

Optimasi Adsorpsi Ion Co^{2+} Menggunakan Silika Gel-GPTMS (*Glycidoxypropyltrimethoxysilane*) Dimodifikasi dengan Sulfonat

Annisa Fitriningsih¹, Budhi Oktavia²

^{1,2}Program Studi Kimia Universitas Negeri Padang

e-mail: budhioktavia@fmipa.unp.ac.id

Abstrak

Co^{2+} adalah ion logam berat yang larut dalam air sehingga dapat mencemari lingkungan jika konsentrasi diatas 0,4 mg/L. Metode yang paling umum digunakan untuk mengurangi kadar ion logam adalah adsorpsi karena secara konseptual lebih murah dan sederhana. Pada adsorpsi diperlukannya adsorben sebagai zat penyerapnya. Silika gel merupakan salah satu zat yang sering digunakan sebagai adsorben dalam metode adsorpsi. Namun kapasitas penyerapan silika gel dalam menyerap ion logam rendah, sehingga sering dilakukan modifikasi untuk meningkatkan kapasitas penyerapannya dalam menyerap ion logam. Penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan kapasitas penyerapan silika gel dalam menyerap ion logam dengan cara memodifikasi dengan garam sulfonat. Modifikasi silika gel dengan garam sulfonat dilakukan dengan GPTMS sebagai senyawa penghubung. Adsorpsi dilakukan pada berbagai variasi pH dan waktu kontak untuk melihat kondisi optimum Silika Gel-GPTMS-Sulfonat dalam menyerap ion Co^{2+} . Hasil penyerapan ion Co^{2+} pada Silika Gel-GPTMS-Sulfonat optimum pada pH 3 dan waktu kontak 30 menit.

Kata kunci: *Kobalt, Modifikasi, Silika Gel, Sulfonat*

Abstract

Co^{2+} is a water-soluble heavy metal ion that can pollute the environment if the concentration is above 0.4 mg/L. The most common method used to reduce metal ion levels is adsorption because it is conceptually cheaper and simpler. Adsorption requires an adsorbent as the absorbent substance. Silica gel is one substance that is often used as an adsorbent in adsorption methods. However, the absorption capacity of silica gel in absorbing metal ions is low, so modifications are often made to increase its absorption capacity in absorbing metal ions. This study was conducted to increase the absorption capacity of silica gel in absorbing metal ions by modifying it with sulfonate salts. Modification of silica gel with sulfonate salts was carried out with GPTMS as a connecting compound. Adsorption was carried out at various variations of pH and contact time to see the optimum conditions of Silica Gel-GPTMS-Sulfonate in absorbing Co^{2+} ions. The absorption of Co^{2+} ions on Silica Gel-GPTMS-Sulfonate was optimum at pH 3 and contact time of 30 minutes.

Keywords: *Cobalt, Modification, Silica Gel, Sulfonate*

PENDAHULUAN

Co^{2+} adalah logam berat yang larut dalam air sehingga dapat mencemari ekosistem, Co^{2+} dengan konsentrasi di atas 1 mg/L dapat berdampak buruk terhadap ekosistem. Co^{2+} yang masuk ke dalam tubuh melalui makanan, air dan udara tidak dapat dihindarkan secara alami dan cenderung terakumulasi dalam rantai makanan. Jika Co^{2+} terus menerus masuk kedalam tubuh manusia, dapat membahayakan karena bersifat racun dan karsinogenik dampak yang ditimbulkan yaitu sindrom radiasi akut, dengan mual, muntah, diare, pendarahan dan gejala lainnya, hingga menyebabkan kematian (Edwin *et al.*, 2017). Di Indonesia toleransi kandungan untuk kation logam kobalt adalah 1 mg/L (Khamidah *et al.*, 2011). Bilangan oksidasi yang dimiliki oleh logam kobalt yaitu +3 dan +2 sehingga sifatnya mudah larut ke dalam asam-asam mineral encer, tetapi logam kobalt pada bilangan oksidasi +2 ditemukan relatif secara stabil. Kobalt +3 dalam larutan air memiliki sifat oksidator, logam kobalt dapat terurai dengan cepat disebabkan oleh logam Co^{3+} yang mengoksidasi air dengan cara membebaskan gas dioksigen, hal ini terjadi apabila logam tersebut berada dalam lingkungan asam (Fa'izzah & Sugiyarto, 2016).

Beberapa metode dapat digunakan untuk menurunkan konsentrasi ion logam antara lain filtrasi, pesipitasi, pertukaran ion dengan resin, dan adsorpsi. Metode yang paling umum digunakan adalah adsorpsi karena secara konseptual lebih ekonomis dan sederhana. Adsorpsi adalah penyerapan molekul-molekul campuran cair atau gas antara daerah permukaan di mana suatu bahan tertarik ke permukaan padat dan terpisah. Molekul-molekul yang diserap disebut adsorbat (adsorbate), dan tempat terjadinya adsorpsi disebut adsorben (substrate) (Karim *et al.*, 2017). Adsorben adalah suatu zat yang paling penting pada adsorpsi (Tangio, 2013). Pada umumnya metode adsorpsi didasarkan pada pembentukan kompleks melalui interaksi antara gugus fungsi dan logam yang terdapat pada permukaan adsorben. Adsorpsi biasanya terjadi pada permukaan padat yang kaya akan gugus fungsi seperti -COOH, -SH, -OH, dan -NH (Rahmawati & Santoso, 2013).

Silika gel adalah bentuk silikon dioksida amorf yang diproduksi secara sintesis sebagai partikel keras dan kecil. Permukaan silika gel mempunyai dua jenis gugus fungsi, yaitu gugus silanol dan gugus siloksan (Sulastri & Kristianingrum, 2010). Silika gel dapat memberikan luas permukaan yang sangat tinggi karena memiliki struktur mikropori (Azmiyawati, 2006). Oleh karena itu, silika gel banyak dimanfaatkan sebagai adsorben, isolator, desikan, dan fasa diam dalam kromatografi. Diketahui silika gel dapat menyerap ion logam berat karena memiliki gugus silanol dan siloksan. Namun, efektivitas adsorpsi silika gel pada ion logam lemah. Hal ini disebabkan oleh rendahnya kemampuan oksigen (silanol dan siloksan sebagai donor pasang elektron, sehingga membuat ikatan ion logam pada permukaan silika gel mah (Weni & Oktavia, 2021). Oleh karena itu, silika gel perlu dimodifikasi untuk meningkatkan efektivitasnya dalam penyerapan ion logam (Azmiyawati, 2004).

Modifikasi permukaan gel silika biasanya dilakukan dengan menggabungkan organosilan yang sesuai pada ujung gugus fungsi yang diinginkan (Cestari *et al.*, 2000). Proses modifikasi merupakan suatu proses mengubah gugus -Si-OH menjadi -

Si-OM, dimana M bisa berupa senyawa sederhana atau senyawa kompleks. Silika sulfonat merupakan senyawa yang dihasilkan dari silika gel yang dimodifikasi dengan gugus sulfonat. Modifikasi pada gugus sulfonat akan menambah jumlah permukaan aktif pada silika gel yaitu berupa gugus O⁻. Diperlukan pereaksi lain yang berguna sebagai perantara atau sebagai senyawa penghubungnya (Nahari *et al.*, 2022). Oleh karena itu digunakan (GPTMS) yaitu Senyawa glisidoksi-propil-trimetoksi-silan yang merupakan agen pengikat antara silika dengan gugus sulfonat. Substrat yang dimiliki silika gel menarik untuk organosilanisasi sehingga mempercepat reaksi dengan organosilan dikarenakan pada permukaannya didominasi hidroksil. Terbentuknya ikatan Si-O-Si-C memiliki stabilitas kimia yang tinggi. Sifat ikatan permukaan pada bahan organosilan menentukan daya tahan dan kualitasnya (Cestari *et al.*, 2000).

Penelitian ini dilakukan untuk menguji apakah silika gel yang telah dimodifikasi dengan sulfonat dapat digunakan untuk mengadsorpsi kation yang terikat padanya, maka digunakan beberapa kation, salah satunya kation Co²⁺. Untuk mengetahui tingkat keberhasilan adsorpsi. Spektrofotometri Serapan Atom digunakan untuk melihat efektivitas silika gel termodifikasi sulfonat dalam mengadsorpsi kation Co²⁺ dalam berbagai variasi pH dan waktu kontak.

METODE

1. Pembuatan Silika Gel-GPTMS

Pada tahap pertama ini dilakukan pembuatan Silika Gel-GPTMS. Sebanyak 25 gram silika gel ditambahkan dengan 25 mL GPTMS dan 87,5 mL toluen. Campuran distirer pada suhu 90°C selama 24 jam. Kemudian endapan yang dihasilkan dicuci dengan 12,5 mL methanol (Nahari *et al.*, 2022).

2. Pembuatan Silika Gel-GPTMS-Sulfonat

Pada tahap kedua ini dilakukan pengikatan gugus sulfonat pada Silika Gel-GPTMS, Pengikatan gugus sulfonat pada silika Gel-GPTMS dilakukan dengan mereaksikan Silika Gel-GPTMS dengan senyawa garam mononatrium asam 4-amino-5- hidroksi-2,7-naftalena disulfonat dalam larutan natrium bikarbonat (NaHCO₃) 0,1 M. Reaksi berlangsung selama 20 jam, padatan yang dihasilkan lalu dipisahkan dari filtrat dan dicuci dengan aquades, aseton, dan dietil eter. Kemudian digunakan desikator untuk pengeringan. Hasil yang didapatkan yaitu Silika Gel-GPTMS-sulfonat.

3. Pengaruh pH pada Adsorpsi Ion Co²⁺

Larutan Co²⁺ 20 mL dengan konsentrasi 20 ppm, masing-masing dalam variasi pH 2, 3, 4, 5, dan 6 dimasukkan ke dalam erlenmeyer dikontakkan dengan Silika Gel-GPTMS-Sulfonat sebanyak 0,1 gram menggunakan shaker selama 60 menit dengan kecepatan 150 rpm, kemudian disaring hingga didapatkan filtrat. Filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan SSA.

4. Pengaruh Waktu Kontak

Larutan Co²⁺ 20 ml dengan konsentrasi 20 ppm dan pH optimum (pH 3), dikontakkan dengan Silika Gel-GPTMS-Sulfonat sebanyak 0,1 gram menggunakan *shaker* dengan variasi waktu kontak 15, 30, 45, 60, dan 75 menit dengan kecepatan

150 rpm, kemudian disaring hingga diperoleh filtrat. Filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan SSA.

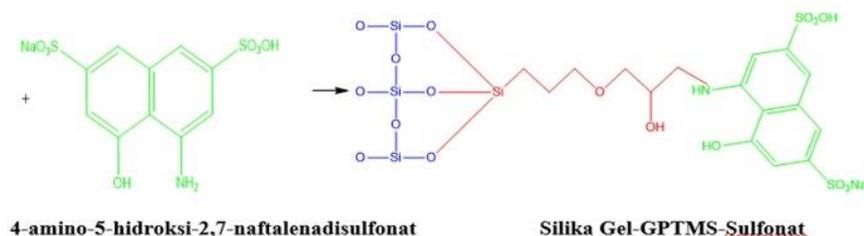
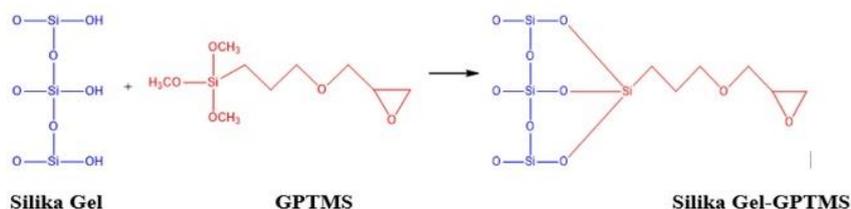
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Modifikasi Silika Gel

Silika gel merupakan bentuk amorf dari silikon dioksida, yang berbentuk partikel-partikel kecil yang keras. Silika gel memiliki rumus kimia yaitu $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$. Silika gel mempunyai luas permukaan yang luas dan sangat tinggi sekitar ($800 \text{ m}^2/\text{gram}$) membuat silika gel banyak digunakan sebagai desikan berkapasitas tinggi. Hal ini membuat silika gel banyak digunakan sebagai adsorben atau sebagai bahan tambahan dalam pembuatan adsorben (Nahari *et al.*, 2022). Hal ini disebabkan oleh adanya gugus aktif silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si). Atom O pada silika gel yang berukuran kecil dan memiliki polarisabilitas yang rendah menyebabkan silika gel belum efektif untuk mengadsorpsi ion logam. Oleh sebab itu, perlu adanya modifikasi dari permukaan silika gel (Azmiyawati, 2004).

Pada penelitian ini dilakukan modifikasi silika gel dengan sulfonat menggunakan senyawa penghubung GPTMS. Tahap pertama adalah pembuatan Silika Gel-GPTMS, silika gel direaksikan dengan GPTMS dalam pelarut toluena. Kemudian campuran distirrer selama 24 jam pada suhu 90°C agar proses pengikatan gugus silan pada silika gel lebih maksimal, lalu didapatkan padatan berwarna putih. Padatan yang didapatkan dicuci dengan metanol untuk menghilangkan pengotor yaitu toluena. Setelah dicuci didapatkan Silika Gel-GPTMS.

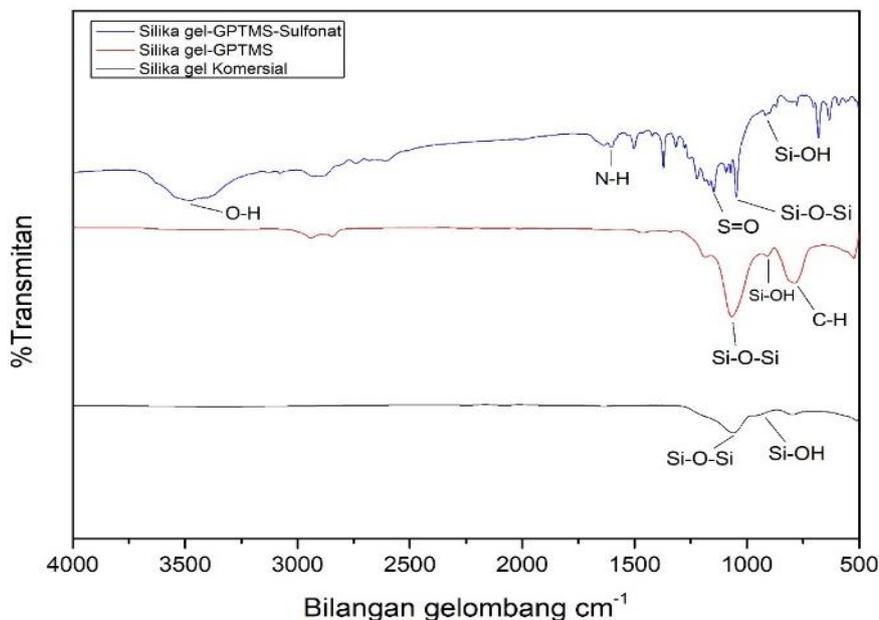
Tahap selanjutnya adalah pembuatan Silika Gel-GPTMS-Sulfonat. Silika Gel-GPTMS akan direaksikan dengan garam 4 – amino – 5 – hidroksi – 2,7 – naftalenadisulfonat dalam pelarut NaHCO_3 . NaHCO_3 digunakan untuk menjaga pH selama reaksi Silika Gel-GPTMS dengan garam sulfonat berlangsung, karena pH dapat mempengaruhi kelancaran reaksi sehingga proses reaksi bisa berjalan dengan baik. Kemudian campuran distirrer selama 20 jam agar pengikatan garam sulfonat dengan Silika Gel-GPTMS mencapai hasil yang maksimal. Setelah distirrer campuran dicuci dengan aquades, aseton, dan dietil eter untuk menghilangkan pengotor berdasarkan kepolaran. Setelah pencucian didapatkan padatan yang disebut Silika Gel-GPTMS-Sulfonat. Reaksi yang terjadi sebagai berikut:



Gambar 1. Reaksi Pembentukan Silika Gel-GPTMS-Sulfonat

2. Karakterisasi Menggunakan FTIR

FTIR merupakan suatu instrumen yang menggunakan sinar inframerah untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada material. Gugus fungsi sangat berperan pada saat proses penyerapan ion logam yang dipengaruhi oleh banyaknya gugus fungsi, jenis gugus fungsi, proses interaksi, struktur kimia, dan afinitas adsorben terhadap ion logam (Bhernama, 2017). Pada penelitian ini karakterisasi menggunakan FTIR berguna untuk melihat gugus fungsi yang ada pada Silika Gel Komersial, Silika Gel-GPTMS, dan Silika Gel-GPTMS-Sulfonat dengan rentang $4000-400\text{ cm}^{-1}$ dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2. Hasil Karakterisasi FTIR

Pada spektrum Silika Gel terdapat gugus siloksan (Si-O-Si) pada bilangan gelombang 1060 cm^{-1} dan gugus silanol (Si-OH) pada bilangan gelombang 931 cm^{-1} . Keberadaan gugus siloksan (Si-O-Si) dan gugus silanol (Si-OH) merupakan gugus fungsi utama silika gel (Sulastri & Kristianingrum, 2010).

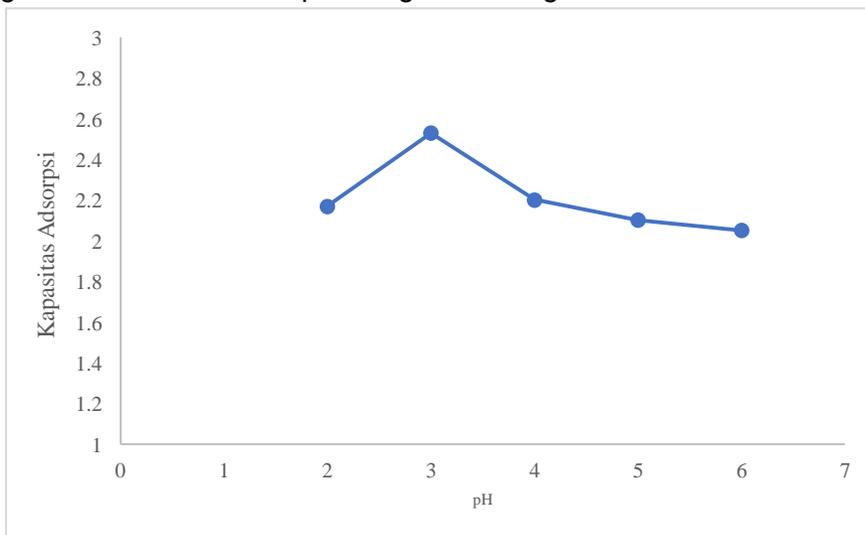
Pada spektrum Silika Gel-GPTMS terdapat gugus siloksan (Si-O-Si) pada bilangan gelombang 1070 cm^{-1} dan gugus silanol (Si-OH) pada bilangan gelombang

910 cm^{-1} , kedua gugus tersebut berasal dari silika gel. Pada bilangan gelombang 779 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus C-H yang merupakan gugus propil yang berasal dari struktur GPTMS, hal ini menandakan bahwa GPTMS sudah terikat pada permukaan silika gel (Hasibuan *et al.*, 2023).

Pada spektrum Silika Gel-GPTMS-Sulfonat terdapat gugus siloksan (Si-O-Si) pada bilangan gelombang 1050 cm^{-1} dan gugus silanol (Si-OH) pada bilangan gelombang 915 cm^{-1} , kedua gugus tersebut berasal dari silika gel. Terdapatnya gugus S=O pada bilangan gelombang 1149 cm^{-1} dan N-H (amina primer) pada bilangan gelombang 1600 cm^{-1} , kedua gugus ini menjadi tanda terikatnya garam sulfonat pada Silika Gel-GPTMS dikarenakan pada struktur garam sulfonat terdapat gugus S=O dan gugus N-H. Gugus O-H pada bilangan gelombang 3479 cm^{-1} , gugus O-H ini terbentuk akibat terbukanya cincin epoksi selama proses reaksi antara Silika Gel-GPTMS dengan garam sulfonat (Azmiyawati, 2004).

3. Pengaruh pH pada Adsorpsi Ion Co^{2+}

pH merupakan salah satu faktor yang paling penting dalam adsorpsi. Pada penelitian ini dilakukan variasi pH 2, 3, 4, 5 hingga 6 untuk melihat pengaruh pH terhadap adsorpsi ion Co^{2+} menggunakan adsorben Silika Gel-GPTMS-Sulfonat. Dari perlakuan yang sudah dilakukan didapatkan grafik sebagai berikut:



Gambar 3. Grafik Pengaruh pH Terhadap Adsorpsi

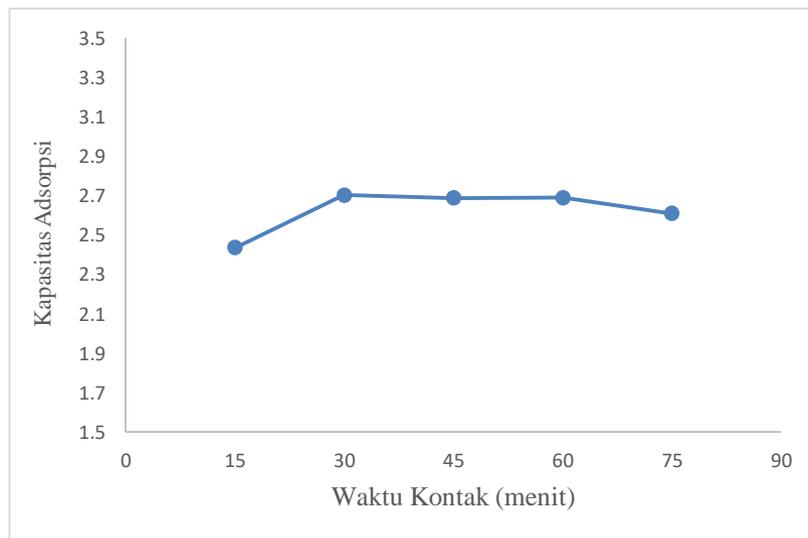
Pada grafik penentuan pH maksimum diatas terlihat terjadinya kenaikan kapasitas penyerapan dari pH 2 menuju 3. Kenaikan kapasitas penyerapan tersebut dikarenakan terjadinya peningkatan ion H^+ pada pH 3 yang disebabkan penambahan HCl relatif banyak.

Hal tersebut menyebabkan terjadinya kompetisi antara proton dengan ion Co^{2+} untuk berikatan dengan gugus aktif pada adsorben (Darjito *et al.*, 2007). Pada pH 3 kompetisi antara proton dengan ion Co^{2+} berkurang sehingga kapasitas penyerapan

meningkat. Sedangkan pada pH 4-6 terjadi penurunan kapasitas penyerapan. Seiring berkurangnya kompetisi ion Co^{2+} dengan proton, ion OH^- mulai bertambah yang membuat ion Co^{2+} mulai membentuk hidroksidanya $\text{Co}(\text{OH})_2$ (Wijayanti *et al.*, 2018).

4. Pengaruh Waktu Kontak pada Adsorpsi Ion Co^{2+}

Proses adsorpsi juga dapat dipengaruhi oleh lamanya waktu pengontakan antara adsorben dengan adsorbat. Pada penelitian ini dilakukan variasi waktu kontak 15, 30, 45, 60 hingga 75 menit. Grafik hubungan antara kapasitas penyerapan dengan waktu kontak dapat dilihat di bawah ini:



Gambar 4. Grafik Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi

Pada grafik diatas terlihat bahwa terjadi peningkatan kapasitas penyerapan dari waktu kontak 15 menit menuju 30 menit. Kemudian pada waktu kontak 45 hingga 75 menit kapasitas penyerapannya cenderung konstan. Peningkatan kapasitas penyerapan tersebut dapat terjadi dikarenakan pada waktu kontak 15 menit situs aktif pada adsorben masih belum terikat dengan ion Co^{2+} secara maksimal atau masih adanya situs aktif yang tersisa, sedangkan pada waktu kontak 30 menit situs aktif pada adsorben sudah terpenuhi. Sehingga kapasitas penyerapan ada waktu kontak 45 hingga 75 menit cenderung konstan dikarenakan situs aktif adsorben sudah terpenuhi atau telah mencapai kesetimbangannya pada waktu kontak 30 menit (Darjito *et al.*, 2007). Penurunan kapasitas penyerapan tersebut bisa juga terjadi dikarenakan ion Co^{2+} yang telah terikat pada adsorben mulai terlepas atau terjadinya desorpsi seiring lamanya waktu pengontakan (Amanda *et al.*, 2019).

SIMPULAN

Kondisi optimum yang didapatkan pada pengaruh pH dan waktu kontak terhadap penyerapan ion Co^{2+} menggunakan adsorben Silika gel-GPTMS-Sulfonat adalah pada pH 3 dan waktu kontak 30 menit.

DAFTAR PUSTAKA

- Amanda, D., Arfi, F., & Nisah, K. (2019). Uji Persamaan Langmuir dan Freundlich Pada Penyerapan Ion Logam Kobalt (Co^{2+}) Oleh Kitosan Dari Kulit Udang Windu (*Penaeus Monodon*). *Skripsi*, 3(li), 16.
- Azmiyawati, C. (2004). Modifikasi Silika Gel dengan Gugus Sulfonat untuk Meningkatkan Kapasitas Adsorpsi $\text{Mg}(\text{II})$. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 7(1), 10–16. <https://doi.org/10.14710/jksa.7.1.10-16>
- Azmiyawati, C. (2006). Kajian Kinetika Adsorpsi $\text{Mg}(\text{II})$ pada Silika Gel Termodifikasi Gugus Sulfonat. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 9(2), 35–39. <https://doi.org/10.14710/jksa.9.2.35-39>
- Bhernama, B. G. (2017). Bioropsi Ion Logam Zink (Zn^{2+}) Dalam Larutan Menggunakan Daun Kari (*Murraya Koenigii*). *Al-Kimia*, 5(1), 60–70. <https://doi.org/10.24252/al-kimia.v5i1.2539>
- Cestari, A. R., Vieira, E. F. S., Simoni, J. D. A., & Airoidi, C. (2000). Thermochemical Investigation on The Adsorption of Some Divalent Cations On Modified Silicas Obtained From Sol-Gel Process. *Thermochimica Acta*, 348(1–2), 25–31. [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(99\)00380-9](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(99)00380-9)
- Darjito, Khunur, M. M., & A., L. S. (2007). *Adsorpsi Ion $\text{Co}(\text{II})$ Menggunakan Kitin Terfosforilasi (Adsorption Of $\text{Co}(\text{II})$ Ions Using Phosphorylated Chitin)*. *lc*, 29–37.
- Edwin, T., Ihsan, T., & Pratiwi, W. (2017). Uji Toksisitas Akut Logam Timbal (Pb), Krom (Cr) Dan Kobalt (Co) Terhadap *Daphnia Magna* Acute Toxicity Test Of Metal Lead (Pb), Chromium (Cr) And Cobalt (Co) On *Daphnia Magna*. *Jurnal Teknik Lingkungan Unand*, 14(1), 33–40.
- Fa'izzah, M., & Sugiyarto, K. H. (2016). Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Kompleks Kobalt(II) dengan Ligan 1,10-Fenantrolin dan Anion Trifluorometanasulfonat. *Pendidikan Kimia*.
- Hasibuan, N. H., Oktavia, B., Nasra, E., & Kurniawati, D. (2023). Optimasi Penyerapan Anion Klorida Menggunakan Silika Gel (SiO_2) GPTMS Dimodifikasi dengan Dimetilamina. *Jurnal Periodic Jurusan Kimia Unp*, 12(1), 1. <https://doi.org/10.24036/p.v12i1.116185>
- Karim, M. A., Juniar, H., & Ambarsari, M. F. P. (2017). Adsorpsi Ion Logam Fe dalam Limbah Tekstil Sintesis dengan Menggunakan Metode Batch. *Jurnal Distilasi*, 2(2), 68. <https://doi.org/10.32502/jd.v2i2.1205>
- Khamidah, I. N., Djunaidi, M. C., & Khabibi, K. (2011). Pemanfaatan Kitosan Termodifikasi Asam Askorbat sebagai Adsorben Ion Logam Kobalt (Co^{2+}) Dan Nikel (Ni^{2+}). *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 14(1), 21–25. <https://doi.org/10.14710/jksa.14.1.21-25>
- Nahari, A., Oktavia, B., Khair, M., & Putra, A. (2022). Adsorpsi Anion Nitrat

- Menggunakan Silika Gel (Sio 2) Gptms Dimodifikasi Dengan Dimetilamina. *Chemistry Journal Of Universitas Negeri*, 11. <https://doi.org/10.1016/0927>
- Rahmawati, A., & Santoso, S. J. (2013). Studi Adsorpsi Logam Pb(II) Dan Cd(II) Pada Asam Humat Dalam Medium Air. *Alchemy*, 2(1). <https://doi.org/10.18860/Al.V0i0.2296>
- Sulastri, S., & Kristianingrum, S. (2010). Berbagai Macam Senyawa Silika : Sintesis, Karakterisasi Dan Pemanfaatan. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan Dan Penerapan Mipa*, 211–216.
- Tangio, J. S. (2013). Adsorpsi Logam Timbal (Pb) Dengan Menggunakan Biomassa Enceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*). *Jurnal Entropi*, 8(1), 500–506.
- Weni, N. K., & Oktavia, B. (2021). Optimization Of Hexavalent Chromium Ion Adsorption Using Natural Silica Modified With Dma (Dimethylamine) By Batch Method. *Journal Of Physics: Conference Series*, 1788(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1788/1/012014>
- Wijayanti, A., Susatyo, E. B., Kurniawan, C., & Sukarjo. (2018). Adsorpsi Logam Cr(Vi) Dan Cu(II) Pada Tanah Dan Pengaruh Penambahan Pupuk Organik. *Indonesian Journal Of Chemical Science*, 7(3), 242–248.