

---

# **PENGARUH KONSENTRASI ASAM NITRAT, TEMPERATUR PROSES, LAJU PENGADUKAN TERHADAP KADAR URANIUM HASIL PROSES PELARUTAN PADATAN *YELLOW CAKE* PADA SEKSI 300 DI IEBE**

**Anwar Muchsin, Ghaib Widodo**

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir-BATAN,  
Kawasan Puspipstek, Serpong Tangerang Selatan, 15314  
e-mail : anwar\_muchsin@ymail.com

(Naskah diterima : 07-04-2014, Naskah disetujui: 19-05-2014)

## **ABSTRAK**

**PENGARUH KONSENTRASI ASAM NITRAT, TEMPERATUR PROSES, LAJU PENGADUKAN TERHADAP KADAR URANIUM HASIL PROSES PELARUTAN *YELLOW CAKE* PADA SEKSI 300 DI IEBE.** Telah dilakukan proses pelarutan serbuk *yellow cake* sebagai langkah awal dalam proses konversi serbuk *yellow cake* menjadi serbuk uranium dioksida/ $UO_2$ . Proses pelarutan dilakukan dalam tangki pelarutan/*Dissolver tank* DI-301 yang diisi dengan asam nitrat/ $HNO_3$  pekat sebanyak 200 L, selanjutnya serbuk *yellow cake* berdiameter < 5 mm sebanyak 135,64 kg dimasukkan secara perlahan ke dalamnya. Dalam usaha untuk mendapatkan proses pelarutan serbuk *yellow cake* yang optimal maka perlu dilakukan analisis terhadap faktor-faktor yang berpengaruh antara lain konsentrasi asam nitrat, temperatur pelarutan dan laju pengadukan. Dari parameter yang digunakan dapat diperoleh kondisi proses pelarutan terbaik untuk menghasilkan uranium nitrat. Hasil proses pelarutan terbaik pada pelarutan serbuk *yellow cake* diperoleh pada konsentrasi asam nitrat 7 M, temperatur proses pelarutan 80°C, laju pengadukan 2,75-3 bar, dan diperoleh hasil uranium dalam UN sebesar 290 gU/L. Setelah dibandingkan dengan *design process* NIRA Italia yang mempunyai kondisi proses pelarutan masing-masing untuk konsentrasi asam nitrat 7,5-8 M, temperatur proses pelarutan 40-95°C, laju adukan 2,85 bar, dan diperoleh hasil uranium dalam UN sebesar 295,18 gU/L. Hal ini menunjukkan bahwa alat proses khususnya unit pelarutan yang berada di IEBE yang telah dilakukan revitalisasi dan modifikasi ini dapat berfungsi baik seperti desain awal.

**Kata kunci :** pelarutan, *yellow cake*, asam nitrat, konsentrasi, temperatur, laju pengadukan.

## **ABSTRACT**

**EFFECT OF NITRATE ACID CONCENTRATION, PROCESS TEMPERATURE, RATE OF STIRRING ON URANIUM CONCENTRATION OF *YELLOW CAKE* DISSOLUTION IN SECTION 300 IEBE.** *Yellow cake powder dissolution process as the first step in the conversion process of yellow cake powder into uranium dioxide powder/ $UO_2$  has been done. The leaching process was carried out in the dissolving tank. Dissolver tank DI-301 were filled with nitric acid/ $HNO_3$  200 L. Yellow cake powder with a diameter < 5 mm in an amount of 135,64 kg was slowly poured into*

*the dissolver tank. In order to obtain optimal dissolution, it is necessary to analyze of some influencing factors such as nitric acid concentration, leaching temperature and rate of stirring. From the parameters used, the best condition for dissolving process to produce uranyl nitrate was obtained. The best result of leaching process was obtained for dissolution process with a concentration of 7 M nitric acid, leaching process at a temperature of 80 °C, stirring rate from 2,75 to 3 bars, which results in the uranium concentration in UN at 290 gU/L. In comparison to NIRA Italian process design, which prescribes the leaching process condition for nitrate concentration of 7,5-8 M nitric acid, temperature process at 40-95 ° C, stirring rate at 2,85 bar, the result obtained for the prescribed condition shows that uranium concentration in the UN is 295,18 gU/L. This indicates that the dissolution process in the dissolution units of EFEI (Experimental Fuel Element Installation), which has undergone revitalization, can function in accordance with the initial design.*

**Keywords:** *dissolution, yellow cake, nitric acid, concentration, temperature, stirring rate.*

## PENDAHULUAN

Kebijaksanaan program pemerintah dan kajian terhadap penggunaan energi nuklir terus berkembang di Indonesia. Kajian tersebut bertujuan untuk mempelajari kemungkinan penggunaan bahan bakar nuklir sebagai salah satu sumber energi alternatif guna memenuhi kebutuhan energi nasional di dalam negeri.

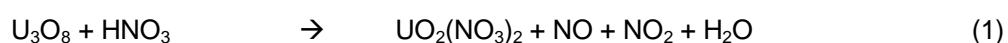
Bahan bakar nuklir sebagai komponen utama dalam pengoperasian reaktor nuklir baik reaktor daya (PLTN) maupun reaktor riset, akan memegang peranan penting di masa datang. Hingga saat ini bahan bakar nuklir yang banyak digunakan adalah uranium, dimana bahan uranium tersebut cukup tersedia dalam jangka waktu lama di Indonesia. Uranium tersebut juga dimanfaatkan sebagai penyusun utama di dalam bahan bakar nuklir baik untuk reaktor riset maupun reaktor daya<sup>[1-2]</sup>.

Indonesia dalam hal ini BATAN, di kawasan Puspiptek Serpong mempunyai Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE) yang dilengkapi dengan fasilitas konversi yang berfungsi untuk mengolah

bahan baku yellow cake menjadi serbuk  $UO_2$  yaitu Pilot Conversion Plant (PCP). Fasilitas tersebut terdiri dari beberapa unit proses, salah satunya adalah unit pelarutan (Seksi 300) yang berfungsi untuk melarutkan serbuk *yellow cake* (YC) menjadi larutan Uranil Nitrat/ $UO_2(NO_3)_2$  atau (UN)<sup>[3-5]</sup>.

Proses pelarutan bertujuan untuk merubah uranium bentuk padat yang terdapat dalam yellow cake menjadi uranium bentuk cair dalam larutan uranil nitrat (UN) sehingga memudahkan proses pemisahan uranium dengan pengotor-pengotornya pada proses pemurnian. Proses pelarutan serbuk YC dilakukan dengan menggunakan asam nitrat ( $HNO_3$ ) dengan menggunakan 3 (tiga) parameter proses yaitu konsentrasi asam nitrat, temperatur proses pelarutan dan laju pengadukan. Berharap akan diperoleh kondisi/parameter proses pelarutan yang cukup baik/optimal.

Di alam bebas uranium dalam yellow cake terikat dalam bentuk oksida  $U_3O_8$  sehingga jika direaksikan dengan asam nitrat  $HNO_3$  akan menghasilkan larutan uranil nitrat dengan mengikuti persamaan reaksi sbb :



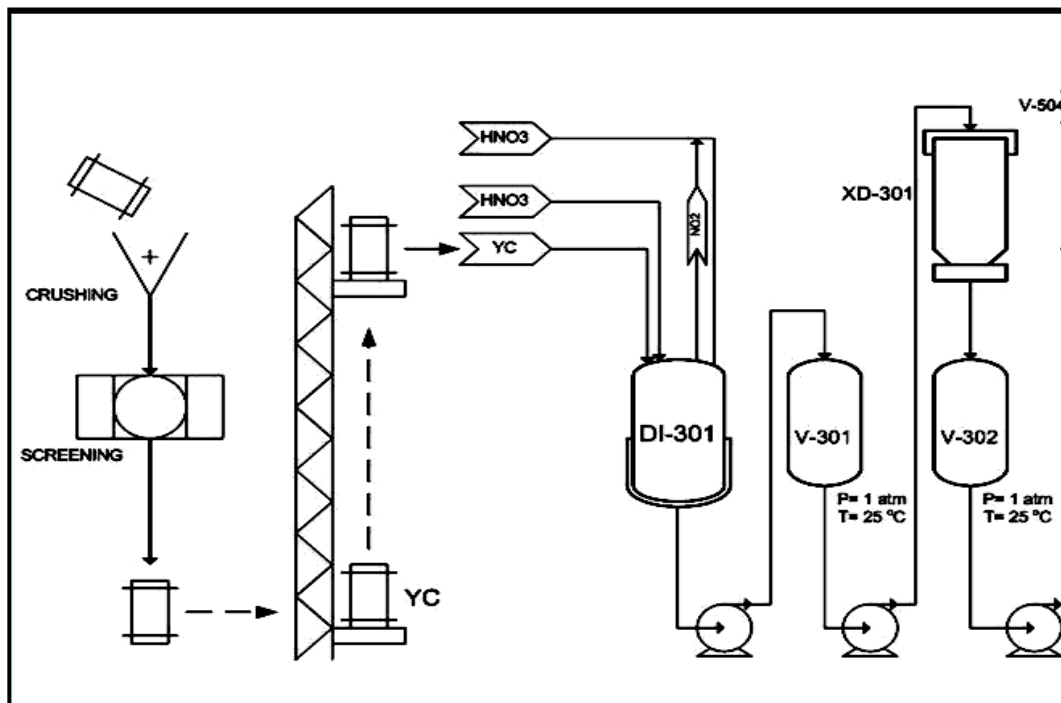
Proses pelarutan dilakukan dalam tangki pelarutan DI-301 (*dissolver tank*), menggunakan sumber panas dari steam dan

sebagai pengaduk digunakan sistem pengaduk udara tekan (compressed air)

yang disemburkan/digelembungkan dari bawah tangki pelarutan<sup>[6-7]</sup>.

Fasilitas konversi PCP selama ini belum pernah dioperasikan untuk proses konversi uranium, akan tetapi setelah dilakukan revitalisasi dengan berbagai upaya modifikasi maka saat ini fasilitas tersebut telah dapat dioperasikan<sup>[4-5]</sup>. Beberapa tahapan pengujian telah dilakukan terhadap fasilitas PCP meliputi : uji dingin (uji individu dan sub sistem) dan uji panas (commissioning) setelah mendapatkan izin komissioning dari BAPETEN (Badan Pengawas Tenaga Nuklir)<sup>[8]</sup>.

Proses pelarutan serbuk YC dimulai dari proses crushing bertujuan untuk size reduction, sieving/ pengayakan, pengangkutan (*lift elevator*), dan proses pelarutan dengan asam nitrat hingga diperoleh larutan urani nitrat (UN). Selanjutnya dilakukan pemisahan antara larutan urani nitrat dengan lumpur yang tidak larut dengan menggunakan centrifuge sehingga diperoleh larutan UN yang bersih. Diagram alir proses seperti diperlihatkan pada Gambar 1.<sup>[4-5]</sup>



Gambar 1 Diagram alir proses pelarutan YC dalam *dissolver tank* DI-301 seksi 300<sup>[4-5]</sup>

Keterangan gambar :

- DI-301 : Tangki pelarutan/*dissolver tank*
- XD-301 : *Centrifuge*/pemisah padatan dan cairan
- V-301 : Tangki penampung UN hasil pelarutan
- V-302 : Tangki penampung UN hasil centrifuge

## TATA KERJA

### Bahan

Bahan baku padatan YC, air bebas mineral/ ABM, asam nitrat/HNO<sub>3</sub>, uap panas/*steam*, air pendingin, udara tekan, kertas merang, kertas saring *whatman*.

### Alat

Unit pelarutan (*hopper, crushing, sieving, dissolver* DI-301, *centrifuge, scrubber*)/ seksi 300, tangki tampung,

segenap piranti analisis (potensiometry, pH meter), dan alat dukung lainnya.

### Cara kerja

Proses pelarutan dimulai dengan proses penggerusan padatan YC dengan cara mengumpukan sejumlah padatan YC ke dalam mesin *crusher* melalui *hopper* sehingga diperoleh serbuk YC dan dilanjutkan dengan pengayakan sehingga diperoleh serbuk YC dengan *size* yang lebih kecil ( $\leq 5$  mm). Selanjutnya serbuk YC hasil *crushing* dianalisis kadar uranium dan ditimbang beratnya untuk mengetahui jumlah uranium yang akan dilarutkan.

Tangki pelarutan DI-301 diisi sejumlah larutan asam nitrat dengan tingkat keasaman tertentu yang dipanaskan dengan mengalirkan *steam* sampai temperatur tertentu pula. Serbuk YC hasil ayakan sebanyak 135,64 kg diumpukan melalui *hopper* sedikit demi sedikit sambil diaduk menggunakan udara tekan. Serbuk YC diumpukan semua dan reaksi pelarutan terlihat selesai, maka aliran *steam* dihentikan dan diganti dengan air pendingin. Setelah temperatur larutan turun hingga dibawah  $40^{\circ}\text{C}$ , larutan dipindahkan ke tangki penampungan V-301 dan *dicentrifuge* dengan XD-301 sehingga diperoleh larutan uranil nitrat yang bersih dan bebas dari lumpur yang tidak larut yang ditampung dalam tangki V-302 (lihat gambar 1). Selanjutnya larutan UN dicuplik dan dianalisis kandungan uraniumnya dengan metode titrimetri.

Tahapan proses tersebut diatas dilakukan secara berulang untuk masing-masing parameter yang menggunakan 3 (tiga) variabel proses yaitu : konsentrasi

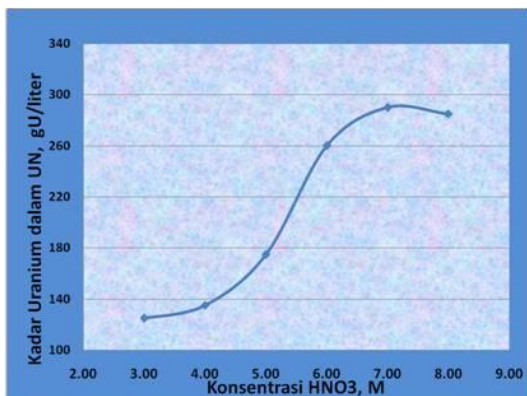
asam nitrat : 3; 4; 5; 6; 7 dan 8 M, temperatur proses pelarutan : 40; 50; 60; 70; 8, dan  $90^{\circ}\text{C}$ , dan laju pengadukan : 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5 bar.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dilakukan proses pelarutan serbuk YC dengan umpan sebanyak 135,64 kg dengan menggunakan pelarut asam nitrat. Selama proses pelarutan berlangsung menimbulkan gas  $\text{NO}_x$  (campuran gas  $\text{NO}$  dengan  $\text{NO}_2$ ) yang berwarna coklat terlihat pada slide glass pada saluran pipa gas buang dan di-scrub menggunakan air bebas mineral/ABM di dalam menara cuci gas buang (scrubber). Proses pelarutan mulai terhenti ditandai dengan semakin tipis/berkurangnya warna coklat (gas  $\text{NO}_x$ ) yang terlihat pada slide glass. Kemudian larutan yang tertinggal dalam tangki pelarutan DI-301 adalah larutan uranil nitrat/ $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ . Proses pelarutan serbuk YC ini menggunakan 3 (tiga) parameter, dibahas step by step pada setiap parameter berikut :

#### Pengaruh konsentrasi $\text{HNO}_3$

Proses pelarutan serbuk YC dilakukan dalam tangki pelarutan DI-301 seksi 300 yang telah diisi dengan  $\text{HNO}_3$  sebanyak 200 liter, kemudian dipanaskan pada temperatur berkisar  $40-90^{\circ}\text{C}$ , dan laju pengadukan diatur pada tekanan 2,8 bar terlebih dahulu dengan berbagai konsentrasi mulai dari 3 hingga 8 M. Hasil analisis kadar U yang terkandung dalam larutan UN hasil proses pelarutan YC diperlihatkan pada Gambar 2 berikut :

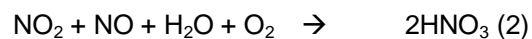


Gambar 2 Hubungan antara konsentrasi HNO<sub>3</sub> terhadap kadar U dalam UN

Pada Gambar 2 dapat dijelaskan bahwa proses pelarutan serbuk YC mulai terbentuk pada konsentrasi asam nitrat 3 M yang ditandai dengan mulai terlihat gas NO<sub>x</sub> keluar pada slide glass yang berwarna coklat bening, karena pada saat itu serbuk YC bereaksi membentuk UN seperti diperlihatkan pada reaksi (1). Setelah dilakukan analisis kadar uranium yang terkandung dalam larutan UN diperoleh sebesar 125 gU/L. Kenaikan konsentrasi asam nitrat dari 4 M sampai dengan 7 M menunjukkan kenaikan reaktifitas yang ditandai dengan warna coklat gas NO<sub>x</sub> yang semakin gelap menutupi slide glass. Hal itu berarti bahwa semakin bertambah banyak serbuk YC yang terlarut. Pada konsentrasi asam nitrat < 5 M proses pelarutan belum mencapai equilibrium pembentukan larutan UN. Hasil analisis menunjukkan pada keadaan itu diperoleh kadar uranium dalam UN berturut-turut sebesar 135, 175, 260, 290 gU/liter. Apabila konsentrasi asam nitrat dinaikkan hingga 8 M, laju proses pelarutan YC semakin kuat yang ditandai warna coklat gas NO<sub>x</sub> pada slide glass yang semakin gelap. Pada keadaan ini seharusnya kadar uranium dalam larutan UN semakin meningkat, namun pada kenyataannya hasil analisis menunjukkan kadar uranium turun

menjadi 285 gU/L. Penurunan kadar uranium dalam larutan UN ini kemungkinan disebabkan oleh laju proses yang terlalu cepat yang mengakibatkan sebagian uranium terjebak dalam gas NO<sub>x</sub> dan masuk ke menara gas buang (scrubber). Penggunaan konsentrasi asam nitrat yang tinggi > 8 M dalam proses pelarutan serbuk YC harus dihindari karena akan menghasilkan gas NO<sub>x</sub> yang melebihi kapasitas serap scrubber yang dapat beresiko terhadap keselamatan kerja baik terhadap operator maupun pada alatnya sendiri.

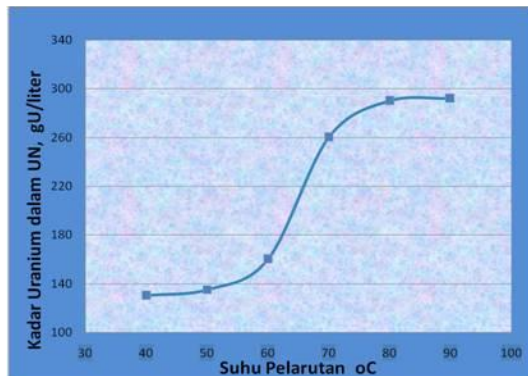
Selanjutnya gas NO<sub>x</sub> hasil proses yang keluar ke menara gas buang, di-scrub oleh ABM menjadi asam nitrat encer berdasarkan pada persamaan reaksi berikut<sup>[1-2,6]</sup>:



Hasil scrubbing asam nitrat/HNO<sub>3</sub> encer merupakan efluen proses masih mengandung uranium yang terjebak di dalamnya. Hasil proses ini masih mempunyai nilai ekonomis cukup tinggi sehingga perlu dilakukan proses pemungutan kembali uranium yang terkandung di dalamnya.

### Pengaruh temperatur proses

Dalam proses pelarutan suatu bahan, salah satu faktor yang mempengaruhi bertambahnya laju proses pelarutan adalah temperatur proses. Semakin tinggi temperatur proses, laju proses pelarutan akan bertambah kuat. Pada temperatur 40°C sudah mulai terjadi proses pelarutan serbuk YC karena sudah mulai terlihat warna coklat gas NO<sub>x</sub> yang keluar pada slide glass.



Gambar 3. Hubungan antara temperatur proses pelarutan terhadap kadar U dalam UN

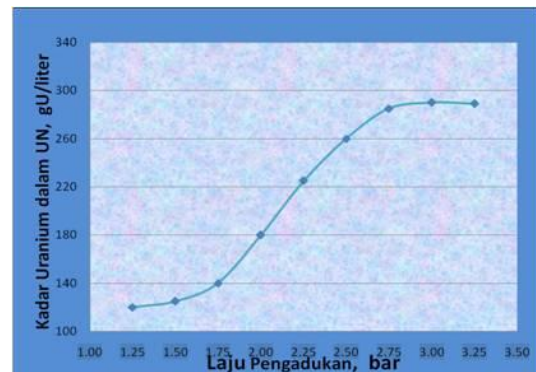
Dari Gambar 3 dapat dijelaskan bahwa apabila temperatur proses pelarutan dinaikkan terus dari 40°C (50, 60, 70, 80 dan 90°C), maka kadar uranium yang diperoleh semakin meningkat pula. Hal ini disebabkan kenaikan temperatur proses menjadikan laju proses pelarutan uranium (dalam YC) dalam asam nitrat akan semakin cepat (lihat reaksi 1). Dari hasil analisis menunjukkan pada keadaan itu diperoleh kadar uranium dalam UN berturut-turut sebesar 130, 135, 160, 260 290 dan 292 gU/liter. Kenaikan temperatur dari 80°C ke 90°C kandungan uranium dalam larutan UN relatif stabil yang berarti kenaikan temperatur diatas 80°C pada proses pelarutan serbuk YC sudah tak banyak berpengaruh lagi.

Kenaikan temperatur proses pelarutan mengakibatkan timbulnya gas  $\text{NO}_x$  yang semakin banyak yang secara visual terlihat jelas pada *slide glass*. Untuk mengatasi timbulnya gas  $\text{NO}_x$  yang berlebihan maka temperatur proses pelarutan tidak boleh terlalu tinggi dan temperatur pelarutan harus terkendali dengan baik. Pengendalian temperatur dilakukan dengan mengatur pergantian *steam* dan air pendingin yang dialirkan ke dalam lilitan jacket pada tangki *dissolver* DI-301.

### Pengaruh laju pengadukan

Parameter lain yang dapat mempengaruhi laju proses pelarutan adalah

adalah faktor pengadukan. Media pengadukan yang dipakai adalah *compressed air* (udara tekan) yang digelembungkan dari dasar tangki *dissolver* DI-301. Laju *compressed air* di-*setting* mulai dari 1.5 hingga 3.5 bar, sesuai parameter percobaan yang dikehendaki. Hasil percobaan proses pelarutan serbuk YC dengan parameter laju pengadukan diperlihatkan pada gambar 4.



Gambar 4. Hubungan laju pengadukan terhadap kadar U dalam UN

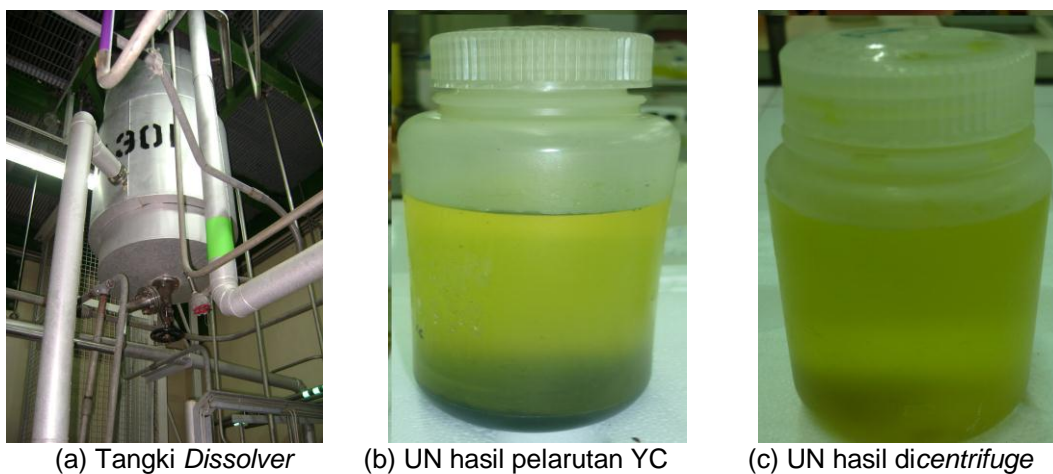
Gambar 4 menjelaskan bahwa laju proses pelarutan serbuk YC dapat berlangsung cepat, apabila dilakukan pengadukan. Gelembung-gelembung *compressed air* pada 1.5 bar ikut mengaduk, sehingga laju proses pelarutan serbuk YC dalam asam nitrat menjadi larutan UN (reaksi 1) menjadi lebih cepat. Proses pelarutan berlangsung baik dengan ditandai adanya aliran gas  $\text{NO}_x$  keluar dari tangki *dissolver* DI-301 yang sangat jelas terlihat pada *slide glass* berwarna coklat bening. Pada tekanan pengadukan 1.5 bar diperoleh hasil analisis kadar uranium dalam larutan UN sebesar 135 gU/L. Apabila laju pengadukan *compressed air* semakin ditingkatkan di atas 1.5 bar, diperoleh hasil analisis kadar uranium dalam UN semakin besar hingga 290 gU/L pada laju pengadukan *compressed air* 2.75–3 bar. Fenomena ini disertai dengan semakin gelapnya warna coklat gas  $\text{NO}_x$  yang menutupi *slide glass*. Apabila laju pengadukan *compressed air* ditingkatkan



diatas 3 bar maka proses pelarutan serbuk YC akan semakin kuat namun hasil analisis kadar uranium dalam larutan UN justru semakin turun yaitu sebesar 275 gU/L. Hal itu kemungkinan disebabkan adanya laju pengadukan *compressed air* yang tinggi akan mendorong uranium yang terlarut ikut keluar bersama gas  $\text{NO}_x$  dan ter-*scrub* oleh ABM sebagai efluen proses atau dapat dikatakan sebagai *loss in process*.

Dari ketiga parameter yaitu konsentrasi asam nitrat yang dipakai sebagai pelarut serbuk YC, temperatur

proses pelarutan, dan laju pengadukan yang diterapkan dalam proses pelarutan serbuk YC diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Apabila dibandingkan dengan kondisi proses pelarutan serbuk YC yang di *design* oleh NIRA Italia kondisi tersebut tidak jauh beda. Walaupun instalasi unit pelarutan yang ada di IEBE-PTBBN telah mengalami tahapan revitalisasi yang berkelanjutan dan beberapa modifikasi, namun tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan.



Gambar 5 : Unit pelarutan Seksi 300 dan UN hasil Pelarutan

## SIMPULAN

Hasil proses pelarutan serbuk YC dengan 3 (tiga) parameter yang diterapkan diperoleh kondisi proses yaitu konsentrasi asam nitrat 7 M, temperatur proses pelarutan  $80^{\circ}\text{C}$ , laju pengadukan 2,75-3 bar dan diperoleh hasil kadar uranium dalam larutan UN sebesar 290 gU/L. Apabila dibandingkan dengan kondisi proses yang di-*design* oleh NIRA Italia yaitu keasaman pada proses pelarutan YC berkisar 7-8 M, temperatur proses  $45-95^{\circ}\text{C}$ , dan laju pengadukan 2,85 bar. Hal itu berarti bahwa unit pelarutan YC yang telah direvitalisasi masih berfungsi baik kendati mengalami beberapa modifikasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Benedict, M., Pigford, T.H., Levi, H.W.(1981). *Nuclear Chemical Engineering*, Second Edition, McGraw, Hill Book Company, Toronto, hal. .471-476
- [2]. Ghaib Widodo dan Bambang Herutomo, (2007) : "Pengelolaan dan Penanganan Gagal Produksi Bahan Bakar Type MTR dan efluen Proses di IPEBRR Serpong". Prosiding PPI-PDIPTN 2007, Pustek Aselerator dan
- [3]. Proses Bahan-Batan, ISSN 0216- 3128, Jogjakarta.
- [4]. Anonymous. (1983 ). *Commissioning Manual Part 2 Pilot Conversion Plant*, NIRA, Italia, No. Dok. IND 220 04 Z

- 0006 Commissioning Manual Part 1 Pilot Conversion Plant, NIRA, Italia, No. Dok. IND 220 04 Z 0005
- [4]. Anonymous (1983). *Operation Manual Part 4 Chemical Process from YC Disso-lution to UNH Concentrate*, NIRA, Italia, No. Dok. IND 22004Z0007.
- [5]. Anonymous (1983). *Operation Manual Part 2 Yellow Cake Handling*, NIRA, Italia, No. Dok. IND 22004Z0007.
- [6]. Anonymous (1983). *Operating Manual Part 1 Utilities And Off Gas System*, NIRA, Italia, No. Dok. IND 22004Z0007.
- [7]. PTBN-BATAN, (2013) :”Laporan analisis keselamatan (LAK) Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE)”, No. dok.: KK32 J09 002 Revisi : 7, Serpong.
- [8]. PTBN-BATAN, (2010) :”Program Jaminan Mutu Komisioning Pilot Plant Conversion”, No. Dok. BN12 F01 001 Revisi 1, Serpong, Tangerang.
- [9]. Annual Book of ASTM Standards (2002) :”*Section Twelve, NuclearSolar, and Geothermal Energy*”, Volume 12.01 Nuclear energy (I).

### SARAN

Kekurangan parameter yang digunakan dalam percobaan akan senantiasa mengalir apabila proses pelarutan dioperasikan secara menerus dan tentunya dapat ditelusuri hingga diperoleh kondisi proses pelarutan yang optimal.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada yang terhormat : Ka. Bidang Bahan Bakar Nuklir, segenap Tim revitalisasi yang telah ikut berjuang hingga PCP dapat berfungsi dan beroperasi dengan baik, dan segenap karyawan/karyawati yang tak dapat penulis sebut satu persatu yang ikut berpartisipasi hingga PCP dapat difungsikan kembali dengan baik.