

BERAGAM PENANGANAN EFLUEN CAIR BERKADAR URANIUM RENDAH

*Hendro Wahyono dan **Ghaib Widodo

PENDAHULUAN

Untuk memenuhi keselamatan, akutabilitas dan ekonomi bahan nuklir, maka segenap proses produksi bahan bakar yang meliputi produk tengah, produk bahan bakar, dan produk samping yang berupa efluen harus diperhatikan bersama dan setingkat. Kendati efluen boleh dikatakan sebagai limbah cair, tetapi karena kandungan uraniumnya masih cukup tinggi, maka ia cukup ekonomis untuk dipungut kembali. Oleh karena itu, proses pemungutan U tetap harus dilaksanakan agar persyaratan di atas dapat terpenuhi. Diketahui bahwa selama proses produksi berlangsung, kandungan uranium dalam efluen yang ditimbulkan masih mempunyai kadar hingga 50 mg/l yang berasal dari berbagai proses produksi bahan nuklir di fasilitas produksi elemen bakar reaktor riset^[1]. Oleh Pusat Pengembangan Bahan Bakar Nuklir dan Daur Ulang, kadar uranium dalam efluen tersebut dianjurkan untuk ditekan hingga berkadar rendah yaitu $U < 5 \text{ mg/l}$ ^[2]. Berbagai proses kimia yang menimbulkan efluen yang berada di fasilitas produksi elemen bakar ditunjukkan pada Tabel 1.

Metode Pemungutan Uranium

Upaya pemungutan uranium dilaksanakan agar jumlah U di dalam efluen dapat susut kadarnya dari $< 50 \text{ mgU/l}$ hingga $\leq 5 \text{ mg U/l}$. Untuk mendapatkan U terpungut sebanyak-banyaknya, biasanya efluen terlebih dahulu harus dibebaskan dari ion fluornya (khusus efluen yang berasal dari proses konversi kimia dan proses hidrofluorinasi), kemudian diubah ke bentuk sulfat atau nitrat dengan cara antara lain :

- a. Penukar ion yang dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu :

- Menggunakan resin tukar ion
- Menggunakan modifikasi resin tukar ion dengan *chelatin resin*
- Menggunakan membran tukar ion dalam sel elektrolitik

- b. Pengendapan yang dapat dilakukan dengan beberapa pereaksi antara lain :

- Pereaksi $\text{CO}_3^{=}$
- Pereaksi $\text{C}_2\text{O}_4^{=}$
- Pereaksi H_2O_2
- Pereaksi OH^-

- c. Evaporasi yang dapat dilakukan dengan berbagai cara :

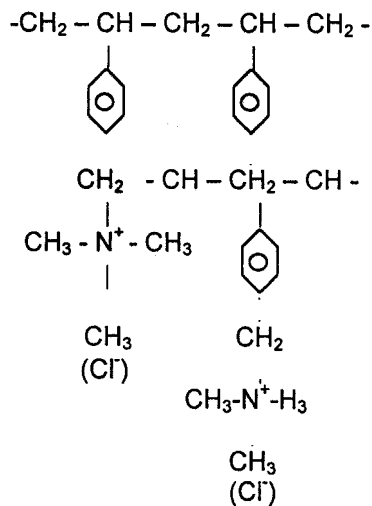
- Evaporasi pot
- Evaporasi surya

Dengan trimetode tersebut di atas diharapkan dapat mengurangi/menekan jumlah U di dalam efluen dan tentu saja dari submetode itu ada kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Uraian ringkas ke tiga metode di atas adalah sebagai berikut :

a. Metode penukar ion

1. Metode resin penukar ion

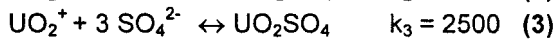
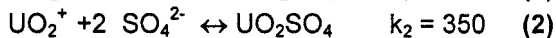
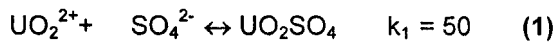
Resin yang sering dipergunakan dalam pemungutan U dalam efluen adalah jenis anion, seperti Dowex 1x8, amberlite IRA-400, amberlite IRA-402, amberlite IRA-410. Resin ini merupakan *kopolimerisasi styrene* dan *divinyl benzene* dan mempunyai gugus fungsional amonium basa kuartener $\text{R}_4\text{N}^+\text{Cl}^-$, di mana R merupakan radikal organik ($-\text{CH}_3$) dan Cl^- merupakan ion aktif sebagai penukar ionnya^[3]. Struktur gugus fungsional amonium basa kuartener dapat dilihat pada gambar berikut :



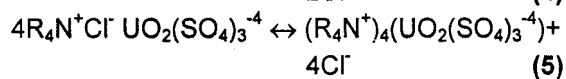
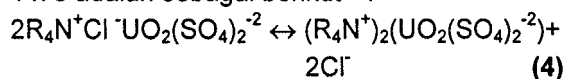
Gambar 1. Struktur gugus fungsional amonium basa kuartener^[4].

Pada kenyataannya efluen yang berada di proses produksi bahan nuklir terutama pada proses konversi kimia dan hidrofluorinasi masih terdapat unsur F⁻ yang terikat di dalamnya (Tabel 1). Hal ini dapat mengganggu proses, sebab unsur F⁻ dapat mengurangi kemampuan absorpsi resin terhadap uranium, sehingga F⁻ yang terdapat dalam efluen ini harus dipisahkan terlebih dahulu.

Larutan uranil nitrat yang akan dipungut U-nya, harus diubah terlebih dahulu ke dalam kompleks ion uranil sulfat sehingga dapat diserap oleh resin tukar anion. Reaksi antara uranil nitrat dengan asam sulfat ditunjukkan pada persamaan reaksi berikut^[5]:

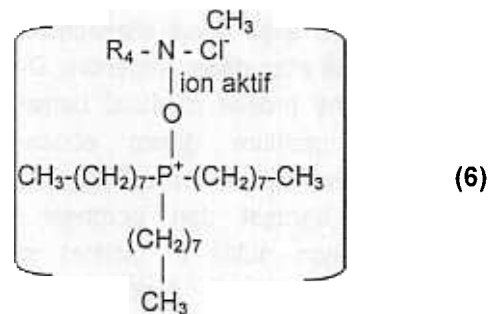
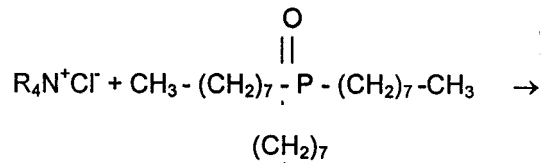


Resin penukar ion bekerja atas dasar kemampuan dalam menyerap anion uranium secara amat selektif dari larutan uranil sulfat. Proses penyerapan uranium oleh resin Dowex 1 x 8 adalah sebagai berikut^[5]:

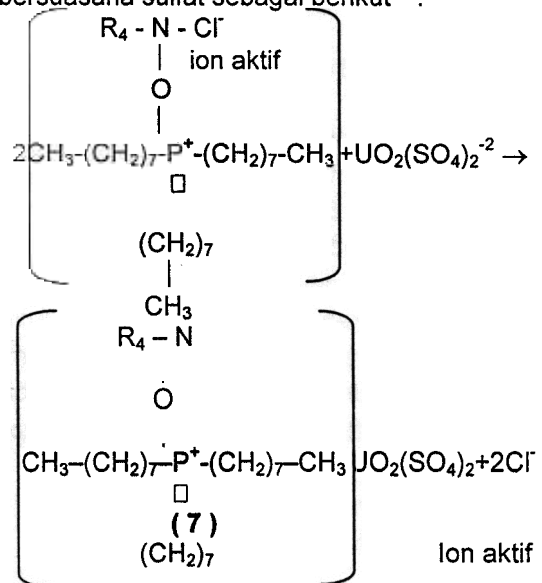


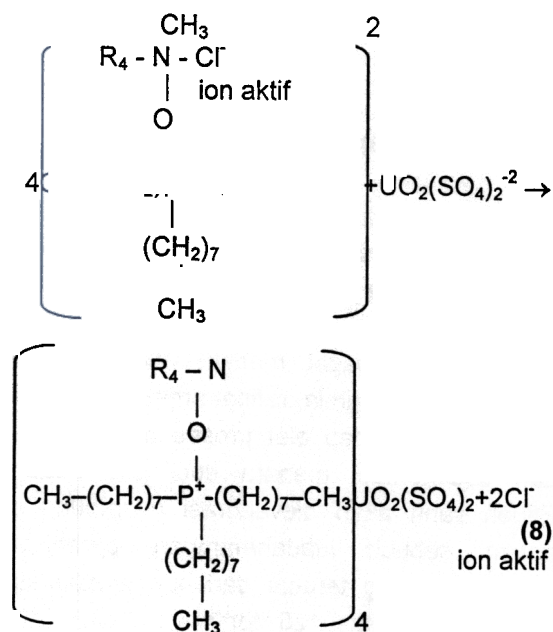
2. Metode modifikasi resin penukar ion (*chelating resin*)

Cara ini adalah pengembangan dari resin penukar ion dengan tujuan agar diperoleh kenaikan efisiensi pemungutan uranium. Resin yang termodifikasi dalam bentuk *chelating resin* adalah paduan antara resin dengan *chelating agent* seperti TOPO (*Tri Octyl Phosphine Oxide*), KELEX 100 (*7-dodeceny-8-zuionol*), dan lain-lain. Paduan tersebut dapat ditunjukkan pada persamaan reaksi tersebut:



Di dalam proses pemungutan uranium dalam efluen menggunakan *chelating resin* akan terjadi penyerapan uranium oleh *chelating resin*. Mekanisme reaksi penyerapan U dapat ditunjukkan pada contoh efluen bersuasana sulfat sebagai berikut^[5]:





3. Metode membran tukar ion[6]

Metode ini lebih dikenal sebagai proses elektrodialisis karena proses ini merupakan proses pemindahan segenap ion dari suatu larutan melalui membran tukar-ion dengan pengaruh listrik langsung di dalam sel elektrolitik. Sel terdiri dari dua bilik anode (larutan asam nitrat) dan bilik katode (efluen) yang dipisahkan oleh selembur membran ion selektif, dan kedua bilik tersebut diberikan elektrode.

Membran jenis tukar-anion yang digunakan dalam metode ini sangat selektif terhadap alih anion. Lempengan Pt digunakan sebagai elektrode positif (anode) sedangkan elektrode negatif (katode) digunakan sebagai lempengan karbon.

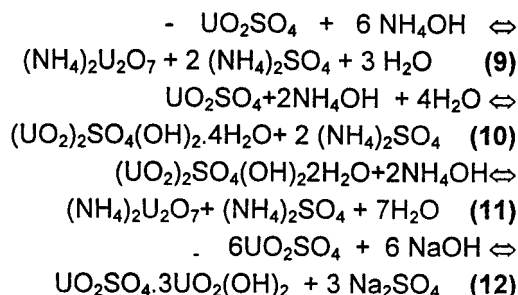
Efluen mengandung uranil nitrat berimpuritas fluor dapat dipisahkan dengan metode ini. Ketika potensial elektrode dioperasikan, ion F⁻ mulai menerobos membran tukar-anion menuju bilik katode. Menurunnya ion F⁻ dalam efluen maksimal 74,8% pada tegangan 14 volt, selama 3 jam^[6].

b. Metode pengendapan, menggunakan berbagai reagen

Pemungutan u dalam efluen menggunakan metode pengendapan, efluennya harus diubah ke bentuk sulfat, seperti yang dijelaskan pada pemungutan menggunakan resin.

1. Pemungut menggunakan berbagai reagen ion OH-

Pengendapan ke bentuk kompleks diuranat, hidroksida, atau kompleks sulfat dapat dengan mudah di proses lanjut. Setelah diperoleh bentuk diuranat atau bentuk kompleks sulfat seperti pada reaksi (9) sampai (12)^[4], kemudian dipanggang dengan maksud agar dapat berubah ke bentuk oksida yang mudah larut dalam nitrat.



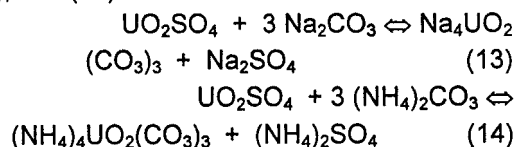
2. Pemungut menggunakan reagen H2O2

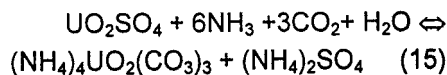
Bentuk endapan berupa uranium peroksida (reaksi 13), kemudian dipanggang atau langsung dilarutkan dalam asam nitrat.

$$\text{UO}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \Leftrightarrow \text{UO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{SO}_4 \quad (13)$$

3. Pemungut menggunakan berbagai reagen ion CO3=

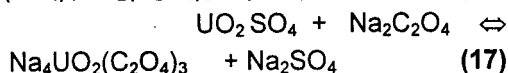
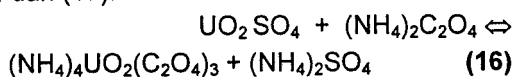
Endapan kompleks natrium/amonium uranil karbonat yang mudah larut dalam asam nitrat. Reaksi pembentukan natrium/amonium uranil karbonat ditunjukkan pada reaksi (13), (14), dan (15).





4. Pemungut menggunakan berbagai reagen ion C₂O₄=

Proses pengendapan menggunakan ion oksalat akan menghasilkan endapan kompleks natrium/amonium uranil tri oksalat. Reaksi pengendapannya diperlihatkan pada reaksi (16) dan (17).



c. Metode evaporasi

1. Metode evaporasi pot

Metode ini biasanya digunakan untuk proses penurunan volume sekaligus pemekatan efluen berkadar tinggi (≥ 50 mgr/l). Proses vaporasi efluen yang berasal dari hasil pelarutan berbagai macam efluen : filtrat proses konversi kimia, rafinat proses ekstraksi, pencucian segenap alat proses dan analisis, dan sedimentasi menara cuci gas buang. Tingkat kepekatan yang diperoleh dari evaporasi ini belum siap sebagai umpan proses konversi kimia karena masih cukup banyak mengandung impuritas, sehingga masih dikenakan proses ekstraksi untuk mendapatkan uranil nitrat murni.

Evaporator pot tersebut terbuat dari bahan *stainless steel* berbentuk silinder dengan kapasitas larutan 15 liter^[1]. Heater yang terpasang pada evaporator dilengkapi pemutus arus otomatis yang digunakan sebagai media pemanas dan sekaligus sebagai pengatur laju umpan. Yang perlu diperhatikan selama proses vaporasi adalah terbentuknya kerak dari efluen yang menempel pada dinding evaporator. Hal ini menyebabkan menurunnya transfer panas, sehingga dalam selang waktu 5 kali evaporasi kerak tersebut

perlu dibersihkan agar transfer panas dapat berfungsi seperti semula.

2. Metode evaporasi surya

Metode evaporasi surya digunakan untuk proses penurunan volume efluen berkadar rendah (≥ 50 mg/l). Efluen yang dikenakan proses vaporasi surya berasal dari hasil pelarutan berbagai macam efluen : filtrat proses konversi kimia, rafinat proses ekstraksi, pencucian segenap alat proses dan analisis, dan sedimentasi menara cuci gas buang. Efluen yang akan dievaporasi ditampung di dalam sebuah wadah/nampan berbentuk persegi panjang terbuat dari bahan *stainless steel* berkapasitas 125 liter^[1].

Proses menggunakan tenaga matahari ini dilakukan di dalam ruangan yang mempunyai daya tampung hingga 4 buah wadah efluen. Biasanya ruangan tersebut mempunyai atap yang terbuat dari bahan kaca sehingga sinar matahari dapat langsung masuk ke dalam ruangan.

Hasil yang diperoleh dari evaporasi inipun masih mempunyai impuritas yang cukup tinggi, sehingga masih perlu dilakukan proses ekstraksi untuk mendapatkan uranil nitrat murni sebagai umpan pada proses konversi kimia.

PEMBAHASAN

Hasil pungutan U dari berbagai metode di atas, masing-masing (trimetode) kemudian dipanggang atau langsung dilarutkan dalam asam nitrat. Hasil pelarutan dicampur karena kesemuanya berupa uranil nitrat berimpuritas (kotor). Agar hasil U dapat diumpankan kembali ke proses konversi, uranil nitrat harus dimurnikan terlebih dahulu (proses ekstraksi dan *stripping*) seperti telah dijelaskan lebih gamblang pada tulisan URANIA No. 6/Thn. II/1996^[7].

KESIMPULAN

Kandungan U dalam efluen pada dasarnya dapat dipungut kembali menggunakan trimetode dan hasilnya dapat dipakai kembali sebagai umpan pada proses produksi bahan bakar.

PUSTAKA

NUKEM, "Basic and Detail Engineering Process Element Fabrication Plant for BATAN", Vol. 4 Nukem VT-No. 2.0080, Hanau (1983)

2. ANONIM, "Informasi Interna P2TBDU", Serpong (1997)

3. S., WARDIYATI dan G., WIDODO, "Studi Pemungutan Uranium Menggunakan Cheating Resin", URANIA, No. 7/Thn. II, (Juni 1996), hal. 45 – 51

4. C.R., MERRIT, "The Extractive Metallurgy of Uranium", Prepared Under Contract with The United States Atomic Energy Commission, Colorado, (1970), page 138 –182

5. H., MARTONO dan SUCAHYO, "Penyerapan Uranium oleh Resin Dowex 1x8 dengan Pengompleks H_2SO_4 dan Na_2SO_4 ", Prosiding Bahan Murni dan Instrumentasi I Bahan Murni, PPBMI-BATAN (1984), hal. 45 -58

6. SUNARDI, "Pemisahan Uranium dari Limbah Mengandung Fluorida Secara Elektrodialisis Menggunakan Membran Tukar-Anion", Tugas Akhir Program Diploma III, PATN, Pusdiklat, BATAN, Serpong (Februari 1999).

7. G., WIDODO, dan FATHURRACHMAN, "Proses olah Ulang Dingin pada Bahan Bakar Reaktor Riset. Proses Pemurnian Uranium untuk Mendapatkan Serbuk U_3O_8 dan Logam U", URANIA, No. 6/Thn. II, (April 1996), hal. 1 –8.

Penulis adalah
 *Pejabat Fungsional Pranata Nuklir
 **Pejabat Peneliti dan keduanya adalah staf Bidang Teknologi Pasca Iradiasi dan Daur Ulang , P2TBDU, BATAN

Tabel Efluen dari berbagai proses kimia¹

No.	ASAL EFLUEN	KADAR U DALAM EFLUEN (mg/l)	KETERANGAN
1	Proses konversi kimia	< 50	Mengandung F^-
2	Proses hidrofluorinasi	< 50	Mengandung F^-
3	Proses pelarutan	< 50	Mengandung asam dan basa
4	Proses ekstraksi	< 50	Mengandung NO_3^-