

Artikel Riset

Pengolahan Logam Pb(II) pada Limbah Cair Menggunakan Metode Kombinasi Elektrokoagulasi–Adsorpsi Karbon Aktif

Treatment of Pb(II) Metal in Wastewater Using Combination Method of Electrocoagulation – Activated Carbon Adsorption

Adhi Setiawan^{1*}, Tarikh Azis Ramadani¹, Rizka Lutfita Hanastasia¹

¹Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

* Penulis korespondensi, e-mail: adhstw23@gmail.com

Abstrak

Logam berat Pb(II) merupakan jenis polutan yang menyebabkan pencemaran air serta berdampak terhadap kerusakan ekosistem. Limbah logam Pb(II) bersifat racun serta biomagnifikasi sehingga berdampak negatif terhadap kesehatan manusia. Kombinasi proses elektrokoagulasi dan adsorpsi merupakan salah satu alternatif yang efisien serta efektif dalam menghilangkan logam Pb(II) di dalam air limbah. Pada penelitian ini, proses pengolahan air limbah dilakukan secara batch menggunakan elektrokoagulasi dengan elektroda aluminium dan dilanjutkan dengan adsorpsi karbon aktif. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh tegangan elektrokoagulasi, waktu kontak adsorpsi, dan dosis adsorben terhadap penurunan konsentrasi Pb(II). Proses elektrokoagulasi dan adsorpsi menggunakan variasi tegangan (10, 20, 30 V), waktu adsorpsi (15, 30, 45 menit), serta dosis adsorben (2,5, 3,3, 4,1, 5 g/L). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi elektrokoagulasi dan adsorpsi dapat menurunkan konsentrasi Pb(II) dalam air limbah secara signifikan. Peningkatan tegangan listrik, waktu adsorpsi, dan dosis adsorben menyebabkan meningkatnya efisiensi penyisihan Pb(II). Efisiensi penyisihan logam Pb(II) maksimal diperoleh pada kondisi tegangan 30 V, waktu adsorpsi 45 menit, serta dosis adsorben 5 g/L. Pada kondisi tersebut diperoleh efisiensi penyisihan Pb(II) sebesar 96,01%.

Kata Kunci: adsorpsi; elektrokoagulasi; limbah biji alpukat; limbah logam berat timbal

Abstract

Metal Pb(II) is one of the pollutants that causes water pollution and impacts ecosystem damage. Pb(II) metal waste is toxic and biomagnification, so it harms human health. The combination of electrocoagulation and adsorption processes is an efficient and effective alternative in removing Pb(II) metal in wastewater. In this study, the wastewater treatment process is carried out in batch using electrocoagulation with aluminum electrodes and followed by activated carbon adsorption. This research aimed to analyze the effect of electrical voltage in electrocoagulation, adsorption time, and adsorbent dose on reducing Pb(II) concentration. Electrocoagulation and adsorption processes were used variations of electrical voltage (10, 20, 30 V), adsorption times (15, 30, 45 minutes), and adsorbent doses (2,5, 3,3, 4,1, 5 g/L). The research showed that the combination of electrocoagulation and adsorption could significantly reduce Pb(II) concentration in wastewater. Increased electrical voltage, adsorption time, and adsorbent dose lead to increased Pb(II). The maximum removal efficiency of Pb(II) metal was obtained under voltage

of 30 V, 45 minutes adsorption time, and 5 g/L adsorbent dose. This condition resulted in removal efficiency Pb(II) of 96,01%.

Keywords: adsorption; avocado seed waste; electrocoagulation; lead metal waste

1. Pendahuluan

Sektor industri dan limbah merupakan dua sisi yang tidak dapat dipisahkan seiring dengan perkembangan teknologi. Limbah yang berupa senyawa organik maupun senyawa anorganik yang mengakibatkan pencemaran pada lingkungan jika masuk ke badan air. Logam berat seperti logam Pb(II) merupakan salah satu contoh dari limbah yang berbentuk senyawa anorganik. Limbah logam berat Pb(II) cenderung tidak mudah untuk didegradasi dan bersifat biomagnifikasi, yaitu dapat terakumulasi dalam jaringan tubuh organisme dalam jangka waktu yang lama (Wardalia, 2016). Konsentrasi logam berat Pb(II) yang diperbolehkan dalam badan air sebesar 0,01 mg/L untuk air golongan I dan 1 mg/L untuk air golongan II berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 5 tahun 2014 mengenai baku mutu air limbah. Pencemaran logam berat Pb(II) dapat mengakibatkan risiko pencemaran lingkungan dan bersifat racun jika logam berat Pb(II) tidak diolah dengan baik. Paparan logam Pb(II) memiliki berbagai efek buruk pada kesehatan manusia misalnya dapat menyebabkan masalah pada sistem saraf pusat dan perifer. Efek gangguan tersebut lebih besar terutama pada janin, wanita hamil, dan anak kecil (Vasudevan dkk., 2012). Proses pengolahan air limbah diperlukan untuk menurunkan konsentrasi logam berat sesuai dengan standar baku mutu yang telah ditetapkan sehingga dapat menurunkan potensi bahaya akibat pencemaran logam berat.

Beberapa metode telah dikembangkan untuk menghilangkan kandungan logam berat Pb(II) di dalam air limbah diantaranya presipitasi kimia, elektrokoagulasi, koagulasi-flokulasi, adsorpsi, dan pertukaran ion (Setiawan dkk., 2019). Di antara beberapa metode yang telah disebutkan di atas, elektrokoagulasi dan adsorpsi telah menjadi banyak perhatian di kalangan peneliti khususnya di bidang pengolahan air limbah selama beberapa dekade terakhir. Kelebihan dari elektrokoagulasi diantaranya mudah dioperasikan, sedimentasi yang cepat, serta produksi lumpur yang rendah. Adsorpsi telah dianggap sebagai teknik yang ekonomis untuk pengolahan air limbah (Myllymäki dkk., 2018). Bahkan, adsorben seperti karbon aktif dapat dibuat dari bahan yang relatif murah seperti batu bara dan limbah material biomassa. Proses penyisihan logam berat Pb(II) seringkali dilakukan hanya menggunakan satu proses elektrokoagulasi atau adsorpsi. Padahal dengan menggabungkan elektrokoagulasi dan adsorpsi dapat menghasilkan efisiensi penyisihan logam berat Pb(II) yang lebih tinggi dibandingkan hanya menggunakan satu dari proses pengolahan.

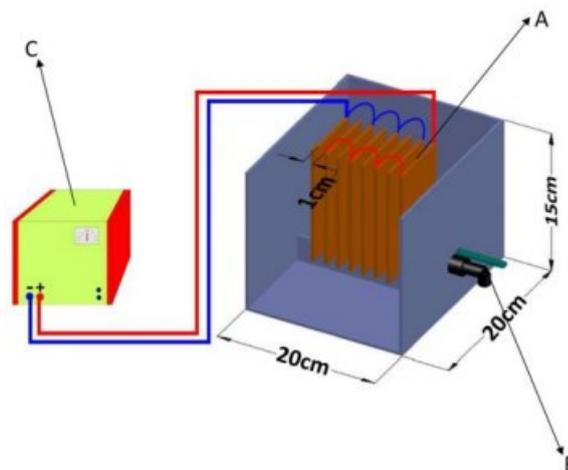
Ganesan dkk. (2013) menemukan bahwa logam mangan mempunyai efisiensi penyisihan optimum sebesar 97,2% ketika menggunakan proses elektrokoagulasi dengan kombinasi elektroda magnesium-stainless steel. Fibrianti dan Azizah (2015) mendapatkan efisiensi maksimal pengolahan limbah berat Pb(II) sebesar 75,84% dengan proses elektrokoagulasi dengan kombinasi elektroda Al-Al. didapatkan penurunan kadar logam berat Pb(II) sebesar 76% menggunakan proses elektrokoagulasi pada kuat arus 1,0 Ampere. Silika kuarsa merupakan salah satu contoh dari adsorben yang digunakan pada proses adsorpsi. Penggunaan silika kuarsa membutuhkan energi yang besar dan menimbulkan permasalahan lingkungan (Oleszczuk, 2003). Limbah biji alpukat merupakan salah satu alternatif bahan yang dapat dimanfaatkan lagi untuk menjadi karbon aktif. Biji alpukat memiliki kandungan senyawa organik berupa amilosa sebesar 43,4% dan amilopektin 37,7%. Kandungan amilosa dan amilopektin dalam biji alpukat dapat dirubah menjadi kadar pati sebesar 80,1%. Tingginya kadar pati sebanding tingginya kadar karbon dalam suatu zat (Lubis, 2008). Myllymäki dkk. (2018) melakukan metode kombinasi elektrokoagulasi-adsorpsi dengan karbon aktif yang terbuat biomassa berasal sisa lignoselulosa untuk menurunkan total karbon. Metode kombinasi elektrokoagulasi-adsorpsi menghasilkan efisiensi penurunan total karbon sebesar 95%. Ouaisa dkk., (2012) melaporkan bahwa proses elektrokoagulasi-adsorpsi berhasil menurunkan kandungan logam berat kromium sebesar 97% pada range pH 3 sampai dengan 6.

Beberapa peneliti sebelumnya pada umumnya membahas tentang penyisihan logam Pb(II) menggunakan proses elektrokoagulasi. Bahkan, informasi penggunaan kombinasi elektrokoagulasi dan adsorpsi masih terbatas pada penyisihan total karbon di dalam air limbah. Penggunaan metode kombinasi elektrokoagulasi dilanjutkan adsorpsi karbon aktif terhadap penyisihan logam berat Pb(II) belum dijelaskan secara mendetail pada penelitian sebelumnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi tegangan elektrokoagulasi, waktu kontak adsorpsi, dan dosis adsorben terhadap penurunan konsentrasi logam berat Pb(II). Proses elektrokoagulasi menggunakan elektroda aluminium sedangkan adsorben karbon aktif pada penelitian ini disintesis dari limbah biji alpukat.

2. Metode Penelitian

2.1. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain padatan $Pb(NO_3)_2$ (Meck), H_3PO_4 30% (SAP chemicals), Biji alpukat, dan aquadest. Penelitian ini menggunakan peralatan antara lain reaktor elektrokoagulasi, furnace, oven, Scanning Electron Microscope (SEM) (Inspect S50), Fourier Transform Infrared (FTIR) (Thermo Scientific Nicolet iS10), perangkat Atomic Adsorption Spectrophotometry (AAS). Reaktor elektrokoagulasi dari bahan akrilik berdimensi 20 cm x 20 cm x 15 cm serta dilengkapi 4 pasang elektroda yang terdiri dari katoda dan anoda aluminium dengan luas 200 cm². Jarak antar elektroda sebesar 1 cm dengan desain rangkaian monopolar. Desain reaktor elektrokoagulasi dapat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Reaktor elektokoagulasi

Keterangan:

A: Pelat elektroda Al

B: Kran effluent

C: DC power supply

2.2. Pembuatan karbon aktif

Proses pembuatan karbon aktif terdiri dari tiga tahapan antara lain preparasi biji alpukat, proses karbonasi biji alpukat, dan aktivasi. Pada tahap preparasi sebanyak 1 kg biji alpukat dibersihkan, dipotong, serta selanjutnya dicuci menggunakan air. Biji alpukat yang telah bersih selanjutnya dikeringkan di dalam oven pada suhu 150 °C selama 24 jam. Biji alpukat selanjutnya dikarbonasi di dalam furnace pada suhu 400 °C selama 2 jam. Karbon biji alpukat selanjutnya dihancurkan dengan mortar dan diayak dengan ayakan 60 mesh agar diperoleh ukuran yang homogen. Karbon yang telah diayak selanjutnya diaktifasi menggunakan 1 L larutan H_3PO_4 30%. Proses perendaman karbon biji alpukat dilakukan selama 24 jam pada suhu normal. Karbon yang telah diaktifasi selanjutnya dicuci menggunakan aquadest sampai dengan pH nya netral dan dikeringkan di dalam oven pada suhu 115 °C selama 2 jam.

2.3. Proses elektrokoagulasi-adsorpsi limbah

Reaktor elektrokoagulasi diisi dengan air limbah artifisial Pb(II) dengan konsentrasi 15 ppm dengan volume larutan 4 L. Limbah tersebut diolah dengan proses elektrokoagulasi secara *batch* pada variasi tegangan 10 volt, 20 volt dan 30 volt selama 30 menit. Air limbah yang berada dalam reaktor dialirkan keluar melalui kran menuju gelas beaker lalu disaring menggunakan kertas saring. *Effluent* hasil elektrokoagulasi tersebut selanjutnya diolah kembali dengan proses adsorpsi disertai proses pengadukan. Proses adsorpsi berjalan dengan variasi waktu kontak sebesar 15 menit, 30 menit, dan 45 menit yang dikombinasikan dengan variasi dosis adsorben sebesar 2,5; 3,3; 4,1; dan 5 g/L.

2.4. Analisis karakteristik karbon aktif

Morfologi karbon aktif sebelum dan setelah proses aktivasi dianalisis menggunakan metode SEM. Struktur kimia karbon aktif sebelum dan setelah dianalisis menggunakan metode FTIR pada panjang gelombang 4000–400 cm⁻¹. Kadar air, karbon terikat, abu, dan daya serap iodin dianalisis menggunakan metode gravimetri berdasarkan SNI 06–3730–1995.

2.5. Analisis air limbah

Kadar Pb(II) sebelum dan setelah proses elektrokoagulasi-adsorpsi dianalisis menggunakan metode *Atomic Adsorption Spectrophotometry* (AAS). Efisiensi penyisihan logam berat Pb(II) dihitung menggunakan persamaan (1) berikut:

$$\text{Efisiensi Penghilangan} = \frac{\text{Konsentrasi awal} - \text{konsentrasi akhir}}{\text{Konsentrasi awal}} \times 100\% \quad (1)$$

3. Hasil dan Pembahasan

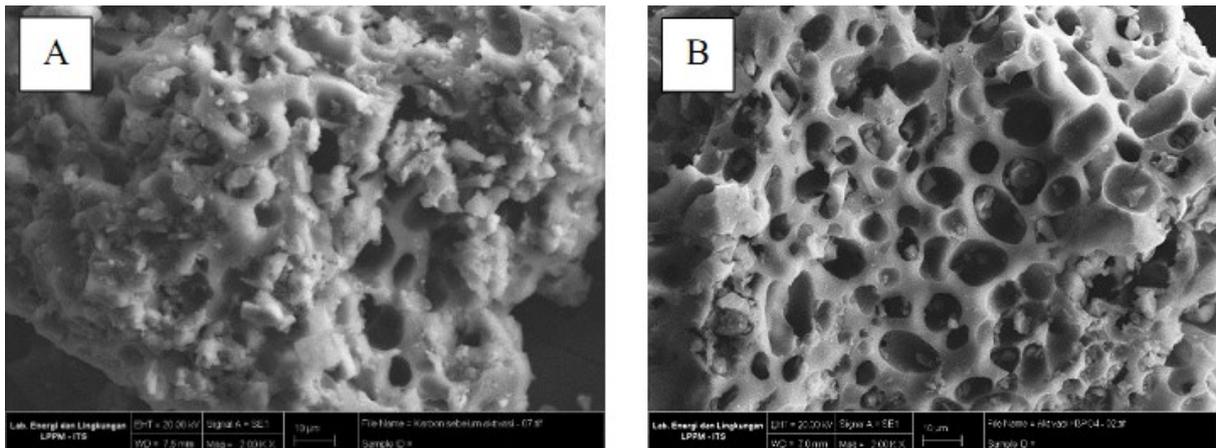
3.1. Karakteristik karbon aktif

Pengujian karakteristik karbon aktif yang meliputi kadar air, karbon terikat, abu, dan daya serap iodin digunakan untuk mengetahui kualitas karbon aktif yang dihasilkan. Hasil parameter kadar air, karbon terikat, abu, dan daya serap iodin disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian spesifikasi karbon aktif

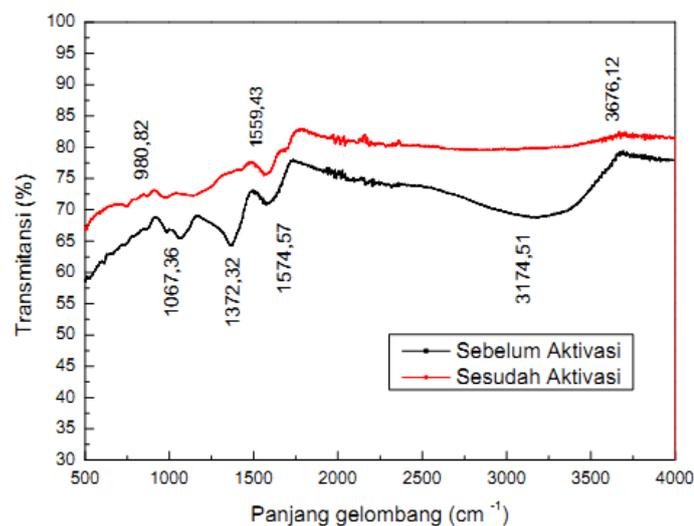
Parameter	Satuan	Hasil Analisis	Standar
Kadar air	%	5,62	Maks. 15
Kadar karbon terikat	%	66,8	Min. 65
Kadar abu	%	4,14	Maks. 10
Daya serap iodin	mg/g	547,88	Min. 750

Tabel. 1 menunjukkan bahwa karbon aktif yang disintesis menggunakan biji alpukat memiliki spesifikasi kadar air, karbon terikat, dan abu sesuai dengan SNI 06–3730–1995. Parameter daya serap karbon aktif terhadap iodin masih lebih rendah dibandingkan dengan SNI 06–3730–1995. Penggunaan aktivator H₃PO₄ dapat menghasilkan kadar air pada karbon aktif yang relatif rendah. Hal ini disebabkan H₃PO₄ bersifat higroskopis. Terikatnya air oleh aktivator dapat mengarah pada pembentukan ukuran pori karbon aktif semakin besar (Erawati dan Fernando, 2018). Gambar 1 menunjukkan hasil SEM dari karbon biji alpukat sebelum dan setelah aktivasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran pori karbon yang telah teraktivasi lebih besar dibandingkan dengan sebelum aktivasi. Pori karbon tanpa proses aktivasi cenderung tertutup oleh komponen ter serta senyawa pengotor lain berupa komponen abu, nitrogen, dan sulfur (Verayana dkk., 2018). Karbon aktif teraktivasi H₃PO₄ memiliki pori-pori yang terbentuk lebih banyak dan membentuk rongga. Pembentukan dan pembesaran pori disebabkan oleh penguapan komponen yang terdegradasi dan lepasnya zat terbang. ukuran pori karbon aktif biji alpukat sebelum aktivasi 8 µm dan ukuran pori karbon sesudah aktivasi menggunakan H₃PO₄ menjadi 10 µm. Hal ini mendukung dapat memperlihatkan bahwa sesudah aktivasi pori-pori lebih terbuka.



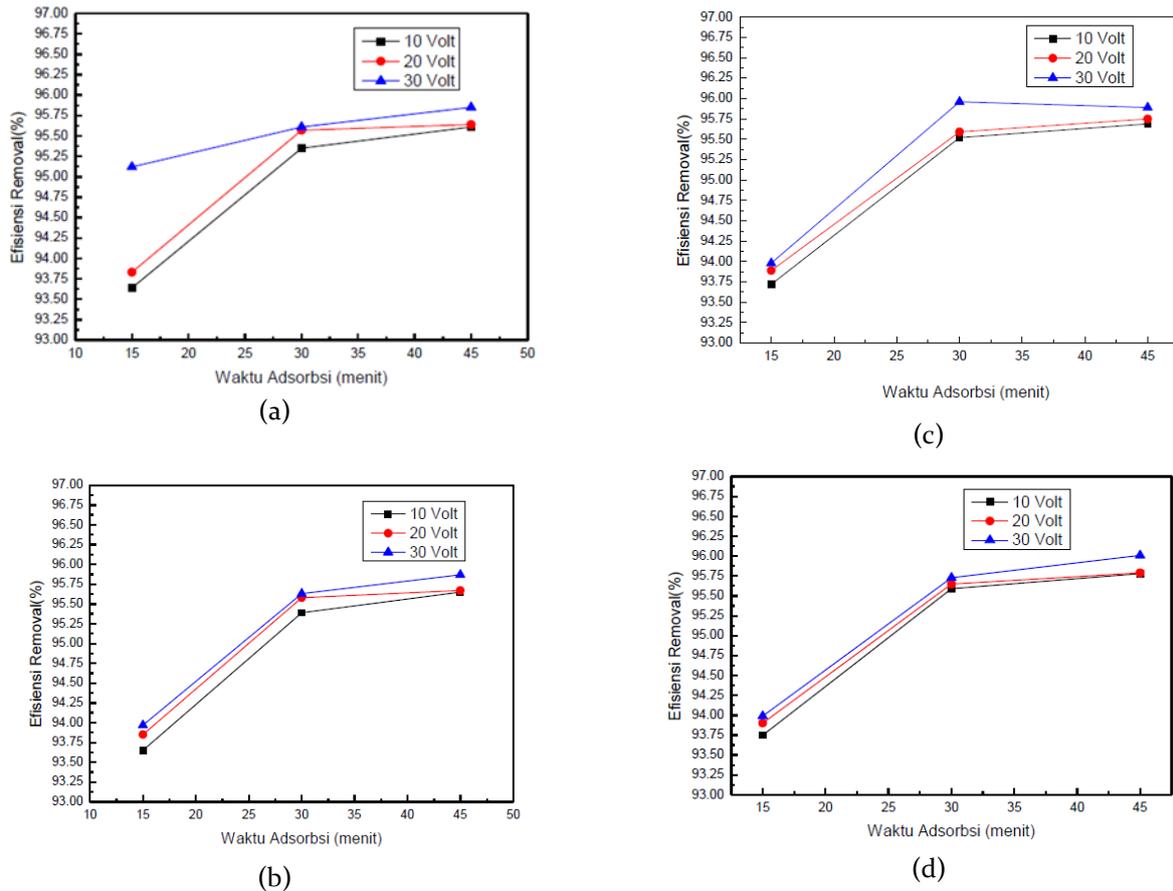
Gambar 1. Morfologi karbon aktif sebelum aktivasi (a) dan setelah aktivasi (b)

Gambar 2. Menunjukkan spektra FTIR sebelum dan setelah proses aktivasi menggunakan H_3PO_4 . Hasil identifikasi sebelum aktivasi menunjukkan pita serapan di daerah $1067,36\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi C-O. Pita serapan $1372,32\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya C-N. Pita serapan di daerah $1574,57\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi C=C dan pita serapan $3174,51\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi C-H. Hasil identifikasi setelah aktivasi menunjukkan bahwa terbentuk bilangan gelombang pada rentang panjang gelombang $980,82\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi C-O (Apriliyani dkk., 2010). Pada panjang gelombang $1559,43\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi dari gugus C=C, pada panjang gelombang $1559,43\text{ cm}^{-1}$ menyatakan bahwa terdapat gugus C=C. Pada panjang gelombang $3676,12\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi ulur dari gugus OH-. Gugus ikatan OH dan C-O menunjukkan karbon aktif yang dihasilkan cenderung bersifat lebih polar sehingga dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi pada karbon aktif (Sandi dan Astuti, 2014).



Gambar 2. Spektra FTIR karbon aktif sebelum dan setelah aktivasi

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan variasi tegangan elektrokoagulasi, waktu kontak adsorpsi dan dosis adsorben digunakan untuk mengetahui penurunan konsentrasi logam berat Pb. Gambar 3 menunjukkan pengaruh waktu adsorpsi, tegangan, dan dosis adsorben terhadap efisiensi penyisihan logam Pb dengan metode kombinasi elektrokoagulasi dan adsorpsi.



Gambar 3. Pengaruh waktu adsorpsi, tegangan dan dosis adsorben 2,5 g/L (a), 3,3 g/L(b), 4,1 g/L (c) dan 5,0 g/L (d) terhadap efisiensi penyisihan Pb(II)

Nilai efisiensi penyisihan logam berat Pb(II) juga cenderung naik dengan peningkatan nilai tegangan listrik. Hal tersebut berhubungan dengan peningkatan tegangan akan menyebabkan naiknya arus pada proses elektrokoagulasi, karena arus berbanding lurus dengan tegangan sesuai dengan hukum ohm, yaitu $I=V/R$. Peningkatan arus akan berakibat pada kenaikan oksidasi elektroda aluminium berdasarkan Hukum Faraday I yaitu massa zat yang dihasilkan dielektroda selama proses elektrolisis akan berbanding lurus dengan banyaknya elektron yang diberikan pada elektroda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai tegangan listrik yang digunakan pada proses elektrokoagulasi maka jumlah aluminium yang teroksidasi menjadi meningkat. Aluminium yang teroksidasi selanjutnya membentuk $Al(OH)_3$. Senyawa tersebut membentuk *flocs* yang memiliki luas permukaan yang tinggi. *Flocs* yang terbentuk akan mengadsorpsi senyawa organik dan logam berat yang terkandung di dalam air limbah. Hal tersebut mengakibatkan logam berat Pb(II) dalam air limbah yang tersisihkan akan semakin banyak (Takdastan dkk., 2014). Hasil penelitian yang serupa telah dilaporkan oleh Bazrafshan dkk. (2012) yang menggunakan elektrokoagulasi dengan elektroda Al untuk menysisihkan komponen florida di dalam air limbah. Peningkatan tegangan pada interval 10–40 V cenderung meningkatkan efisiensi penyisihan florida. Pada kondisi tegangan 40 V, pH 10, dan waktu reaksi 60 menit diperoleh efisiensi penyisihan maksimal dari florida sebesar hampir 95%. Ridantami dkk. (2016) dalam penelitiannya melaporkan bahwa peningkatan tegangan pada proses elektrokoagulasi meningkatkan efisiensi penyisihan uranium pada pengolahan limbah cair radioaktif. Efisiensi penyisihan uranium maksimal diperoleh pada kondisi tegangan 12,5V dan waktu reaksi 60 menit yaitu sebesar 97,2%. Peningkatan tegangan menyebabkan peningkatan rapat arus sehingga menyebabkan laju oksidasi anoda meningkat yang cenderung menyebabkan meningkatnya konsentrasi ion Fe^{3+} atau Al^{3+} pada proses koagulasi (Ridantami dkk., 2016). Hal tersebut menyebabkan efisiensi penyisihan polutan menjadi lebih tinggi.

Pengaruh lama waktu kontak dan dosis adsorben yang digunakan merupakan salah satu hal yang menyebabkan peningkatan efisiensi penyisihan kandungan logam berat di dalam air limbah. Hal ini disebabkan karena peningkatan kadar logam Pb(II) yang teradsorpsi di dalam karbon aktif dari limbah biji alpukat. Jumlah gugus fungsi (C-O) dan (-OH) dari karbon aktif dari limbah biji alpukat akan semakin banyak yang berikatan dengan logam berat Pb(II) sehingga dapat menurunkan kandungan logam berat Pb(II). Hal ini menandakan adanya peningkatan bahan penyerap dalam larutan, sehingga daya tertinggi akan tercapai sehingga memungkinkan terjadinya interaksi antara logam Pb(II) dan gugus aktif (Lestari, 2010). Selain itu, jumlah adsorben yang semakin banyak akan memperbesar luas penyerapan ion logam pada dinding karbon aktif dari limbah biji alpukat. Hal ini memberikan efek pada peningkatan efisiensi penyisihan logam berat Pb(II).

Proses pengolahan limbah dengan metode kombinasi elektrokoagulasi dan adsorpsi dapat menghasilkan efisiensi penyisihan logam berat Pb(II) hingga sebesar 96,01%. Pada kondisi tegangan 30 V, waktu adsorpsi 45 menit, serta dosis adsorben 5 g/L. Kombinasi metode elektrokoagulasi dan adsorpsi dapat meningkatkan efisiensi penyisihan Pb(II) hingga 95% jika dibandingkan dengan menggunakan satu metode guna menurunkan kandungan polutan pada air limbah (Myllymäki, 2018).

4. Kesimpulan

Metode kombinasi elektrokoagulasi dan adsorpsi terbukti dapat menurunkan kandungan logam berat Pb(II) dalam air limbah. Proses elektrokoagulasi dengan elektroda Al dapat menghasilkan $Al(OH)_3$ yang dapat membentuk *flocs* yang dapat mengadsorpsi logam berat sehingga dapat menurunkan kandungan logam Pb(II). Proses adsorpsi sebagaimana elektrokoagulasi dapat digunakan untuk menyerap logam berat di air limbah. Pemanfaatan limbah biji alpukat dapat menjadi alternatif untuk menghasilkan adsorben yang murah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengolahan air limbah dengan kombinasi adsorpsi karbon aktif biji alpukat setelah proses elektrokoagulasi terbukti dapat meningkatkan efisiensi penyisihan logam Pb(II). Peningkatan waktu adsorpsi, tegangan dan dosis adsorben yang digunakan sebanding dengan peningkatan efisiensi penyisihan logam berat Pb(II). Metode kombinasi elektrokoagulasi dan adsorpsi dapat menurunkan kandungan logam berat Pb(II) dalam air limbah sampai dengan 96,01%. Nilai efisiensi penyisihan tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan hanya menggunakan elektrokoagulasi yang menghasilkan efisiensi penyisihan Pb(II) sebesar 90,18%. Metode kombinasi proses elektrokoagulasi dan adsorpsi dapat menjadi alternatif baru dalam mengolah logam berat di dalam air limbah. Tantangan penelitian ini terletak pada aspek desain reaktor elektrokoagulasi yang sesuai dengan kondisi industri dan konsumsi listrik yang berpengaruh terhadap biaya operasi. Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan ke arah pengujian efektifitas metode elektrokoagulasi dan adsorpsi menggunakan limbah industri, penggunaan variasi jenis dan jarak elektroda, serta penggunaan karbon aktif dari limbah biomassa lainnya.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada laboratorium kimia dan laboratorium limbah PPNS yang telah membantu menyediakan sarana dan prasarana sehingga penelitian dapat berjalan dengan lancar.

Daftar Pustaka

- Apriliani, A. 2010. Pemanfaatan Arang Ampas Tebu Sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu, dan Pb dalam Air Limbah. Skripsi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Bazrafshan, E., Ownagh, K.A., & Mahvi, A.H. 2012. Application of Electrocoagulation Process using Iron and Aluminium Electrodes for Floride Removal from Aqueous Environment. E-Journal of Chemistry 9(4), 2297-2308.

- Erawati, W., & Fernando, A. 2018. Pengaruh Jenis Aktivator dan Ukuran Karbon Aktif Terhadap Pembuatan Adsorbent dari Serbuk Gergaji Kayu Sengon (*Paraserianthes Falcataria*). Jurnal Integrasi Proses 7(2), 58–66.
- Fibrianti, L. D., & Azizah, R. 2015. Karakteristik, Kadar Timbal (Pb) dalam Darah, dan Hipertensi Pekerja Home Industry Aki Bekas di Desa Talun Kecamatan Sukodadi Kabupaten Lamongan. Jurnal Kesehatan Lingkungan 8(1), 92–102.
- Ganesan, P., Lakshmi, J., Sozhan, G., & Vasudevan, S. 2013. Removal of Manganese from Water by Electrocoagulation: Adsorption, Kinetics and Thermodynamic Studies. The Canadian Journal Of Chemical Engineering 91(1), 448–458.
- Lestari, S. 2010. Pengaruh Berat dan Waktu Kontak untuk Adsorpsi Timbal(II) oleh Adsorben dari Kulit Batang Jambu Biji. Jurnal Kimia Mulawarman 8(1), 7–10.
- Lubis, L.M. 2008. Ekstrak Pati Dari Biji Alpukat. Karya Ilmiah. Medan : Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara.
- Myllymäki, P., Lahti, R., Romar, H., & Lassi, U. 2018. Removal of Total Organic Carbon from Peat Solution By Hybrid Method–Electrocoagulation Combined With Adsorption. Journal of Water Process Engineering 24(1), 56–62.
- Oleszczuk, P., Staszczuk, P., Kowalczyk, Skubiszewska-Zieba, J., & Lebeda, R. 2003. Effect of Hydrothermal Modification on the Porous Structure and Thermal Properties of Carbon-Silica Adsorbents (carbosils). Materials Chemistry and Physics 78(2) ,486–494.
- Ouaissa, Y. A., Chabani, M., Amrane, A., & Bensmaili A. 2012. Integration of Electro Coagulation and Adsorption for The Treatment of Tannery Wastewater–The Case of an Algerian Factory, Rouiba. Procedia Engineering 33(1), 98–101.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah.
- Ridantami, V., Wasito, B., & Prayitno, P. 2016. Pengaruh Tegangan dan Waktu Pada Pengolahan Limbah Radioaktif Uranium dan Thorium Dengan Proses Elektrokoagulasi. Jurnal Forum Nuklir 10(2), 102–107.
- Sandi, A.P., & Astuti, A. 2014. Pengaruh Waktu Menggunakan H₃PO₄ Terhadap Struktur dan Ukuran Pori Karbon Berbasis Arang Tempurung Kemiri (*Aleurites moluccana*). Jurnal Fisika Unand 3(2), 115–120.
- Setiawan, A., Basyiruddin, F., & Dermawan, D. 2019. Biosorpsi Logam Berat Cu(II) Menggunakan Limbah *Saccharomyces Cerevisiae*. Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik lingkungan 16(1), 29–35.
- Takdastan, A., Tabar, S. E., Islam, A., Bazafkan, M., & Naisi, A. 2015. The Effect of The Electrode in Fluoride Removal from Drinking Water by Electrocoagulation Process. Dubai: International Conference on Chemical, Environmental and Biological Sciences.
- Vasudevan, S., Lakshmi, J., & Sozhan, G. 2012. Optimization of Electrocoagulation Process for The Simultaneous Removal of Mercury, Lead, and Nickel from Contaminated Water. Environmental Science and Pollution Research 19(7), 2734–2744.
- Verayana, V., Paputungan, M., & Iyabu, H. 2018. Pengaruh Jenis Aktivator dan Ukuran Karbon Aktif Terhadap Pembuatan Adsorbent dari Serbuk Gergaji Kayu Sengon (*Paraserianthes Falcataria*). Jurnal Entropi 13(1), 67-75.
- Wardalia, W. 2016. Karakterisasi Pembuatan Adsorben Dari Sekam Padi Sebagai Pengadsorp Logam Timbal Pada Limbah Cair. Jurnal Integrasi Proses 6(2), 83-88.