

## PROSES EKSTRAKSI-*STRIPPING* $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ BERIMPURITAS HASIL PELARUTAN DARI *YELLOW CAKE*

Anwar Muchsin, Ghaib Widodo

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN  
Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan, 15314  
e-mail : anwar\_muchsin@batan.go.id

(Naskah diterima: 30-12-2016, Naskah direvisi: 25-01-2017, Naskah disetujui: 13-02-2017)

### ABSTRAK

**PROSES EKSTRAKSI-*STRIPPING*  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  BERIMPURITAS HASIL PELARUTAN DARI *YELLOW CAKE*.** Uranil nitrat/ $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  merupakan bahan dasar atau umpan yang dipakai sebagai bahan bakar baik reaktor riset maupun reaktor daya. Di dalam  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  masih terdapat impuritas sehingga untuk mendapatkan larutan  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  yang memenuhi persyaratan sebagai bahan bakar murni nuklir (*nuclear grade*) perlu dilakukan pemurnian dengan menggunakan metode ekstraksi-*stripping*. Metode *ekstraksi stripping* dilakukan dengan menggunakan 3 (tiga) parameter yaitu laju alir umpan, keasaman umpan pada proses ekstraksi, dan keasaman. Mekanisme proses ekstraksi menyebabkan  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  masuk ke dalam fasa organik TBP (tributylphospat), sedangkan impuritasnya berada dalam fasa air (rafinat). Pemungutan uranium dalam fasa organik dilakukan dengan proses *stripping* dengan cara menentukan keasaman (sebagai parameter), sehingga diperoleh larutan campuran  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  murni nuklir (*nuclear grade*). Larutan uranil nitrat hasil pelarutan dengan kadar uranium 225,6282 gU/liter digunakan sebagai umpan. Hasil proses ekstraksi diperoleh laju alir umpan sebesar 15 L/jam, keasaman umpan pada proses ekstraksi sebesar 3 M dan diperoleh kadar uranium sebesar 48,5365 gU/L, sedangkan melalui proses *stripping* diperoleh  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  sebesar 64,7860 gU/L pada keasaman 0,04 M.

**Kata Kunci:** ekstraksi, *stripping*, laju alir umpan, perbandingan TBP/kerosin, keasaman.

## **ABSTRACT**

**EXTRACTION-STRIPPING PROCESS OF  $UO_2(NO_3)_2$  IMPURITIES DISSOLUTION FROM YELLOW CAKE.** *Uranyl nitrate/ $UO_2(NO_3)_2$  is a basic material/bait that is used as fuel both a research reactor fuel and power reactors. The process of extraction-stripping necessary to  $UO_2(NO_3)_2$ , because in the  $UO_2(NO_3)_2$  is still contained impurities are entrained during the dissolution process yellow cake. To obtain a solution of  $UO_2(NO_3)_2$  which meets the requirements of pure nuclear (nuclear grade), it should be a process of purification by extraction-stripping using three (3) parameters of the feed flow rate, the acidity of the feed to the extraction process, and acidity in the stripping process. The mechanism of the extraction process takes  $UO_2(NO_3)_2$  will go into the organic phase TBP, whereas impurity are in the water phase (refined). Uranium in the organic phase stripping process is carried out by determining the acidity (as a parameter), in order to obtain a mixed solution  $UO_2(NO_3)_2$  pure nuclear (nuclear grade). As a bait used uranyl nitrate solution with levels of uranium amounted to 225.6282 gU/L. The results extraction process obtained the rate of feed water 15 L/h, the acidity of the feed to the extraction process by 3 M and obtained levels of uranium amounted to 48.5365 gU/L, while the stripping process is obtained  $UO_2(NO_3)_2$  amounted to 64.7860 gU/L the acidity of 0.04 M.*

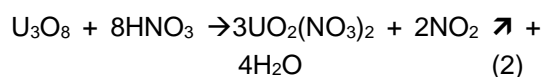
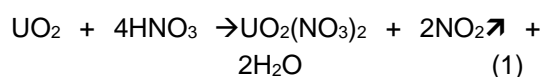
**Keywords:** *extraction, stripping, feed rate, ratio of TBP/kerosene, acidity.*

## PENDAHULUAN

Instalasi *Pilot Conversion Plant* (PCP) merupakan salah satu instalasi yang dimiliki oleh Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN)-BATAN, Serpong. PCP ini telah direvitalisasi selama hampir 5 tahun dengan berbagai upaya dan modifikasi, sehingga pada awal tahun 2014 telah dapat dioperasikan. Sebelum PCP dioperasikan, terlebih dahulu harus dilakukan beberapa uji fungsi terhadapnya, seperti *commissioning*, kalibrasi peralatan (tangki, alat unjuk kerja/*level indicator*), *flushing*, tes kebocoran sambungan pipa dan lain-lain. Selain uji fungsi, untuk pengoperasian PCP harus dilakukan pembuatan LAK (Laporan Analisis Keselamatan) sebagai persyaratan untuk mendapatkan izin operasi dari BAPETEN (Badan Pengawas Tenaga Nuklir)<sup>[1-3]</sup>.

Kegiatan proses pada instalasi PCP meliputi 6 (enam) jalur proses yaitu proses pelarutan (*dissolution process*), ekstraksi-*stripping* (*extraction stripping*), evaporasi (*evaporation*), pengendapan (*precipitation process*), kalsinasi (*calcinations process*) dan proses reduksi (*reduction process*). Seluruh jalur proses ini harus dilalui oleh bahan dasar atau umpan untuk memproduksi bahan bakar nuklir, seperti bahan bakar bentuk serbuk ( $UO_2$ ,  $U_3O_8$ ) atau bentuk logam uranium.

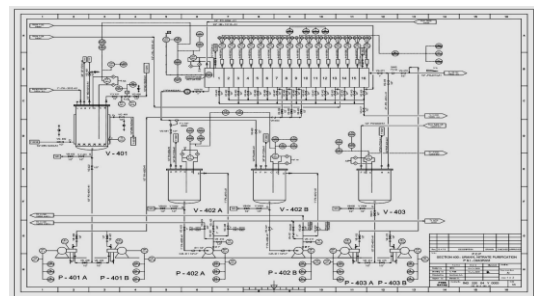
Kegiatan pengoperasian instalasi PCP diawali dengan proses pelarutan *yellow cake* (YC). Reaksi proses pelarutan bahan baku YC ( $UO_2$  dan  $U_3O_8$  merupakan penyusun YC) dalam  $HNO_3$  (asam nitrat) seperti yang ditunjukkan pada persamaan reaksi 1 dan 2<sup>[4-8]</sup>.



Hasil pelarutan dari YC berupa  $UO_2(NO_3)_2$  masih berimpuritas (sangat kotor)

karena banyak unsur-unsur yang terikat atau larut dalam  $HNO_3$ . Apabila impuritas ini tidak diturunkan hingga batas ambang, akan menyebabkan  $UO_2(NO_3)_2$  hasil pelarutan YC belum dapat digunakan sebagai umpan pada proses pengendapan (*precipitation process*) karena belum memenuhi persyaratan sebagai bahan bakar nuklir.

Untuk mendapatkan umpan bahan bakar nuklir (bahan dasar) yang berkualitas, maka diperlukan bahan uranium yang mempunyai kemurnian tinggi (*nuclear grade*). Salah satu proses yang dilakukan adalah proses ekstraksi-*stripping* dengan sistem *mixer-settler* (pengaduk penganap). Adapun rangkaian peralatan proses ekstraksi-*stripping* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 dan alat *mixer-settler* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 2 :



Gambar 1. Rangkaian sistem alat proses ekstraksi-*stripping*.



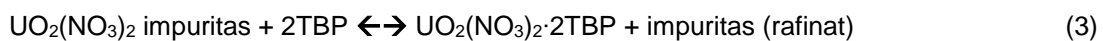
Gambar 2. Alat *Mixer-Settler* (Pengaduk Penganap)

Dalam usaha untuk mendapatkan larutan  $UO_2(NO_3)_2$  yang memiliki tingkat kemurnian berderajat nuklir (*nuclear grade*) yang dipersyaratkan sebagai bahan bakar nuklir, maka harus dilakukan proses pemurnian dengan proses ekstraksi-

*stripping*. Oleh karena itu, percobaan ini dilakukan dengan tujuan untuk memurnikan larutan  $UO_2(NO_3)_2$  melalui proses ekstraksi-*stripping*, agar diperoleh umpan yang memenuhi persyaratan sebagai bahan bakar nuklir.

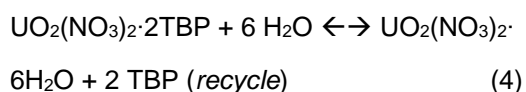
Metode yang diterapkan pada proses pemurnian  $UO_2(NO_3)_2$  berimpuritas

#### Ekstraksi



Dalam proses ekstraksi seperti pada persamaan reaksi (3), uranil nitrat,  $UO_2(NO_3)_2$  masuk ke fasa organik dalam *solvent* TBP/kerosin, sedangkan impuritas dalam fasa air lepas dari larutan  $UO_2(NO_3)_2$  menjadi rafinat. Untuk meningkatkan efisiensi proses ekstraksi-*stripping* ada beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu keasaman umpan pada proses ekstraksi dan proses *stripping*, perbandingan TBP dengan kerosin, jenis kerosin yang digunakan, waktu pengadukan, keasaman, temperatur air bebas mineral dan lainnya.

Proses *stripping* dapat berlangsung mengikuti persamaan reaksi (4) [9-12]



Pada proses *stripping* dengan menggunakan air bebas mineral pada keasaman 0,05N, waktu proses *stripping* pada persamaan reaksi (4) berlangsung selama 20 hingga 60 menit. Pada waktu tersebut diperoleh hasil *stripping* U(VI) paling baik. Hasil *stripping* untuk U(VI) dicapai dengan waktu 60 menit dengan hasil efisiensi sebesar 98 %. Hasil U(VI) yang diperoleh dari proses *stripping* dengan waktu yang lebih lama dari 60 menit sudah tidak efisien lagi. Pada keadaan ini dapat dikatakan bahwa proses *stripping* telah terkontaminasi oleh U(VI). Proses *stripping* berlangsung baik pada temperatur antara 60-70 °C di bawah temperatur didih air (100°C), supaya terlepas *extractant* secara

hasil pelarutan YC adalah metode proses ekstraksi-*stripping* dengan sistem pengaduk-pengenap (*mixer-settler*) dan *solvent* yang digunakan adalah TBP/kerosin. Proses ekstraksi berlangsung mengikuti persamaan reaksi (3) [9-12].

pelahan-lahan. Hal tersebut sesuai dengan yang diuraikan pada pustaka [12-14]. Untuk menjaga kondisi pH dan proses *stripping* tetap berlangsung dan diperoleh hasil U(VI) yang baik, maka digunakan  $Na_2CO_3$  dengan 2,5 % berat.

#### METODOLOGI

Efisiensi proses ekstraksi-*stripping* dapat ditingkatkan dengan memperhatikan beberapa persyaratan baik *design* bentuk ekstraksi-*stripping* maupun parameter kondisi proses yang akan dilakukan. Umpan larutan  $UO_2(NO_3)_2$  yang berimpuritas dari hasil pelarutan *yellow cake* dan berkadar uranium 288,545 gU/L dengan keasaman bervariasi dipompa masuk ke kolom *mixer settler* dan dengan waktu bersamaan TBP/kerosin dengan perbandingan 30/70 % dipompakan dengan berlawanan arah masuk ke kolom *mixer settler* juga. Percobaan ini dilakukan dengan menggunakan 3 (tiga) parameter yaitu laju alir umpan  $UO_2(NO_3)_2$ , yang dimulai dari 10 hingga 22,5 L/jam (*interval* 2,5 L/jam), keasaman umpan dari 2; 2,5 ; 3; 4; 5 dan 5,5 M dan keasaman *stripper* pada proses *stripping* yang dilakukan pada keasamaan 0,01 s/d 0,06 M dengan *interval* 0,01 M. Langkah selanjutnya dilakukan analisis kadar uranium dengan menggunakan alat potensiometri, kadar impuritas menggunakan alat AAS, sedangkan kadar asam sisa yang terikut dianalisis secara titrimetri. Analisis dilakukan pada setiap parameter dan *interval* percobaan. Proses percobaan ekstraksi-*stripping* diperlihatkan

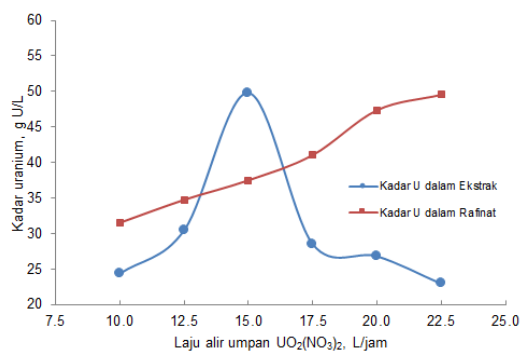
pada Gambar 1 dan untuk mendapatkan umpan bahan bakar uranium dengan kemurnian tinggi (*nuclear grade*) dilakukan proses ekstraksi-*stripping* menggunakan sistem *mixer-settler* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dilakukan proses ekstraksi-*stripping* dengan menggunakan 3 (tiga) parameter. Ada 2 (dua) parameter pada proses ekstraksi yaitu pengaruh laju alir umpan dan pengaruh keasaman umpan  $UO_2(NO_3)_2$  dan 1 (satu) parameter dilakukan pada proses *stripping* yaitu pengaruh keasaman. Proses ekstraksi-*stripping* dari  $UO_2(NO_3)_2$  dengan menggunakan 3 (tiga) parameter diperoleh hasil yang dapat dijelaskan sebagai berikut.

### Pengaruh Laju Alir Umpan

Hasil analisis kadar uranium pada proses ekstraksi  $UO_2(NO_3)_2$  dengan variasi parameter laju alir umpan sebesar 10,0; 12,5; 15,0; 17,5; 20,0 dan 22,5 L/jam diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan antara kadar U terhadap laju alir umpan  $UO_2(NO_3)_2$ .

Gambar 3 menunjukkan terjadinya proses ekstraksi yang dapat dijelaskan bahwa dalam kolom *mixer-settler* terjadi kontak (transfer massa) antara  $UO_2(NO_3)_2$

sebagai fase air (fa) dengan TBP/kerosin sebagai fase organik (fo). Mekanisme transfer massa berbentuk larutan kompleks dari  $UO_2(NO_3)_2 \cdot 2TBP$  sebagai fasa organik mengikuti persamaan reaksi 3 dan 4. Larutan kompleks  $UO_2(NO_3)_2 \cdot 2TBP$  maupun rafinat, selanjutnya dianalisis kadar uraniumnya dengan menggunakan alat potensiometer. Hasil analisis uranium yang masuk ke dalam fasa organik diperoleh sebesar 24,3581 gU/L, karena pada laju alir sebesar 10 L/jam mulai terjadi pengikatan kandungan uranium oleh TBP seperti ditunjukkan pada persamaan reaksi 3. Apabila laju alir umpan semakin ditingkatkan hingga 15 L/jam, maka uranium yang terikat semakin naik hingga 49,8025 gU/L. Hal itu berarti semakin banyak uranium masuk ke dalam fasa organik yang diikat oleh TBP atau dengan kata lain kadar uranium masuk ke dalam fasa air (rafinat) semakin menurun. Bila laju alir umpan  $UO_2(NO_3)_2$  dinaikkan hingga diatas 15 L/jam atau sekitar 17,5 hingga 22,5 L/jam kadar uranium dalam fasa organik yang diperoleh justru semakin menurun.

Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh kontak atau transfer massa antara  $UO_2(NO_3)_2$  dengan TBP masuk ke fasa organik semakin kecil, karena transfer massa akan terjadi secara pelahan-lahan dan membentuk ikatan yang kuat. Akibat kenaikan laju alir menyebabkan banyak uranium ikut masuk ke dalam fasa air (rafinat) semakin banyak, sehingga dapat menyebabkan efisiensi proses ekstraksi semakin menurun.

Hasil analisis dengan menggunakan alat AAS terhadap kadar impuritas yang masuk ke dalam fasa organik ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis kadar impuritas dalam efluen proses dan ekstrak

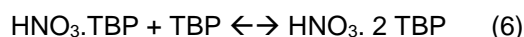
No.	Unsur	Kadar Impuritas, ppm		
		Efluen proses (Umpa)	Ekstrak	Batasan maksimum yang diizinkan <sup>[1]</sup>
1	Ag	0,40	0,034	1
2	Al	165,30	0,590	50
3	Ca	113,54	2,160	50
4	Cd	0,15	< 0,007	0,20
5	Co	0,35	< 0,007	75
6	Cr	13,95	0,316	100
7	Cu	5,45	0,063	20
8	Fe	107,90	5,185	100
9	Mg	21,99	0,489	50
10	Mn	2,60	0,060	10
11	Mo	< 2,50	< 0,030	50
12	Ni	18,70	0,225	30
13	Pb	0,50	< 0,015	200
14	Si	< 5,50	< 0,020	60
15	Sn	5,00	< 0,031	60
16	V	< 0,006	< 0,050	5
17	Zn	23,365	0,578	100

Dari Tabel 1 dapat dijelaskan bahwa hasil analisis unsur-unsur yang terkandung dalam efluen proses (umpa) dan ekstrak mengalami penurunan yang cukup signifikan. Kandungan impuritas dalam ekstrak diperoleh masih di bawah batasan maksimum yang diizinkan<sup>[2]</sup>. Hal ini berarti proses ekstraksi-*stripping* dari  $UO_2(NO_3)_2$  berhasil dengan baik karena kandungan impuritas yang diperoleh memenuhi persyaratan. Dengan demikian bahwa hasil proses ekstraksi-*stripping*  $UO_2(NO_3)_2$  dapat diproses lebih lanjut hingga diperoleh serbuk  $UO_2$  berderajat nuklir sebagai bahan dasar pembuatan bahan bakar nuklir.

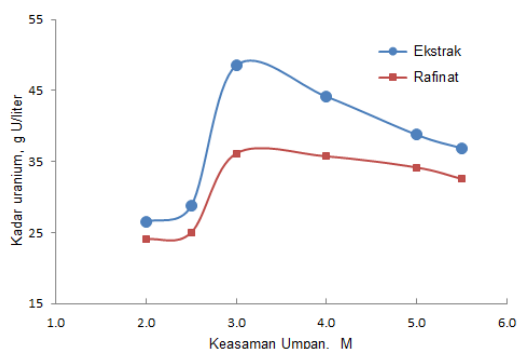
### Pengaruh keasaman umpa

Dalam proses ekstraksi pengaruh keasaman umpa ( $HNO_3$ ) berperan aktif setelah bereaksi dengan TBP, karena dapat bertindak sebagai *salting out agent* dan larutan kompleks antara  $HNO_3$  dengan TBP seperti ditunjukkan pada persamaan reaksi 5 dan 6. Terbentuknya *salting out agent* tersebut, maka impuritas yang ada dalam uranium akan didorong keluar bersama dengan rafinat sebagai fasa air, sehingga efisiensi ekstraksi bertambah besar.

Besarnya reaksi pembentukan *salting out agent* antara *solvent* TBP/kerosin dengan  $HNO_3$  ditunjukkan pada persamaan reaksi (5-6)<sup>[9-13]</sup>.

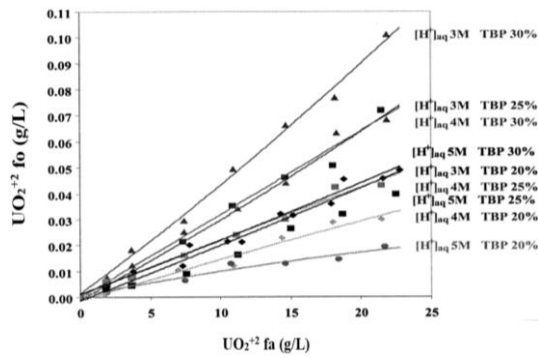


Hasil analisis kadar uranium pada percobaan proses ekstraksi  $UO_2(NO_3)_2$  dengan parameter pengaruh keasaman umpa diperlihatkan pada Gambar 4.



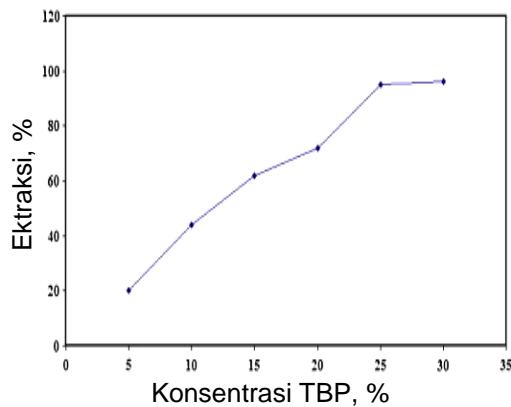
Gambar 4. Hubungan antara kadar U dengan keasaman umpa.

Hubungan antara  $UO_2^{+2}$  sebagai fa terhadap  $UO_2^{+2}$  sebagai fo pada berbagai parameter penggunaan asam nitrat dan TBP<sup>[6]</sup> ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hubungan  $UO_2^{+2}$  fa dengan  $UO_2^{+2}$  fo pada berbagai variasi asam dan TBP<sup>[8,11-13]</sup>

Gambar 5 menunjukkan bahwa faktor keasaman umpan tidak boleh lebih besar dari 3 M, karena akan berakibat pada terjadinya kerusakan *solvent* TBP yang disebabkan terdekomposisi menjadi DBP (*dibutylphosphat*) dan MBP (*monobutylphosphat*). Hal ini dapat merusak kerosin sebagai pengencer atau *diluents*, karena akan terhidrolisis menjadi derivat-derivat nitro dan asam karboksilat dan terbentuknya senyawa kompleks  $HNO_3$ -TBP seperti ditunjukkan pada persamaan reaksi 5 dan 6. Fenomena ini akan mengakibatkan efisiensi proses ekstraksi bertambah besar seperti diperlihatkan pada Gambar 6<sup>[10-13]</sup>.

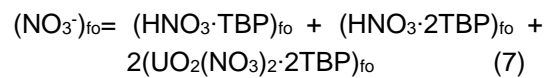


Gambar 6. Hubungan antara efisiensi ekstraksi dengan konsentrasi TBP<sup>[10-13]</sup>

Namun apabila keasaman umpan kurang dari 3 M, impuritas akan lebih banyak terikut ke fasa organik, sehingga

mengakibatkan ekstraksi gagal dan efisiensi ekstraksi yang diperoleh akan menurun.

Efisiensi proses ekstraksi akan bertambah besar apabila rasio distribusi uranium meningkat. Hal ini tergantung beberapa faktor, terutama konsentrasi awal ion nitrat dan TBP. Peningkatan konsentrasi TBP akan meningkatkan efisiensi ekstraksi uranium karena jumlah kelebihan TBP akan membentuk senyawa kompleks dari  $UO_2(NO_3)_2 \cdot 2TBP$ , dan  $HNO_3 \cdot TBP$ , serta  $HNO_3 \cdot 2TBP$  seperti yang ditunjukkan pada persamaan reaksi (7)<sup>[10-13]</sup>. Ekstraktan TBP memiliki kemampuan untuk mengekstrak uranium secara spesifik, tetapi TBP memiliki densitas dan viskositasnya yang relatif tinggi (hampir sama dengan air) sehingga akan memperlambat waktu pengendapan. Dalam usaha untuk mengatasi hal tersebut, dalam penggunaannya TBP terlebih dahulu harus dilakukan pengenceran dengan senyawa organik sejenis yang memiliki densitas dan viskositas lebih kecil sehingga waktu proses pengendapan menjadi lebih cepat. Umumnya digunakan senyawa kerosin sebagai pengencer/*diluent*.

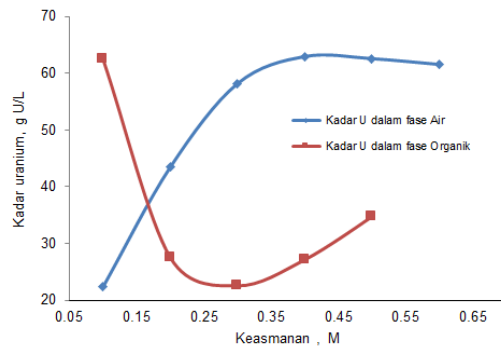


Dalam sistem *solvent* ekstraksi dimana garam nitrat berfungsi sebagai *saltin out agent*, ketika konsentrasi asam nitrat meningkat, akan terbentuk ikatan kompleks yang lebih banyak sehingga mengakibatkan distribusi uranium mejadi turun dengan cepat. Hal ini mengakibatkan efisiensi proses ekstraksi menjadi lebih rendah seperti yang telah dijelaskan pada Gambar 4.

### Pengaruh keasaman dalam proses stripping

Hasil analisis kadar uranium pada proses *stripping* ( $UO_2(NO_3)_2 \cdot 2TBP$ ) fasa organik mengikuti persamaan reaksi 3 dan 7 menggunakan *stripper* asam nitrat dengan air bebas mineral pada temperatur antara

60-70 °C dengan parameter keasaman umpan pada proses *stripping* diperlihatkan pada Gambar 7.

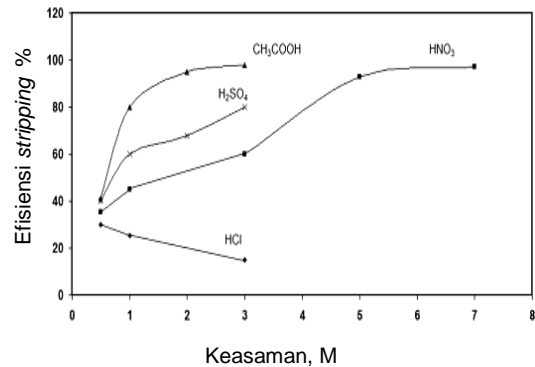


Gambar 7. Hubungan antara kadar U dengan keasaman proses *stripping*

Pada keasaman *stripper* 0,010 - 0,040 M kadar uranium dari hasil *stripping* semakin naik dengan hasil maksimum pada keasaman 0,04 M dan kadar uranium sebesar 64,7860 gU/L. Namun apabila konsentrasi keasaman *stripper* dinaikkan lebih tinggi sampai dengan 0,60 M, hasil uranium yang diperoleh akan cenderung menurun. Hal itu dimungkinkan karena semua uranium pada  $(\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{TBP})$  fasa organik dapat berubah menjadi uranium  $(\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$  fasa air, karena telah mengalami kejenuhan seperti ditunjukkan pada persamaan reaksi 4.

Keasaman umpan proses *stripping*  $(\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{TBP})$  fasa organik dapat juga digunakan untuk menentukan koefisien distribusi uranium, karena berfungsi untuk menentukan *equilibrium stage number* dalam prarancangan kolom *mixer-settler*. Apabila keasaman umpan proses *stripping* digunakan selain  $\text{HNO}_3$  dapat dibandingkan dengan penggunaan  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , atau  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , fenomena ini sesuai dengan saran dan petunjuk pustaka<sup>[10-13]</sup>. Hubungan efisiensi proses *stripping* terhadap parameter keasaman ditunjukkan pada Gambar 8. Dari Gambar 8 menunjukkan bahwa  $\text{HNO}_3$  tepat pada keasaman 0,40 M sebagai keasaman umpan proses *stripping*, karena dapat memberikan hasil efisiensi

proses *stripping* paling tinggi. Hasil analisis kadar impuritas yang masuk dalam  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  fasa air sebagai hasil ekstraksi-*stripping* ditunjukkan dalam Tabel 1.



Gambar 8. Hubungan antara efisiensi *stripping* dengan konsentrasi asam<sup>[10-13]</sup>

## SIMPULAN

Parameter optimal pengoperasian proses ekstraksi-*stripping*  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  yang dilakukan dengan perbandingan antara TBP/kerosin sebesar 30/70% diperoleh hasil berturut-turut laju umpan  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  sebesar 15 L/jam, keasaman umpan sebesar 3 M dan diperoleh kadar  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  sebesar 48,5365 gU/L, sedangkan dengan menggunakan proses *stripping* diperoleh  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  murni sebesar 64,7860 g/L pada keasaman 0,04 M.

## SARAN

Kekurangan parameter-parameter yang digunakan dalam percobaan ini akan dapat diminimalis apabila proses ekstraksi-*stripping* dioperasikan secara menerus sehingga diperoleh kondisi proses ekstraksi-*stripping* yang optimal.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat: Ka. Bidang Fabrikasi Bahan Bakar Nuklir, seluruh tim revitalisasi dan karyawan yang tak dapat penulis sebut satu per satu yang



telah ikut berpartisipasi dan bekerjasama hingga PCP dapat beroperasi dengan baik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] PTBN-BATAN, (2013), "Laporan analisis keselamatan (LAK) Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE)", No. dok: KK32 J09 002 Revisi : 7, Serpong.
- [2] Matteson, B.S. (2010), "*The Chemistry of Acetohydroxamate Acid Related to Nuclear Fuel Reprocessing*", In Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Doctor of Philosophy, Oregon State University.
- [3] Sawada. K, Enokida. Y, Kamiya. M, Koyama. T, and Aoki. K, (2009), "*Distribution Coefficients of U(VI), Nitric Acid and FP Elements in Extractions from Concentrated Aqueous Solutions of Nitrates by 30% Tri-n-butylphosphate Solution*", Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 46, No. 1, Japan.
- [4] J. Rydberg, G.R. Choppin, C. Musikas, and T. Sekine, (2004), "*Solvent Extraction Equilibria*", First Edition, Taylor & Francis, LLC, 2004.
- [5] Ghaib Widodo, (2010), "Kajian Pemungutan Uranium Dari Gagalan Kandidat Bahan Bakar UMo-Al Tipe Pelat", Prosiding Seminar Nasional ke 44, Temu-Ilmiah Jaringan Kerjasama Kimia Indonesia Seminar Nasional XIII, ISSN : 0854-4778, Jogjakarta, hal. 277-282.
- [6] Ghaib Widodo, (2013), "Ekstraksi-Stripping Uranil Nitrat dari Hasil Pelarutan Uranium Nitrida (UN) Kandidat Bahan Bakar Reaktor Riset", Prosiding Seminar nasional Kimia Terapan Indonesia 2013, Vol. 6, Solo, 23 Mri.
- [7] Anwar Muchsin dan Ghaib Widodo, (2014), "Pengaruh Konsentrasi Asam Nitrat, Temperatur Proses, Laju Pengadukan Terhadap Kadar Uranium Hasil Proses Pelarutan Padatan Yellow Cake Pada Seksi 300 Di IEBE", Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir 'URANIA, PTBBN-BATAN, Vol 20, No. 2 ISSN 0852-4777, Akreditasi No. 395/AU2/P2MI-LIPI/ 04/2012.
- [8] Ghaib Widodo, Guntur Sodikin, (2015), "Pemurnian Uranil Nitrat Hasil Pelarutan *Yellow Cake* Menggunakan Metode Elektrodialisis", Jurnal Teknologi Bahan Nuklir, Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, ISSN1907-2635,616/AU3/P2MI-LIPI/03/2015, Vol.11, No. 1, Serpong.
- [9] Ghaib Widodo, Sigit, (2014), "Pengaruh Keasaman Umpan, Pengadukan, Waktu, dan Suhu Terhadap Efisiensi Proses Ekstraksi-Stripping Uranium Molibdenum /Aluminium", Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir 'URANIA' PTBBN-BATAN, Vol 19, No. 3, ISSN 0852-4777, Akreditasi No. 395/AU2/P2MI-LIPI/ 04/2012.
- [10] J. Rydberg, G.R. Choppin, C. Musikas, and T. Sekine, (2004), "*Solvent Extraction Equilibria*", First Edition, Taylor & Francis, LLC, 2004.
- [11] Jamal Stas, Ajaj Dahdouh and Habib ShlewiT, (2004), "*Extraction of Uranium (VI) Nitric Acid and Nitrate Solutions By Tributylphosphate and Kerosene*", Department of Chemistry Atomic Energy Commission of Syria, Damascus, P.O.Box 6091, Syria Received : Oct . 11, 2004.
- [12] Jing Fu, Qingde Chen & Xinghai Shen, (2015), "*Stripping of uranium from an ionic liquid medium by TOPO-modified supercritical carbon dioxide*",

Beijing National Laboratory for Molecular Sciences (BNLMS), Fundamental Science on Radiochemistry and Radiation Chemistry Laboratory, College of Chemistry and Molecular Engineering, March 2015 Vol.58 No.3: 545-550  
DOI : 10.1007/s11426-014-5162-3,  
Peking University, Beijing 100871, China.

- [13] S. Yu. Skripchenko, S. M. Titova, A. L. Smirnov And V. N. Rychkov, (2016) "*Uranium Stripping from Tributyl Phosphate by Urea Solutions*", Department of Rare Metals and Nanomaterials, Institute of Physics and Technology, Ural Federal University, 19 Mira St., Ekaterinburg, 620002, Russian Federation, Citation: 1767, 020019 (2016); DOI: 10.1063/1.4962603.
- [14] A.H. Orabi, (2013), "*Determination of Uranium After Separation Using Solvent Extraction from Slightly Nitric Acid Solution and Spectrophotometric Detection*", Journal of Radiation Research and Applied Sciences, Volume 6, Issue 2, October 2013, Pag.1-10.