

Efisiensi Penyerapan ION Logam Terhadap pH dan Waktu Kontak Menggunakan Cangkang Ketapang

Linda Hevira¹, Rahmiana Zein² Edison Munaf²

¹Jurusan Kimia, Universitas Mohammad Natsir, Jl. Baru No. 58 Jambu Air, Bukittinggi

²Fakultas MIPA, Universitas Andalas, Jl. Wirasakti X, No. 49. Perundam, Siteba. Padang.

Detail Artikel

Diterima : 16 November 2017

Direvisi : 19 April 2018

Diterbitkan : 30 Oktober 2018

Kata Kunci

pencemaran lingkungan

biosorpsi

logam berat

Terminalia catappa L

adsorpsi

Penulis Korespondensi

Name : Linda Hevira

Affiliation : Universitas

Mohammad Natsir

Email : lindahevira@gmail.com

ABSTRAK

Pencemaran air merupakan salah satu hal yang perlu diperhatikan. Penggunaan air yang hampir dibutuhkan oleh seluruh manusia sangat perlu dijamin kebersihannya apalagi untuk dikonsumsi sebagai air minum. Kandungan air bersih untuk minum harus bebas dari logam-logam berat karena sangat membahayakan kesehatan manusia. Penyerapan ion logam yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metoda adsorpsi dengan sistem batch. Logam berat seperti Cd, Pb dan Cu dapat diserap menggunakan cangkang buah ketapang karena mempunyai sisi aktif yang dapat berikatan dengan ion logam. Dari penelitian didapatkan bahwa ion logam Cd (II), Pb (II) dan Cu (II) dapat diserap dengan cangkang buah ketapang dan mempunyai efisiensi penyerapan ion logam optimum pada pH 6. Sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk berikatan antara adsorben dengan ion logam adalah 60 menit untuk ion Cd (II), 45 menit untuk ion Pb (II) dan 75 menit untuk ion Cu (II).

ABSTRACT

Water pollution is one of the things that need to be considered. The use of water that is almost needed by all humans is very important to ensure cleanliness, especially for consumption as drinking water. The content of clean water for drinking must be free of heavy metals because it is very dangerous to human health. The absorption of metal ions carried out in this study is the adsorption method with a batch system. Heavy metals such as Cd, Pb and Cu can be absorbed using ketapang fruit shells because they have an active side that can bind to metal ions. From the research it was found that metal ions Cd (II), Pb (II) and Cu (II) can be absorbed with the shells of ketapang and have the optimum adsorption efficiency metal ions at pH 6. While the time needed to bind between adsorbents and metal ions is 60 minutes for Cd (II) ions, 45 minutes for Pb (II) and 75 minutes ions for Cu (II) ions.

PENDAHULUAN

Pesatnya perkembangan teknologi dan industri sekarang ini telah membawa dampak positif dan negatif yang beriringan. Di satu sisi kemajuan teknologi dapat mempermudah kegiatan manusia, namun disisi lain, dampak dari limbah yang dihasilkan dan penambangan yang besar-besaran tanpa memperhatikan kelestarian lingkungan demi mencapai keuntungan semata, membawa efek yang membahayakan kesehatan dan kehidupan manusia. Salah satunya adalah logam berat yang masuk ke dalam tubuh manusia melewati pencemaran air, tanah dan

udara. Keberadaan logam berat dalam perairan bersifat toksik, walaupun dalam konsentrasi rendah. Ion logam berat tersebut dapat terakumulasi dalam tubuh manusia, karena mengkonsumsi air dan makanan seperti padi sayuran, ikan dan kerang yang tercemar logam berat, sehingga dapat menyebabkan gangguan metabolisme, gangguan syaraf, penurunan kecerdasan, penyebab terjadinya kanker bahkan kematian.

Kandungan Cd dalam badan perairan dapat berasal dari endapan, atmosfer, debu, dan air yang berasal dari limbah cair industri

Kadmium merupakan logam yang beracun bagi tubuh manusia, waktu paruhnya mencapai 30 tahun. Kadmium masuk ke dalam tubuh manusia melalui makanan dan tembakau. Konsentrasi kadmium yang tinggi menyebabkan kerusakan ginjal dan hati, anemia, inhalasi karsinogenik, memperlambat pertumbuhan dan juga menyebabkan hipertensi arteri ginjal (Singh *et al.*, 2018).

Logam timbal dapat ditemukan sehari-hari pada produk-produk logam, seperti kabel, pipa tahan karat, solder, pewarna (cat), bahan kimia, campuran pembuatan keramik, industri baterai, penyepuhan dan asap kendaraan bermotor. Akumulasi timbal di lingkungan menyebabkan kerusakan otak, gangguan fungsi pencernaan dan aliran darah (Rahmadani *et al.*, 2017). Keracunan timbal dapat menyebabkan muntah, gangguan penglihatan, anemia dan gangguan sistem saraf.

Keberadaan logam tembaga pada bahan pangan disebabkan karena penggunaan pupuk dan pestisida yang berlebihan. Disamping itu industri pewarnaan, industri kertas dan pelapisan melepaskan sejumlah tembaga yang dapat menyebabkan anemia dan osteoporosis pada manusia.

Biosorpsi ialah proses penyerapan yang menggunakan material biologi (biomaterial) sebagai penyerapnya, dimana ion-ion dalam larutan akan berikatan dengan gugus fungsi yang ada pada biomaterial tersebut (Michalak *et al.*, 2013). Gugus fungsi itu meliputi gugus-gugus karboksil, karbonil, hidroksil, alkohol, amina, ester, sulfidril dan lain-lain (Kampalanonwat and Supaphol, 2014).

Ada beberapa metode untuk menghilangkan ion logam berat dari larutan berair yang terdiri dari metoda fisika, kimia, dan biologi. Metode konvensional untuk menghilangkan ion logam beracun dari larutan berair telah direkomendasikan, seperti presipitasi kimia, filtrasi, pertukaran ion, perlakuan elektrokimia, teknologi membran, pelapisan, adsorpsi pada karbon aktif, penguapan dan fotokatalisis (Gautam *et al.*, 2014). Teknik fisika dan kimia membutuhkan biaya yang tinggi, proses yang lama dan pelarut yang banyak sehingga menjadi masalah baru dalam sistem pembuangannya.

Sejumlah besar limbah pertanian memiliki banyak keuntungan dalam pengolahan air limbah seperti sumber yang melimpah, stabilitas, biaya rendah, siklus terbarukan dan regenerasi pendek, ramah lingkungan, dan energi hijau. Selain itu, memiliki porositas tinggi dan permukaan spesifik yang besar (Mo *et al.*, 2018). Limbah pertanian yang sudah digunakan sebagai penyerap logam dan antara lain: bonggol pisang kepok (Hafni, Zilfa and Suhaili, 2015), kulit pisang (Ali and Saeed, 2015), sekam padi (Saniyyah, Nubzah., 2014), biji kopi (Cerino-Córdova *et al.*, 2013), biji durian (Lestari *et al.*, 2015) dan ampas daun teh (Nurafriyanti, Prihatini and Syaughiah, 2017). Sedangkan adsorben dari limbah hewan seperti kulit udang (Rahmadani *et al.*, 2017), kulit telur dan membran kulit telur (Mittal *et al.*, 2016) serta bulu ayam (Suseno, Mahayana and Darmawan, 2016).

Ketapang (*Terminalia catappa L.*) sering dikenal dengan katapiang oleh orang Minang, Sumatera Barat adalah pohon yang banyak tumbuh di sekitar pantai, tepi-tepi jalan dan ditanam sebagai pohon peneduh di taman atau di sekitar kampus. Ketapang merupakan

tanaman yang multiguna mulai dari akar, batang, daun dan buahnya sudah banyak dimanfaatkan.

Daun ketapang banyak digunakan di dunia pengobatan seperti obat diabetes, antioksidan dan antiinflamasi (Mohamed El-Rafie and Abdel-Aziz Hamed, 2014), antibakteri (Tampemawa, Pelealu and Kandou, 2016), menekan kehilangan berat tulang, bahan kosmetik, penyerap logam, pembersih air dan obat diabetes. Biji ketapang sendiri bisa dimanfaatkan untuk pembuatan tepung pembuat kue, roti, mie, selai dan tempe dari ketapang. Minyak ketapang bisa digunakan dalam industri kosmetik dan sebagai biosel (Iha *et al.*, 2014). Sedangkan Cangkang buah ketapang biasanya langsung dibuang atau tidak dimanfaatkan.

Dalam studi literatur tentang penyerapan ion logam berat lebih banyak menggunakan daun ketapang (A. Enemose Edith and Osakwe, 2014), (Jadav, Maind and Bhalerao, 2015). Sedangkan cangkang ketapang sudah pernah dibuat karbon aktif untuk menyerap zat warna Metilen Blue (Saheeda, Adekola and Olatunji, 2016) namun masih mahal dengan pemanasan yang tinggi.

Karena itu penelitian ini mencoba memanfaatkan Cangkang buah Ketapang dan mencari efisiensi penyerapan optimum dari cangkang buah ketapang sebagai penyerap ion logam Cd(II), Pb(II) dan Cu(II) sehingga dapat dimanfaatkan untuk mengurangi limbah logam berat di perairan.

Biosorben yang berasal dari limbah pertanian umumnya mengandung lignin dan selulosa sebagai komponen dinding sel. Gugus hidroksil polar selulosa inilah yang berperan dalam reaksi kimia dan mengikat logam berat dari larutan. Selama biosorpsi juga diduga terjadi proses pertukaran ion dimana proton, alkali, alkali tanah, atau kation lain dari biomassa akan bertukar tempat dengan ion logam yang ada dalam larutan.

Efisiensi penyerapan ion logam oleh cangkang ketapang dihitung dengan rumus (Gao *et al.*, 2018) :

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

C_0 = Konsentrasi awal ion logam (mg/L)

C_e = Konsentrasi akhir ion logam (saat setimbang) (mg/L)

R % = Efisiensi penyerapan ion logam (%)

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Peralatan gelas / kaca seperti : labu ukur, pipet takar, pipet gondok, erlenmeyer, botol vial, corong dan kertas saring.
2. Alat Elektronik : (Siever) Pengayak ukuran 180 μ m, Timbangan analitis (Kern & Sohn GmbH), Rotary Shaker (Edmund Buhler 7400 Tubingen), pHmeter (Lovibond Senso Direct), Atomic Absorption Spectroscopy (AAS : Varian Spektra AA 240 Spectrometer), Fourier Transform Infra Red (Unican Mattson Mod 7000 using KBr pellets), Grinder (Christy Hunt), Oven Listrik (PT. Agro Tunas Teknik).
3. Cangkang buah ketapang.

Prosedur Kerja

Metoda yang dilakukan dalam penelitian ini adalah Biosorpsi dengan sistem Batch. Cangkang buah ketapang dikeringkan dengan suhu 60 °C selama 24 jam. Kemudian dihaluskan dengan grinder dan diayak dengan ukuran 180 µm. Sampel sebanyak 25 g direndam selama dua jam dalam 100 ml HNO₃ dengan konsentrasi 0,01M. Setelah itu dinetralkan dengan aquades, disaring, dikering-anginkan dan siap untuk dipakai. Larutan induk Cd(NO₃)₂ dan Pb(NO₃)₂, dan Cu(NO₃)₂ dengan konsentrasi 1000 mg/L diencerkan menjadi 100 mg/L lalu menjadi 10 mg/L.

Sebanyak 0,5 g biosorben Cangkang Buah Ketapang dimasukkan ke dalam 25 ml larutan logam dengan konsentrasi 10 mg/L. Kemudian pH larutan diatur dengan variasi pH 2, 3, 4, 5, 6 dan 7 dengan menambahkan HNO₃ 0.1 N, HCl 0.1 N dan penambahan buffer. Kemudian dishaker selama 90 menit dengan kecepatan 100 rpm. Setelah didapatkan kondisi penyerapan yang optimum pada pH tertentu, selanjutnya dilakukan percobaan untuk menentukan waktu kontak optimum penyerapan ion logam oleh cangkang buah ketapang. Masing-masing sebanyak 0,5 g cangkang buah ketapang dimasukkan ke dalam 7 buah erlenmeyer yang sudah berisi 25 ml larutan logam dengan konsentrasi 10 mg/L. Kemudian pH diatur sesuai dengan pH optimum yang sudah didapat dan dishaker dengan variasi waktu kontak yaitu 5, 15, 30, 45, 60, 75 dan 90 menit dengan kecepatan pengadukan 100 rpm. Selanjutnya larutan disaring, dan filtratnya diukur dengan AAS (Hevira, Munaf and Zein, 2015).

Penelitian dilakukan dengan sistem Batch di Laboratorium Kimia Analisis Lingkungan. Pengukuran AAS di Laboratorium Kopertis Padang.



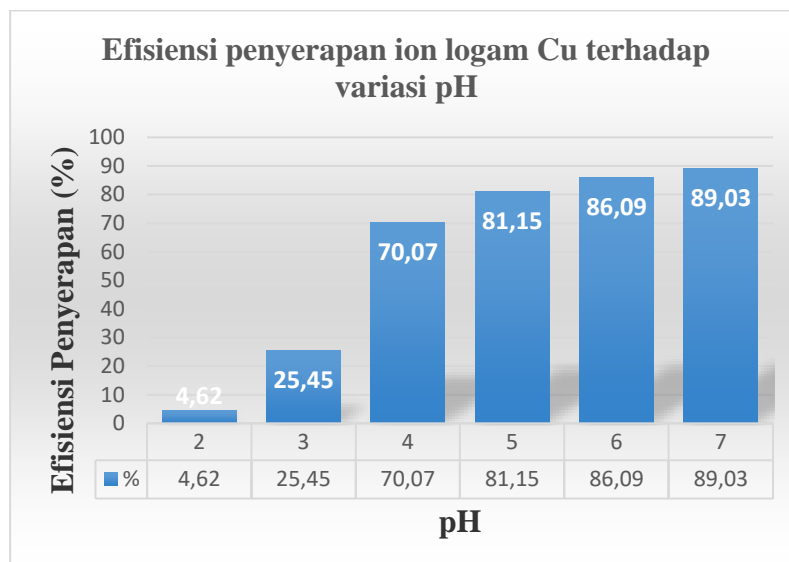
Gambar 1. Pohon ketapang (*Terminalia catappa* L.)

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Efisiensi Penyerapan ion logam terhadap Variasi pH

Penentuan pH merupakan suatu hal yang sangat penting dalam penyerapan ion logam, karena pH menentukan muatan permukaan adsorben dan tingkat ionisasi adsorbat dan spesi apa saja yang dapat terserap dalam adsorpsi tersebut. Nilai pH juga berhubungan dengan protonasi atau deprotonasi permukaan sisi aktif dari sorben yang mempengaruhi mempengaruhi kesetimbangan kimia, baik pada adsorbat maupun pada adsorben (Saniyyah, Nubzah., 2014)

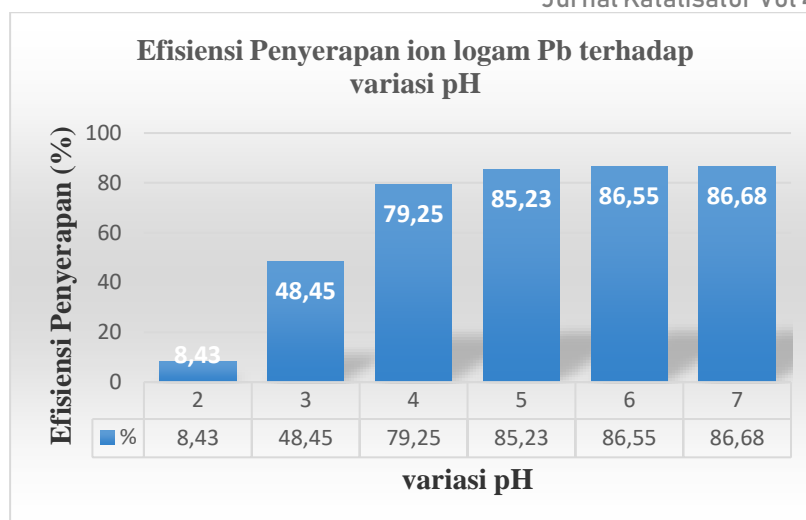
1.a. Efisiensi Penyerapan ion logam Cu(II) terhadap Variasi pH



Gambar 2. Efisiensi penyerapan ion logam Cu terhadap variasi pH

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa pada pH 2 efisiensi penyerapan ion logam Cu(II) masih kecil yaitu 4,62 %. Hal itu disebabkan karena ion logam harus berkompetisi dengan ion H^+ untuk berikatan dengan sisi aktif biosorben yang banyak terdisosiasi dalam keadaan asam. Kemudian di pH 3 efisiensi penyerapan mulai naik yaitu 25,45 % dan menanjak tajam di pH 4 yaitu 70,07%. Hal ini disebabkan karena berkurangnya kompetisi antara ion logam dengan ion H^+ terhadap sisi aktif biosorben. Sementara itu pada pH 5 sampai 7 efisiensi penyerapan mulai stabil. Namun jika pH sudah 7 atau basa, dikhawatirkan ion logam pada konsentrasi tinggi cenderung mengendap dengan ion OH^- sehingga dapat membentuk $Cu(OH)_2$ dan bukan dengan sisi aktif biosorben. Oleh karena itu Efisiensi penyerapan ion logam Cu(II) pada percobaan diatas secara optimal adalah pada pH 6 yaitu 86.09 %.

1.b. Efisiensi Penyerapan ion logam Pb(II) terhadap Variasi pH

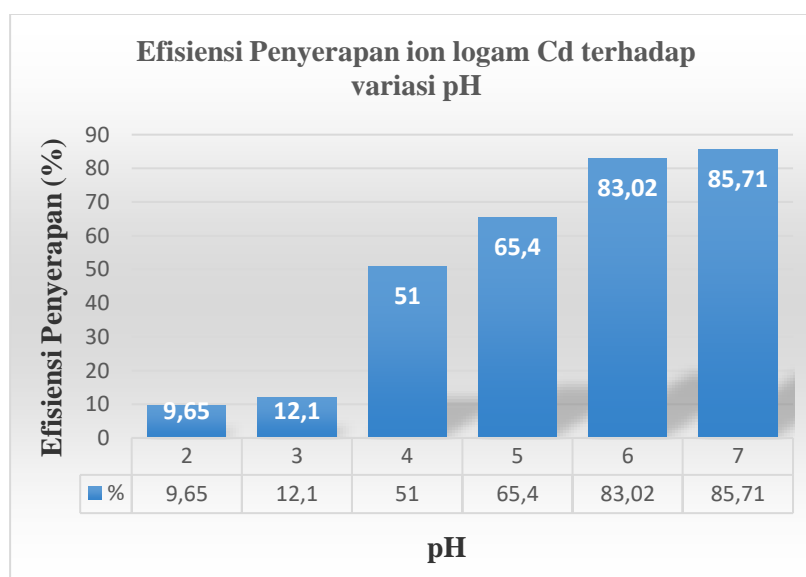


Gambar 3. Efisiensi penyerapan ion logam Pb terhadap variasi pH

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa pada pH 2 efisiensi penyerapan ion logam Pb(II) masih kecil yaitu 8,43%. Hal itu disebabkan karena ion logam harus berkompetisi dengan ion H^+ yang banyak terdisosiasi dalam keadaan asam. Kemudian efisiensi penyerapan mulai naik di pH 3 yaitu 48,45 % dan naik lagi di pH 4 yaitu 79,25%. Hal ini disebabkan karena berkurangnya konsentrasi ion H^+ dan digantikan oleh ion logam Pb(II) untuk berikatan dengan sisi aktif biosorben. Pada pH 5 sampai 7 efisiensi penyerapan mulai stabil. Namun jika pH sudah 7 atau basa, keberadaan ion OH^- justru akan membentuk endapan dengan ion Pb(II) menjadi $Pb(OH)_2$.

Pada percobaan diatas akhirnya diambil Efisiensi penyerapan ion logam Pb(II) secara optimal terjadi pada pH 6 yaitu 86.55 %.

1.c. Efisiensi Penyerapan ion logam Cd(II) terhadap Variasi pH



Gambar 4. Efisiensi penyerapan ion logam Cd terhadap variasi pH

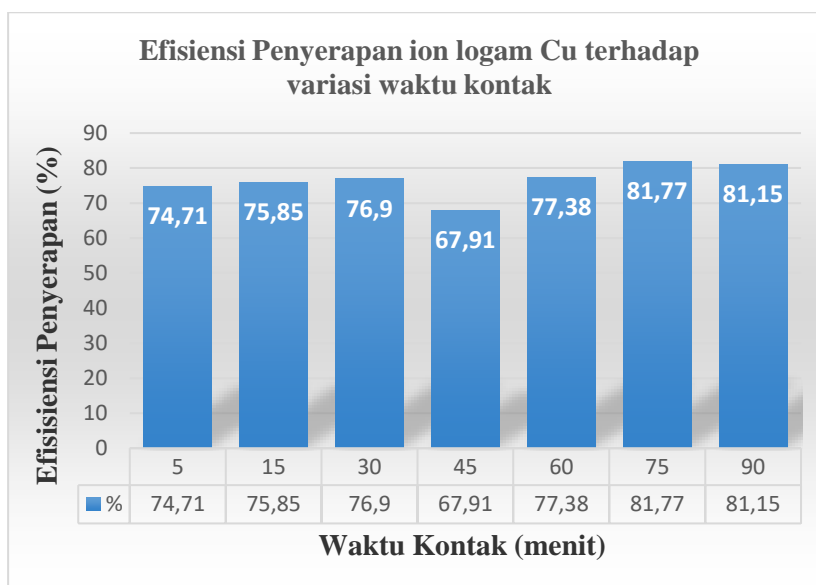
Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa pada pH 2 dan 3 efisiensi penyerapan ion logam Cd(II) masih kecil dan tidak begitu berbeda yaitu 9,65% dan 12,10%. Hal itu disebabkan karena ion logam harus berkompetisi dengan ion H^+ yang banyak terdisosiasi dalam keadaan asam. Kemudian efisiensi penyerapan mulai naik tajam di pH 4 yaitu 51,00% dan naik sedikit di pH 5 yaitu 65,40%. Hal ini disebabkan karena berkurangnya konsentrasi ion H^+ dan digantikan oleh ion logam Cd(II) untuk berikatan dengan sisi aktif biosorben. Pada pH 6 sampai 7, kenaikan efisiensi penyerapannya tidak begitu signifikan. Sehingga efisiensi penyerapan ion logam Cd(II) secara optimal terjadi pada pH 6 yaitu 83,02 %. Penyerapan menggunakan limbah biomassa anaerob terhadap ion Pb(II) dan Cd(II) juga terjadi pada pH 6 (Sulaymon, Ebrahim and Mohammed-Ridha, 2013).

2. Efisiensi Penyerapan ion logam terhadap variasi Waktu Kontak

Lamanya waktu kontak antara ion logam dengan cangkang buah ketapang dilakukan untuk mengetahui berapa lama waktu kontak optimal bagi cangkang buah ketapang untuk menyerap masing-masing ion logam. Dan mendapatkan efisiensi penyerapan optimum. Pada tahap ini dilakukan variasi waktu kontak antara cangkang buah ketapang dengan ion logam dari 5 menit sampai 90 menit dengan pH 6 pada larutan logam.

Efisiensi penyerapan optimum dari masing-masing ion logam akan berbeda-beda. Pada permulaan penyerapan, sejumlah besar sisi aktif biosorben yang kosong akan terisi dengan ion logam. Semakin lama waktu kontak biosorben dengan ion logam, maka akan terbentuk ikatan ion logam dengan gugus fungsi di permukaan biosorben. Sampai pada waktu tertentu yang melewati kesetimbangan, maka terjadilah kejenuhan di permukaan biosorben. Jika waktu kontak berlangsung lebih lama lagi, maka dikhawatirkan terjadi benturan sesama biosorben yang menyebabkan terjadinya desorpsi yaitu lepasnya ikatan antara ion logam dengan biosorben.

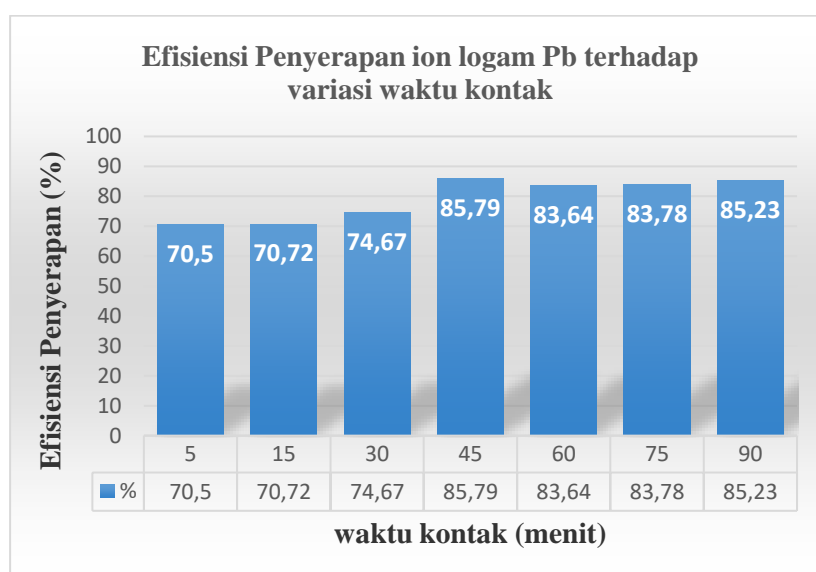
2.a. Efisiensi Penyerapan ion logam Cu (II) terhadap variasi Waktu Kontak



Gambar 5. Efisiensi penyerapan ion logam Cu terhadap variasi waktu kontak

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa, kenaikan efisiensi penyerapan ion logam tidak begitu signifikan antara waktu kontak 5 menit sampai 30 menit. Namun pada waktu kontak antara ion logam dan cangkang buah ketapang dilakukan selama 45 menit, dapat dilihat bahwa efisiensi penyerapannya mulai turun. Pada waktu kontak 60 menit sampai 70 menit naik lagi dan turun di waktu kontak antara ion logam dan cangkang buah ketapang pada pengontakan 90 menit. Dari percobaan diatas dapat diambil kesimpulan bahwa waktu kontak optimum antara ion logam Cu(II) dengan cangkang buah ketapang adalah 75 menit dengan efisiensi penyerapan 81,77%.

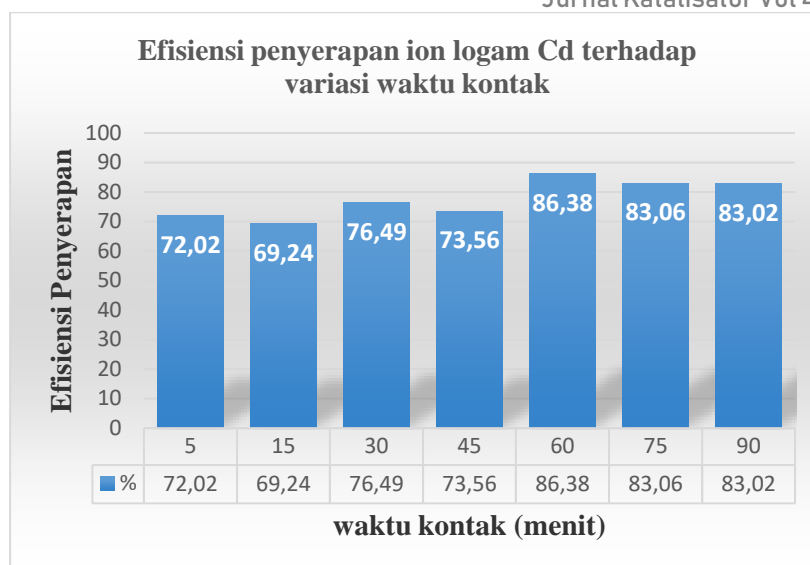
2.b. Efisiensi Penyerapan ion logam Pb(II) terhadap variasi Waktu Kontak



Gambar 6. Efisiensi penyerapan ion logam Pb terhadap variasi waktu kontak

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa, kenaikan efisiensi penyerapan ion logam Pb(II) tidak begitu signifikan antara waktu kontak 5 menit sampai 30 menit. Namun pada waktu kontak antara ion logam dan cangkang buah ketapang dilakukan selama 45 menit lebih tinggi yaitu 85,79% dan menurun di waktu kontak 60 menit dan 75 menit, namun tidak begitu signifikan di waktu kontak 90 menit. Dari sini dapat diambil kesimpulan bahwa waktu kontak optimum antara ion logam Pb(II) dengan cangkang buah ketapang adalah 45 menit dengan efisiensi penyerapan 85,79%.

2.c. Efisiensi Penyerapan ion logam Cd(II) terhadap variasi Waktu Kontak



Gambar 7. Efisiensi penyerapan ion logam Cd terhadap variasi waktu kontak

Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa, kenaikan efisiensi penyerapan ion logam Cd (II) tidak stabil antara waktu kontak 5 menit sampai 45 menit. Namun pada waktu kontak antara ion logam dan cangkang buah ketapang dilakukan selama 60 menit lebih tinggi yaitu 86,38% dan menurun di waktu kontak 75 menit dan 90 menit. Dari sini dapat disimpulkan bahwa waktu kontak optimum antara ion logam Cd(II) dengan cangkang buah ketapang adalah 60 menit dengan efisiensi penyerapan 86,38%.

Secara keseluruhan waktu kontak antara ion logam Pb(II) dengan CBK lebih cepat daripada ion Cd(II) dan Cu(II). Hal ini disebabkan karena ion Pb(II) mempunyai jari-jari ion yang lebih besar yaitu $1,75 \text{ \AA}$, sedangkan jari-jari ion Cd(II) dan Cu(II) adalah $1,54 \text{ \AA}$ dan $1,28 \text{ \AA}$. Dengan jari-jari ion yang lebih besar, maka ion Pb(II) lebih lebih elektropositif dan lebih cepat berikatan dengan sisi aktif dengan efisiensi penyerapan 85,79%. Waktu kontak optimum untuk ion logam Pb(II) 45 menit adalah 45 menit dengan efisiensi penyerapan 85,79 %, Cd(II) adalah 60 menit dengan efisiensi penyerapan 86,38 %, sedangkan ion Cu(II) membutuhkan waktu yang lebih lama yaitu 75 menit dengan efisiensi penyerapan 81,77 %.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan didapatkan bahwa Cangkang Buah Ketapang dapat digunakan untuk menyerap ion logam Cd(II), Pb(II) dan Cu(II). Serbuk cangkang buah ketapang yang diaktivasi dengan HNO_3 bertujuan untuk menambah kemampuan adsorben dalam menyerap ion logam.

Efisiensi penyerapan ion logam Cd(II) akan optimum pada pH 5 dengan waktu kontak 60 menit. Sementara itu untuk penyerapan ion logam Pb(II), efisiensi penyerapan oleh cangkang buha ketapang optimum pada pH 6 dengan waktu kontak 45 menit. Sedangkan untuk penyerapan ion logam Cu(II), efisiensi penyerapan oleh cangkang buah ketapang optimum pada pH 6 dan waktu kontak 75 menit.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Dosen Pembimbing Almarhum Edison Munaf, Ibu Rahmiana Zein, teknisi Laboratorium Kimia Universitas Andalas, Kopertis X Padang dan Civitas Akademika Universitas Mohammad Natsir dan semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Enemose Edith and Osakwe, S. A. (2014) 'Studies on the effect of pH on the sorption of Al³⁺ and Cr⁶⁺ Ions from aqueous solutions by Almond Tree (*Terminalia catappa* L.) Biomass', *IOSR Journal of Applied Chemistry*, 7(5), pp. 18–23.
- Ali, A. and Saeed, K. (2015) 'Decontamination of Cr(VI) and Mn(II) from aqueous media by untreated and chemically treated banana peel: a comparative study', *Desalination and Water Treatment*, 53(13), pp. 3586–3591. doi: 10.1080/19443994.2013.876669.
- Cerino-Córdova, F. J. *et al.* (2013) 'Biosorption of Cu(II) and Pb(II) from aqueous solutions by chemically modified spent coffee grains', *Int. J. Environ. Sci. Technol*, 10, pp. 611–622. doi: 10.1007/s13762-013-0198-z.
- Gao, X. *et al.* (2018) 'Removal of heavy metal and sulfate ions by cellulose derivative-based biosorbents', *Cellulose*. Springer Netherlands, 25(4), pp. 2531–2545. doi: 10.1007/s10570-018-1690-x.
- Gautam, R. K. *et al.* (2014) 'Biomass-derived biosorbents for metal ions sequestration: Adsorbent modification and activation methods and adsorbent regeneration', *Journal of Environmental Chemical Engineering*. Elsevier B.V., 2(1), pp. 239–259. doi: 10.1016/j.jece.2013.12.019.
- Hafni, M. S., Zilfa and Suhaili, R. (2015) 'Biosorption metal ion of Pb (II) and Cd (II) using kepok banana weevil powder (*Musa balbiana* colla)', *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7(9), pp. 135–138.
- Hevira, L., Munaf, E. and Zein, R. (2015) 'The use of *Terminalia catappa* L. fruit shell as biosorbent for the removal of Pb(II), Cd(II) and Cu(II) ion in liquid waste', *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7(10), pp. 79–89.
- Iha, O. K. *et al.* (2014) 'Potential application of *Terminalia catappa* L. and *Carapa guianensis* oils for biofuel production: Physical-chemical properties of neat vegetable oils, their methyl-esters and bio-oils (hydrocarbons)', *Industrial Crops and Products*. Elsevier B.V., 52, pp. 95–98. doi: 10.1016/j.indcrop.2013.10.001.
- Jadav, J. N., Maind, S. D. and Bhalerao, S. A. (2015) 'Competitive Biosorption of Lead (II) Ions from Aqueous Solutions onto *Terminalia Catappa* L. Leafes as a cost effective biosorbent.', 3(1), p. 2015.
- Kampalanonwat, P. and Supaphol, P. (2014) 'The study of competitive adsorption of heavy metal ions from aqueous solution by aminated polyacrylonitrile nanofiber mats', *Energy Procedia*. Elsevier B.V., 56(C), pp. 142–151. doi: 10.1016/j.egypro.2014.07.142.
- Lestari, I. *et al.* (2015) 'Equilibrium and kinetics modeling biosorption of Zn(II) in aqueous solution using durian (*durio zibethinus*) seed as low-cost biosorbent', *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7(9), pp. 111–122.

- Mittal, A. *et al.* (2016) 'Applications of egg shell and egg shell membrane as adsorbents: A review', *Journal of Molecular Liquids*. Elsevier B.V., 223, pp. 376–387. doi: 10.1016/j.molliq.2016.08.065.
- Mo, J. *et al.* (2018) 'A review on agro-industrial waste (AIW) derived adsorbents for water and wastewater treatment', *Journal of Environmental Management*. Elsevier, 227(July), pp. 395–405. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.08.069.
- Mohamed El-Rafie, H. and Abdel-Aziz Hamed, M. (2014) 'Antioxidant and anti-inflammatory activities of silver nanoparticles biosynthesized from aqueous leaves extracts of four Terminalia species', *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 5(3). doi: 10.1088/2043-6262/5/3/035008.
- Nurafriyanti, Prihatini, N. S. and Syauqiah, I. (2017) 'Pengaruh variasi pH dan berat total adsorben dalam pengurangan konsentrasi Cr total pada limbah artifisial menggunakan adsorben ampas daun teh', *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 3(1), pp. 56–65.
- Rahmadani, Y. *et al.* (2017) 'Adsorption Isotherms of lead ion by chitosan from shrimp shell', 2(1), pp. 29–38.
- Saheeda, I. O., Adekola, F. A. and Olatunji, G. A. (2016) 'Adsorption of p-Phenylenediamine onto activated carbon prepared from Jatropha curcas and Terminalia catappa seed coats.', *Jordan Journal of Chemistry*, 11(1), pp. 50–67. doi: 10.18596/jotcsa.287337.
- Saniyyah, Nubzah., N. dan H. (2014) 'Sekam Padi untuk Menyerap Ion Logam Tembaga dan Timbal dalam Air Limbah', *Valensi*, 4(1), pp. 36–44.
- Singh, N. B. *et al.* (2018) 'Water purification by using Adsorbents: A Review', *Environmental Technology and Innovation*. Elsevier B.V., 11, pp. 187–240. doi: 10.1016/j.eti.2018.05.006.
- Sulaymon, A. H., Ebrahim, S. E. and Mohammed-Ridha, M. J. (2013) 'Equilibrium, kinetic, and thermodynamic biosorption of Pb(II), Cr(III), and Cd(II) ions by dead anaerobic biomass from synthetic wastewater', *Environmental Science and Pollution Research*, 20(1), pp. 175–187. doi: 10.1007/s11356-012-0854-8.
- Suseno, Mahayana, A. and Darmawan, P. (2016) 'Adsorpsi logam kromium menggunakan adsorben bulu ayam teraktivasi hidrogen peroksida', pp. 177–181.
- Tampemawa, P. V, Pelealu, J. J. and Kandou, F. E. (2016) 'Uji efektivitas ekstrak daun ketapang (Terminalia catappa L.) terhadap bakteri Bacillus amyloliquefaciens', *PHARMACON Jurnal Ilmiah Farmasi – UNSRAT*, 5(1), pp. 2302–2493.