairan Sungai Manggar telah melebihi standar baku mutu air. Oleh sebab itu pada penelitian adsorpsi ini akan menggunakan kitosan yang terimmobilisasi lempung dengan jenis lempung montmorilonit untuk mengabsorpsi kandungan logam berat timbal yang berada di dalam larutan logam dengan variasi waktu kontak dan konsentrasi.

2. Metode

2.1. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini terbagi menjadi dua, yaitu peralatan yang digunakan untuk persiapan sampel dan peralatan yang digunakan untuk pengujian sampel. Peralatan persiapan sampel antara lain gelas *beaker*, gelas ukur, *erlemneyer*, pipet tetes, pipet ukur, pengaduk kaca, timbangan, cawan petri, spatula, cawan porselin, corong kaca, *thermometer*, botol pencuci, ayakan 200 *mesh*, *magnetic stirrer*, oven. Peralatan pengujian sampel terdiri dari dua pengujian, yaitu *fourier transform infrared* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Brunauer-Emmet-Teller* (BET) dan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). *Scanning Electron Microscope* (SEM).

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain lempung, kitosan cangkang rajungan, alkohol 95%, KmnO_4 , H_2SO_4 , HCL, HNO_3 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, kertas saring, CH_3COOH , dan ninhidrin.

2.2. Prosedur Pembuatan Adsorben

Adsorben yang digunakan pada penelitian ini ada dua yaitu lempung dan kitosan. Pengaktifan lempung diawali pengambilan lempung dari depan laboratorium terpadu ITK, kemudian dibersihkan dan dikeringkan lalu diayak dengan ayakan 200 *mesh* kemudian dicampur dengan larutan KMnO_4 0,5 M dalam 300 mL kemudian di *stirrer* pada temperatur $80 \text{ }^\circ\text{C}$ selama 4 jam, kemudian disaring dan dilakukan proses pembilasan, hasil dari proses pengadukan dikeringkan dengan oven pada temperatur $80 \text{ }^\circ\text{C}$ selama 12 jam. Proses yang sama dilakukan pada larutan H_2SO_4 6M dan larutan HCL 6M. Kitosan yang digunakan pada penelitian ini kitosan komersil. Preparasi kitosan cangkang rajungan diawali dengan melakukan pengayakan dengan *mesh* 200 mencuci kitosan dengan aquades, lalu

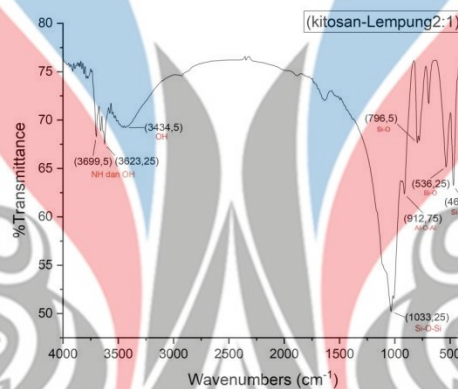
dikeringkan dengan menggunakan oven pada temperatur 100 °C selama 24 jam, lalu diayak dengan menggunakan ayakan 200 *mesh*. Kemudian dilakukan proses immobilisasi dengan melarutkan kitosan dalam larutan asam asetat 1% (per 1 gram kitosan) dengan total adsorben 30 gram lalu dicampurkan lempung yang telah ditambahkan larutan asam asetat dengan perbandingan kitosan lempung 1:1, campuran tersebut kemudian di dicampurkan selama 2 jam lalu disaring dan dibilas kemudian dikeringkan dengan menggunakan oven pada temperatur 50 °C selama 24 jam, lalu dicampurkan dengan larutan ninhidrin 0,02% dan direndam selama 24 jam fungsi ninhidrin sebagai *agent crosslink*, kemudian disaring dan dibilas hingga pH netral lalu keringkan menggunakan oven pada temperatur 50 °C selama 24 jam. Lalu dilakukan adsorpsi pada larutan logam dengan konsentrasi 10, 30 dan 50 mg/L dan waktu kotak 5, 30, 55 dan 80 menit.

2.3 Pengujian

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pengujian FTIR, pengujian XRD, pengujian Spektrofotometri BET , pengujian SEM dan pengujian AAS.

3. Hasil dan Pembahasan

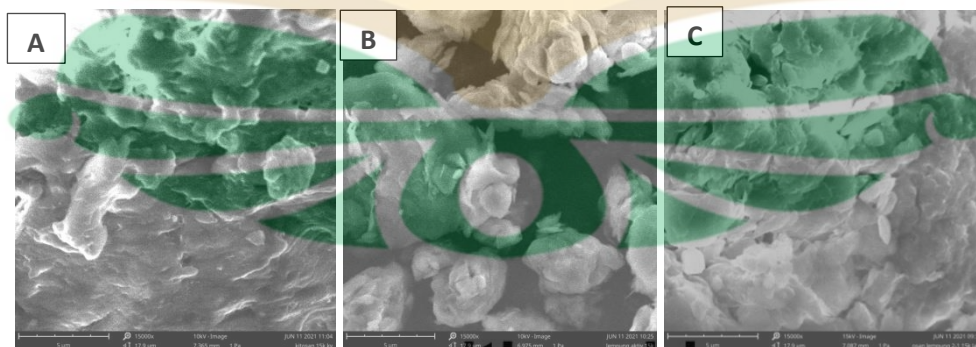
3.1 Analisis Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)



Gambar 2. Hasil Uji FTIR

Berdasarkan gambar 4.2 terdapat panjang gelombang 3699,5 dan 3623,25 yang merupakan gugus fungsi (O-H), terdapat panjang gelombang 1630,25 cm^{-1} yang menunjukkan adanya air yang terjerap. Gugus siloksan (Si-O-Si) terdapat pada panjang gelombang 1033,25 cm^{-1} , gugus (Al-O-Al) terdapat pada panjang gelombang 912,25 cm^{-1} . Panjang gelombang 796,5 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi Si-O dari gugus Si-OH. Panjang gelombang 536,25 cm^{-1} merupakan tekukan Si-O. Panjang gelombang 694 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi rentangan Si-C. Berdasarkan data yang diperoleh gugus fungsi sesuai dengan (Sasris,2021) dan (Suédina,2012).

3.2 Analisis Scanning Electron Microscope (SEM)



Gambar 1 Hasil Pengujian SEM (A) kitosan, (B) Lempung dan (C) Kitosan-Lempung

Berdasarkan gambar 1 dapat diketahui bahwa adsorben kitosan-lempung 2:1 berbentuk menjadi satu partikel, dimana sudah tidak dapat dibedakan antara serbuk kitosan dan serbuk lempung. Pada proses immobilisasi serbuk lempung dilarutkan kedalam larutan asam asetat, sehingga pada gambar

hasil pengujian SEM didapatkan hasil yang hampir menyerupai lempung sebab kitosan masuk kedalam rongga lempung.

Menurut Pawitra (2021) Morfologi sampel adsorben kitosan-silika memperlihatkan bahwa partikel-partikelnya tampak seperti butiran-butiran yang homogen. Sehingga dari pengujian SEM dan teori mengenai morfologi adsorben diketahui bahwa proses immobilisasi pada penelitian ini berhasil. Selanjutnya dilakukan pengujian lebih lanjut untuk mengkonfirmasi keberandaan pori dan ukuran pori dari adsorben kitosan-lempung 2:1 yang telah dibuat. Pada penelitian ini menggunakan ion logam Pb^{2+} sehingga perlu diketahui apakah lebih besar ukuran pori adsorben dari pada ukuran ion Pb^{2+} .

3.3 Pengujian Brunauer-Emmet-Teller (BET)

Tabel 1 Hasil Pengujian BET

No	Variabel	Hasil
1.	Surface Area	21,41 m ² /g
2.	Pore Volume	0,072 cc/g
3.	Pore Radius	1,92 nm

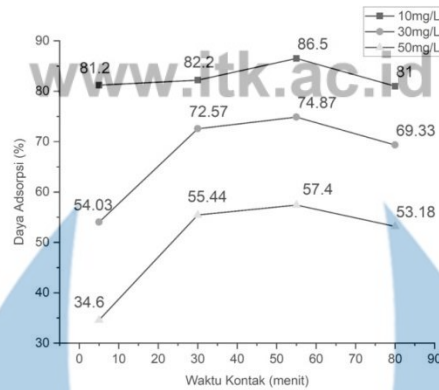
Berdasarkan Tabel 1 hasil pengujian BET dapat disimpulkan bahwa adsorben kitosan-lempung 2:1 termasuk kedalam katagori pori meso-pori. Menurut Kaneko (1994) Berdasarkan ukuran porinya maka material berpori dapat diklasifikasikan menjadi mikro-pori, meso-pori dan makro-pori. Dimana mikro-pori untuk partikel dengan ukuran pori lebih kecil dari 2 nm. Makro-pori untuk partikel dengan ukuran pori diatas 50 nm. Sedangkan meso-pori adalah partikel dengan ukuran pori antara 2 sampai 50 nm.

Menurut Sari, dkk (2020) bahwa ukuran ion logam Pb^{2+} adalah 1,75 Å . sehingga memungkinkan ion logam Pb^{2+} masuk kedalam pori-pori dari adsorben kitosan-lempung. Ion logam Pb^{2+} yang terikat pada adsorben akan membentuk ikatan *van der Waals* dimana ion logam Adsorpsen mengikat adsorbat membentuk suatu lapisan tipis atau film pada permukaannya.

3.3 Pengujian Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)

Tabel 2 Hasil data proses adsorpsi ion logam Pb^{2+} menggunakan AAS

Pb (mg/L)	Ce (mg/L)	V (L)	W (gr)	Waktu Kontak (Menit)	qe (mg/L)	Persentase (%)
10	1.88	0.1	0.1	5	8.12	81.2
10	1.78	0.1	0.1	30	8.22	82.2
10	1.35	0.1	0.1	55	8.65	86.5
10	1.9	0.1	0.1	80	8.1	81
30	13.79	0.1	0.1	5	16.21	54.03
30	8.23	0.1	0.1	30	21.77	72.57
30	7.54	0.1	0.1	55	22.46	74.87
30	9.2	0.1	0.1	80	20.8	69.33
50	32.7	0.1	0.1	5	17.3	34.6
50	22.28	0.1	0.1	30	27.72	55.44
50	21.3	0.1	0.1	55	28.7	57.4
50	23.41	0.1	0.1	80	26.59	53.18



Gambar 4. Grafik Daya Adsorpsi

1. Pengaruh Waktu Kontak

Setelah dilakukan perhitungan data dan analisis data didapatkan hasil adsorpsi optimum adsorben kitosan-lempung berdasarkan waktuk kontak antara adsorben dengan larutan logam ialah 55 menit. Dimana disetiap variasi konsentrasi pada 5 menit sampai 55 menit mengalami kenaikan, dan kenaikan tertinggi pada 55 menit lalu pada waktu 80 menit kemampuan adsorpsi dari adsorben kitosan-lempung mengalami penurunan. Kenaikan daya adsorpsi pada waktu 55 menit mencapai 86.5% pada konsentrasi 10mg/L, dimana hasil tersebut merupakan hasil teroptimum dari hasil proses adsorpsi kitosan-lempung terhadap larutan logam Pb. Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa semakin lama waktu kontak ion logam Pb^{2+} dengan adsorben kitosan-lempung, maka semakin banyak pula ion logam Pb^{2+} yang terserap oleh gugus-gugus aktif dari adsorben kitosan-lempung, sebelum adsorben mengalami kejenuhan.

Menurut Muhdarina dkk (2012) Seiring dengan bertambahnya waktu kontak maka jumlah situs aktif permukaan semakin berkurang sehingga laju adsorpsi kation $Pb(II)$ berkurang sampai mencapai kesetimbangan. Menurut Nasution (2009) Pada awal proses adsorpsi, peristiwa adsorpsi lebih dominan dibandingkan dengan peristiwa desorpsi, sehingga adsorpsi berlangsung cepat. Pada waktu tertentu peristiwa adsorpsi berlangsung lambat, dan sebaliknya laju desorpsi cenderung meningkat. Peristiwa desorpsi terjadi karena pengocokan pada larutan tetap dilakukan yang mengakibatkan ikatan adsorben dengan adsorbat putus karena tidak terikat kuat. Ikatan yang terjadi adalah ikatan Van der Waals. Berdasarkan kedua teori dari penelitian sebelumnya maka hasil dari penelitian ini dapat dinyatakan sesuai dengan teori adsorpsi yang ada, dikarenakan pada waktu kontak 80 menit kemampuan adsorpsi dari adsorben kitosan-lempung mengalami penurunan.

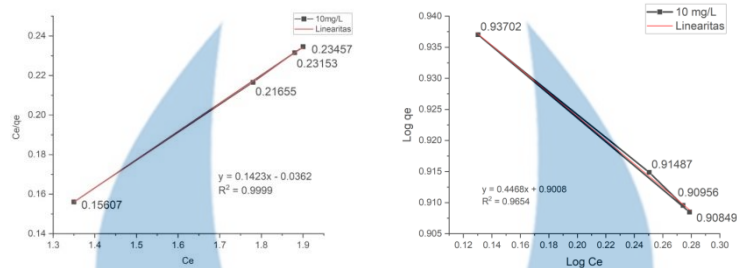
2. Pengaruh Konsentrasi

Setelah dilakukan perhitungan dan analisis data didapatkan hasil adsorpsi optimum adsorben kitosan-lempung berdasarkan konsentrasi larutan logam, antara adsorben dengan larutan logam ialah pada konsentrasi 10 mg/L. Dimana dari setiap variasi konsentrasi didapatkan nilai daya adsorpsi pada 10 mg/L lebih besar dari pada variasi 30 mg/L dan 50 mg/L. Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa semakin besar konsentrasi dari larutan logam maka semakin banyak ion logam Pb^{2+} yang dapat teradsorpsi pada adsorben kitosan-lempung. Namun semakin tinggi konsentrasi dari larutan logam tersebut maka akan menurunkan daya adsorpsi adsorben terhadap ion logam. Daya adsorpsi adsorben kitosan-lempung mengalami penurunan seperti pada variasi 50 mg/L terjadi penyerapan sebanyak 28,7 mg/L ion logam dari larutan logam, namun nilai daya adsorpsi hanya sebesar 57,4%. Berbeda dengan larutan logam 10 mg/L terjadi penyerapan ion logam Pb^{2+} sebanyak 8,65 mg/L dari larutan logam namun nilai daya adsorpsinya sebesar 86,5%.

Menurut Bhattcharyya dan Gupta (2007) Jumlah ion logam yang terserap per unit massa adsorben lempung meningkat secara bertahap dengan peningkatan konsentrasi ion logam dalam larutan. Pada konsentrasi rendah, rasio jumlah ion logam dengan situs adsorpsi menjadi lebih kecil dan akibatnya adsorpsi tidak tergantung pada konsentrasi awal. Ketika konsentrasi ion logam meningkat kondisi berganti dan kompetisi pada situs adsorpsi menjadi semakin kuat. Sebagai akibatnya, tingkat penyerapan menurun, tetapi jumlah zat yang terserap per unit massa adsorben meningkat.

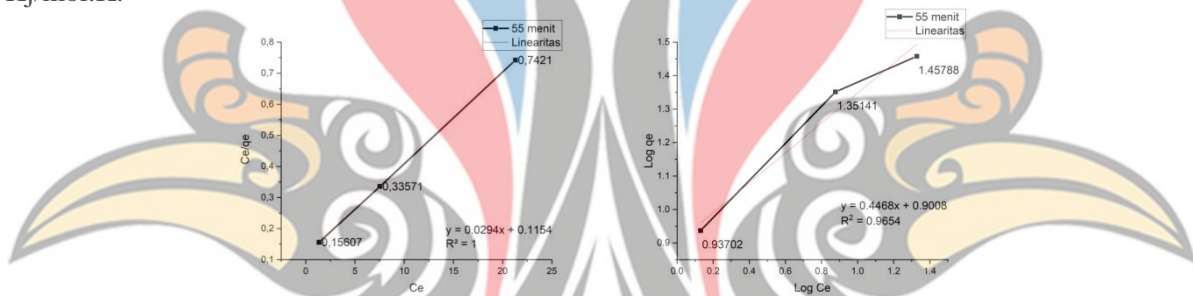
3. Isotermal Adsorpsi

Dari data konsentrasi sisa ion logam (C_e) dan jumlah ion logam yang teradsorpsi setelah adsorpsi (q_e), dapat ditentukan jenis isotermal adsorpsi adsorben. Jenis isotermal yang sering ditemui adalah isotermal *langmuir* dan *freundlich*. Dari jenis isotermal adsorpsi dapat diketahui nilai energi adsorpsi dan kapasitas adsorpsi dari adsorben.



Gambar 5 Grafik Isotermal Langmuir dan Freundlich Berdasarkan Konsentrasi

Dari gambar 5 grafik isotermal Langmuir 10 mg/L dan gambar 4.5 grafik isotermal freundlich 10 mg/L diperoleh nilai linearitas, dimana nilai R^2 untuk persamaan Langmuir sebesar 0.9999 lebih mendekati 1 dari pada nilai R^2 dari persamaan freundlich yaitu 0.9989. Oleh karena itu jenis adsorpsi kitosan-lempung terhadap larutan logam Pb adalah isotermal Langmuir. Dari persamaan Langmuir didapatkan nilai kapasitas adsorpsi (q_m) sebesar 7,08 mg/L serta nilai energi adsorpsi sebesar 3,43 Kj/mol.K.



Gambar 6 Grafik Isotermal Langmuir dan Freundlich berdasarkan Waktu Kontak

Dari gambar 4.6 grafik isotermal Langmuir 55 menit dan gambar 4.7 grafik isotermal freundlich 55 menit diperoleh nilai linearitas, dimana nilai R^2 untuk persamaan Langmuir sebesar 1 lebih besar dari pada nilai R^2 dari persamaan freundlich yaitu 0.9654. Oleh karena itu jenis adsorpsi kitosan-lempung terhadap larutan logam Pb adalah isotermal Langmuir. Dari persamaan Langmuir didapatkan nilai kapasitas adsorpsi (q_m) sebesar 34,01 mg/L serta nilai energi adsorpsi sebesar 3,42 Kj/mol.K

Menurut Beroeh (2004) bahwa ciri-ciri dari adsorpsi fisika adalah terjadinya adsorpsi pada suhu yang rendah, jenis interaksinya adalah interaksi intermolekuler (*van der Waals*), memiliki nilai adsorpsi < 40 kJ/mol dan merupakan proses bolak-balik (*reversible*). Berdasarkan teori tersebut proses adsorpsi yang terjadi pada penelitian ini ialah proses adsorpsi fisika karena nilai energi adsorpsinya tidak ada yang melampaui 40 kJ/mol dan temperatur yang digunakan pada proses adsorpsi adalah 28°C. Sehingga pada penelitian ini diperoleh jenis adsorpsi pada masing – masing variabel penelitian yaitu adsorpsi fisika.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah Adsorben kitosan-lempung yang telah dibuat memiliki karakterisasi berupa, gugus fungsi O-H, Si-O, Al-O dan NH_2 dan adsorben kitosan-lempung memiliki ukuran pori 1,92 nm yang lebih besar dari pada ukuran ion logam Pb^{2+} . Adsorben kitosan-lempung mampu megadsorpsi ion logam Pb^{2+} terbesar pada waktu 55 menit disetiap variasi konsentrasi. Pada konsentrasi 10, 30 dan 50 mg/L dengan waktu konkat 55 menit daya adsorpsi kitosan-lempung sebesar 86.5%, 74.866% dan 57.4%. Adsorben kitosan-lempung mampu

mengadsorpsi ion logam Pb^{2+} terbesar pada variasi konsentrasi 10 mg/L dibandingkan variasi konsentrasi 30 dan 50 mg/L. Pada konsentrasi 10 mg/L dengan waktu kontak 5, 30, 55 dan 80 menit daya adsorpsi kitosan-lempung sebesar 81.2%, 82.2%, 86.5% dan 81%.

Acknowledgments

Puji dan syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan anugerah-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan penelitian ini. Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua orang yang terlibat dalam penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu

References

- Bhattacharyya, K.G., & Gupta, S.S. 2007. *Adsorptive Accumulation of Cd(II), Co(II), Cu(II), Pb(II), and Ni(II) from Water on Montmorillonite: Influence of Acid Activation*. Journal of Colloid and Interface Science. 310: 411–424.
- Dewi, Godfrida Any Yusrina. 2018. *Analisis Kandungan Logam Berat Pb dan Cd Di Muara Sungai Manggar Balikpapan*. Universitas Mulawarman: Samarinda
- Haura, ulfa., Fauchrul Razi dan Hesti meilina. 2017, karakterisasi adsorben dari kulit manggis dan Kinerjanya pada adsorpsi logam pb(ii) dan cr(vi). Universitas Syaiah Kuala: Banda Aceh Darussalam.
- Kaneko, K., 1994. *Determination of Pore Size and Pore Size Distribution 1. Adsorbent and Catalysts*. Journal of Membrane Science Vol.96: 59-89.
- Liu, Q., Yang, B., Zhang, L., and Huang R., (2015). “ *Adsorptive removal of Cr(VI) from aqueous solutions by cross-linked chitosan/bentonite composite*”. *The Korean Institute of Chemical Engineers*.
- Nucifera, Irene Frinada.Titin Anita Zaharah. Intan Syahbanu.(2016). *Uji Stabilitas Kitosan-Kaolin sebagai Adsorben Logam Berat Cu(ii) dalam Air*. Vol 5(2).
- Sari, Meyga E.F., dkk. 2020. *Adsorpsi Pb^{2+} Menggunakan Sodalit dari Kaolin Bangka Belitung*. Institut Teknologi Sepuluh November: Surabaya.
- Sasria,dkk. (2021) . “*Immobilization of activated carbon in fractionated clay from East Kalimantan as wastewater adsorption material. Kalimantan Institute of Technology*”. East Kalimantan, IOP Conf.
- Pawitra, Tiane., dkk. 2021. *Sintesis dan Karakterisasi kitosa-silika dari Abu Ampas Tebu sebagai Adsorben logam Berat Cu(II)*. Politeknik Perkapalan Negeru Surabaya: Surabaya.

