

PROSES PENGENDAPAN URANIL NITRAT MELALUI JALUR AMONIUM DIURANAT (ADU) PADA FASILITAS PILOT CONVERSION PLANT (PCP)

¹Putra Oktavianto, Anne Ariyanita, Islah Mukminati

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir
Badan Tenaga Nuklir Nasional, Setu, Banten Indonesia, 15346
putraoktavianto@batan.go.id

ABSTRAK

Larutan hasil proses pemekatan seksi 600 dengan kadar U sebesar ± 188 gU/L dikirim ke seksi 900 untuk dilakukan proses pengendapan. Proses pengendapan ini dilakukan untuk mengkonversi larutan uranil nitrat (UN) menjadi endapan amonium diuranat (ADU). Proses pengendapan larutan uranil nitrat (UN) pada seksi 900 dilakukan dengan menambahkan larutan amonium hidroksida (NH_4OH) pada larutan uranil nitrat (UN) pada temperatur $\pm 60^\circ\text{C}$ menggunakan tangki pengendapan C-902. Larutan amonium hidroksida (NH_4OH) yang tersedia saat ini molaritasnya sangat rendah yaitu 2,8 M. Hal tersebut dapat menyebabkan untuk mencapai pH pengendapan optimum memerlukan jumlah yang cukup banyak. Maka dari itu, dilakukan pengurangan volume umpan larutan UN dalam tangki sehingga larutan amonium hidroksida (NH_4OH) yang masuk ke dalam tangki akan lebih banyak jumlahnya. Dengan cara ini diharapkan pH hasil larutan ADU yang diperoleh bisa mencapai pH 9. Pada proses yang telah dilakukan, pH proses dicapai 7,6 dan endapan ADU yang terbentuk sudah dianggap sempurna sehingga bisa dilakukan proses selanjutnya. Sedangkan jumlah serbuk ADU kering yang diperoleh adalah sebanyak 3 Kg. Jumlah ini kurang dari jumlah kapasitas maksimal yang bisa didapatkan yaitu 12,5 Kg, karena volume umpan larutan UN dilakukan pengurangan dari volume yang telah ditentukan, sehingga jumlah uranium yang terendapkan juga berkurang.

Kata kunci : PCP, proses pengendapan, uranil nitrat, amonium hidroksida, amonium diuranat, pH

ABSTRACT

The resulting solution of the evaporation process section 600 with a U level of ± 188 g U / L was sent to section 900 for the precipitation process. This precipitation process for conversion from uranyl nitrate (UN) solution to ammonium diuranate (ADU). The precipitation process of uranyl nitrate (UN) solution in the 900 section was carried out by adding a solution of ammonium hydroxide (NH_4OH) in uranyl nitrate (UN) solution at a temperature $\pm 60^\circ\text{C}$ in the C-902 precipitation tank. Ammonium hydroxide (NH_4OH) solution available now have very low molarity of 2.8 M. The effect is the pH of the solution obtained can't reach pH 9 so that the precipitation process is not perfect. Therefore, in this process the volume of feed of the UN solution in the tank will be reduced so that the ammonium hydroxide (NH_4OH) solution that fill in the tank will be more the quantities. With this method is expected the pH of the ADU solution obtained can reach pH 9. In the process that has been done, reached pH 7.6 . At this pH, the formed ADU sediment are considered perfect and can be carried out for next process. While the amount of dry ADU powder obtained is as much as 3 kg. This amount is less than the maximum capacity that can be obtained, that is 12.5 kg. This is because the volume of the UN solution feed is reduced from the maximum volume, so the amount of precipitated uranium is also reduced.

Keywords: PCP, precipitation process, uranyl nitrate, ammonium hydroxide, ammonium diuranate, PH

I. PENDAHULUAN

Pilot Conversion Plant (PCP) adalah salah satu fasilitas di Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE) yang berfungsi untuk melakukan proses pemurnian dan konversi dari bahan baku *yellow cake* menjadi serbuk UO_2 berderajat nuklir dengan kapasitas produksi 100 kg serbuk UO_2 per hari (kapasitas desain). *Pilot Conversion Plant (PCP)* terdiri dari 12 seksi yaitu seksi 100 sampai dengan seksi 1200. Setiap seksi mempunyai fungsi yang spesifik sesuai dengan kebutuhan dalam alur proses konversi. Seksi 100 berfungsi untuk melakukan proses penghancuran dan pengayakan serbuk *yellow cake*, seksi 200 sebagai penyedia larutan untuk keperluan proses, seksi 300 berfungsi untuk proses pelarutan serbuk *yellow cake*, seksi 400 berfungsi untuk proses pemurnian larutan uranyl nitrat (UN), seksi 500 untuk penyegaran kembali larutan Tributylfosfat (TBP), seksi 600 berfungsi untuk proses pemekatan larutan UN, seksi 700 sebagai penampung sementara limbah proses, seksi 800 untuk pengolahan kembali produk gagal, seksi 900 berfungsi untuk proses pengendapan larutan UN, seksi 1000 untuk tempat pengolahan air induk, seksi 1100 berfungsi untuk proses Kalsinasi, Reduksi dan Pasivasi, seksi 1200 sebagai penyaring gas buang.

Larutan uranyl nitrat (UN) hasil proses pemekatan pada seksi 600 yang telah memiliki kadar $U \pm 188$ gU/L (siap untuk diendapkan) dialirkan ke seksi 900. Larutan uranyl nitrat (UN) direaksikan dengan larutan amonium hidroksida (NH_4OH) pada kondisi temperatur $\pm 60-70^\circ C$ dikonversi menjadi amonium diuranat (ADU). Jumlah ADU optimum yang dapat dihasilkan yaitu 12,5 Kg (pH tercapai 9) [1]. Jumlah volume umpan UN yang dibutuhkan bergantung pada kadar U hasil proses pemekatan pada seksi 600. Semakin rendah kadar U, maka volume umpan UN yang diendapkan harus lebih banyak. Parameter yang harus dikontrol pada proses ini adalah kecepatan alir larutan amonium hidroksida (NH_4OH), pH larutan ADU yang terbentuk, temperatur pada saat proses. Hal lain yang mempengaruhi hasil ADU yang diperoleh adalah molaritas dari larutan amonium hidroksida. Molaritas larutan amonium hidroksida sesuai dengan ketentuan standar operasional prosedur (SOP) adalah 8 M [2]. Permasalahan yang terjadi pada proses yang akan dilakukan adalah larutan amonium hidroksida yang tersedia molaritasnya rendah yaitu hanya sekitar 2,8 M karena larutan sudah lama tidak digunakan dan belum ada larutan baru. Berdasarkan tinjauan ekonomi, larutan tersebut harus tetap digunakan tetapi perlu dipelajari efektifitas dan pengaruh yang terjadi pada hasil yang diperoleh untuk mendukung target PCP tahun

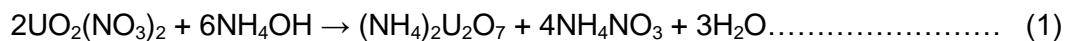
2019. Atas dasar tersebut, maka apabila umpan larutan UN volumenya sesuai dengan ketentuan SOP yaitu 50-60% tangki pengendapan [1], maka kemungkinan yang terjadi pH larutan belum mencapai pH 9 tetapi volume larutan dalam tangki sudah penuh sehingga pH yang tercapai belum terlalu sempurna. Oleh karena itu, untuk menyelesaikan masalah tersebut maka salah satu langkah yang bisa dilakukan adalah mengurangi volume umpan larutan UN dalam tangki pengendapan. Dengan mengurangi volume umpan larutan UN, maka larutan amonium hidroksida yang digunakan untuk mengendapkan UN akan lebih banyak. Dengan amonium hidroksida yang molaritasnya rendah dalam jumlah banyak, diharapkan bisa mengendapkan larutan uranil nitrat sampai mencapai pH 9 (pH larutan harus >7 agar endapan ADU terbentuk sempurna). Namun kemungkinan endapan ADU yang diperoleh jumlahnya lebih sedikit dari kapasitas yang seharusnya.

II. DASAR TEORI

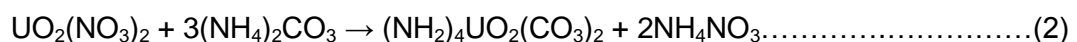
Senyawa uranium yang berada dalam bentuk larutan hasil dari evaporasi kemudian dikonversi ke bentuk padatan dengan cara pengendapan.

Proses pengendapan dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu :

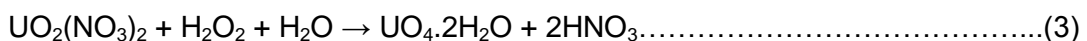
1. Uranium diendapkan sebagai amonium diuranat (ADU) dengan pereaksi amonium hidroksida (NH₄OH).



2. Uranium diendapkan sebagai amonium uranil karbonat (AUK) dengan pereaksi amonium karbonat (NH₄)₂CO₃



3. Uranium diendapkan sebagai uranium peroksida (UO₄) dengan pereaksi hidrogen peroksida (H₂O₂)



4. Uranium kristalkan sebagai uranil nitrat heksahidrat (UNH) dengan cara penguapan

Proses pengendapan merupakan tahapan yang sangat menentukan dalam pembentukan karakter atau sifat-sifat fisis serbuk UO₂. Masing-masing cara pengendapan akan menghasilkan serbuk UO₂ yang memiliki sifat fisis yang berbeda. Metode yang umum dilakukan untuk mendapatkan serbuk UO₂ yang berderajat keramik adalah pengendapan melalui jalur ADU dan AUK [1]. Perbedaan sifat fisis

serbuk UO_2 yang berasal dari pengendapan melalui jalur AUK dan ADU dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Perbedaan sifat fisis serbuk UO_2 hasil proses pengendapan melalui jalur AUK dan ADU. [3]

No	Uraian	AUK	ADU
1.	Bentuk butir	Bulat	Lonjong/Elips
2.	Ukuran butir	Lebih kecil	Lebih besar
3.	Diameter partikel rata2	< 5 mikrometer	5 – 7 mikrometer
4.	Kemampuan Sinter	<i>Unsinterable</i>	<i>Sinterable</i>
5.	<i>Flowability</i>	<i>Free flowing</i>	<i>Un Free flowing</i>
6.	Proses peletisasi	Langsung dapat di buat pelet	Perlu Granulasi/ <i>precompacting</i>
7.	Tingkat kemurnian serbuk	Cukup tinggi	Cukup tinggi
8.	Proses Sintering	Sulit	Mudah

Proses yang biasa dilakukan untuk memperoleh uranium dioksida (UO_2) yang mampu sinter (*sinterable*) adalah dengan cara uranium diendapkan sebagai amonium diuranat (ADU) dengan pereaksi amonium hidroksida (NH_4OH). Tahapan reaksi yang terjadi pada proses pengendapan uranium dengan NH_4OH adalah sebagai berikut :

1. Penetralan asam bebas



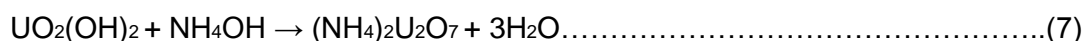
2. Pembentukan larutan uranil nitrat hidroksida



3. Pembentukan uranil hidroksida



4. Pembentukan amonium diuranat



Dalam proses pengendapan ada beberapa hal yang dapat mempengaruhi kualitas pengendapan antara lain pH, suhu reaksi dan waktu kontak [4].

Faktor lain yang berpengaruh pada proses pengendapan adalah waktu reaksi dan kecepatan reaksi. Persamaan kecepatan reaksi dapat ditulis sebagai berikut :

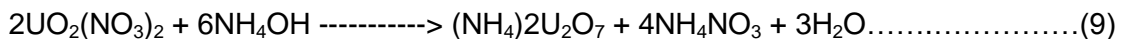
$$r = \frac{dc}{dt} = k.C^n \dots\dots\dots (8)$$

dengan : $\frac{dc}{dt} = r$ = Kecepatan reaksi (mol/Liter.s) , k = Konstanta kecepatan reaksi,
 C = Konsentrasi (mol/Liter) , n = orde reaksi [5]

Proses pengendapan di PCP dilakukan melalui jalur ADU dengan penambahan larutan NH₄OH ke dalam larutan uranil nitrat (UO₂(NO₃)₂) sehingga terbentuk endapan amonium diuranat ((NH₄)₂U₂O₇). Pengendapan dilakukan pada temperatur 60°C dengan mengalirkan air panas ke jaket kolom, dan terdiri atas 2 langkah :

Langkah 1 adalah penetralan asam nitrat bebas dengan menambahkan larutan ammonia hingga diperoleh pH larutan = 3, seperti ditunjukkan pada reaksi (4).

Langkah 2 adalah pengendapan uranium yang terjadi sesuai dengan reaksi berikut :



Pengendapan dianggap sempurna sewaktu pH mencapai nilai 9. Selama operasi, proses penetralan dan pengendapan dilakukan sebagai satu tahap dan kedua alat kontrol pH AIC-0901/0902 diatur pada pH=9 [6].

Derajat keasaman atau pH pada proses pengendapan ADU merupakan faktor yang sangat besar pengaruhnya terhadap efisiensi dan sifat endapannya. Pengendapan pada pH rendah (< 7), akan menghasilkan aglomerat yang lebih besar sehingga lebih cepat mengendap dan lebih mudah untuk disaring tetapi reaksi pengendapannya kurang sempurna, sedangkan bila ADU diendapkan pada pH yang lebih tinggi (>7), maka aglomeratnya lebih halus, waktu pengendapannya lebih lama dan lebih sulit untuk disaring tetapi reaksi pengendapannya lebih sempurna [7].

Temperatur reaksi berpengaruh terhadap kecepatan reaksi, semakin tinggi temperatur reaksi maka kecepatan reaksi akan semakin cepat, temperatur reaksi maksimal adalah titik didih amonium hidroksida yang digunakan sebagai pereaksi. Temperatur reaksi juga mempengaruhi kualitas hasil pengendapan. Pada temperatur yang rendah (<70°C) biasanya akan diperoleh endapan yang sulit disaring, oleh karena itu umumnya temperatur reaksi dibuat sekitar 70°C [7].

Waktu kontak atau waktu tinggal dalam reaktor berpengaruh terhadap jumlah

endapan yang dihasilkannya. Semakin lama waktu tinggal dalam reaktor, maka zat-zat yang beraksi akan semakin banyak sehingga endapan yang terjadi juga akan semakin banyak, tetapi setelah konversi reaksi yang maksimum, penambahan waktu tinggal dalam reaktor sudah tidak berarti lagi [7].

Apabila proses pengendapan ADU sudah selesai, endapan ADU dipompakan dari tangki pengendapan C-902 ke tangki penampung V-901 untuk dilakukan proses sentrifugasi untuk memisahkan fase padat dan fase cair menggunakan alat *centrifuge* XD-901. *Centrifuge* ini terdiri dari silinder untuk memampatkan *slurry* ADU hingga terpisah antara padatan dan larutan/tapisannya dan dilengkapi dengan *screw* putar untuk melepas padatan ADU untuk dimasukkan ke dalam tangki penampung padatan ADU basah (tangki V-903), sedangkan larutan/tapisan dikirim ke tangki V-1001 untuk pengolahan lebih lanjut. ADU basah yang ditampung dalam tangki masih mengandung air antara 20–30% harus dihomogenisasi dengan cara pengadukan menggunakan pisau keruk. ADU hasil dari proses pengendapan dan sentrifugasi ini diharapkan sudah bebas dari larutan *Amonium* agar pada saat proses pengeringan di seksi 1100 lebih mudah dikeringkan dan juga tidak menempel pada dinding *spray dryer* pada saat proses [8].

III. TATA KERJA/METODOLOGI

A. Alat dan bahan

Alat yang digunakan dalam proses pengendapan ini adalah tangki pengendapan C-902 serta alat pendukung lainnya seperti tangki amonium hidroksida V-208, tangki penampung larutan UN C-801, tangki penampung hasil proses pengendapan V-901, sistem air panas dari bidang sarana dukung, alat kontrol pH AIC-0901/0902. Sedangkan bahan yang digunakan adalah larutan UN hasil pemekatan dengan kadar $U \pm 188$ gU/l, larutan amonium hidroksida dan air bebas mineral (ABM).

B. Tata Kerja

Sebelum proses dilakukan, pastikan terlebih dahulu bahwa semua mesin dan katup dalam keadaan OFF. Lalu menghidupkan sistem penyaring gas buang seksi 1200 dan mengamati volume semua tangki-tangki yang digunakan (Tangki C-801, C-901/C-902, V-901, V-208). Kemudian mengatur pengendali PH AIC-0902 pada PH 9 (gambar.1). Tangki C-902 diisi larutan uranil nitrat (UN) sebanyak 50-60% (110-132 liter). Volume tangki C-902 dapat dilihat pada kontrol panel LR-0902 (Gambar.2). Larutan UN umpan yang telah diisikan pada tangki C-902 kemudian dipanaskan dengan menggunakan air panas dengan membuka valve TIC-0902 (Gambar.3). Air

panas dilewatkan pada jaket pemanas untuk memanaskan tangki sampai temperatur $\pm 60^{\circ}\text{C}$, larutan UN disirkulasikan didalam tangki C-902 selama proses berlangsung. Apabila temperatur telah tercapai $\pm 60^{\circ}\text{C}$, kemudian mulai dialirkan larutan amonium hidroksida (NH_4OH) yang bersifat basa dari tangki V-208 dengan menggunakan pompa dosis P-208B dengan kecepatan 20 L/jam. Pengendalian pH yang terjadi selama proses berlangsung dilakukan melalui DR-0902 (gambar.1) atau pada alat pH meter yang terpasang di tangki pengendapan C-902 (gambar.4), Apabila pH sudah mencapai 7 maka kecepatan pompa P-208 diturunkan dan tunggu sampai pH mencapai 8,6 lalu matikan pompa.



Gambar 1. Kontrol Panel pH.
C-902.



Gambar 2. Kontrol Panel Volume Tangki



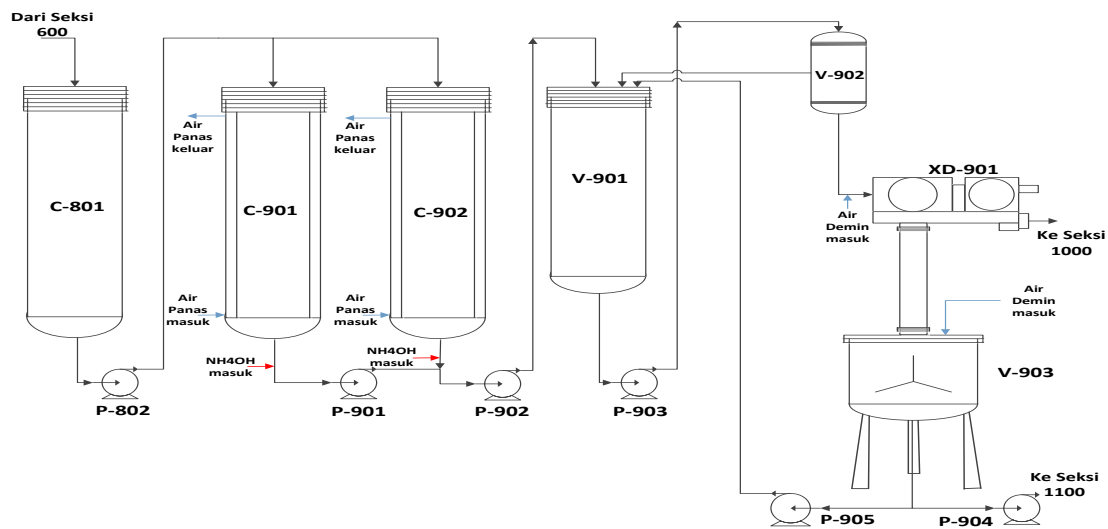
Gambar 3. Valve TIC-0902.



Gambar 4. pH meter.

Apabila proses pengendapan ADU sudah selesai, endapan ADU dipompakan dari tangki pengendapan C-902 ke tangki penampung V-901 untuk dilakukan proses sentrifugasi (untuk memisahkan fase padat dan fase cair) menggunakan alat *centrifuge* XD-901. Padatan ADU ditarik menggunakan putaran ke dua dan dibantu dengan ABM untuk dapat dimasukkan ke dalam tangki penampung endapan ADU basah (tangki V-

903), sedangkan filtratnya dikirim ke tangki V-1001 untuk pengolahan lebih lanjut. Endapan ADU hasil dari proses pengendapan dan sentrifugasi ini kemudian dilakukan proses pengeringan (*drying*). Serbuk ADU kering yang dihasilkan ditimbang beratnya.



Gambar 5. Diagram Alir Proses seksi 900 di *Pilot Conversion Plant* (PCP). [9]

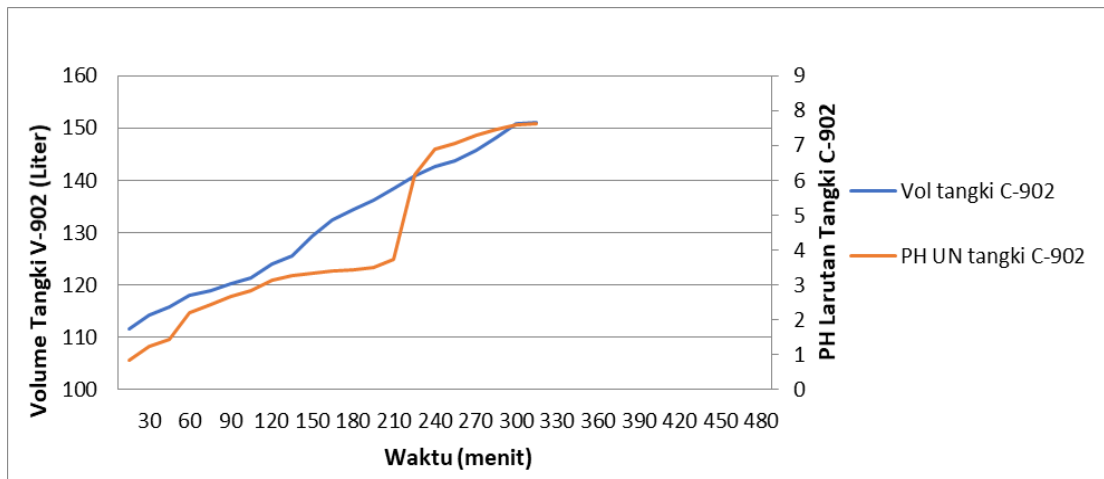
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan proses pengendapan larutan *uranil nitrat* (UN) yang dilakukan pada seksi 900 di *Pilot Conversion Plant* (PCP) didapatkan endapan amonium diuranat (ADU). Data proses pengendapan seksi 900 yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Proses Pengendapan larutan Uranil Nitrat (UN) seksi 900.

HASIL PROSES PENGENDAPAN SEKSI 900					
Waktu (Menit)	Volume		Suhu	pH	Ket
	Vol C-902 (LR-0902) (L)	Vol V-901 (LR-0903) (L)	Suhu C-902 (TI-0602) °C	pH UN (AR-0902)	
15	111,59	108,35	60,9	0,83	
30	114,20	108,35	65,1	1,23	
45	115,81	108,35	66,9	1,45	
60	118,03	108,35	70,3	2,19	
75	118,98	108,35	70,3	2,44	
90	120,25	108,35	71,2	2,68	
105	121,44	108,35	71,8	2,83	
120	124,10	108,35	72,2	3,13	
135	125,58	108,35	73,1	3,28	
150	129,23	108,35	73,9	3,33	
165	132,33	108,35	74,3	3,39	
180	134,35	108,35	74,8	3,45	
195	136,16	108,35	75,3	3,49	
210	138,36	108,35	75,9	3,72	
225	140,91	108,35	76,2	6,16	
240	142,67	108,35	76,3	6,88	
255	143,79	108,35	76,6	7,05	
270	145,73	108,35	76,8	7,28	
285	148,06	108,35	77,1	7,45	
300	150,81	108,35	77,2	7,59	
315	151,10	108,35	77,6	7,62	

Dari data hasil proses diatas, ada beberapa hal yang bisa kita perhatikan. Kenaikan volume tangki C-902 berbanding lurus dengan kenaikan pH larutan UN dalam tangki C-902 karena penambahan larutan amonium hidroksida ke dalam tangki. Hubungan antara kenaikan volume tangki C-902 dengan PH nya terhadap waktu bisa dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Grafik Hubungan Kenaikan Volume dan pH Fungsi Waktu pada Tangki C-902.

Pada gambar 6, kenaikan pH signifikan terjadi pada pH 3. Pada awal proses, terjadi penetralan asam nitrat pada saat ditambahkan larutan amonium hidroksida dengan membentuk amonium nitrat. Setelah tercapai pH 3, terjadi proses pengendapan uranium (pembentukan amonium diuranat / ADU) sehingga pH-nya akan lebih cepat naik.

pH yang harus dicapai agar ADU terbentuk sempurna adalah 9. Pada proses yang dilakukan hanya tercapai pH 7,6 dikarenakan molaritas dari larutan amonium hidroksida (NH_4OH) yang digunakan terlalu rendah sekitar 2,8 M (seharusnya sekitar ± 8 M). Rendahnya molaritas larutan NH_4OH yang digunakan menyebabkan kenaikan pH proses cukup lambat dan volume tangki cepat penuh. Hal yang terjadi adalah pH proses baru mencapai 7,6 volume tangki proses sudah mencapai batas setingan maksimum sehingga tidak memungkinkan untuk menambahkan larutan Amonium Hidroksida (NH_4OH) lagi ke dalam tangki C-902. Karena molaritas NH_4OH yang rendah maka untuk memperoleh kondisi proses yang optimum jumlah larutan UN yang diumpankan lebih sedikit dari SOP (kurang dari 50% volume tangki) sehingga ADU yang terbentuk juga tidak maksimum.

Hal lain yang harus diperhatikan adalah kadar U umpan uranil nitrat (UN) dari proses pemekatan seksi 600 adalah ± 188 gU/l, sehingga banyaknya larutan umpan yang digunakan akan mempengaruhi jumlah UN yang diendapkan menjadi ADU juga. pH proses yang tercapai kurang dari 9, maka kemungkinan ADU yang terbentuk juga akan berkurang jumlahnya. ADU kering yang dihasilkan pada proses ini setelah proses pengeringan adalah ± 3 Kg.

Dengan kondisi yang ada, sebenarnya bisa saja dicapai pH 9 pada saat proses, tetapi dengan mempertimbangkan hasil ADU yang didapat akan lebih kecil dan membutuhkan larutan amonium hidroksida (NH_4OH) yang lebih banyak untuk mengendapkan, serta waktu proses yang cukup lama, sehingga dirasakan kurang ekonomis untuk dilakukan.

Suhu selama proses dijaga pada suhu antara $60\text{-}80^\circ\text{C}$, apabila suhunya melebihi 80°C maka tutup aliran air panasnya kemudian buka saluran air pendingin untuk menurunkan suhu dalam tangki C-902.

Pada proses ini, endapan ADU sudah terbentuk tetapi filtratnya masih mengandung uranium. Kandungan U dalam filtrat yang terbentuk adalah $\pm 23\text{ gU/L}$, sehingga filtratnya setelah proses pemisahan dengan *centrifuge* XD-901 dan ditampung di tangki V-1001, harus dikembalikan lagi ke tangki C-902 untuk dilakukan proses pengendapan kembali.

Proses pengendapan yang telah dilakukan ini menghasilkan endapan ADU yang kemudian akan dikeringkan di seksi 1100 menggunakan alat Spray Drying sehingga didapatkan hasil serbuk ADU kering yang siap diproses Kalsinasi-Reduksi lalu di Passivasi menjadi serbuk UO_2 untuk diproses pada fasilitas fabrikasi bahan bakar nuklir.



Gambar 7. Serbuk ADU kering

V. KESIMPULAN

Dari proses yang telah dilakukan dapat disimpulkan pada pH diatas 3 asam bebas telah ternetralisir dan terjadi proses pengendapan ADU. Hal ini dapat terlihat dengan kenaikan pH yang signifikan. Proses pengendapan dihentikan setelah pH tercapai 7,6 karena sudah tidak terjadi perubahan yang signifikan yang disebabkan pengaruh rendahnya molaritas larutan amonium hidroksida (NH_4OH) yang digunakan

untuk proses yaitu 2,8 M dengan asumsi pada pH 7,6 tersebut endapan ADU yang terbentuk sudah sempurna. ADU kering yang diperoleh hanya 3 Kg setelah dilakukan proses pengeringan dengan spray dryer.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Ka. BFBBN ibu Ir. RR. Ratih Langenati, M.T dan Ka. Kelompok proses PCP bapak Ir. Anwar Muchsin yang sudah memberikan dukungan dan arahan untuk kegiatan ini. Terima kasih kepada semua rekan-rekan IEBE yang telah membantu kelancaran kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PTBBN, "Standar Operasional Prosedur Pengendapan dan Sentrifugasi ADU (seksi 900) *Pilot Conversion Plant*", No. Dok. SOP 002.003/BN.02.04/BBN.2.1 , 2018
- [2] PTBBN, "Standar Operasional Prosedur Proses Pembuatan Zat Kimia dan Pelarut Organik (seksi 200) *Pilot Conversion Plant*", No. Dok. SOP 002.003/BN.02.04/BBN.2.1 , 2016
- [3] Anwar Muchsin "Proses & BKO Pemurnian & Konversi di PCP", Pelatihan Penyegaran Operator dan Supervisor Instalasi Elemen Bakar Eksperimental", Mei 2018
- [4] Ngatijo, Rahmiati, Asminar, Pranjono "Proses pemurnian *yellow cake* dari limbah pabrik pupuk" Majalah Ilmiah Pengelolaan Instalasi Nuklir No. 09 - 10/ Tahun V, April – Oktober 2012, ISSN 1979-2409
- [5] Mutia Anggraeni, Budi Saroni, Sugeng Waluyo, Rusydi, Sujono "Pengendapan Uranium dan Thorium Hasil Pelarutan Slah II" Eksplorium, Vol. 36 No 2, November 2015 : 125 - 132, ISSN 0854-1418
- [6] IEBE-PTBN, "Laporan Analisis Keselamatan IEBE Rev. ke-7", No. Dok. KK32J09002, 2012
- [7] Jan Setiawan, Masripah, Ratih Langenati "Karakterisasi morfologi dan struktur kristal serbuk UO_2 dari *Yellow Cake* dengan variasi temperatur pengendapan ADU" Urania Vol. 17 No 1, Februari 2011 : 1 - 54, ISSN 0852-4777
- [8] Agung K, "Pengendalian Proses Konversi Uranium, Diklat Sistem Instrumentasi dan Kendali Proses PCP", Pusdiklat-Batan 2015
- [9] NIRA, Italia, "Process Flow Sheet", No. Dok. IND 22004Y0001, 1983