

PENGARUH TEGANGAN DAN WAKTU PADA PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF URANIUM DAN TORIUM DENGAN PROSES ELEKTROKOAGULASI

Vemi Ridantami¹, Bangun Wasito¹, Prayitno²

1) Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-BATAN, Yogyakarta, Indonesia,
reedanta@gmail.com

2) Pusat Sains Teknologi Akselerator-BATAN, Yogyakarta, Indonesia

ABSTRAK

PENGARUH TEGANGAN DAN WAKTU PADA PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF URANIUM DAN TORIUM DENGAN PROSES ELEKTROKOAGULASI. Metode pengolahan limbah radioaktif dengan metode fisika dan kimia yang telah dilakukan dinilai kurang efektif, memerlukan waktu yang lama dan biaya yang mahal. Untuk itu perlu dilakukan pengolahan limbah uranium dan torium dengan proses elektokoagulasi untuk memisahkan uranium dan torium dalam limbah cair. Limbah yang digunakan memiliki kadar kontaminan uranium dan torium 500 mg/liter. Pengolahan dilakukan dengan tegangan 10V, 12,5V, dan 15 volt dengan waktu 10, 20, 30, 40, 50, dan 60 menit dengan elektroda aluminium. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi penurunan kontaminan terbaik pada pengolahan ini diperoleh pada kondisi 12,5 V, waktu 60 menit, dengan efisiensi sebesar 97,2% untuk uranium, sedangkan untuk torium pada 12,5 V, waktu 30 menit, dengan efisiensi sebesar 99,6% .

Kata kunci: elektrokoagulasi, uranium, torium

ABSTRACT

EFFECTS OF VOLTAGE AND TIME ON URANIUM AND THORIUM LIQUID RADIOACTIVE WASTE TREATMENT USING ELECTROCOAGULATION PROCESS. Radioactive waste treatment using physical and chemical methods is considered to be less effective, time consuming, and expensive. An alternative method has been done to separate uranium and thorium in liquid waste through electrocoagulation process. Uranium and thorium contaminants in the liquid waste was 500 mg/litre. The experiment was conducted by varying voltages to be 10 V, 12,5 V, and 15 V with operation time 10, 20, 30, 40, 50, and 60 minutes with electrode aluminium. Results showed that most reduction of uranium contaminant was reached under condition of 12,5 V voltage, 60 minutes operation time, with 97,2% efficiency. Most reduction of thorium contaminants was reached under condition of 12,5 V voltage, 30 minutes operation time, with 99,6% efficiency.

Key words: electrocoagulation, thorium, uranium

PENDAHULUAN

Kegiatan penelitian dan pengembangan di bidang kimia dan teknologi proses bahan industri mempunyai keuntungan positif dalam peningkatan kesejahteraan dan kemakmuran rakyat. Namun, kegiatan penelitian dan pengembangan proses bahan industri nuklir tersebut mempunyai potensi bahaya radiasi terhadap pekerja, anggota masyarakat dan lingkungan hidup. Selain itu, penelitian dan pengembangan tersebut akan menimbulkan

limbah radioaktif yang berpotensi bahaya jika tidak dikelola dengan baik dan tepat.

Limbah yang mengandung uranium dan torium dapat menimbulkan dampak negatif pada manusia dan lingkungan. Uranium dan torium merupakan unsur yang banyak terdapat di alam dengan waktu paruh panjang, yaitu 4,46 miliar tahun dan torium 14,05 miliar tahun. Selain itu, uranium dan torium merupakan salah satu logam berat dengan toksisitas tinggi dikarenakan sifatnya yang beracun dan radioaktif.

Pengelolaan limbah radioaktif cair yang telah dilakukan secara kimia dan fisika, yaitu dengan pemakaian bahan koagulan, evaporasi dan penukar ion. Pengolahan secara kimia harus mempertimbangkan bahwa penggunaan bahan kimia dapat menimbulkan pencemaran lingkungan. Selain itu, proses pengolahan kimia pada *effluent* masih sedikit mengandung logam berat dan zat padat terlarut sehingga belum dapat dibuang ke lingkungan. Sementara itu, pengolahan limbah cair secara fisika seperti evaporasi, penukar ion, *reverse osmosis*, memerlukan biaya yang cukup mahal dan tidak cukup efektif untuk memindahkan kontaminan dalam air [1]

Beberapa tahun belakangan ini telah dikembangkan suatu alternatif pengolahan limbah dengan menggunakan elektrokoagulator. Elektrokoagulasi diakui sebagai metode pengolahan berbagai jenis limbah dengan proses yang efektif [2]. Proses pengolahan limbah dengan metode ini dapat mengurangi biaya operasi dan perawatan serta tidak menggunakan bahan kimia. Perlu dilakukan studi terkait metode tersebut jika digunakan untuk pengolahan limbah radioaktif uranium dan torium.

TEORI

Metode elektrokoagulasi sering dikenal sebagai “elektrolisis gelombang pendek” yang diduga dapat menjadi pilihan metode pengolahan limbah radioaktif dan limbah berbahaya beracun yang merupakan gabungan dua proses, yaitu elektrokimia dan koagulasi-flokulasi.

Elektrokoagulasi merupakan proses penggumpalan dan pengendapan partikel halus yang terdapat dalam air dengan menggunakan energi listrik. Proses elektrokoagulasi biasa dilakukan pada bejana elektrolisis yang di dalamnya terdapat penghantar arus listrik yang dinamakan elektroda. Elektrokoagulasi merupakan proses penggumpalan dan pengendapan partikel halus yang terdapat dalam air menggunakan energi listrik.

Proses elektrokoagulasi merupakan metode pengolahan limbah yang dikembangkan secara luas untuk pengolahan berbagai limbah di antaranya limbah industri tekstil, limbah *laundry*, limbah *electroplating*, limbah minyak, limbah industri kertas dan *pulp*. Selain itu, proses elektrokoagulasi juga dapat memindahkan berbagai kontaminan

bakteri, virus, arsen, fosfat, sulfat, boron, nitrat, florida, dan krom [3].

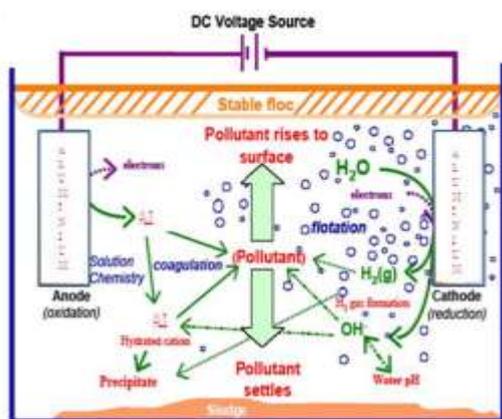
Prinsip dasar elektrokoagulasi adalah reaksi reduksi dan oksidasi (redoks). Dalam suatu sel elektrokoagulasi terjadi peristiwa oksidasi di anoda dan reduksi di katoda [1,2,3,]. Pada proses ini, selain elektroda juga melibatkan air yang diolah yang berfungsi sebagai larutan elektrolit.

Proses elektrokoagulasi terjadi karena presipitasi elektrolitik dengan adanya medan listrik di antara dua elektroda sehingga terlepaslah ion Al dari anoda melalui reaksi oksidasi. Ion tersebut terhidrolisis menjadi hidroksida kompleks yang disebut koagulan, dan selanjutnya akan mendestabilkan kontaminan dalam limbah, yang kemudian akan terjadi adsorpsi oleh partikel-partikel bermuatan negatif atau koloid bermuatan negatif dari limbah yang ada di sekitarnya [3].

Pada umumnya, proses elektrokoagulasi terjadi karena transfer elektron dari satu elektroda ke elektroda lainnya, di mana aliran listrik yang disediakan oleh tegangan dialirkan di antara dua elektroda. Pada proses elektrokoagulasi tegangan yang biasa digunakan antara 0-60 V [5]. Selain proses elektrokimia, pada proses elektrokoagulasi juga terjadi flotasi elektrolitik, karena gas yang terbentuk di katoda berupa gas hidrogen akan membuat aluminium hidroksida kompleks ($Al(OH)_3$) yang terbentuk akan mengikat kontaminan dalam air limbah.

Hidroksida kompleks yang mengikat kontaminan membentuk flok. Adanya gas hidrogen menyebabkan flok yang terbentuk terangkat ke permukaan reaktor [9]. Proses berjalan secara terus-menerus secara simultan sehingga, seiring berjalannya waktu, flok yang terbentuk akan semakin banyak dan saling bertumbukan. Tumbukan antar-flok menyebabkan berat jenis flok meningkat sehingga sebagian akan jatuh ke dasar reaktor dalam bentuk *sludge* seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

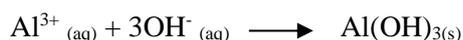
Pada proses elektrokoagulasi tidak ada bahan kimia yang ditambahkan dalam proses. Ketika dialirkan arus DC pada proses ini, akan terjadi perbedaan potensial di antara elektroda katoda dan anoda sehingga akan terjadi reaksi oksidasi pada logam yang menghasilkan ion hidrogen (H^+) dan gas oksigen. Sementara itu, air tereduksi pada katoda yang menghasilkan ion hidroksil (OH^-) dan gas hidrogen [4].



Gambar 1. Proses Elektrokoagulasi [12]

Ketika menggunakan elektroda aluminium, reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

Reaksi pada anoda



Reaksi pada katoda



Reaksi keseluruhan



Tingkat keberhasilan proses elektrokoagulasi diukur dari tingkat efisiensi pemisahan, yang dinyatakan dengan nilai sebelum dan sesudah proses berjalan, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\eta (\%) = \frac{C_0 - C(t)}{C_0} 100 \% \quad (1)$$

dengan C_0 adalah konsentrasi awal kontaminan dalam sampel limbah, dan $C(t)$ adalah konsentrasi kontaminan pada waktu tertentu.

TATA KERJA

Alat

Alat yang digunakan adalah seperangkat elektrokoagulator dengan elektroda aluminium berukuran $20 \times 13 \times 0,15$ cm sebanyak 8 pasang anoda dan katoda. Untuk analisis uranium dan torium digunakan spektrofotometer UV-Vis 1800 Simadzu.

Bahan

Bahan yang digunakan limbah radioaktif simulasi dengan menggunakan uranyl nitrat $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan torium nitrat $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dengan konsentrasi 500 ppm, bahan analisis arsenazo III, asam oksalat, asam nitrat, NaOH, aquabidest.

Cara Kerja

Limbah cair fasa air dipompa masuk ke dalam bak elektrokoagulasi dengan kecepatan 100 ml/menit. Aliran listrik DC dihidupkan dengan tegangan yang diinginkan, serta stopwatch dihidupkan. Tegangan dibuat konstan, dan setiap interval waktu 0, 10, 20, 30, 40, 50 dan 60 menit dilakukan *sampling* limbah.

Sampel limbah disaring dengan kertas saring, kemudian dilakukan analisis kandungan uranium dan torium dalam limbah dengan spektrofotometer UV-Vis 1800 shimadzu dengan pengompleks arsenazo III, pH diatur pada 1-3 dengan penambahan NaOH dan asam nitrat, dan asam oksalat. Uranium dibaca pada panjang gelombang 652 nm dan torium pada panjang gelombang 665 nm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Studi pengaruh tegangan terhadap efektivitas penurunan uranium dan torium dari proses elektrokoagulasi dilakukan dengan variasi 10V, 12,5V dan 15 V. Proses elektrokoagulasi dilakukan selama 60 menit, dan dilakukan *sampling* setiap 10 menit. Dari data analisis didapatkan grafik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.

Dari Gambar 2 dapat diketahui bahwa semakin tinggi tegangan, efisiensi penurunan polutan semakin meningkat. Hal ini ada hubungannya dengan arus yang terjadi dalam proses elektrokoagulasi. Naiknya tegangan akan menyebabkan naiknya arus pada proses elektrokoagulasi, karena arus berbanding lurus dengan tegangan sesuai dengan hukum Ohm, yaitu $I = V/R$.

Meningkatnya arus meningkatkan oksidasi elektroda aluminium sesuai dengan Hukum Faraday I, di mana massa zat yang dihasilkan di elektroda selama proses elektrolisis akan berbanding lurus dengan banyaknya mol elektron yang diberikan pada elektroda. Tabel 1 menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan, semakin besar pula arus yang dihasilkan dan semakin banyak aluminium

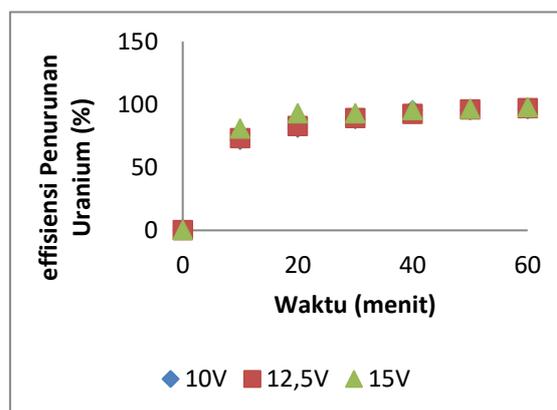
yang terlarut, sehingga kenaikan tegangan secara tidak langsung berpengaruh dalam produksi Al(OH). Semakin besar arus, semakin tinggi pula produksi Al(OH)₃, sehingga efisiensi penurunan semakin baik [5].

Pada proses elektrokoagulasi penurunan torium yang ditunjukkan pada Gambar 3 dapat diketahui bahwa pada tegangan 12,5 V dan 15 V efisiensi proses elektrokoagulasi berdekatan, sedangkan pada 10 V efisiensinya rendah. Hal ini mungkin disebabkan pada tegangan 10 V suplai tegangan dalam pembentukan Al(OH)₃ kurang, sehingga proses elektrokoagulasi kurang efektif. Selain itu, juga terjadi *passivation*, yaitu terbentuknya lapisan tipis Al₂O₃ sehingga proses oksidasi pada elektroda anoda menjadi terhambat. Lapisan tersebut mencegah pelarutan logam dan transfer elektron pada anoda sehingga produksi ion Al³⁺ berkurang. Hal ini berdampak pada menurunnya efisiensi proses penurunan torium [11].

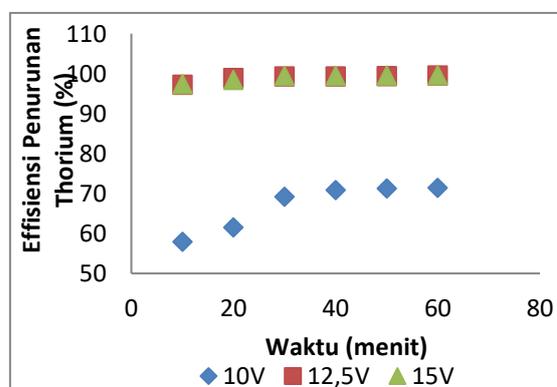
Adapun mengenai pengaruh waktu, dapat diketahui bahwa waktu terbaik yang menghasilkan efisiensi penurunan uranium adalah 60 menit. Hal ini terjadi karena semakin lama waktu, maka aluminium yang terlarut pun semakin banyak seperti ditunjukkan pada Tabel 1, sehingga pembentukan Al(OH)₃ dalam proses akan semakin meningkat yang menyebabkan jumlah kompleks yang mengikat kontaminan semakin banyak pula sehingga efisiensi penurunan kontaminan semakin baik. Sementara itu, pada torium waktu 30 menit sudah menunjukkan kesetimbangan. Hal ini mungkin akibat terjadinya kejenuhan pada plat elektroda yang digunakan, yaitu semua plat tertutup oleh flok yang terbentuk sehingga kemampuan untuk menarik ion dalam limbah pun berkurang, yang menyebabkan penurunan besarnya kuat medan[7].

Tabel 2. Arus dengan Al yang Terlarut

Waktu (menit)	Arus (A)			Al yang larut (gram)		
	10	12,5	15	10	12,5	15
	V	V	V	V	V	V
0	5.00	5.8	6.65	0.000	0.000	0.000
10	4.70	5.3	6.53	0.039	0.044	0.054
20	4.30	5.1	6.08	0.071	0.084	0.100
30	3.80	4.4	5.8	0.094	0.109	0.143
40	3.40	3.9	5.53	0.112	0.128	0.182
50	3.20	3.7	4.87	0.132	0.152	0.200
60	3.10	3.7	4.62	0.153	0.183	0.228
jumlah				0.599	0.699	0.907



Gambar 2. Kurva Waktu vs Efisiensi Penurunan Uranium Variasi Tegangan



Gambar 3. Kurva Waktu vs Efisiensi Penurunan Torium Variasi Tegangan

Meningkatnya produksi $Al(OH)_3$ dalam air limbah yang diolah dengan proses elektrokoagulasi juga dapat meningkatkan nilai pH air limbah yang meningkat seiring waktu proses sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2

Tabel 3. Perubahan pH Variasi Tegangan

Waktu (menit)	pH		
	10 V	12,5 V	15 V
0	3.56	3.56	3.56
10	3.98	4.36	4.45
20	4.01	4.42	4.48
30	4.28	4.50	4.95
40	4.83	4.60	5.20
50	4.98	4.70	5.45
60	4.85	4.76	5.70

Tabel 2 menunjukkan bahwa semakin lama proses elektrokoagulasi berlangsung, nilai pH limbah semakin meningkat. Pada proses elektrokoagulasi terjadi oksidasi elektroda anoda, juga terbentuk hidrogen pada katoda, ion aluminium yang terlepas berinteraksi membentuk kompleks hidroksida yang dapat mempengaruhi pH air limbah. Ion hidroksil yang dihasilkan dari elektroda katoda dan terlarut dalam air limbah akan menyebabkan pH limbah meningkat seiring berjalannya waktu [2][8].

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan dan waktu pada proses elektrokoagulasi memberikan pengaruh terhadap penurunan kontaminan uranium dan torium dalam limbah cair. Proses elektrokoagulasi meningkatkan pH air limbah

Efisiensi penurunan kontaminan terbaik pada pengolahan ini diperoleh pada kondisi 12,5V dan waktu 60 menit untuk uranium dengan efisiensi sebesar sebesar 97,2%, dan torium pada 12,5V dan waktu 30 menit dengan efisiensi penurunan sebesar 99,6%

DAFTAR PUSTAKA

1. Kamaraj, R., Vasudevan, R., "Evaluation of electrocoagulation process for the removal of strontium and cesium from aqueous solution", *Chemical Engineering Research and Design* 93, 2015, pp 522-530
2. Harif, T., Khai, M., Adin, A., "Electrocoagulation versus Chemical Coagulation: Coagulation/flocculation mechanisms and resulting floc characteristics", *Water Research* 46, 2012, pp 3177-3188
3. El Taweel, Y., et al, "Removal of Cr(VI) ions from waste water by electrocoagulation using iron electrode", *Egyptian journal of Petroleum* 24, 2015, pp 183-192.
4. Al Shannag M., et al, "Heavy metal ions removal from metal plating waste water using electrocoagulation", *Chemical Engineering Journal* 260, 2015, pp 749-756, Elsevier
5. Dehghani, M., et al, "Application of Electrocoagulation process for reactive red 198 Dye removal from the aqueous solution", *Iranium Journal Of Health Sciences* 2, 2014, page 1-9
6. Anggraini, M., dkk, "Pengendapan Uranium dan Thorium hasil pelarutan slag II", *Eksplorium* Vol 36 No 2, 2015, hal 125-132
7. Wahyulis, N.C., "Optimasi Tegangan pada Proses Elektrokoagulasi penurunan kadar Cr dari filtrat Hasil Hidrolisis Limbah Padat Penyamakan Kulit", *Jurnal Sains dan Seni Pomits* Vol 3 No 2, 2014, 2337-3520, Institut Teknologi Surabaya
8. Kobya, M., Demirbas, E., "Evaluations of Operating parameters on Treatment of can manufacturing wastewater by Electrocoagulation", *Journal of Water Process Engineering* 64, 2015, Turkey
9. Demirci, Y., Pekel, L., Albaz, M., "Investigation of Different Electrode Connection in Electrocoagulation of Textile Wastewater Treatment, *International Journal of Electrochemical Science*, 2015, Turkey

10. Gatsious, E., et al, "Optimization of Electrocoagulation process for the purification of a real industrial wastewater from toxic metals", *Journal of Environmental Management* 154, 2015, pp 117-127
11. Holt, P., Barton, G., Mitchel, C., "The future for electrocoagulation as a localized water treatment technology", *Chemosphere* 59, 2005,page 355-367
12. Anonim. (11 May 2016). *Ilustrasi Proses Elektrokoagulasi* Available: www.cr-enviro.com