

PEMISAHAN URANIUM DARI PEB U_3Si_2/Al PASCA IRADIASI DENGAN METODE KOLOM PENUKAR ANION

Boybul, Yanlinastuti, Iis Haryati, Sutri Indaryati,
Dian Anggraini, Aslina Br. Ginting
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir

ABSTRAK

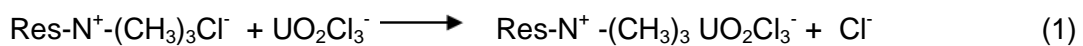
Pada penelitian sebelumnya telah diperoleh rekovery pemisahan uranium sebesar 68,2137 % dengan metode kolom penukar anion menggunakan pelarut HCl 12 M. Dalam usaha untuk meningkatkan rekovery tersebut maka dilakukan optimasi parameter pemisahan uranium dengan pelarut campuran HCl dan Na_2SO_4 . Larutan standar uranyl nitrat sebanyak 500 μL digunakan sebagai umpan dengan larutan HCl variasi konsentrasi 6M; 9M; 12M dan larutan Na_2SO_4 variasi konsentrasi 500 ; 1000 ; 1500 ; 2000 ; 2500 dan 3500 ppm sebagai larutan pereaksi. Dalam proses penukar anion, uranium terikat dalam resin dalam senyawa kompleks $[UO_2(SO_4)_3]^{4-}$ dan $[UO_2(SO_4)_2]^{2-}$, kemudian dielusi menggunakan larutan HCl encer 0,1 M sebanyak 15 mL. Hasil elusi dipanaskan sampai kikat dan ditambahkan 1 mL HNO_3 pekat dan dipanaskan lagi sampai kikat untuk dilakukan proses elektrodposisi. Plaset *stainless steel* yang telah terdposisi uranium kemudian dicacah menggunakan spektrometer alpha. Hasil pengukuran isotop uranium diperoleh kandungan U yang paling besar pada penggunaan pelarut HCl 9 M dan Na_2SO_4 1500 ppm dengan rekovery pemisahan sebesar 96,153 %. Optimasi parameter pelarut HCl 9 M dan Na_2SO_4 1500 ppm selanjutnya digunakan untuk pemisahan uranium di dalam PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi. Supernatan U_3Si_2/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 g. Dari hasil pemisahan diperoleh kandungan isotop ^{235}U pada PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi potongan bagian *top*, *middle*, dan *bottom* masing-masing sebesar 13265,7866 $\mu g/g$ PEB; 6923,9248 $\mu g/g$ PEB; dan 12332,4175 $\mu g/g$ PEB. Penggunaan pelarut HCl 9 M dan Na_2SO_4 1500 ppm dalam metode kolom penukar anion dapat meningkatkan rekovery pemisahan uranium dari 68,2137 % menjadi 96,153 %.

Kata kunci: pemisahan, uranium, rekovery, pelarut HCl dan Na_2SO_4

PENDAHULUAN

Bahan bakar nuklir yang telah mengalami reaksi fisi di dalam reaktor akan menghasilkan beberapa komposisi isotop hasil fisil dan unsur bermassa berat. Kelimpahan isotop hasil fisil 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 $^{235}U/U_0$ (dimana U_0 adalah rasio ^{235}U awal) dan rasio $^{239}Pu/^{235}U$ ^[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 isotop U, Pu, Nd, dan Cs dilakukan dengan proses pemisahan terlebih dahulu untuk selanjutnya dapat diukur dan dianalisis menggunakan spektrometri alpha maupun gamma. Data isotop hasil pengukuran selanjutnya digunakan untuk perhitungan *burn-up*.

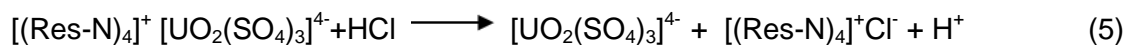
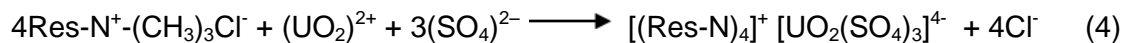
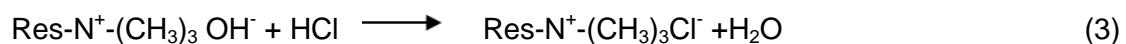
Perhitungan *burn up* bahan bakar U_3Si_2/Al di IRM dilakukan dengan menggunakan rasio $^{235}U/U_0$. Oleh karena itu diperlukan metode yang valid untuk melakukan pemisahan isotop U di dalam pelat elemen bakar (PEB) U_3Si_2/Al pasca iradiasi. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan pemisahan U dalam larutan standar U_3O_8 20% dengan metode kolom penukar anion menggunakan resin Dowex dengan pelarut HCl 12 N (tanpa ion sulfat). Hasil pemisahan U dalam sampel U_3O_8 20% dengan menggunakan parameter diatas diperoleh rekoverti sebesar 68,214 % pada volume umpan optimum sebesar 500 μL ^[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 Dowex1x8-Cl dalam media pelarut HCl mengikuti persamaan reaksi berikut^[5].



Pada persamaan reaksi (1) resin dan uranium dalam senyawa kompleks $UO_2(NO_3)_2$ 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 $\text{Res-N}^+-(\text{CH}_3)_3\text{UO}_2\text{Cl}_3^-$ dielusi dengan menggunakan air sehingga diperoleh senyawa $UO_2\text{Cl}_3^-$ seperti yang ditunjukkan pada persamaan reaksi (2). Senyawa kompleks $UO_2\text{Cl}_3^-$ dalam efluen uranium selanjutnya dikenakan proses elektrodposisi dan diukur dengan spektrometer alpha untuk mengetahui kandungan isotop ^{235}U yang teradsorpsi.

Sebagai pengembangan dari penelitian diatas pada penelitian lanjutan telah dilakukan pembakuan metode pemisahan U dengan metode kolom penukar anion menggunakan resin Dowex dengan jenis pelarut adalah campuran HNO_3 3 M dengan metanol berbanding 50 : 50% volume pelarut. Hasil rekoverti dengan menggunakan metode tersebut diperoleh rekoverti pemisahan uranium maksimum sebesar 83,83 %. Sementara itu, penggunaan pelarut HCl dengan metanol dengan perbandingan pada 10:90 % volume diperoleh rekoverti pemisahan uranium sebesar 90,68%^[5]. Dalam usaha untuk meningkatkan rekoverti pemisahan U dari bahan bakar maka dilakukan penelitian pemisahan U dengan metode kolom penukar anion menggunakan resin Dowex dengan jenis pelarut adalah campuran HCl 9N dengan Na_2SO_4 . Penambahan ion sulfat diduga dapat meningkatkan penyerapan (adsorpsi) resin Dowex terhadap uranium^[6]. Efluent U yang keluar dari kolom pertama dikisatkan, selanjutnya dengan menggunakan HCl 9N dan Na_2SO_4 sehingga diperoleh larutan kompleks uranium sulfat sebagai umpan pada kolom kedua. Resin Dowex yang telah terkondisi asam khlorida akan menyerap senyawa

kompleks $\text{UO}_2[(\text{SO}_4)_3]^{4-}$ dan melepas anion khlorida di dalam kolom. Proses pengikatan atau adsorpsi yang terjadi antara resin Dowex dan uranium dalam media pelarut HCl 9N dengan Na_2SO_4 mengikuti reaksi kimia sebagai berikut ^[6].



Penelitian yang sama pernah dilakukan oleh peneliti M.R.Kowsari, etc dari Taheran-Iran^[7]. Peneliti tersebut melakukan pemisahan uranium dari batuan menggunakan metode *batch* dengan resin IRA 910 dan jenis pelarut adalah Na_2SO_4 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 $(\text{SO}_4)^{2-}$ sebesar 2655 mg/L hingga 4000 mg/L. Hasil optimasi parameter kolom penukar anion menggunakan metode ini diperoleh pada pH > 2 dengan konsentrasi $(\text{SO}_4)^{2-}$ sebesar 2655 mg/L dengan rekoveri pemisahan U sebesar 98 %. Berdasarkan optimasi parameter diatas dengan hasil rekoveri yang sangat besar 98 %, maka dilakukan pemisahan U dalam standar U_3O_8 20% dengan metode kolom penukar anion menggunakan resin Dowex yang bertujuan untuk mengetahui rekoveri pemisahan uranium dan selanjutnya akan digunakan untuk pemisahan U di dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan rekoveri pemisahan U di dalam bahan bakar pasca iradiasi, sehingga data untuk perhitungan *burn up* dapat diperoleh secara akurat.

METODOLOGI

Pemisahan uranium dilakukan dengan metode kolom penukar anion menggunakan resin Dowex 1x8-Cl⁻. Larutan standar uranil nitrat 100 ppm U sebanyak 500 μL digunakan sebagai umpan dalam larutan HCl bervariasi dengan konsentrasi 6M; 9M; 12M dan larutan Na_2SO_4 variasi konsentrasi 500 ; 1000 ; 1500 ; 2000 ; 2500 dan 3500 ppm sebagai larutan pereaksi. Penentuan rekoveri dilakukan melalui 2 (dua) tahap, dimana pada tahap pertama dilakukan optimasi konsentrasi larutan HCl dan Na_2SO_4 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 kering. Larutan HCl dengan variasi konsentrasi 6M; 9M dan 12M sebanyak 10 mL ditambahkan pada masing- masing larutan umpan yang telah kikat. Pada setiap larutan umpan ditambahkan Na_2SO_4 sebanyak 29,6 mg untuk mendapatkan konsentrasi ion sulfat

sebesar 2000 ppm. Masing-masing larutan umpan dimasukkan ke dalam kolom penukar anion yang telah berisi resin Dowex 1x8-Cl sebanyak 1g (sebelumnya telah dikondisikan menggunakan larutan HCl 9M sebanyak 20 mL). Kecepatan alir diatur sebesar 0,3 mL per menit. Setelah proses penukar anion selesai, uranium yang terikat dalam resin kemudian dielusi menggunakan larutan HCl encer 0,1 M sebanyak 15 mL^[8]. Hasil elusi dipanaskan sampai kihat dan ditambahkan 1 mL larutan HNO₃ pekat dan dipanaskan sampai kering, kemudian ditambah larutan elektrolit untuk selanjutnya dilakukan proses elektrodeposisi. Plasket *stainless steel* (SS) yang telah terdepositasi U kemudian dicacah menggunakan spektrometer alpha pada energi 4,194 MeV (²³⁸U); 4,397 MeV (²³⁵U); 4,494 MeV (²³⁶U); 4,777 MeV (²³⁴U). Besarnya rekoveri pemisahan U dihitung berdasarkan jumlah cacah sebelum dan sesudah proses pemisahan U.

Sementara itu, pada tahap kedua dilakukan optimasi konsentrasi Na₂SO₄ dengan menambahkan serbuk Na₂SO₄ sebanyak 7,4 mg; 14,8 mg; 22,2 mg; 29,6 mg; 37,0 mg dan 51,8 mg kedalam larutan umpan uranil nitrat (5 buah) untuk mendapatkan konsentrasi Na₂SO₄ masing masing sebesar 500 ppm; 1000 ppm; 1500 ppm; 2000 ppm; 2500 ppm dan 3500 ppm. Sebelum penambahan Na₂SO₄ larutan umpan terlebih dahulu ditambah pelarut HCl dengan konsentrasi optimum yang diperoleh pada tahap pertama. Langkah penentuan optimasi konsentrasi Na₂SO₄ dilakukan sama seperti langkah pada penentuan konsentrasi HCl optimum. Parameter optimum yang diperoleh dari tahap pertama dan kedua kemudian digunakan untuk parameter pemisahan U dalam supernatan PEB U₃Si₂/Al densitas 2,96 gU/cm³ pasca iradiasi pada potongan bagian *bottom*, *middle* dan *top*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemisahan uranium dengan menggunakan media pelarut campuran antara HCl variasi konsentrasi 6, 9, 12 M dengan Na₂SO₄ pada konsentrasi 2000 ppm diperoleh kandungan uranium (²³⁸U, ²³⁵U; ²³⁶U dan ²³⁴U) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan isotop uranium dalam standar uranil nitrat dengan variasi konsentrasi HCl

Konsentrasi HCl (M)	Kandungan isotop (µg)				Rekoveri pemisahan U (%)
	²³⁸ U	²³⁵ U	²³⁶ U	²³⁴ U	
6	17,866	5,162	0,047	0,029	47,222
9	35,228	9,949	0,112	0,057	90,691
12	32,797	9,740	0,070	0,053	85,320

Tabel 1 menunjukkan bahwa hasil pengukuran dengan spektrometer alpha diperoleh kandungan uranium ²³⁸U, ²³⁵U; ²³⁶U dan ²³⁴U dan cacah paling besar diperoleh pada

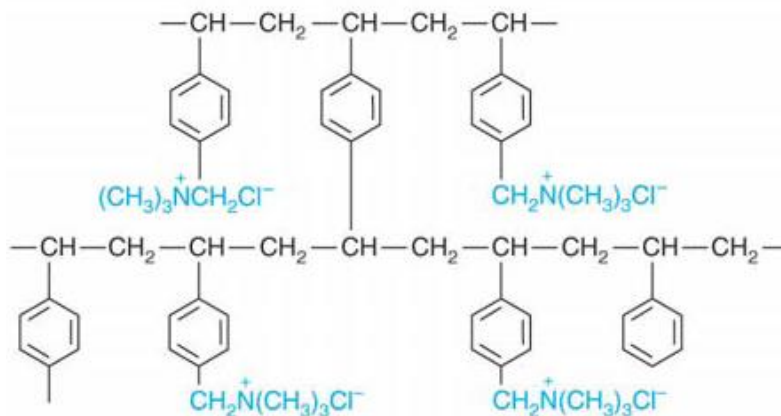
penggunaan media pelarut HCl dengan konsentrasi 9 M. Pada konsentrasi HCl 6 M hingga 9 M diperoleh kandungan uranium meningkat hingga rekovery pemisahan sebesar 90,691 %. Sementara itu, pada penggunaan konsentrasi HCl hingga 12M terjadi penurunan cacah uranium dengan rekovery sebesar 85,320 %. Besarnya rekovery pemisahan uranium diperoleh dari perhitungan kandungan isotop uranium ($^{238}\text{U} + ^{235}\text{U} + ^{236}\text{U} + ^{234}\text{U}$) di dalam 500 μL sampel standar uranil nitrat sebesar 50 μg (sertifikat) dibanding kandungan isotop U dari hasil pengukuran pada Tabel 1. Tabel 1 diketahui bahwa penggunaan HCl pada konsentrasi 9 M sebagai pelarut dalam pemisahan uranium sudah baik karena rekovery pemisahan yang diperoleh diatas 90 %. Fenomena ini jelas terlihat bahwa besarnya konsentrasi HCl sangat berpengaruh terhadap pembentukan senyawa kompleks uranium. Pada konsentrasi HCl 6M senyawa kompleks uranium yang terbentuk masih terbentuk muatan positif atau netral sehingga tidak dapat bertukar dengan ion Cl^- pada resin Dowex-Cl. Sementara itu, penggunaan HCl pada konsentrasi lebih besar dari 9M hingga 12 M senyawa kompleks uranium yang terbentuk adalah UCl_6^{2-} (bermuatan negative) seperti yang terlihat pada Tabel 2^[9].

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

Konsentrasi HCl (M)	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 M. Pada konsentrasi HCl 2 M hingga 6 M terbentuk kompleks uranium bermuatan positif dalam bentuk kation UCl^{3+} sedangkan pada konsentrasi 6 M hingga 9 M terbentuk senyawa kompleks kation UCl_2^{2+} . Peningkatan konsentrasi HCl dari 9 M menjadi 12 M (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 M, karena senyawa kompleks anion yang terbentuk adalah UCl_6^{2-} . Hal ini disebabkan 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]

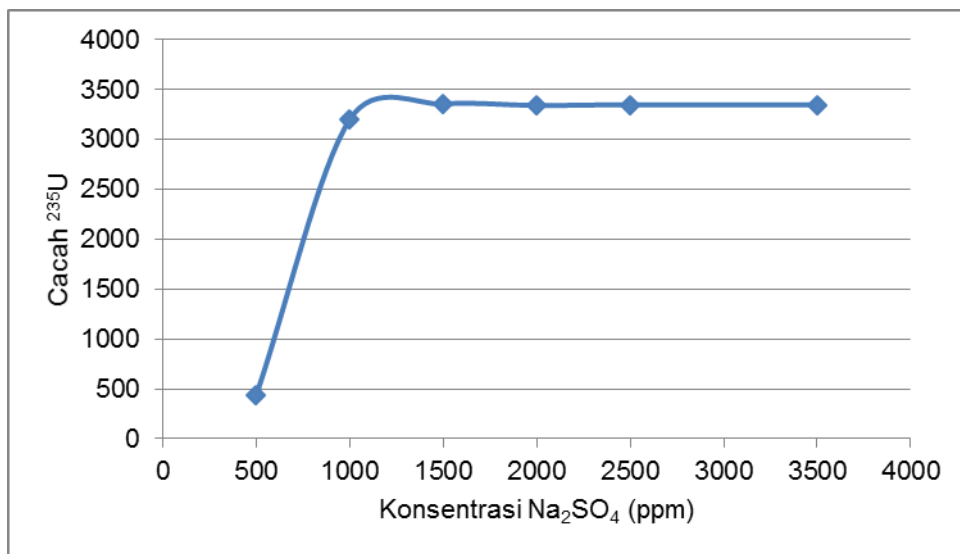
Resin penukar anion (R-Cl) berfungsi untuk menukar anion – anion yang terdapat dalam larutan dengan anion Cl^- di resin. Secara umum dapat dinyatakan bahwa resin tipe penukar anion hanya dapat menyerap anion (senyawa kompleks dengan muatan negatif) dan tidak dapat menyerap senyawa dalam bentuk kation (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 dalam resin.

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

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

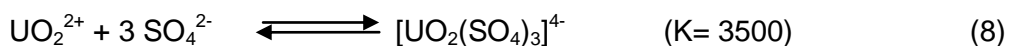
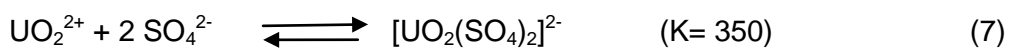
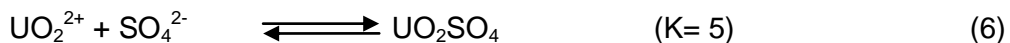
Berat Na_2SO_4 (mg)	Konsentrasi Na_2SO_4 (ppm)	Kandungan isotop (μg)				Rekoveri pemisahan U (%)
		^{238}U	^{235}U	^{236}U	^{234}U	
7,4	500	4,370	1,310	0,011	0,007	11,396
14,8	1000	36,251	9,535	0,083	0,054	91,845
22,2	1500	37,911	9,993	0,113	0,059	96,153
29,6	2000	35,228	9,949	0,112	0,057	90,691
37,0	2500	34,258	9,969	0,083	0,055	88,372
51,8	3500	34,922	9,966	0,109	0,056	90,107

Tabel 3 menunjukkan bahwa kandungan uranium yang terbesar diperoleh pada HCl 9M dengan konsentrasi Na₂SO₄ optimal pada 1500 ppm. Penggunaan Na₂SO₄ dengan konsentrasi 500 ppm hingga 1500 ppm terjadi peningkatan kandungan isotop uranium dan cenderung konstan pada konsentrasi Na₂SO₄ 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 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 Na₂SO₄ yang berlebih kemungkinan larutan mengandung ion SO₄, UO₂(SO₄)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 (Na₂SO₄) dalam larutan akan bereaksi dengan uranium sebagai berikut [11].



Persamaan reaksi (6), (7) dan (8) menunjukkan bahwa dengan penambahan 2 dan 3 ion sulfat akan membentuk senyawa anion kompleks uranium sulfat [UO₂(SO₄)₂]²⁻ dan [UO₂(SO₄)₃]⁴⁻. Pada reaksi (8) nilai konstanta kestabilan (K) paling besar sehingga reaksi berlangsung kekanan dan senyawa kompleks yang terbentuk [UO₂(SO₄)₃]⁴⁻ 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, bahwa gaya

tarik-menarik antara muatan yang berbeda (positip dan negatif) akan semakin kuat bila ion memiliki valensi tinggi dan muatan (q) mempunyai nilai besar seperti yang ditunjukkan pada persamaan sebagai berikut ^[11].

$$F_{1,2} = (q_1 \times q_2)/r^2$$

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

q_1, q_2 = muatan ion

r = jari-jari ion

Oleh karena itu, resin Dowex 1x8-Cl dengan gugus fungsional bermuatan positip ($-\text{CH}_2\text{-N}(\text{CH}_3)_3^+$) akan mengikat senyawa kompleks $[\text{UO}_2(\text{SO}_4)_3]^{4-}$ lebih kuat dari pada ion Cl^- atau ion 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 Cl^- seperti yang terlihat Gambar 1 sehingga jumlah uranium yang terserap oleh resin akan lebih banyak. Fenomena ini menyebabkan jumlah uranium yang terserap akan meningkat dibanding tanpa ada ion sulfat dalam larutan. Hal ini di dukung dari hasil penelitian sebelumnya yang membandingkan 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
^{238}U	1551	2469
^{235}U	2185	3272
^{236}U	812	949
^{234}U	40701	66799

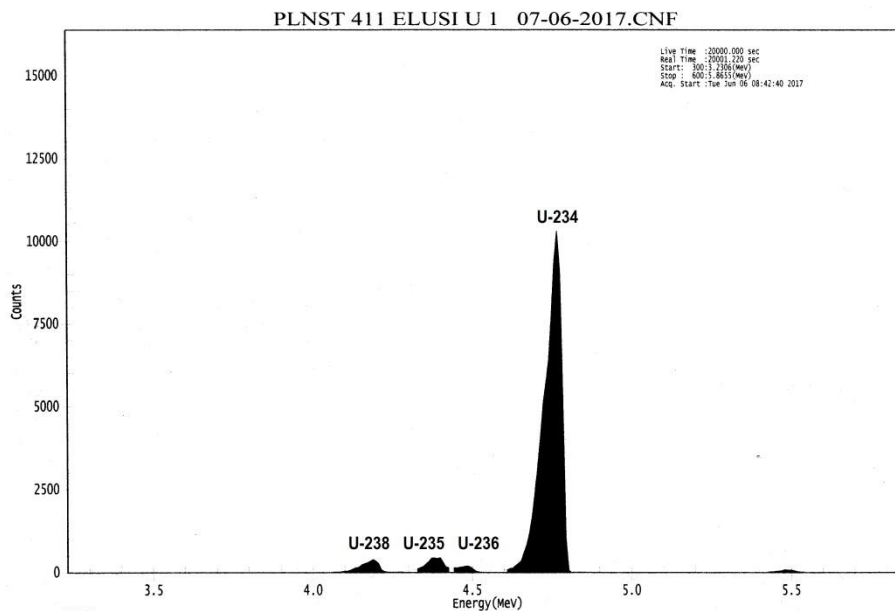
Tabel 4 diketahui bahwa adanya penambahan ion sulfat dalam larutan umpan uranil nitrat dapat meningkatkan penyerapan (adsorpsi) uranium pada resin. Hal ini menunjukkan bahwa ion sulfat dapat membentuk senyawa kompleks anion dengan uranium seperti yang telah diuraikan diatas.

Parameter optimal yang telah diperoleh yaitu pelarut campuran antara HCl 9M dan Na_2SO_4 pada konsentrasi 1500 ppm digunakan untuk pemisahan uranium di dalam supernatan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi. Hasil pemisahan uranium dalam supernatan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pada potongan bagian *top*, *middle* dan *bottom* menggunakan metode kolom penukar anion dengan resin Dowex-Cl dituangkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Kandungan isotop uranium pada PEB U_3Si_2/Al pascairadiasi

Cuplikan PEB U_3Si_2/Al	Kandungan isotop U ($\mu g/g$ PEB)			
	^{238}U	^{235}U	^{234}U	^{236}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

Besarnya kandungan masing-masing isotop pada Tabel 5 diperoleh dari hasil evaluasi spektrum ^{238}U ; ^{235}U ; ^{234}U dan ^{236}U hasil pemisahan menggunakan pelarut ion sulfat seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Spektrum isotop ^{238}U ; ^{235}U ; ^{234}U dan ^{236}U hasil pemisahan

Gambar 2 menunjukkan bahwa spektrum masing-masing isotop mempunyai resolusi yang baik karena dapat terpisah dengan jelas (tidak berimpit)^[12,13]. Pada energi 4,194 MeV terbentuk spektrum ^{238}U ; pada energi 4,397 MeV terbentuk spektrum ^{235}U ; pada energy 4,494 MeV terbentuk spektrum ^{236}U dan pada energy 4,777 MeV terbentuk spectrum isotope ^{234}U . Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan pelarut ion sulfat dapat meningkatkan rekovery pemisahan uranium dari 68,214 % menjadi 96,153 %.

KESIMPULAN

Penggunaan pelarut campuran antara HCl dengan Na₂SO₄ untuk pemisahan uranium dalam metode kolom penukar anion menggunakan resin Dowex-Cl sangat baik dilakukan karena dapat meingkatkan rekoveri pemisahan. Parameter optimal pemisahan uranium dilakukan dengan HCl pada konsentrasi pada 9M dan Na₂SO₄ pada 1500 ppm. Penambahan ion sulfat dapat meningkatkan rekoveri pemisahan uranium dari 68,214 % (hasil penelitian sebelumnya) menjadi 96,153 %. Hal ini menyebabkan pemungutan uranium di dalam PEB U₃Si₂/Al pasca iradiasi juga meningkat. Kandungan isotop ²³⁵U pada PEB U₃Si₂/Al pasca iradiasi potongan *bagian top*, *middle*, dan *bottom* masing-masing diperoleh sebesar 13265,7866 µg/gPEB; 6923,9248 µg/gPEB; dan 12332,4175 µg/gPEB. Data isotop ²³⁵U dalam PEB U₃Si₂/Al pascairadiasi selanjutnya digunakan untuk perhitungan *burn up*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada 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 teman-teman yang telah membantu pelaksanaan penelitian hingga terwujud pembuatan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Jung S.K., Young S.J., Soon D.P., Yeong-K.H., Kyuseok S. Analysis Of High Burnup Pressurized Water Reactorfuel Using Uranium, Plutonium, Neodymium, and Cesium Isotope Correlations With Burnup. Nuclear Engineering Technologi. 2015; Volume 47:page 924 - 933. Nuclear Chemistry Research Division, Korea Atomic Energy Research Institute, Korea.
2. Aslina B.Ginting, Boybul., Arif N., Dian A., Rosika.. Analisis Isotop ¹³⁷Cs dan ²³⁵U Untuk Penentuan *Burn Up* Pelat Elemen Bakar U₃Si₂/Al Tingkat Muat Uranium 2,96 gU/cm³ Pasca Iradiasi. Journal Teknologi Bahan. Nuklir; Juni 2015; 11 (2) :83-98.
3. Aslina B.G., Peng H.L. Absolute Burnup Measurement of LEU Silicide Fuel Plate Irradiated in the RSG-GAS Multipurpose Reactor by Destructive Radiochemical Technique. Annals of Nuclear Energy. 2015; 85: 613-620.
4. Boybul, Yanlinastuti, Dian A., Arif N., Rosika K., Aslina B. G. Analisis Kandungan Cesium Dan Uranium Dalam Bahan Bakar U₃Si₂/Al Pasca Iradiasi. URANIA-Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir . Juni 2017; 23 (2) : 108 – 122.

5. Dian Angraini, Boybul, Yanlinastuti, Arief N, Rosika K, Aslina B G. Pengaruh Pelarut Organik Pada Proses Pertukaran Anion Dalam Pemisahan Uranium Dari Larutan U_3Si_2/Al Pasca Iradiasi. *URANIA-Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir*. Juni 2017; 23 (2): 97 – 106.
6. ACQ Cadera and LC Sicupira, Application of Ion Exchange Resin To Recover Uranium From Acid Mine Drainage, *Proceeding of The 13 th Int, Conf of Enviromental 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*. February 2016. Vol. 29, No. 02, page 170-175.
8. A. Ahmadpour, M. Zabihia, M. Tahmasbi, T. Rohani Bastami. Effect of Adsorbents and Chemical Treatments on the Removal of Strontium from Aqueous Solutions. *Journal of Hazardous Materials*. 2010; 182 : 552-556. Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad-Iran.
9. Mostafa Solgy, Majid Taghizadeh, Davood Ghodocynejad. Adsorption of Uranium(VI) from Sulphate Solutions Using AmberliteIRA-402 Resin:Equilibrium, Inetics and Thermodynamics Study. *Annals of Nuclear Energy*. 2015. Vol, 75; page 132–138.
10. James S Fritz, Factor Affecting Selectivity on Ion Cromatography. *Journal of Chromatography*. 2005. Vol. 1085, page 8-17
11. [11] Ozlem Bahadir Acikara, Ion Exchange Chromatography on the application, <http://dx.doi.org/105772 1557b44>.
12. Jessica V.C., Separation of Actinides From Spent Nuclear Fuel. *Journal of Hazardous Materials*. 2016; Vol.318: page 266-281. Australian Nuclear Science and Technology Organisation, Locked Bag 2001, Kirrawee DC, NSW, 2232, Australia.
13. Alan D., Risto H., Jon N., Martyn P. Cation Exchange Isotherms, and the Measurement of Radioisotope Distribution Coefficients for an MCM-22 Phase Containing Aluminium. *Journal of Microporous and Mesoporous Materials*. 2010; Vol. 135 : 21-29. Institute of Materials Research, Cockcroft Building, University of Salford, M5 4WT, UK.