

**Metode Elektrokoagulasi Sistem  $\text{Fe}_{(s)} | \text{Cd(II)}_{(aq)}, \text{NaCl}_{(aq)} || \text{H}_2\text{O}_{(l)} | \text{C}$  untuk Pengambilan Kadmium(II)****Nadela Nurdiantika<sup>1</sup>, Linda Suyati<sup>1</sup>, Gunawan<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Departemen Kimia Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro\*Corresponding author: [linda\\_suyati@live.undip.ac.id](mailto:linda_suyati@live.undip.ac.id)

Received: 05 April 2021 / Accepted: 01 Mei 2021

Available online: 08 Mei 2021

**Abstrak**

Telah dilakukan penelitian mengenai metode elektrokoagulasi sistem  $\text{Fe} | \text{Cd(II)}, \text{NaCl} || \text{H}_2\text{O} | \text{C}$  untuk pengambilan  $\text{Cd(II)}$ . Besi hidroksi hasil elektrolisis adalah agen koagulasi yang sangat baik. Tujuan dari penelitian ini menentukan kondisi optimum dalam proses pengambilan  $\text{Cd(II)}$  membandingkan elektrokoagulasi dengan koagulasi, mengetahui morfologi permukaan elektroda besi sebelum dan sesudah elektrokoagulasi, serta menentukan kinetika elektrokoagulasi pengambilan  $\text{Cd(II)}$ . Beberapa kondisi proses elektrokoagulasi yang divariasikan meliputi pengaruh rapat arus, konsentrasi awal  $\text{Cd(II)}$ , pH larutan, dan waktu proses elektrokoagulasi. Analisis konsentrasi  $\text{Cd(II)}$  setelah proses elektrokoagulasi menggunakan instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) dan karakterisasi permukaan elektroda besi dengan SEM. Hasil penelitian menunjukkan pengambilan  $\text{Cd(II)}$  dicapai pada rapat arus  $36 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , konsentrasi awal  $\text{Cd(II)}$   $9 \text{ mg/L}$ , pH larutan 7, dan waktu proses elektrokoagulasi selama 120 menit dengan hasil yang dicapai sebesar 99,5%. Pengambilan  $\text{Cd(II)}$  lebih efektif dengan metode elektrokoagulasi dibandingkan dengan metode koagulasi. Morfologi permukaan besi yang semula tampak halus setelah proses elektrokoagulasi menjadi kasar akibat adanya sebagian besi di permukaan elektroda yang larut dalam produksi besi hidroksida. Kinetika elektrokoagulasi pengambilan  $\text{Cd(II)}$  mengikuti reaksi pseudo orde dua, dengan  $k = 17,80 \times 10^{-2} \text{ g.mg}^{-1}\text{menit}^{-1}$ .

**Kata Kunci:** Elektrokoagulasi, Pengambilan  $\text{Cd(II)}$ ,  $\text{Fe(OH)}_3$ .**1. Pendahuluan**

Salah satu logam berat yang banyak ditemukan dalam perairan adalah logam kadmium [1]. Logam kadmium banyak digunakan dalam proses pigmentasi, pelapisan logam, dan pembuatan baterai nikel kadmium. Kadmium sangat beracun dan bersifat karsinogen [2]. Logam kadmium ( $\text{Cd}$ ) berpengaruh buruk terhadap kesehatan manusia dalam jangka panjang dan dapat terakumulasi pada tubuh khususnya di hati dan ginjal [3]. Beberapa metode yang digunakan untuk menurunkan konsentrasi logam kadmium seperti adsorpsi, presipitasi, koagulasi dan metode elektrokimia [4]. Metode presipitasi kimiawi dan koagulasi endapan yang dihasilkan cukup banyak selama proses sehingga menimbulkan masalah dalam pembuangannya. Metode adsorpsi merupakan metode yang efisien, namun apabila adsorben yang digunakan sudah jenuh, adsorben tersebut tidak dapat digunakan kembali [5]. Berdasarkan hal tersebut, maka direkomendasikan menggunakan metode

elektrokoagulasi sebagai metode alternatif karena metode ini memberikan keuntungan besar, yaitu sederhana, mudah untuk dioperasikan, dan meminimalkan penggunaan bahan kimia [6].

Elektrokoagulasi adalah pendekatan elektrokimia, yang menggunakan arus listrik untuk menghilangkan logam dari larutan. Proses elektrokoagulasi melibatkan pembentukan koagulan secara "in situ" di dalam larutan [7]. Koagulan  $\text{Fe(OH)}_3$  merupakan agen koagulasi yang sangat baik [8]. Elektroda yang digunakan adalah karbon sebagai katoda dan besi sebagai anoda, dan larutan kadmium(II). Menurut Riyanto (2013) [9] karbon digunakan sebagai katoda karena karbon bersifat inert, sehingga yang akan mengalami reduksi di katoda adalah air. Penambahan  $\text{NaCl}$  dalam larutan kadmium(II) seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Mansour dkk., (2013) [10] dalam pengambilan  $\text{Cd(II)}$  bertujuan sebagai elektrolit pendukung. Pada penelitian ini dilakukan variasi seperti rapat arus, konsentrasi awal larutan  $\text{Cd(II)}$ , pH larutan,

dan waktu proses elektrokoagulasi untuk menentukan kondisi optimum dalam proses pengambilan Cd(II). Selain itu, dilakukan perbandingan elektrokoagulasi dan koagulasi terhadap pengambilan Cd(II), morfologi permukaan besi sebelum dan sesudah proses elektrokoagulasi dikarakterisasi dengan SEM. Laju pengambilan Cd(II) dengan metode elektrokoagulasi ditentukan melalui persamaan kinetika pseudo orde dua.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Alat dan Bahan

**Alat** yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Power Supply* (Montana 5 Amper), Gelas kompartemen (ukuran 10 cm x 6 cm x 4 cm), Multimeter (Sanwa CD800a), Alat gelas standar penelitian (Herma dan pyrex), Penjepit buaya Neraca analitik (S/N P 1 835442), SSA (Model PinAAcle 900F), SEM (Phenom pro X desktop SEM with EDX)

**Bahan** yang digunakan dalam penelitian ini adalah Padatan (p.a)  $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ , Akuades, (p.a) NaOH 1 M, (p.a) NaCl 0,5 M, (p.a)  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1 M, Besi bekas, ukuran 5,7 cm x 1,6 cm, Karbon bekas dari baterai ABC AA, Kertas saring (Merk MN 640d, 110 mm), Alumunium Foil

### 2.2. Cara Kerja

#### 2.2.1 Persiapan Bahan

Padatan  $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  sebanyak 3,42 gram dilarutkan dalam akuades hingga volume 0,5 L agar diperoleh larutan kadmium(II) dengan konsentrasi 1000 mg/L yang digunakan sebagai larutan induk. Konsentrasi awal larutan kadmium(II) dibuat dengan mengencerkan larutan induk. Pembuatan 0,5 M NaCl dan Pengaturan pH larutan dengan menggunakan larutan 1 M NaOH atau 1M  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

#### 2.2.2 Persiapan Sel Elektrokoagulasi

Sel elektrokoagulasi dikonstruksikan 2 kompartemen berkapasitas 235 mL. Kompartemen katodik yang berisi akuades dengan katoda karbon dan kompartemen anodik yang berisi larutan kadmium(II) dan NaCl 0,5 M dengan anoda besi. Luas elektroda aktif adalah  $19,84 \text{ cm}^2$  untuk anoda dan  $18,12 \text{ cm}^2$  untuk katoda. Jarak antar elektroda dibuat konstan yaitu 4,5 cm. Sumber arus listrik yang mengalir berasal dari sistem pencatu daya dan multimeter untuk mengukur arus yang mengalir. Dua kompartemen tersebut dihubungkan dengan jembatan garam

### 2.2.3 Proses Elektrokoagulasi pada Berbagai Kondisi

Kondisi operasional proses elektrokoagulasi divariasikan meliputi rapat arus (10, 21, 26, 36, dan  $49 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ), konsentrasi awal larutan Cd(II) (9, 18, 27, 36, dan 45 mg/L), pH larutan (3, 5, 7, 9, dan 11), dan waktu proses elektrokoagulasi (15, 30, 45, 60, dan 120 menit). Sampel hasil perlakuan elektrokoagulasi dengan beberapa kondisi optimum yang divariasikan dilakukan penyaringan dan filtratnya dianalisis dengan menggunakan SSA.

### 2.2.4 Proses Elektrokoagulasi dan Koagulasi Terhadap Pengambilan Cd(II)

Alat yang dibuat seperti pada prosedur 2.1 dioperasikan pada tegangan dan arus tetapi tanpa adanya Cd(II) dalam larutan. Selanjutnya endapan yang terjadi dipisahkan dan ditambahkan ke dalam larutan Cd(II) untuk proses koagulasi.

### 2.2.5 Karakterisasi Elektroda Besi

Elektrokoagulasi dengan kondisi terbaik yaitu pada rapat arus  $36 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , konsentrasi awal larutan Cd(II) sebesar 9 mg/L, pH larutan 7, dan waktu proses elektrokoagulasi selama 120 menit. Besi yang digunakan sebagai elektroda anoda sebelum dan setelah elektrokoagulasi dilakukan karakterisasi dengan menggunakan SEM.

### 2.2.6 Analisis Data

Besarnya kadmium(II) yang terambil diperoleh dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Cd(II) yang terambil (\%)} = \frac{m_0 - m_{\text{sisia}}}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan :

$m_0$  = massa Cd(II) awal (gram)

$m_{\text{sisia}}$  = massa Cd(II) sisa (gram)

### 2.2.7 Kinetika Elektrokoagulasi Pengambilan Cd(II)

Waktu elektrokoagulasi divariasasi 15, 30, 45, 60, dan 120 menit dengan rapat arus  $36 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , 9 mg/L, pH 7, kemudian filtrat dianalisis dengan SSA, lalu massa Cd(II) yang terambil pada waktu t digunakan untuk menentukan kinetika elektrokoagulasi pengambilan Cd(II). Persamaan pseudo orde dua :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2 \quad (2)$$

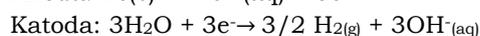
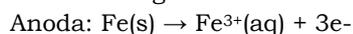
Persamaan tersebut memiliki persamaan linear:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{kq_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (3)$$

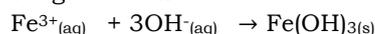
### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Proses Pengambilan Cd(II) dengan Metode Elektrokoagulasi

Reaksi redoks yang terjadi dalam sistem adalah sebagai berikut:



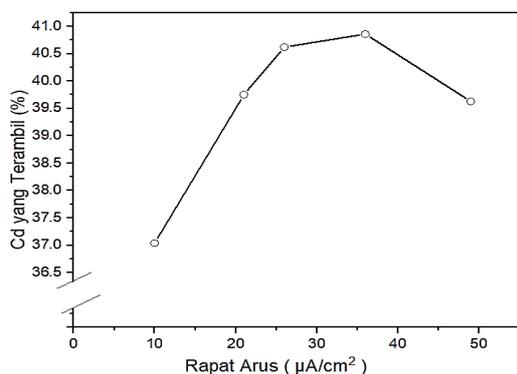
Pada anoda, terjadi reaksi oksidasi logam Fe. Logam Fe melepaskan elektron dan diteruskan ke katoda, H<sub>2</sub>O di sekitar katoda menangkap elektron dan mengalami reduksi membentuk ion OH<sup>-</sup>. Ion OH<sup>-</sup> yang dihasilkan di katoda bereaksi dengan ion Fe<sup>3+</sup> membentuk Fe(OH)<sub>3</sub>, reaksi yang terjadi sebagai berikut :



Fe(OH)<sub>3</sub> dapat mengambil Cd(II) dalam larutan melalui adsorpsi yang diikuti dengan koagulasi (Bazrafshan dkk., 2015). Suatu partikel koloid memiliki muatan listrik pada permukaan koloid. Dengan adanya muatan itu, ion dengan muatan berlawanan akan berkumpul ke permukaan koloid, dan terbentuklah atmosfer ion. Penetrasi muatan partikel koloid akibat banyaknya ion-ion logam kadmium yang terjerap pada permukaannya, sehingga kestabilan koloid menjadi terganggu dan memungkinkan terjadinya penggumpalan dan pengendapan.

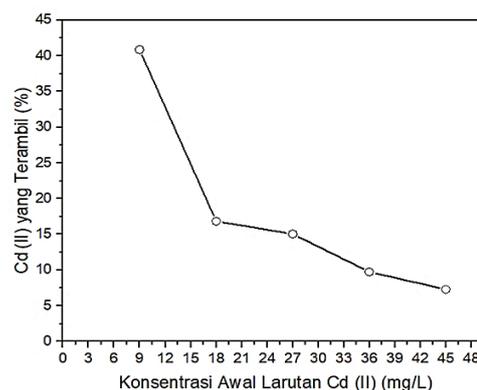
#### 3.2. Pengaruh Rapat Arus

Semakin meningkatnya rapat arus, jumlah ion Fe<sup>3+</sup> yang dilepaskan semakin banyak sehingga Fe(OH)<sub>3</sub> yang terbentuk juga akan semakin banyak, keadaan ini sangat disukai dalam proses pengambilan logam terlarut di dalam larutan [11]. Rapat arus terbaik dalam pengambilan Cd(II) adalah 36 μA/cm<sup>2</sup> dan Cd yang terambil 40,9%



**Gambar 1.** Grafik Hubungan antara Rapat Arus Terhadap Cd(II) yang Terambil (%) pada proses elektrokoagulasi (pH = 5, [Cd(II)]<sup>0</sup> = 9 mg/L, t = 120 menit)

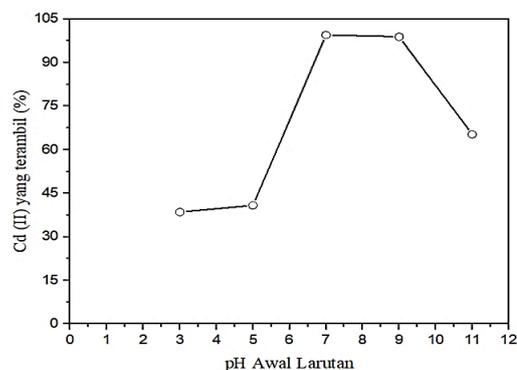
#### 3.3. Pengaruh Konsentrasi Awal Larutan Cd(II)



**Gambar 2.** Grafik Hubungan antara Konsentrasi Awal Larutan Cd(II) dengan Cd(II) yang terambil (%) pada Proses Elektrokoagulasi (rapat arus 36 μA/cm<sup>2</sup>, pH = 5, t = 120 menit)

Semakin tinggi konsentrasi awal larutan Cd(II) jumlah Cd yang terambil menurun, hal ini dikarenakan penggunaan rapat arus yang konstan, besi yang teroksidasi jumlahnya sama. Akibatnya, jumlah hidroksida besi yang terbentuk tidak cukup untuk mengambil lebih banyak kadmium(II) pada konsentrasi kadmium(II) yang lebih tinggi [12]. Dengan demikian, konsentrasi awal Cd(II) optimum adalah 9 mg/L dengan hasil Cd yang terambil sebesar 40,9%.

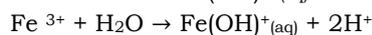
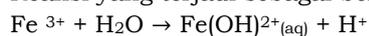
#### 3.4. Pengaruh pH Larutan



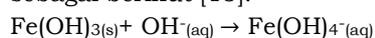
**Gambar 3.** Grafik Hubungan antara pH Larutan dengan Cd(II) yang Terambil (%) pada proses elektrokoagulasi (36 μA/cm<sup>2</sup>, [Cd(II)]<sup>0</sup> = 9 mg/L, t = 120 menit)

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan dalam **Gambar 3.** terjadi kenaikan Cd(II) yang terambil dengan kenaikan pH larutan. Berdasarkan diagram Pourbaix Fe-O-H (Takeno, 2005). Saat pH larutan asam, spesies yang dominan adalah Fe<sup>3+</sup>, Fe(OH)<sup>2+</sup>, dan Fe(OH)<sup>+</sup> yang sifatnya terlarut dalam larutan, sehingga tidak dapat mengambil

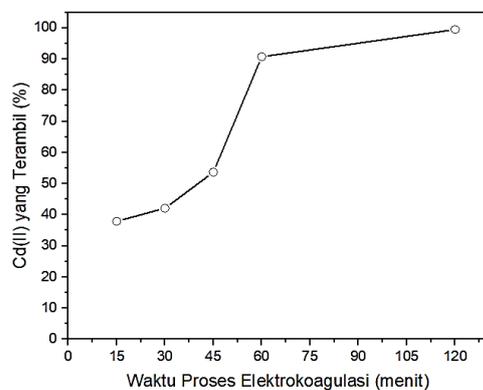
Cd(II) akibatnya Cd(II) yang terambil menurun. Reaksi yang terjadi sebagai berikut [8]:



Pada kondisi pH 6 sampai dengan 10 menghasilkan  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  yang mendominasi di dalam larutan sehingga pada kondisi tersebut Cd yang terambil semakin banyak. Berdasarkan **Gambar 3**, Cd(II) yang terambil mencapai 90% saat pH awal larutan dikondisikan sebesar 7 dan 9, sedangkan saat pH awal larutan dikondisikan sebesar 11, Cd(II) yang terambil mengalami penurunan, karena spesies  $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$  lebih dominan di dalam larutan sebagai akibat dari pelarutan  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut [13]:



### 3.5. Pengaruh Waktu Proses Elektrokoagulasi



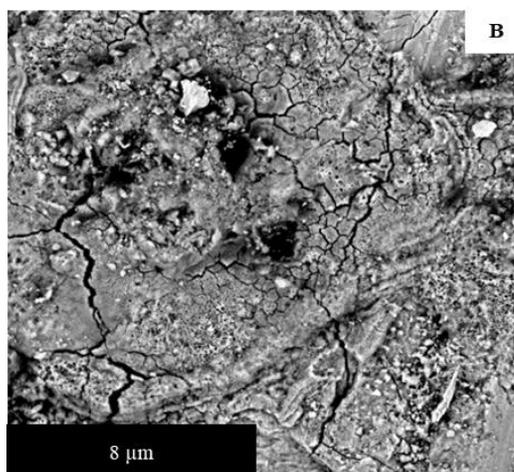
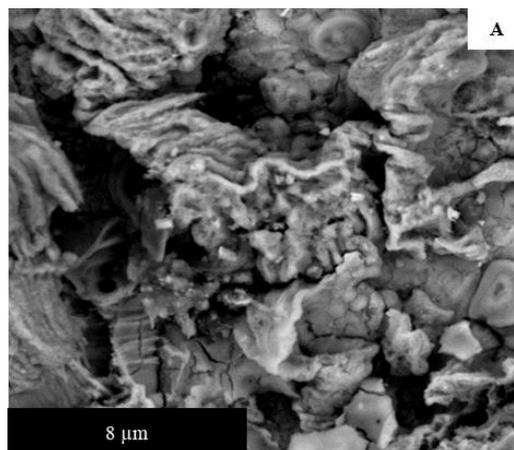
**Gambar 4.** Grafik Hubungan antara Waktu Proses Elektrokoagulasi dengan Cd(II) yang Terambil (%) (  $36 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  ,  $[\text{Cd}(\text{II})]_0 = 9 \text{ mg}/\text{L}$ , pH = 7)

Hasil Cd(II) yang terambil untuk waktu proses elektrokoagulasi selama 15, 30, 45, 60, dan 120 menit adalah 37,9, 42,1%, 53,7%, 90,7, dan 99,5%. Berdasarkan hasil yang didapatkan waktu proses pengambilan Cd(II) yang baik adalah 60-120 menit.

### 3.6. Hasil Pengambilan Cd(II) dengan Metode Koagulasi

Pengambilan Cd(II) dengan metode elektrokoagulasi dan koagulasi adalah sebesar 99,5% dan 56,5%. Hasil yang didapatkan membuktikan bahwa pengambilan Cd(II) dengan metode elektrokoagulasi lebih efektif dibandingkan dengan metode koagulasi. Pada metode elektrokoagulasi pertumbuhan koagulan dalam larutan secara terus-menerus terbentuk, sehingga pengambilan logam Cd(II) menjadi lebih optimal.

### 3.7. Hasil Karakterisasi pada Permukaan Elektroda Besi



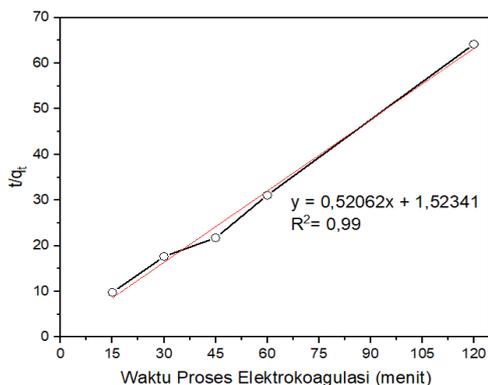
**Gambar 5.** SEM Permukaan Elektroda Besi, (A) Sebelum, (B) Sesudah Proses Elektrokoagulasi

**Gambar 5** (A) menunjukkan permukaan besi yang halus dan rata, sedangkan **Gambar 5** (B) permukaan besi tampak kasar dan berongga. Morfologi permukaan besi yang semula tampak halus setelah proses elektrokoagulasi menjadi kasar akibat adanya sebagian besi di permukaan elektroda yang larut dalam produksi besi hidroksida, sehingga permukaan besi tersebut menjadi tidak halus lagi.

### 3.8. Kinetika Elektrokoagulasi Pengambilan Cd(II)

Kinetika pengambilan Cd(II) dapat ditentukan melalui persamaan laju reaksi orde satu, orde dua, pseudo orde satu, dan pseudo orde dua. Dari keempat persamaan laju reaksi tersebut model pseudo orde dua dapat memberikan kesesuaian yang baik terhadap data eksperimen untuk proses elektrokoagulasi pengambilan Cd(II). Hasil ditunjukkan pada **Gambar 6** dengan

menyalurkan  $t/q_t$  terhadap  $t$  persamaan garis linear didapatkan koefisien korelasi ( $R^2$ ) yaitu 0,99. Melalui persamaan garis linear tersebut, konstanta laju reaksi orde dua dapat dihitung dan hasil yang didapatkan yaitu  $17,80 \times 10^{-2} \text{ g.mg}^{-1}.\text{menit}^{-1}$ . Dengan demikian, kinetika reaksi pengambilan Cd(II) dapat dijelaskan dengan persamaan pseudo orde dua.



**Gambar 6.** Grafik kinetika Pseudo Orde Dua pada Elektrokoagulasi Pengambilan Cd(II)

#### 4. Kesimpulan

Pengambilan Cd(II) sebesar 99,5% dicapai pada rapat arus  $36 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ,  $[\text{Cd(II)}]_0 = 9 \text{ mg/L}$ , pH 7 dan  $t = 120$  menit. Pengambilan Cd(II) dengan metode elektrokoagulasi lebih efektif dibandingkan dengan metode koagulasi. Morfologi permukaan besi yang semula tampak halus setelah proses elektrokoagulasi menjadi kasar akibat adanya sebagian besi di permukaan elektroda yang larut dalam produksi besi hidroksida. Kinetika pengambilan Cd(II) mengikuti reaksi pseudo orde dua, dengan nilai konstanta laju reaksi yang didapatkan yaitu  $17,80 \times 10^{-2} \text{ g.mg}^{-1}.\text{menit}^{-1}$ .

#### Daftar Pustaka

- [1] Bayar, Serkan, Alper Erdem Yilmaz, Recep Boncukcuoğlu, Baybars Ali Fil, M. Muhtar Kocakerim, Effects of Operational Parameters on Cadmium Removal from Aqueous Solutions by Electrochemical Coagulation, *Desalination and Water Treatment*, 51, 13-15, (2013), 2635-2643  
<https://doi.org/10.1080/19443994.2012.749201>
- [2] Young, RA, Toxicity Profiles: Toxicity Summary for Cadmium, Risk Assessment Information System, RAIS, University of Tennessee, (2005),
- [3] Istarani, Festri Festri, Ellina S. Pandebesie, Studi Dampak Arsen (As) dan Kadmium (Cd) Terhadap Penurunan Kualitas Lingkungan, *Jurnal Teknik ITS*, 3, 1, (2014), D53-D58  
<https://doi.org/10.12962/j23373539.v3i1.5684>
- [4] Sulaymon, Abbas Hamid, Basma A. Abdulmajeed, Anas B. Salman, Electrochemical Removal of Cadmium from Simulated Wastewater Using A Smooth Rotating Cylinder Electrode, *Desalination and Water Treatment*, 54, 9, (2015), 2557-2563  
<https://doi.org/10.1080/19443994.2014.903520>
- [5] Kim, Do-Gun, Ronna Jane S Palacios, Seok-Oh Ko, Characterization of Sludge Generated by Electrocoagulation for The Removal of Heavy Metals, *Desalination and Water Treatment*, 52, 4-6, (2014), 909-919  
<https://doi.org/10.1080/19443994.2013.826776>
- [6] Al Aji, Bassam, Yusuf Yavuz, A. Savaş Koparal, Electrocoagulation of Heavy Metals Containing Model Wastewater Using Monopolar Iron Electrodes, *Separation and Purification Technology*, 86, (2012), 248-254  
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.11.011>
- [7] Bazrafshan, Edris, Leili Mohammadi, Alireza Ansari-Moghaddam, Amir Hossein Mahvi, Heavy Metals Removal from Aqueous Environments by Electrocoagulation Process—A Systematic Review, *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 13, 1, (2015), 1-16  
<https://doi.org/10.1186/s40201-015-0233-8>
- [8] Mollah, Mohammad Y. A., Paul Morkovsky, Jewel A. G. Gomes, Mehmet Kesmez, Jose Parga, David L. Cocke, Fundamentals, Present and Future Perspectives of Electrocoagulation, *Journal of Hazardous Materials*, 114, 1-3, (2004), 199-210  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.08.009>
- [9] Nordin, Norazzizi, S. F. M. Amir, Riyanto, Mohamed Othman, Textile Industries Wastewater Treatment by Electrochemical Oxidation Technique Using Metal Plate, *International Journal of Electrochemical Science*, 8, 9, (2013), 11403-11415
- [10] Mansour, Saber, El-Sayed Negim, Hamdy Hasieb, Osama Desouky, R. Abdykalykova, M. Beisebekov, Removal of Cadmium Pollutants in Drinking Water Using Alternating Current Electrocoagulation Technique, *Global Journal of Environmental Research*, 7, (2013), 45-51  
<https://doi.org/10.5829/idosi.gjer.2013.7.3.1102>
- [11] Vasudevan, Subramanyan, Jothinathan Lakshmi, Ganapathy Sozhan, Effects of alternating and direct current in electrocoagulation process on the removal of cadmium from water, *Journal of hazardous materials*, 192, 1, (2011), 26-34

- [12] Mansour, Saber E, ES Negim, Ibrahim H Hasieb, Osama A Desouky, R Abdykalykova, M Beisebekov, Removal of Cadmium Pollutants in Drinking Water Using Alternating Current Electrocoagulation Technique, *Global Journal of Environmental Research*, 7, 3, (2013), 45-51
- [13] Song, Peipei, Zhaohui Yang, Haiyin Xu, Jing Huang, Xia Yang, Like Wang, Investigation of Influencing Factors and Mechanism of Antimony And Arsenic Removal by Electrocoagulation Using Fe-Al Electrodes, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53, 33, (2014), 12911-12919  
<https://doi.org/10.1021/ie501727a>