

STUDI PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF CAIR YANG MENGANDUNG Np-237 DAN URANIUM DENGAN METODE PERTUKARAN ANION.

Ign. Djoko Sardjono *), Sukarman A. *), Huzen Zamroni **)

*) Pusat Penelitian Nuklir Yogyakarta - Badan Tenaga Atom Nasional

**) Teknik Nuklir - Universitas Gajah Mada.

ABSTRAK

STUDI PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF CAIR YANG MENGANDUNG Np-237 DAN URANIUM DENGAN METODE PERTUKARAN ANION. Telah dilakukan penelitian pengolahan limbah radioaktif cair yang mengandung Np-237 dan uranium dengan metode pertukaran anion. Simulasi limbah radioaktif cair yang dipakai dalam penelitian ini adalah larutan standar Np-237 dengan aktivitas awal = $2,65 \times 10^{-4} \mu\text{Ci/ml}$ dan uranium dengan aktivitas awal = $0,14 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/ml}$. Penelitian secara eksperimental ini merupakan tahap awal dari studi pengolahan limbah cair yang mengandung unsur uranium dan transuranium, dimana radionuklida Np-237 merupakan salah satu dari sekian banyak unsur yang terdapat di dalamnya. Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh pH limbah, geometri kolom dari resin penukar anion IRA-400 yang dinyatakan sebagai L/D, kecepatan alir dari umpan limbah dan perbandingan mol bahan pengompleks (sulfat) dengan mol radionuklida/unsur dalam limbah terhadap efisiensi pertukaran anion. Dari parameter-parameter operasi yang telah diteliti meliputi, pengaruh pH limbah yang bervariasi 1-14, geometri kolom (L/D) dari 0,69- 8,53, kecepatan alir dari 2,5-10 ml/menit dan perbandingan mol sulfat/mol radionuklida yang bervariasi dari 1, 10, 20, 30, 40 dan 50 terhadap faktor dekontaminasi (FD) atau efisiensi pemisahannya (EP) diperoleh hasil bahwa kondisi operasi pertukaran anion yang optimum dicapai pada pH limbah = 12, kecepatan alir = 2,5 ml/menit dan L/D = 8,53 serta perbandingan mol sulfat/mol radionuklida = 10 dan FD maksimum = 102 atau EP maksimum = 99%. Dari hasil analisis terhadap beningan yang keluar dari kolom penukar kation IRA-400 tersebut (yang telah diolah pada kondisi optimum di atas) ternyata besar aktivitasnya berkisar antara $2,65 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/ml}$ sampai dengan $1,4 \times 10^{-8} \mu\text{Ci/ml}$. Sedangkan batas konsentrasi/aktivitas tertinggi yang diizinkan (KTD) untuk dibuang ke lingkungan menurut ketentuan keselamatan kerja radiasi (mengacu pada SK Dirjen BATAN No. 10/DJ/II/1986) adalah $10^{-7} \mu\text{Ci/ml}$, dengan demikian aktivitas beningan tersebut cukup aman untuk didispersi kelingkuangan.

ABSTRACT

THE STUDY OF THE TREATMENT OF RADIOACTIVE LIQUID WASTE CONTAINING Np-237 AND URANIUM BY USING THE ANION EXCHANGE METHOD. The research in the treatment of liquid radioactive waste containing of Np-237 and uranium by using the anion exchange method has been done. The simulation of liquid radioactive waste used in this research was standard solution of Np-237 with the initial activity of $2.65 \times 10^{-4} \mu\text{Ci/ml}$ and uranium solution with the initial activity of $0.14 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/ml}$. The experimental investigation was aimed at studying the effects of the waste pH, the column dimension of IRA-400 anion exchanger which is expressed as L/D, the flowrate of liquid waste and the influence of sulphate as a complexing agent against the efficiency of ion exchange for Np-237 and uranium element which is contained in the liquid waste with anion contained in the IRA-400 anion exchanger. From the operational parameters which has been done in this research containing of the influence of waste pH which was varied from 1-14, the liquid flow rate 2.5-10 ml/m and from the resin column dimension (L/D) from 0.69-8.53 and the ratio of mol sulphate to mol radionuclide/element that was varied from 1-50 were obtained result the optimum operational conditions for the anion exchange were achieved at the waste pH = 12, the flow rate = 2.5 ml/m and L/d = 8.53 as well as the ratio of mol sulphate to mol radionuclide/element was = 10. From the analytical results of the supernatant coming out of the IRA-400 anion-exchange column (which had been treated at the above optimum condition) obviously the activities were within the order of $2.65 \times 10^{-8} \mu\text{Ci/ml}$ to $1.4 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/ml}$. Where as the maximum permissible concentration (MPC) for which to be disposed to the environment according to the radiation work safety regulation (refer to SK Dirjen BATAN No. 10/DJ/II/1986) is $10^{-7} \mu\text{Ci/ml}$; thus the

supernatant activity of the treated liquid waste above are sufficiently safe to be dispersed to the environment.

PENDAHULUAN

Pengolahan limbah cair Np-237 dan uranium dengan memakai metode pertukaran anion, merupakan satu langkah awal di dalam merealisasikan pengolahan limbah cair transuraniu (TRU) yang sifatnya lebih kompleks dan unsur uranium yang sisa hasil pemakaian dalam penelitian. Upaya ini dilaksanakan dengan mempelajari karakteristik dari salah satu nuklida yang mempunyai potensi pencemar cukup besar bila dilihat dari umur paruhnya yang ordennya = 2×10^6 tahun untuk Np-237 dan $4,61 \times 10^9$ untuk U-238 dengan tingkat keracunannya sebagai pemancar α yang tinggi (1). Karakteristik utama dari Np-237 dan uranium yang berperan di dalam proses pengolahannya didasari oleh sifat kimianya di dalam larutan yang beragam tergantung pada pH dari media larutannya.

Disamping sifat kimia dari Np-237 dan uranium, sifat fisika maupun kimia dari bahan penukar anionnya juga berpengaruh dalam proses pengolahannya, sehingga penelitian secara eksperimental ini dilakukan dengan tujuan untuk menentukan parameter-parameter operasi yang berperan dalam efisiensi pemisahan dari Np-237 dan uranium.

Dari data pustaka yang menyangkut sifat kimia dalam media larutan cair, neptunium berada pada tingkat oksidasi Np(III), Np(IV), Np(V), Np(VI) dan Np(VII) meskipun Np(VII) hanya stabil dalam larutan alkalis. Tanpa adanya bahan pengompleks, Np(III), Np(IV), Np(V), Np(VI) berada sebagai Np^{3+} , Np^{4+} , NpO_2^+ , dan NpO_2^{2+} , biasanya dalam bentuk terhidrat, sedangkan dalam larutan alkalis Np(VII) berada dalam bentuk NpO_6^{3-} (2,3).

Neptunium yang bervalensi lima (Np-V) merupakan Np yang paling stabil dalam larutan (di dalam larutan basa akan terhidrolisa, di dalam keasamaan yang tinggi akan mengalami disproporsionasi, dan tidak membentuk kompleks polinuklir).

Menurut data potensial oksidasi reduksi, tanpa adanya bahan pengompleks menunjukkan bahwa semua tingkat oksidasi dari Np adalah stabil terhadap disproporsionasi dalam 1 M $HClO_4$. Hanya pada pH ≤ -1 NpO_2^+ mengalami disproporsionasi menjadi Np^{4+} dan NpO_2^{2+} . Disproporsionasi Np(V) ini dipacu dengan adanya tambahan bahan pengompleks, karena Np^{4+}

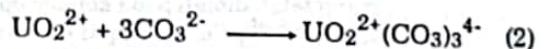
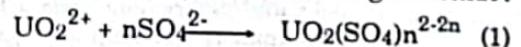
dan NpO_2^{2+} akan membentuk kompleks yang lebih stabil daripada NpO_2^+ .

Neptunium (III) hanya stabil bila tidak berada di dalam lingkungan O_2 , Np (III) akan teroksidasi menjadi Np (IV) di dalam larutan berair yang dipaparkan ke udara. Neptunium (IV) membentuk kompleks yang kuat dengan anion, tetapi Np (V) hanya kompleks yang lemah, terbukti dari hasil yang diperoleh (neptunil = NpO_2^+) bermuatan rendah (satu) dan ukurannya yang kecil = 0,87 Å. Hal ini yang perlu diperhitungkan karena bisa berdampak pada rendahnya koefisien distribusi untuk Np (V) dalam pertukaran ion.

Sedangkan unsur uranium mempunyai bilangan oksidasi (III) sampai (VI) dengan bentuk spesies ionik sebagai berikut :



Dari keempat bentuk ini UO_2^{2+} merupakan spesies yang paling stabil. Bila dalam larutan terdapat anion-anion lain seperti karbonat atau sulfat maka UO_2^{2+} ini dapat membentuk kompleks anion dengan reaksi sebagai berikut :



Dengan terbentuknya kompleks anion ini, diharapkan uranium akan mudah dipertukarkan dengan resin penukar anion.

Dengan mengetahui kondisi ionik dari unsur radonuklida neptunium, akan memungkinkan untuk menciptakan kondisi sedemikian sehingga proses pertukaran ion - dalam rangka pengolahan limbah cair yang mengandung Np-237 - mencapai hasil yang maksimum.

Mengingat bahwa parameter-parameter yang terkait dengan optimasi pemisahan Np-237 dan uranium mencakup waktu kontak antara resin penukar dengan ion yang dipertukarkan, geometris dari kolom penukar ion, keasaman/kebasan dari limbahnya dan adanya pengaruh bahan pengompleks, maka penelitian secara eksperimental ini difokuskan pada penentuan kondisi optimum pemisahan secara pertukaran ion dengan memvariasikan kecepatan alir umpan, L/D kolom penukar ion, pH dari umpan limbah cair yang mengandung Np-237 dan uranium dan pengaruh penambahan garam sulfat sebagai pengompleks.

Hasil yang diharapkan dari penelitian ini ialah, dicapainya kondisi optimum dari proses yang mencakup alir umpan. L/D kolom penukar ion, pH dari limbah cair dan perbandingan mol sulfat terhadap radionuklida yang dipertukarkan sedemikian sehingga efluen hasil pemisahan sudah memenuhi standar aman kalau didispersi lingkungan.

BAHAN, ALAT DAN TATA KERJA

Bahan

Bahan yang diperlukan dalam penelitian meliputi:

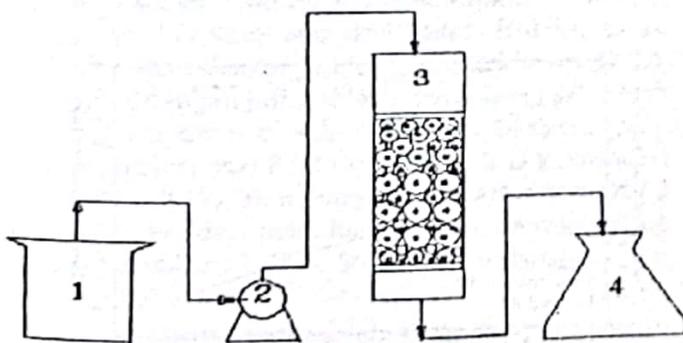
1. bahan limbah cair yakni larutan Np-237 dengan aktivitas awal = $2,648 \times 10^{-4} \mu\text{Ci/ml}$, dan larutan uranium dengan aktivitas awal = $0,14 \times 10^{-5} \mu\text{Ci/ml}$.
2. resin penukar anion IRA-400 dengan kapasitas pertukaran teoritis = 2,85 meq/g dan ukuran butir antara 50 - 16 mesh [5,6];
3. bahan pengencer (air suling) dan pengatur pH (larutan HNO_3 65 % dan NaOH pekat) serta bahan penyangga resin (glass wool).
4. Larutan H_2SO_4 98 %.

Alat

Alat-alat yang dipakai dalam penelitian ini meliputi:

Alat proses seperti:

1. kolom penukar ion dari gelas dengan diameter kolom yang bervariasi dari 0,82; 1,58; 1,94 dan 2,14.
2. pompa dosis Masterflex dengan debit 2,5 - 10 ml/menit. Rangkaian skematis dari alat proses yang dipakai dalam ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Keterangan:

1. Wadah umpan larutan Np dan U
2. Pompa dosis
3. Kolom resin
4. Penampung larutan Np dan U hasil olahan

Gambar 1. Skema rangkaian alat penukar anion.

Alat analisis / alat cacah seperti:

1. alat cacah α/β buatan Canberra dengan efisiensi pencacahan untuk Np-237 dan uranium sebesar 35 %.
2. timbangan elektrik Sartorius dengan ketelitian 10 μg
3. kertas pH

Alat-alat gelas seperti:

1. gelas piala
2. labu takar
3. pipet pindah

Tata kerja

Penyiapan larutan limbah Np-237

Larutan Np-237 dengan aktivitas $2,648 \times 10^{-4} \mu\text{Ci/ml}$, dibuat dari larutan standar Np-237 yang aktivitas awalnya = $3,5 \mu\text{Ci/ml}$. kemudian diencerkan dengan menggunakan air suling sejumlah volume tertentu (500 ml. - 2000 ml.) dan larutan uranium dengan aktivitas awal $0,14 \times 10^{-5} \mu\text{Ci/ml}$. yang disiapkan sebagai umpan.

Percobaan pengaruh pH.

Untuk mempelajari pengaruh pH terhadap efisiensi pertukaran -ion disiapkan limbah yang sudah diatur pH nya dengan menambahkan larutan HNO_3 atau NaOH sebanyak 500 ml pada setiap percobaan dengan kondisi pH yang bervariasi dari 1-14, sedangkan sebagai parameter operasi ialah kecepatan alir umpan = 2,5 ml/men. dan geometri kolom ($L/D = 8,53$). Kemudian diambil cuplikan sebanyak 1 ml. pada setiap 100 ml terakhir dari keluaran limbah tersebut untuk dicacah dan dihitung FD nya, Dari data FD dari setiap cuplikan pada setiap harga pH tersebut dapat ditentukan pH yang optimum yakni pH yang memberikan harga FD yang maksimum.

Percobaan pengaruh kecepatan alir:

Untuk mempelajari pengaruh kecepatan alir terhadap efisiensi pertukaran ion, disiapkan limbah yang sudah diatur pHnya = 4 dan jumlah resin = 3 gram ($L/D = 6,76$), kemudian kecepatan alir umpan divariasikan dari 2,5 - 10 ml/men. Dari data pencacahan cuplikan yang diambil untuk setiap 500 ml. limbah yang diolah pada setiap kecepatan aliran umpan yang diteliti, diperoleh harga FD hasil perhitungan yang bisa dipakai untuk menentukan kecepatan alir yang optimum.

Percobaan pengaruh geometri kolom.

Untuk pengaruh diameter kolom, dicoba dengan 4 buah kolom yang diameternya bervariasi dari 0,82; 1,58; 1,94 dan 2,17. Disetiap kolom tersebut diisi sejumlah resin yang sama beratnya = 3 gram sehingga membentuk geometri kolom (L/D) yang bervariasi dari 8,55; 2,24; 1,08; dan 0,69. Percobaan dilakukan dengan parameter kondisi operasi pH = 12, kecepatan alir umpan = 2,5 ml/men., kemudian data hasil pencacahan cuplikan dari setiap 500 ml. limbah yang diolah dipakai untuk menentukan diameter kolom penukar ion yang optimum.

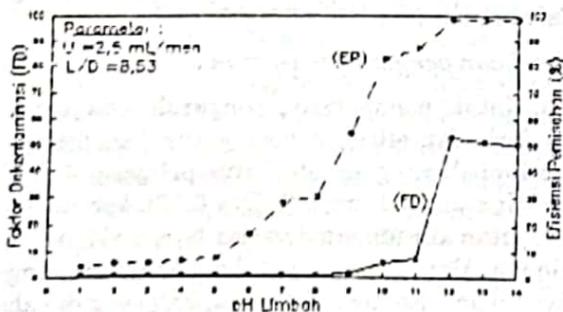
Percobaan pengaruh bahan pengompleks.

Untuk menentukan pengaruh bahan pengompleks, percobaan dilakukan dengan memvariasi perbandingan mol sulfat dan karbonat terhadap radionuklida Np-237 dan uranium. Dan sebagai parameter ialah pH umpan = 12, kecepatan alir umpan = 2,5 ml/menit dan diameter kolom = 0,82 cm (L/D = 8,55). Data analisis cuplikan pada perbandingan tertentu yang menghasilkan FD maksimum dipakai untuk menentukan jumlah bahan pengompleks yang optimum.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh pH umpan

Dari percobaan pengaruh pH umpan terhadap faktor dekontaminasi yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh pH umpan terhadap FD.

Diperoleh data bahwa ada kecenderungan naiknya harga FD dengan kenaikan pH dari 8

sampai dengan 12 dan kondisi optimum dicapai pada pH = 12, kemudian pada kenaikan pH selanjutnya dari >12 - 14 ternyata harga FD cenderung turun dan dari pH = 1 - 7 cenderung tetap.

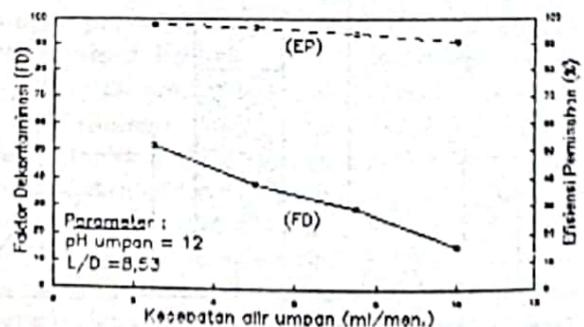
Fenomena ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

Pada kondisi asam (pH dari 1-7) spesies ionik dari Np dan uranium yang multivalen tidak memacu terjadinya pertukaran ion antara gugus anionik yang terdapat pada resin IRA-400 karena tingginya konsentrasi kationik Np dan uranium (Np^{+3} , Np^{+4} , NpO_2^{+} dan NpO_2^{2+} dan U^{+3} , U^{+4} , UO_2^{+} dan UO_2^{2+}) sedangkan pada kondisi alkalis (8-12) konsentrasi kationik dari Np dan U turun dan mungkin sebgaiian besar bergeser ke bentuk anionik (NpO_5^{3-} dan UO_5^{3-}) yang dengan penukar anion (IRA-400) bisa berinteraksi [1].

Dengan data ini bisa diasumsikan bahwa Np mempunyai sifat ionik yang unik dalam kelompok aktinida, karena tanpa memberikan bahan pengompleks (hanya dengan kondisi alkalis) Np dapat dipisahkan dari unsur hasil fisi/aktinida lainnya dengan metode pertukaran ion.

Pengaruh kecepatan alir umpan.

Dari hasil percobaan pengaruh kecepatan alir umpan yang divariasi antara 2,5 - 10 ml/men. untuk tiap 500 ml limbah yang diolah, diperoleh data seperti diterakan dalam Gambar 3.

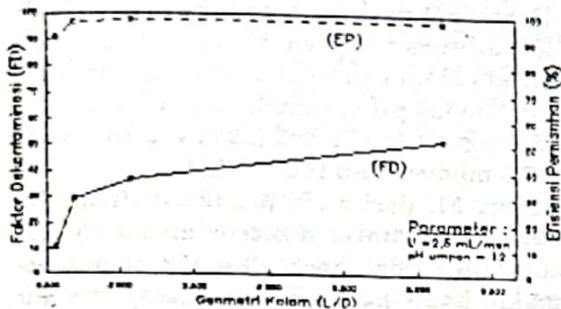


Gambar 3. Pengaruh kecepatan alir terhadap FD.

Terlihat bahwa pada kecepatan alir yang paling rendah yakni 2,5 ml./men. memberikan harga faktor dekontaminasi yang paling tinggi. Hal ini merupakan konsekuensi logis kalau dikaitkan dengan waktu kontak, karena dengan kecepatan alir yang relatif rendah, maka waktu kontak/waktu tinggal antara unsur Np dan uranium yang akan dipisahkan dengan gugus aktif dari resin penukar anion relatif lebih sempurna.

Pengaruh geometri kolom.

Berdasarkan hasil percobaan yang telah diterakan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh geometri kolom terhadap FD.

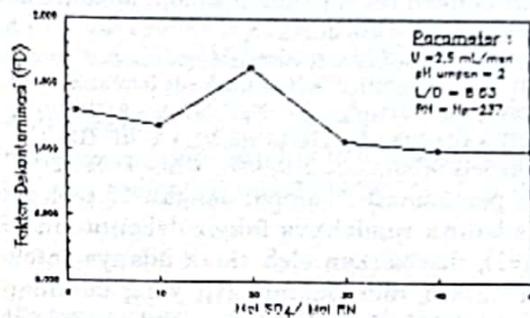
Ternyata dengan semakin kecil diameter dari kolom penukar ion yang dipakai diperoleh harga FD yang semakin besar. Hal ini kalau dikaitkan dengan faktor geometri kolom (L/D), yakni dengan jumlah resin yang sama sebanyak 3 gram akan memberikan L/D berbeda yang bervariasi dari 8,53 - 0,69 (untuk D kolom dari 0,82 - 2,17), dan harga FD terbesar = 52,22 diperoleh dari pemakaian kolom penukar yang bergeometris L/D = 8,53 (atau yang berdiameter, D = 0,82).

Alasan yang mendukung data percobaan ialah bahwa dengan semakin kecilnya diameter kolom penukar ion maka kemungkinan distribusi mikroskopik dari unsur Np dan uranium ke dalam gugus resin IRA-400 yang aktif akan lebih merata sehingga akibatnya reaksi pertukaran-anion akan berjalan lebih sempurna.

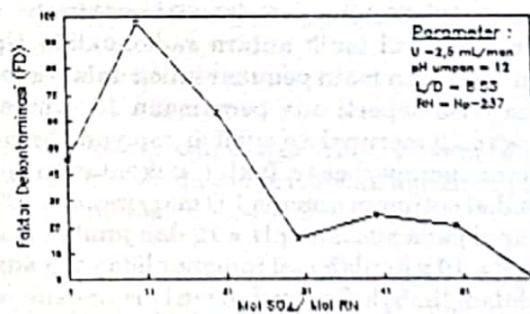
Pengaruh bahan pengompleks.

Penentuan kompleks asam sulfat.

Hasil percobaan yang dilakukan dengan memvariasi perbandingan pengompleks yang dinyatakan dalam perbandingan mol asam sulfat terhadap radionuklida yang ada dalam limbah dari 1 - 50 pada kondisi asam (pH=2) dan kondisi basa (pH=12) dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Pengaruh bahan pengompleks terhadap FD.

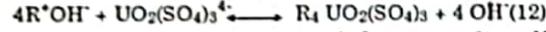
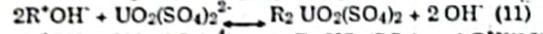
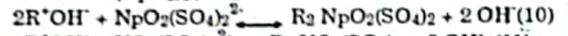
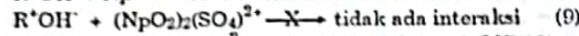
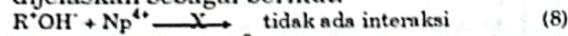


Gambar 6. Pengaruh bahan pengompleks terhadap FD.

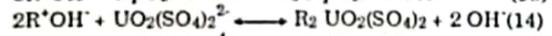
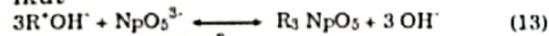
Berdasarkan grafik pada Gambar 5 dan Gambar 6 terlihat bahwa FD pada kondisi asam relatif lebih rendah dari pada FD pada kondisi

basa. Hal ini disebabkan pada kondisi asam Np-237 cenderung berada dalam bentuk ionik $\text{Np}^{4+} > \text{NpO}_2^{2+} > \text{Np}^{3+} > \text{NpO}_2^+$. Dengan adanya ion SO_4^{2-} , maka Np^{4+} dan NpO_2^{2+} kemungkinan akan membentuk kompleks $\text{Np}(\text{SO}_4)_2$ dan $\text{NpO}_2^{2+}(\text{SO}_4)_2$ atau $(\text{NpO}_2)_2(\text{SO}_4)^{2+}$.

Sedangkan uranium dalam spesies ionik UO_2^{2+} , dengan ion SO_4^{2-} tersebut akan membentuk kompleks $\text{UO}_2(\text{SO}_4)_2^{2-}$ atau $\text{UO}_2(\text{SO}_4)_3^{4-}$. Pada suasana asam, adanya kompleks sulfat tidak berpengaruh terhadap pemisahan/pendekontaminasian radionuklida Np-237 dan uranium. Hal ini disebabkan oleh tidak adanya interaksi antara radionuklida tersebut dengan resin penukar anion. Mekanisme dijelaskan sebagai berikut:



Dari persamaan 8 sampai dengan 12 terlihat jelas bahwa rendahnya faktor dekontaminasi ($\text{FD}=1$), disebabkan oleh tidak adanya interaksi antara radionuklida Np yang dominan dalam bentuk ionik Np^{4+} dan $(\text{NpO}_2)_2(\text{SO}_4)^{2+}$ dengan gugus aktif dari resin penukar anion. Sedangkan pada suasana basa radionuklida Np cenderung mempunyai bentuk spesies anionik NpO_5^{3-} dan uranium dengan adanya sulfat $(\text{SO}_4)^{2-}$ membentuk $\text{UO}_2(\text{SO}_4)_2^{2-}$ dan $\text{UO}_2(\text{SO}_4)_3^{4-}$ yang dengan resin penukar anion berinteraksi dengan mekanisme sebagai berikut:



Dari interaksi ionik antara radionuklida Np dan U dengan resin penukar anion dalam suasana basa seperti ada persamaan 13 sampai dengan 15 merupakan sumbangan yang besar dalam memperbesar faktor dekontaminasi. Kondisi optimum dimana FD maksimum = 102 dicapai pada suasana $\text{pH} = 12$ dan jumlah mol $\text{SO}_4^{2-} = 10 \times$ jumlah mol radionuklida yang ada di dalam limbah. Tetapi dengan bertambahnya jumlahnya mol SO_4^{2-} terhadap jumlah radionuklida yang ada di dalam limbah maka suasana akan bergeser dari basa ke asam karena adanya kelebihan SO_4^{2-} , sehingga persamaan

DAFTAR PUSTAKA

1. Karyawan Aji, Pengolahan limbah radioaktif cair yang mengandung unsur transurium (Np-237) dengan metode pertukaran-ion, Skripsi Sarjana Teknik Nuklir, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta (1992).

reaksi 8 sampai dengan 12 menjadi lebih dominan dibandingkan dengan persamaan reaksi dari 13 sampai dengan 15. Hal inilah yang membuat FD pada kondisi basa dengan perbandingan jumlah mol SO_4^{2-} /jumlah mol radionuklida lebih besar dari 10 menurun.

Hasil analisis/pencacahan terhadap beningan

Hasil pencacahan terhadap beningan limbah yang telah diolah dengan kolom penukar anion IRA-400 yang ditinjau seperti tersebut diatas ternyata menghasilkan data aktivitas berada diantara $0,59 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/ml}$ sampai dengan $1,5 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/ml}$.

KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil penelitian ini ialah bahwa:

1. Harga FD dari resin penukar-kation IRA-400 dipengaruhi oleh pH umpan, semakin tinggi pH umpan, semakin tinggi harga FD dan kondisi pH optimum dicapai pada $\text{pH} = 12$ dengan $\text{FD} = 52,853$ (pada kecepatan alir = 2,5 ml/men. dan $\text{L/D} = 8,53$).
2. Harga FD dari resin penukar-kation IRA-400 dipengaruhi oleh kecepatan alir umpan, semakin rendah kecepatan alir umpan, semakin besar harga FD dan kecepatan alir terendah = 2,5 ml/men memberikan harga FD terbesar = 52,86 (pada kondisi pH umpan = 12 dan $\text{L/D} = 8,53$).
3. Harga FD dari resin penukar-kation IRA-400 dipengaruhi oleh geometris kolom penukar (harga L/D), harga FD cenderung naik dengan semakin besarnya harga L/D (pada kondisi operasi, $\text{pH} = 12$ dan kecepatan alir = 2,5 ml/men.) dan mencapai maksimum pada $\text{L/D} = 8,53$ dengan $\text{FD} = 52,22$.
4. Harga FD dari resin penukar-kation IRA-400 dipengaruhi oleh jumlah bahan pengompleks yang ditambahkan, dan mencapai maksimum ($\text{FD} = 102$) pada perbandingan mol sulfat/mol radionuklida = 10.
5. Aktivitas beningan dari limbah hasil olah sebesar $0,59 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/ml}$ sampai dengan $1,5 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/ml}$ memenuhi standar aman untuk didispersi ke lingkungan. (sesuai dengan standar $\text{KTD} = 10^{-7} \mu\text{Ci/ml}$, mengacu pada SK.Dirjen BATAN No.10/DJ/II/1986).

2. Huzen Zamroni, Studi pengolahan limbah cair Np-237 dan uranium dengan penukar anion, Skripsi Sarjana Teknik Nuklir, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta (1993).
3. Benedict, M., Pigford, T. H. and Levi, H.W., Nuclear Chemical Engineering, Mc Graw-Hill Book Company, USA (1981).
4. Choppin, G. R and Rydberg, J., Nuclear Chemistry Theory and Application, Pergamon Press, Toronto (1980).
5. Kunin, R. and Myers, R.J., Ion exchange resin, John Willey and Sons Inc., New York (1950).
6. Hooper, E.W. et al, The low and intermedite radioactive waste treatments using inorganic ion-exchanger, Hardwell, London (1984) 6-4.

DISKUSI

M. Faruq:

1. Komentar judul: Harap disebut :Neptunium dan Uranium sebab Np-237 salah satu isotop Np. Dengan disebut Np-237 seolah-olah tidak berlaku untuk isotop Np lain misalnya Np-235, 236 dan lain-lain.
2. Bagaimana perlakuan awal terhadap penukar anion (resin).
3. Faktor dekontaminasi dengan satuan $\mu\text{Ci/ml}$, ini hanya menyatakan jumlah isotop aktif saja. Sedangkan dalam uranium terdapat juga isotop non radioaktif misal U-238. Apakah tidak lebih baik dalam satuan massa (berat).

Ign. Djoko Sardjono:

1. Dalam proses pertukaran ion (anion) faktor yang dominan berpengaruh adalah sifat kimianya; perbedaan isotopis tidak akan merubaha zat kimia Np dalam larutan sehingga kondisi operasi yang berlaku untuk Np-237 berlaku juga untuk Np yang lain.
2. Penukar anion diperlakukan awal dengan cara dekantasi dengan air bebas mineral/air suling.
3. Faktor dekontaminasi dinyatakan dalam suatu harga yang tidak bersatuan dengan rumusan sederhana:

$$FD = \frac{A_0}{A_1} = \frac{\text{Aktivitas limbah awal sebelum diolah}}{\text{Aktivitas limbah akhir setelah diolah}}$$

Sedangkan aktivitas residu dari limbah hasil olah dinyatakan dalam $\mu\text{Ci/ml}$ untuk melihat apakah nilainya sudah memenuhi harga KTD konsentrasi tertinggi yang diizinkan dari radioaktivitas di lingkungan.

Djarot S. WIisubroto:

Mengingat bahwa pada proses olah ulang menghasilkan limbah cair dengan media asam nitrat. Pada asam nitrat Np mempunyai valensi IV, V, VI kalau limbah dalam percobaan berdasar pada limbah dari *reprocessing* apakah sebelum percobaan Np ini diatur valensinya ?

Ign. Djoko Sardjono:

Tidak (Np tidak diatur valensinya). Dalam penelitian ini dipakai larutan standar Np-237 dengan pengenceran pada volume tertentu memenuhi kriteria aktivitas limbah aktivitas rendah yaitu $2,65 \times 10^{-4} \mu\text{Ci/ml}$. Dan bentuk spesies ionik dari Np yang bervariasi menurut pH larutannya sebagai Np^{3+} , Np^{4+} , NpO_2^+ atau NpO_5^{3-} adalah merupakan hipotesa.