



Adsorpsi logam berat Pb(II) oleh adsorben berbasis silika dari abu vulkanik gunung Sinabung

The adsorption of heavy metal Pb(II) by silica based adsorbent from volcanic ash of mount Sinabung

Lisnawaty Simatupang^{1*}; Devy Putri Oktavia¹; Maryati Doloksaribu²

¹Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Medan, Medan-Indonesia

²Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Medan, Medan-Indonesia

*Korespondensi: lisnawaty@unimed.ac.id

Adsorpsi logam berat Pb (II) oleh adsorben berbasis silika dari abu vulkanik gunung Sinabung dengan sistem *batch* meliputi: jumlah adsorben, waktu kontak, pH dan konsentrasi telah dilakukan. Hasil menunjukkan bahwa massa silika optimum diperoleh 0,25 g dengan Pb (II) yang teradsorpsi $9,8801 \times 10^{-6}$ mol/g. Waktu kontak optimum 40 menit dengan jumlah Pb (II) yang teradsorpsi $9,9091 \times 10^{-6}$ mol/g. pH optimum adsorpsi adalah pH 7 dengan jumlah Pb (II) yang teradsorpsi $9,5845 \times 10^{-6}$ mol/g. Konsentrasi optimumnya adalah 110 ppm dengan jumlah Pb (II) yang teradsorpsi $2,3103 \times 10^{-5}$ mol/g.

Kata kunci: silika gel, adsorpsi, batch, Ion Pb (II)

The Adsorption of heavy metal Pb (II) with batch system by silica-based adsorbents from volcanic ash of mount Sinabung include: amount of adsorbent, contact time, pH & concentration has been done. The result showed of optimum mass of silica obtained 0,25 g with Pb (II) adsorbed $9,8801 \times 10^{-6}$ mol/g. The optimum contact time is 40 minutes with Pb (II) adsorbed $9,9091 \times 10^{-6}$ mol/g. The pH optimum adsorption is pH 7 with the Pb (II) adsorbed $9,5845 \times 10^{-6}$ mol/g. The optimum concentration is 110 ppm with the Pb (II) adsorbed $2,3103 \times 10^{-5}$ mol/g.

Key words: silica gel, adsorption, batch, Pb (II) ion

DOI: <https://doi.org/10.24114/jpkim.v9i2.7682>

Perkembangan industri saat ini mengalami kemajuan yang sangat pesat. Akibat proses industrialisasi tersebut dihasilkan buangan limbah industri berupa limbah cair yang dapat menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan. Limbah cair pada industri memberikan kontribusi terhadap pelepasan logam berat beracun di dalam perairan. Persoalan spesifik logam berat di lingkungan terutama karena akumulasinya, masuk pada rantai makanan dan keberadaannya di alam menyebabkan keracunan terhadap tanah, udara dan air meningkat (Suhendrayatna, 2001) sehingga akan berdampak negatif pada makhluk hidup di lingkungan sekitarnya.

Kegiatan industri yang melibatkan penggunaan logam berat antara lain industri tekstil, pembuatan baterai, pelapisan logam, cat/tinta warna, percetakan, bahan agrokimia, dan

lain-lain. Kehadiran logam berat di dalam lingkungan sangat berpengaruh langsung terhadap kehidupan, mulai dari mikroorganisme sampai makhluk hidup tingkat tinggi. Seperti logam Pb(II) didasarkan pada sifatnya, logam ini merupakan logam berat bersifat toksik, berbahaya karena dalam jumlah relatif kecil dapat mengakibatkan kematian pada makhluk yang keracunan. Hal ini disebabkan dalam sistem biologis makhluk hidup logam ini merupakan logam non-esensial (logam yang tidak dibutuhkan oleh tubuh.). Berbagai penelitian dan laporan tentang pencemaran lingkungan telah diliput oleh berbagai media massa untuk dapat diketahui oleh masyarakat, walaupun dalam hal tertentu keabsahan kehadiran bahan pencemar tersebut masih banyak yang diperdebatkan. Secara medis telah diketahui bahwa kehadiran polutan dalam jumlah sangat

kecil (*trace*) sangat berbahaya terhadap kesehatan manusia dan kehidupan makhluk hidup (Situmorang, 2007).

Keberadaan logam berat sebagai polutan bagi lingkungan hidup diawali dengan meningkatnya populasi dan industrialisasi dari proses modernisasi manusia dan lingkungan sangat berpotensi tercemar dari logam berat yang dihasilkan dari hasil limbah industri. Keberadaannya di air atau air limbah dengan konsentrasi melebihi ambang batas dapat memberikan dampak negatif bagi siklus biologi yang normal di lingkungan dampak negatif yang langsung dirasakan oleh manusia antara lain gangguan kesehatan dan keracunan seperti gangguan fungsi syaraf, perubahan komposisi darah, kelainan pada jantung, paru-paru dan sebagainya. Logam berbeda dengan polutan berbahaya lainnya karena logam bersifat tidak terdegradasi, dapat terakumulasi pada jaringan hidup, dan terkonsentrasi pada rantai makanan.

Salah satu logam berat yang sangat populer bagi masyarakat adalah timbal. Hal ini disebabkan oleh banyaknya timbal yang digunakan di industri nonpangan dan paling banyak menimbulkan keracunan pada makhluk hidup. Pencemaran Pb dapat terjadi di udara, air, maupun tanah. Pencemaran Pb merupakan masalah utama, tanah dan debu sekitar jalan raya pada umumnya telah tercemar bensin bertimbal selama bertahun-tahun (Sunu, 2001). Karena itulah perlu dilakukan upaya untuk mengurangi pencemaran lingkungan oleh logam berat timbal.

Salah satu teknik pengolahan limbah yang dapat digunakan untuk menurunkan konsentrasi logam berlebihan pada lingkungan adalah dengan proses adsorpsi. Teknik ini mempunyai keunggulan dibandingkan dengan teknik lain. Keuntungan utamanya adalah biayanya sedikit serta tidak ada efek samping zat beracun (Blais dkk., 2000).

Adsorpsi merupakan proses penyerapan padatan tertentu terhadap zat tertentu yang terjadi pada permukaan zat padat karena adanya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan zat padat tanpa meresap ke dalam (Atkins, 1999). Proses adsorpsi dengan menggunakan suatu adsorben merupakan teknik pemurnian yang efektif dipakai dalam industri karena dianggap lebih ekonomis dalam pengolahan air dan limbah (Al-Asheh *et al.*, 2000) dan merupakan teknik yang sering digunakan untuk mengurangi ion logam berat dalam air limbah (Selvi *et al.*, 2001).

Adsorben yang digunakan dalam proses adsorpsi ini adalah silika gel yang diperoleh dari preparasi abu vulkanik erupsi gunung Sinabung dengan metode sol gel (Simatupang dkk., 2016).

Silika adalah senyawa kimia dengan rumus molekul SiO_2 (silicon dioksida) yang dapat diperoleh dari silika mineral, nabati dan sintesis kristal. Semua modifikasi kristalin silika berupa senyawa polimerik tiga dimensi dengan jaringan ikatan kovalen Si-O membentuk suatu molekul raksasa, jaringan ini meng&ung spesies "penghubung" tetrahedral SiO_4 , dengan tiap atom Si diikat oleh empat atom O dan tiap atom O diikat oleh dua atom Si (Rapierna, 2012). Struktur satuan mineral silika pada dasarnya meng&ung kation Si^{4+} yang terkoordinasi secara tetrahedral dengan anion O^{2-} . Namun demikian, susunan tetrahedral SiO_4 pada silika gel tidak beraturan (Oscik, 1982).

Penelitian mengenai pemanfaatan abu vulkanik sebagai adsorben berbasis silika sebelumnya telah dilakukan oleh Fadji (2012) dengan memanfaatkan abu vulkanik hasil erupsi gunung Merapi dan *methyl orange* sebagai adsorbat. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa waktu optimum adsorpsi selama 180 menit dan konsentrasi adsorbat optimum adsorpsi sebesar 100 ppm. Dengan menggunakan metode statis (*batch*) serta analisis penyerapan logam menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

Begitu pula penelitian tentang adsorben berbasis silika dari Pemanfaatan abu sekam padi dan aplikasinya terhadap ion logam divalent Mg(II), Zn(II), Ni(II) dan Cd(II) telah dilakukan (Lisnawaty dkk., 2007; Lisnawaty dkk., 2009, Lisnawaty dkk., 2013).

Metode

Penelitian dilakukan di laboratorium Penelitian Kimia FMIPA Unimed dan untuk pengukuran ion Pb(II) secara SSA dilakukan di Laboratorium Farmasi Universitas Sumatera Utara Medan.

Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini dibedakan menjadi dua bagian yaitu peralatan penunjang dan peralatan analisis. Peralatan penunjang meliputi: neraca analitik, lumpang dan alu, ayakan 200 mesh, desikator, kertas saring whatman 42, *Magnetic stirrer*, indikator universal, corong buchner, peralatan gelas dan peralatan plastik. Peralatan analisis yakni: AAS Hitachi Z2000.

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah silika gel preparasi dari abu vulkanik Gunung Sinabung HNO_3 (Merck), akuades, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$.

Pembuatan larutan baku Pb 1000 ppm dari Pb(NO₃)₂

Sebanyak 1,5990 gram Pb(NO₃)₂ dilarutkan dengan akuades, kemudian dimasukkan dalam labu ukur 1000 mL dan diencerkan dengan akuades hingga batas.

Pembuatan kurva kalibrasi

Pembuatan kurva kalibrasi larutan st&ar dimaksudkan untuk mencari hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi larutan st&ar Si dan Pb(II). Kurva kalibrasi Si dibuat dengan seri larutan Si mulai dari 0; 20; 40; dan 60 ppm. Kurva kalibrasi Pb(II) dibuat dengan seri larutan Pb(II) mulai dari 0; 2; 4; dan 6 ppm. Setelah didapatkan data absorbansi selanjutnya dibuat grafik hubungan antara konsentrasi terhadap absorbansi dan diperoleh persamaan regresi.

Penentuan massa optimum adsorben silika

Silika ditimbang masing-masing 0,25; 0,5; 0,75; dan 1,00 gram. Masing-masing variasi ditambahkan 10 mL larutan ion Pb(II) dengan konsentrasi 60 ppm dan diaduk dengan pengaduk magnet selama 30 menit. Setelah itu larutan disaring dan filtrat yang diperoleh dianalisis dengan AAS.

Penentuan waktu kontak optimum

Silika ditimbang sesuai hasil penentuan massa optimum. Lalu ditambahkan 10 mL larutan ion Pb(II) dengan konsentrasi 60 ppm. Kemudian diaduk dengan pengaduk magnet dengan variasi waktu kontak 20, 40, 60, 80, dan 100 menit. Setelah itu larutan disaring dan filtrat yang diperoleh dianalisis dengan AAS.

Penentuan pH optimum

Silika ditimbang sesuai hasil penentuan massa optimum. Lalu ditambahkan 10 mL larutan ion Pb(II) dengan konsentrasi 60 ppm. Kemudian diaduk dengan pengaduk magnet sesuai waktu kontak optimum dengan variasi pH larutan 3, 4, 5, 6, dan 7. Setelah itu larutan disaring dan filtrat yang diperoleh dianalisis dengan AAS.

Penentuan konsentrasi optimum

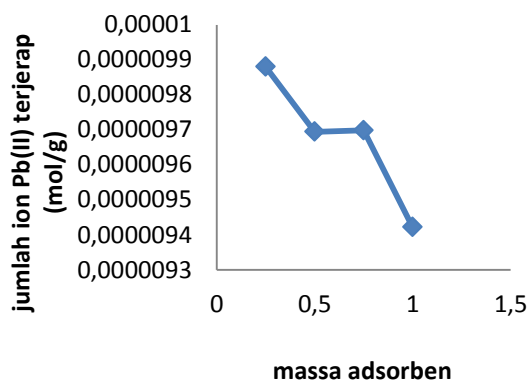
Silika ditimbang sesuai hasil penentuan massa optimum. Lalu ditambahkan 10 mL larutan ion Pb(II) dengan variasi konsentrasi 70, 90, 110, dan 130 ppm. Kemudian diaduk dengan pengaduk magnet selama waktu kontak optimum dan pH optimum. Setelah itu larutan disaring dan filtrat yang diperoleh dianalisis dengan AAS.

Hasil dan Pembahasan

Penentuan massa optimum adsorben

Penentuan massa optimum adsorben silika adalah untuk mengetahui massa silika yang paling sesuai pada penyerapan logam Pb(II) oleh silika mencapai kondisi optimal. Setiap 10 mL larutan ion Pb(II) dengan konsentrasi 60 ppm ditambahkan dengan variasi massa adsorben dan diaduk selama 30 menit. Kemudian larutan disaring dan filtrat diukur menggunakan AAS pada panjang gelombang 283,3 nm untuk mengetahui konsentrasi logam Pb(II) sisa.

Proses adsorpsi dilakukan pada suhu ruang, yaitu 27°C. Pemilihan suhu ruang ini karena proses adsorpsi pada suhu yang semakin tinggi menyebabkan ion logam berat yang terserap oleh adsorben semakin sedikit. Hal ini terjadi karena semakin tinggi suhu pada proses adsorpsi, maka pergerakan ion semakin cepat sehingga jumlah ion logam berat yang terserap oleh adsorben semakin berkurang (Kundari, dkk, 2008). Data yang diperoleh setelah melakukan optimasi massa silika pada logam Pb(II) disajikan pada Gambar 1.



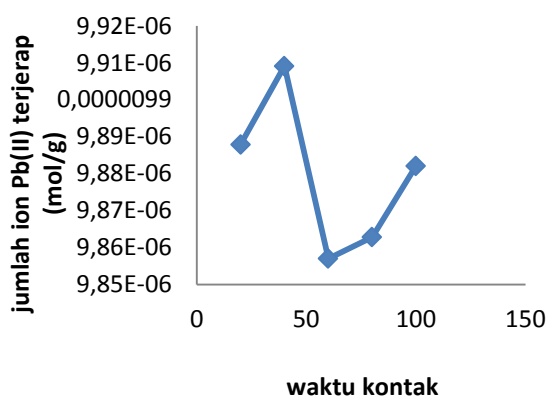
Gambar 1. Kurva penentuan massa optimum adsorben silika.

Penyerapan ion logam Pb(II) maksimum terjadi pada 0,25 gram adsorben dengan jumlah ion logam Pb(II) yang terjerap sebesar 9,8801x10⁻⁶ mol/g. Semakin besar massa yang digunakan ternyata tidak se&ing dengan peningkatan jumlah ion logam Pb(II) yang terjerap. Hal ini disebabkan karena sifat silika gel ditentukan oleh orientasi dari ujung tempat gugus hidroksil berkombinasi. Oleh karena ketidak-teraturan susunan permukaan SiO₄ tetrahedral, maka jumlah distribusinya per unit area bukan menjadi ukuran kemampuan adsorpsi silika gel, meskipun gugus silanol dan siloksan terdapat pada permukaan silika gel. Kemampuan adsorpsi ternyata tidak se&ing dengan jumlah gugus silanol dan gugus siloksan yang ada pada permukaan silika gel, tetapi tergantung pada distribusi gugus OH per unit area adsorben (Oscik, 1982). Penyerapan ion logam juga terjadi secara fisik dimana ion logam Pb(II) terperangkap dalam

pori-pori silika sehingga banyaknya pori per unit area menentukan banyaknya ion logam Pb(II) yang dapat diadsorpsi oleh silika.

Penentuan waktu kontak optimum

Waktu kontak merupakan waktu yang dibutuhkan adsorben untuk menyerap logam. Larutan logam Pb(II) dengan konsentrasi 60 ppm dengan volume masing-masing 10 mL diinteraksikan dengan 0,25 gram adsorben silika dan diaduk dengan pengaduk magnet selama variasi waktu kontak 20; 40; 60; 80; dan 100 menit. Kemudian larutan disaring dan filtrat diukur menggunakan AAS pada panjang gelombang 283,3 nm untuk mengetahui konsentrasi logam Pb(II) sisa. Data kajian adsorpsi Pb(II) waktu kontak optimum disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva penentuan waktu kontak optimum.

Pada Gambar 2 di atas, tampak bahwa waktu kontak optimum 40 menit, dimana banyaknya ion logam Pb(II) yang terjerap sebanyak $9,9091 \times 10^{-6}$ mol/g. Pada waktu kontak 60 menit, ion logam Pb(II) yang terjerap sebanyak $9,8570 \times 10^{-6}$ mol/g. Pada waktu kontak ini adsorpsi logam Pb(II) yang paling kecil, kemudian meningkat kembali pada waktu kontak 80 dan 100 menit dengan ion logam Pb(II) yang terjerap masing-masing $9,8628 \times 10^{-6}$ mol/g dan $9,8821 \times 10^{-6}$ mol/g.

Hal ini disebabkan penyerapan ion logam terjadi secara fisik dimana ion logam Pb(II) terperangkap dalam pori-pori silika sehingga saat waktu kontak optimum 40 menit adsorben sudah jenuh dan peningkatan waktu kontak menyebabkan adsorbat terlepas kembali dari pori dan kembali ke arus fluida.

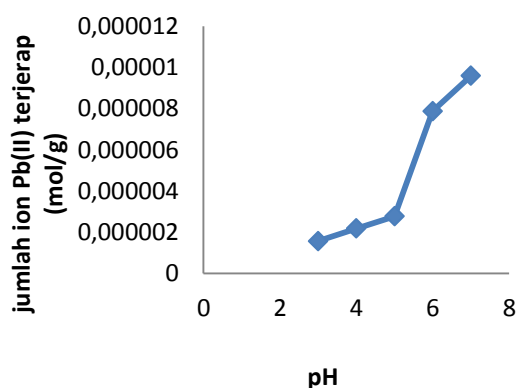
Menurut Wijayanti (2009) bila permukaan sudah jenuh atau mendekati jenuh terhadap adsorbat, dapat terjadi dua hal yaitu terbentuk lapisan adsorpsi kedua dan seterusnya di atas adsorbat yang telah terikat di permukaan, gejala ini disebut adsorpsi multilayer, atau tidak terbentuk

lapisan kedua dan seterusnya sehingga adsorbat yang belum teradsorpsi berdifusi keluar pori dan kembali ke arus fluida.

Nuryono *et al.* (2003) membedakan kinetika adsorpsi ion logam pada adsorben menjadi tiga jenis. Jenis yang pertama, adsorpsi berlangsung dalam satu tahap cepat kemudian mencapai kesetimbangan. Pada adsorpsi jenis ini, laju desorpsi relatif lambat dan dapat diabaikan. Jenis kedua, adsorpsi berlangsung lambat kemudian mencapai kesetimbangan. Pada adsorpsi ini laju desorpsi relatif cepat dan tidak dapat diabaikan. Dengan kata lain, adsorpsi berlangsung secara reversibel. Jenis ketiga, adsorpsi berlangsung dalam dua tahap, tahap cepat dan lambat, kemudian mencapai kesetimbangan. Dari Gambar 2 terlihat bahwa adsorpsi Pb(II) oleh silika gel termasuk jenis kedua, dimana adsorpsi berlangsung secara reversibel.

Penentuan pH optimum

Penentuan pH optimum adalah untuk mengetahui harga pH yang paling optimal untuk adsorpsi logam Pb(II) oleh silika gel. Variasi pH yang digunakan adalah pH 3; 4; 5; 6 dan 7. Larutan logam Pb(II) dengan konsentrasi 60 ppm dengan volume masing-masing 10 mL diinteraksikan dengan 0,25 gram adsorben silika dan diaduk dengan pengaduk magnet selama 40 menit. Kemudian larutan disaring dan filtrat diukur menggunakan AAS pada panjang gelombang 283,3 nm untuk mengetahui konsentrasi logam Pb(II) sisa. Data kajian pH adsorpsi Pb(II) disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva penentuan pH optimum.

Kemampuan penyerapan suatu adsorben dapat dipengaruhi oleh pH larutan. Hal ini berhubungan dengan protonasi atau deprotonasi permukaan sisi aktif dari adsorben (Nurhasni, 2002). Menurut Riapanitra (2006), pH akan mempengaruhi muatan permukaan adsorben, derajat ionisasi dan spesi apa saja yang dapat terserap dalam adsorpsi tersebut. Nilai pH juga

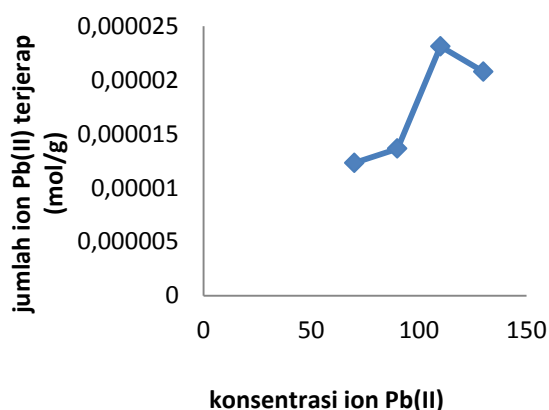
mempengaruhi kesetimbangan kimia, baik pada adsorbat maupun adsorben. Dalam variasi pH ini kemungkinan ikatan kimia antara adsorben dengan adsorbat dapat terjadi (Refilda, 2001).

Berdasarkan Gambar 3 di atas tampak bahwa pH 7, banyaknya ion logam Pb(II) yang terjerap sebanyak $9,5845 \times 10^{-6}$ mol/g. Pada pH 3-5 penyerapan ion logam Pb(II) rendah, pH rendah permukaan adsorben dikelilingi oleh ion H^+ (karena gugus fungsi yang terdapat pada adsorben terprotonasi) sehingga terjadi persaingan antara ion logam Pb(II) dengan ion H^+ dalam berikatan dengan gugus aktif yang ada pada silika. Dalam kondisi asam permukaan adsorben juga bermuatan positif, yang akan menyebabkan terjadi tolakan antara permukaan adsorben dengan ion logam, sehingga adsorpsinya pun menjadi rendah (Sembiring, 2009).

Peningkatan penyerapan yang besar terjadi pada pH 6, hal ini disebabkan karena jumlah ion H^+ mulai berkurang sehingga persaingan dengan H^+ mulai berkurang sehingga jumlah logam teradsorpsi makin besar. Pada pH 7 masih terjadi peningkatan penyerapan meskipun tidak besar, hal ini dikarenakan logam Pb(II) memiliki harga K_{sp} sebesar $2,8 \times 10^{-16}$ yang akan mengendap menjadi $Pb(OH)_2$ pada pH 8-13 (Vogel, 1995).

Penentuan konsentrasi optimum

Penentuan konsentrasi optimum adalah kajian adsorpsi untuk mengetahui kemampuan optimal silika dalam menyerap ion logam Pb(II). Filtrat setiap variasi konsentrasi diukur menggunakan AAS pada panjang gelombang 283,3 nm untuk mengetahui konsentrasi logam Pb(II) sisa. Data adsorpsi optimasi konsentrasi larutan Pb(II) disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva penentuan konsentrasi optimum.

Pada Gambar 4 terlihat bahwa adsorpsi mengalami peningkatan pada konsentrasi awal larutan 70-110 ppm dan mengalami penurunan mulai konsentrasi 110-130 ppm sehingga

konsentrasi optimum adsorpsi logam Pb(II) terjadi pada konsentrasi larutan 110 ppm dimana banyaknya ion logam Pb(II) yang terjerap sebanyak $2,3103 \times 10^{-5}$ mol/g. Saat konsentrasi larutan dibawah 110 ppm, jumlah ion logam Pb(II) yang ada dalam larutan lebih sedikit bila dibandingkan jumlah gugus pengikat pada silika sehingga adsorpsi masih mengalami peningkatan. Sedangkan pada konsentrasi larutan di atas 110 ppm, jumlah ion logam Pb(II) yang ada dalam larutan lebih banyak dibandingkan dengan jumlah gugus pengikat pada silika sehingga silika sudah mengalami kejenuhan dalam menyerap logam Pb(II) dan mengakibatkan adsorpsi berhenti. Menurut Lestari dan Sanova (2011) pada kondisi kesetimbangan, permukaan adsorben telah jenuh oleh ion-ion logam sehingga penambahan konsentrasi tidak akan berpengaruh pada proses adsorpsi.

Ucapan terima kasih

Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada DRPM Dikti sebagai penyandang dana penelitian desentralisasi melalui penelitian Produk Terapan Tahun 2017. Rektor Universitas Negeri Medan dan Kepala Lembaga penelitian Unimed serta pihak-pihak lainnya yang banyak membantu dalam penelitian ini.

Kesimpulan

Massa optimum adsorben silika untuk penyerapan ion logam Pb(II) yaitu 0,25 gram dengan jumlah ion logam Pb(II) yang terjerap sebesar $9,8801 \times 10^{-6}$ mol/g. Waktu kontak optimum adsorpsi ion logam Pb(II) oleh silika hasil sintesis yaitu 40 menit dengan jumlah ion logam Pb(II) yang terjerap sebanyak $9,9091 \times 10^{-6}$ mol/g. pH optimum adsorpsi ion logam Pb(II) oleh silika yaitu pada pH 7 dengan jumlah ion logam Pb(II) yang terjerap sebanyak $9,5845 \times 10^{-6}$ mol/g. Dan konsentrasi optimum adsorpsi ion logam Pb(II) oleh silika yaitu pada konsentrasi 110 ppm dengan jumlah ion logam Pb(II) yang terjerap sebanyak $2,3103 \times 10^{-5}$ mol/g.

Daftar Pustaka

- Al Asheh, S., F. Banat., R. Al Omari & Z. Duvnjak. (2000). *Prediction of Binary Sorption Isotherm for The Sorption of Heavy Metal by Pine bark Using Single Isotherm Data*. Chemosphere, 41: 659-665.
- Atkins, P., W. (1999). *Kimia Fisika 2*. Erlangga: Jakarta.

- Blais, J. F., Dufresne, B., Mercier, G. (2000). State of The Art of Technologies for Metal Removal from Industrial Effluents. *Rev. Sci. Eau* 12: 687-711.
- Fadjri, Martina Safitri. (2012). *Adsorpsi Zat Warna Methyl Orange Menggunakan Pasir Vulkanik Gunung Merapi*. Skripsi. Yogyakarta: FMIPA Universitas Yogyakarta.
- Kundari, N. A., Slamet, Wiyuniati. (2008), Tinjauan Kesetimbangan Adsorpsi Tembaga dalam Limbah Pencuci PCB dengan Zeolit. *Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir*.
- Lestari, I., dan Sanova, A. (2011). Penyerapan Logam Berat Kadmium (Cd) Menggunakan Kitosan Hasil Transformasi Kitin dari Kulit Udang (*Penaeus* sp). **13**: 9-14.
- Oscik, J. (1982). *Adsorption*. John Wiley & Sons: New York
- Nurhasni, (2002). *Penggunaan Genjer (*Limnocharis Flava*) Untuk Menyerap Ion Kadmium, Kromium, dan Tembaga Dalam Air Limbah*. Tesis, Universitas & alas, Padang.
- Nuryono, Susanti V. V. H., Narsito. (2003). Kinetic Study on Adsorption of Chromium (III) to Diatomaceous Earth Pre-Treated with Sulfuric & Hydrochloric Acids. *Indo J. Chem*, 3: 32-38.
- Rapierna, A. (2012). *Sintesis dan Pemanfaatan Membran Kitosan-Silika Sebagai Membran Pemisah Ion Logam Zn^{2+} dan Fe^{2+}* . Tugas Akhir II, FMIPA, UNNES, Semarang.
- Refilda, Zein, R., Rahmayeni. (2001). *Pemanfaatan Ampas Tebu Sebagai Bahan Alternatif Pengganti Penyerap Sintetik Logam-logam Berat Pada Air Limbah*. Skripsi, Universitas & alas, Padang.
- Riapanitra, A., Setyaningtyas, T., Riyani, K. (2006). Penentuan Waktu Kontak dan pH Optimum Penyerapan Metilen Biru Menggunakan Abu Sekam Padi. *J. Molekul*, 1: 41-44
- Selvi, K., Pattabhi, S. & Kardivelu, K. (2001). *Removal of Cr(VI) from Aqueous Solution by Adsorption Onto Activated Carbon*. *Bioresour Technol*, 80: 87-89.
- Sembiring, Z., Buhani, Suharso, Surnadi. (2009). Isoterm Adsorpsi Ion Pb(II), Cu(II), dan Cd(II) pada Biomassa *Nannochloropsis*, sp yang Dienkapsulasi Akuagel Silika. *Indo J. Chem*, 9: 1-5
- Lisnawaty, S., & Narsito, Nuryono. (2007). Simultaneous Adsorption Of Mg (II), Zn (II), Ni (II) & Cd (II) On Amino-Silica Hybrid. *Prosiding ICCS*.
- Simatupang, L., Narsito, N. (2009). *Sintesis Dan Karakterisasi Silika Gel Dan Hibrid Amino Silika (HAS) Dari Abu Sekam Padi*. Makalah, Seminar Nasional Pendidikan Kimia dan Kimia dan Workshop Pengembangan Penelitian Dan Publikasi Ilmiah Dalam Bidang Pendidikan Kimia, Medan, PHKI UNIMED.
- Simatupang, L., Dewi, S. R., & Susanti, N. (2011). Pengembangan Metode Alir Menggunakan Silika Gel Dari Sekam Padi Untuk Mengatasi Limbah Cair Industri Logam. *Laporan Akhir Research Grant Unimed*.
- Simatupang, L., & Devi, S. S. (2016). The preparation & characterization of Sinabung volcanic ash as silica based adsorbent. *JURNAL PENDIDIKAN KIMIA*, 8: 9-13.
- Situmorang, M. 2007. *Kimia Lingkungan*. Medan: FMIPA UNIMED.
- Suhendrayatna, (2001). *Bioremoval Logam Berat Dengan Menggunakan Mikroorganisme: Suatu Kajian* Kepustakaan, <http://www.starberita.com,2010> [25 April 2010]
- Sunu, P. (2001),. *Melindungi Lingkungan dengan Menerapkan ISO 14001*. Grasindo: Jakarta.