

# PENDAYAGUNAAN UNIT PELARUTAN *YELLOW CAKE PILOT CONVERSION PLANT* (PCP) SEBAGAI EVAPORATOR CAIRAN LIMBAH URANIUM

Ade Saputra<sup>1</sup>, Yatno Dwi Agus, Hanif Ghufron, Anita Sari

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir

Badan Tenaga Nuklir Nasional, Setu, Banten, Indonesia, 15346

<sup>1</sup>Email: ade-saputra@batan.go.id

**ABSTRAK** - Limbah cair atau efluen hasil samping proses pemurnian di PCP masih memiliki kadar uranium sebesar  $\pm 20$  gU/liter. Kadar tersebut terlalu tinggi untuk dijadikan limbah dan dikirim ke Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR), namun tidak ekonomis jika langsung diproses di PCP sebagai umpan proses pemurnian. Oleh karena itu perlu dilakukan proses evaporasi sehingga uraniumnya dapat dipunggut kembali sebagai ekstrak dan kondensatnya dapat di kirim ke PTLR sebagai limbah. Pembuatan unit evaporator baru untuk mengolah limbah akan membutuhkan biaya tinggi sehingga pendayagunaan unit pelarutan *yellow cake* sebagai evaporator perlu dilakukan. Proses pendayagunaan unit pelarutan *yellow cake* meliputi proses utilisasi sistem pemipaan tangki pelarutan dan percobaan evaporasi limbah efluen secara *batch* menggunakan unit pelarutan *yellow cake* untuk mengetahui unjuk kinerja proses evaporasi. Unit pelarutan *yellow cake* dapat didayagunakan sebagai sistem evaporator dengan memodifikasi sistem pemipaan untuk mengurangi volume limbah cair uranium di PCP dengan kapasitas  $\pm 80$  liter/jam dengan kadar uranium di kondensat sebesar  $\pm 10$  ppm dan mendekati baku tingkat radioaktivitas yang ditetapkan BAPETEN.

**Kata Kunci** - Evaporasi, Pendayagunaan, Pelarutan, Limbah, Uranium

**ABSTRACT** - Liquid waste or effluent by product of the purification process at PCP, still has uranium content about  $\pm 20$  gU/liter. The level was too high as waste and sent to The Radioactive Waste Technology Center (PTLR), but it is not economical if it is processed at PCP as a feed for the purification process. Therefore it is necessary to do the evaporation process so that the uranium can be extracted as an extractant and the condensate can be sent to the PTLR as waste. The build up of a new evaporator unit to process waste will be high cost, so that utilization of yellow cake dissolution unit as an evaporator is carried out. The utilization of the yellow cake dissolution unit includes the utilization of the piping system and evaporation experiment to determine the performance of the evaporation process. Yellow cake dissolution unit can be utilized as an evaporator system by modifying the piping system to reduce the volume of uranium liquid waste in PCP. The capacity is about  $\pm 80$  liters / hour for uranium concentration in the condensate about  $\pm 10$  ppm and approaching the radioactivity level has determined by BAPETEN.

**Keywords** - Evaporation, Utilization, Dissolution, Waste, Uranium

## I. PENDAHULUAN

Salah satu fasilitas yang dimiliki Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE) adalah *Pilot Conversion Plant (PCP)* yang berfungsi sebagai fasilitas pemurnian *Yellow Cake* ( $U_3O_8$ ) menjadi serbuk  $UO_2$  berderajat nuklir. Proses pemurnian uranium dari *Yellow Cake* akan menghasilkan limbah radioaktif yang banyak mengandung uranium [1]. Pemurnian 1000 ton uranium dapat menghasilkan efluen sekitar  $3000-10.000\text{ m}^3$  [2]. Fasilitas PCP dengan kapasitas rancangan produksi 100 kg serbuk  $UO_2$  berderajat nuklir per hari, diperkirakan akan menghasilkan  $\pm 72,5$  kg limbah padat dan lumpur  $\pm 362$  liter limbah cair (efluen) asam dan  $\pm 100$  liter limbah cair basa (hasil pencucian) [3]. Limbah uranium yang ditimbulkan dalam proses di PCP memiliki kadar uranium yang cukup tinggi, seperti rafinat proses ekstraksi-reekstraksi masih mengandung  $\pm 20$  gU/liter (gram uranium per liter). Limbah yang memiliki kadar uranium yang cukup tinggi tersebut masih diperlukan proses lanjutan untuk mengambil uranium sebelum dikirim ke Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) [1].

Efluen dengan kadar uranium rendah tidak ekonomis jika langsung diproses ulang di PCP karena konsentrasi uraniumnya dibawah 70 gU/liter, sedangkan untuk dikirim ke PTLR limbah tersebut harus memenuhi *Waste Acceptance Criteria (WAC)* yang telah ditetapkan oleh PTLR. PTLR dapat menerima limbah cair uranium dengan konsentrasi uranium berapapun jika telah dinyatakan sebagai limbah oleh pemilik limbah, namun PTLR menetapkan kondisi limbah cair harus dalam kisaran pH 5,5 – 7,5 [4]. Pengkondisian pH limbah efluen untuk memenuhi batasan pH yang ditetapkan pada WAC memerlukan proses netralisasi dari pH efluen PCP awal  $\leq 2$ . Proses netralisasi tersebut akan menimbulkan beberapa masalah baru. Masalah pertama yang muncul adalah bertambahnya jumlah volume efluen karena proses penetralan. Masalah berikutnya, akan terbentuk endapan logam atau garam hasil reaksi penetralan yang dilakukan [5]. Oleh karena itu diperlukan proses pengolahan lain terhadap efluen tersebut agar layak dikirim ke PTLR atau diproses ulang dalam proses di PCP.

## II. TEORI

Beberapa teknik pengolahan limbah yang dilakukan menggunakan proses fisika kimia antara lain penambahan koagulan, evaporasi dan penukar ion. Proses penambahan koagulan akan menimbulkan pencemaran lingkungan karena masih mengandung logam berat dan zat padat terlarut pada efluen yang akan dilimbahkan [6]. Salah satu metode yang terdepan untuk mengurangi volume limbah cair menurut dokumen teknis IAEA nomor 1115 adalah evaporasi [2]. Evaporasi adalah proses pemekatan dari suatu komponen dalam bentuk larutan dengan mengubah zat

pelarutnya menjadi uap. Proses tersebut akan menghilangkan zat-zat yang mudah menguap untuk mendapatkan larutan yang lebih pekat. Pengolahan limbah cair dengan evaporasi efektif dilakukan untuk limbah dengan aktivitas sedang dan mempunyai kandungan garam, asam atau basa yang tinggi [7,8], dan saat ini sesuai dengan kondisi limbah efluen di PCP pada saat ini.

Ada beberapa permasalahan yang menjadi perhatian dalam penggunaan evaporator untuk mengurangi volume limbah cair uranium. Pertama, untuk limbah cair dengan kadar radioaktif rendah, biaya evaporasi akan menjadi tinggi. Biaya total modal instalasi evaporator baru dan pembangkitan panas selama proses evaporasi tidak akan sebanding dengan jumlah pengurangan limbah uranium cair, hal tersebut menjadikan proses tidak ekonomis. Kedua, adanya potensi korosi pada tangki yang digunakan pada proses evaporasi limbah cair. Sifat asam pada limbah cair dan suhu tinggi selama proses akan berpengaruh pada ketahanan evaporator yang digunakan. Hal tersebut membuat umur pakai evaporator menjadi berkurang dan berpengaruh pada biaya. Ketiga, ada peluang pengkerakan dan penggaraman selama proses evaporasi dilakukan. Pengkerakan dan penggaraman yang terjadi akibat proses evaporasi akan mengganggu proses transfer panas evaporator dan mengganggu efisiensi proses [8]. Berdasarkan pertimbangan tersebut, membuat alat unit proses evaporasi baru akan membutuhkan biaya besar untuk memenuhi persyaratan tersebut. Sedangkan jika alat proses evaporasi yang sudah ada saat ini di fasilitas PCP (Seksi 600 - Pemekatan Uranil Nitrat) diperuntukan untuk memekatkan limbah efluen akan menyebabkan terganggunya fungsi evaporator tersebut sebagai pemekat UN berderajat nuklir. Pengotor pada limbah efluen akan tertinggal dalam tangki evaporasi dan menjadi pengotor pada proses evaporasi produk UN.

Oleh sebab itu, pendayagunaan unit pelarutan *yellow cake* sebagai alat evaporator limbah efluen merupakan alternatif yang sangat memungkinkan. Tangki DI-301 pada unit pelarutan *Yellow Cake* merupakan tangki proses sekaligus reaktor kimia proses pelarutan *yellow cake* menggunakan larutan asam nitrat pekat yang dipanaskan menggunakan aliran *steam* dalam mantel hingga suhu 110 °C dan sistem air pendingin (*cooling water system*), serta kondensor yang mendukung proses. Kondisi pelarutan dalam suasana asam pekat dan suhu tinggi mendukung terjadinya proses evaporasi dalam unit tersebut karena salah satu komponen yang digunakan sebagai pelarut dapat menguap, sehingga memungkinkan jika unit tersebut digunakan sebagai evaporator. Selain itu, komposisi larutan pada proses pelarutan yang mengandung banyak pengotor, sejumlah senyawa ionik dan anorganik mewakili keadaan limbah efluen uranium [8].

Untuk mendukung pendayagunaan tersebut dilakukan beberapa utilisasi unit pelarutan *yellow cake* meliputi utilisasi sistem pemipaan dan pompa pada tangki.

Proses evaporasi akan menghasilkan dua jenis fase cair. Fase cair pertama adalah fase cair yang tertinggal dalam tanki evaporasi setelah proses penguapan. Fase cair ini memiliki kadar uranium yang lebih tinggi dari sebelumnya dan dapat dijadikan umpan proses pemurnian di PCP. sedangkan fase cair kedua adalah cairan kondensat hasil kondensasi uap yang keluar dari proses evaporasi. Uap yang keluar dari evaporator akan dikondensasi untuk mencegah memasuki sistem HEPA filter yang menyebabkan rusaknya filter. Hasil kondensari tersebut memiliki kadar uranium yang sangat rendah dan dapat dilimbahkan.

### **III. METODE**

#### **A. Bahan dan Alat**

Limbah efluen yang dievaporasi merupakan limbah cair yang mempunyai kadar uranium sekitar 20 gU/liter (gram uranium per liter / 20.000 ppm) dengan suasana asam dalam bentuk uranil nitrat yang merupakan hasil samping proses pemurnian di PCP. Limbah tersebut dievaporasi menggunakan unit pelarutan *yellow cake* seksi 300 yang telah diutilisasi sehingga menghasilkan cairan yang lebih pekat dan uap. Uap yang dihasilkan diembunkan menggunakan kondensor E-301 dan kondensat hasil pengembunan dianalisis kadar uraniumnya dengan titroprocessor, dengan metode potensiometri Davies-Gray.

#### **B. Tata kerja**

Proses pendayagunaan unit pelarutan *yellow cake* meliputi proses utilisasi sistem pemipaan tangki pelarutan DI-301 seksi 300 dan melakukan percobaan evaporasi limbah efluen secara catu untuk mengetahui kinerja proses evaporasi.

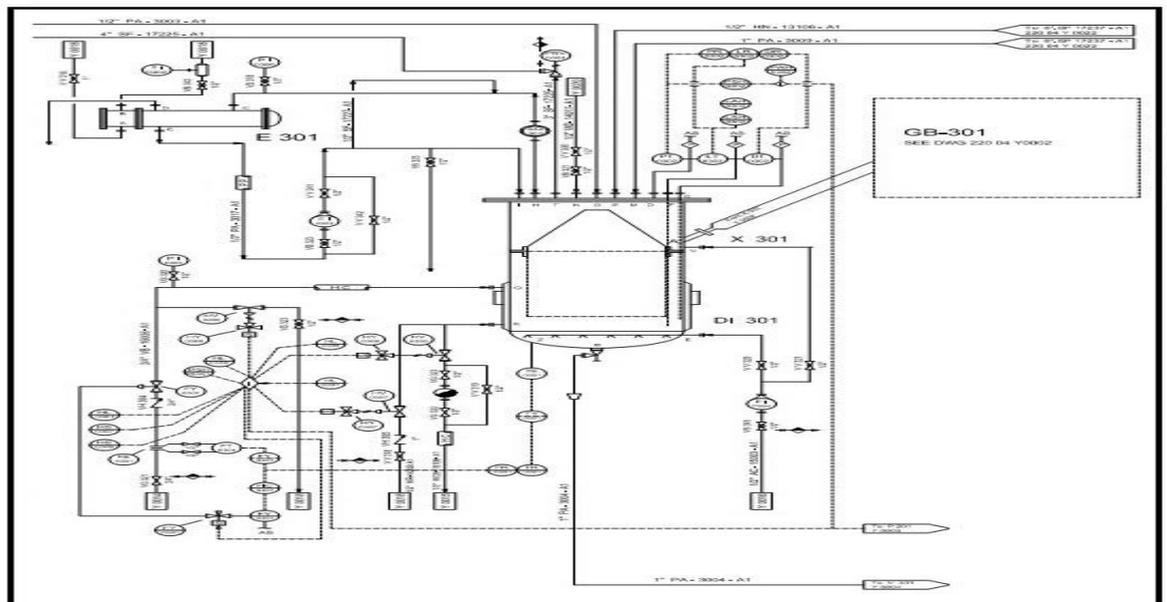
##### **1. Utilisasi Sistem Pemipaan**

Sistem pemipaan unit pelarutan dimodifikasi dengan memindahkan aliran kondensat hasil pengembunan uap dari unit pelarutan ke dalam tangki penampung. Utilisasi dilakukan pada keluaran pipa aliran kondensat pada kondensor E-301 yang ditunjukkan gambar 1.



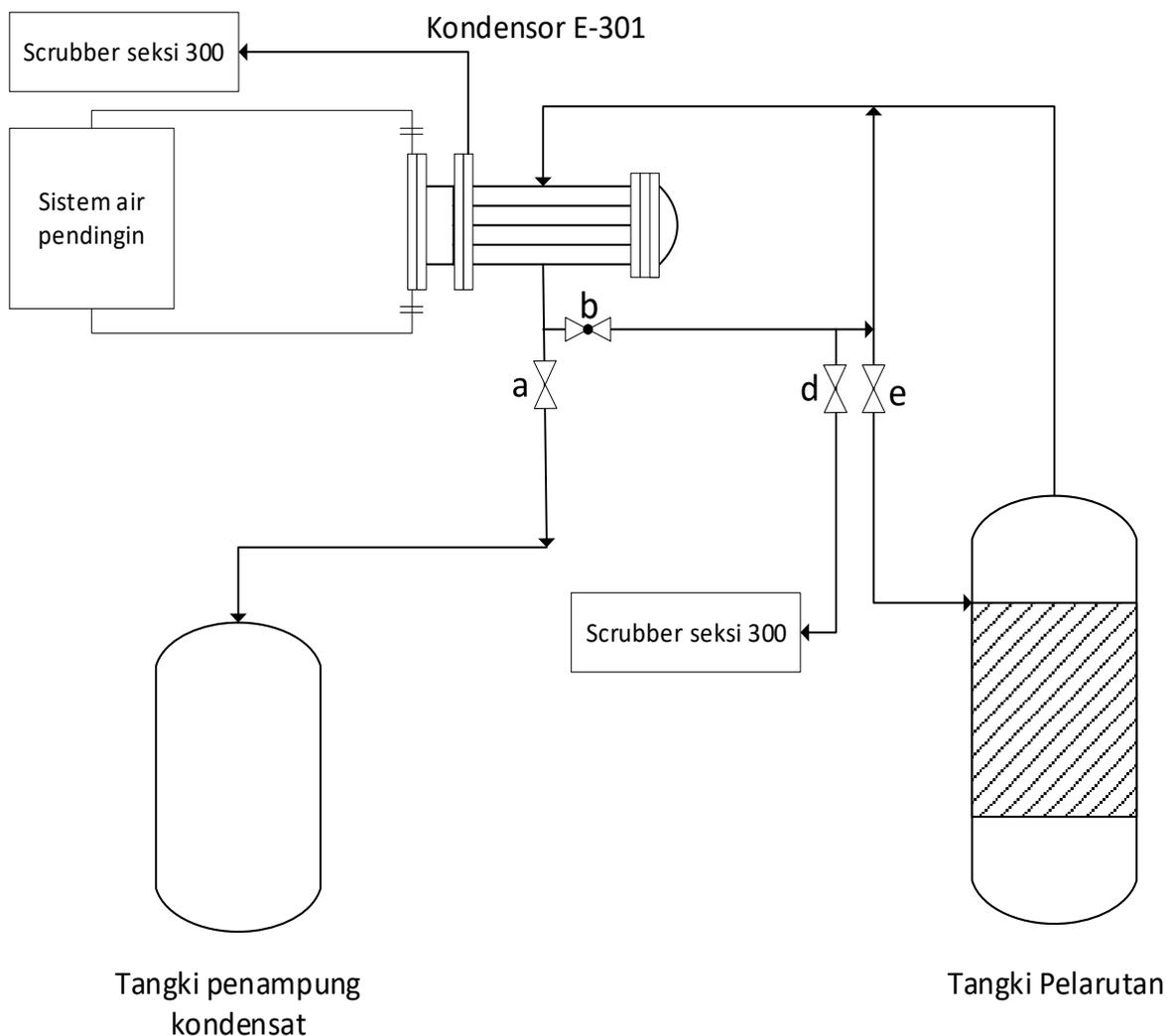
Gambar 1. Kondensator E-301 seksi 300 Laboratorium PCP, Instalasi Elemen Bakar Eksperimental

Pada kondisi normal kondensator E-301 digunakan sebagai pengembun uap asam nitrat yang keluar dari unit pelarutan bersama gas samping hasil pelarutan. Hasil kondensasi tersebut dikembalikan ke dalam tangki DI-301 unit pelarutan *yellow cake* sedangkan fase  $\text{NO}_x$  yang tidak terembunkan akan dioksidasi oleh udara menjadi  $\text{NO}_2$  dan ditangkap pada menara cuci C-301 menjadi asam nitrat. Diagram normal aliran kondensator ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2. Mekanisme Aliran Proses Pelarutan *Yellow Cake* di Laboratorium PCP, Instalasi Elemen Bakar Eksperimental

Fungsi tangki pelarut DI-301 dan kondensor E-301 tersebut diutilisasi dengan memodifikasi aliran balik cairan ke dalam unit pelarutan dari kondensor. Modifikasi dilakukan dengan melepaskan sambungan cabang yang mengarahkan keluaran kondensor E-301 ke arah tangki DI-301 diarahkan ke tangki penampung yang di siapkan. Rangkain utilisasi dengan modifikasi yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian Proses Kondensasi Uap Evaporasi setelah Utilisasi

## 2. Evaporasi Limbah Efluen

Proses evaporasi dilakukan secara satu dengan jumlah 80% dari kapasitas tangki DI-301 maksimal (400 liter dari maksimal kapasitas 500 liter). Sedangkan untuk pemanas digunakan uap panas atau *steam* yang dibangkitkan dari *boiler* dengan tekanan  $\pm 5,5$  bar, dengan laju alir uap panas 60-80 kg/h dan suhu boiler  $\pm 165$  °C.

Uap hasil evaporasi dikondensasi pada pesawat pendingin E-301 menggunakan air pendingin dengan suhu  $\pm 20$  °C dan cairan embunan dialirkan dengan sistem pipa tambahan ke dalam tangki penampung, untuk selanjutnya dianalisis kadar uraniumnya dengan Titroprocessor. Sedangkan cairan yang tertinggal dalam tangki DI-301 unit pelarutan *yellow cake* diharapkan memiliki konsentrasi uranium lebih besar dari 70 grU/L sehingga layak untuk diproses di unit pemurnian PCP.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

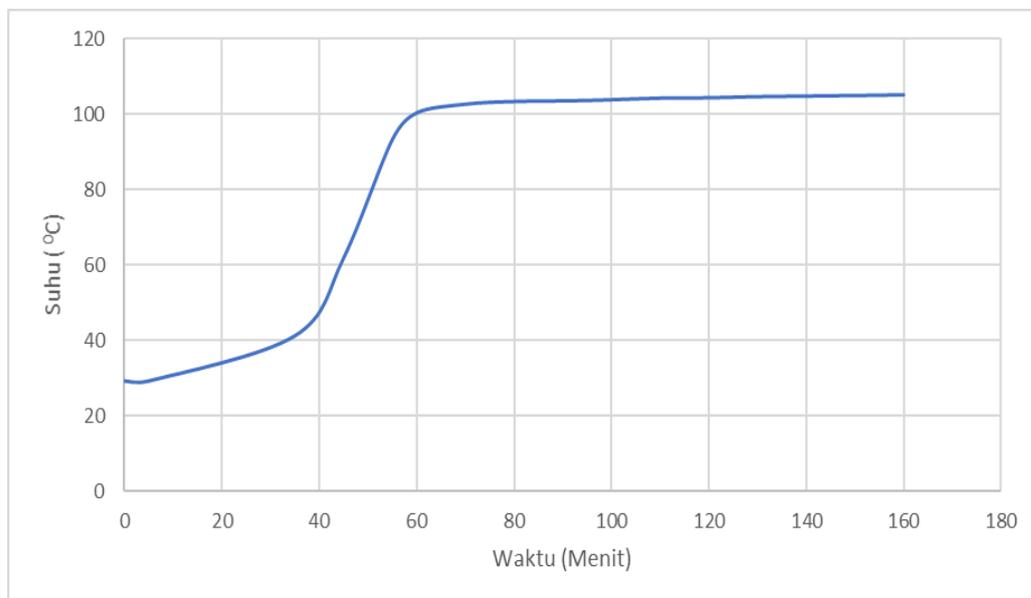
Utilisasi sistem pemipaan dilakukan untuk mendukung penambahan fungsi dari sistem pelarutan dapat digunakan juga sebagai sistem evaporasi pada tangki DI-301 unit pelarutan *yellow cake*. Utilisasi awal ini hanya difokuskan pada modifikasi aliran keluar kondensat dari kondensor E-301. Uap hasil evaporasi akan masuk kedalam kondensor E-301 dan dikondensasi. Kondensat tersebut dialirkan melalui sistem pemipaan yang telah disiapkan ke dalam tangki penampung. Sebelumnya, pada proses pelarutan, kondensor E-301 digunakan untuk mengkondensasi uap asam nitrat dan gas NO<sub>x</sub> yang dikeluarkan dari proses pelarutan. Hasil kondensasi tersebut dikembalikan kedalam tangki DI-301 unit pelarutan, sedangkan fase gas NO<sub>x</sub> akan terhisap kedalam sistem buang gas dan teroksidasi menjadi NO<sub>2</sub>, selanjutnya diserap oleh air pada menara cuci gas buang C-301 seksi 300. Dengan pendayagunaan unit pelarutan menjadi unit evaporasi, aliran keluaran kondensat dari kondensor E-301 dibuat aliran baru dengan menggunakan *valve* yang dapat diatur. Sehingga ketika berfungsi sebagai unit pelarutan, *valve* akan diatur sedemikian hingga aliran kondensat balik ke dalam tangki pelarutan, namun jika digunakan sebagai evaporator, *valve* akan mengarahkan kondensat ke tangki penampung kondensat, seperti yang ditunjukkan gambar 3. Pada proses pelarutan *yellow cake*, *valve* b dan d akan dibuka sehingga aliran balik ke dalam unit pelarutan terbuka, sedangkan pada proses evaporasi, *valve* a dibuka untuk mengarahkan kondensat ke tangki penampung kondensat. Modifikasi yang dilakukan bersifat sementara hingga diketahui ujuk kerja proses evaporasi.

Proses evaporasi dilakukan pada limbah efluen yang mengandung uranium secara catu guna mengetahui kinerja unit pelarutan *yellow cake* sebagai alat evaporasi. Umpan limbah efluen yang dimasukan sebanyak 399,5 liter (80% dari kapasitas maksimal tangki DI-301 unit pelarutan). Data proses evaporasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Evaporasi Limbah Efluen pada Unit Pelarutan *Yellow cake*

waktu (menit)	volume		suhu ( <sup>o</sup> C)
	%	liter	
0	79,9	399,5	29,2
5	79,9	399,5	29,2
35	80	400	41,2
45	78,3	391,5	61,9
55	76	380	93,3
60	73,6	368	100,4
70	71,2	356	102,7
80	68,8	344	103,4
95	65,8	329	103,7
110	61,2	306	104,3
120	58,8	294	104,4
130	56	280	104,7
150	50	250	105
160	47,1	235,5	105,2

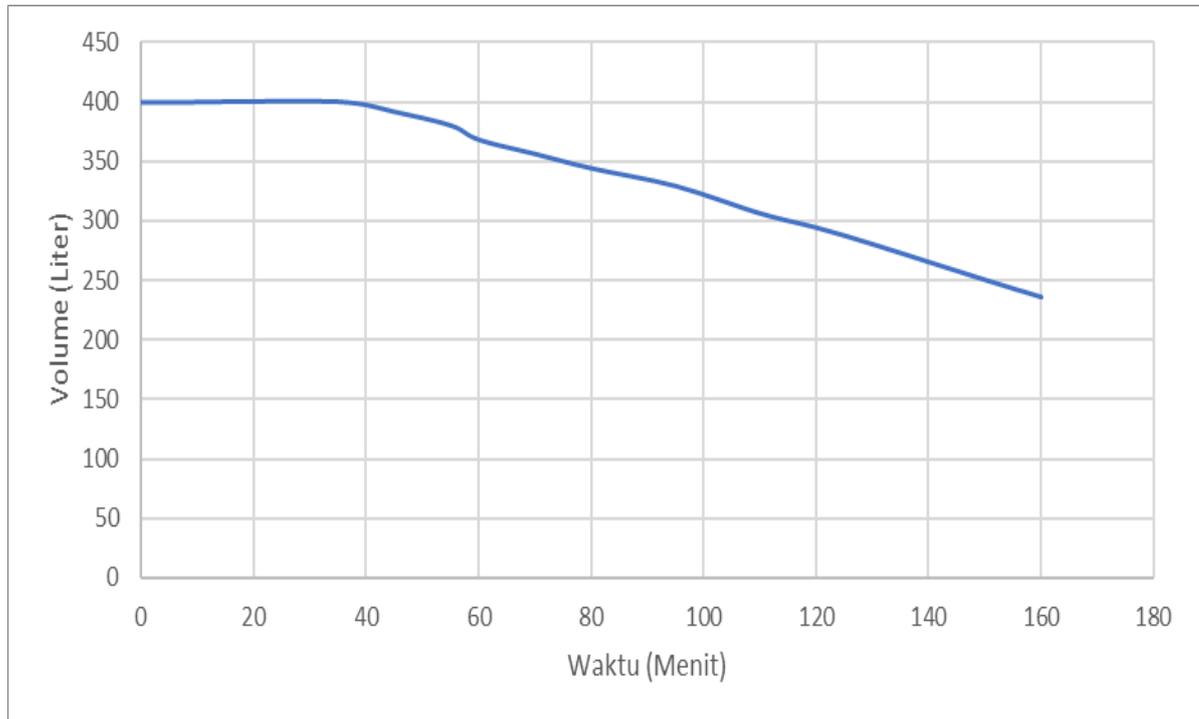
Suhu efluen awal 29,2 °C mengalami kenaikan setelah dipanaskan dengan aliran mantel *steam* eksternal seperti yang ditunjukkan Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Hubungan Suhu dan Waktu pada Proses Evaporasi Efluen.

Kenaikan suhu sistem pada awal proses (<40 menit) perlahan sekitar 0,5 °C/menit. Kenaikan suhu signifikan terjadi ketika suhu sistem telah mencapai 40 °C, dalam rentang

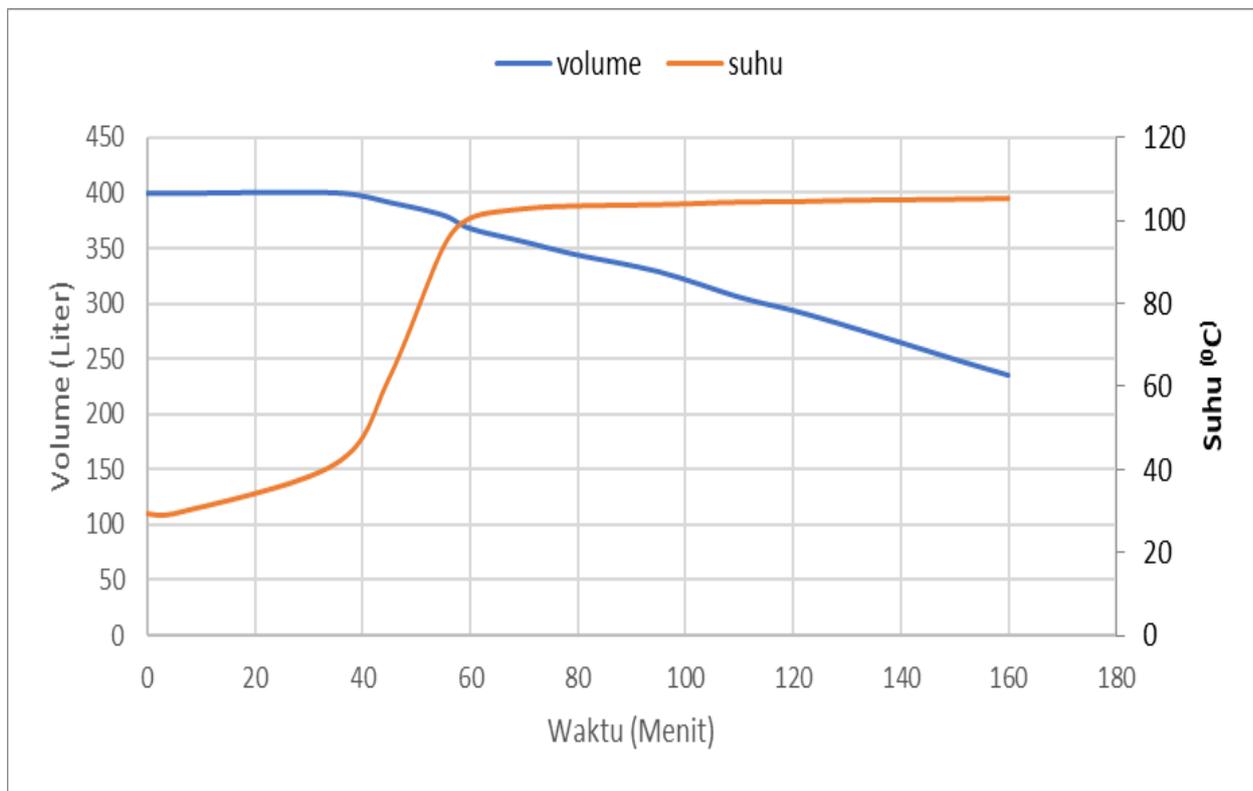
waktu 20 menit suhu sistem mencapai diatas 100 °C dengan kenaikan suhu 3 °C/menit. Setelah 60 menit suhu sistem cenderung tetap, hal ini menunjukkan suhu maksimum sistem yang dicapai adalah 105,2 °C.



Gambar 5. Grafik Hubungan Volume Efluen dan Waktu pada Proses Evaporasi Efluen

Dalam interval waktu 160 menit (2 jam 40 menit) proses evaporasi, terjadi penurunan volume limbah efluen sebanyak 164 liter (Gambar 5). Volume limbah efluen tersisa dalam unit pelarutan sebanyak 235,5 liter dari volume awal 399,5 liter. Gambar 6 menunjukkan hubungan kenaikan suhu terhadap pengurangan volume limbah efluen dalam unit pelarutan.

Sebelum mencapai suhu 40 °C, volume limbah efluen dalam tangki pelarutan cenderung stabil ditandai dengan landainya grafik penurunan volume efluen dan ini menunjukkan belum terjadi proses evaporasi. Pada suhu di atas 40 °C terjadi penurunan volume efluen, hal ini menunjukkan telah dimulainya proses penguapan dengan kecepatan penguapan volume limbah efluen hanya 21 liter/jam . Penurunan signifikan terjadi setelah suhu sistem mencapai suhu 93,3 °C dan tidak mengalami kenaikan suhu yang signifikan selama proses berlangsung. Setelah tercapai suhu tersebut, volume limbah efluen mengalami pengurangan volume sebanyak 132,5 liter selama 100 menit, dengan kecepatan penguapan 79,2 liter/jam.



Gambar 6. Grafik Hubungan Suhu dan Volume Efluen terhadap Waktu pada Proses Evaporasi Efluen

Hasil analisis kandungan uranium pada kondensat menunjukkan kadar uranium sebesar 10,05 mg/liter (ppm). Aktivitas spesifik uranium alam adalah sebesar 0,33  $\mu\text{Ci/g}$  [9,10], maka dengan total 164 liter kondensat hasil evaporasi akan setara dengan 0,0032  $\mu\text{Ci/liter}$  atau 3,2  $\mu\text{Ci/m}^3$ , mendekati baku tingkat radioaktivitas di air (lingkungan) sebesar 0,54  $\mu\text{Ci/m}^3$  pada Perka BAPETEN No. 7 Tahun 2017 tentang perubahan Perka BAPETEN No. 7 Tahun 2013 tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan [11]. Proses evaporasi yang dilakukan selain menurunkan konsentrasi uranium pada limbah cair di PCP dari 20 grU/liter menjadi 10,05 mgU/liter, proses tersebut berhasil memekatkan cairan uranium yang tertinggal di tangki DI-301 menjadi 34 grU/liter. Cairan tersebut selanjutnya dapat di evaporasi kembali dan dijadikan umpan proses pemurnian ketika kadar ekonomis proses tercapai sehingga kehilangan uranium melalui limbah cair dapat dikurangi.

## V. KESIMPULAN

Unit pelarutan *yellow cake* dapat didayagunakan sebagai sistem evaporator dengan memodifikasi sistem pemipaan untuk mengurangi volume limbah cair uranium di PCP dengan kapasitas  $\pm 80$  liter/jam. Kondensat hasil pengembunan proses evaporasi tersebut memiliki kandungan uranium sebesar 10,05 ppm yang mendekati baku tingkat radioaktivitas di air (lingkungan) yang ditetapkan Perka BAPETEN No. 7 tahun 2017.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala BFBBN, kepala kelompok PCP dan staf Instalasi Elemen Bakar Eksperimental PTBBN-BATAN atas bantuan dan diskusi selama penulisan, terkhusus tim PCP, tim kendali kualitas, tim sarana dukung dan tim keselamatan kerja.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aisyah, et. al., "Pengolahan Limbah Uranium menggunakan Alumino Siliko Fosfat", Jurnal Zeolit Indonesia Vol. 7, No. 2, hal 69-77, 2008.
- [2] International Atomic Energy Agency, "*Minimization of Waste from Uranium Purification, Enrichment and Fuel Fabrication*", IAEA-TECDOC-1115, Vienna, 1999.
- [3] Muchsin, A., "Perhitungan Limbah Keluaran Instalasi Pilot Conversion Plant (PCP)", IEBE-PTBN, dipresentasikan di Forum Limbah Nuklir, Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan, Bandung, 2013.
- [4] Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, "Kriteria Keberterimaan Limbah (Waste Acceptance Criteria) – Limbah Bahan Nuklir", Edisi / Revisi : 1/0, 2016.
- [5] U. S. Department of Energy, "*Uranyl Nitrate Hexahydrate Neutralization Project*", Revisi 1, Fernald Environmental Management Project, Ohio, 1994.
- [6] Prayitno, et.al., "Reduksi Aktivitas Uranium dalam Limbah Radioaktif Cair Menggunakan Proses Elektrokoagulasi", Jurnal Urania Vol. 22 No. 3, hal 189-202, 2016.
- [7] Daryoko, M., "Prarancangan Evaporator untuk Pengolahan Limbah Radioaktif Cair PLTN PWR, 1000 Mw", Prosiding PPI-PDIPTN ISSN 0216-3128, hal 19-28, 2007.
- [8] Yamamoto, Y., "*Design dan Operation of Evaporator for Radioactive Waste*", IAEA Technical Reports Series No. 87, Vienna, 1968.
- [9] Oak Ridge Institute for Science and Education, "*Radiological and Chemical Properties of Uranium*", Environmental Management - Oak Ridge Operations, [Online], Tersedia: <https://www.nrc.gov/docs/ML1122/ML11227A233.pdf> [Diakses : 20 November 2019]
- [10] U.S Department of Energy Office of Environmental Management, "*Characteristics of Uranium and Its Compounds*", Oak Ridge Associated Universities, [Online], Tersedia:

<https://web.evs.anl.gov/uranium/pdf/UraniumCharacteristicsFS.pdf> [Diakses : 16 Desember 2019]

- [11] BAPETEN, "Perka BAPETEN No. 7 Tahun 2017 tentang perubahan Perka BAPETEN No. 7 Tahun 2013 tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan", BAPETEN, Jakarta, 2017.