

Pengaruh penjeratan asam-asam terhadap penurunan kadar uranium dan impuritas dalam efluen proses

A. Ghaib Widodo^{1*}, B. Rahmiati², C. Mujinem^{1,2}

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir-BATAN,

Kawasan Puspiptek, Serpong 15314

e-mail: ghaibwidodo@yahoo.com

Abstrak

Proses pemungutan uranium dalam efluen proses dapat berjalan efisien apabila kadar asam-asam pengganggu harus diturunkan atau dieliminasi. Efluen proses selain mengandung uranium juga terdapat kompleks asam. Untuk mengidentifikasi kompleks asam tersebut ke dalam efluen ditambahkan sejumlah reagent AgNO_3 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ secara berurutan dan bertahap sesuai dengan aturan golongan ion seperti dianjurkan dalam kimia analisis kualitatif. Secara berturut-turut dapat diidentifikasi adanya asam-asam di dalam efluen proses diantaranya : Cl^- , CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ dan harus dieliminasi. Sementara, konsentrasi kompleks NO_3^- harus didestruksi dan SO_4^{2-} diturunkan kadarnya. Hasil yang diperoleh pada proses pengendapan berupa endapan putih masing-masing dari AgCl , Ag_2CO_3 , $\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4$, $\text{Ag}(\text{PO}_4)_3$, Pb_2Cl_2 , PbCO_3 , PbC_2O_4 , $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$, BaCO_3 , BaC_2O_4 , dan $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$. Dengan menggunakan destruktan formaldehida kadar asam nitrat di dalam efluen turun dari 4,35 N menjadi 2,89 N. Hasil analisis kadar uranium dalam efluen proses yang diperoleh turun dari 600 ppm menjadi 425 ppm atau turun sekitar 29,17% karena sebagian uranium terjebak dalam endapan. Hasil analisis kandungan unsur-unsur impuritas dalam efluen terbukti masih dalam batas ambang yang diizinkan sebagai umpan proses konversi kimia.

Kata kunci : Penjeratan asam-asam, uranium, impuritas, efluen proses

Abstract

The recovery of uranium in the effluent process can be done successfully when the concentration of bulky acids should be reduced or eliminated. The process effluent contains uranium and other acid complexes. To identify the acid complexes in the effluent several reagents are added step wisely the solutions of AgNO_3 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ in accordance to standard qualitative chemical analysis. It has been identified that the effluent contains Cl^- , CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ complexes that should be eliminated. Meanwhile, the concentration of NO_3^- complex should be destructed and SO_4^{2-} complex should be lowered. The results obtained in the form of a white precipitates coming from AgCl , Ag_2CO_3 , $\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4$, $\text{Ag}(\text{PO}_4)_3$, PbCl_2 , PbCO_3 , PbC_2O_4 , $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$, BaCO_3 , BaC_2O_4 , and $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$. By using the formaldehyde solution as the destructant the nitric acid content in the effluent can be reduced from 4.35 N into 2.89 N. The analyses results of the uranium content in the effluent process decreased from 600 ppm to 425 ppm or decrease about 29.17% due to the part of the uranium entrapped in the sediment. The analytical results of the impurity contents in the effluent fullfils the maximum threshold permitted as the feed for further chemical conversion process.

Keywords: Entrapment Acids, uranium, impurity, effluent process

1. Pendahuluan

Selama berlangsungnya proses produksi bahan bakar nuklir senantiasa melewati 4 (empat) tahapan yaitu : proses konversi kimia, fabrikasi, analisis, dan proses pemungutan gagal produksi[1]. Semua tahapan ini dipastikan menggunakan berbagai larutan asam (HCl , H_2CO_3 , H_3PO_4 , $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, HNO_3 dan H_2SO_4). Adapun kegunaan masing-masing asam tersebut biasanya digunakan sebagai reagen pengendap, pelarut, pengencer, dan lain-lain[2-4]. Penggunaan asam yang berlebihan akan menumpuk dan terbentuk dalam efluen proses. Apabila hal tersebut dibiarkan terus-menerus, maka akan mengganggu dan menyulitkan dalam proses pemungutan uranium yang ada di dalamnya. Kemungkinan lain adalah apabila tetap dibiarkan menumpuk, maka akan terjadi berbagai hal yaitu mengakibatkan sarana wadah/tangki sebagai penampung sementara (*intermediate tank*) mudah rusak, mudah bocor karena karat, mengganggu keselamatan kerja, dan mengakibatkan pencemaran lingkungan, dan lain-lain[5-6].

Efluen proses yang berada di Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE) - Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN, Serpong merupakan hasil kegiatan rutin analisis dan penelitian lain yang menggunakan larutan. Hingga saat ini, kondisi efluen proses tersebut telah dikelola dan dikelompokkan, namun penanganannya sebatas pemungutan uranium di dalamnya. Efisiensi hasil yang diperoleh dari proses pemungutan uranium masih rendah. Hal tersebut disebabkan oleh keberadaan asam-asam kompleks di dalam efluen proses yang amat mengganggu[7]. Oleh karena itu, untuk menaikkan efisiensi pemungutan uranium di dalam efluen proses, maka seharusnya sebelum proses pemungutan uranium dilakukan, kompleks asam yang ada harus diturunkan kadar atau bahkan dieliminasi terlebih dahulu. Pada kenyataannya efluen proses yang ditemui di IEBE mengandung banyak asam, sehingga asam-asam tersebut membentuk kompleks dalam larutan.

Percobaan ini adalah mengeleminasi asam pengganggu (Cl^- , CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$) dan menurunkan kadar asam (NO_3^- , SO_4^{2-}) dalam

efluen proses untuk mempersiapkan umpan pada proses lanjut[2-4]. Penurunan kadar asam nitrat (NO_3^-) dalam efluen proses secara proses destruksi berguna untuk mempersiapkan umpan proses ekstraksi-pelarut[8-9], sedangkan mempertahankan asam sulfat (SO_4^{2-}) dalam efluen proses adalah untuk mempersiapkan umpan pada proses lanjut seperti proses pertukaran ion (*ion exchange*), resin termodifikasi (*chelating resin*) atau pertukaran-pertukaran ion jenis lain[10-11].

Efluen proses yang berada di IEBE sangat kompleks, baik impuritas maupun jenis asamnya. Asam-asam yang tercampur dalam efluen proses tersebut adalah asam fosfat (H_3PO_4), asam nitrat (HNO_3), asamoksalat ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$), asam klorida (HCl), asam sulfat (H_2SO_4), dan asam karbonat (H_2CO_3) yang tidak stabil keberadaannya. Oleh karena itu, asam-asam yang ada dalam wadah simpan sementara (*intermediate tank*) dimungkinkan salah satu asamnya bereaksi dengan ion UO_4^{+2} dan membentuk $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ yang mudah bereaksi membentuk endapan.

2. Tata kerja

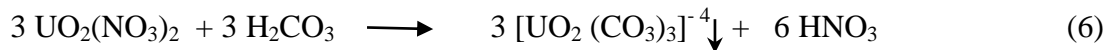
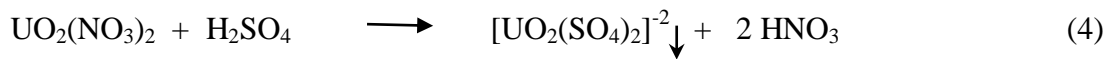
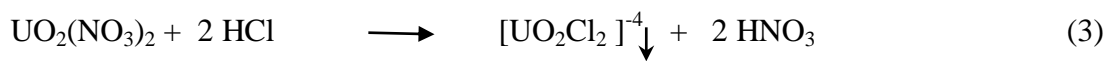
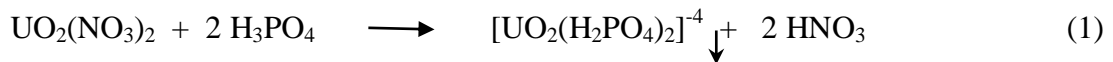
- Efluen proses disaring guna memisahkan pengotor yang terikut agar diperoleh beningan/filtrat bebas impuritas padat.
- Filtrat dari efluen proses dianalisis masing-masing untuk mengetahui kadar uranium didalamnya menggunakan peranti potensiometri dan impuritasnya menggunakan peranti AAS.
- Filtrat sebanyak 250 mL dimasukkan dalam ke dalam gelas beaker lalu ditetesi dengan *reagent*/pereaksi AgNO_3 kurang lebih 10 mL dilakukan menurun hingga 5 mL, disaring residu dianalisis kadar Uraniumnya dan filtrat dianalisis kadar impuritasnya.
- Filtrat pekerjaan butir 3sebanyak 240 mL dimasukkan dalam ke dalam gelas beaker lalu ditetesi dengan *reagent*/pereaksi $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ kurang lebih 8 mL menurun 4,5 mL, disaring residu dan dianalisis kadar uraniumnya dan filtrat dianalisis kadar impuritasnya.

- Filtrat pekerjaan butir 4 sebanyak 230 mL dimasukkan ke dalam gelas beaker lalu ditetesi dengan *reagent*/pereaksi Ba(NO₃)₂ kira-kira 7 mL secara menurun 4 mL, disaring residu dianalisis kadar uraniumnya dan filtrat dianalisis kadar impuritasnya.
- Langkah berikutnya mendestruksi asam nitrat berkeasaman 4,35 N menggunakan *reagent* HCOH, HCOOH, C₂H₅OH, C₁₂H₂₄O₁₁ seperti yang disarankan oleh pustaka[8-9].

Untuk asam sulfat dalam efluen proses tidak dikerjakan penurunannya karena secara otomatis sudah akan bereaksi dengan uranil nitrat yang telah terbentuk sebelumnya.

3. Hasil dan Pembahasan

Di dalam efluen proses terdapat ion UO₄⁺²/UO₂(NO₃)₂ yang kemungkinan bereaksi dengan asam seperti : asam fosfat (H₃PO₄), asam nitrat (HNO₃), asam oksalat(H₂C₂O₄), asam khlorida (HCl), asam sulfat (H₂SO₄), dan asam karbonat (H₂CO₃) hingga membentuk kompleks (1- 6) berikut [1,12]:

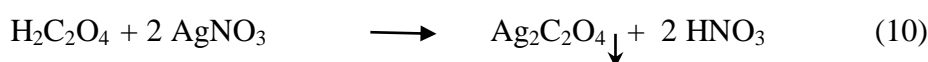


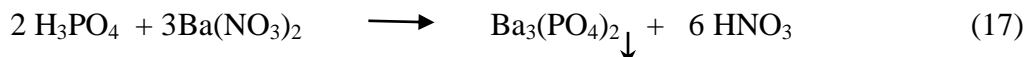
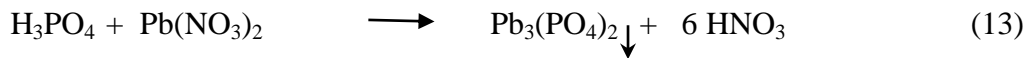
Hal tersebut ditandai pada hasil reaksi (1-6) berupa endapan putih kompleks dan mengendap di dasar wadah sebagai uranium (PO₄⁻³, NO₃⁻, Cl⁻, C₂O₄⁼, SO₄⁼, CO₃⁼)[1,12]. Untuk memudahkan dalam proses/penanganan berikutnya, maka asam-asam seperti H₃PO₄, HNO₃, H₂C₂O₄, HCl, H₂SO₄, dan H₂CO₃ harus didestruksi, diuraikan atau dieleminasi terlebih dahulu agar tidak mempengaruhi/mengganggu

pada proses pemungutan uranium yang berada dalam efluen proses.

3.1. Eliminasi HCl, H₂C₂O₄, H₃PO₄, dan H₂CO₃.

Kelebihan sisa asam yang tidak terendapkan oleh uranium terjerat/tereliminasi oleh *reagent* AgNO₃, Pb(NO₃)₂, dan Ba(NO₃)₂ seperti ditunjukkan pada persamaan reaksi (7-19) berikut [12]:





Kompleks endapan putih yang terbentuk berupa campuran endapan dari Ag^+ , Pb^{+2} , dan Ba^{+2} yang dikategorikan sebagai limbah padat. Hal ini membuktikan bahwa asam-asam (HCl , H_2CO_3 , H_3PO_4 , $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, dan H_2SO_4) dalam efluen proses tersebut dapat mengendapkan Ag^+ , Pb^{+2} sesuai dengan kaidah kimia kualitatif, yang menyatakan bahwa semua kation golongan I dapat diendapkan oleh asam. Sementara kelebihan asam yang tak sempat terendapkan oleh kation golongan I terjerat oleh kation golongan II (Ba^{+2}) [12].

Asam tersisa lain seperti HNO_3 dan H_2SO_4 , merupakan kunci pada proses pemungutan uranium dalam efluen proses. Oleh karena itu, kedua jenis asam tersebut dipertahankan dalam efluen proses dan kadar keasamannya harus memenuhi persyaratan yaitu sebesar

$\geq 3 \text{ N}$. Hal ini dilakukan agar pada proses ekstraksi stripping diperoleh efisiensi yang tinggi.

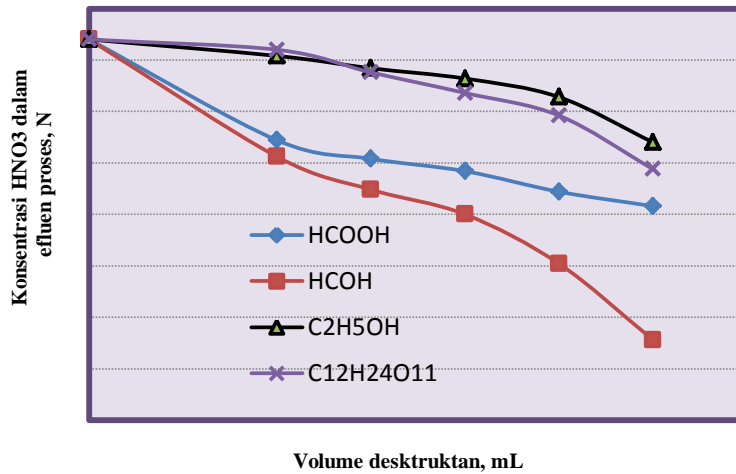
3.2. Destruksi HNO_3

Proses destruksi HNO_3 dapat berlangsung baik dengan menambahkan bermacam desruktan seperti formaldehida, asam formiat, etanol, atau gula putih/sukrosa [7,8,13,14]. Selama proses destruksi timbul gas-gas seperti nitrogen, nitrogen monoksida, dinitrogen oksida, nitrogen dioksida dan karbondioksida. Gas-gas tersebut akan timbul tergantung dari molaritas desruktan yang digunakan. Proses destruksi HNO_3 dalam efluen proses ($\text{UO}_4^{+2}-\text{HNO}_3$), seperti diperlihatkan pada persamaan reaksi (20-23) [7-8]



Hasil percobaan destruksi asam nitrat dalam efluen proses ($\text{UO}_4^{+2}-\text{HNO}_3$) menggunakan

berbagai desruktan ditunjukkan pada Gb. 1 [7-8].



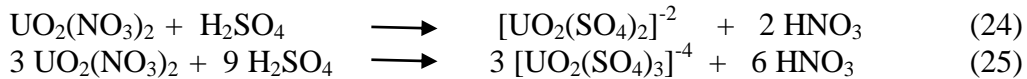
Gb.1. Hubungan antara konsentrasi asam nitrat terhadap volume destruktan[7-8].

Karena tujuan dari proses destruksi asam nitrat dalam efluen proses ini adalah untuk mempersiapkan umpan pada proses lanjut yaitu proses ekstraksi pelarut, maka pada Gb. 1 yang paling baik menggunakan destruktan formaldehida sesuai dengan saran pustaka[7-8] kisaran normalitas asam nitrat dalam efluen proses ($\text{UO}_4^{+2}\text{-HNO}_3$) antara 3-3,5 N. Normalitas asam nitrat inilah yang memenuhi persyaratan sebagai proses ekstraksi-pelarut (*solvent extraction*) yang akan dilaksanakan

pada proses pemungutan uranium dalam efluen proses maupun dalam bentuk gagal produksi bahan bakar.

3.3. Penurunan kadar H_2SO_4

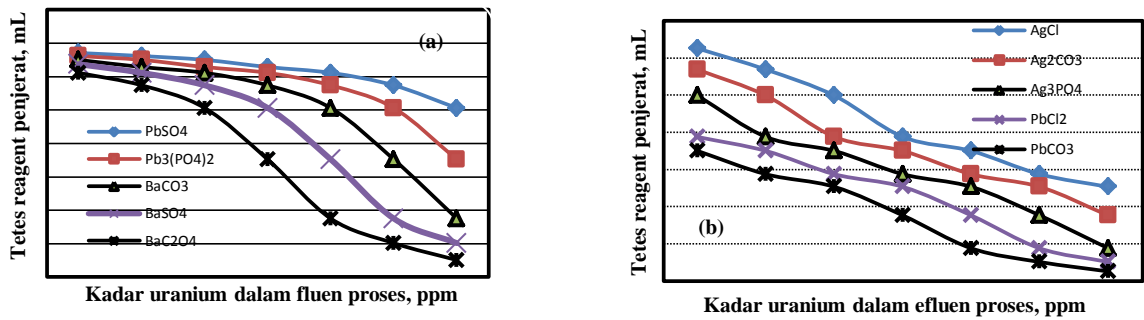
Dalam efluen proses, HNO_3 dan H_2SO_4 bereaksi dengan ion UO_4^{+2} membentuk senyawa kompleks secara otomatis, seperti ditunjukkan pada persamaan reaksi (24-25) [1,12].



Tujuan mempertahankan asam sulfat (SO_4^-) dalam efluen proses adalah untuk menyiapkan umpan pada proses lanjut seperti proses pertukaran ion (*ion exchange*), resin termodifikasi (*chelating resin*) atau pertukaran-pertukaran ion jenis lain. Asam-asam (PO_4^{-3} , NO_3^- , C_2O_4^- , Cl^- , CO_3^-) dalam efluen proses harus dieliminasi, agar hasil proses pemungutan uranium dalam efluen

proses dengan metode pertukaran ion efisiensi tinggi.

Hasil analisis kadar uranium dalam efluen proses mula-mula sebesar 600 ppm dan setelah proses penjeratan asam oleh *reagent* penjerat [AgNO_3 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, dan $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$] berlangsungnya, seperti diperlihatkan pada Gb. 2, berikut



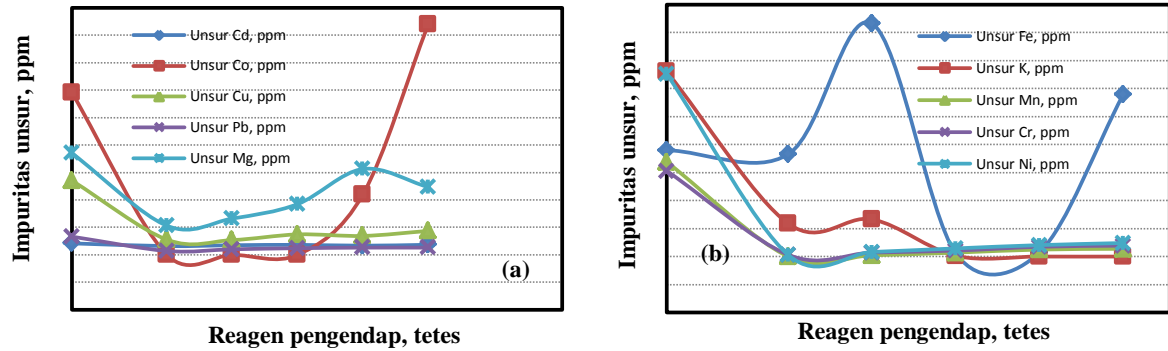
Gb.2. Hubungan antara kadar uranium dalam efluen proses terhadap reagen penjerat.

Pada Gb. 2a dan 2b dapat dijelaskan bahwa kadar uranium dalam efluen proses semakin menurun, setelah *reagent* (AgNO_3) diteteskan secara bertahap dari 10 mL menurun hingga 5 mL dan bersamaan dengan itu mulai terbentuk endapan yaitu berturut-turut endapan AgCl , Ag_2CO_3 , Ag_3PO_4 dan pada saat itu pula mulai terjadi penurunan kadar uranium di dalam efluen proses dari 600 ppm menjadi 465 ppm. Hal tersebut dapat terjadi kemungkinan uranium yang ada dalam efluen proses terjebak oleh endapan AgCl , Ag_2CO_3 , Ag_3PO_4 , seperti diperlihatkan pada Gb. 2(a). Kadar uranium dalam efluen proses akan terjadi penurunan yang sama dari 600 ppm menjadi 465 ppm (sekitar 29,17%). Hal tersebut terjadi setelah dilakukan penetesan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ secara bertahap (mulai dari 8 mL menurun hingga 4,5 mL) ke dalam efluen proses. Penurunan kadar uranium dalam efluen proses kemungkinan disebabkan oleh kompleks endapan PbCl_2 , PbCO_3 , PbSO_4 , $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$ yang menjebak uranium, peristiwa tersebut seperti diperlihatkan pada Gb. 2a dan b.

Pada Gb. 2b menunjukkan hasil penjeratan uranium dalam efluen proses oleh *reagent* $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, pada saat penetesan sekitar 7 mL

secara menurun hingga 4 mL langsung terbentuk endapan masing-masing BaSO_4 , BaC_2O_4 , BaCO_3 . Bersamaan dengan terbentuknya endapan, saat itu mulai terjadi penurunan kadar uranium di dalam efluen proses dari 600 ppm menurun menjadi 465 ppm atau menurun sekitar 29,17%. Dengan alasan yang sama kemungkinan hal tersebut disebabkan oleh endapan BaSO_4 , BaC_2O_4 , BaCO_3 terbentuk menjebak uranium yang ada dalam efluen proses.

Penurunan unsur impuritas dalam efluen proses sebelum dan setelah proses penjeratan diperlihatkan pada Gb. 3a dan 3b. Penurunan unsur impuritas tersebut mulai terjadi setelah pereaksi/*reagent* AgNO_3 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ diteteskan dalam efluen proses. Masing-masing unsur impuritas dalam efluen proses yang mengalami penurunan, antara lain Cd, Co, Cu, Cr, Pb, Mg, Fe, K, Mn, Ni. Namun unsur Cd tidak mengalami penurunan karena dalam analisisnya yang tak terdeteksi. Hal tersebut kemungkinan disebabkan sebagian impuritas terjebak dalam endapan AgCl , Ag_2CO_3 , Ag_3PO_4 , PbCl_2 , PbCO_3 , PbSO_4 , $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$, BaSO_4 , BaC_2O_4 , BaCO_3 yang terbentuk.



Gb. 3. Hubungan antara impuritas unsure terhadap reagen pengendap

Hasil analisis unsur-unsur impuritas dalam efluen proses diperlihatkan dalam Tabel 1 (lampiran) apabila dikaitkan dengan standar untuk bahan bakar dan standar ASTM (*analysis standard testing material*), maka unsur-unsur impuritas tersebut masih di bawah dalam batas aman bahan bakar. Artinya

bahwa kenaikan dan penurunan unsur-unsur impuritas dalam efluen proses pada Gb. 3a dan 3b tidak akan mengganggu, tidak akan mempengaruhi, dan masih memenuhi persyaratan apabila uranium dilakukan proses lanjut sebagai bahan bakar.

Tabel 1. Hasil Analisis Kadar Unsur Impuritas Dalam Efluen Proses

No.	Unsur	Kadar Impuritas dalam efluen proses, ppm[2-4]	Batas maksimum kadar unsur impuritas yang diizinkan sebagai bahan bakar, ppm[15]	Batas maksimum impuritas oleh ASTM, ppm
1	Mn	3,800	10	250
2	Fe	19,000	100	250
3	Ni	17,600	30	200
4	Pb	0,130	60	200
5	Cu	0,643	20	250
6	Co	2,950	75	100
7	Cd	0,019	20	tak terdeteksi
8	Mg	3,993	50	200
9	Mn	3,800	10	200
10	Zn	0,070	100	250
11	Cr	10,725	100	200
12	K	22,740	-	-
13	Ca	over	50	200
14	Al	36,390	50	250
15	V	51,000	5	5
16	Si	2,200	60	60
17	Sn	-0,223	50	50
18	Mo	43,500	50	50

4. Kesimpulan

Hasil percobaan dapat disimpulkan bahwa semua asam (PO_4^{3-} , NO_3^- , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, Cl^- , CO_3^{2-}) dapat dieliminasi oleh reagent AgNO_3 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ dan masing-masing membentuk endapan AgCl , Ag_2CO_3 , Ag_3PO_4 , PbCl_2 , PbCO_3 , PbSO_4 , $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$, BaSO_4 , BaC_2O_4 , BaCO_3 yang berwarna putih.

Proses destruksi asam nitrat (NO_3^-) dapat diturunkan oleh formaldehida, asam formiat, etanol, atau gula putih/sukrosa dan yang paling baik adalah destruktan formaldehida yang dapat menurunkan kadar asam nitrat dari 4,35 N menjadi 2,89 N dan kondisi ini yang memenuhi proses ekstraksi pelarut (*solvent extraction*). sementara kadar asam (SO_4^{2-}) tidak diturunkan karena dipersiapkan dan disesuaikan proses pertukaran ion. Hasil analisis kadar uranium dalam efluen proses setelah penjeratan asam-asam menurun dari 600 ppm menjadi 425 ppm atau menurun sekitar 29,17% dan kadar unsur-unsur impuritasnya masih memenuhi persyaratan sebagai bahan bakar kendati mengalami kenaikan dan penurunan.

Ucapan terima kasih

Penulis ucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Sdri.Ni Kadek Selumbang, Sdr. Hendro Wahyono, Sdr. Sunardi dan semua pihak yang ikut membantu penyelesaian penelitian ini.

Daftar pustaka.

[1] Anonymous, Nukem, GmbH., Basic and Detail Engineering Process Element Fabrication Plant, for BATAN, Vol. 4 Nukem VT-No.2.0080, Hanau, 1983.

[2] Anonymous, Commissioning Manual Part 1 Pilot Conversion Plant, NIRA, Italia, No. Dok.IND 220 04 Z 0005.

[3] Anonymous, Commissioning Manual Part 2 Pilot Conversion Plant, NIRA, Italia, No. Dok.IND 220 04 Z 0006.

[4] Anonymous, Operating Manual Part 1 Utilities and off gas system, NIRA, Italia, No. Dok.IND 22004Z0007.

[5] I. Yuwono, Analisis Keselamatan Kritikalitas Gudang Uranium IPEBRR,

Prosiding Reaktor Nuklir dalam Sains dan Teknologi Menuju Era Tingga Landas, PPTN-BATAN, Bandung, (1991)183-192.

- [6] Anonymous, Perka BAPETEN, No. 1 tahun 2009, tentang Pedoman Sistem Proteksi Fisik Instalasi dan bahan Nuklir.
- [7] Sigit, G. Widodo, R. Langenati, Torowati, dan N. Yudhi, Pengaruh Tegangan, Waktu, dan Keasaman Pada Proses Elektrodialisis Larutan Uranil Nitrat, Jurnal Teknologi Bahan Nuklir, 6(2010) 28-40.
- [8] G. Widodo dan B. Herutomo, Destruksi Asam Nitrat Dalam Efluen Proses Dengan Menggunakan Bermacam-macam Destruktan, Jurnal Urania, 16 (2010) 166-173.
- [9] G.Widodo dan N.F. Hanggari, Pengaruh Formaldehida Terhadap Proses Pemungutan Uranium dan Terhadap Penurunan Konsentrasi Asam Nitrat dalam Efluen Proses di IEBE, Jurnal Teknologi Bahan Nuklir, 6 (2010) 71-78.
- [10] G. Widodo, Sigit, K.T. Basuki, Pemungutan Uranium Dalam Efluen Proses Menggunakan Resin Termodifikasi, Laporan Program Insentif dalam peningkatan Kemampuan Peneliti dan Perekayasa, No.08/SEK/IPKPP/PPK/III/2011, PTBN-BATAN, Serpong, 2011.
- [11] N.K. Yuliartani Selumbang, Optimasi Resin Termodifikasi dan Ph Larutan Pada Pemungutan Uranium Dalam Efluen Proses Di PTBN-BATAN, Tesis, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir, Jogjakarta, 2013.
- [12] G. Svehla, Texbook Of Macro and Semicro Qualitative Inorganic Analysis, Vogel's, Library of Congress Cataloging in Publication Data, New York, 1985.
- [13] R.E. Eibling, Nitric Acid-Formaldehyde Compatibility in DWPF, Westinghouse River Company, WSRC-RP-92-1247, South Carolina, 1993.
- [14] A.V. Ananiev, J.C. Broudic, and P.H. Brossard, The Urea Decomposition in The Process of The Heterogeneous Catalytic Denitration of Nitric Acid

- Solutions, Part I, Kinetics of the reaction, IPC RAS, 31, Leninkiy Prospect, 117951, Rusia, Moscow, 2003.
- [15] Ngatijo, M.M. L. Windaryati, Pranjono, B.S. Galuh, Proses Konversi *Yellow Cake* dari PT. Petrokimia Gresik Menjadi Serbuk UO_2 , Prosiding Seminar Pengelolaan Perangkat Nuklir, 2013, Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir BATAN, Serpong 25 September,(2013)143-153.