

Reduksi Torium Pada Limbah Cair Pengolahan Monasit Menggunakan Resin Penukar Anion

Reduction of Thorium in Monazite Processing Wastewater Using Anion-Exchange Resins

Laili Hasna^{1*}, Suci Amalia¹, Dany Poltak Marisi²

¹Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Jalan Gajayana No. 50, Kota Malang, Indonesia, 65144

²Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir-BATAN
Jl. Lebak Bulus Raya No. 9, Pasar Jumat, Jakarta, Indonesia, 12440

*E-mail: lailihasna2898@gmail.com

Naskah diterima: 4 September 2020, direvisi: 23 September 2020, disetujui: 24 September 2020

DOI: 10.17146/eksplorium.2020.41.2.6006

ABSTRAK

Dampak dari pemisahan logam tanah jarang pada monasit adalah limbah cair yang mengandung unsur radioaktif torium yang berbahaya bagi lingkungan dan makhluk hidup. Metode standar dalam pemisahan torium dari limbah cair adalah dengan menggunakan resin penukar anion. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis resin penukar anion, massa resin, dan waktu kontak yang optimum untuk menurunkan kadar torium dalam limbah cair monasit. Hasil menunjukkan bahwa laju penukaran optimum terjadi pada resin *Amberlite IRA402* dengan waktu kontak 60 menit dan massa 1 gram yaitu sebesar 57,7%. Sementara itu, pada resin *Tulsion A23*, laju penukaran optimum sebesar 50,7% terjadi pada waktu kontak 50 menit dan massa resin 1 gram. Uji statistik menunjukkan tidak ada perbedaan nyata pada variasi jenis resin dan waktu kontak yang menunjukkan nilai signifikan $>0,05$. Pada waktu yang sama, terdapat perbedaan nyata pada variasi massa resin dengan hasil nilai signifikan $<0,05$. Uji *Duncan* menyatakan massa resin kecil (0,25 dan 0,5 gram) cocok untuk *Tulsion A23* dan massa resin besar (0,75 dan 1 gram) cocok untuk resin *Amberlite IRA402*.

Kata kunci: torium, limbah cair, monasit, resin penukar anion, spektrofotometer UV-Vis

ABSTRACT

The effect of separating rare earths from monazite is wastewater containing the radioactive element thorium which is harmful to the environment and living things. A standard method of separating thorium from wastewater is with anion-exchange resin. This study determines the optimum type of anion-exchange resin, resin weight, and contact time to reduce thorium levels in monazite wastewater. The results showed that the optimum exchange rate that occurred in Amberlite IRA402 resin is 57.7%, at 60 minutes and 1 gram. Meanwhile, the optimum exchange rate for Tulsion A23 resin is 50.7%, at 50 minutes and 1 gram. The statistical test showed that there was no significant difference in the resin type and contact time variation, which showed a considerable value >0.05 . At the same time there was a substantial difference in resin mass variation with a significant value <0.05 . The Duncan test stated that lighter resin masses (0.25 and 0.5 gram) are suitable for Tulsion A23 and heavier resin masses (0.75 and 1 gram) are ideal for Amberlite IRA402.

Keywords: thorium, wastewater, monazite, anion-exchange resin, spectrophotometer UV-Vis

PENDAHULUAN

Beberapa tahun belakangan, kebutuhan logam tanah jarang (LTJ) di dunia semakin meningkat. Keberadaan LTJ sangat dibutuhkan bagi ratusan aplikasi teknologi modern, bahan pembuatan rudal, sistem radar, dan merupakan kunci bagi munculnya teknologi hijau [1, 2]. Logam tanah jarang paling banyak terkandung dalam monasit namun sulit untuk diekstrak karena sifat-sifatnya mirip satu sama lain, sehingga untuk memisahkan tiap unsurnya memerlukan tahap pemisahan yang panjang dan sulit [3].

Monasit mengandung komponen utama berupa oksida unsur tanah jarang, fosfat, serta sebagian kecil unsur uranium (U) dan torium (Th) [4]. Torium merupakan salah satu unsur yang dapat memancarkan sinar radiasi (partikel alfa) dan merupakan salah satu kandungan dari limbah radioaktif yang dihasilkan dari pengolahan LTJ [5, 6]. Pancaran radiasi partikel alfa dapat menyebabkan kanker paru-paru, kanker kandung kemih, dan kerusakan genetika [7], sehingga torium perlu dikelola dengan baik.

Berbagai teknik seperti *ultrafiltration*, nanofiltrasi, biosorpsi, ekstraksi cair-cair, penukar ion, dan rekristalisasi merupakan metode paling umum dalam pengolahan limbah cair radioaktif. Metode penukar ion yang menggunakan resin sintesis cukup diminati dibandingkan dengan metode lainnya karena terbukti memiliki kemampuan untuk menghilangkan berbagai kontaminan dari berbagai volume, menggunakan energi yang rendah, spesifik, cepat, dapat dioperasikan pada laju alir tinggi, material dan reagen yang digunakan murah, dapat digunakan berulang kali, tidak dapat larut, *highly cross-linked*, dan tidak dapat dicairkan [8–11].

Kapasitas adsorpsi resin penukar ion dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya

pH, waktu kontak, konsentrasi awal torium, massa pengompleks, massa resin, dan suhu. Waktu kontak dan massa resin berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi penyerapan. Berdasarkan penelitian terdahulu, semakin besar massa resin semakin besar kemampuan resin dalam menyerap suatu ion [11, 12]. Demikian pula dengan waktu kontak, semakin lama waktu kontak semakin banyak ion yang teradsorpsi hingga titik jenuh [13].

Penelitian adsorpsi U^{4+} , Th^{4+} dan logam-logam berat dengan resin penukar anion *Amberlite IRA402* menunjukkan bahwa resin tersebut dapat menyerap hingga 90% uranium dalam waktu singkat [11–14]. Penelitian lainnya menggunakan metode resin penukar ion *Tulsion A23* mampu menurunkan konsentrasi unsur-unsur radioaktif, fosfat, nitrat, dan Cr^{6+} pada limbah metalurgi [15–17].

Pada penelitian ini dilakukan penurunan konsentrasi torium dalam limbah cair hasil proses pengendapan parsial logam tanah jarang oleh natrium karbonat yang diperoleh dari *pilot plant* PLUTHO-BATAN. Penurunan konsentrasi dilakukan dengan menggunakan resin penukar anion *Amberlite IRA402* dan *Tulsion A23* di laboratorium PTBGN-BATAN Jakarta. Variasi jenis resin, waktu kontak dan massa resin dilakukan untuk mengetahui proses pemisahan torium dari limbah cair radioaktif yang lebih efisien dan menggunakan energi rendah.

TATA KERJA

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain neraca analitik (Sartorius seri BSA2245-CW), *oven furnace* (Ney seri Vulcan D-550), mikropipet, *magnetic stirrer* (MaxBlend seri MP-6RS), Spektrofotometer UV-Vis (Hitachi seri U-2900), *Total*

Dissolved Solid (TDS) meter (Eutech seri PCD650), pH meter (Metrohm seri 69I), buret, kolom resin, desikator, alat gelas, kertas saring, dan *glass wool*. Bahan yang digunakan berupa limbah cair monasit; resin *Amberlite IRA-402* dan *Tulsion A-23*; larutan standar *Spex Thorium* 10000 ppm, akuades, HCl pH 0,8; torin; NaOH 1 N; H₂SO₄ 2 N; pp 0,1%; *thorin* 0,1%; asam askorbat 5%; dan Na₂SO₄.

Penentuan Nilai Kapasitas Penukaran Ion

Masing-masing resin dikeringkan di dalam oven pada suhu 80°C selama 3 jam. Resin ditimbang sebanyak 1 gram lalu ditambahkan H₂SO₄ 2 N sebanyak 20 mL, kemudian diaduk selama 2 jam dan didiamkan selama 1 malam. Filtrat diambil sebanyak 5 mL, indikator pp 0,1% ditambahkan pada larutan kemudian dititrasi dengan NaOH 1 N sampai warna berubah [18]. Nilai kapasitas penukaran dapat dihitung dengan menghitung rata-rata titrasi (1) dilanjutkan dengan menentukan konsentrasi akhir asam sulfat (2).

$$\text{Rata-rata volume titrasi} = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_4}{4} \quad (1)$$

$$M \text{ H}_2\text{SO}_4 = \frac{\text{Volume titrasi} \times [\text{NaOH}]}{\text{Vol pipet}} \quad (2)$$

Preparasi Sampel

Pengenceran limbah cair monasit dilakukan hingga 5x pengenceran. Sampel dinaikkan pH nya menjadi 9,8 dengan NaOH 5% untuk mengendapkan pengotor berupa logam tanah jarang [19]. Selanjutnya sampel dilarutkan dalam agen pengompleks Na₂SO₄ 0,3% sehingga torium dalam sampel membentuk kompleks Th(SO₄)₃²⁻ [11]. Setelah homogen, larutan disaring lalu disimpan di dalam botol sampel gelap. Setiap penambahan reagen dilakukan uji kadar

torium dengan instrumen Spektrofotometer UV-Vis dan diulangi sebanyak tiga kali.

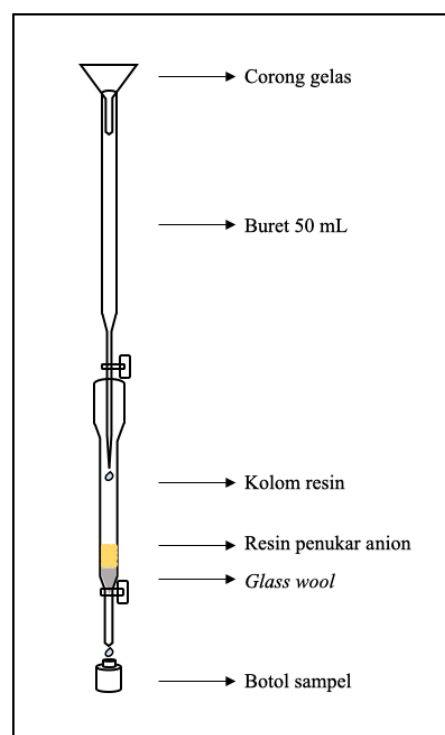
Pada tahap preparasi, torium akan bereaksi membentuk kompleks anion torium dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



Sampel yang telah dikomplekskan akan dikontakkan pada resin dengan variasi resin (*Amberlite IRA402* dan *Tulsion A23*), massa resin (0,25; 0,5; 0,75; dan 1 gram), dan waktu kontak (40, 50, 60, 70, dan 80 menit) serta dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali. Sebelum digunakan resin diaktivasi terlebih dahulu.

Penentuan Optimalisasi Penukaran Torium

Kolom resin disiapkan dengan diberi bantalan *glass wool* seberat 0,5 gram pada bagian dasar kolom. Rangkaian alat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Spesifikasi rangkaian alat.

Resin yang telah diaktivasi dimasukkan ke dalam kolom resin dengan variasi massa resin yaitu 0,25; 0,5; 0,75; dan 1 gram. Kemudian, sampel limbah cair dimasukkan ke dalam buret untuk dialirkan menuju kolom resin dengan laju alir 1 mL/menit, lalu dilakukan variasi waktu kontak 40, 50, 60, 70, dan 80 menit. Penentuan optimalisasi dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan dan pengukuran kadar torium akhir pada sampel dilakukan dengan Spektrofotometer UV-Vis.

Analisis Torium dengan Spektrofotometer UV-Vis

Metode Spektrofotometri UV-Vis menggunakan prinsip pengukuran adsorpsi cahaya pada kompleks torium-torin. Semakin banyak torium maka semakin banyak kompleks yang terbentuk dan semakin pekat pula warna sampel [20]. Sampel larutan sebanyak 5 mL dan 50 mL sampel standar dimasukkan ke dalam labu takar kemudian dalam labu tersebut ditambahkan 15 mL HCl pH 0,8; 4 mL torin 0,1%; dan 4 mL asam askorbat 5%. Setiap penambahan pereaksi dihomogenkan dan didiamkan selama 5 menit kemudian ditepatkan dengan HCl pH 0,8. Blanko yang hanya berisi pereaksi juga dibuat dengan perlakuan yang sama seperti sampel. Sampel didiamkan selama 30 menit kemudian diukur dengan instrumen Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 545 nm [19, 21].

Penentuan Nilai TDS, Konduktivitas dan pH Sampel

Penentuan Nilai TDS, konduktivitas, dan pH sampel dilakukan pada sampel yang homogen. Elektroda pada TDS meter dan pH meter yang telah dikalibrasi masing-masing dicelupkan ke dalam larutan sampel. Setelah angka pada TDS meter dan pH meter stabil, nilai TDS, konduktivitas, dan pH dicatat.

Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan.

Analisis Data

Laju penukaran torium (Th) oleh resin *Amberlite IRA402* dan *Tulsion A23* dihitung dengan persamaan (4). Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan program statistika SPSS dengan metode uji Rancangan Acak Lengkap (RAL) dan dilanjutkan dengan uji *Duncan*.

$$\text{Laju penukaran Th} = \frac{[\text{Th}_1] - [\text{Th}_2]}{[\text{Th}_1]} \times 100\% \quad (4)$$

dengan:

Th₁ = konsentrasi awal sampel

Th₂ = konsentrasi akhir sampel

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi sampel limbah cair

Sampel yang diperoleh dari *pilot plant* PLUTHO-BATAN dibawa ke laboratorium untuk diuji sifat fisika dan kimia awal dari sampel tersebut. Karakteristik awal sampel limbah cair diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik awal sampel limbah cair.

Parameter	Hasil Uji				
	1	2	3	\bar{x}	SD
pH	8,33	8,27	8,11	8,24	±0,11
TDS(ppt)	11,72	11,58	11,56	11,75	±0,18
Konduktivitas (mS/cm)	23,14	23,07	23,23	23,15	±0,08
Konsentrasi Th (ppm)	729	733	736	733	±3,51

Pengujian Spektrofotometri UV-VIS

Sampel yang semula warna biru berubah warna menjadi lebih pudar. Pada penelitian ini dilakukan 3 perlakuan yang berbeda pada tiap sampel, yaitu pengenceran sampel, pengaturan pH sampel, dan pengompleksan sampel. Setelah dilakukan uji spektrofotometri UV-Vis pada tiap perlakuan, diperoleh nilai konsentrasi torium seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data hasil uji spektrofotometer UV-Vis setiap tahap preparasi sampel.

Perlakuan	Konsentrasi torium (ppm)
Pengenceran sampel	66,85
Pengaturan pH sampel	149,57
Pengompleksan sampel	138,26

Konsentrasi torium setelah tahap pengenceran hanya sebesar 66,8 ppm disebabkan oleh banyaknya torium yang belum larut. Pada tahap ini, torium dalam sampel masih berbentuk Th^{4+} . Sampel dengan pH 9,8 dan dengan konsentrasi torium sebesar 149,6 ppm membuktikan bahwa pada lingkungan pH tersebut torium larut secara maksimal [22]. Penambahan natrium sulfat berlebih sebagai pembentuk anion kompleks torium menyebabkan turunnya konsentrasi torium pada sampel. Hal ini terjadi karena anion dari pengompleks (SO_4)²⁻ mampu mengikat torium (Th^{4+}) dan membentuk senyawa $\text{Th}(\text{SO}_4)_2$ yang dapat mengendap sehingga mengurangi jumlah torium dalam sampel [23].

Aktivasi Resin

Aktivasi resin dilakukan untuk menghilangkan molekul-molekul pelindung dan kadar air pada resin, meningkatkan sisi aktif, serta memperluas permukaan resin sehingga daya tukar resin maksimal. Kedua resin diaktivasi secara fisika dengan bantuan panas pada suhu 80°C selama 3 jam. Warna resin memudar akibat hilangnya kadar air (Gambar 2 dan 3). Secara fisik, resin tidak menempel satu sama lain maupun pada wadah.

Gambar 2. Kondisi fisik resin *Amberlite* IRA402 sebelum dan setelah aktivasi.Gambar 3. Kondisi fisik resin *Tulsion* A23 sebelum dan setelah aktivasi.

Penentuan Nilai Kapasitas Penukaran Ion

Nilai penukaran ion ditentukan untuk setiap 1 gram resin kering. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, nilai tukar anion pada resin *Amberlite* IRA402 sebesar 1,7 meq/mL dan pada resin *Tulsion* A23 sebesar 1,65 meq/mL (Tabel 3). Hasil yang diperoleh sesuai dengan standar yang ditentukan oleh masing-masing perusahaan resin. Resin *Amberlite* IRA402 memiliki nilai kapasitas tukar anion $\geq 1,2$ meq/mL dan resin *Tulsion* A23 memiliki nilai kapasitas tukar anion $\geq 1,3$ meq/mL [11, 16].

Tabel 3. Data hasil nilai kapasitas tukar ion resin *Amberlite* IRA402 dan *Tulsion* A23.

Resin	Volume titrasi (mL)	Kapasitas tukar ion (meq/mL)
<i>Amberlite</i> IRA402	10,925	1,7
<i>Tulsion</i> A23	10,55	1,65

Pengaruh Variasi Jenis Resin, Waktu Kontak dan Massa Resin Terhadap Laju Penukaran Torium

Hasil penyerapan torium menggunakan resin *Amberlite* IRA402 terhadap variasi massa resin dan waktu kontak dapat dilihat pada Tabel 4. Laju penyerapan torium tertinggi dari resin *Amberlite* IRA402 adalah 57,7%. Kondisi tersebut tercapai pada waktu kontak 60 menit dan massa resin 1 gram. Laju penyerapan torium terendah sebesar 23,9% terjadi pada waktu kontak 80 menit dan massa resin 0,25 gram.

Tabel 4. Data hasil penyerapan torium resin *Amberlite* IRA402.

Massa resin (gr)	Waktu kontak (menit)	Laju penyerapan torium (%)				
		1	2	3	\bar{x}	SD
0,25	40	30,50	33,50	26,04	30,01	±3,754
0,25	50	28,53	31,39	27,82	29,24	±1,891
0,25	60	26,75	27,91	28,78	27,81	±1,018
0,25	70	22,45	26,87	32,07	27,13	±4,817
0,25	80	20,51	28,71	22,40	23,88	±4,296
0,5	40	27,78	29,38	30,76	29,31	±1,492
0,5	50	32,54	33,14	32,16	32,61	±0,495
0,5	60	28,90	22,40	21,66	24,32	±3,982
0,5	70	23,98	23,22	30,34	25,85	±3,912
0,5	80	27,57	23,65	27,77	26,33	±2,323
0,75	40	53,72	52,69	51,37	52,60	±1,179
0,75	50	58,92	59,47	53,53	57,31	±3,288
0,75	60	51,84	51,86	48,50	50,73	±1,933
0,75	70	53,12	51,11	50,96	51,73	±1,210
0,75	80	56,99	58,36	48,42	54,59	±5,388
1	40	54,53	58,83	58,81	57,39	±2,475
1	50	50,12	56,23	58,23	54,86	±4,227
1	60	56,05	59,36	57,79	57,74	±1,657
1	70	51,82	57,72	57,12	55,55	±3,244
1	80	47,31	55,35	58,90	53,86	±5,938

Penyerapan torium oleh resin pada variasi massa resin 0,25 gram mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu kontak, sedangkan pada massa yang lebih besar titik optimum penyerapan resin terjadi pada waktu kontak 50-60 menit dan akan menurun setelah mencapai titik optimumnya. Terdapat perbedaan cukup signifikan antara massa resin 0,25 dan 0,5 gram dengan 0,75 dan 1 gram. Hal ini menunjukkan bahwa massa resin yang lebih kecil dinilai belum mampu menyerap torium dengan baik dan kemampuan resin meningkat secara signifikan pada massa resin yang lebih besar.

Hasil penyerapan torium menggunakan resin *Tulsion* A23 terhadap variasi massa resin dan waktu kontak dapat dilihat pada Tabel 5. Laju penyerapan torium tertinggi dari resin *Tulsion* A23 50,7% didapat pada waktu kontak 50 menit dan massa resin 1

gram. Sedangkan laju penyerapan torium terendah sebesar 33,6% didapat pada waktu kontak 50 menit dan massa resin 0,5 gram. Laju penyerapan torium pada resin ini optimum pada waktu kontak 50-60 menit. Kemampuan resin dalam menyerap torium cenderung tidak mengalami perbedaan yang signifikan pada variasi waktu kontak maupun variasi massa resin.

Laju penukaran torium optimum berdasarkan variasi jenis resin terjadi pada resin *Amberlite* IRA402 dengan persentase sebesar 57,735%, sedangkan resin *Tulsion* A23 hanya mampu mereduksi 50,706% torium yang terkandung dalam sampel. Laju penyerapan torium optimum kedua resin tidak berbeda jauh karena nilai kapasitas tukar ion kedua resin hampir sama sehingga kemampuannya dalam menukarkan ion pun hampir sama.

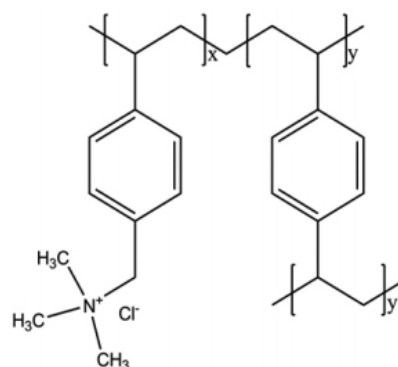
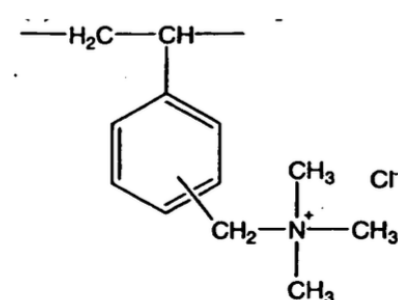
Tabel 5. Data hasil penyerapan torium resin *Tulsion A23*.

Massa resin (gr)	Waktu kontak (menit)	Laju penyerapan torium (%)				
		1	2	3	\bar{x}	SD
0,25	40	43,08	32,91	40,28	38,76	±5,25
0,25	50	41,15	33,85	40,87	38,63	±4,14
0,25	60	44,21	35,72	38,44	39,46	±4,34
0,25	70	43,51	30,13	40,56	38,06	±7,03
0,25	80	42,11	25,33	36,83	34,76	±8,58
0,5	40	40,50	35,33	31,15	35,66	±4,69
0,5	50	45,03	30,92	24,74	33,57	±10,4
0,5	60	40,13	37,07	36,62	37,94	±1,91
0,5	70	38,95	35,57	35,77	36,76	±1,90
0,5	80	41,35	33,57	36,42	37,11	±3,94
0,75	40	41,10	34,71	34,93	36,91	±3,63
0,75	50	42,78	30,26	39,69	37,58	±6,52
0,75	60	44,73	37,73	41,64	41,37	±3,51
0,75	70	44,88	31,09	43,22	39,73	±7,53
0,75	80	42,77	38,54	43,79	41,70	±2,79
1	40	49,99	40,06	49,91	46,65	±5,71
1	50	51,22	47,96	52,94	50,71	±2,53
1	60	50,37	41,50	48,29	46,72	±4,64
1	70	49,76	41,71	48,55	46,67	±4,34
1	80	49,76	44,13	48,56	47,48	±2,97

Waktu kontak optimum untuk Resin *Amberlite IRA402* adalah 60 menit sedangkan *Tulsion A23* memiliki waktu kontak optimum 50 menit. Laju penyerapan torium akan turun setelah titik optimumnya tercapai dan kemudian kemampuannya akan konstan karena resin jenuh. Hal ini dikarenakan sisi aktif resin telah terisi sepenuhnya sehingga laju penyerapan torium sebanding dengan laju pelepasannya di dalam resin.

Laju penukaran torium terbaik ditunjukkan pada resin *Amberlite IRA402* sebesar 57,7% pada waktu kontak 60 menit dan massa resin 1 gram. Resin *Amberlite IRA402* menunjukkan hasil yang lebih tinggi dibandingkan dengan *Tulsion A23* yang dapat dikaitkan dengan kekuatan *chelating* yang baik dari *Amberlite IRA402*, karena strukturnya terkoordinasi lebih baik. Struktur resin *Amberlite IRA402* yang lebih terbuka memberikan keuntungan dimana ion-ion yang akan ditukarkan lebih mudah berinteraksi dengan resin dibandingkan *Tulsion A23* yang

strukturnya cenderung padat dan/atau tertutup [24]. Struktur kimia kedua resin dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5 [26, 27].

Gambar 4. Struktur resin *Amberlite IRA402* [26].Gambar 5. Struktur resin *Tulsion A23* [27].

Uji statistika menggunakan metode RAL dilakukan pada hasil analisis untuk mengetahui pengaruh masing-masing variasi

(jenis resin, waktu kontak, dan massa resin). Hasil analisis ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Data hasil uji statistika RAL.

Sumber variasi	Derajat kebebasan	Rata-rata jumlah kuadrat	Nilai F	Signifikansi
Jenis resin	1	6,90	0,17	0,680
Massa resin	3	982,05	24,56	0,000
Waktu kontak	4	4,17	0,10	0,980

Berdasarkan hasil RAL, diperoleh nilai signifikansi untuk jenis resin adalah sebesar 0,680; massa resin 0,000; dan waktu kontak 0,980. Berdasarkan data nilai signifikansi tersebut maka hanya massa resin yang memiliki pengaruh terhadap laju penyerapan torium karena memiliki nilai signifikan $<0,05$ yang artinya H_0 ditolak atau adanya pengaruh signifikan dari variasi massa resin terhadap laju penukaran torium. Dua faktor lain, yaitu waktu kontak dan jenis, tidak berpengaruh terhadap laju penukaran resin karena nilai signifikan $>0,05$ sehingga H_0 diterima. Oleh karena itu, dilakukan pengujian uji lanjut menggunakan *Duncan* untuk faktor massa sehingga diperoleh hasil seperti terlihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Data hasil uji statistika *Duncan*.

Massa resin (gr)	Jumlah sampel (n)	<i>Tulsion</i> A23	<i>Amberlite</i> IRA402
0.50	10	31,94610	
0.25	10	32,77320	
0.75	10		46,42430
1.00	10		51,76280
Sig.		0,772	0,068

Nilai homogenitas dari variasi massa resin 0,25 gram dan 0,5 gram berturut-turut 31,95 dan 32,77 menempati subset yang sama yaitu *Tulsion* A23, sedangkan nilai homogenitas untuk variasi massa resin 0,75 dan 1 gram menempati subset *Amberlite* IRA402. Artinya, resin *Tulsion* A23 lebih unggul digunakan saat masa resin kecil (0,50

dan 0,25 gram), sedangkan resin *Amberlite* IRA402 lebih unggul digunakan saat massa resin besar (0,75 dan 1 gram).

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian diperoleh bahwa jenis resin *Amberlite* IRA402 memiliki kinerja yang lebih baik daripada *Tulsion* A23 dengan penyerapan torium optimum mencapai 57,7% pada waktu kontak 60 menit dan massa resin 1 gram. Dari variasi jenis resin, massa resin, dan waktu kontak diperoleh bahwa factor yang memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil laju penyerapan torium yaitu variasi massa resin. Hal ini berdasarkan hasil statistik menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) dan dilanjutkan dengan uji *Duncan* yang menunjukkan nilai signifikansi pada massa resin sebesar 0,000.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada PTBGN yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian sebagai syarat kelulusan dari pendidikan Sarjana di UIN Maulana Malik Malang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Saadah dan S. Kusuma, "Kebijakan Cina Membatasi Ekspor LTJ (Logam Tanah Jarang) ke Amerika Serikat," *e-SOSPOL*, vol. 1, no. 1, pp. 46 – 60, 2014.
- [2] C. Hurst, "China's Rare Earth Elements Industry: What Can the West Learn? Institute for the

- Analysis of Global Security (IAGS),” 2010.
- [3] D. Qi, “Hydrometallurgy of Rare Earths: Extraction and Separation - Dezhi Qi - Google Books,” *Elsevier Ltd*, 2018. .
- [4] M. Anggraini, Sumarni, Sumiarti, Rusyidi, dan Sugeng, “Pengendapan Unsur Tanah Jarang Hasil Digesti Monasit Bangka Menggunakan Asam Sulfat,” *Eksplorium*, vol. 33, no. 2, pp. 121–128, 2012.
- [5] M. I. Ojovan dan W. E. Lee, *Pollutants, Human Health and the Environment: A Risk Based Approach - Google Books*. London: Elsevier Ltd, 2014.
- [6] S. Martinie, J. L. Autran, D. Munteanu, F. Wrobel, M. Gedion, dan F. Saigne, “Analytical Modeling of Alpha-particle Emission Rate at Wafer-Level,” in *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Dec. 2011, vol. 58, no. 6 PART 1, pp. 2798–2803, doi: 10.1109/TNS.2011.2170851.
- [7] J. A. Plant, N. Voulvoulis, dan K. V. Ragnarsdottir, *An Introduction to Nuclear Waste Immobilisation - Michael I. Ojovan, William E. Lee - Google Books*. London: John Wiley & Sons Ltd, 2012.
- [8] P. M. Cummins, O. Dowling, dan B. F. O’Connor, “Ion-exchange Chromatography: Basic Principles and Application to the Partial Purification of Soluble Mammalian Prolyl Oligopeptidase,” *Methods Mol. Biol.*, vol. 681, pp. 215–228, 2011, doi: 10.1007/978-1-60761-913-0_12.
- [9] Indamuddin dan M. Luqman, *Ion Exchange Technology I: Theory and Materials - Google Books*. New York: Springer, 2012.
- [10] A. M. Rajesh dan K. M. Papat, “Taste Masking of Azithromycin by Resin Complex and Sustained Release Through Interpenetrating Polymer Network with Functionalized Biopolymers,” *Drug Dev. Ind. Pharm.*, vol. 43, no. 5, pp. 732–741, May 2017, doi: 10.1080/03639045.2016.1224894.
- [11] M. Solgy, M. Taghizadeh, dan D. Ghodocynejad, “Adsorption of Uranium(VI) from Sulphate Solutions using Amberlite IRA-402 Resin: Equilibrium, Kinetics and Thermodynamics Study,” *Ann. Nucl. Energy*, vol. 75, pp. 132–138, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.anucene.2014.08.009.
- [12] M. N. Kouraim, M. E. S. Sheta, dan M. M. Abd Elaal, “Investigation of Uranium Sorption from Acidic Sulfate Solution using Organosilicate Compound and Amberlite IRA 402,” *Eur. J. Chem.*, vol. 5, no. 3, pp. 446–450, Sep. 2014, doi: 10.5155/eurjchem.5.3.446-450.1026.
- [13] S. Chandramouleeswaran dan J. Ramkumar, “N-Benzoyl-n-phenylhydroxylamine Impregnated Amberlite XAD-4 Beads for Selective Removal of Thorium,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 280, pp. 514–523, Sep. 2014, doi: 10.1016/j.jhazmat.2014.08.047.
- [14] D. Kołodyńska, “Application of Strongly Basic Anion Exchangers for Removal of Heavy Metal Ions in the Presence of Green Chelating Agent,” *Chem. Eng. J.*, vol. 168, no. 3, pp. 994–1007, Apr. 2011, doi: 10.1016/j.cej.2011.01.073.
- [15] S. M. Hasibuan, “Studi Penyisihan Fosfat dan Nitrat Menggunakan Resin Penukar Ion Tulsion A-23 pada Sistem Fixed-Bed,” *Univeristas Sumatera Utara, Sumatera Utara*, 2020.
- [16] P. S. Koujalagi, S. V. Divekar, R. M. Kulkarni, dan E. M. Cuerda-Correa, “Sorptions of Hexavalent Chromium from Water and Water-organic Solvents Onto an Ion Exchanger Tulsion A-23(Gel),” *Desalin. Water Treat.*, vol. 57, no. 50, pp. 23965–23974, Oct. 2016, doi: 10.1080/19443994.2016.1138329.
- [17] P. Singare, “Radioactive tracer application to study the thermodynamics of ion exchange reactions using Tulsion A-23 and Indion-454,” *Ionics (Kiel)*, vol. 21, no. 6, pp. 1623–1630, Dec. 2015, doi: 10.1007/s11581-014-1345-3.
- [18] E. Susiantini dan M. Setyadji, “Pemisahan Zr-Hf Dalam Asam Sulfat Dengan Resin Penukar Anion,” *J. Teknol. Bahan Nukl.*, vol. 8, no. 2, pp. 67–78, 2012.
- [19] H. L. Nuri, F. R. Su. W, B. S, dan A. S, “Pengolahan Monasit Dari Limbah Penambangan Timah: Pemisahan Logam Tanah Jarang (RE) Dari U dan Th,” in *Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir V*, Feb. 2000, pp. 54–60.
- [20] M. M. Hamed dan R. F. Aglan, “Simple and sensitive method for the determination of trace amounts of thorium using a benzoquinone derivative,” *Nucl. Sci. Tech.*, vol. 30, no. 5, pp. 1–10, May 2019, doi: 10.1007/s41365-019-0606-2.
- [21] D. P. Marisi dan A. Ismayana, “Penurunan Kadar Torium dan Radioaktivitas dalam Limbah Cair Proses Pengolahan Monasit PLUTHO Menggunakan Koagulan FeSO 4,” *Eksplorium*, vol. 39, no. 1, 2018, doi: 10.17146/eksplorium.2018.39.1.4276.
- [22] K. Trinopiawan, R. Prassanti, Sumarni, dan R. Pudjianto, “Pemisahan uUranium dari Thorium pada Monasit dengan Metode Ekstraksi Pelarut Alamine,” *Eksplorium*, vol. XXXII, no. 155, pp. 47–52, May 2011, doi: 10.17146/eksplorium.2011.32.155.2829.
- [23] B. H. Prabowo, Z. Nursaidah, dan F. Safitri, “Pengaruh H₂O₂ Dalam Pengolahan Air Payau Menggunakan Metode Koagulasi dengan PAC dan Aluminium Sulfat,” *J. Tek. Media Pengemb. Ilmu dan Apl. Tek.*, vol. 18, no. 2, pp. 101 – 107, Apr. 2020, doi: 10.26874/jt.vol18no2.125.
- [24] L. Pawlowski, *Physicochemical Methods for Water and Wastewater Treatment - Google Books*. New York: Elsevier Ltd, 1982.

- [25] D. V. Morales, B. L. Rivas, dan M. González, "Synthesis and Characterization of Poly([(2-methacryloyloxy) ethyl] trimethylammonium chloride) Resin with Removal Properties for Vanadium(V) and Molybdenum(VI)," *J. Chil. Chem. Soc.*, vol. 61, no. 4, pp. 3295–3303, Dec. 2016, doi: 10.4067/S0717-97072016000400029.
- [26] H. S. D. Z. G. Shimizu, T. S. D. Z. G. Shiobara, dan T. D. Z. G. Kashiwagi, "Method of Producing High Molecular Weight Organopolysiloxane, Compositon Comprising the High Molecular Weight Organopolysiloxane, and Optical Semiconductor Device Sealed with Cured Product Thereof," EP1780235B1, Oct. 2006.