



Pengaruh Jenis Elektrolit *Support* pada Penurunan Logam Cr dalam Limbah dengan Menggunakan Metode Elektrokoagulasi

Laksmi Rahmaning Amelia[✉], Sigit Priatmoko, dan Agung Tri Prasetya

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang
Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

Info Artikel

Diterima Mei 2019

Disetujui Juni 2019

Dipublikasikan Agustus
2019

Keywords:

electrocoagulation
electrolyte support
ion Cr
K₂CrO₄

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang penambahan elektrolit *support* untuk menurunkan logam Cr total dalam limbah dengan menggunakan metode elektrokoagulasi. Tujuan penelitian ini untuk menentukan proses elektrokoagulasi yang didapat secara optimum berdasarkan efisiensi penyisihan, energi dan waktu. Pada penelitian ini dilakukan proses elektrokoagulasi dengan K₂CrO₄ sebagai model limbah artifisial dan Al sebagai elektroda, sehingga diperoleh hasil bahwa elektrolit *support* paling efektif diantara NaCl, Na₂SO₄, Na₃PO₄, NaBr dan NaI adalah larutan NaCl dengan penurunan konsentrasi Cr pada limbah elektroplating sebesar 357,257 ppm dengan prosentase penyisihan 98,28%. Hal ini berbeda dengan hasil penurunan Cr total dari proses elektrokoagulasi K₂CrO₄ tanpa elektrolit *support* yaitu hanya sebesar 349,649 ppm dengan prosentase penyisihan 97,70%. Pada proses elektrokoagulasi ditentukan oleh waktu, tegangan serta pH optimal. Waktu optimal dalam proses elektrokoagulasi dalam penelitian ini yaitu dengan waktu operasi selama 180 menit dengan tegangan optimal sebesar 12 volt dan pH optimalnya 5.

Abstract

The research of addition electrolyte support to reduction of Cr total metal in waste by using electrocoagulation method has been conducted the aims this reasearch is determine the electrocoagulation process obtained optimally based on the efficiency of allowance, energy and time. In this research, electrocoagulation process using K₂CrO₄ as artificial waste model and Al is used as electrode, so it is obtained that the most effective electrolyte support such as NaCl, Na₂SO₄, Na₃PO₄, NaBr and NaI is the NaCl solution with decreasing Cr concentration on electroplating waste 357.257 ppm with percentage 98.28% allowancet it's different with the total Cr reduction result of electrocoagulation process of K₂CrO₄ without electrolyte support which is only 349.649 ppm with the percentage of 97.70% removal. In the electrocoagulation process is determined by time, voltage and optimal pH. The optimal time in the electrocoagulation process in this research is with the operation time for 180 minutes with an optimum voltage of 12 volts and optimum pH 5.

© 2019 Universitas Negeri Semarang

✉Alamat korespondensi:
Gedung D6 Lantai 2 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229
E-mail: laksmirahma5@gmail.com

Pendahuluan

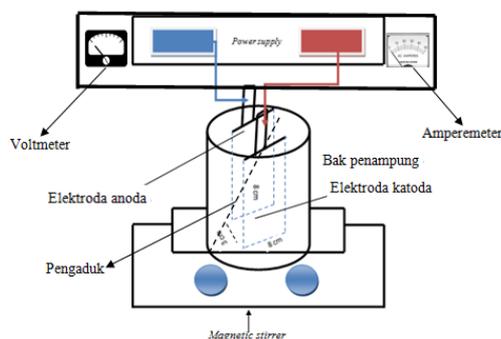
Industri elektroplating merupakan industri yang sangat potensial mencemari lingkungan karena menghasilkan limbah yang mengandung bahan-bahan kimia berbahaya. Pencemaran lingkungan dapat dicegah melalui pengelolaan limbah yang baik. Pengelolaan limbah yang baik selain dapat mengurangi pencemaran lingkungan, juga harus bernilai ekonomis. Perlu dilakukan penelitian untuk mengoptimalkan pengolahan limbah agar tercipta industri yang ramah lingkungan dan bernilai ekonomis. Beberapa teknologi pengolahan air limbah yang telah diterapkan umumnya masih seputar koagulasi-flokulasi melalui penambahan bahan kimia, sedimentasi, netralisasi, lumpur aktif dan anaerobik. Teknologi ini umum digunakan pada semua jenis limbah industri sehingga kurang efektif bila diterapkan pada industri berbasis logam dengan kandungan limbah yang spesifik.

Salah satu pengolahan yang ditawarkan yaitu elektrokoagulasi dengan prinsip mengalirkan arus listrik dari anoda menuju katoda dimana kedua elektroda ini akan menarik materi pencemar menjadi flok yang dapat dengan mudah diendapkan dan dipisahkan sehingga air jernih kembali (Rachmanita, 2010). Dalam proses elektrokoagulasi menggunakan elektroda Al karena elektroda Al mudah mengalami oksidasi selain itu peralatan yang diperlukan sangat sederhana dan juga elektroda yang di gunakan mudah didapatkan dengan harga yang terjangkau. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi pada saat proses elektrokoagulasi meliputi elektroda yang digunakan, penambahan elektrolit *support*, daya hantar listrik, pH, waktu kontak, kuat arus, serta desain alat seperti luas elektroda dan jarak antar elektroda. Penelitian ini dilakukan dengan menentukan elektrolit *support* dan variasi waktu yang akan digunakan pada penelitian utama. Metode ini dilakukan berdasarkan kemampuan suatu elektrolit *support* dalam menyisihkan krom (Cr) yang terdapat pada limbah karena Cr merupakan unsur logam sehingga lebih sulit untuk disisihkan. Tujuan digunakannya elektrolit *support* adalah mengefisiensi waktu.

Metode

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah plat elektroda alumunium dengan ukuran $8 \times 8 \text{ cm}^2$ dengan ketebalan elektroda yaitu 0,2 mm, isolator, kabel penghubung (roll kabel), adaptor, neraca analitik, pH meter digital, dan *Atomic Absorption Spectrometer* (AAS) Shimadzu tipe AA-7000.

Proses elektrokoagulasi dilakukan secara *batch* menggunakan K_2CrO_4 sebagai model limbah artifisial. Elektroda katoda dan anoda dihubungkan secara paralel menggunakan kabel penjepit yang dihubungkan pada *power supply*. Jarak antar elektroda tersebut adalah 3 cm dengan ukuran $8 \times 8 \text{ cm}^2$. Tegangan dihubungkan pada voltase 12 dan bak penampung ditempatkan di atas *magnetic stirrer* pada kecepatan 100 rpm. Proses dijalankan selama 180 menit, pH dan tegangan sesuai kondisi. Desain alat elektrokoagulasi sesuai dengan Gambar 1.



Gambar 1. Desain alat elektrokoagulasi

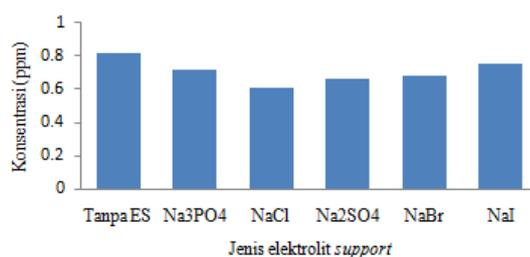
Hasil dan Pembahasan

Tujuan digunakannya elektrolit *support* NaCl, Na_2SO_4 , Na_3PO_4 , NaI, dan NaBr adalah mengefisiensi proses elektrokoagulasi baik dalam faktor timing maupun penurunan konsentrasi limbah. Berikut hasil analisis AAS penentuan elektrolit *support* ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis AAS penentuan elektrolit *support*

No	Elektrolit <i>support</i>	Konsentrasi (ppm)
1	Tanpa ES	0,8221
2	Na ₃ PO ₄	0,7174
3	NaCl	0,6128
4	Na ₂ SO ₄	0,6626
5	NaBr	0,6776
6	NaI	0,7573

Dalam bentuk kurva, maka data pada Tabel 1 dapat dilukiskan dalam bentuk kurva penurunan logam Cr total pada jenis elektrolit *support* pada model limbah artifisial K₂CrO₄ elektroplating sebagaimana Gambar 2.

**Gambar 2.** Penurunan konsentrasi logam Cr total pada jenis elektrolit *support*

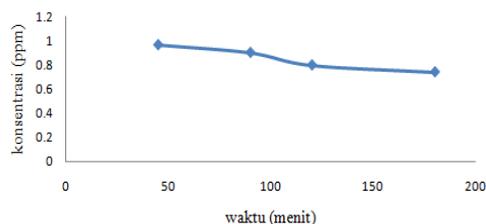
Dari data penelitian pada Gambar 2 diatas, dapat disimpulkan bahwa seharusnya urutan elektrolit *support* yang mempunyai DHL paling tinggi adalah Na₃PO₄ dengan jumlah ion 4, ion pada Na₂SO₄ berjumlah 3 sedangkan NaCl, NaBr, dan NaI mempunyai jumlah ion yang sama yaitu 2. Namun pada penelitian yang dilakukan, elektrolit *support* yang paling efisien dalam melakukan penurunan logam Cr total adalah NaCl. Hasil tersebut berbeda dengan teori yang menyatakan Semakin besar jumlah ion dari suatu larutan maka akan semakin tinggi nilai konduktivitasnya. Seharusnya dari hasil penelitian yang dilakukan Na₃PO₄ sebagai hasil elektrolit *support* yang paling efisien dalam penurunan Cr total karena memiliki lebih banyak ion dibandingkan dengan NaCl. Hal ini terjadi karena faktor yang mempengaruhinya yaitu pada saat menentukan konsentrasi elektrolit *support* yang mungkin tidak valid (kurang teliti) dalam pengambilan bahan atau pada saat dilakukan penimbangan. Namun tidak menutup kemungkinan jika NaCl dijadikan sebagai elektrolit *support* karena harganya yang memang lebih murah dan mudah didapat.

Waktu Elektrolisis digunakan untuk menentukan waktu elektrolisis yang dibutuhkan untuk menurunkan kadar logam Cr pada proses elektrokoagulasi secara optimum berdasarkan efisiensi waktu. Setelah melakukan penentuan elektrolit *support* proses selanjutnya adalah melakukan variasi waktu. Variasi waktu yang digunakan adalah 45, 90, 120, dan 180 menit. Proses elektrokoagulasi pada tahap ini adalah mencari waktu yang efisien dalam menurunkan kadar logam Cr. Berikut data hasil penurunan kadar logam Cr pada limbah artifisial K₂CrO₄ terhadap variasi waktu ditampilkan pada Tabel 2:

Tabel 2. Hasil pengaruh waktu terhadap penurunan konsentrasi krom

No	Waktu (menit)	Konsentrasi (ppm)
1	45	0,9691
2	90	0,9043
3	120	0,7997
4	180	0,7424

Dalam bentuk kurva, maka data pada Tabel 2. dapat dilukiskan dalam bentuk kurva penurunan logam Cr total terhadap variasi waktu pada model limbah artifisial K₂CrO₄ elektroplating sebagaimana Gambar 3.



Gambar 3. Penurunan konsentrasi logam Cr total pada variasi waktu

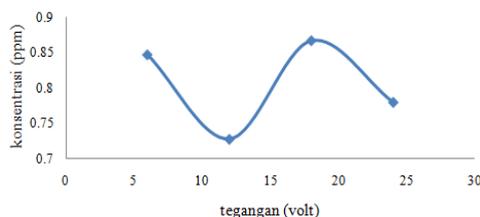
Penelitian selanjutnya dilakukan variasi waktu. Pada variasi waktu dapat dilihat pada Gambar 3 bahwa penurunan logam Cr terbesar pada 180 menit. Kurva penurunan logam Cr mengalami peningkatan dari waktu ke waktu. Dari Gambar 3 dapat disimpulkan bahwa semakin meningkatnya waktu maka penurunan logam Cr semakin besar. Hal ini sesuai dengan penjelasan Rachmawati *et al.*, (2014) bahwa semakin lama waktu proses elektrokoagulasi maka pembentukan H_2 dan OH^- semakin banyak sehingga semakin banyak pula jumlah kompleks yang mengikat polutan dan jumlah gas hidrogen.

Menurut Khandegar & Saroha (2013), efisiensi penurunan semakin besar seiring dengan meningkatnya waktu kontak. Rachmawati *et al.*, (2014), menjelaskan bahwa semakin lama waktu proses elektrokoagulasi maka pembentukan H_2 dan OH^- semakin banyak sehingga semakin banyak pula jumlah kompleks yang mengikat polutan dan jumlah gas hidrogen. Hasil analisis AAS pengaruh variasi waktu ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengaruh waktu terhadap penurunan konsentrasi krom

No	Tegangan (volt)	Konsentrasi (ppm)
1	6	0,8470
2	12	0,7274
3	18	0,8669
4	24	0,7797

Dalam bentuk kurva, maka data pada Tabel 3. dapat dilukiskan dalam bentuk kurva penurunan logam Cr total terhadap variasi tegangan pada model limbah artifisial K_2CrO_4 elektroplating sebagaimana Gambar 3.



Gambar 4. Penurunan konsentrasi logam Cr total pada variasi tegangan

Hasil penelitian seperti yang disajikan pada Gambar 4, menunjukkan bahwa konsentrasi Cr yang tersisihkan optimal pada arus listrik sebesar 12 volt dengan hasil penyisihan konsentrasi mencapai 97,96% dengan konsentrasi awal 357,87 mg/L menjadi 7,2740 mg/L dengan nilai Δ_c 350,596 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa destabilisasi flok (koagulat) terjadi lebih signifikan pada percobaan variasi tegangan 12 volt. Destabilisasi flok pada percobaan dengan potensial lebih besar dari 12 volt diyakini merupakan akibat pembentukan gas selama berlangsungnya proses elektrokoagulasi, sebagai akibat terjadinya elektrolisis air. Gas yang terbentuk dari elektrolisis air tersebut akan memecah flok yang terbentuk hingga sebagian polutan organik terlarut kembali sehingga absorbansi sampel mengalami kenaikan sehingga pada saat setelah dilakukan variasi tegangan 12 volt, terjadi penurunan kembali logam Cr pada kondisi

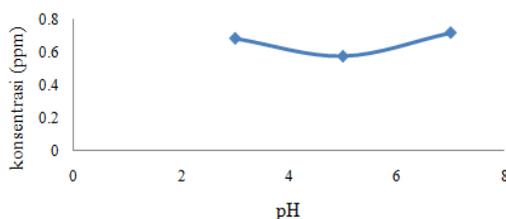
tegangan 24 volt. Hal ini bisa terjadi karena Distabilitas flok (koagulat) atau peristiwa pasivitas elektroda, dimana elektroda mengalami kejenuhan kemudian flok-flok tersebut jatuh mengendap dan kembali bereaksi pada anoda dan katoda Al-Al.

Setelah melakukan penentuan elektrolit *support*, variasi waktu dan variasi tegangan listrik, proses selanjutnya adalah melakukan variasi pH. Variasi pH yang digunakan adalah 3, 5, dan 7. Metode ini menggunakan elektrolit support NaCl dan waktu yang paling efisien yaitu 120 menit dan tegangan sebesar 12 volt. Hasil analisis bisa dijelaskan pada Tabel 3.

Tabel 3. Penurunan konsentrasi Cr total terhadap pH

No.	pH	Konsentrasi Cr total (ppm)
1	3	0,6851
2	5	0,5754
3	7	0,7199

Dalam bentuk kurva, maka data pada Tabel 3 dapat dilukiskan dalam bentuk kurva pengaruh tegangan elektrolisis terhadap penurunan konsentrasi krom pada limbah K_2CrO_4 elektroplating sebagaimana Gambar 5.

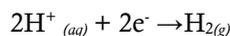


Gambar 5. Penurunan konsentrasi Cr total pada variasi pH

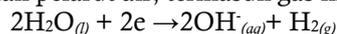
Variasi pH pada Gambar 5 Pada pH lebih dari 5 terjadi kenaikan absorbansi dikarenakan jumlah Cr yang terikat sangatlah sedikit. Ini diduga karena pada kondisi tersebut ($pH > 6$) terjadi kemasifan elektroda. Kemasifan elektroda adalah kondisi saat elektroda pasif artinya tidak terbentuk ion Al^{3+} yang dapat berikatan dengan $4OH^-$ membentuk $Al(OH)_4$ kemampuan elektroda memproduksi ion aluminium terbatas pada rentang pH tertentu, sehingga rapat arus yang digunakan akan terbatas. Pada Gambar 5 dapat disimpulkan bahwa penurunan Cr paling efisien terjadi pada pH 5 yaitu dengan penurunan sebesar 352,116 ppm. Pada kondisi yang sebelum terbentuk koagulan $Al(OH)_3$ mekanisme rekasinya adalah :

Reaksi pada katoda :

Ion H^+ dari suatu asam akan direduksi menjadi gas hidrogen yang akan bebas sebagai gelembung-gelembung gas.

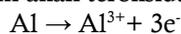


Jika larutan mengandung ion-ion logam alkali, alkali tanah, maka ion-ion ini tidak dapat direduksi dari larutan yang mengalami reduksi adalah pelarut air, termasuk gas hidrogen H_2 pada katoda.

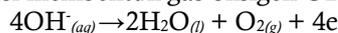


Reaksi pada anoda:

Anoda terbuat dari logam aluminium akan teroksidasi.



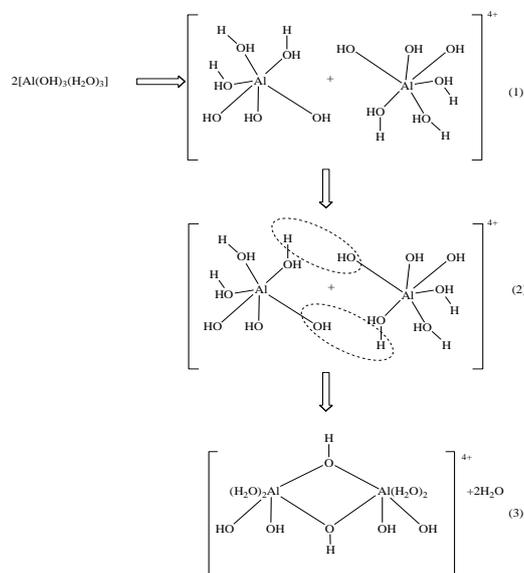
Ion OH^- dari basa akan mengalami oksidasi membentuk gas oksigen O_2



Dari reaksi-reaksi yang terjadi dalam proses elektrokoagulasi, maka pada katoda akan dihasilkan gas hidrogen dan reaksi ion logamnya. Sedang pada anoda akan dihasilkan gas halogen dan pengendapan flok-flok yang terbentuk. Karena dalam proses elektrokoagulasi ini menghasilkan gas yang berupa gelembung-gelembung gas, maka kotoran-kotoran yang terbentuk yang ada dalam air akan terangkat ke atas permukaan air. Flok-flok yang terbentuk mempunyai ukuran yang lebih kecil, sehingga flok-flok yang terbentuk lama-kelamaan akan bertambah besar ukurannya. Adanya oksidasi polutan membuat sifat toksiknya berkurang (Holt, 2006). Adanya gas H_2 yang dihasilkan membuat ion hidroksida yang mengikat polutan dalam limbah menjadi senyawa yang tidak larut yang akan mengalami pengapungan ke

permukaan reaktor (Prayitno *et al.*, 2016) atau terjadi flotasi elektrolitik (Ridantami *et al.*, 2016). Pada pH rendah spesies logam umumnya pada anoda akan bergerak ke spesies anionik, dan akan terjadi penetralan muatan dan pengurangan kelarutan, proses ini disebut presipitasi (Akyol *et al.*, 2013).

Menurut dari Daneshvar *et al.* (2002) kompleks $[\text{Al}(\text{OH})_3(\text{H}_2\text{O})_3]$ dibentuk oleh terhubungnya polimer hidroksi menjadi partikel tersuspensi. Kombinasi aluminium hidroksida dalam variasi kompleks permukaan terdiri dari daerah yang bermuatan positif dan negatif serta muatan oposisi yang bersifat menarik, dimana daerah tersebut cukup kuat untuk menghilangkan spesies terlarut dan ion dalam fasa larutan. Mekanisme reaksi pembentukan kompleks koagulan dapat dijelaskan sesuai pada Gambar 6.



Gambar 6. Mekanisme reaksi pembentukan kompleks koagulan

$\text{Al}(\text{OH})_3$ akan terpolimerisasi sesuai tahap (1). Ligan H_2O akan berinteraksi dengan OH , sehingga akan terjadi proses hidrasi sesuai tahap (2). Atom Al akan mengalami kekurangan ikatan sehingga berikatan dengan gugus OH (berasal dari H_2O dan H telah terlepas dengan berikatan dengan OH) dan membentuk ligan jembatan antara 2 atom pusat Al sesuai tahap (3).

Hasil akhir proses elektrokogulasi terdapat gelembung dan filtrat yang berada pada permukaan bak penampung. Hal tersebut membuktikan bahwa adanya gas H_2 yang tersisa pada saat proses elektrokoagulasi. Gas hidrogen (H_2) ini berasal dari reaksi reduksi air pada saat elektroda Al akan mengoksidasi logam Cr menjadi Cr^{6+} . Gas hidrogen merupakan gas yang berbahaya bagi lingkungan pembentukan gas hidrogen merupakan hasil dari korosi bahan logam pada kondisi tertentu. Kondisi tersebut sangat dipengaruhi oleh konsentrasi asam sulfat dan suhu. Sebagai hasilnya, terjadi ledakan campuran gas hidrogen dan oksigen dari proses gas yang berpotensi terjadinya ledakan gas hidrogen. Resiko terjadinya ledakan gas hidrogen pada dasarnya disebabkan beberapa faktor yaitu akumulasi terbentuknya gas hidrogen dari hasil korosi logam, terbentuknya campuran gas mudah meledak dari hidrogen dan oksigen gas hidrogen, oksigen bertemu dengan api.

Simpulan

Pada penelitian ini elektrolit *support* yang paling efisien digunakan dalam proses elektrokoagulasi adalah jenis elektrolit *support* NaCl dengan penurunan konsentrasi Cr pada limbah elektroplating sebesar 98,28%. Penggunaan elektrolit *support* ini dalam penurunan konsentrasi Cr total lebih tinggi dibandingkan dengan yang tidak menggunakan elektrolit *support* dengan penurunan konsentrasi Cr total sebesar 97,70%. Waktu optimal pada proses elektrokoagulasi yaitu 180 menit dengan presentase sebesar 97,92%, sedangkan tegangan listrik optimalnya 12 volt sebesar 97,96 % dan pH optimal proses elektrokoagulasinya pada pH 5 sebesar 98,83 %.

Daftar Pustaka

Akyol, A., O.T. Can, E. Demirbas, & M. Kobya. 2013. A Comparative Study of Electrocoagulation and Elektro-Fenton for Treatment of Wastewater from Liquid Organic Fertilizer Plant. *Separation and Purification Technology Journal*, 112(1): 11-29.

- Darmawan A, Suhartana, Kristinawati L. 2006. Koagulasi Pewarna Indigo Karmina dengan Metode Elektrokoagulasi menggunakan Anoda Seng. *Jurnal Sains Kimia Analisis*, 9(1): 3-5.
- Holt., Peter K., Geoffrey W. Barton., Cynthia A. Mitchell. 2004. The Future for Electrocoagulation As A Localised Water Treatment Technology. *Elsevier Journal Chemosphere*, 1(1): 1-13.
- Khandegar, V. & A. K. Saroha. 2013. Electrocoagulation for the Treatment of Textile Industry Effluent-A Review. *Journal of Environmental Management*, 128: 949-963.
- Lekhlif, B., L. Oudrhiri, F. Zidane, P. Drogui, & J.F. Blais. 2014. Study of the Electrocoagulation of Electroplating Industry Wastewaters Charged by Nickel (II) and Chromium (VI). *Journal Material Environment Sciences*, 5(1): 111-120.
- Rachmanita. 2010. *Studi Penurunan Konsentrasi Nikel dan Tembaga pada Limbah Cair Electroplating dengan Metode Elektrokoagulasi*. Program Studi Teknik Lingkungan. UNDIP : Semarang.
- Rachmawati, B., Y. Surya, & M. Mirwan. 2014. Proses Elektrokoagulasi Pengolahan Limbah *Laundry*. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 6: 15-22.
- Ridantami, V., B. Wasito, & Prayitno. 2016. Pengaruh Tegangan dan Waktu Pada Pengolahan Limbah Radioaktif Uranium dan Torium dengan Proses Elektrolisis. *Jurnal Forum Nuklir* 12(2): 102-107.
- Susetyaningsih, R., Kismolo E., dan Prayitno. 2008. Kajian Proses Elektrokoagulasi untuk Pengolahan Limbah Cair. Jurnal Seminar Nasional IV SD. *Jurnal Teknologi Nuklir*, 1(1): 339-342.
- Zewail T.M, Yousef N.S. 2014. Chromium Ions (Cr^{6+} & Cr^{3+}) Removal from Synthetic Wastewater by Electrocoagulation Using Vertical Exposed Fe Anode. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 14(1) : 2-3.