

PENGARUH TEGANGAN, WAKTU DAN KEASAMAN PADA PROSES ELEKTRODIALISIS LARUTAN URANIL NITRAT

Sigit, Ghaib Widodo, Ratih Langenati, Torowati, Noor Yudhi

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN
Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan 15314, Banten
e-mail: sigit@batan.go.id

(Diterima 5-4-2010, disetujui 5-5-2010)

ABSTRAK

PENGARUH TEGANGAN, WAKTU DAN KEASAMAN PADA PROSES ELEKTRODIALISIS LARUTAN URANIL NITRAT. Telah dipelajari proses elektrodialisis dari larutan uranil nitrat sebagai umpan dengan variabel tegangan, waktu dan keasaman dengan tujuan untuk mempelajari pemisahan uranium dari larutan umpan. Sel elektrodialisis yang digunakan berbentuk kotak empat persegi yang dibagi menjadi tiga bagian yaitu bilik anode, bilik umpan dan bilik katode. Pada bilik anode dipasang anode, pada bilik katode dipasang katode, sedangkan umpan uranil nitrat ditempatkan pada bilik umpan yang berada di antara bilik anode dan katode. Antara bilik anode dan bilik umpan dibatasi dengan membran tukar anion (MTA) dan antara bilik umpan dan bilik katode dibatasi dengan membran tukar kation (MTK). Pada saat proses elektrodialisis berlangsung, ion uranil ditarik oleh katode menuju bilik katode melewati MTK, sedangkan ion nitrat ditarik oleh anode ke bilik anode. Untuk mengetahui konsentrasi uranium pada bilik umpan, dilakukan analisis menggunakan titroprosesor. Hasil percobaan menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan dan semakin lama waktu proses elektrodialisis, semakin kecil kadar uranium dalam bilik umpan. Sebaliknya, semakin besar konsentrasi uranium dalam bilik katode berarti telah terjadi pemisahan uranium dari umpan menuju bilik katode. Penurunan kadar uranium dalam umpan terbesar terjadi pada tegangan 8 Volt yaitu 38,09% atau kadar U akhir dalam umpan sebesar 0,832 g/L untuk waktu elektrodialisis selama 180 menit dan keasaman (normalitas asam nitrat) pada umpan 4,58 N. Keasaman umpan juga berpengaruh terhadap penurunan kadar uranium. Untuk tegangan 4 dan 5 Volt, keasaman pada umpan yang rendah yaitu 2 N memberikan kenaikan kadar uranium yang rendah pada bilik katode. Kadar uranium selanjutnya naik sewaktu keasaman umpan bertambah menjadi 3,56 N, tetapi menurun lagi pada keasaman umpan 4,58 N.

KATA KUNCI: elektrodialisis, uranil nitrat, tegangan, keasaman (normalitas asam nitrat)

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF VOLTAGE, TIME AND ACIDITY ON ELECTRODIALYSIS PROCESS OF URANYL NITRATE SOLUTION.

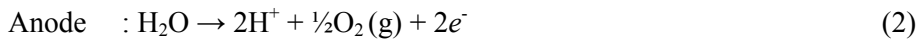
Electrodialysis of uranyl nitrate solution with voltage, time and acidity as the process variables has been investigated in order to study uranium separation from feed solution. The electrodialysis cell is of a box shape that is divided into three sections, which are the anode, feed and cathode compartments. In the anode and cathode compartments, the anode and cathode were fitted correspondingly, while the feed was placed in the feed compartment. The anode and feed compartments are separated by an anion exchange membrane (AEM), and the cathode and feed compartments are separated by a cation exchange membrane (CEM). When the electrodialysis was performed, the uranyl ions were drawn by the cathode toward the CEM, while the nitrate ions were drawn by the anode toward the MTA. The uranium concentration in the feed was analysed by using a titroprocessor. The experiment results showed that the higher the electrodialysis voltage and the longer the time, the less the uranium concentration in the feed compartment. On the other hand, increasing the concentration of the uranium in the cathode compartment resulted in a separation of uranium from the feed toward the cathode compartment. A decrease of the uranium concentration in the feed occurred at a voltage of 8 Volts, which was 38.09%, or the final U concentration in the feed was 0.832 g/L for electrodialysis time of 180 minutes and the feed acidity (nitric acid normality) of 4.58 N. The acidity of the feed also posed an influence toward the decrease of uranium concentration. At voltages of 4 and 5 Volts, the low acidity of 2 N in the feed resulted in a small increase of uranium concentration in the cathode compartment. The uranium concentration then increased as the feed acidity was increased to 3.56 N, but decreased again at the feed acidity of 4.58 N.

FREE TERMS: electrodialysis, uranyl nitrate, voltage, acidity (nitric acid normality).

I. PENDAHULUAN

Elektrodialisis merupakan suatu proses pemisahan dengan menggunakan membran tukar kation, dimana ion berpindah dari larutan yang satu ke larutan yang lain melalui membran tersebut karena adanya perbedaan tegangan listrik^[1,2]. Proses tersebut berjalan dalam tempat yang dinamakan sel elektrodialisis. Dalam aplikasinya, metode elektrodialisis dapat dilaksanakan secara kontinyu maupun catu (*batch*). Dalam proses kontinyu, umpan dialirkan melalui sejumlah bilik secara seri guna menghasilkan produk seperti yang diinginkan. Dalam proses catu, diluat disirkulasi melalui sistem elektrodialisis sampai diperoleh produk final dengan kondisi tertentu yang diinginkan, misalnya konsentrasi^[2].

Reaksi yang terjadi pada elektrode adalah^[3]:



Di industri, teknik elektrodialisis banyak digunakan pada desalinasi air laut, produksi air minum, pemisahan air dari limbah, pre-demineralisasi untuk keperluan boiler, juga pada pabrik makanan dan minuman, misalnya untuk mengurangi rasa asam pada jus buah. Perkembangan lebih lanjut yaitu dengan menggunakan membran bipolar yang mempunyai keunggulan pada kualitas produk dan minimalisasi limbah. Untuk meningkatkan kualitas produk dilakukan pula dengan cara modeling^[4,5].

Teknologi elektrodialisis menggunakan membran tukar ion, yaitu membran tukar anion dan kation yang bersifat permeabel berupa lembaran dari resin tukar ion atau dapat juga mengandung polimer untuk memperbaiki kekuatan mekanik dan fleksibilitas. Membran tersebut berbentuk jaringan *crosslinking* untuk menjaga agar tidak terjadi pelarutan bila digunakan dalam suatu larutan atau cairan. Divinilbenzena digunakan untuk membentuk *crosslink* pada rantai cabang polistirena. Derajat *crosslinking* dan densitas muatan tetap mempengaruhi karakteristik membran. Jika *crosslinking* tinggi, maka akan memperbaiki selektivitas dan stabilitas membran dengan mereduksi pembengkakan, tetapi menaikkan tahanan listrik. Jika densitas muatan tetapnya tinggi, maka akan menurunkan tahanan dan menaikkan selektivitas, tetapi berpengaruh terhadap pembengkakan sehingga memerlukan *crosslinking* yang lebih tinggi. Oleh karena itu diperlukan kesesuaian antara selektivitas, tahanan listrik dan stabilitas yaitu dengan mengatur *crosslinking* dan densitas muatan tetap^[6].

Di bidang nuklir, teknik elektrodialisis telah dikembangkan untuk mendapatkan larutan urano nitrat dari uranil nitrat mengandung hidrazin yang digunakan dalam proses partisi U dan Pu dalam proses PUREX, sehingga Pu(IV) direduksi menjadi Pu(III) yang tetap berada dalam fase air, sedangkan U(VI) tetap berada dalam fase organik (30% TBP / 70% kerosin). Kendali valensi terhadap uranium adalah faktor dominan dalam pengoperasian proses. Zat pereduksi yang biasanya digunakan adalah fero sulfamat, hidroksilamina nitrat, hidrogen dengan katalis, dan urano nitrat yang dilengkapi dengan hidrazin. Urano nitrat dipilih karena tidak menyumbang ion yang korosif dan tidak meningkatkan kandungan garam dalam rafinat dibandingkan produksi lainnya. Saat ini, urano nitrat diproduksi secara kimia, fotokimia, atau

elektrokimia. Namun, metode elektrokimia atau elektrodialisis lebih banyak dipakai, karena lebih sederhana dan urano nitrat dapat diproduksi besar-besaran^[7]. Pembuatan larutan U(IV) dari U(VI) juga telah dipelajari menggunakan teknik elektrodialisis yang terdiri dari dua bilik, yaitu bilik anode dan bilik katode^[8].

Dalam penelitian ini, teknik elektrodialisis dikembangkan dengan menggunakan sebuah sel elektrodialisis berbentuk kotak empat persegi panjang yang terdiri dari tiga bilik. Untuk dapat melaksanakan penelitian dengan teknik elektrodialisis ini, terlebih dahulu dibuat sel elektrodialisis tiga bilik. Sel tersebut terdiri dari bilik anode, bilik umpan dan bilik katode. Di antara bilik dibatasi dengan membran tukar ion. Pada bilik anode dan bilik umpan dibatasi dengan membran tukar anion (MTA), sedangkan pada bilik umpan dan bilik katode dibatasi dengan membran tukar kation (MTK). Sebagai umpan adalah larutan yang mengandung uranium, yaitu larutan uranil nitrat yang diletakkan dalam bilik umpan. Pada elektrode platina (Pt) sebagai katode dan anode dialirkan arus listrik sehingga ion uranium dan ion logam-logam lain yang bermuatan positif akan tertarik oleh katode melewati membran tukar kation, sedangkan ion-ion negatif dari berbagai jenis asam tertarik oleh anode melewati membran tukar anion.

Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari proses elektrodialisis tiga bilik dari larutan uranil nitrat, dengan parameter yang dipelajari yaitu tegangan, keasaman umpan dan waktu elektrodialisis. Kadar uranium dalam umpan dan bilik katode dianalisis secara potensiometrik menggunakan alat titroprosesor. Diharapkan dari penelitian ini diperoleh metode pemisahan atau pemungutan uranium dari efluen proses yang ada di Instalasi Elemen Bakar Eksperimental hingga konsentrasi uranium dalam efluen proses serendah mungkin.

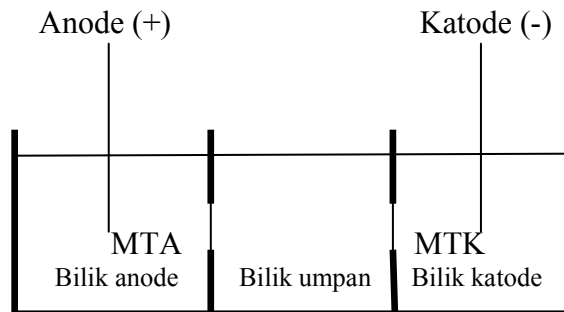
II. TATA KERJA

Bahan yang digunakan adalah serbuk UO_2 , HNO_3 dan aquades. Larutan uranil nitrat ($UO_2(NO_3)_2$) dibuat dengan cara melarutkan UO_2 dalam HNO_3 sambil dipanaskan hingga diperoleh larutan umpan dengan konsentrasi atau kadar U dan keasaman tertentu. Konsentrasi uranium ditentukan menggunakan titroprosesor.

Alat yang digunakan adalah satu unit sel elektrodialisis tiga bilik, *DC power supply* model PR 680, multimeter, elektrode platina (Pt), penjepit elektrode, kawat penggantung elektrode, dan titroprosesor.

Sel elektrolisis tiga bilik dibuat dari bahan *flexy glass* dipotong sesuai ukuran, kemudian dirangkai menjadi satu unit sel elektrodialisis tiga bilik.

Setelah itu, dilakukan uji kebocoran, uji fungsi dan unjuk kerja alat. Skema rangkaian sel elektrodialisis yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 1. Sel terdiri dari tiga bilik, yaitu bilik anode, bilik umpan dan bilik katode, dimana masing-masing bilik dibatasi dengan MTA dan MTK. Kapasitas masing-masing bilik sekitar 450 cm³, dengan jarak anode-MTA dan jarak katode-MTK masing-masing 2,5 cm.



Gambar 1. Skema sel elektrodialisis tiga bilik.

Percobaan elektrodialisis dilakukan dengan menggunakan umpan uranil nitrat konsentrasi U sekitar 1 g/L dan parameter tegangan, keasaman (normalitas asam nitrat) dalam umpan serta waktu elektrodialisis. Umpan dimasukkan dalam bilik umpan, sedangkan pada bilik anode dan katode diisi dengan HNO₃. Pada bilik anode dipasang anode Pt dan pada bilik katode dipasang katode Pt yang dihubungkan dengan *dc power supply*. Arus dialirkan dengan menghidupkan alat, dan setiap 30 menit dilakukan pencuplikan pada bilik umpan dan bilik katode untuk menentukan konsentrasi uranium. Penentuan penurunan konsentrasi uranium dalam umpan dihitung dengan persamaan (3):

$$\%U = \frac{U \text{ bilikkatode}}{U \text{ awal}} \times 100\% \quad (3)$$

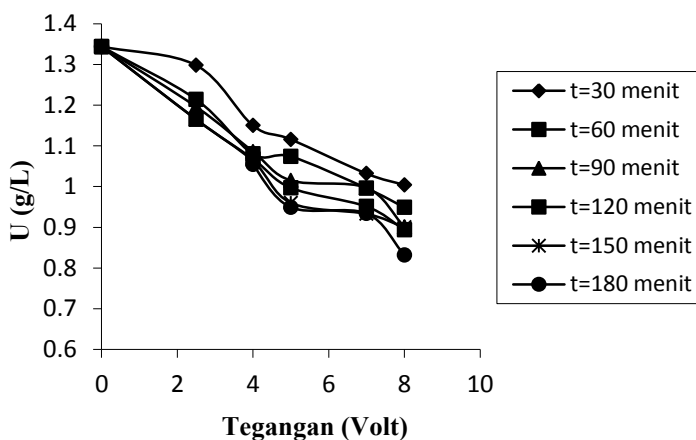
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengaruh Tegangan

Pada percobaan proses elektrodialisis dengan parameter tegangan, umpan yang digunakan adalah larutan uranil nitrat dengan konsentrasi uranium 1,344 g/L dan keasaman 4,58 N yang ditempatkan dalam bilik umpan; jarak anode – membran dan katode – membran masing-masing 2,5 cm; bilik anode

dan bilik katode berisi asam nitrat 0,25 N. Tegangan divariasi dari 2,5 – 8 Volt. Selama proses elektrodialisis berlangsung, dilakukan pencuplikan larutan uranil nitrat pada bilik umpan setiap 30 menit untuk menentukan konsentrasi uraniumnya. Konsentrasi uranium pada bilik katode ditentukan dengan cara pengurangan konsentrasi uranium awal dengan konsentrasi uranium pada bilik umpan. Hasil elektrodialisis dengan waktu dari 30 – 180 menit diberikan pada Gambar 2.

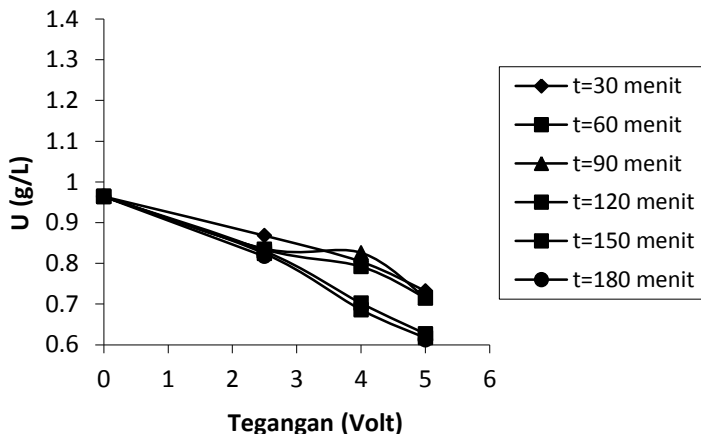
Pada Gambar 2 dapat dilihat pengaruh tegangan terhadap konsentrasi uranium dalam bilik umpan dengan parameter waktu yang berbeda-beda. Tampak bahwa dengan naiknya tegangan maka telah terjadi penurunan konsentrasi U dalam bilik umpan. Hal ini terjadi untuk semua waktu elektrodialisis yang dipakai. Untuk waktu terlama yaitu 180 menit dan tegangan tertinggi yaitu 8 Volt, konsentrasi U akhir dalam umpan 0,832 g/L atau terjadi penurunan konsentrasi U dalam umpan sebesar 38,09%.



Gambar 2. Pengaruh tegangan terhadap penurunan kadar U dalam umpan uranil nitrat. Keasaman (normalitas asam nitrat) pada umpan sebesar 4,58 N.

Untuk keasaman umpan uranil nitrat yang diturunkan menjadi 3,6 N, hasil elektrodialisis disajikan pada Gambar 3. Tegangan divariasi mulai dari 2,5 sampai dengan 5 Volt dan konsentrasi U awal dalam umpan uranil nitrat adalah 0,964 g/L, dan konsentrasi asam nitrat pada bilik anode dan katode masing-masing 1,25 N. Pada Gambar 3 dapat dilihat pengaruh tegangan terhadap penurunan konsentrasi U yang ada pada bilik umpan. Penurunan konsentrasi U dalam umpan terbesar terjadi pada tegangan 5 Volt dan waktu

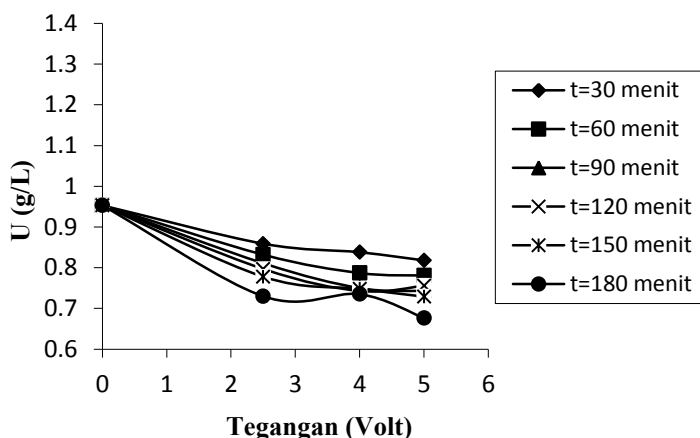
180 menit, yaitu sebesar 36,51% atau konsentrasi U akhir dalam umpan 0,612 g/L .



Gambar 3. Pengaruh tegangan terhadap penurunan kadar U dalam umpan uranil nitrat. Keasaman (normalitas asam nitrat) pada umpan sebesar 3,6 N.

Untuk mendekati dengan keasaman efluen proses, maka dilakukan percobaan pula dengan menurunkan keasaman umpan menjadi 2 N, dimana hasil percobaan elektrodialisis dapat dilihat pada Gambar 4 dengan variasi tegangan 2,5 – 5 Volt. Konsentrasi U awal pada umpan yang digunakan adalah 0,953 g/L, sedangkan konsentrasi asam nitrat pada bilik anode dan katode 0,125 N. Penurunan konsentrasi U dalam umpan terbesar adalah pada tegangan 5 Volt dan waktu 180 menit yaitu sebesar 29,07% atau konsentrasi U akhir dalam umpan sebesar 0,277 g/L.

Pengaruh tegangan terhadap penurunan kadar uranium dalam umpan uranil nitrat seperti telah disajikan pada Gambar 2, 3 dan 4 menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan yang digunakan, maka semakin besar pula penurunan konsentrasi uranium dalam umpan uranil nitrat. Penurunan konsentrasi U dalam bilik umpan ini menandakan bahwa telah terjadi proses elektrodialisis, yaitu ion uranium yang bermuatan positif (ion uranil/ UO_2^{++}) telah dapat ditarik oleh katode negatif.



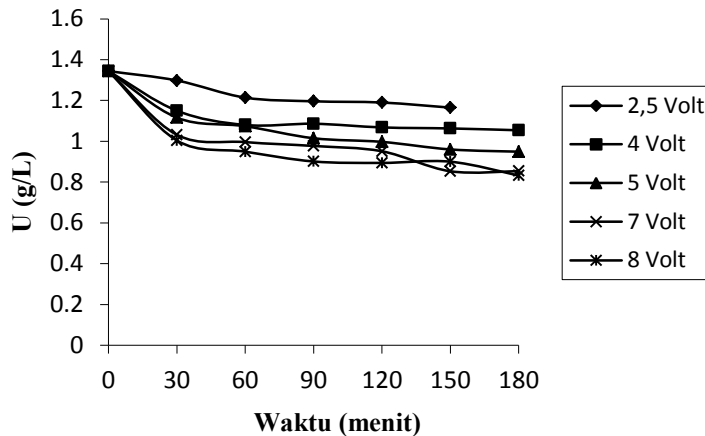
Gambar 4. Pengaruh tegangan terhadap kadar U dalam umpan uranil nitrat. Keasaman (normalitas asam nitrat) pada umpan sebesar 2 N.

Proses seperti di atas yang diinginkan sesuai dengan maksud dan tujuan penelitian yaitu untuk menurunkan kadar uranium dalam suatu efluen proses yang mengandung uranium. Pada proses elektrodialisis ini, arus listrik diukur dengan amperemeter dengan nilai yang fluktuatif, yang kemungkinan disebabkan oleh adanya pergerakan dari anion dan kation yang melewati membran tukar ion.

3.2. Pengaruh Waktu

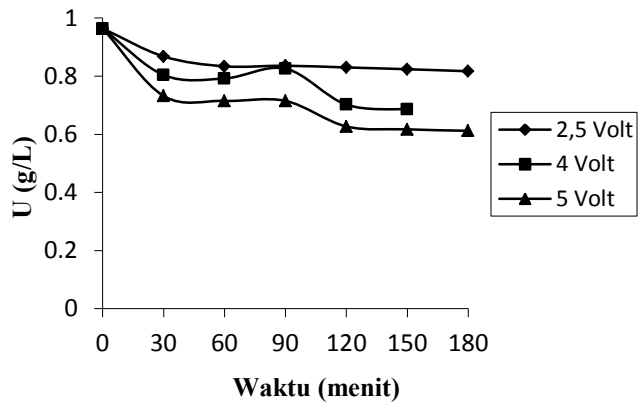
Proses elektrodialisis dengan pengaruh waktu atau lamanya proses menggunakan umpan larutan uranil nitrat dengan konsentrasi uranium 1,344 g/L dan keasaman 4,58 N yang ditempatkan dalam bilik umpan; jarak anode – MTA dan katode – MTK masing-masing 2,5 cm; bilik anode dan bilik katode berisi asam nitrat 0,125 N. Konsentrasi uranium pada bilik umpan ditentukan dengan titroprosesor. Hasil elektrodialisis dapat disimak pada Gambar 5. Terlihat bahwa semakin lama waktu elektrodialisis berlangsung, semakin berkurang konsentrasi U dalam bilik umpan atau terjadi penurunan konsentrasi U. Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi aliran ion positif dari bilik umpan ke bilik katode dimana di dalamnya terdapat katode. Penurunan konsentrasi cukup cepat pada awal proses sekitar 30 menit, tetapi setelah itu penurunannya relatif kecil yang ditandai dengan kurva yang landai. Sampai dengan waktu elektrodialisis 180 menit, diperoleh konsentrasi U akhir dalam umpan sebesar 1,054; 0,949; 0,847; dan 0,832 g/L atau terjadi penurunan

sampai 21,58; 29,39; 36,98; dan 38,09% masing-masing pada tegangan 4, 5, 7 dan 8 Volt.



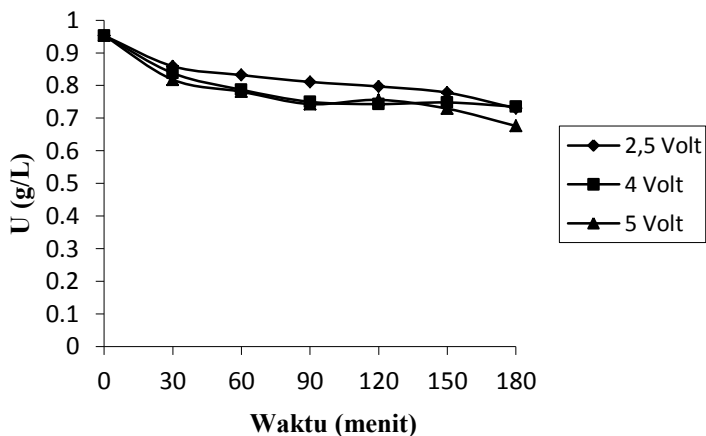
Gambar 5. Pengaruh waktu terhadap penurunan kadar U dalam umpan uranil nitrat. Keasaman (normalitas asam nitrat) pada umpan sebesar 4,58 N.

Untuk keasaman umpan uranil nitrat yang lebih kecil yaitu 3,6 N, hasil elektrodialisis disajikan pada Gambar 6. Konsentrasi U awal dalam umpan uranil nitrat adalah 0,964 g/L, sedangkan konsentrasi asam nitrat pada bilik anode dan katode masing-masing 1,25 N. Pada Gambar 6 dapat dilihat pengaruh waktu terhadap penurunan konsentrasi U yang ada pada bilik umpan. Seperti halnya pada keasaman umpan 4,58 N, semakin lama waktu elektrodialisis, penurunan konsentrasi U dalam bilik umpan semakin banyak. Penurunan terbanyak untuk waktu terlama yaitu 180 menit dan tegangan 5 Volt adalah 36,51% atau konsentrasi U akhir dalam umpan 0,612 g/L.



Gambar 6. Pengaruh waktu terhadap penurunan kadar U dalam umpan uranil nitrat. Keasaman (normalitas asam nitrat) pada umpan sebesar 3,6 N.

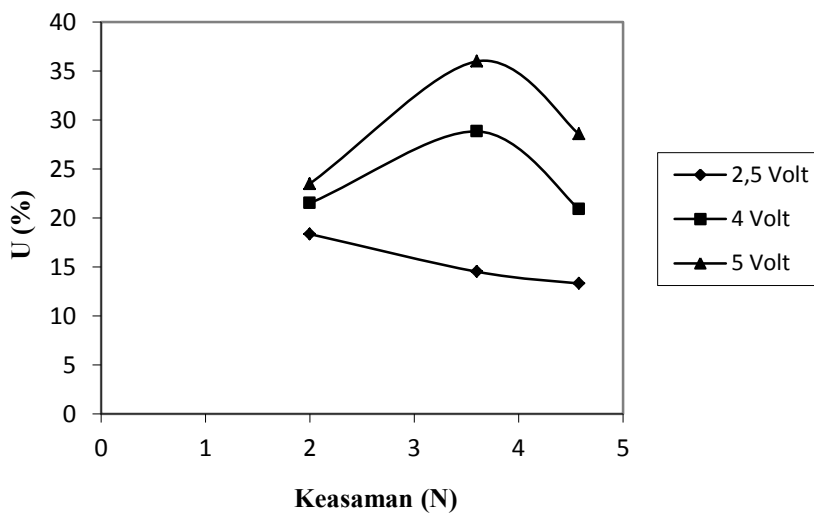
Untuk keasaman umpan yang lebih rendah yaitu 2 N, hasil percobaan elektrodialisis dapat dilihat pada Gambar 7. Konsentrasi U awal pada umpan yang digunakan adalah 0,953 g/L, dan konsentrasi asam nitrat pada bilik anode dan katode 0,125 N. Tampak semakin lama waktu proses elektrodialisis, penurunan konsentrasi uranium dalam bilik umpan semakin besar, dimana penurunan terbesar adalah 29,07% atau konsentrasi U akhir dalam umpan adalah 0,277 g/L.



Gambar 7. Pengaruh waktu terhadap penurunan kadar U dalam umpan uranil nitrat. Keasaman (normalitas asam nitrat) pada umpan sebesar 2 N.

3.3. Pengaruh Keasaman (Normalitas Asam Nitrat) pada Umpan Uranil Nitrat

Setelah dipelajari pengaruh tegangan dan waktu, maka untuk selanjutnya dipelajari pula pengaruh keasaman (normalitas asam nitrat dalam umpan uranil nitrat). Pada Gambar 8 dapat dilihat pengaruh keasaman umpan terhadap konsentrasi U dalam bilik katode sebagai hasil dari migrasi ion uranil dari bilik umpan ke bilik katode karena ditarik oleh katode. Pada keasaman 2 N; 3,6 N; dan 4,58 N, dan tegangan rendah (2,5 Volt), kadar U dalam bilik katode juga masih rendah. Hal ini menunjukkan pengaruh keasaman belum tampak jika tegangan yang digunakan rendah. Pengaruh keasaman akan tampak jika tegangan dinaikkan menjadi 4 dan 5 Volt. Pada keasaman rendah (2 N), konsentrasi U dalam bilik katode juga masih rendah. Setelah keasaman dinaikkan menjadi 3,6 N, maka konsentrasi U dalam bilik katode bertambah besar. Namun pada keasaman yang lebih tinggi kadar U tersebut menjadi lebih rendah. Hal ini mungkin disebabkan keasaman yang cukup yaitu 3,56 N mempunyai kekuatan dorong ion uranil ke bilik katode sehingga menambah daya tarik katode terhadap kation. Sementara itu, pada keasaman tinggi yaitu 4,58 N konsentrasi U menurun lagi yang dapat disebabkan oleh tingkat kejenuhan membran tukar kationnya.



Gambar 8. Pengaruh keasaman (normalitas asam nitrat) pada umpan terhadap kadar U dalam uranil nitrat di bilik katode. Waktu elektrodialisis 150 menit.

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan ini, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah terjadi proses elektrodialisis, yaitu perpindahan ion uranil dari bilik umpan ke bilik katode melalui membran tukar kation (MTK). Perpindahan ini terjadi karena ion uranil yang bermuatan positif ditarik oleh katode negatif. Dari hasil penelitian ini selanjutnya akan dilakukan pemisahan uranium dari efluen proses Instalasi Elemen Bakar Eksperimental yang jumlahnya cukup banyak dengan menggunakan metode elektrodialisis.
2. Tegangan dan waktu elektrodialisis berpengaruh terhadap penurunan kadar uranium dalam umpan uranil nitrat. Penurunan konsentrasi U dalam umpan terbesar terjadi pada tegangan 8 V, waktu 180 menit, keasaman (normalitas asam nitrat) pada umpan 4,58 N yaitu sebesar 38,09%, atau konsentrasi U akhir dalam umpan 0,832 g/L.
3. Keasaman (normalitas asam nitrat dalam umpan) berpengaruh terhadap kadar U dalam bilik katode, khususnya pada tegangan yang relatif tinggi yaitu 4 dan 5 Volt Pada kondisi tersebut, semakin tinggi keasaman, konsentrasi U dalam bilik katode semakin besar, tetapi setelah keasaman mencapai 3,6 N konsentrasinya menurun.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada staf yang telah membantu hingga penelitian ini dapat diselesaikan yaitu: Dr. Ir. Fathurrachman, M.Sc.; Deni Mustika, S.Si; Hendro Wahyono, A.Md; Mujinem, A.Md.; Pranjono, BE; Banawa Sri Galuh, A.Md; Lilis Windaryati; Mahpudin; Eri Tri Muntiyatno, S.Si; dan Effendi.

VI. DAFTAR PUSTAKA

1. Sata, T. (2004). Ion Exchange Membranes: Preparation, Characterization, Modification and Application. London: Royal Society of Chemistry.
2. Strathmann, H. (2004). Ion-Exchange Membrane Separation Processes. New York: Elsevier.
3. Mulder, M. (1996). Basic Principles of Membrane Technology. Kluwer, Dordrecht.
4. Vera, E., Ruales, J., Dornier, M., Sandeaux, J., Sandeaux, R., & Pourcelly, G. (2003). Deacidification of Clarified Passion Fruit Juice using Different Configurations of Electrodialysis. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 78 (8), 918-925.

5. Vera, E., Sandeaux, J., Persin, F., Pourcelly, G., Dornier, M., & Ruales, J. (2009). Modeling of Clarified Tropical Fruit Juice Deacidification by Electrodialysis. *Journal of Membrane Science*, 326 (2), 472-483.
6. Electrodialysis, Membrane Technology. Retrieved 25 Januari 2010. URL <http://www.lenntech.com/electrodialysis.htm>
7. Nair, M.K.T., Singh, R.K., Bajpai, D.D., Venugopalan, A.K., Singh, R.R., Gurba, P.B., & Thomas, M. (1992). Role of Ion Transfer Membrane in the Production of Uranous Nitrate. Bombay.
8. Fathurrachman, & Wahyono, H. (1999). Pembuatan U(IV) dari U(VI) menggunakan Teknik Elektrodialisis. *Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir V*, Jakarta: PTBN, 193–206.