

---

# PENGARUH PENAMBAHAN ION SULFAT TERHADAP REKOVERI PEMISAHAN URANIUM MENGGUNAKAN METODE KOLOM PENUKAR ANION

Boybul, Yanlinastuti, Dian Anggraini, Aslina Br. Ginting,  
Arif Nugroho, Rosika Kriswarini

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN  
Kawasan Puspiptek Serpong Gd.20, Tangerang Selatan, Banten 15314  
e-mail : boybul@batan.go.id

(Naskah diterima: 10-10-2017, Naskah direvisi: 26-10-2017, Naskah Disetujui: 29-10-2017)

## ABSTRAK

**PENGARUH PENAMBAHAN ION SULFAT TERHADAP REKOVERI PEMISAHAN URANIUM MENGGUNAKAN METODE KOLOM PENUKAR ANION.** Pada penelitian sebelumnya telah diperoleh rekovert pemisahan uranium sebesar 68,2137 % dengan metode kolom penukar anion menggunakan pelarut HCl 12 N. Dalam usaha untuk meningkat rekovert tersebut maka dilakukan optimasi parameter pemisahan uranium dengan pelarut campuran HCl dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Larutan standar uranyl nitrat sebanyak 500 µL digunakan sebagai umpan dengan larutan HCl variasi konsentrasi 6 N; 9 N; 12 N dan larutan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> variasi konsentrasi 500 ; 1000 ; 1500 ; 2000 ; 2500 dan 3500 ppm sebagai larutan pereaksi. Dalam proses penukar anion, uranium terikat dalam resin dalam senyawa kompleks [UO<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>]<sup>4-</sup> dan [UO<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>]<sup>2-</sup>, kemudian dielusi menggunakan larutan HCl encer 0,15 N sebanyak 15 mL. Hasil elusi dipanaskan sampai hampir kihat dan ditambahkan 1 mL larutan HCl pekat untuk dilakukan proses elektrodeposisi. Planset *stainless steel* yang telah terdeposisi uranium kemudian dicacah menggunakan spektrometer alpha. Hasil pengukuran isotop uranium diperoleh kandungan <sup>235</sup>U yang paling besar pada penggunaan pelarut HCl 9 N dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1500 ppm dengan rekovert pemisahan sebesar 95,7124 %. Optimasi parameter pelarut HCl 9 N dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1500 ppm selanjutnya digunakan untuk pemisahan uranium di dalam PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al pasca iradiasi. Supernatan U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al potongan *bagian top*, *middle*, dan *bottom* dipipet masing-masing sebanyak 500 µL sebagai umpan, kemudian dimasukkan ke dalam kolom penukar anion yang telah diberi resin Dowex-Cl sebanyak 1 gram. Dari hasil pemisahan diperoleh kandungan isotop <sup>235</sup>U pada PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al pascairadiasi potongan bagian *top*, *middle*, dan *bottom* masing-masing sebesar 13265,7866 µg/gPEB; 6923,9248 µg/gPEB; dan 12332,4175 µg/gPEB. Penggunaan pelarut HCl 9 M dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1500 ppm dalam metode kolom penukar anion dapat meningkatkan rekovert pemisahan uranium dari 68,2137 % menjadi 95,7124 %.

**Kata kunci:** pemisahan, uranium, rekovert, pelarut HCl dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

---

## ABSTRACT

**EFFECT OF SULFATE ION ON THE RECOVERY OF URANIUM SEPARATION BY ANION EXCHANGE COLUMN METHOD.** In the previous research, it was observed that the recovery of uranium separation by anion exchange column method with HCl 12 N solvent was 68.2137 %. The recovery can be increased by optimizing the uranium separation parameters by the use of HCl and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solvent mixture. A 500 µL uranyl nitrate standard solution was used as feed with varied HCl concentration of 6 N, 9 N, 12 N and varied Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentration of 500, 1000, 1500, 2000, 2500 and 3500 ppm as reagent solution. In the anion exchange process, uranium was bound by the resin to form [UO<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>]<sup>4-</sup> and [UO<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>]<sup>2-</sup> complex compounds, and these complexes were eluted with 15 mL of 0.15 N HCl dilute solution. The eluate was heated to nearly dried condition and 1 mL of HCl concentrated solution was added for electrodeposition process. The uranium deposited on stainless steel planset, as the result of electrodeposition process, was analyzed with alpha spectrometer. It was observed that the largest <sup>235</sup>U content was found in 9M of HCl solvent and 1500 ppm of Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> with 95.7124 % recovery. Therefore, the concentration value of HCl of 9 N and 1500 ppm of Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> were subsequently applied to the uranium separation of irradiated U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al fuel element plate. An amount of 500 µL supernatan of U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al specimen taken from the top, middle and bottom position of fuel element plate (FEP) were put into an anion exchange column containing 1 g of Dowex-Cl resin. The results of the separation process were <sup>235</sup>U isotope identified according to their position in the irradiated U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al fuel element plate i.e. top, middle, and bottom. It was found that the recovery values were 13265.7866 µg/gFEP; 6923.9248 µg/gFEP; and 12332.4175 µg/gFEP representing their position of top, middle and bottom respectively. It is concluded that the use of 9M of HCl solvent and 1500 ppm of Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> by anion exchange column method can improve uranium separation recovery from 68.2137 % to 95.7124 %.

**Keywords:** separation, uranium, recovery, HCl and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solvents

## PENDAHULUAN

Bahan bakar nuklir yang telah mengalami reaksi fisi di dalam reaktor akan menghasilkan beberapa komposisi isotop hasil fisi dan unsur bermassa berat. Kelimpahan isotop hasil fisi pada bahan bakar pasca iradiasi dapat diketahui dari rasio isotop yang berbeda seperti U, Pu, Nd, Cs, Eu, Sr, Ce, Zr, Kr, dan Xe[1]. Selain itu, dapat juga diketahui dari rasio isotop sebagai parameter *burnup* seperti rasio  $^{235}\text{U}/\text{Uo}$  (dimana Uo adalah rasio  $^{235}\text{U}$  awal) dan rasio  $^{239}\text{Pu}/^{235}\text{U}$ [2,3]. Komposisi isotop U, Pu, Nd, dan Cs sangat mudah diketahui dalam bahan bakar dengan menggunakan spektrometer massa. Namun kendala yang dihadapi adalah Instalasi Radiometalurgi (IRM) belum memiliki alat tersebut, sehingga penentuan komposisi isotope U, Pu, Nd, dan Cs dilakukan dengan proses pemisahan terlebih dahulu untuk selanjutnya dapat diukur dan dianalisa menggunakan spektrometri alfa maupun gamma. Data isotop hasil pengukuran selanjutnya digunakan untuk perhitungan *burn up*.

Perhitungan *burn up* bahan bakar  $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$  di IRM dilakukan dengan menggunakan rasio  $^{235}\text{U}/\text{Uo}$ . Oleh karena itu diperlukan metode yang valid untuk melakukan pemisahan isotop  $^{235}\text{U}$  di dalam pelat elemen bakar (PEB)  $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$  pasca iradiasi. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan pemisahan  $^{235}\text{U}$  dalam larutan standar  $\text{U}_3\text{O}_8$  20% dengan metode kolom penukar anion menggunakan resin Dowex dengan pelarut HCl 12 N (tanpa ion sulfat). Hasil pemisahan  $^{235}\text{U}$  dalam sampel  $\text{U}_3\text{O}_8$  20% dengan menggunakan parameter diatas diperoleh rekoveri sebesar 68,2137% pada volume umpan optimum sebesar 500  $\mu\text{L}$ [4]. Prinsip proses penukar anion fokus kepada sistim fasa padat (fasa diam) dan fasa cair (fasa gerak) yaitu pertukaran anion dalam suatu bahan padat (resin atau polimer) dengan anion dalam larutan. Reaksi pertukaran anion yang terjadi antara isotop uranium dengan resin Dowex 1x8-Cl dalam media pelarut HCl mengikuti persamaan reaksi (1) dan (2).



Pada persamaan reaksi (1) resin dan uranium dalam senyawa kompleks  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  dikondisikan dalam media HCl 12N dalam senyawa kompleks  $\text{Res-N}^+-(\text{CH}_3)_3\text{UO}_2\text{Cl}_3^-$ . Agar diperoleh senyawa uranium yang bebas pengotor maka resin  $\text{Res-N}^+-(\text{CH}_3)_3\text{UO}_2\text{Cl}_3^-$  dielus dengan menggunakan air sehingga diperoleh senyawa  $\text{UO}_2\text{Cl}_3^-$  seperti yang ditunjukkan pada persamaan reaksi (2). Senyawa kompleks  $\text{UO}_2\text{Cl}_3^-$  dalam efluen uranium dikenakan proses elektrodposisi dan diukur dengan spektrometer alfa untuk mengetahui kandungan isotop  $^{235}\text{U}$  yang teradsorpsi.

Sebagai pengembangan dari penelitian diatas maka pada penelitian lanjutan telah dilakukan pembakuan metode

pemisahan  $^{235}\text{U}$  dengan metode kolom penukar anion menggunakan resin Dowex dengan jenis pelarut adalah campuran  $\text{HNO}_3$  3 M dengan metanol 50 : 50 %volume pelarut. Hasil rekoveri dengan menggunakan metode diatas diperoleh rekoveri pemisahan maksimum sebesar 83,83 %. Sementara itu, penggunaan pelarut HCl dengan metanol dengan perbandingan pada 10:90 %volume diperoleh rekoveri pemisahan uranium sebesar 90,68 %[5]. Dalam usaha untuk meningkatkan rekoveri pemisahan  $^{235}\text{U}$  dari bahan bakar maka akan dilakukan penelitian pemisahan  $^{235}\text{U}$  dengan metode kolom penukar anion menggunakan resin Dowex dengan jenis pelarut adalah campuran HCl

9N dengan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Penambahan ion sulfat diduga dapat meningkatkan penyerapan (adsorpsi) resin Dowex erhadap uranium[6]. Efluent U yang keluar dari kolom pertama dikisatkan dengan menggunakan HCl 9 N dengan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sehingga diperoleh larutan kompleks uranium sulfat sebagai umpan pada kolom kedua. Resin Dowex yang telah

terkondisi asam klorida akan menyerap senyawa kompleks UO<sub>2</sub>[(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>]<sup>4-</sup> dan melepas anion klorida di dalam kolom. Proses pengikatan atau adsorpsi yang terjadi antara resin Dowex dan uranium dalam media pelarut HCl 9 N dengan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> mengikuti persamaan reaksi (3), (4) dan (5).



Penelitian yang sama pernah dilakukan oleh peneliti M.R.Kowsari, *et.al* [7]. Peneliti tersebut melakukan pemisahan uranium dari batuan menggunakan metode *batch* dengan resin IRA 910 dan jenis pelarut adalah Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pada konsentrasi 2655 mg/L. Metode *batch* yang digunakan terdiri dari beberapa variasi parameter antara lain besaran pH antara 1,5 hingga 8 dengan waktu kontak antara 30 hingga 200 detik pada kondisi tanpa anion (blank) dan dengan anion pada konsentrasi (SO<sub>4</sub>)<sup>2-</sup> sebesar 2655 mg/L hingga 4000 mg/L. Hasil optimasi parameter kolom penukar anion menggunakan metode ini diperoleh pada pH > 2 dengan konsentrasi (SO<sub>4</sub>)<sup>2-</sup> sebesar 2655 mg/L dengan rekovery pemisahan <sup>235</sup>U sebesar 98 %. Berdasarkan optimasi parameter diatas dengan hasil rekovery yang sangat besar 98%, maka dilakukan pemungutan <sup>235</sup>U dalam standar U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> 20 % dengan metode kolom penukar anion menggunakan resin Dowex yang bertujuan untuk mengetahui rekovery pemisah uranium dan selanjutnya akan digunakan untuk pemisahan <sup>235</sup>U di dalam larutan PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al pasca iradiasi.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan rekovery pemisahan <sup>235</sup>U di dalam bahan bakar pasca iradiasi, sehingga data untuk perhitungan *burn up* dapat diperoleh secara akurat.

## METODOLOGI

Rekovery pemisahan uranium dilakukan dengan metode kolom penukar anion menggunakan resin Dowex 1x8-Cl<sup>-</sup>. Larutan uranil nitrat sebanyak 500 µL digunakan sebagai umpan dengan larutan HCl variasi konsentrasi 6 N; 9 N; 12 N dan larutan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> variasi konsen trasi 500 ; 1000 ; 1500 ; 2000 ; 2500 dan 3500 ppm sebagai larutan pereaksi. Penentuan rekovery dilakukan melalui 2 tahap, tahap pertama dilakukan optimasi konsentrasi larutan HCl dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dalam larutan umpan. Optimasi konsentrasi HCl dilakukan dengan memipet larutan uranil nitrat sebanyak 500 µL (triplo) sebagai larutan umpan kolom, kemudian dipanaskan pada suhu 100 °C sampai kikat. Larutan HCl dengan variasi konsentrasi 6 N; 9 N dan 12 N sebanyak 10 mL ditambahkan pada masing- masing larutan umpan yang telah kikat. Pada setiap larutan umpan ditambahkan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebanyak 29,2 mg untuk mendapatkan konsentrasi ion sulfat sebesar 2500 ppm. Masing-masing larutan umpan dimasukkan ke dalam kolom penukar anion yang telah berisi resin Dowex 1x8-Cl sebanyak 1 gram (sebelumnya telah dikondisikan menggunakan larutan HCl 9 N sebanyak 20 mL). Kecepatan alir diatur sebesar 0,5 mL per detik. Setelah proses penukar anion selesai, uranium yang terikat dalam resin kemudian dielusi menggunakan HCl encer 0,15 N sebanyak 15 mL[8]. Hasil

elusi dipanaskan sampai hampir kisdan dan ditambahkan 1 mL larutan HCl pekat untuk dilakukan proses elektrodeposisi. Planset *stainless steel* (SS) yang telah terdepositasi uranium kemudian dicacah menggunakan spektrometer alpha pada energi 4,194 MeV( $^{238}\text{U}$ ); 4,397MeV( $^{235}\text{U}$ ); 4,494 MeV ( $^{236}\text{U}$ ); 4,777 MeV( $^{234}\text{U}$ ). Besarnya rekoveri pemisahan uranium dihitung berdasarkan jumlah cacah sebelum dan sesudah proses pemisahan uranium.

Sementara itu, pada tahap kedua dilakukan optimum konsentrasi  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dengan menambahkan serbuk  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  sebanyak 7,4 mg; 14,8 mg; 22,2 mg; 29,6 mg dan 51,8 mg kedalam larutan umpan uranil nitrat (5 buah) untuk mendapatkan konsentrasi  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  masing masing sebesar 500 ppm; 1000 ppm; 1500 ppm; 2000 ppm dan 3500 ppm. Sebelum penambahan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  larutan umpan terlebih dahulu ditambah pelarut HCl dengan konsentrasi

optimum yang diperoleh pada tahap pertama. Langkah penentuan optimasi konsentrasi  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dilakukan sama seperti langkah pada penentuan konsentrasi HCl optimum. Parameter optimum yang diperoleh dari tahap pertama dan kedua kemudian digunakan untuk parameter pemisahan uranium dalam supernatan PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$  densitas 2,96  $\text{gU}/\text{cm}^3$  pasca iradiasi pada potongan bagian *bottom*, *middle* dan *top*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemisahan uranium dengan menggunakan media pelarut campuran HCl variasi konsentrasi 6 N; 9 N; 12 N dengan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  pada konsentrasi 2500 ppm diperoleh kandungan uranium ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ;  $^{236}\text{U}$  dan  $^{234}\text{U}$ ) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan isotop uranium dalam standar uranil nitrat

Konsentrasi HCl (N)	Kandungan isotop ( $\mu\text{g}$ )				Rekoveri pemisahan U (%)
	$^{238}\text{U}$	$^{235}\text{U}$	$^{236}\text{U}$	$^{234}\text{U}$	
6	18,5533	5,0285	0,0005	0,0289	49,4386
9	35,5755	9,7120	0,0009	0,0554	95,4843
12	34,0581	9,5467	0,0007	0,0532	93,8591

Tabel 1 menunjukkan bahwa hasil pengukuran dengan spektrometer alfa diperoleh kandungan uranium  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ;  $^{236}\text{U}$  dan  $^{234}\text{U}$  dan cacah paling besar diperoleh pada penggunaan media pelarut HCl dengan konsentrasi 9 N. Pada konsentrasi HCl 6 N hingga 9 N diperoleh kandungan uranium meningkat hingga rekoveri pemisahan sebesar 95,4843 %. Sementara itu, pada penggunaan konsentrasi HCl hingga 12 N terjadi penurunan cacah uranium walaupun tidak secara signifikan dengan rekoveri sebesar 93,8591 %. Besarnya rekoveri pemisahan uranium diperoleh dari perhitungan kandungan  $^{235}\text{U}$  di dalam 500  $\mu\text{L}$  sampel standar uranil nitrat sebesar 10,1713  $\mu\text{g}$  (sertifikat) dibanding

kandungan  $^{235}\text{U}$  dari hasil pengukuran pada Tabel 1. Dari Tabel 1 diketahui bahwa penggunaan HCl dengan konsentrasi 9 N hingga 12 N dalam pemisahan uranium sudah menunjukkan hasil baik karena rekoveri pemisahan diperoleh diatas 90 %. Fenomena ini jelas terlihat bahwa meningkatnya konsentrasi HCl sangat berpengaruh terhadap pembentukan senyawa kompleks uranium. Pada konsentrasi HCl 6 N senyawa kompleks uranium yang terbentuk masih bermuatan positif atau netral sehingga tidak dapat bertukar dengan ion  $\text{Cl}^-$  pada resin Dowex-Cl. Sementara itu, penggunaan HCl pada konsentrasi lebih besar dari 9 N hingga 12 N senyawa kompleks uranium yang terbentuk

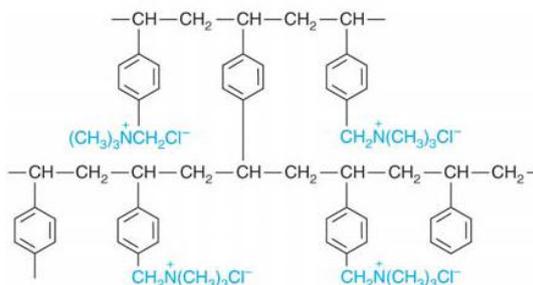
adalah anion  $UCl_6^{2-}$  (bermuatan negatif) seperti yang terlihat pada Tabel 2[9].

Tabel 2. Pengaruh konsentrasi HCl dalam pembentukan senyawa kompleks uranium[9]

Konsentrasi HCl (N)	Senyawa kompleks uranium
0,5 – 2,0	$U^{4+}$
2,0 – 6,0	$UCl^{3+}$
6,0 – 9,0	$UCl_2^{2+}$
9,0 – 12,0	$UCl_6^{2-}$

Tabel 2 menunjukkan bahwa pembentukan kompleks uranium (kation  $U^{4+}$ ) dimulai pada konsentrasi HCl 0,5 N. Pada konsentrasi HCl 2 N hingga 6 N terbentuk kompleks uranium bermuatan positif dalam bentuk kation  $UCl^{3+}$  sedangkan pada konsentrasi HCl 6 N hingga 9 N terbentuk senyawa kompleks kation  $UCl_2^{2+}$ . Peningkatan konsentrasi HCl dari 9 N menjadi 12 N (keasaman berlebih) telah terbentuk senyawa kompleks uranium dalam bentuk anion  $UCl_6^{2-}$ . Dari uraian pada Tabel 2 dapat diketahui bahwa penggunaan HCl sebagai pelarut dalam pemisahan uranium menggunakan resin Dowex1x8-Cl sangat baik dilakukan pada konsentrasi HCl antara 9 hingga 12 N, karena senyawa kompleks anion yang terbentuk adalah  $UCl_6^{2-}$ . Hal ini karena resin Dowex 1x8-Cl merupakan resin penukar anion dengan tipe *strong base resin* atau (gugus basa kuat) yang tersusun dari *styrene divinyl benzene* (DVB) yang diaktifkan dengan gugus ammonium kuartener dan ditempel oleh ion  $Cl^-$ . Struktur

ikatan kimia dari resin Dowex 1x8-Cl seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur kimia Dowex 1x8-Cl[10]

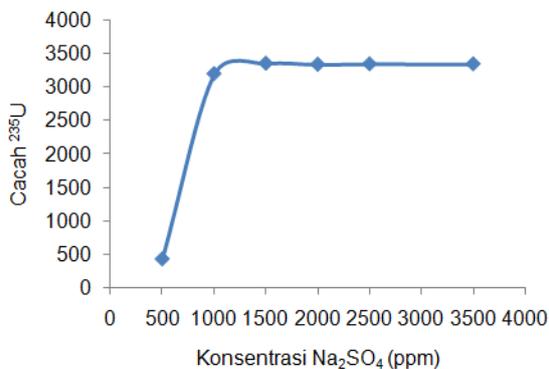
Resin penukar anion (R-Cl) berfungsi untuk menukar anion–anion yang terdapat dalam larutan dengan anion  $Cl^-$  di resin. Secara umum dapat dinyatakan bahwa resin tipe penukar anion hanya dapat menyerap anion (senyawa kompleks dengan muatan negatif) dan tidak dapat menyerap senyawa dalam bentuk kation (senyawa kompleks dengan muatan positif) atau netral. Terbentuknya anion  $UCl_6^{2-}$  di dalam larutan menyebabkan resin mampu mengikat uranium melalui proses pertukaran anion dengan ion  $Cl^-$  yang terdapat di resin.

Konsentrasi HCl optimal pada 9 N digunakan sebagai pelarut bersama  $Na_2SO_4$  dengan variasi konsentrasi pada 500; 1000; 1500; 2000; 2500 dan 3000 ppm. Efluen U yang keluar dari kolom penukar anion diukur kandungan isotop U-nya menggunakan spektrometer alfa. Hasil pengukuran efluen U menggunakan pelarut HCl 9 N dengan variasi  $Na_2SO_4$  ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kandungan isotop U pada HCl 9M dengan variasi konsentrasi  $Na_2SO_4$

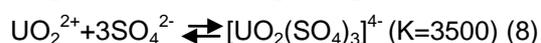
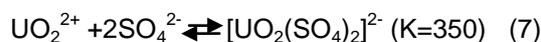
Berat $Na_2SO_4$ (mg)	Konsentrasi $Na_2SO_4$ (ppm)	Kandungan isotop ( $\mu g$ )				Rekoveri pemisahan U (%)
		$^{238}U$	$^{235}U$	$^{236}U$	$^{234}U$	
7,4	500	329	440	149	8508	12,5450
14,8	1000	2729	3203	1118	68543	91,3216
22,2	1500	2854	3357	1530	74842	95,7124
29,6	2000	2652	3342	1522	71602	95,2847
40,7	2500	2579	3349	1129	69618	95,4843
51,8	3500	2629	3348	1479	70340	95,4557

Tabel 3 menunjukkan bahwa kandungan uranium yang terbesar diperoleh pada HCl 9 N dengan konsentrasi  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  optimal pada 1500 ppm. Penggunaan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dengan konsentrasi 500 ppm hingga 1500 ppm terjadi peningkatan kandungan isotop uranium dan cenderung konstan pada konsentrasi  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  lebih besar dari 1500 ppm. Hal ini disebabkan proses pertukaran anion berlangsung dengan waktu sampai mencapai kondisi jenuh, dalam hal ini terjadi pada konsentrasi 1500 ppm sampai dengan 3500 ppm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pada keadaan ini, proses pertukaran anion tidak terjadi lagi sehingga jumlah uranium yang diserap oleh resin tidak meningkat dengan penambahan ion sulfat. Selain itu, penambahan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  yang berlebih kemungkinan larutan mengandung ion  $\text{SO}_4$ ,  $\text{UO}_2(\text{SO}_4)^{2-}$  yang ikut berkompetitif dengan uranium dalam penyerapan oleh resin sehingga terjadi penurunan serapan uranium dalam resin.



Gambar 2. Pengaruh konsentrasi ion sulfat terhadap cacah isotop U

Penambahan ion sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) dalam larutan mengakibatkan terjadi reaksi dengan uranium mengikuti persamaan reaksi (6), (7) dan (8) [11].



Persamaan reaksi (6), (7) dan (8) menunjukkan bahwa dengan penambahan 2 dan 3 ion sulfat akan terbentuk senyawa anion kompleks uranium sulfat  $[\text{UO}_2(\text{SO}_4)_2]^{2-}$  dan  $[\text{UO}_2(\text{SO}_4)_3]^{4-}$ . Pada persamaan reaksi (8) nilai konstanta kestabilan (K) paling besar sehingga reaksi berlangsung kekanan dan senyawa kompleks  $[\text{UO}_2(\text{SO}_4)_3]^{4-}$  yang terbentuk semakin stabil dan dapat terikat dengan kuat oleh resin. Afinitas atau selektivitas resin yang kuat terhadap kompleks anion uranium sulfat dapat dijelaskan berdasarkan hukum Coulomb. Gaya tarik-menarik antara muatan yang berbeda (positif dan negatif) akan semakin kuat bila ion memiliki valensi tinggi dan muatan (q) besar seperti yang ditunjukkan pada persamaan 9[12].

$$F_{1,2} = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad (9)$$

dengan :

k = konstanta  $9 \times 10^9 \text{ (Nm}^2/\text{C}^2)$

$F_{1,2}$  = gaya tarik menarik 2 muatan ion

$q_1, q_2$  = muatan ion

r = jari-jari ion

Oleh karena itu, resin Dowex 1x8-Cl dengan gugus fungsional yang bermuatan positif ( $-\text{CH}_2\text{-N}(\text{CH}_3)_3^+$ ) akan mengikat senyawa kompleks  $[\text{UO}_2(\text{SO}_4)_3]^{4-}$  lebih kuat dari pada ion  $\text{Cl}^-$  atau ion  $\text{UCl}_6^{2-}$ .

Dalam proses pertukaran anion dengan resin Dowex 1x8-Cl terjadi pertukaran senyawa kompleks  $[\text{UO}_2(\text{SO}_4)_3]^{4-}$  dengan 4 buah ion  $\text{Cl}^-$  seperti yang terlihat Gambar 1, sehingga jumlah uranium yang terserap oleh resin akan lebih banyak. Fenomena ini menyebabkan jumlah uranium yang terserap meningkat dibanding tanpa ada ion sulfat dalam larutan. Hal ini didukung oleh hasil penelitian sebelumnya yang membandingkan antara besar cacah isotop uranium dengan penambahan ion sulfat dan tanpa penambahan ion sulfat seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil cacah isotop U tanpa dan dengan ion sulfat[4]

Isotop U	Net Area (cacah)	
	tanpa ion sulfat	dengan ion sulfat
<sup>238</sup> U	1551	2469
<sup>235</sup> U	2185	3272
<sup>236</sup> U	812	949
<sup>234</sup> U	40701	66799

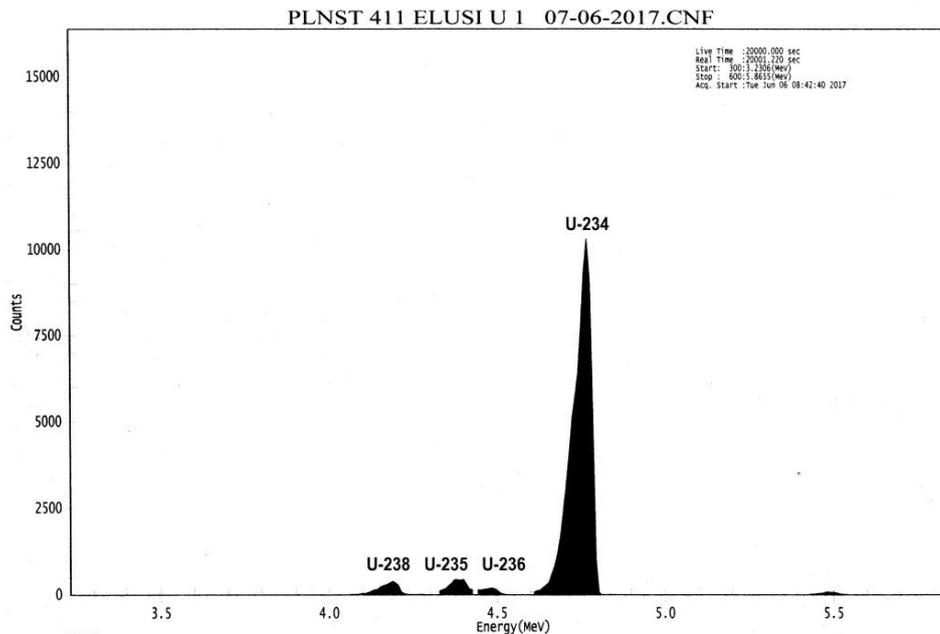
Dari Tabel 4 diketahui bahwa adanya penambahan ion sulfat dalam larutan umpan uranil nitrat dapat meningkatkan penyerapan (sorpsi) uranium ke dalam resin. Hal ini menunjukkan bahwa ion sulfat dapat membentuk senyawa kompleks anion

dengan uranium seperti yang telah diuraikan diatas.

Parameter optimal yang telah diperoleh yaitu pelarut campuran antara HCl 9 N dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pada konsentrasi 1500 ppm digunakan untuk pemisahan uranium di dalam supernatan PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al pasca iradiasi. Hasil pemisahan uranium dalam supernatan PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al pada bagian *top*, *middle* dan *bottom* menggunakan metode kolom penukar anion dengan resin Dowex dituangkan pada Tabel 5. Besarnya kandungan masing-masing isotop pada Tabel 5 diperoleh dari hasil evaluasi spektrum <sup>238</sup>U ; <sup>235</sup>U ; <sup>234</sup>U dan <sup>236</sup>U hasil pemisahan menggunakan pelarut ion sulfat seperti yang terlihat pada Gambar 3.

Tabel 5. Kandungan isotop uranium pada PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al pascairadiasi

Potongan PEB U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> /Al	Kandungan isotop U (µg/g PEB)			
	<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>234</sup> U	<sup>236</sup> U
<i>Top</i>	84135,3000	13265,7866	8,6340	106,3730
<i>Middle</i>	60929,9151	6923,9248	10,6290	80,2873
<i>Bottom</i>	258590,3982	12332,4175	13,2176	144,8844



Gambar 3. Spektrum isotop <sup>238</sup>U ; <sup>235</sup>U ; <sup>234</sup>U dan <sup>236</sup>U hasil pemisahan

Gambar 3 menunjukkan bahwa spektrum masing masing isotop mempunyai resolusi yang baik karena dapat terpisah dengan jelas (tidak berimpit)[13,14]. Pada energi 4,194 MeV terbentuk spektrum  $^{238}\text{U}$ ; pada energi 4,397 MeV terbentuk spektrum  $^{235}\text{U}$ ; pada energy 4,494 MeV terbentuk spektrum  $^{236}\text{U}$  dan pada energy 4,777 MeV terbentuk spectrum isotope  $^{234}\text{U}$ . Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan pelarut ion sulfat dapat meningkatkan rekoveri pemisahan uranium dari 68,2137% menjadi 95,7124%.

### SIMPULAN

Penggunaan pelarut campuran antara HCl dengan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  untuk pemisahan uranium dalam metode kolom penukar anion dengan menggunakan resin Dowex-Cl sangat baik dilakukan karena dapat meningkatkan rekoveri pemisahan. Parameter optimal untuk pemisahan uranium baik dilakukan pada HCl dengan konsentrasi 9 N dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  pada konsentrasi 1500 ppm. Penambahan ion sulfat dapat meningkatkan rekoveri pemisahan uranium dari 68,2137 % (hasil penelitian sebelumnya) menjadi 95,7124 %. Hal ini menyebabkan pemungutan  $^{235}\text{U}$  di dalam PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$  pasca iradiasi juga meningkat. Kandungan isotop  $^{235}\text{U}$  pada PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$  pasca iradiasi potongan *bagian top*, *middle* dan *bottom* masing-masing diperoleh sebesar 13265,7866  $\mu\text{g/gPEB}$ ; 6923,9248  $\mu\text{g/gPEB}$ ; dan 12332,4175  $\mu\text{g/gPEB}$ . Data isotop  $^{235}\text{U}$  dalam PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$  pasca iradiasi selanjutnya digunakan untuk perhitungan *burn up*.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Ibu. Aslina Br.Ginting sebagai penanggung jawab kegiatan "Pengujian Pra Dan Pasca iradiasi Bahan Bakar Reaktor Riset" yang

dibiayai oleh DIPA 2017. Selain itu, ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Ibu Iis Haryati, Ibu Sutri Indaryati dan Ibu Sayyidatun Nisa yang telah membantu pelaksanaan penelitian hingga terwujud pembuatan makalah ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] S.K. Jung, S.J. Young, D.P. Soon, K.H. Yeong, S. Kyuseok, "Analysis of high burnup pressurized water reactor fuel using Uranium, Plutonium, Neodymium, and Cesium isotope correlations with burnup," *Nuclear Engineering Technology*, vol. 47, pp. 924-933, 2015.
- [2] A.B. Ginting, Boybul, A. Nugroho, D. Anggraini, R. Kriswarini, "Analisis Isotop  $^{137}\text{Cs}$  dan  $^{235}\text{U}$  untuk penentuan *burn up* pelat elemen bakar  $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$  tingkat muat uranium 2,96  $\text{gU/cm}^3$  pasca iradiasi," *Jurnal Teknologi Bahan Nuklir*, vol. 11, no. 2 hal.83-98, 2015.
- [3] A.B. Ginting and P. H. Liem, "Absolute burnup measurement of LEU silicide fuel plate irradiated in the RSG GAS multipurpose reactor by destructive radiochemical technique," *Annals of Nuclear Energy*, vol. 85, pp. 613-620, 2015.
- [4] Boybul, Yanlinastuti, D. Anggraini, A. Nugroho, R. Kriswarini, A. B. Ginting, "Analisis kandungan cesium dan uranium dalam bahan bakar  $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$  pasca iradiasi," *Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, vol.23, no.2, hal. 108 – 122, 2017.
- [5] D. Anggraini, Boybul, Yanlinastuti, A. Nugroho, R. Kriswarini, A. B. Ginting, "Pengaruh pelarut organik pada proses pertukaran anion dalam pemisahan uranium dari larutan  $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$  pasca iradiasi," *Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, vol.23, no.2, hal. 97-106, 2017.

- 
- [6] A.C.Q. Caderra and L.C. Sicupira, "Application of ion exchange resin to recover uranium from acid mine drainage," *Proceeding of The 13th International Conference of Environmental Science and Technology*, 2013.
- [7] M. R. Kowsari, H. Sepehrian, J. Fasihi, M. Arabieh, M. Mahani, "Adsorptive behavior of an amberlite anion exchanger resin for uranium (VI) sorption in the presence of sulfate anions," *International Journal of Engineering*, vol. 29, no. 2, pp. 170-175, 2016.
- [8] A. Ahmadpour, M. Zabihia, M. Tahmasbi, T. R. Bastami, "Effect of adsorbents and chemical treatments on the removal of strontium from aqueous solutions," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 182, pp. 552-556, 2010.
- [9] M. Solgy, M. Taghizadeh, D. Ghoddocynejad, "Adsorption of uranium (VI) from sulphate solutions using amberlite IRA-402 Resin: equilibrium, kinetics and Thermodynamics Study," *Annals of Nuclear Energy*, vol. 75, pp. 132–138, 2015.
- [10] S. H. Lee, H. Chung, "Ion exchange characteristics of palladium and rhodium from a simulated radioactive liquid waste," *Journal of Nuclear Science and Technology*, vol. 37, no. 3, pp. 281-287, 2012.
- [11] J. S. Fritz, "Factor Affecting Selectivity on Ion Chromatography," *Journal of Chromatography*, vol. 1085, pp. 8-17, 2005.
- [12] O. B. Acikara, "Ion exchange chromatography on the application," Ankara University, Faculty of Pharmacy, Department of Pharmacognosy, Ankara, Turkey, 2013. DOI :10.5772/55744
- [13] J. Veliscek-Carolan, "Separation of actinides from spent nuclear fuel : A review," *Journal of Hazardous Materials*, vol.318, pp. 266-281, 2016. DOI : 10.1016/j.jhazmat.2016.07.027
- [14] A. Dyer, R. Harjula, J. Newton, M. Pillinger, "Synthesis and characterization of mesoporous silica phases containing heteroatoms and their cation exchange process. Part 5 : Cation exchange isotherms, and the measurement of radioisotope distribution coefficients for an MCM-22 phase containing aluminium," *Journal of Microporous and Mesoporous Materials*, vol. 135, no. 1-3, pp. 21-29, 2010.