

**PENURUNAN KADAR TORIUM PADA LIMBAH CAIR PENGOLAHAN  
MONASIT MENGGUNAKAN RESIN PENUKAR ANION**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**LAILI HASNA**  
**NIM. 16630089**



**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2020**

**PENURUNAN KADAR TORIUM PADA LIMBAH CAIR PENGOLAHAN  
MONASIT MENGGUNAKAN RESIN PENUKAR ANION**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**LAILI HASNA**  
**NIM. 16630089**

**Diajukan Kepada:**  
**Fakultas Sains dan Teknologi**  
**Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang**  
**Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam**  
**Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**JURUSAN KIMIA**  
**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**  
**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM**  
**MALANG**  
**2020**

**PENURUNAN KADAR TORIUM PADA LIMBAH CAIR PENGOLAHAN  
MONASIT MENGGUNAKAN RESIN PENUKAR ANION**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**LAILI HASNA**  
**NIM. 16630089**

**Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji**  
**Tanggal: 22 Desember 2020**

**Pembimbing I**



**Suci Amalia, M.Sc**  
**NIP. 19821101 200901 2 007**

**Pembimbing II**



**Ach. Nashichuddin, M.A**  
**NIP. 10730705 200003 1 002**

**Konsultan**



**Dany Poltak Marisi, ST, M.Si**  
**NIP. 19900626 201403 1 006**

**Mengetahui,**  
**Ketua Jurusan**








**Elok Kamilah Hayati, M.Si**  
**NIP. 19790620 200604 2 002**

**PENURUNAN KADAR TORIUM PADA LIMBAH CAIR PENGOLAHAN  
MONASIT MENGGUNAKAN RESIN PENUKAR ANION**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**LAILI HASNA**  
**NIM. 16630089**

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi  
Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Tanggal: 22 Desember 2020

<b>Penguji Utama</b>	<b>: Himmatul Baroroh, M.Si</b> NIP. 19750730 200312 2 001	(.....  )
<b>Ketua Penguji</b>	<b>: Lulu'atul Hamidatul Ulya, M.Sc</b> NIDT. 19900906 20180201 2 239	(.....  )
<b>Sekretaris Penguji</b>	<b>: Suci Amalia, M.Sc</b> NIP. 19821101 200901 2 007	(.....  )
<b>Anggota Penguji I</b>	<b>: Ach. Nashichuddin, M.A</b> NIP. 10730705 200003 1 002	(.....  )
<b>Anggota Penguji II</b>	<b>: Dany Poltak Marisi, S.T, M.Si</b> NIP. 19900626 201403 1 006	(.....  )

**Mengesahkan,  
Ketua Jurusan**

  
**Elok Kamilah Hayati, M.Si**  
NIP. 19790620 200604 2 002

## PERNYATAAN ORISINALITAS PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Laili Hasna

NIM : 16630089

Jurusan : Kimia

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : "Penurunan Kadar Torium pada Limbah Cair Pengolahan Monasit Menggunakan Resin Penukar Anion"

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi ini merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya, kecuali dengan terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia mempertanggung jawabkannya sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 22 Desember 2020  
Yang membuat pernyataan



Laili Hasna  
NIM. 16630089

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Every challenging work needs self efforts as well as guidance of elders especially those who were very close to our heart.

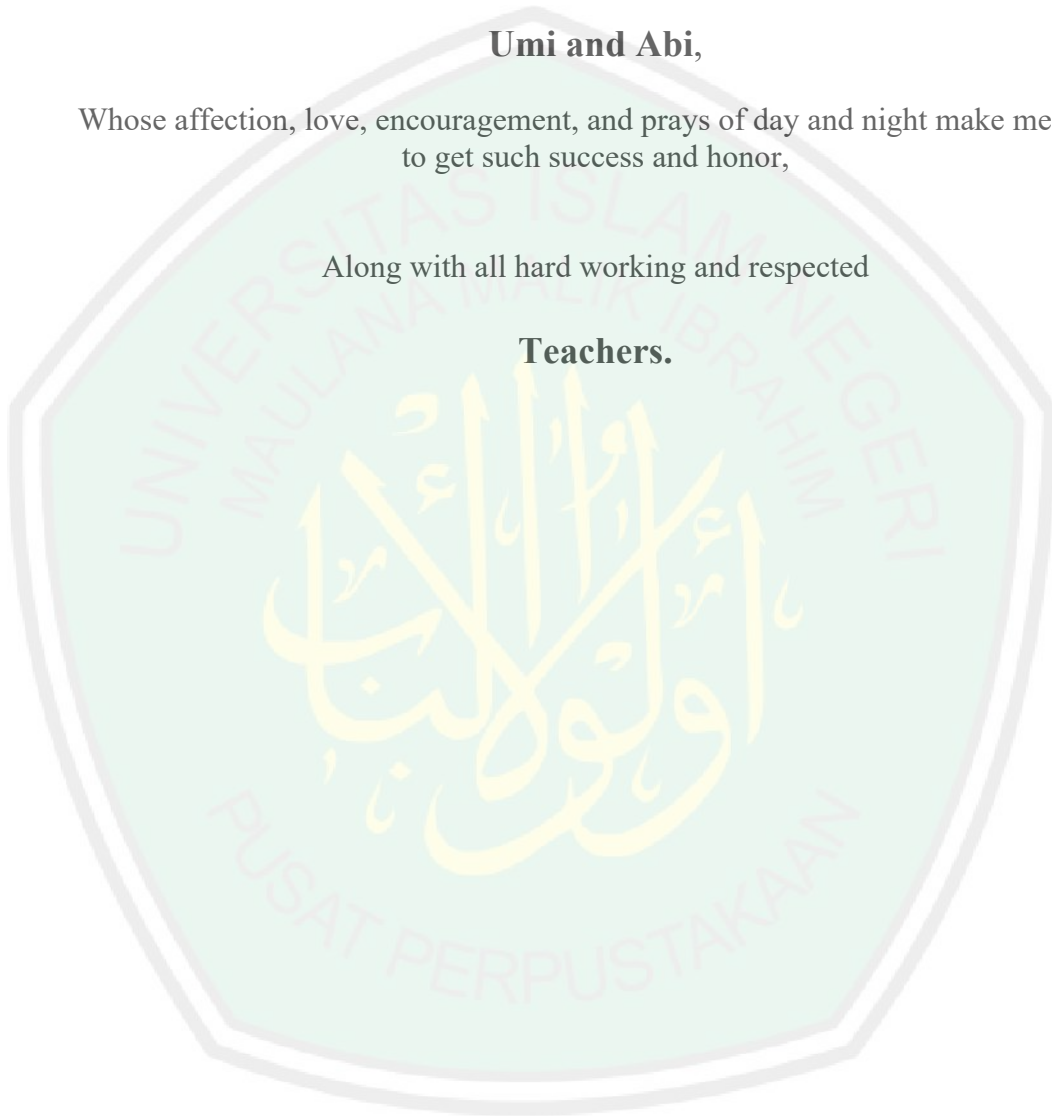
My humble effort I dedicated to my sweet and loving

**Umi and Abi,**

Whose affection, love, encouragement, and prays of day and night make me able to get such success and honor,

Along with all hard working and respected

**Teachers.**



## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT karena berkat dan kasih-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“PENURUNAN KADAR TORIUM PADA LIMBAH CAIR PENGOLAHAN MONASIT MENGGUNAKAN RESIN PENUKAR ANION”** dengan baik. Penulis menyadari tidak akan dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik tanpa bimbingan, saran, motivasi, dan bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini peneliti mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Teristimewa kepada orang tua yang saya cintai yaitu Bapak Arief Nugroho Juliandri dan Ibu Lienna Andrinta yang telah memberikan motivasi, do'a, dan dukungan sehingga penulisan skripsi ini berjalan dengan baik dan lancar.
2. Ibu Elok Kamilah Hayati, M.Si selaku ketua Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Ibu Suci Amalia, M.Sc selaku dosen pembimbing I, Bapak Ach. Nashichuddin, M.A selaku dosen pembimbing II, Ibu Himmatul Baroroh, M.Si selaku penguji utama, dan Lulu'atul Hamidatul Ulya, M.Sc selaku ketua penguji yang telah meluangkan waktunya dan pemikirannya untuk membimbing penulis sampai akhir penulisan skripsi ini.
4. Bapak Dany Poltak Marisi, ST, M.Si selaku konsultan sekaligus pembimbing lapangan yang selalu sabar serta telah banyak meluangkan waktu dan pemikirannya untuk membimbing penulis dari awal sampai akhir dari penulisan skripsi ini.

5. Pak Roza, Kak Inda, dan seluruh staff PTBGN-BATAN khususnya bidang pengolahan limbah yang telah memberikan saran dan membimbing penulis selama melaksanakan penelitian di BATAN.
6. Segenap Bapak Ibu dosen beserta staff administrasi jurusan kimia atas bekal ilmu, wawasan, serta pengalaman yang diajarkan selama ini.
7. Teman-teman Mejour Amigo yang selalu memberikan semangat dan dukungan mental untuk penulis.
8. Teman-teman mahasiswa angkatan 2016 dan semua pihak yang telah memberikan penulis saran, motivasi, dan semangat sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu dengan segala kerendahan hati penulis meminta maaf sebesar-besarnya. Kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak.

Malang, 22 Desember 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR PERSAMAAN</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xv</b>
<b>الخلاصة</b> .....	<b>xxvi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Batasan Masalah.....	7
1.3 Rumusan Masalah .....	8
1.4 Tujuan .....	8
1.5 Manfaat.....	8
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>9</b>
2.1 Logam Tanah Jarang.....	9
2.2 Limbah Radioaktif Torium .....	15
2.2.1 Limbah Radioaktif.....	15
2.2.2 Torium.....	18
2.3 Penanganan Limbah Radioaktif .....	21
2.4 Resin Penukar Ion .....	22
2.4.1 Mekanisme Penukar Ion.....	23
2.4.2 Jenis-jenis Resin Penukar Ion .....	24
2.4.3 Operasi Sistem Pertukaran Ion.....	26
2.4.4 Resin Amberlite IRA402 dan Tulsion A23 .....	28
2.5 Spektrofotometer UV-Vis .....	32
2.5.1 Teori Spektrofotometri UV-Vis .....	32
2.5.2 Hukum Lambert Beer.....	34
2.5.3 Penggunaan Spektrofotometri UV-Vis .....	36
2.5.4 Instrumentasi Spektrofotometer UV-Vis .....	36
2.5.5 Analisa Torium dengan Metode Spektrofotometer UV-Vis.....	40
2.6 Parameter Kualitas Air .....	44
2.6.1 Derajat Keasaman (pH).....	44
2.6.2 TDS ( <i>Total Dissolved Solid</i> ) dan Konduktivitas.....	45
2.7 Fluoresensi sinar-X (XRF).....	47
2.8 Pelestrarian Alam dalam Prespektif Islam.....	48

<b>BAB III METODOLOGI.....</b>	<b>52</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	52
3.2 Alat dan Bahan .....	52
3.3 Rancangan Penelitian.....	53
3.4 Tahapan Penelitian.....	55
3.5 Metode Penelitian.....	55
3.5.1 Penentuan Nilai Kapasitas Pertukaran Ion .....	55
3.5.2 Pembuatan Larutan Standar Torium .....	56
3.5.3 Preparasi Sampel Limbah Cair Monasit.....	56
3.5.4 Penentuan Optimalisasi Pertukaran Torium.....	57
3.5.5 Analisis Torium dengan Spektrofotometer UV-Vis.....	58
3.5.6 Penentuan Nilai TDS dan pH Sampel .....	59
3.5.7 Analisis Sampel Monasit dengan Spektrofotometer XRF .....	59
3.5.8 Analisis Data .....	60
 <b>BAB IV PEMBAHASAN .....</b>	 <b>62</b>
4.1 Karakterisasi sampel limbah cair .....	62
4.2 Preparasi sampel limbah cair .....	64
4.3 Preparasi resin.....	66
4.4 Penentuan nilai kapasitas pertukaran ion.....	67
4.5 Pembuatan kurva standar torium.....	69
4.6 Proses penukaran torium .....	70
4.7 Pengaruh variasi jenis resin, waktu lama pakai resin dan massa resin terhadap persen pertukaran torium .....	72
4.8 Pengolahan air limbah dalam prespektif Islam .....	82
 <b>BAB V PENUTUP .....</b>	 <b>85</b>
5.1 Kesimpulan .....	85
5.2 Saran.....	86
 <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	 <b>87</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>72</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Mineral logam tanah jarang, produk sampingan dari pemisah pasir timah (karsenit/ $\text{SnO}_2$ ).....	11
Gambar 2.2	(a) Peta pulau Sumatra, Kepulauan Riau, Bangka dan Belitung dan (b) Peta Papua Barat; dimana endapan LTJ ditemukan. ....	12
Gambar 2.3	LTJ-oksida. Kiri ke kanan adalah gadolinium oksida, samarium oksida, neodim oksida, praseodim oksida, lantanum oksida, dan serium oksida.....	14
Gambar 2.4	Bubuk torium oksida.....	18
Gambar 2.5	Rantai peluruhan torium.....	20
Gambar 2.6	Representasi sistematis proses keseimbangan penukar ion.....	24
Gambar 2.7	Struktur resin Amberlite IRA-402.....	30
Gambar 2.8	Struktur resin Tulsion A-23.....	31
Gambar 2.9	Diagram garis yang menggambarkan energy gaps ( $\Delta E$ ), antara orbital molekul keadaan dasar dan tereksitasi.....	33
Gambar 2.10	Diagram energi yang menunjukkan transisi antara orbital $\sigma, n, \pi, \pi^*$ , dan $\sigma^*$ .....	33
Gambar 2.11	Representasi perubahan pada distribusi elektron dalam orbital terkait transisi elektron (a) $\pi \rightarrow \pi^*$ (bonding ke antibonding) dan (b) $n \rightarrow \pi^*$ (nonbonding ke antibonding).....	34
Gambar 2.12	Sistematika jalannya cahaya pada spektrofotometer UV-Vis.....	36
Gambar 2.13	Ilustrasi monokromator.....	38
Gambar 2.14	Ilustrasi monokromator dengan elemen pendispersi yang diputar.....	38
Gambar 2.15	Tabung photomultiplier.....	39
Gambar 2.16	Struktur Kimia Kompleks Torium-Thorin.....	43
Gambar 3.1	Skema pengolahan monasit.....	53
Gambar 3.2	Grafik persen penukaran torium.....	54
Gambar 3.3	Spesifikasi rangkaian alat.....	57
Gambar 4.1	Kondisi fisik resin Amberlite IRA402 sebelum dan setelah aktivasi.....	67
Gambar 4.2	Kondisi fisik resin Tulsion A23 sebelum dan setelah aktivasi.....	67
Gambar 4.3	Perubahan warna sebelum titrasi (tidak berwarna) dan setelah mencapai titik akhir titrasi (merah muda) dari resin tanpa sampel limbah.....	68
Gambar 4.4	Grafik uji linearitas larutan standar torium.....	69
Gambar 4.5	Perubahan warna resin dan glass wool setelah kontak dengan sampel.....	71
Gambar 4.6	Perbedaan warna pada blanko, sampel, dan eluet yang telah dipreparasi dengan metode analisis torium dengan spektrofotometer UV-Vis.....	72
Gambar 4.7	Grafik resin Amberlite IRA402 berdasarkan variasi waktu lama pakai resin dan massa resin terhadap persen pertukaran torium....	74
Gambar 4.8	Grafik resin Tulsion A23 berdasarkan variasi waktu lama pakai resin dan massa resin terhadap persen pertukaran torium.....	74

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Unsur-unsur LTJ, nomor atom, dan kelimpahannya .....	9
Tabel 2.2	Mineral umum LTJ, rumus molekul, dan kandungan LTJ .....	14
Tabel 2.3	Sistem klasifikasi limbah radioaktif menurut IAEA.....	16
Tabel 2.4	Isotop torium.....	20
Tabel 2.5	Klasifikasi penukar ion dan sifat-sifatnya .....	25
Tabel 2.6	Karakteristik resin penukar ion Amberlite IRA402 dan Tulsion A23	29
Tabel 3.1	Data hasil pengukuran absorbansi .....	54
Tabel 4.1	Karakteristik awal sampel limbah cair.....	62
Tabel 4.2	Data analisis komposisi kimia sampel monasit menggunakan XRF ..	63
Tabel 4.3	Data hasil nilai kapasitas tukar ion resin Amberlite IRA402 dan Tulsion A23 .....	68
Tabel 4.4	Data hasil uji linearitas larutan standar torium .....	70
Tabel 4.5	Data hasil perhitungan kapasitas adsorpsi ( $Q_e$ ) resin Amberlite IRA402 dan Tulsion A23 terhadap variasi massa resin dan waktu lama pakai .....	78
Tabel 4.6	Data hasil uji statistika RAL .....	79
Tabel 4.7	Data hasil uji statistika Duncan .....	73
Tabel 4.8	Karakteristik akhir sampel setelah dilewatkan resin.....	81

## DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1 Persamaan reaksi pertukaran ion .....	23
Persamaan 2.2 Persamaan konstanta Planck.....	32
Persamaan 2.3 Persamaan hukum Lambert-Beer serapan tunggal .....	34
Persamaan 2.4 Persamaan Lambert-Beer serapan campuran .....	35
Persamaan 3.1 Persamaan rata-rata volume titrasi .....	56
Persamaan 3.2 Persamaan konsentrasi akhir asam sulfat .....	56
Persamaan 3.3 Persamaan persen penukaran torium (Th).....	60
Persamaan 3.4 Persamaan kapasitas adsorpsi resin .....	61



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Rancangan Penelitian .....	99
Lampiran 2.	Diagram Alir .....	100
Lampiran 3.	Pembuatan Reagen dan Perhitungan.....	107
Lampiran 4.	Risk Assessment.....	111
Lampiran 5.	Data Komposisi Sampel dengan Instrumen XRFs.....	114
Lampiran 6.	Data Hasil Persen Penyerapan Torium .....	115
Lampiran 7.	Data Hasil Uji TDS .....	118
Lampiran 8.	Data Hasil Uji Konduktivitas .....	119
Lampiran 9.	Data Hasil Uji pH.....	120
Lampiran 10.	Data Analisis Spektrofotometer UV-Vis .....	121



## ABSTRAK

Hasna, Laili. 2020. **Penurunan Kadar Torium Pada Limbah Cair Pengolahan Monasit Menggunakan Resin Penukar Anion**. Skripsi. Jurusan Kimia. Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I: Suci Amalia, M.Sc. Pembimbing II: Ach. Nashichuddin, M.A. Konsultan: Dany Poltak Marisi, S.T, M.Si

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

Salah satu sumber utama logam tanah jarang di Indonesia adalah mineral monasit. Logam tanah jarang harus dipisahkan dari pengotornya untuk dapat digunakan. Dampak dari pemisahan logam tanah jarang dari monasit adalah limbah cair yang mengandung unsur radioaktif torium. Metode yang umum dalam memisahkan torium dari limbah cair adalah dengan resin penukar anion. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persen penyerapan torium optimum terhadap variasi jenis resin penukar anion (Amberlite IRA402 dan Tulsion A23), berat resin (0,25; 0,5; 0,75; dan 1 gram), dan waktu lama pakai resin (40, 50, 60, 70, dan 80 menit). Pengukuran torium dilakukan dengan instrumen spektrofotometer UV-Vis dan penentuan sifat fisik sampel dilakukan dengan pH meter dan TDS meter. Berdasarkan hasil penelitian, diketahui resin Amberlite IRA402 mampu menyerap torium mencapai 57,7% pada waktu lama pakai resin 60 menit dan massa resin 1 gram, dan resin Tulsion A23 mampu menyerap torium sebesar 50,7% pada waktu lama pakai resin 50 menit dan berat resin 1 gram. Uji statistika menggunakan metode rancangan acak lengkap (RAL) menunjukkan bahwa hanya variasi massa resin yang berpengaruh terhadap persen penyerapan torium dengan nilai signifikan sebesar 0,000. Uji *Duncan* menunjukkan bahwa Amberlite IRA402 baik digunakan pada massa resin besar (0,75 dan 1 gram), sedangkan Tulsion A23 baik digunakan pada massa resin kecil (0,25 dan 0,5 gram). Hasil analisa kapasitas adsorpsi ( $Q_e$ ) menyatakan bahwa resin Tulsion A23 lebih menguntungkan dari sudut pandang praktis dengan nilai kapasitas adsorpsi maksimum resin sebesar 1,02 mg/g, sedangkan kapasitas adsorpsi maksimum resin Amberlite IRA402 ialah 0,50 mg/g.

## ABSTRACT

Hasna, Laili. 2020. **Degradation Thorium Levels From Monazite Processing's Wastewater With Anion Exchange Resins.** Thesis. Chemistry Department. Science and Technology Faculty of Islamic State University Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisors: Suci Amalia, M.Sc, Ach. Nashichuddin, M.A, Dany Poltak Marisi, S.T, M.Si

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

One of the main sources of rare earth elements in Indonesia is the monazite mineral. Rare earth elements should be separated from the impurities to be used. The effect of separating rare earth elements from monazite is wastewater containing thorium radioactive elements. A common method for separating thorium from wastewater is by anion exchange resin method. Aims of this study is to determine the optimum thorium adsorption for variations in the type of anion exchange resin (Amberlite IRA402 and Tulsion A23), resin weight (0,25; 0,5; 0,75; and 1 gram), and used time resin (40, 50, 60, 70, and 80 minutes). The measurement of thorium was carried out using a UV-Vis spectrophotometer instrument and the determination of the physical properties of the sample was carried out with a pH meter and a TDS meter. Based on the results, it is known that Amberlite IRA402 resin is able to adsorb up to 57.7% at 60 minutes and 1 gram, while Tulsion A23 resin is able to adsorb up to 50.7% of thorium at 50 minutes and 1 gram. Statistical tests using the completely block design (CBD) method showed that only the mass variation had an effect on the thorium absorption rate with a significant value of 0,000. The Duncan test showed that Amberlite IRA402 was good for heavier resin masses (0,75 and 1 gram), while Tulsion A23 was good for lighter resin masses (0,25 and 0,5 gram). The results of the adsorption capacity ( $Q_e$ ) analysis showed that Tulsion A23 resin was more profitable in terms of practicality with a maximum resin adsorption capacity value of 1.02 mg/g, while the maximum adsorption capacity of Amberlite IRA402 resin was 0.50 mg/g.

## الخلاصة

حسنا ، ليلي. 2020. انخفاض مستويات الثوريوم في معالجة النفايات السائلة المونازيت باستخدام مادة صمغية (*Resin*) لتبادل الأنيون. البحث العلمي قسم الكيمياء ، كلية العلوم و التكنولوجيا ، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول: سوجي أماليا الماجستير ؛ المشرف الثاني: أحمد ناصر الدين الماجستير ؛ المستشار: داني بولتاك ماريبيسي الماجستير.

**الكلمات المفتاحية:** الثوريوم ، النفايات السائلة ، المونازيت ، مادة صمغية (*Resin*) لتبادل الأنيون ، مقياس الطيف الضوئي فوق البنفسجية (*Spektrofotometer UV-Vis*)

يعد المونازيت أحد المصادر الرئيسية للأتربة النادرة في إندونيسيا. يجب فصل المعادن الأرضية النادرة عن شوائبها لاستخدامها. تأثير فصل المعادن الأرضية النادرة عن المونازيت هو نفايات سائلة تحتوي على عنصر الثوريوم المشع. الطريقة الشائعة لفصل الثوريوم عن النفايات السائلة هي باستخدام مادة صمغية (*Resin*) لتبادل الأنيون. تهدف هذه الدراسة إلى تحديد النسبة المثلى لامتصاص الثوريوم للتغيرات في نوع مادة صمغية (*Resin*) لتبادل الأنيون (*Amberlite IRA402 & Tulsion A23*) ، و وزن مادة صمغية (*Resin*) (0.25 ؛ 0.5 ؛ 0.75 ؛ 1 جرام) ، و العمر الطويل لمادة صمغية (*Resin*) (40 و 50 و 60 و 70 و 80 دقيقة). تم إجراء قياس الثوريوم باستخدام أداة مقياس الطيف الضوئي فوق البنفسجية (*Spektrofotometer UV-Vis*) و تم إجراء تحديد الخصائص الفيزيائية للعينة باستخدام مقياس قوة الهيدروجين (*pH*) و مقياس مجموع يذوب الصلابة (*TDS*). بناءً على نتائج البحث ، من المعروف أن مادة صمغية (*Resin*) *Amberlite IRA402* قادر على امتصاص الثوريوم بنسبة 57.7٪ في 60 دقيقة من استخدام مادة صمغية (*Resin*) و 1 جرام من كتلة مادة صمغية (*Resin*) ، و مادة صمغية (*Resin*) *Tulsion A23* قادر على امتصاص 50.7٪ من الثوريوم خلال 50 دقيقة من استخدام مادة صمغية (*Resin*) و الوزن. مادة صمغية (*Resin*) 1 جرام. يُظهر الاختبار الإحصائي باستخدام طريقة التصميم العشوائية تمامًا (*RAL*) أن اختلاف كتلة مادة صمغية (*Resin*) فقط له تأثير على النسبة المئوية لامتصاص الثوريوم بقيمة معنوية قدرها 0.000. أظهر اختبار دونكان (*Duncan*) أن *Amberlite IRA402* كان جيدًا لكتل الراتنج الكبيرة (0.75 و 1 جرام) ، بينما كان *Tulsion A23* جيدًا لكتل الراتنج الصغيرة (0.25 و 0.5 جرام). تشير نتائج تحليل سعة الامتزاز (*Qe*) إلى أن مادة صمغية (*Resin*) *Tulsion A23* أكثر ربحية من الناحية العملية حيث تبلغ أقصى سعة لامتصاص مادة صمغية (*Resin*) 1.02 مجم / جم ، بينما تبلغ أقصى سعة امتصاص لمادة صمغية (*Resin*) *Amberlite IRA402* هي 0.50 مجم / جم.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Beberapa tahun belakangan, kebutuhan logam tanah jarang di dunia semakin meningkat. Logam tanah jarang (LTJ) merupakan salah satu sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui (Sa'adah dkk., 2013). Unsur-unsur yang termasuk logam tanah jarang (LTJ) adalah 15 unsur lantanida, ditambah itrium dan skandium. Cina sebagai negara penghasil logam tanah jarang terbesar dunia, mengontrol kurang lebih 97% pasar logam tanah jarang di dunia. Logam tanah jarang sangat penting bagi ratusan aplikasi teknologi modern saat ini. Kita tidak mungkin memiliki teknologi berukuran kecil, seperti ponsel dan laptop, tanpa menggunakan logam tanah jarang. Logam tanah jarang juga penting untuk industri pertahanan sebagai bahan pembuatan rudal, amunisi berpemandu presisi, sistem radar, baju besi reaktif, dan merupakan kunci bagi munculnya teknologi hijau seperti turbin bertenaga angin dan kendaraan hibrida (Hurst, 2010).

Mineral utama logam tanah jarang adalah basnasit, loparit, monasit, dan senotim (Gambogi, 2015). Logam tanah jarang paling banyak ditemukan di basnasit dan monasit. Monasit biasanya mengandung logam tanah jarang dua hingga tiga kali lebih besar daripada basnasit (Hurst, 2010). Simpanan logam tanah jarang di Indonesia terletak di sepanjang “jalur timah”, yaitu terbentang dari Karimun (Riau) ke pulau Bangka dan Belitung bersama dengan mineral timah (Bahti dkk., 2011). Monasit mengandung komponen utama yaitu oksida logam tanah jarang dan fosfat, dan sebagian kecil unsur uranium (U) dan torium (Th) (Anggraini dkk., 2012).

Sebagai bahan utama produk modern, unsur tanah jarang harus murni dan terbebas dari unsur pengotornya, seperti unsur radioaktif, fosfat dan pengotor lainnya.

Logam tanah jarang sulit didapatkan karena sifat-sifatnya mirip satu sama lain, sehingga untuk memisahkan tiap unsurnya memerlukan tahap pemisahan yang panjang dan sulit. Beberapa cara fisika dan kimia dilakukan untuk mendapatkan masing-masing unsur logam tanah jarang murni. Pemisahan dengan metode ekstraksi pelarut, penukar ion, dan kromatografi adalah cara paling efektif untuk memisahkan campuran logam tanah jarang menjadi unsurnya masing-masing dengan tingkat kemurnian tinggi (Qi, 2018). Hasil dari proses pemisahan tersebut salah satunya ialah limbah yang mengandung pengotor dan unsur-unsur lain yang telah terpisahkan dari logam tanah jarang, diantara limbah tersebut terdapat limbah radioaktif.

Limbah radioaktif adalah bahan yang mengandung, atau terkontaminasi dengan radionuklida pada konsentrasi yang bermacam-macam. Bahaya limbah radioaktif tergantung pada konsentrasi dan sifat radionuklida, dimana yang memancarkan radiasi lebih tinggi atau yang lebih beracun bagi kehidupan, menjadi yang paling berbahaya (Lee dkk., 2013). Torium merupakan salah satu unsur yang dapat memancarkan sinar radiasi dan merupakan salah satu kandungan limbah radioaktif yang dihasilkan dari pengolahan logam tanah jarang (Ojovan dan Lee, 2013).

Torium merupakan salah satu unsur radioaktif yang dapat ditemukan pada beberapa mineral seperti zirkon, alanit, uraninit, fluorit, torit, senotim, uranotorit, loparit dan monasit. Torium umumnya berupa oksida, silikat, fosfat, karbonat dan fluorida (Krishnamurthy dan Gupta, 2015). Torium merupakan salah satu unsur

penghasil partikel alfa alami (Martinie dkk., 2011). Pancaran radiasi partikel alfa dapat menyebabkan kanker paru-paru, kanker kandung kemih, dan kerusakan genetika (Plant dkk., 2012), oleh karenanya torium perlu dikelola dengan baik.

Manusia mempunyai peranan dalam pembentukan dan perusakan lingkungan. Setiap usaha manusia dalam memanfaatkan alam seringkali mengorbankan sumber daya alam dan justru merusak alam. Salah satu penyebab kerusakan tersebut ialah limbah radioaktif yang dihasilkan dari industri teknologi terbarukan yang dapat menyebabkan banyak kerugian di muka Bumi, padahal Allah SWT telah memerintahkan manusia untuk tidak berbuat kerusakan. Sebagaimana firman Allah dalam Al-Qur'an surat Al-Qashash ayat 77 sebagai berikut :

وَأَحْسِنَ كَمَا أَحْسَنَ اللَّهُ إِلَيْكَ وَلَا تَبْغِ الْفُسَادَ فِي الْأَرْضِ إِنَّ اللَّهَ لَا يُحِبُّ الْمُفْسِدِينَ

*“Dan berbuat baiklah (kepada orang lain) sebagaimana Allah telah berbuat baik kepadamu, dan janganlah kamu berbuat kerusakan di (muka) bumi. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berbuat kerusakan.”(QS. Al-Qashash [28]:77)*

Berdasarkan ayat di atas, Allah menegaskan kepada manusia untuk selalu berbuat baik sebagaimana Allah telah berbuat baik kepada kita. Salah satu sikap yang harus ditanamkan dalam berbuat baik adalah senantiasa menjaga lingkungan dengan tidak berbuat kerusakan di Bumi (Abdul, 2004). Kerusakan di Bumi berdampak bukan hanya pada lingkungan, namun manusia juga akan merasakan akibatnya. Lingkungan alam yang rusak sangat berdampak terhadap kehidupan manusia sehingga berpotensi menghasilkan bencana untuk saat ini dan untuk masa yang akan datang misalnya, muncul penyakit baru akibat lingkungan yang semakin tercemar oleh bahan-bahan kimia berbahaya. Sebagai makhluk-Nya paling

sempurna sebaiknya kita selalu menjaga Bumi, salah satunya dengan mengolah limbah radioaktif dengan bijaksana.

Berbagai teknik seperti *ultrafiltration*, nanofiltrasi, *resin-in-pulp*, membran cair, biosorpsi, ekstraksi cair-cair, penukar ion, ekstraksi fasa padat, dan rekristalisasi adalah metode paling umum dalam pengolahan limbah cair radioaktif. Namun, beberapa metode diketahui tidak cukup efektif dalam pengolahan limbah cair radioaktif (Solgy dkk., 2015). Metode biooksidasi dengan proses denitrifikasi limbah cair radioaktif dinilai kurang efektif karena membutuhkan waktu 464 jam untuk menurunkan kadar uranium dan nitrat hingga 871 Bq/l dan 8,44 mg/l (Salimin dan Rachmadetin, 2011). Metode ekstraksi amina (Amex) memiliki keterbatasan tertentu terutama karena rendahnya kelarutan  $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot x\text{TBP}$  dalam *n*-dodekana, faktor pemisahan  $\text{U}^{6+}$  dari  $\text{Th}^{4+}$  rendah, gangguan yang disebabkan oleh produksi degradasi hidrolitik, perlunya ekstraksi bertingkat dan proses *stripping* (Nasab, 2014), sehingga proses yang dibutuhkan rumit. Penelitian lainnya dengan metode nanofiltrasi menyebutkan bahwa bubuk CuHFs sulit dipisahkan dari larutan setelah dilakukan perlakuan dan hanya dapat digunakan sekali (Chen dkk., 2012).

Metode penukar ion yang menggunakan resin sintesis cukup diminati dibandingkan dengan metode lainnya (Solgy dkk., 2015). Metode penukar ion ini terdiri dari fase gerak dan stasioner (Cummins dkk., 2011). Fase stasioner merupakan matriks *inert* yang diderivatisasi dengan gugus fungsional dimana gugus ini dapat ditukar dengan ion bermuatan sama pada fasa gerak. Terdapat dua jenis penukar ion yaitu, penukar anion dan penukar kation (Dash, 2017).

Kelebihan metode penukar ion yaitu, terbukti memiliki kemampuan untuk menghilangkan berbagai kontaminan dari berbagai volume, energi yang digunakan rendah, tiap resin efektif terhadap kontaminan tertentu (spesifik), reaksi cepat dan proses operasi yang mudah, dapat dioperasikan pada laju alir tinggi, material dan reagen yang digunakan murah, dapat digunakan berulang kali (Inamuddin dan Luqman, 2012), kapasitas penanganan sampel yang besar, dan penerapannya luas (Cummins dkk., 2011). Selain itu, resin penukar ion tidak dapat larut, tidak dapat dicairkan, *highly cross-linked*, dan tersusun dari polimer dengan berat molekul besar (Rajesh dan Popat, 2017).

Penelitian sebelumnya yang menggunakan metode resin penukar ion sebagai agen penyerap polutan yaitu menurunkan konsentrasi  $\text{Cr}^{6+}$  pada limbah metalurgi dari pelarut air dan organik ke penukar ion Tulsion A23 (Koujalagi dkk., 2016), menghilangkan 97% ion  $\text{Ni}^{2+}$  yang terkandung dalam limbah industri pelapisan besi dengan resin penukar ion Lewatit S1467 (Shaidan dkk., 2012), dan mengurangi kadar perklorat ( $\text{ClO}_4^-$ ) sebagai bahan baku peledak di lingkungan dengan resin penukar ion magnetik biofilm (BMIEX) (Wu dkk., 2016). Penelitian lainnya yang mengadsorpsi  $\text{U}^{4+}$  dari larutan sulfat dengan resin penukar anion Amberlite IRA402 mengatakan bahwa dalam limbah simulasi yang mengandung 100 ppm uranium, resin tersebut dapat menyerap 90% uranium dalam waktu 100 menit (Solgy dkk., 2015). Selain itu, resin penukar anion juga terbukti efisien dalam menurunkan kadar fenol dalam limbah cair industri (V́ctor-Ortega dkk., 2016; Zhu dkk., 2011), pemurnian limbah pabrik minyak zaitun (Bertin dkk., 2011; V́ctor-Ortega dkk., 2014). Contoh lainnya dari serapan kompleks  $\text{Cu}^{2+}$  dan  $\text{Pb}^{2+}$  dengan

asam poliaspartat pada penukar anion Amberlite IRA402, Amberjet 4400, dan Amberjet 4600 (Hubicki dkk., 2011).

Kapasitas adsorpsi resin penukar ion dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya pH, waktu lama pakai resin, konsentrasi awal torium, berat pengompleks, konstanta dielektrik, jumlah resin, dan suhu. Penelitian ini difokuskan pada parameter waktu lama pakai resin dan massa resin.

Waktu lama pakai resin dan massa resin berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi penyerapan. Berdasarkan penelitian terdahulu, untuk menurunkan kadar  $U^{6+}$  dengan variasi massa resin Amberlite IRA402 (0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; dan 4 g/L) dengan waktu 120 menit menunjukkan semakin besar dosis resin semakin besar presentasi penyerapan uranium, dan variasi waktu kontak (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, dan 350 menit) dengan dosis resin 50 mg menunjukkan semakin naik hingga titik jenuh di 100 menit, setelah itu tidak ada perubahan signifikan yang terjadi (Solgy dkk., 2015).

Dilakukan pula penelitian terhadap torium dengan resin organik XAD-4 dengan variasi waktu lama pakai resin (0 – 180 menit) dengan berat resin 0,05 gr menunjukkan semakin lama waktu semakin banyak torium yang teradsorpsi sampai titik optimum di 30 menit (Chandramouleswaran dan Ramkumar, 2014). Penelitian mengenai penurunan kadar torium menggunakan resin PAN menunjukkan dengan peningkatan massa resin dari 10 ke 100 mg/L, *removal efficiency* torium meningkat dari 14,42% menjadi 98,03%. Penelitian lainnya menyebutkan massa optimum resin PAO adalah 0,4 g/L dan waktu kontak resin optimum adalah 180 menit (Heshmati dkk., 2014). Penelitian lainnya mengenai penyerapan  $Cr^{6+}$  pada industri ke resin Tulsion A27 menunjukkan *removal*

*efficiency* mencapai 98,6% pada waktu lama pakai resin 210 menit dan setimbang pada waktu lama pakai resin 90 menit. Massa resin optimum dengan waktu kontak 6 jam adalah 0,025 g, lebih dari itu tidak ada perubahan *removal efficiency* yang signifikan (Koujalagi dkk., 2013).

Penelitian ini dilakukan penurunan konsentrasi torium yang dalam limbah cair hasil pengolahan monasit dengan resin penukar anion Amberlite IRA402 dan Tulsion A23 di PTBGN-BATAN Jakarta. Penelitian ini dilakukan variasi jenis resin, waktu lama pakai resin dan massa resin dengan laju alir konstan yaitu, 1 mL/menit untuk menurunkan kadar torium dalam limbah cair hasil pengolahan monasit. Hal ini dilakukan agar proses pemisahan torium dari limbah cair radioaktif lebih efisien dan konsumsi energi rendah.

## 1.2 Batasan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian ini diberikan batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Jenis resin yang digunakan untuk menurunkan kadar torium dari limbah cair monasit PLUTHO-BATAN adalah Amberlite IRA402 dan Tulsion A23.
2. Variabel yang diteliti adalah massa resin dengan variasi massa yaitu 0,25; 0,5; 0,75; dan 1 gram dan waktu lama pakai resin yaitu 40, 50, 60, 70 dan 80 menit pada suhu ruang dan laju alir konstan 1 mL/menit.
3. Penentuan konsentrasi torium ditentukan dengan Spektrofotometer UV-Vis, parameter fisik nilai pH, TDS dan konduktivitas diukur dengan pH meter dan TDS meter, serta penentuan komposisi kimia dilakukan dengan XRF.

### 1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dan batasan masalah di atas, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh jenis resin penukar anion (Amberlite IRA402 dan Tulsion A23) terhadap kemampuannya untuk menurunkan kadar torium dalam limbah cair monasit PLUTHO-BATAN berdasarkan analisis persen penurunan torium, uji statistika RAL, dan analisis kapasitas adsorpsi?
2. Berapa massa resin yang dibutuhkan untuk menurunkan kadar torium dalam limbah cair monasit PLUTHO-BATAN secara optimum?
3. Berapa waktu lama pakai resin yang dibutuhkan untuk menurunkan kadar torium dalam limbah cair monasit PLUTHO-BATAN secara optimum?

### 1.4 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh jenis resin penukar anion terhadap kemampuannya untuk menurunkan kadar torium (Th) secara optimum.
2. Mengetahui massa resin optimum pada penurunan kadar torium dalam limbah cair monasit PLUTHO-BATAN.
3. Mengetahui waktu lama pakai resin optimum pada penurunan kadar torium dalam limbah cair monasit PLUTHO-BATAN.

### 1.5 Manfaat

Hasil penelitian diharapkan dapat memberi memberikan informasi tentang pengolahan limbah radioaktif yang efektif, aman dan tidak merusak lingkungan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Logam Tanah Jarang

Unsur-unsur yang termasuk logam tanah jarang (LTJ) adalah 15 unsur lantanida, ditambah itrium dan skandium. Unsur-unsur lantanida umumnya dibagi ke dalam dua kelompok yaitu logam tanah jarang ringan, disebut juga sebagai kelompok Ce (*Ce-group*), terdiri dari unsur lantanum hingga europium (nomor atom  $Z = 57$  hingga 63); dan logam tanah jarang berat, terdiri dari unsur gadolinium hingga lutetium ( $Z = 64$  hingga 71). Itrium biasanya termasuk dalam kelompok logam tanah jarang berat berdasarkan kemiripan sifat fisik dan kimianya, sehingga disebut kelompok iterbium (*Y-group*) (Zhang dkk., 2016). Prometium tidak sering dibahas dalam riset logam tanah jarang karena satu-satunya radioaktif dan tidak terdapat secara alami (Lima dan Filho, 2015).

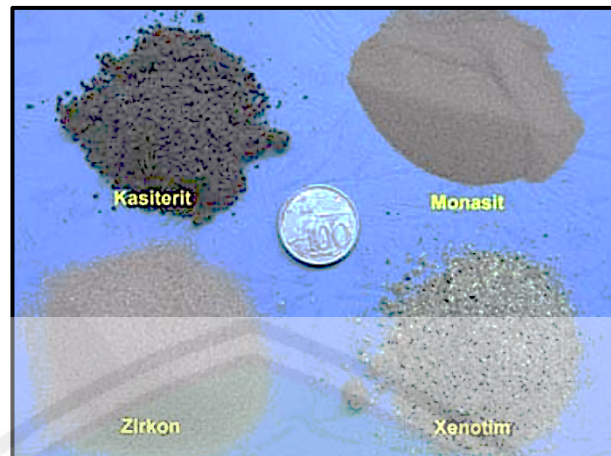
Tabel 2.1 Unsur-unsur LTJ, nomor atom, dan kelimpahannya

Unsur	Simbol	Nomor atom	Kelimpahan (ppm)
Lantanum	La	57	30
Serium	Ce	58	64
Praseodimium	Pr	50	7,1
Neodimium	Nd	60	26
Prometium	Pm	61	N/a
Samarium	Sm	62	4,5
Europium	Eu	63	0,88
Gadolinium	Gd	64	3,8
Terbium	Tb	65	0,64
Disprosium	Dy	66	3,5
Holmium	Ho	67	0,80
Erbium	Er	68	2,3
Tulium	Tm	69	0,33
Iterbium	Yb	70	2,2
Lutesium	Lu	71	0,32
Skandium	Sc	21	13,6
Itrium	Y	39	22

(Zhang dkk., 2016)

Logam tanah jarang terdapat pada mineral utama seperti tembaga, emas, perak, timah dan lain-lain. Jumlahnya sangat kecil dan jarang ditemukan, maka material atau elemen ini disebut logam tanah jarang atau disingkat LTJ (Atmawinata dkk., 2014). Unsur-unsur logam tanah jarang dapat dilihat pada Tabel 2.1, nomor atom, dan kelimpahannya di lapisan bumi bagian atas. Mempunyai sifat reaktif tinggi terhadap air dan oksigen, bentuk senyawa stabil dalam kondisi oksida, titik leleh relatif tinggi, sebagai bahan penghantar panas yang tinggi dan mempunyai tampang lintang serapan neutron yang besar sehingga banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang teknologi seperti industri komputer, telekomunikasi, nuklir, ruang angkasa, dan lainnya (Suprpto, 2009; Wasito dan Biyantoro, 2009).

Logam tanah jarang umumnya berada pada mineral yang juga mengandung uranium dan torium (Reisman, 2013). Sumber utama logam tanah jarang adalah mineral basnasit, monasit, dan senotim (Zhang dkk., 2016). Basnasit merupakan mineral yang kelimpahannya paling banyak, umumnya ditemukan dalam bentuk mineral karbonat. Senotim dan monasit merupakan mineral fosfat dan mengandung semua jenis LTJ. Contoh mineral logam tanah jarang dapat dilihat pada Gambar 2.1. Logam tanah jarang bersifat tidak tergantikan. Hal ini disebabkan sifat logam tanah jarang yang sangat khas, sehingga sampai saat ini, tidak ada material lain yang mampu menggantikannya. Jika ada, kemampuan yang dihasilkan tidak sebaik material logam tanah jarang (Wasito dan Biyantoro, 2009). Manfaat yang sangat beragam dari unsur-unsur ini menjadikannya mulai dikenal publik pada tahun 2009, dengan negara Cina sebagai pemasok utama logam tanah jarang dunia (~97%) (Voncken, 2015).



Gambar 2.1 Mineral logam tanah jarang, produk sampingan dari pemisah pasir timah (karsenit/SnO<sub>2</sub>)  
(Sumber : <http://geomagz.geologi.esdm.go.id/memasuki-era-tanah-jarang/>)

Indonesia memiliki sejumlah besar mineral logam tanah jarang. Deposit logam tanah jarang (bersama dengan mineral timah) terbentang dari Karimun (Riau) ke pulau Bangka dan Belitung, untuk membentuk apa yang disebut “jalur timah” (lihat Gambar 2.2). Kehadiran logam tanah jarang di pulau Bangka dan Belitung bersama dengan penambangan timah sangat terkenal. Beberapa tempat di Indonesia ditemukan mineral logam tanah jarang, termasuk Kalimantan (bersama dengan deposit emas), Rirang (Kalimantan Barat, bersama dengan deposit uranium), Sulawesi, pulau Sula-Banggai, dan Ransiki (Bahti dkk., 2011). Menurut data di Pusat Sumber Daya Geologi pada tahun 2007, total deposit bijih monasit di Indonesia adalah 185.992 ton (Subagja, 2014).

Sifat LTJ yang unik menjadikannya digunakan dalam berbagai aplikasi. Sebagai contoh, magnet yang dibuat dari LTJ lebih kuat dari magnet konvensional. Beberapa LTJ juga memiliki konduktivitas tinggi dan dapat menahan panas ekstrim (Reisman, 2013). Logam tanah jarang penting untuk pengembangan teknologi kendaraan hibrida, kincir angin, baterai isi ulang (Qi, 2018), didoping dengan

senyawa tertentu untuk dapat menghasilkan produk yang memancarkan cahaya (lampu, televisi, ponsel) (Lucas dkk., 2014).



(a) (b)  
Gambar 2.2 (a) Peta pulau Sumatra, Kepulauan Riau, Bangka dan Belitung dan (b) Peta Papua Barat; dimana endapan LTJ ditemukan. (Bahti dkk., 2011)

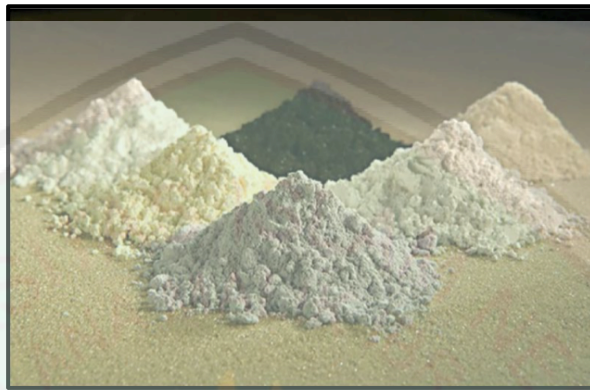
Selama ini telah diketahui lebih dari 100 jenis mineral tanah jarang, dan 14 jenis diantaranya diketahui mempunyai kandungan oksida tanah jarang tinggi (Zhu dkk., 2015). Logam tanah jarang ditemukan dalam mineral bersamaan dengan unsur radioaktif, sehingga disebut material *naturally occurring radioactive materials* (NORM) atau material yang secara alami mengandung bahan radioaktif (Krishnamurthy dan Gupta, 2015). Beberapa mineral utama logam tanah jarang yaitu basnasit, monasit, dan senotim, dan zirkon (Qi, 2018). Berikut penjelasan masing-masing mineral:

1. Basnasit,  $(\text{LTJ,Ce})(\text{CO}_3)\text{F}$ , mineral *fluorocarbonate* yang diambil dari magma, didalamnya mengandung 75 – 75% berat LTJ oksida dan hampir tidak mengandung torium. Basnasit dapat berwarna putih pucat, coklat, abu-abu, kuning, atau merah muda, dan mengkilap (Krishnamurthy dan Gupta, 2015).

2. Monasit, merupakan mineral fosfat, umumnya terdiri dari logam tanah jarang kelompok serium dan torium ((Ce,La,Y,Th)PO<sub>4</sub>). Monasit tahan terhadap cuaca dan memiliki berat jenis yang tinggi menyebabkan monasit berkumpul dengan sesamanya seperti, ilminit, magnetit, rutil, dan zirkon. Monasit merupakan material radioaktif (partikel alfa). Berwarna kuning ke cokelatan atau jingga-coklat dengan kilapan. Biasanya, monasit mengandung ~70% LTJ oksida, ~5% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 4 – 12% torium, dan sebagian kecil uranium (Krishnamurthy dan Gupta, 2015). Monasit adalah salah satu hasil samping penambangan timah di sekitar Kepulauan Bangka-Belitung yang di kembangkan sebagai penyusun reaktor nuklir.
3. Senotim adalah mineral Y fosfat (YPO<sub>4</sub>) mengandung ~67% LTJ oksida. Berwujud coklat kemerahan dan mengkilap. Senotim seringkali disalahartikan sebagai zirkon karena wujud dan sifat kristalnya yang mirip (Krishnamurthy dan Gupta, 2015).
4. Zirkon juga dikenal untuk menerima spektrum dari LTJ dalam mineral dan dianggap sebagai sumber itrium (Krishnamurthy dan Gupta, 2015). Tambang zirkon di Indonesia berada di Kalimantan, dimana zirkon merupakan hasil samping dari penambangan emas.

Selain kelimpahannya yang tinggi, logam tanah jarang lebih sulit ditambang dan diekstrak dibandingkan dengan logam transisi lainnya karena sifatnya yang mirip satu sama lain dan ditemukan secara bersamaan, sehingga logam tanah jarang memiliki harga yang sangat mahal (Jha, 2014). Proses produksinya terdiri dari penambangan, pemisahan, pemurnian, pemaduan, dan pembuatan produk akhir tanah jarang (Grasso, 2013). Beberapa cara yang dilakukan untuk memisahkan

logam tanah jarang dari mineralnya yaitu, pemisahan magnetik, digesti asam, penyaringan, pengendapan, digesti kaustik, penggilingan, pengapungan, digesti asam dan pengentalan (Reisman, 2013).



Gambar 2.3 LTJ-oksida. Kiri ke kanan adalah gadolinium oksida, samarium oksida, neodim oksida, praseodim oksida, lantanum oksida, dan serium oksida. (Lucas dkk., 2014)

Tabel 2.2 Mineral umum LTJ, rumus molekul, dan kandungan LTJ

Nama	Rumus molekul	Kandungan (% berat) %		
		ReO	ThO <sub>2</sub>	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
Basnasit	(Ce,La)(CO <sub>3</sub> )F	70 – 74	0 – 0,3	0,09
Monasit (Ce)	(Ce,La,Nd,Th)PO <sub>4</sub>	35 – 71	0 – 21	0 – 16
Senotim (Y)	YPO <sub>4</sub>	52 – 67	-	0 – 5
Zirkon	(Zr, LTJ)SiO <sub>4</sub>	-	0,1 – 0,8	-

(Qi, 2018)

Ekstraksi tanah jarang adalah proses untuk mendapatkan unsur tanah jarang yang dapat dimurnikan dan dipisahkan menjadi masing-masing unsur tanah jarang dengan tingkat kemurnian tinggi (Lucas dkk., 2014). Beberapa cara yang umum dilakukan dalam ekstraksi LTJ yaitu, ekstraksi cair-cair, ekstraksi padat-cair, penukar ion, *super critical extraction*, *electrowinning*, *electrorefining*, dan *electro slag refining* (Reisman, 2013). Penelitian ini berfokus pada unsur radioaktif yang terkandung dalam mineral LTJ. Kandungan senyawa radioaktif dalam beberapa

mineral logam tanah jarang dijelaskan pada Tabel 2.2 dan beberapa jenis LTJ-oksida dapat dilihat pada Gambar 2.3.

Logam tanah jarang harus murni agar dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan suatu produk, oleh karena itu pengotor-pengotornya seperti, uranium torium dan fosfat harus di pisahkan dari logam tanah jarang. Logam tanah jarang pada penelitian ini dipisahkan dari mineral monasit menggunakan metode pengendapan dengan senyawa natrium karbonat. Dampak dari proses pemurnian ini adalah limbah radioaktif yang mengandung torium, apabila tidak ditangani dengan baik limbah radioaktif dapat merusak lingkungan dan makhluk hidup. Terdapat dua jenis limbah yang dihasilkan dari pengolahan monasit yaitu, limbah cair dan limbah padat. Limbah cair hasil pengolahan monasit inilah yang kemudian dijadikan sampel pada penelitian ini. Limbah ini kemudian disebut limbah radioaktif sebab didalamnya terkandung unsur radioaktif yang sebagian besar berupa torium. Penelitian kali ini difokuskan pada penanganan torium pada limbah cair hasil pemisahan logam tanah jarang yang bersumber dari mineral monasit.

## **2.2 Limbah Radioaktif Torium**

### **2.2.1 Limbah Radioaktif**

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 61 Tahun 2013 Tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif, yang dimaksud dengan limbah radioaktif adalah zat radioaktif dan bahan serta peralatan yang telah terkena zat radioaktif atau menjadi radioaktif karena pengoperasian instalasi nuklir yang tidak dapat digunakan lagi. Limbah radioaktif adalah limbah yang mengandung sejumlah

radionuklida-radionuklida yang mempunyai sifat berbahaya terhadap kesehatan manusia maupun lingkungan bila tidak dikelola dengan baik.

Material radioaktif digunakan untuk medis, pertanian, industri dan tujuan penelitian di bidang sains (Patwardhan, 2017). Limbah radioaktif mengandung isotop radioaktif yang memancarkan partikel sinar  $\alpha$ ,  $\beta$ , atau  $\gamma$  dengan radiasi yang dapat membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan (Pusch dkk., 2017).

Tabel 2.3 Sistem klasifikasi limbah radioaktif menurut IAEA

Kelas limbah	Karakteristik
EW	Limbah yang memenuhi kriteria bersih, termasuk pengecualian terhadap kontrol lingkungan ( $<0.01$ mSv ).
VSLW	Limbah yang dapat disimpan untuk periode yang terbatas hingga beberapa tahun dan kemudian dibersihkan ketika kontrol
VLLW	Level aktivitas diatas level bersih, tetapi tidak membutuhkan tingkat pengungkapan yang tinggi; dapat dibuang di dekat permukaan dengan kontrol regulasi terbatas. Konsentrasi radionuklida yang berumur panjang terbatas.
LLW	Tingkat aktivitas diatas tingkat bersih dengan jumlah radionuklida yang berumur panjang terbatas. Memerlukan isolasi dan pertahanan yang kuat untuk periode hingga beberapa ratus tahun.
ILW	Konsentrasi radionuklida berumur panjang, khususnya radionuklida pemancar alfa yang tidak dapat menembus ke tingkat konsentrasi aktivitas yang dapat diterima dekat permukaan.
HLW	Konsentrasi aktivitasnya cukup sensitif terhadap panas, mngandung sejumlah besar radionuklida berumur panjang. Disimpan pada tempat penyimpanan khusus.

(Rahman dkk., 2014)

Pasal 2 Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 61 Tahun 2013 Tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif menyebutkan bahwa Limbah Radioaktif diklasifikasikan dalam 3 jenis; (a) Limbah Radioaktif tingkat rendah, (b) Limbah Radioaktif tingkat sedang, dan (c) Limbah Radioaktif tingkat tinggi. Sedangkan menurut *International Atomic Energy Agency* (IAEA), sistem klasifikasi limbah

radioaktif dibagi menjadi 6 kelas yaitu, *exempt waste (EW)*, *very short-lived waster (VSLW)*, *very low-level waste (VLLW)*, *low-level waste (LLW)*, *intermediate-level waste (ILW)*, *high-level waste (HLW)*. Tabel 2.3 menjelaskan karakteristik masing-masing kelas limbah radioaktif menurut IAEA (Rahman dkk., 2014).

Limbah radioaktif dapat berwujud gas, cair, ataupun padat. Limbah gas mengandung gas dan partikular radioaktif yang merupakan partikel halus di udara tempat bahan radioaktif tersangkut. Limbah cair sangatlah beragam, biasanya merupakan efluen dari bahan bekas. Limbah cair dari reaktor termasuk pendingin, pengering, dan limbah air nya. Limbah padat didapatkan dari kertas, kain, kayu atau polietilen yang dibakar untuk mengurangi volumenya untuk menciptakan produk yang tahan api (Nagasaki dan Nakayama, 2015).

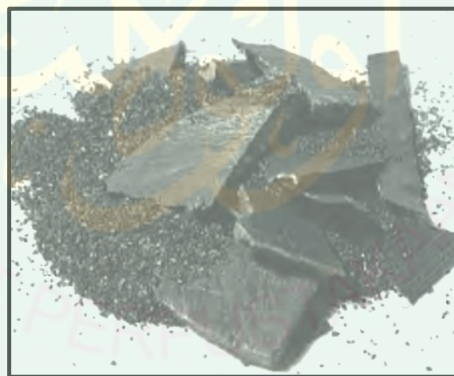
Limbah torium yang digunakan dalam penelitian ini termasuk ke dalam kategori limbah *low level waste (LLW)* karena torium mempunyai radiasi yang berbahaya dan memiliki waktu paruh yang panjang (Zhu dkk., 2015), bersumber dari aktivitas pembangkit listrik tenaga nuklir (*nuclear power plant*) dan merupakan sebuah partikel pemancar alfa yang dapat membahayakan kesehatan makhluk hidup dan lingkungan (Nagasaki dan Nakayama, 2015). Limbah ini perlu diproses dengan baik sehingga konsentrasinya di lingkungan tidak melebihi ambang batas yang telah ditentukan (Wismawati dan Deddi, 2000). Penelitian ini difokuskan pada pemisahan torium dari limbah cair karena unsur torium dalam monasit jauh lebih banyak dibandingkan uranium.

Sampel yang digunakan pada penelitian kali ini merupakan salah satu contoh limbah radioaktif berupa limbah cair hasil pengolahan monasit yang mengandung unsur radioaktif berupa torium dan uranium, adapun komposisi

limbah dilampirkan pada Lampiran 5. Sampel ini memiliki karakteristik warna biru muda yang berasal dari campuran logam tanah jarang yang memiliki warna hijau kebiruan yaitu serium (Ce) dan warna biru pucat dari unsur neodimium (Nd) (Bochkarev dkk., 1995; Dhayalan dkk., 2009).

### 2.2.2 Torium

Torium (Th) ditemukan pada tahun 1829 oleh mineralogis asal Norwegia dan diidentifikasi oleh kimiawan Swiss yang menamai unsur ini “*thor*”. Memiliki nomor atom 90, torium adalah elemen kedua dalam seri aktinida (Boyle, 2013). Kelimpahan isotop  $\text{Th}^{232}$  dalam torium alam sebesar 99,98%. Kelimpahannya 3 – 4 kali lebih banyak dari uranium, sehingga efektif digunakan sebagai sumber energi jangka panjang (Nayak, 2018). Torium secara fisik dapat dilihat pada Gambar 2. 4.



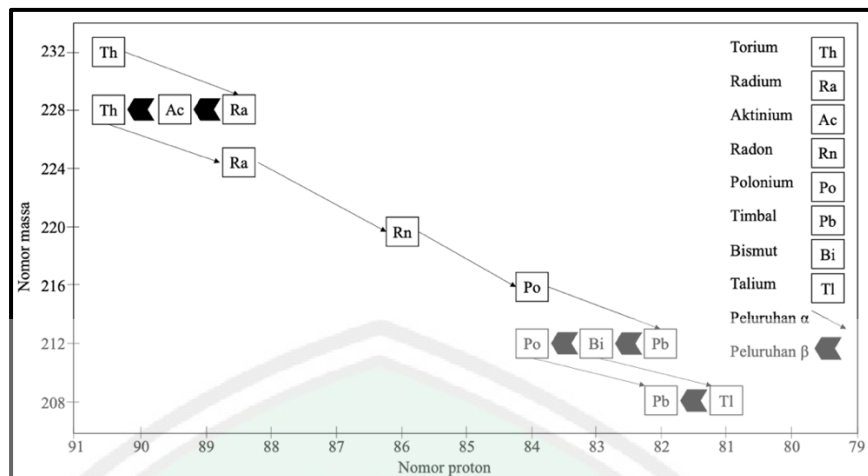
Gambar 2.4 Bubuk torium oksida  
(Nayak, 2018)

Torium merupakan logam elastis, berwarna abu keputihan hingga perak ketika murni, tetapi ketika teroksidasi membentuk  $\text{ThO}_2$  warnanya berubah menjadi gelap. Memiliki nilai densitas  $11,72 \text{ g/cm}^3$  dan titik leleh  $1750^\circ\text{C}$ , namun ketika berbentuk  $\text{ThO}_2$  titik lelehnya menjadi  $3300^\circ\text{C}$ , titik didih  $4760\text{-}4800^\circ\text{C}$ , kerapatan

11,7 g.cm<sup>-3</sup> dan struktur kristal kubus pusat sisi. Densitasnya yang jauh lebih rendah dari uranium dan titik lelehnya yang jauh lebih tinggi menyebabkan salah satu bahan yang mampu menahan panas terbaik yang pernah ada. Torium memiliki konduktivitas termal yang lebih baik dari uranium, begitupun dengan ThO<sub>2</sub> (Revol dkk., 2016).

Torium secara alami tersedia dalam jumlah yang relatif banyak di Bumi, dengan rata-rata konsentrasi 7,2 ppm tersebar di kerak Bumi. Secara alami, torium umumnya memiliki bilangan oksidasi +4, keadaan bilangan oksidasi +3 jarang terjadi dan tidak stabil dalam media cair. Cenderung membentuk senyawa dengan tingkat ikatan ionik. Secara kimia, torium menyerupai zirkonium dan hafnium dalam beberapa hal dan unsur-unsur tanah jarang tertentu, terutama serium. Pada suhu tinggi, torium memiliki kesamaan tertentu dengan uranium. Ion Th(IV) memiliki kecenderungan untuk membentuk ion kompleks dengan anion yang mungkin ada dalam larutan. Di antara mereka yang tertarik dalam torium adalah sebagai ion klorida kompleks, ion florida kompleks, ion nitrat kompleks, ion sulfat kompleks, dan ion karbonat kompleks (Boyle, 2013).

Torium memiliki beberapa isotop termasuk Th<sup>234</sup>, Th<sup>232</sup>, Th<sup>231</sup>, Th<sup>230</sup>, Th<sup>228</sup>, dan Th<sup>227</sup> (Lottermoser, 2007). Lebih dari 99% torium hadir dalam bentuk isotop <sup>232</sup>Th, sebagai isotop yang paling stabil. Isotop ini memiliki waktu paruh sekitar ~14 milyar tahun (Tabel 2.4). Torium mempunyai anak luruh, Ac<sup>228</sup>, Th<sup>228</sup>, Ra<sup>224</sup>, Rn<sup>220</sup>, Po<sup>216</sup>, Bi<sup>212</sup>, Po<sup>212</sup> (Gambar 2.5); mereka lebih radioaktif, tetapi fraksinasi mereka dapat diabaikan jika dibandingkan dengan Th<sup>232</sup>. Isotop torium (Th<sup>232</sup>) juga merupakan sumber bahan bakar nuklir yang sangat penting selain uranium (Sassolini dkk., 2016).



Gambar 2.5 Rantai peluruhan torium  
(Sassolini dkk., 2016)

Tabel 2.4 Isotop torium

Isotop	Waktu Paruh	Radiasi	Energi (Mev)	Hasil Peluruhan
$^{226}\text{Th}$	30,6 bulan	$\alpha$	5,99	$^{222}\text{Ra}$
$^{227}\text{Th}$	18,7 hari	$\alpha$	6,14	$^{223}\text{Ra}$
$^{228}\text{Th}$	1,9 tahun	$\alpha$	5,52	$^{224}\text{Ra}$
$^{229}\text{Th}$	7340 tahun	$\alpha$	5,17	$^{225}\text{Ra}$
$^{230}\text{Th}$	75380 tahun	$\alpha$	4,78	$^{226}\text{Ra}$
$^{231}\text{Th}$	25,5 jam	$\beta -$	0,39	$^{231}\text{Ra}$
$^{232}\text{Th}$	$1,4 \times 10^{10}$ tahun	$\alpha$	4,08	$^{228}\text{Ra}$
$^{233}\text{Th}$	22,3 bulan	$\beta -$	1,24	$^{233}\text{Pa}$
$^{234}\text{Th}$	24,1 hari	$\beta -$	0,27	$^{234}\text{Pa}$

(Sassolini dkk., 2016)

Torium ditemukan di bebatuan dan tanah, salah satu sumber penting torium adalah monasit (Nayak, 2018). Torium ditemukan pada mineral basnasit, monasit, zirkon, alanit, dan parisit (Ngadenin dkk., 2014). Torium dimanfaatkan sebagai bahan bakar nuklir, bahan tahan panas (refraktori), teknologi bercahaya, metalurgi, alat elektronik, industri kaca, dan teknik kimia (Cardarelli, 2018).

Torium merupakan radionuklida beracun, bahkan jejaknya pun berbahaya untuk fisiologi manusia dan sistem biologis lainnya dan menyebabkan berbagai penyakit dan gangguan (Heshmati dkk., 2014). Torium yang terakumulasi akan

meningkatkan resiko paparan unsur ini (Sassolini dkk., 2016). Sulit untuk dihilangkan melalui metabolisme internal setelah menumpuk dalam tubuh manusia karena sifatnya yang mencari tulang, bahkan menyebabkan kerusakan permanen melalui metastatis menuju organ utama lainnya (Ding dkk., 2019). Studi mengungkapkan bahwa torium yang terakumulasi pada tubuh manusia akan meningkatkan risiko penyakit paru-paru dan hati, kanker paru-paru dan pankreas, efek buruk pada darah dan perubahan bahan genetik manusia (Wang dkk., 2016). Bahaya dari unsur ini dapat dicegah apabila unsur ini tidak dibiarkan mencemari lingkungan, salah satunya dengan cara memisahkan torium dari limbah cair hasil pengolahan monasit yang mengandung unsur torium cukup besar.

### **2.3 Penanganan Limbah Radioaktif**

Limbah radioaktif jelas harus ditangani dengan baik. Selain untuk mengurangi dampak pada lingkungan dan makhluk hidup, unsur radioaktif juga memiliki banyak manfaat seperti yang telah di jelaskan pada sub-bab sebelumnya. Oleh karenanya, pemisahan unsur radioaktif dari limbah radioaktif sebaiknya dilakukan dengan baik. Berbagai macam metode telah diterapkan untuk memproses limbah cair radioaktif, termasuk metode pengendapan, ekstraksi pelarut, penukar ion, adsorpsi, dan ekstraksi fasa padat. Namun, metode pengendapan dan ekstraksi pelarut memiliki kekurangan seperti selektivitas rendah dan menghasilkan sejumlah besar limbah sekunder.

Penelitian mengenai penanganan limbah radioaktif lainnya yaitu imobilisasi limbah radioaktif uranium dan imobilisasi limbah radioaktif molibdenum, dalam pengolahan secara imobilisasi limbah cair dikungkung ke dalam bahan matriks

*synroc* yang dibuat dari  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{BaO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{ZrO}_2$ . Pengolahan ini kurang efektif karena dibutuhkan beberapa bahan kimia dalam pembuatan matriks *synroc* (Gunandjar dkk., 2016). Metode adsorpsi merupakan salah satu metode yang paling terkenal dan menarik dalam mengolah limbah cair radioaktif karena prosesnya fleksibel, mudah, singkat, cukup efisien, dan tidak menggunakan pelarut yang beracun (Awual dkk., 2014). Salah satu yang menggunakan prinsip adsorpsi adalah resin penukar ion sebagaimana yang akan dilakukan pada penelitian kali ini.

#### 2.4 Resin Penukar Ion

Adsorpsi atau kromatografi padat-cair adalah bentuk klasik kromatografi cair yang pertama kali diperkenalkan oleh Tswett pada awal abad lalu (Skoog dkk., 2017). Prinsipnya melibatkan pertukaran ion antara larutan elektrolit (fase berair) dan ion yang bermuatan serupa yang diimobilisasi dalam bahan penukar ion (fase padat), yang berlangsung melalui reaksi pertukaran ion yang dapat dibalik secara stoikiometrik. Sistem *batch* dan kolom adalah yang paling umum untuk menyelesaikan proses pertukaran ion menggunakan resin (Inamuddin dan Luqman, 2012). Pada penelitian ini dilakukan dengan sistem kolom untuk mengurangi kontak antar resin, hemat energi, dan memerlukan waktu yang lebih singkat.

Resin penukar ion adalah polielektrolit dengan ikatan-silang (*cross-linked*) dan kapasitas penukar ionnya berasal dari gugus fungsional yang secara kovalen melekat pada matriks atau kerangka kerja. Resin penukar ion umumnya digunakan dalam proses demineralisasi dan pelunakan air (SenGupta, 2017). Metode ini juga kerap digunakan untuk memisahkan, mengidentifikasi, dan menghitung kandungan asam amino, polutan, senyawa aktif dalam obat, surfaktan, karbohidrat, dan lain-

lain. Senyawa-senyawa tersebut tidak dapat dianalisis menggunakan kromatografi gas karena sifatnya tidak mudah menguap dan labil terhadap suhu (Vitha, 2016).

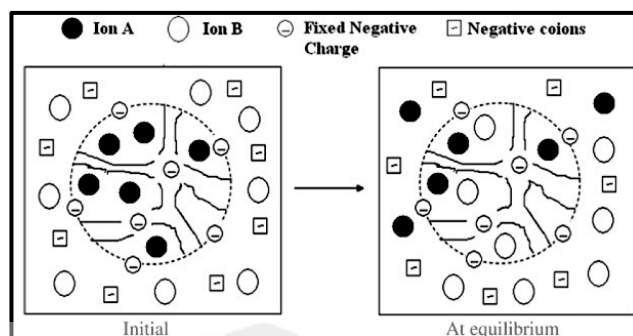
Penukar ion didefinisikan sebagai proses pertukaran ion pada fasa cair (larutan elektrolit) dengan ion pada fasa padat (resin). Kelebihan-kelebihan yang dimiliki sebuah resin adalah sebagai berikut (Inamuddin dan Luqman, 2012):

1. Struktur *multichannel*nya memberikan akses untuk menukar berbagai ukuran ion dan berbagai jenis pelarut serta tahan terhadap air, artinya resin dapat digunakan berulang kali.
2. Resin memiliki kapasitas pertukaran ion tinggi karena ukurannya yang kecil, sehingga meningkatkan kontak air dan menurunkan laju alir.
3. Derajat ikatan-silang yang tinggi dan jumlah ion yang mengikat pada matriks menyebabkan resin memiliki kestabilan (kimia, fisika, dan mekanik) yang tinggi.

#### 2.4.1 Mekanisme Penukar Ion

Umumnya, proses pertukaran ion adalah proses berdasarkan keseimbangan. Misalnya, ketika penukar kation dengan *counter-ion* A (RA) ditempatkan dalam elektrolit yang mengandung *counter-cation* B dan ion C, distribusi kation terjadi sampai kesetimbangan tercapai, seperti yang diberikan oleh persamaan 2.1. Proses pertukaran ion ditunjukkan pada Gambar 2.6 (Inamuddin dan Luqman, 2012).





Gambar 2.6 Representasi sistematis proses keseimbangan penukar ion (Inamuddin dan Luqman, 2012)

Penukaran ion memiliki fitur karakteristik tertentu terlepas dari sifat resin atau kondisi penggunaan. Reaksi penukaran ion bersifat proses stoikiometrik *reversible* mengikuti hukum massa. Ini terjadi melalui proses adsorpsi, dan proses transpor dan difusi. Langkah penentuan laju dalam proses penukaran ion adalah interdifusi ion-ion yang dipertukarkan dalam penukar ion (difusi partikel) (Inamuddin dan Luqman, 2012).

#### 2.4.2 Jenis-jenis Resin Penukar Ion

Penukar ion adalah material padatan tidak larut, memiliki bagian penukar ion, dan mengandung kation atau anion yang dapat ditukarkan dengan sejumlah ion yang memiliki muatan sama (anion/kation) ketika dikotakkan dengan suatu larutan. Penukar ion yang dapat menukar kation disebut penukar kation, sebaliknya penukar ion yang dapat menukar anion disebut penukar anion (Inamuddin dan Luqman, 2012). Pada dasarnya terdapat dua jenis penukar ion yaitu penukar ion alami dan sintetis (Wachinski, 2016). Berdasarkan jenis ion yang ditukarkan, terdapat empat tipe umum resin penukar ion jelaskan pada Tabel 2.5.

Perbedaan waktu retensi pada dasarnya diatur oleh sifat fisik ion terlarut. Fase resin menunjukkan preferensi untuk (1) ion bermuatan lebih tinggi, (2) ion

dengan jari-jari terlarut lebih kecil, dan (3) ion dengan polarisasi yang lebih besar. Ukuran dan muatan ion terlarut sangat penting. Secara umum, jari-jari ion terlarut membatasi interaksi *Coulombic* antara ion, dan polarisabilitas ion menentukan daya tarik van der Waals. Retensi kation umumnya mengikuti urutan  $\text{La}^{3+} > \text{Al}^{3+} > \text{Ba}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Sr}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{UO}^{2+} > \text{Ag}^+ > \text{Cs}^+ > \text{Rb}^+ > \text{K}^+ = \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{H}^+ > \text{Li}^+$ . Untuk anion, urutannya adalah  $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7^{3-}$  (sitrat)  $> \text{SO}_4^{2-} > \text{C}_2\text{O}_4^{2-} > \text{I}^- > \text{NO}_3^- > \text{Br}^- > \text{SCN}^- > \text{Cl}^- > \text{CH}_3\text{CO}_2^- > \text{F}^- > \text{OH}^- > \text{ClO}_4^-$ , urutan tersebut berlaku hanya untuk resin asam lemah, untuk resin basa kuat cenderung memiliki daya tukar yang sama kecuali  $\text{OH}^-$  (Vitha, 2016).

Tabel 2.5 Klasifikasi penukar ion dan sifat-sifatnya

Parameter	Penukar Kation		Penukar Anion	
	Asam Kuat	Asam Lemah	Basa Kuat	Basa Lemah
Gugus Fungsi	$\text{SO}_3\text{H}$	$\text{COOH}$	$\text{NP}_4^+$ Tipe 1: R = logam Tipe 2: R = logam dan etanol	Poliamina
pH	0 – 14	7 – 14	10 – 14	1 – 7
Agen Regenerasi	Asam (200-300%)	Asam (100%)	Basa (200-300%)	Basa (100%)

(Inamuddin dan Luqman, 2012).

Metode resin penukar ion umum digunakan dalam pembersihan air dari pencemar dan zat-zat berbahaya, baik menggunakan resin penukar kation maupun resin penukar anion. Penelitian terdahulu mengenai penggunaan resin penukar kation dalam pemisahan zat dari suatu larutan antara lain: penyerapan ion-ion  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ , dan  $\text{Cr}^{3+}$  dalam limbah cair menggunakan resin Amberlite IRN77 (Kang dkk., 2004); penyerapan ion  $\text{U}^{6+}$  dari medium asetat menggunakan resin Lewatit TP260 (Kadous dkk., 2011); dan pemisahan senyawa-senyawa monosakarida dari limbah

biomasa hidrolisat dengan resin Amberlite IR120 dan Amberlite IRP69 (Chen dkk., 2018). Penelitian mengenai penggunaan resin penukar anion dalam pemisahan zat dari suatu larutan juga sangat umum dilakukan, antara lain: pemurnian air dari ion  $\text{Cr}^{6+}$  dengan resin Tulsion A27 (Koujalagi dkk., 2013), pemisahan ion  $\text{U}^{6+}$  dari limbah dengan resin Amberlite CG400 (Semnani dkk., 2012), penyerapan  $\text{U}^{6+}$  dari larutan sulfat dengan resin Amberlite IRA402 (Solgy dkk., 2015), dan penyerapan unsur radioaktif dengan resin Tulsion A23 dan Indion 454 (Singare, 2014).

Resin penukar anion lebih umum dalam memisahkan torium dari limbah cair. Penelitian dengan membandingkan kedua jenis resin pada sampel yang sama menunjukkan performa resin penukar anion lebih baik. Beberapa jenis resin kation yang digunakan adalah CatIXR 4 dan CatIXR 3, data menunjukkan 2 jam pengontakkan resin mampu menyerap 4 – 5% torium saja, sedangkan pada waktu pengontakkan 24 jam adsorpsi torium menurun menjadi 4 – 3%. Beberapa jenis anion yang digunakan yaitu AnIXR 1 dan AnIXR 4. Data menunjukkan 2 jam pengontakkan dengan resin AnIXR 1 dan AnIXR 4 mampu menyerap torium hingga 28% dan 21%. Sedangkan dengan waktu lama pakai resin 24 jam resin AnIXR1 mampu menyerap torium hingga 55% dan resin AnIXR 4 mampu menyerap torium hingga 26% (Ang dkk., 2017). Berdasarkan literatur tersebut, penelitian kali ini menggunakan resin penukar anion.

### **2.4.3 Operasi Sistem Pertukaran Ion**

Proses penukar ion berbasis kolom paling baik digambarkan dengan mempertimbangkan langkah-langkah dasar dari siklus lengkap dari operasi penukaran ion. Operasi dari setiap proses penukaran ion melibatkan empat langkah:

pencucian balik (*backwash*), regenerasi (*regeneration*), pembilasan (*rinsing*), dan pelayanan (*service*) (Wachinski, 2016).

**a. Tahap Layanan (*Service*)**

Layanan adalah mode operasional sistem. Sampel dilewatkan melalui penukar ion untuk ditukarkan kation atau anionnya. Akhir dari *service run* dideteksi oleh peningkatan tajam dalam tingkat kation atau anion dari efluen. Ketika tujuan telah tercapai, resin kemudian diambil dan dicuci kembali, diregenerasi, dan dibilas sebelum digunakan kembali. *Pretreatment* air proses sebelum pertukaran ion sangat penting untuk mencegah *fouling* atau kerusakan pada resin. Paling tidak, air harus disaring untuk menghilangkan padatan tersuspensi. *Fouling* terjadi ketika bahan organik di dalam air melekat pada resin dengan menempati tempat pertukaran. Fenomena ini mengurangi kapasitas resin (Wachinski, 2016).

**b. Tahap Pencucian Balik (*Backwash*)**

Tahap pencucian balik dilakukan dengan instalasi baru dan setelah setiap digunakan. Air dimasukkan melalui bagian bawah kolom penukar ion pada kecepatan tertentu untuk memperluas permukaan sebesar 50% -75%. Tujuan utama pencucian balik adalah untuk menghilangkan lumpur, kotoran, besi, atau hal-hal tak terpecahkan lainnya yang telah tertumpuk dan terakumulasi selama operasi pertukaran yang dapat menyebabkan degradasi resin (partikel yang mengikis resin). Dilakukannya *backwash* bertujuan untuk meningkatkan kemampuan resin (Wachinski, 2016).

### c. Tahap Regenerasi

Tahap regenerasi merupakan perpindahan ion yang ada di resin. Ion-ion ini ditukarkan ketika proses layanan. Jika resin jenis asam kuat yang diregenerasi dengan asam misalnya, ion hidrogen ( $H^+$ ) ditukarkan ke resin menggantikan yang dilepaskan. Resin saat ini dalam bentuk hidrogen. Jika resin berjenis basa kuat dan diregenerasikan dengan natrium hidroksida (NaOH), ion hidroksil ( $OH^-$ ) ditukarkan pada resin sehingga resin dalam bentuk hidroksil. Langkah regenerasi dapat dilakukan *upflow* atau *downflow* (Wachinski, 2016).

### d. Tahap Pembilasan

Tahap pembilasan adalah tahap lanjutan regenerasi. Tujuannya adalah untuk menghilangkan kelebihan regeneran sebelum menempatkan unit ke dalam layanan. Biasanya dilakukan dalam mode *downflow*. Tahap pertama proses pembilasan dilakukan dengan air garam (NaCl pekat) perlahan dipaksa memasuki resin. Tujuannya adalah untuk mendapatkan kontak yang optimal. Selanjutnya dibilas kembali dengan air mentah. Air mentah digunakan untuk semua pembilasan, kecuali dalam operasi deionisasi tertentu. Digunakan laju alir tinggi untuk menghilangkan sisa air garam dari resin (Wachinski, 2016).

#### 2.4.4 Resin Amberlite IRA402 dan Tulsion A23

Resin penukar ion sangat banyak macamnya, dari berbagai merek dan keunggulan masing-masing. Contoh resin basa kuat yang umum digunakan yaitu Amberlite IRA420, Amberlite IRA410, Lewatit MP500, dan lain-lain. Kemudian beberapa jenis resin basa lemah yang paling banyak digunakan yaitu, Reillex 425,

Amberlite IRA93, Amberlite IRA68, Amberlite IRS35, dan CSIRO MAWB (Parsons dkk., 2007). Resin kation terdiri dari resin asam kuat dan asam lemah. Penukar kation asam kuat biasa digunakan resin sintesis Dowex HDR-W dan Amberlite IR124. Penukar kation asam lemah umumnya digunakan resin Amberlite IR120 dan Amberlite IRC84 (Applebaum, 1968). Penelitian ini fokus pada pertukaran torium dari limbah cair radioaktif hasil pengolahan monasit menggunakan variasi resin penukar anion Amberlite IRA-402 dan Tulsion A-23. Karakteristik dari kedua resin yang digunakan dijelaskan pada Tabel 2.6.

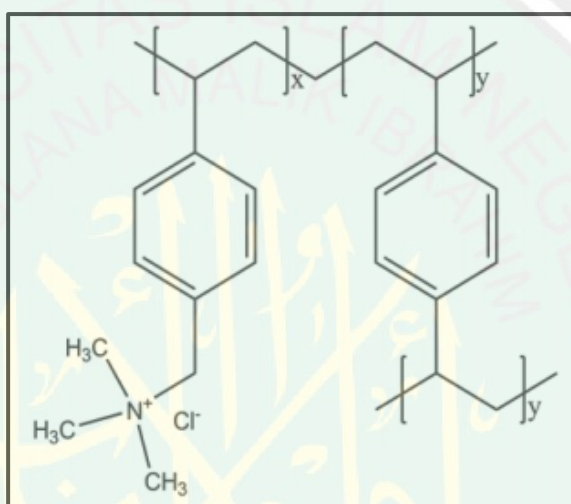
Tabel 2.6 Karakteristik resin penukar ion Amberlite IRA402 dan Tulsion A23

Resin	Amberlite IRA-402	Tulsion A-23
Bentuk fisik	Bola (manik-manik) lunak	
Matriks	Kopolimer stirena divinilbenzen	Kopolimer polistirena
Gugus fungsi	Trimetil amonium	Trimetil amonium
Ion yang ditukarkan	Cl <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>
Total kapasitas penukaran	≥1,20 eq/L	1,3 meq/ml
Kelembaban	49 – 60	53%
Ukuran partikel	0,600 – 0,750 mm	0,3 – 1,2 mm
Koefisien keseragaman	≤1,6	
Kedalam minimum	700 mm	600 mm
Jangkauan pH	-	0 – 14
Suhu operasi maksimum	60°C	60°C
Stabilitas termal	-	80°C
Kelarutan	Tidak larut dalam pelarut umum	
Laju alir	8 – 40 BV*/jam	
Regenerasi		
- Regeneran	NaOH	NaOH
- Level	60 – 150 g/L	40 – 160 g/L
- Konsentrasi	2 – 4%	4 – 5%
- Waktu kontak minimum	30 menit	30 menit

(Koujalagi dkk., 2016; Solgy dkk., 2015)

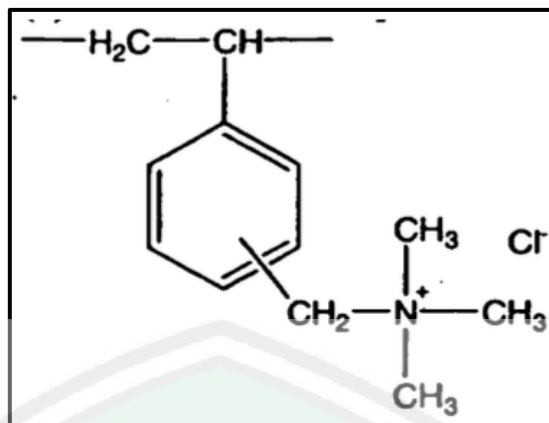
Resin Amberlite IRA402 Cl<sup>-</sup> merupakan resin basa kuat tipe-I, gel transparan, penukar anion. Memiliki struktur kopolimer polistirena yang didesain untuk memberikan kapasitas keseimbangan optimum dan efisiensi regenerasi

dalam aplikasi pengolahan air. Banyak digunakan dalam sistem regenerasi aliran bersama dan juga dapat digunakan dalam sistem aliran balik konvensional seperti menggunakan penahan udara atau air. Aplikasi resin ini dapat menghilangkan asam kuat dan lemah termasuk silika. Karakteristik ini menjadikannya sangat umum digunakan dalam demineralisasi dan berbagai macam aplikasi pengolahan air (Rohm dan Haas, 2008).



Gambar 2.7 Struktur resin Amberlite IRA-402 (Morales dkk., 2016)

Pemilihan resin Amberlite IRA402 dalam penelitian ini berdasarkan penelitian sebelumnya yang menggunakan resin ini untuk mengadsorpsi uranium(VI) dari larutan sulfat. Data menyebutkan bahwa resin ini mampu menyerap hingga 90% uranium dengan waktu 100 menit dan berat resin 0,05 gram. Penelitian ini juga menunjukkan adanya pengaruh variasi resin dalam kemampuannya menyerap uranium, semakin besar massa resin semakin besar pula kemampuannya menyerap uranium. Berdasarkan variasi waktu kontak, persen adsorpsi uranium terus meningkat hingga mencapai titik jenuhnya di menit ke 100 (Solgy dkk., 2015).



Gambar 2.8 Struktur resin Tulsion A-23  
(Shimizu dkk., 2010)

Resin Tulsion A23 adalah resin penukar anion basa kuat yang didasarkan pada matriks polistirena dan mengandung gugus amonium tipe-I. resin ini memiliki karakteristik kimia, fisik dan operasi yang sangat baik karena sifatnya yang bebas retak. Memiliki kapasitas operasi yang baik untuk asam lemah seperti silikat dan karbona. Resin ini sangat cocok untuk digunakan dalam berbagai pH dan suhu. Berwujud bulat dan lembab dalam bentuk klorida dengan distribusi ukuran partikel untuk menghasilkan kinetika yang baik dan penurunan tekanan minimum (Thermax, 2006).

Pemilihan resin Tulsion A23 dalam penelitian ini berdasarkan penelitian sebelumnya yang menggunakan resin ini untuk mengadsorpsi unsur radioaktif  $\text{Br}^{82}$ . Penelitian ini membandingkan 2 jenis resin, yaitu *nuclear grade* (Tulsion A23) dan *non-nuclear grade* resin (Indion810) dalam menyerap unsur radioaktif berupa isotop ion bromida. Hasil penelitian menunjukkan resin Tulsion A23 mampu menyerap  $\text{Br}^{82}$  51,2 – 53% pada konsentrasi 0,001 – 0,004 M dan masih dapat meningkat bila konsentrasi larutan bromida ditingkatkan. Sedangkan resin Indion 810 pada keadaan yang sama hanya mampu menyerap  $\text{Br}^{82}$  sebesar 26 – 38,4% (Singare, 2013).

## 2.5 Spektrofotometer UV-Vis

Metode spektroskopik meneliti interaksi materi kimia dengan radiasi elektromagnetik sebagai fungsi panjang gelombang. Tahun 1666, Sir Isaac Newton menciptakan istilah “*spectrum*” untuk mendefinisikan dispersi cahaya putih (Elkins, 2018). Spektroskopi UV-Vis mengukur jumlah radiasi elektromagnetik yang terserap dari larutan dalam 190 – 800 nanometer (nm). Rentang daerah *ultraviolet* (UV) yaitu 190 – 300 nm dan rentang daerah gelombang panjang UV yaitu 300 – 400 nm. Daerah cahaya tampak terdapat pada rentang 400 – 800 nm (Elkins, 2018). Beberapa hal yang harus diperhatikan bila analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis yaitu; pembentukan molekul yang dapat menyerap sinar UV-Vis, waktu operasional, pemilihan panjang gelombang maksimum, pembuatan kurva baku/standar, dan pembacaan absorbansi sampel (Gandjar dan Rohman, 2018).

### 2.5.1 Teori Spektrofotometri UV-Vis

Jumlah energi yang terkait dengan foton koresponden cahaya dengan panjang gelombang dan frekuensinya sesuai dengan hubungan Planck, sesuai dengan persamaan 2.2:

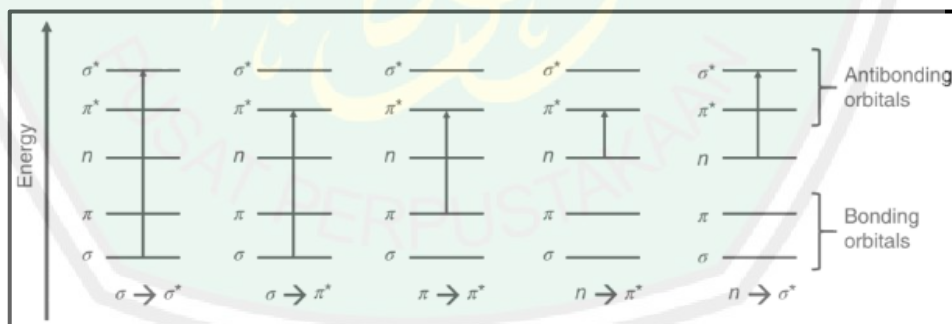
$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana  $h$  adalah konstanta Planck ( $6,626 \times 10^{-34}$  J.s) dan  $c$  ( $2,998 \times 10^8$  m/s) adalah kecepatan cahaya dalam ruang hampa. Molekul menyerap radiasi elektromagnetik sinar UV dan sinar tampak ketika energi cahaya cocok dengan

celah energi dalam molekul. Kesenjangan energi adalah hasil dari elektron yang berbeda dalam molekul. Terdapat dua tingkat energi, yaitu “keadaan dasar” dan “keadaan tereksitasi”. Distribusi keadaan eksitasi lebih tinggi daripada distribusi keadaan dasar dan dicapai dengan memberikan energi kepada molekul, seringkali dalam bentuk radiasi elektromagnetik. Perbedaan antara energi keadaan dasar dan tereksitasi disebut “*energy gaps*”.



Gambar 2.9 Diagram garis yang menggambarkan energy gaps ( $\Delta E$ ), antara orbital molekul keadaan dasar dan tereksitasi (Vitha, 2018)

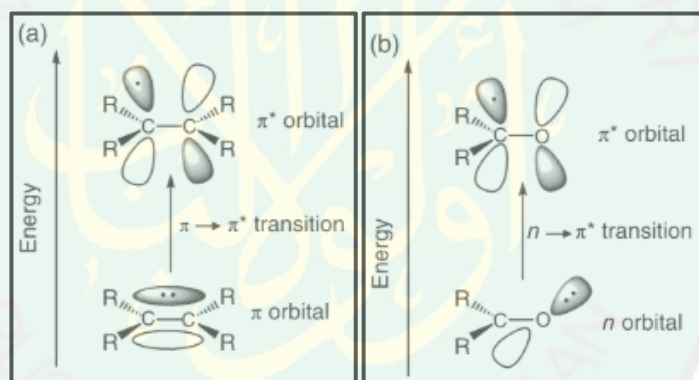


Gambar 2.10 Diagram energi yang menunjukkan transisi antara orbital  $\sigma, n, \pi, \pi^*$ , dan  $\sigma^*$  (Vitha, 2018)

Agar molekul dapat menyerap cahaya, energi cahaya harus cocok dengan *energy gaps*. Dengan kata lain, tidak semua panjang gelombang cahaya akan diserap secara merata oleh molekul tertentu. Selain itu, karena molekul yang

berbeda secara struktural memiliki celah energi yang berbeda yang ditentukan oleh pengaturan elektroniknya yang berbeda sehingga, tidak semua molekul menyerap panjang gelombang cahaya yang sama secara merata (Vitha, 2018).

Transisi elektronik energi terendah pada molekul tertentu terjadi ketika sebuah elektron dalam orbital molekul tertinggi yang ditempati menyerap foton dan berpindah ke orbital molekul terendah yang tidak dihuni, transisi penyerapan dengan cara ini disebut sebagai transisi HOMO / LUMO. Spektrum UV-Vis cenderung memiliki pita absorpsi yang sangat luas. Pita absorpsi masih berpusat pada transisi elektronik utama, tetapi faktor-faktor lain jelas memperluas fitur spektral ini (Vitha, 2018).



Gambar 2.11 Representasi perubahan pada distribusi elektron dalam orbital terkait transisi elektron (a)  $\pi \rightarrow \pi^*$  (bonding ke antibonding) dan (b)  $n \rightarrow \pi^*$  (nonbonding ke antibonding) (Vitha, 2018)

### 2.5.2 Hukum Lambert Beer

Penyerapan UV dan sinar tampak secara kuantitatif dijelaskan oleh hukum Lambert dan Beer. Menurut hukum Lambert, setiap lapisan media yang dilalui cahaya menyerap sebagian kecil cahaya yang tidak tergantung pada intensitas cahaya yang datang, dengan demikian, di sepanjang jalur cahaya ada peluruhan

eksponensial dalam intensitas cahaya. Hukum Beer menyatakan bahwa jumlah cahaya kromofor yang ada dalam medium yang dilewati cahaya. Dengan kata lain, jumlah cahaya yang diserap sebanding dengan konsentrasi spesies penyerap (kromofor). Kedua hukum ini sering digabungkan menjadi apa yang disebut sebagai hukum Lambert-Beer (persamaan 2.3):

$$\log_{10} \left( \frac{I_0}{I} \right) = \log_{10} \left( \frac{I}{T} \right) = A = \epsilon bc \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana  $I_0$  adalah intensitas cahaya datang,  $I$  adalah intensitas cahaya yang ditransmisikan,  $T$  adalah transmisi yang diberikan oleh  $\left( \frac{I_0}{I} \right)$ ,  $A$  adalah absorbansi,  $\epsilon$  adalah koefisien absorpsi molar ( $\text{L.mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$ ),  $b$  adalah jalur cahaya (panjang medium yang dilalui cahaya (cm)), dan  $c$  adalah konsentrasi molekul penyerap ( $\text{mol.L}^{-1}$ ). Hukum Lambert-Beer hanya berlaku jika cahaya monokromatik, yaitu radiasi hanya dari satu panjang gelombang. Hukum Lambert dan Beer berlaku untuk campuran dengan beberapa molekul penyerap (1, 2, 3 ...  $n$ ) asalkan tidak ada interaksi antar molekul yang mempengaruhi spektra. Persamaan dituliskan pada persamaan 2.4 (Müllertz dkk., 2016):

$$A = \epsilon_1 bc_1 + \epsilon_2 bc_2 + \epsilon_3 bc_3 + \dots + \epsilon_n bc_n \dots\dots\dots (2.4)$$

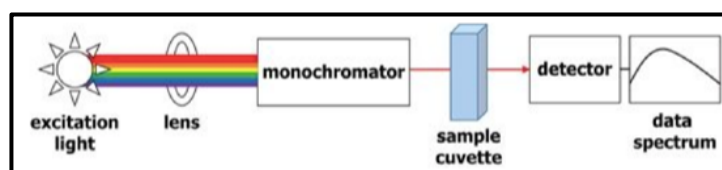
Absorbansi dari molekul bergantung pada pelarut, pH, interaksi molekuler, dan suhu di samping struktur dan panjang gelombang (Müllertz dkk., 2016).

### 2.5.3 Penggunaan Spektrofotometri UV-Vis

Analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis sangat terjangkau dan dapat diakses secara luas yang digunakan untuk analisis sidik jari secara kualitatif dan mengukur rentang konsentrasi mikromolar molekul organik dan biologis seperti cat, obat-obatan, pewarna, metabolit, DNA, toksin dan protein (Elkins, 2018). Torium dengan konsentrasi rendah umumnya dianalisis dengan metode spektrofotometer UV-Vis dengan tingkat ketelitian dan ketepatan analisis yang tinggi (Gunandjar, 2010). Penelitian sebelumnya dilakukan analisis torium dengan metode UV-Vis untuk melihat pola *recovery* dari ekstraksi dan *stripping* torium dari monasit (Ferliana dkk., 2016). Penelitian yang membahas penurunan konsentrasi torium dalam limbah cair monasit menggunakan koagulan juga menggunakan metode UV-Vis dalam menentukan konsentrasi torium. Disebutkan bahwa sampel perlu dilakukan preparasi untuk membentuk kompleks torium dengan pereaksi torin 0,1%; asam askorbat 5%; dan HCl pH 0,8 (Marisi dkk., 2018).

### 2.5.4 Instrumentasi Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis terdiri dari sumber cahaya, lensa, monokromator, tempat sampel, dan detektor. Sistematika spektrofotometer UV-Vis disajikan pada Gambar 2.12 (Elkins, 2018).



Gambar 2.12 Sistematika jalannya cahaya pada spektrofotometer UV-Vis (Elkins, 2018)

#### a. Sumber cahaya

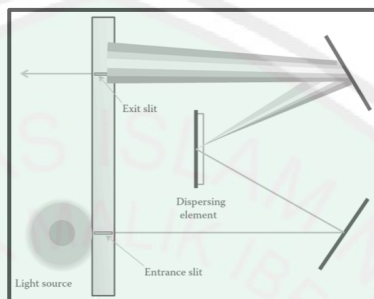
Sumber cahaya khusus digunakan untuk memberikan kualitas cahaya yang optimal untuk wilayah spektrum yang digunakan. Sumber cahaya yang ideal adalah sumber yang memancarkan spektrum cahaya kontinu intens di seluruh wilayah spektrum. Sumber cahaya yang paling sering digunakan untuk studi penyerapan cahaya tampak adalah sumber filamen tungsten. Jika suatu instrumen dimaksudkan hanya untuk pekerjaan ultraviolet, maka digunakan lampu deuterium. Sumber cahaya yang dapat digunakan untuk studi sinar tampak dan *ultraviolet* adalah lampu xenon (Kenkel, 2013).

#### b. Monokromator

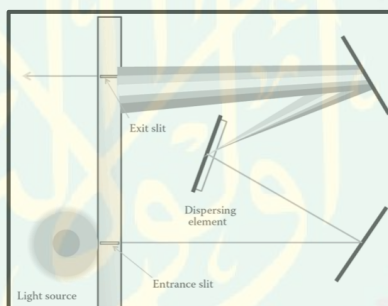
Kata “monokromator” berasal dari Bahasa Latin, “*mono*” artinya “satu” dan “*chromo*” artinya “warna”. Monokromator terdiri dari tiga bagian: celah masuk, elemen pendispersi, dan celah keluar. Selain itu, sering ada cermin untuk menyelaraskan atau mengkomilasi seberkas cahaya sebelum dan sesudah kontak dengan elemen pendispersi. Celah masuk adalah tempat cahaya memasuki monokromator dari sumbernya, tujuannya adalah membuat berkas cahaya searah dengan intensitas yang sesuai dari cahaya *multidirectional* yang berasal dari sumber. Setelah melewati celah masuk, berkas cahaya bertemu dengan pendispersi. Elemen pendispersi menyebarkan cahaya ke dalam panjang gelombang komponennya. Pita sempit spektrum kemudian dipilih oleh celah keluar (lihat Gambar 2.13).

Ketika elemen pendispersi diputar, pancaran warna bergerak melintasi celah keluar sedemikian rupa sehingga rentang panjang gelombang sempit berbeda

muncul dari celah keluar pada setiap posisi rotasi (lihat Gambar 2.13 dan dibandingkan dengan Gambar 2.14). Oleh karena itu, cahaya yang dihasilkan dari celah keluar ini adalah “monokromatik” dan diteruskan ke tempat sampel untuk melewati sampel (Kenkel, 2013).



Gambar 2.13 Ilustrasi monokromator (Kenkel, 2013)



Gambar 2.14 Ilustrasi monokromator dengan elemen pendispersi yang diputar (Kenkel, 2013)

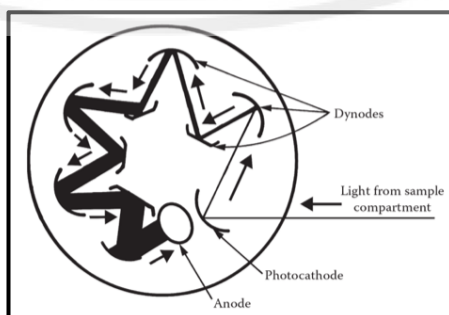
### c. Tempat sampel

Setelah pemilihan panjang gelombang oleh monokromator, balok diteruskan ke bagian sampel dimana larutan sampel, yang disimpan dalam kuvet, diposisikan di jalurnya. Bagian sampel adalah selungkup dengan “tutup” yang dapat dibuka dan ditutup untuk memasukkan dan mengeluarkan kuvet. Ketika tutupnya ditutup kompartemen harus relatif bebas dari cahaya. Beberapa spektrofotometer adalah instrumen “celah tunggal” dan beberapa instrumen “celah

ganda”. Dalam instrumen celah ganda, sinar yang muncul dari monokromator “terbelah” menjadi dua di beberapa titik antara monokromator dan detektor (Kenkel, 2013).

#### d. Detektor

Terdapat dua jenis detektor (sensor cahaya) yang dapat digunakan untuk spektrofotometer UV-Vis yaitu, tabung *photomultiplier* dan *photodiodes*. Tabung *photomultiplier* merupakan sensor cahaya yang dikombinasikan dengan penguat sinyal. Terdiri dari “fotokatoda”, anoda, dan sejumlah “dinoda” untuk menggandakan sinyal. Dinoda adalah elektroda yang apabila bertemu dengan elektron akan mengemisikan elektron sekunder. Ketika berkas cahaya dari sampel menyerang fotokatoda, elektron dipancarkan dan dipercepat, akibat dari tegangan tinggi, ke dinoda pertama yang memiliki lebih banyak elektron dipancarkan. Elektron-elektron diteruskan ke dinode kedua, dimana bahkan lebih banyak elektron dipancarkan. Ketika akhirnya elektron mencapai anoda, sinyal telah cukup dikalikan untuk diperlakukan sebagai sinyal listrik biasa yang dapat diperkuat secara konvensional. Sinyal yang diperkuat ini kemudian dikirim ke pembaca dalam satu atau lain bentuk. Gambar 2.15 menggambarkan proses ini (Kenkel, 2013).



Gambar 2.15 Tabung *photomultiplier* (Kenkel, 2013)

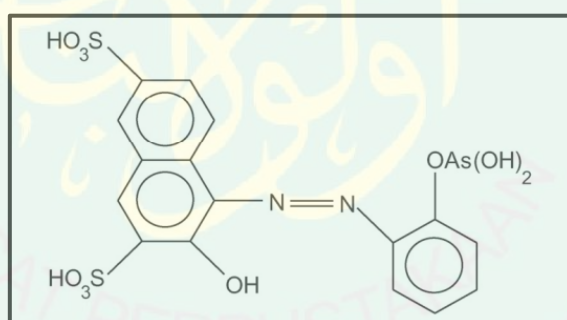
Fotodioda memanfaatkan sifat unik semikonduktor, seperti silikon. Silikon dapat “didoping” dengan pengotor untuk membuatnya kaya elektron (semikonduktor tipe-n) atau sebaliknya (semikonduktor tipe-p). ketika semikonduktor tipe-n dan tipe-p bersentuhan, perubahan elektronik semikonduktor terjadi di batas, atau persimpangan. Fotodioda adalah persimpangan p-n yang dibangun dengan lapisan “p” atas yang sangat tipis sehingga transparan terhadap cahaya. Cahaya bersinar melalui lapisan “n” yang dapat berdifusi ke lapisan “p”, tergantung pada intensitas cahaya. Arus kecil ini mudah diamplifikasi dan diukur (Kenkel, 2013).

#### 2.5.5 Analisa Torium dengan Metode Spektrofotometer UV-Vis

Metode spektrofotometer sudah sangat umum digunakan dalam menentukan konsentrasi logam-logam dan unsur pencemar air lainnya, demikian pula torium. Titik kritis terhadap penggunaan spektrofotometri untuk penentuan uranium dan torium umumnya terkait dengan sensitivitas rendah pada sampel dengan konsentrasi rendah dan ketidakmungkinan penentuan langsung tanpa persiapan sampel. Mempertimbangkan kelebihan dan kekurangan teknik yang ada, tujuan yang ditetapkan adalah pengembangan metode penentuan yang kuat, sederhana, dan relatif murah yang dapat digunakan di laboratorium mana pun (Rožmarić, dkk., 2009).

Penentuan konsentrasi suatu unsur dengan metode spektrofotometri didasarkan pada pengukuran penyerapan senyawa kompleks. Beberapa pereaksi kolorimetri untuk torium dalam literatur seperti thoron atau thorin, morin, Arsenazo, Arsenazo III, quinalizarin dan turunannya, *xyleneol orange*, *semi-xyleneol*

*orange, chromeazurol S, pyrocatachololet, anilin biru, dan lain-lain* (Agrawal dan Dayal, 1985). Reagen arsenazo lebih sensitif daripada thorin, tapi kurang selektif untuk torium. Reagen lainnya tidak menunjukkan ada yang lebih kuat dari thorin untuk analisis torium secara spektrofotometri. Thoron atau thorin (Gambar 2.16) adalah *benzene-2-arsonic acid-1-azo-1-2hydroxynaphthalene-3,6-disulphonic acid*, senyawa ini dapat menentukan torium dengan sensitivitas yang sangat baik meskipun banyak pengganggu seperti logam tanah jarang dan logam-logam lainnya. Penelitian komposisi senyawa yang terbentuk antara torium dan thoron dengan metode *Ostromyslenskii* telah menunjukkan bahwa mereka bereaksi dalam rasio 1:2, kation  $\text{Th}^{4+}$  bereaksi dengan anion bivalen yang dihasilkan oleh disosiasi reagen asam. Konstanta disosiasi kompleks,  $K$ , adalah  $1,27 \times 10^{-10}$  (Ryabchikov dan Gol'Braikh, 2013).



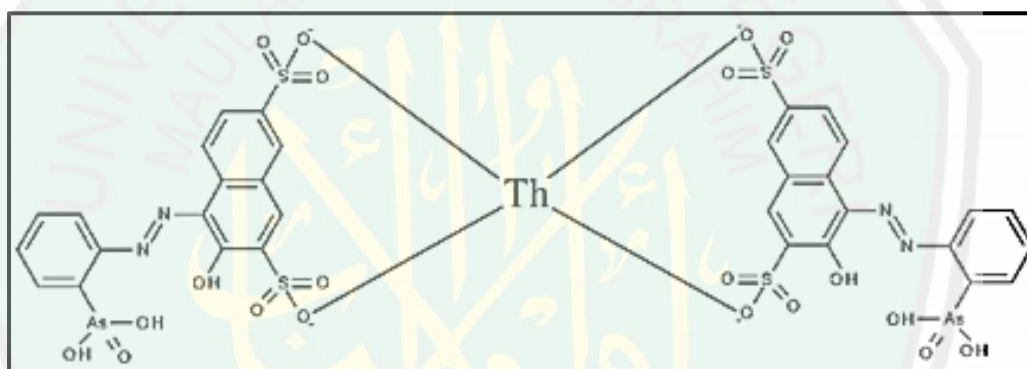
Gambar 2.16 Struktur Kimia Thorin (Ryabchikov dan Gol'Braikh, 2013)

Torium memberikan nilai panjang gelombang yang berbeda-beda bergantung pada pengompleks yang digunakan. Torium membentuk kompleks 1:2 dengan thorin yang cocok dengan penentuan secara spektrofotometri dari unsur ini. Thorin membentuk kompleks berwarna merah-oranye (tergantung konsentrasi) dengan torium yang terserap kuat pada panjang gelombang 545 nm di lingkungan

pH 0,8 (Ahrland dkk., 2016; Akasaka dkk., 2015; Pereira, 2012; Shariff dan Kaler, 2016). Beberapa unsur pengganggu (zirkonium, titanium, golongan aktanida, florida, dan fosfat) dapat di abaikan bila konsentrasinya rendah. Contoh lain pengompleks torium adalah morin, yang dapat memebentuk kompleks dengan baik pada lingkungan pH 2,0. Absorbansi maksimum pada panjang gelombang 410 nm. Namun, reagen ini tidak terabsorpsi secara signifikan pada panjang gelombang tersebut. Selain itu, pengganggu seperti zirkonium dapat menyebabkan gangguan yang cukup serius dan dapat menyebabkan torium terendapkan (Ahrland dkk., 2016; Cheng dkk., 2017; Dulski, 2017).

Thorin membentuk kompleks bersama torium untuk dapat dideteksi pada spektrofotometer UV-Vis ditandai dengan meningkatnya kepekatan warna larutan. Semakin tinggi kandungan torium dalam sampel maka, warna yang dihasilkan akan semakin merah (pekat). Warna komplementer merah inilah yang akan terserap gelombang elektromagnetik pada daerah komplementer warna merah dan dideteksi oleh instrumen spektrofotometer UV-Vis. Sehingga, dapat diduga panjang gelombang untuk warna komplementer merah berada pada kisaran 490 – 560 nm, yaitu daerah biru hijau dan/atau daerah hijau (Huda, 2001). Penelitian mengenai spektrum absorpsi kompleks torium-thorin yang dilakukan pada pH antara 0,2 - 1 menghasilkan beberapa absopktivitas molar yang tinggi. Puncak-puncak terlihat pada panjang gelombang 545 nm, 332 nm, 282 nm, dan 248 nm. Panjang gelombang yang memiliki nilai absorbansi paling tinggi dan paling baik adalah panjang gelombang 545 nm sehingga panjang gelombang ini paling cocok digunakan untuk analisis kompleks torium-thorin secara spektrofotometrik (Affandi dkk., 2002; Agrawal dan Dayal, 1985; Byrd, 1953).

Metode ini didasarkan oleh pengukuran adsorpsi cahaya dari kompleks torium-thorin (Gambar 2.17) (Hamed dan Aglan, 2019). Larutan thorin dalam air atau asam lemah berwarna kuning, dan berwarna orange dalam asam kuat. Hanya torium yang menghasilkan reaksi ini dalam lautan asam klorida. Unsur-unsur pengganggu seperti logam tanah jarang tidak bereaksi dengan reagen dan tidak memiliki pewarnaan yang kuat sendiri, sehingga tidak memberikan efek yang berarti pada deteksi torium. Warna pada kompleks ini stabil hingga 24 jam (Ryabchikov dan Gol'Braikh, 2013).



Gambar 2.16 Struktur Kimia Kompleks Torium-Thorin (Hamed dan Aglan, 2019)

Absorpsi kompleks torium-thorin berlangsung maksimal pada tingkat keasaman pH 0,2 - 1, dan berkurang dengan cepat di luar lingkungan pH ini. Penurunan pH sampel dilakukan dengan larutan asam klorida (Ryabchikov dan Gol'Braikh, 2013). Penelitian mengenai pengaruh pH terhadap kompleks torium-thorin dilakukan dengan melakukan variasi pH 0,27 - 5,06 menunjukkan absorbansi kompleks cenderung stabil pada pH 0,27 - 1,5. Absorbansi mulai menurun pada pH 1,98 dan menurun drastis pada pH yang lebih tinggi, begitu pula dengan pH yang lebih rendah dari 0,27 kompleks mengalami penurunan absorbansi

yang drastis. Thorin yang dibutuhkan untuk pembentukan kompleks optimum pada konsentrasi 0,1% dengan volume 4 – 5 mL (Byrd, 1953). Asam askorbat dipilih sebagai reagen karena asam askorbat dapat meningkatkan nilai *recovery* sehingga spektrofotometer dapat mendeteksi lebih banyak, merupakan reagen yang tidak beracun jika dibandingkan dengan asam nitrat dan kapasitasnya lebih tinggi dibandingkan asam nitrat (Mohite dan Jadhav, 2003). Berdasarkan alasan-alasan di atas maka, pada penelitian ini digunakan thorin 0,1% sebagai pengompleks pada kondisi lingkungan pH 0,8 dengan reagen asam klorida. Analisis torium dilakukan dengan instrumen spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 545 nm.

## 2.6 Parameter Kualitas Air

Limbah cair mengandung pengotor yang merupakan sumber pengaruh menurunnya kualitas air dan karenanya, analisis parameter fisika dan kimia limbah cair merupakan cara terbaik untuk memperkirakan dampaknya pada lingkungan. Beberapa parameter fisikokimia limbah cair yaitu; warna, bau, konduktifitas, TDS (*Total Dissolved Solid*), dan pH (Sarma dkk., 2018). Adanya uji parameter fisika ini dapat menentukan apakah air tersebut layak bagi lingkungan dan tubuh atau sebaliknya. Air yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah limbah cair hasil pengolahan monasit. Hasil uji parameter kemudian disesuaikan dengan ambang batas yang telah ditentukan pemerintah.

### 2.6.1 Derajat Keasaman (pH)

Tingkat keasaman suatu larutan/cairan didefinisikan sebagai nilai pH (derajat keasaman). Suatu larutan dikatakan asam apabila bereaksi dengan air

menghasilkan ion hidronium ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) dalam larutan. Dinamakan basa apabila bereaksi dengan air menghasilkan ion hidroksida ( $\text{OH}^-$ ) dalam larutan. Air yang memiliki konsentrasi seimbang antara ion hidronium dan ion hidroksidanya dinamakan “netral”. Larutan asam memiliki  $\text{pH} < 7$ , sementara larutan basa memiliki  $\text{pH} > 7$  (Caon, 2016). Derajat keasaman suatu bahan dapat berpengaruh pada operasi alat-alat yang digunakan sehingga menjadi indikator kerja alat. Batas normal derajat keasaman (pH) yaitu 6 – 8 (Ridhuan, 2016).

Mengetahui nilai pH dari suatu cairan/larutan merupakan dasar dalam analisis kimia dan berpengaruh dalam menentukan langkah analisis lanjut. Metode yang paling baik dalam mengukur pH yaitu dengan menggunakan elektroda pH. Tidak ada sistem pengukuran pH yang lebih baik dari menggunakan elektroda pH, keunggulan dari sistem ini akan menghasilkan nilai pH yang lebih dipercaya, lebih akurat, dan pengukurannya cepat (Li dan Liu, 2018). Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 5 tahun 2014 menyatakan bahwa ambang batas aman pH air adalah 6 – 9. Penentuan nilai pH pada penelitian ini dilakukan dengan pH meter merek Metrohm seri 691.

### 2.6.2 TDS (*Total Dissolved Solid*) dan Konduktivitas

TDS mengindikasikan jumlah bahan kimia organik dan anorganik pada air (Bhowon dkk., 2013). TDS merupakan padatan yang terlarut sepenuhnya atau sebagian dalam air, dan tidak mudah mengendap. Kehadiran sejumlah signifikan zat terlarut membuat nilai estetika suatu air berkurang; pun rasa, bau, dan keberadaan oksigen. Beberapa zat terlarut memiliki sifat karosnigenik di alam dan memiliki beberapa pengaruh negatif pada manusia dan hewan. Zat terlarut dengan

konsentrasi tinggi dapat menyebabkan hewan stress dan korosi pada instrumen industri. Zat terlarut ini juga dapat berperan sebagai penghalang oksigen, dimana oksigen tidak dapat lolos hingga dasar air, akibatnya fitoplankton di dasar air tidak dapat melakukan fotosintesis (Kumar dkk., 2018).

Ion-ion yang sering ditemukan dengan konsentrasi yang signifikan yaitu ion logam (contoh :  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , dan  $\text{Ca}^{2+}$ ), anion (contoh :  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^{2-}$ , dan  $\text{SiO}_3^{2-}$ ), dan ion logam tertentu seperti  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ , dan  $\text{Mn}^{2+}$  juga ditemukan di banyak air (Patnaik, 2017). Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 5 tahun 2014 menyatakan bahwa ambang batas aman TDS air adalah 1000 – 2000 mg/l pada limbah cair. Sedangkan menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia nomor 492 tahun 2010 menyatakan standar TDS maksimum untuk air layak konsumsi adalah 500 mg/l atau 500 ppm (Zamora dkk., 2015).

Parameter konduktivitas air merupakan pengukuran mineral terlarut dalam air. Konduktivitas dihitung dengan instrumen berdasarkan aliran arus listrik melalui sampel air (Guyer dkk., 2018). Biasanya nilai TDS mempengaruhi konduktivitas sampel dimana semakin besar nilai TDS maka semakin besar pula konduktivitasnya (Zamora dkk., 2015). Namun pada air netral dan basa ternyata hubungan antara TDS dan konduktivitas tidak konsisten karena ion-ion negatif dari air basa memiliki konduktivitasnya masing-masing. Konduktivitas memiliki nilai kurang lebih dua kali lebih besar dari nilai TDS (Guyer dkk., 2018). Penentuan nilai TDS dan konduktivitas pada penelitian ini menggunakan Instrumen dengan merek EUTECH seri PCD650.

## 2.7 Fluoresensi sinar-X (XRF)

Fluoresensi sinar-X atau XRF adalah sebuah teknik analisis non-destruktif yang digunakan untuk menentukan komposisi yaitu unsur-unsur yang terkandung dari suatu material. Analisis XRF dilakukan berdasarkan pengukuran fluoresensi sinar-X (atau sekunder) yang teremisikan dari sampel ketika elektron berpindah dari keadaan primernya. Setiap unsur-unsur yang terkandung dalam sampel menghasilkan satu set fluoresensi sinar-X yang khas. Sinar khas ini berbeda antar satu unsur dengan unsur lainnya, hal ini yang membuat analisis XRF sangat baik untuk pengukuran kuantitatif dan kualitatif. XRF cocok untuk semua sampel, termasuk padatan, cairan, dan bubuk. XRF banyak digunakan sebagai alat karakterisasi yang dapat bekerja dengan cepat di banyak laboratorium analitik di seluruh dunia, untuk aplikasi yang beragam seperti metalurgi, forensik, polimer, elektronik, arkeologi, analisis lingkungan, geologi, dan pertambangan. Fluoresensi sinar-X (XRF) terjadi dalam tiga proses sederhana yang terjadi pada tingkat atom (Beckhoff dkk., 2007):

1. Sinar-X yang masuk melumpuhkan sebuah elektron dari salah satu orbital yang mengelilingi nukleus di dalam sebuah atom.
2. Sebuah lubang diproduksi di orbital, menghasilkan konfigurasi atom yang berenergi tinggi dan tidak stabil.
3. Untuk memulihkan kesetimbangan, elektron dari energi yang lebih tinggi, orbital luar jatuh ke dalam lubang. Karena ini adalah posisi energi yang lebih rendah, kelebihan energi dipancarkan dalam bentuk sinar-X fluoresen.

Perbedaan energi antara elektron yang dikeluarkan dan elektron pengganti adalah karakteristik atom unsur di mana proses fluoresensi terjadi - dengan demikian, energi sinar-X fluoresen yang dipancarkan secara langsung terkait dengan unsur tertentu yang dianalisis. Fitur utama inilah yang membuat XRF menjadi alat analisis yang cepat untuk komposisi unsur (Verma, 2007).

Atom terdiri dari sejumlah orbital elektron (mis., Kulit K, kulit L, kulit M), memungkinkan terjadinya sejumlah transisi fluoresen. Misalnya, interaksi sinar-X dengan atom dengan kulit K, L, dan M dapat menghasilkan pembentukan lubang di kulit K, yang kemudian diisi oleh elektron dari kulit L atau dari kulit M. Dalam kedua kasus, ini disebut transisi K. Akibatnya, sebuah lubang dapat dibentuk di kulit L, kemudian diisi oleh sebuah elektron dari kulit M (disebut transisi L). Jadi, untuk satu elemen, terdapat sejumlah puncak XRF, dan biasanya ini semua akan hadir dalam spektrum, dengan intensitas yang berbeda-beda. Mereka membentuk sidik jari karakteristik untuk elemen tertentu (Verma, 2007).

Komponen utama dari spektrometer XRF umumnya adalah: (1) sumber sinar-X digunakan untuk menyinari sampel, (2) sampel, dan (3) deteksi sinar-X fluoresen yang dipancarkan. Spektrum XRF yang dihasilkan menunjukkan intensitas sinar-X (biasanya dalam hitungan per detik) sebagai fungsi energi (biasanya dalam eV) (Verma, 2007).

## **2.8 Pelestrarian Alam dalam Prespektif Islam**

Allah menciptakan manusia dan lingkungan berada dalam ekosistem dan hidup secara bersamaan. Baik manusia maupun lingkungan memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing sehingga hidup berdampingan dan melaksanakan

fungsinya masing-masing, hal ini membuat manusia dan lingkungan memiliki hubungan yang erat satu sama lain. Allah SWT berfirman:

وَهُوَ الَّذِي جَعَلَكُمْ خَٰلِفَ الْأَرْضِ وَرَفَعَ بَعْضَكُمْ فَوْقَ بَعْضٍ دَرَجَاتٍ لِّيُبْلُوَكُمْ فِي مَا آتَاكُمْ ۗ إِنَّ رَبَّكَ سَرِيعُ الْعِقَابِ وَإِنَّهُ لَغَفُورٌ رَّحِيمٌ

*“Dan Dialah yang menjadikan kamu penguasa-penguasa di Bumi dan Dia meninggikan sebahagian kamu atas sebahagian (yang lain) beberapa derajat, untuk mengujimu tentang apa yang diberikan-Nya kepadamu. Sesungguhnya Tuhanmu amat cepat siksaan-Nya dan sesungguhnya Dia Maha Pengampun lagi Maha Penyayang.” (Qs. Al-Anam:165)*

Berdasarkan ayat di atas menurut Abdul (2004), Allah sebutkan kepada Nabi bagaimana agama yang benar dan cara beragama yang benar. Dialah Tuhan yang menjadikan kalian sebagai umat yang saling mewarisi satu sama lain, saling berganti satu sama lain. Sebelum suatu generasi ada generasi sebelumnya, dan setelah generasi tersebut punah maka ada generasi penerusnya. Dialah Allah yang telah mengangkat derajat sebagian kalian di atas sebagian lainnya, dalam hal iman, ilmu, agama, dan dalam hal dunia. Semua itu untuk menguji manusia, yang kaya diuji untuk bersyukur, yang miskin diuji untuk bersabar, yang sehat diuji untuk bersyukur, dan menguji semua yang diberikan-Nya kepada kalian. Sesungguhnya Allah begitu cepat dalam menghitung manusia, tidak ada yang terluput oleh Allah SWT. Semua yang manusia perbuat diketahui oleh-Nya, oleh karena itu hendaklah kita waspada karena Allah begitu kuat hisabnya. Walaupun Allah sangat kuat hisabnya, namun juga Dialah Tuhan yang Maha Pengampun dan Penyayang kepada orang-orang yang taubat dan kembali kepada-Nya. Allah tutup ayat ini dengan menyebutkan dua nama-Nya untuk membuka pintu harapan bagi orang-orang yang berbuat dosa untuk kembali kepada-Nya.

Menurut Shihab (2002) dalam kitab tafsir Al-Mishbah memberi penjelasan tentang surah Al-An'am ayat 165. Allah yang menjadikan kamu khalifah-khalifah, dimana manusia menggantikan Allah dalam mengelola Bumi ini sesuai dengan konsep yang dikehendaki Allah. Menjadikan manusia sebagai wakil Allah untuk menjadikan Bumi sebagai bayang-bayang surga. Allah memberikan sebagian kekuasaan-Nya pada manusia, untuk mengelola Bumi ini sesuai dengan kehendak Allah. Oleh karena itu, kita diberi keragaman berupa meninggikan sebagian lainnya. Kita tidak akan mengetahui apa itu orang kaya tanpa ada orang miskin, orang kaya diuji oleh orang miskin dan sebaliknya, orang miskin diuji oleh orang kaya. Allah memperlakukan kamu perlakuan yang menguji menyangkut apa yang dianugerahkan. Allah menyebutkan siksaan-Nya yang cepat, namun menyebutkan dua rohmatnya, yaitu Maha Pengasih dan Maha Penyayang. Artinya lebih banyak rahmat Allah daripada siksaannya, Allah mengingatkan bahwa yang haram lebih sedikit dan yang halal jauh lebih banyak. Dengan ini ayat ditutup dengan kematian, kebangkitan, dan tugas-tugasnya di Bumi untuk menciptakan apa yang dikehendaki Allah dari Bumi ini melalui usaha-usahanya, dan Allah mengingatkan bahwa Dia Maha Pengampun lagi Maha Penyayang. Allah SWT berfirman dalam surat Al-A'raf ayat 56 sebagai berikut:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ  
مِّنَ الْمُحْسِنِينَ

*“Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya dan Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah Amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik.” (QS Al A'raf: 56-58)*

Allah menerangkan bahwa manusia ditempatkan Allah di Bumi sebagai pemimpin dan diciptakan-Nya segala sesuatu untuk menguji manusia dengan segala kekayaan serta manfaatnya (Al-Mahalli, 2007). Allah SWT menciptakan segala sesuatu pasti memiliki manfaat. Sebagai khalifah di muka Bumi, manusia sudah sepatutnya memanfaatkan sumber daya alam yang Allah berikan tanpa merusak alam itu sendiri. Menurut Shihab (2002), Bumi ini siap digunakan oleh manusia, maka jagalah lingkungan karena sesungguhnya rahmat Allah itu dekat kepada orang-orang yang berbuat kebaikan. Salah satu dari bentuk berbuat baik kepada Bumi adalah dengan menjaga dan memelihara alam sebaik mungkin. Negeri yang baik tanamannya tumbuh dengan baik seizin Allah, yang buruk tidak menghasilkan apapun kecuali hal-hal buruk.



## BAB III

### METODOLOGI

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kawasan PTBGN-BATAN, laboratorium pengolahan limbah yang bertepatan di Gedung 53 Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) Jl. Lebak Bulus Raya No.49 Jakarta pada tanggal 16 Desember 2019 – 20 Maret 2020.

#### 3.2 Alat dan Bahan

##### a. Alat

Alat-alat yang digunakan ialah neraca analitik merek Sartorius seri BSA2245-CW, *oven furnace* merek Ney seri Vulcan D-550, mikropipet, *magnetic stirrer* merek MaxBlend seri MP-6RS, Spektrofotometer UV-Vis merek Hitachi seri U-2900, *Total Dissolved Solid* (TDS) meter merek Eutech seri PCD650, pH meter merek Metrohm seri 691, *manual hydraulic press*, XRF merek Ametek, buret, kolom resin, desikator, alat gelas, kertas saring, *glass wool*, dan botol sampel.

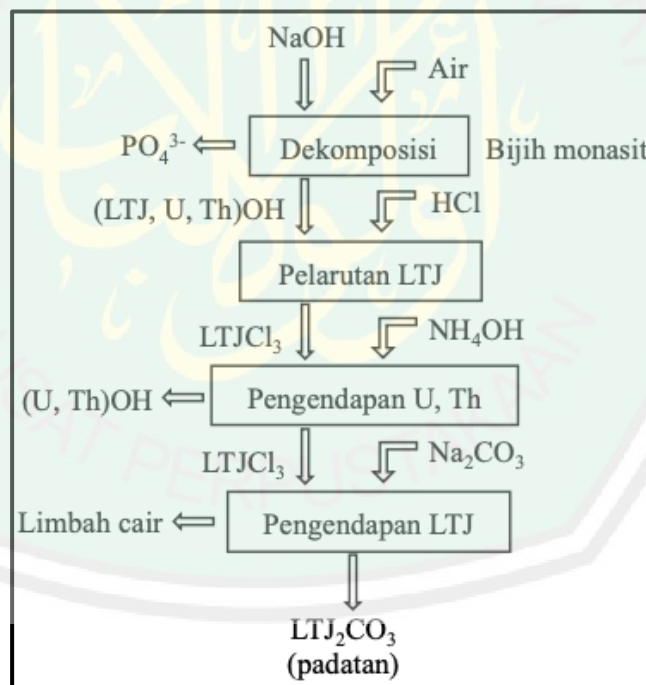
##### b. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan ialah sampel limbah cair monasit PLUTHO PTBGN-BATAN; Resin penukar anion merek Amberlite IRA-402 dan Tulsion A-23; larutan standar Spex Thorium *Thomas Scientific* 10000 ppm; akuades; asam klorida (HCl) pH 0,8; natrium hidroksida (NaOH) 1 N; asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 2 N;

indikator fenolftalein (pp) 0,1%; thorin 0,1%; asam askorbat 5%; binder (cereox); dan natrium sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ).

### 3.3 Rancangan Penelitian

Sampel limbah cair pengolahan monasit PLUTHO-BATAN merupakan limbah hasil dari proses pengendapan LTJ dengan natrium karbonat (Gambar 3.1) yang telah diambil kemudian diberi perlakuan berupa uji awal yakni uji sifat fisika berupa pH dan TDS, dan uji kadar torium dengan instrumen Spektrofotometer Uv-Vis. Uji komposisi sampel dengan instrumen XRF berasal dari padatan hasil proses pengendapan LTJ dengan natrium karbonat (Gambar 3.1).



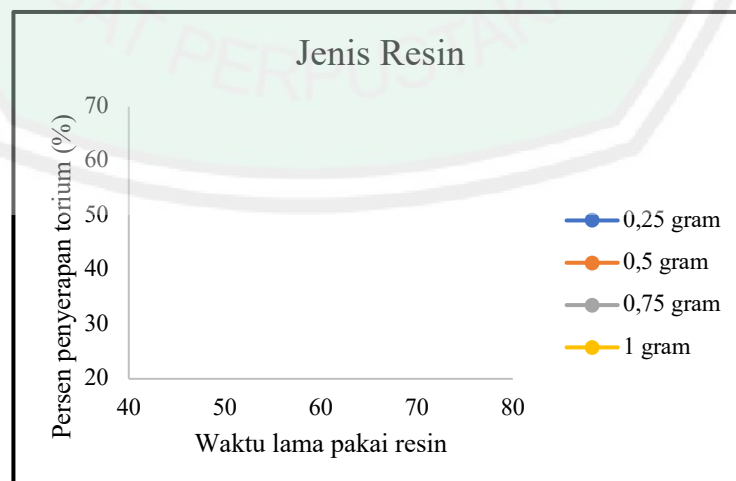
Gambar 3.1 Skema pengolahan monasit

Selanjutnya sampel dikomplekskan dengan natrium sulfat sebanyak 0,3% dari volume sampel dan dihomogenkan selama 1 jam. Setelah itu, sampel disaring untuk memisahkan pengompleks berlebih. Sampel kemudian dikontakkan dengan

resin di kolom resin dengan laju alir 1 mL/menit, dengan variasi berat resin 0,25; 0,5; 0,75; dan 1 gram dan waktu lama pakai resin 40, 50, 60, 70, dan 80 menit. Selanjutnya, diuji kadar torium dalam sampel limbah cair monasit dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis metode kurva standard dan diuji sifat fisiknya yaitu, nilai pH dan TDS. Kemudian, hasil yang diperoleh diplotkan pada Tabel 3.1 dan dibuat grafik dari rata-rata data tersebut (Gambar 3.1) di mana setiap pengukuran variasi dilakukan pengulangan tiga kali (triplo). Komposisi sampel monasit diketahui melalui uji dengan instrumen XRF.

Tabel 3.1 Data hasil pengukuran absorbansi

Jenis Resin	Berat Resin (gram)	Waktu Pemaparan (menit)				
		40	50	60	70	80
Amberlite IRA402	0,25					
	0,5					
	0,75					
	1					
Tulsion A23	0,25					
	0,5					
	0,75					
	1					



Gambar 3.2 Grafik persen penukaran torium

### 3.4 Tahapan Penelitian

Tahap-tahap yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu:

1. Pengeringan resin di dalam oven.
2. Penentuan nilai pertukaran ion dari resin Amberlite IRA402 dan Tulsion A23.
3. Pembuatan larutan standar torium.
4. Preparasi sampel limbah cair monasit.
5. Karakterisasi sampel; uji komposisi monasit dengan instrumen XRF, analisis awal kadar Th limbah cair pengolahan monasit dengan instrumen Spektrofotometer Uv-Vis, dan penentuan sifat fisik pH dan TDS.
6. Pengontakkan resin dan sampel dengan variasi jenis resin, berat resin dan waktu lama pakai resin.
7. Analisis kadar Th pada sampel yang telah dikontakkan dengan menggunakan instrumen Spektrofotometer Uv-Vis.
8. Penentuan sifat fisik pH dan TDS akhir sampel.
9. Analisis data.

### 3.5 Metode Penelitian

#### 3.5.1 Penentuan Nilai Kapasitas Petukaran Ion

Masing-masing resin penukar anion dikeringkan di dalam oven dengan suhu 80°C selama 3 jam, lalu didiamkan di dalam desikator hingga suhu ruang. Resin kemudian ditimbang sebanyak 1 gram ke dalam gelas piala lalu ditambahkan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2 N sebanyak 20 mL, kemudian diaduk selama 2 jam dan didiamkan selama 1 malam. Larutan disaring untuk memisahkan resin dan filtratnya, kemudian filtrat diambil sebanyak 5 mL ke dalam erlenmeyer. Filtrat ditambahkan indikator pp

0,1% kemudian dititrasi dengan NaOH 1 M hingga warna larutan berubah menjadi merah muda. Masing-masing resin dilakukan penentuan nilai kapasitas pertukaran ion dan titrasi diulangi sebanyak empat kali.

Nilai kapasitas pertukaran dapat dihitung dengan menghitung rata-rata titrasi (persamaan 3.1) kemudian dilanjutkan dengan menentukan konsentrasi akhir asam sulfat (persamaan 3.2).

$$\text{Rata-rata volume titrasi} = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_4}{4} \dots\dots\dots(3.1)$$

$$M \text{ H}_2\text{SO}_4 = \frac{\text{Volume titrasi} \times [\text{NaOH}]}{\text{Volume pipet}} \dots\dots\dots(3.2)$$

### 3.5.2 Pembuatan Larutan Standar Torium

Larutan standar spex torium 10000 ppm dilakukan pengenceran 100 kali dengan cara dipipet 1 mL ke dalam labu takar 100 mL sehingga diperoleh konsentrasi larutan standar induk torium 100 ppm. Deret standar torium dibuat berdasarkan faktor kelipatan dari larutan standar induk dengan prinsip pengambilan larutan sebanyak 1 mL memiliki konsentrasi yang sama seperti larutan standar induk tersebut. Oleh karena itu, deret standar torium dengan konsentrasi 0, 5, 10, 20, 50, 100, dan 200 ppm dibuat dengan cara larutan standar induk 100 ppm dipipet berturut-turut 0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; dan 2 mL ke dalam labu takar 50 mL.

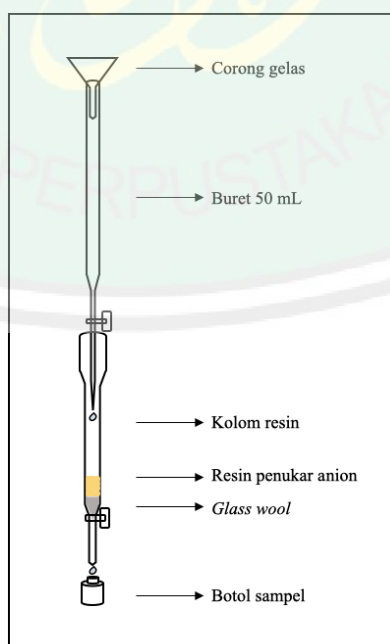
### 3.5.3 Preparasi Sampel Limbah Cair Monasit

Limbah cair monasit dilakukan 5x pengenceran dengan cara memipet 100 mL sampel cair ke dalam labu ukur 500 mL dan ditambahkan akuades hingga tanda

batas. Sampel kemudian dinaikkan pH nya menjadi 9,8 dengan natrium hidroksida (NaOH) 5%. Selanjutnya sampel dilarutkan dalam agen pengompleks natrium sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) sebanyak 1,5 gram (0,3% b/v dari total volume sampel) dalam gelas kimia kemudian diaduk dengan kecepatan 300 rpm selama 1 jam. Setelah homogen, agen pengompleks berlebih di pisahkan dari sampel dengan cara disaring menggunakan kertas saring lalu sampel disimpan di dalam botol sampel gelap untuk selanjutnya dikontakkan dengan resin. Setiap penambahan reagen dilakukan uji kadar torium dengan instrumen Spektrofotometer UV-Vis.

#### 3.5.4 Penentuan Optimalisasi Pertukaran Torium

Masing-masing resin penukar anion dikeringkan di dalam oven dengan suhu  $80^\circ\text{C}$  selama 3 jam dan didinginkan di dalam desikator. Kolom resin disiapkan dengan diberi bantalan *glass wool* seberat 0,5 gram pada bagian bawah dan dibasahi dengan akuades. Rangkaian alat seperti Gambar 3.2.



Gambar 3.3 Spesifikasi rangkaian alat

Resin dimasukkan ke dalam kolom resin dengan variasi bobot 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 persen alir 1 mL/menit, lalu dilakukan variasi waktu lama pakai resin yaitu 40, 50, 60, 70, dan 80 menit. Setelah itu filtratnya disimpan dalam botol sampel untuk kemudian dianalisis dengan instrumen Spektrofotometer UV-Vis.

### 3.5.5 Analisis Torium dengan Spektrofotometer UV-Vis

Pipet 5 mL masing-masing larutan sampel dan standar ke dalam labu takar 50 mL. Tambahkan ke dalam labu tersebut 15 mL HCl pH 0,8; 4 mL torin 0,1%; dan 4 mL asam askorbat 5%. Setiap penambahan pereaksi diaduk dan didiamkan selama 5 menit. Larutan kemudian ditepatkan dengan HCl pH 0,8 sampai tanda batas. Larutan blanko yang hanya berisi pereaksi juga dibuat dengan perlakuan yang sama seperti sampel. Setelah didiamkan selama 30 menit serapan dari kompleks torium-torin diukur dengan instrumen Spektrofotometer UV-Vis.

Instrumentasi Spektrofotometer Uv-Vis yang digunakan berjenis *double beam* dengan merk Hitachi seri U-2900 dengan *spectral bandwidth* 1,5 nm dan mampu mengukur dari panjang gelombang 190 nm hingga 1100 nm (Tolbin dkk., 2016). Instrumen Spektrofotometer UV-Vis diatur panjang gelombang sesuai dengan panjang gelombang optimum penyerapan kompleks torium-torin yaitu sebesar 545 nm (Affandi dkk., 2002).

Seluruh larutan standar diukur absorbansinya hingga didapatkan kurva standar dengan nilai R minimal 0,9998. Setelah didapatkan kurva standar, dilanjutkan dengan pengukuran sampel. Sampel yang telah mengalami kontak

dengan resin Amberlite IRA402 dan Tulsion A32 dengan variasi berat resin 0,25; 0,5; 0,75; dan 1 gram variasi waktu lama pakai resin 40, 50, 60, 70, dan 80 menit diukur dengan instrumen Spektrofotometer UV-Vis. Data hasil percobaan kemudian dirata-rata, dihitung persen persen penukaran toriumnya, dan hasil akhir diplotkan menjadi sebuah grafik.

### 3.5.6 Penentuan Nilai TDS dan pH Sampel

Sampel limbah cair monasit dihomogenkan terlebih dahulu sebelum diukur, kemudian 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 tersebut stabil, maka nilai TDS dan pH langsung terbaca dan angka tersebut menunjukkan nilai TDS dan pH yang diukur. Setiap pengukuran sampel dilakukan dua kali pengulangan dan setiap perlakuan variasi dilakukan tiga kali pengulangan (triplo), sehingga hasil akhir merupakan rata-rata dari data yang didapatkan.

### 3.5.7 Analisis Sampel Monasit dengan Spektrofotometer XRF

Sampel monasit dikeringkan dalam oven. Tumbuk pasir monasit hingga halus. Ayak dengan ayakan 200 mesh. Ambil 5 gram monasit dan 1 gram binder (cereox), kemudian campur sampai merata. Sampel dan bubuk cereox dicampurkan dan diaduk hingga merata untuk kemudian dicetak menjadi pelet.

Siapkan *die set* dan dimasukkan *lower punch* ke dalam *die set*. Campuran sampel dan bubuk cereox yang telah diaduk hingga merata dimasukkan ke dalam *die set* kemudian dimasukkan *upper punch* ke dalam *die set*. Dipasang *pressing*

*plunger* pada *die set* kemudian diletakkan di atas *piston*. *Die set* dikunci dengan cara *leadscrew handle* diputar hingga kencang. Diputar *pressure release handle* searah putaran jarum jam hingga kencang, kemudian *pump handle* dipompa dengan perlahan hingga jarum pada *load gauge* mengarah pada angka yang maksimal. *Pellet* yang telah terbentuk dikeluarkan dari seperangkat *manual hydraulic press* untuk diuji dengan XRF.

Masukkan sampel yang telah mengalami preparasi fisik sebelumnya (pelet atau powder) ke dalam kompartemen nomor 1. Kompartemen ditutup kemudian program di komputer, klik *file*, *routine* hingga pada monitor tampil gambaran pelat sampel atau tabel sampel. Pilih posisi sampel pada pelat sampel dengan meng-klik *mouse new*. Hal ini akan membuka jendela baru *enter atau edit sample data*. Beri nama sampel, pilih metode yang sesuai dengan kondisi fisik sampel (*pellet* atau *powder*). Pilih aksi yang akan dilakukan yaitu *measure* kemudian klik *start* untuk memulai pengukuran. Tanda *X-Ray* pada alat akan berwarna merah.

### 3.5.8 Analisis Data

Persen penukaran torium (Th) terhadap resin dapat dihitung dengan beberapa persamaan sesuai dengan jenis data yang diinginkan untuk mengetahui efektivitas resin, dan untuk menentukan kemampuan resin dalam mengadsorpsi torium dapat dilihat melalui kapasitas adsorpsi resin. Persen penukaran torium (Th) resin Amberlite IRA402 dan Tulsion A23 dapat dihitung dengan persamaan 3.3, dan kapasitas adsorpsi resin dapat dihitung dengan persamaan 3.4:

$$\text{Persen penukaran Th} = \frac{[\text{Th awal}] - [\text{Th akhir}]}{[\text{Th awal}]} \times 100\% \dots \dots \dots (3.3)$$

$$\text{Kapasitas adsorpsi (Qe)} = \frac{\text{Volume sampel} \times [\text{Th terjerap}]}{\text{massa resin}} \dots\dots\dots(3.4)$$

Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan analisis menggunakan program statistika SPSS dengan metode uji rancangan acak lengkap (RAL) untuk mengetahui pengaruh setiap variasi terhadap hasil persen penukaran torium dan dilanjutkan dengan metode *Duncan* untuk mengetahui efektivitas resin.



## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1 Karakterisasi sampel limbah cair

Sampel limbah cair yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari *pilot plant* PLUTHO-BATAN dari proses pengendapan logam tanah jarang oleh natrium karbonat (Gambar 3.1). Sampel dibawa ke laboratorium untuk diuji sifat fisika dan kimia awal dari sampel tersebut. Kemudian disesuaikan dengan standar baku mutu air limbah kegiatan eksplorasi yang telah diatur pada PERMEN LH No.2 Tahun 2011 untuk nilai pH dan TDS, dan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PP) No.20 Tahun 1990 untuk nilai konduktivitas. Karakteristik awal sampel limbah cair diberikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Karakteristik awal sampel limbah cair

Parameter	Hasil Uji	Baku Mutu	Satuan
pH	8,2	6 – 9	-
TDS	11.583	< 4000	ppm
Konduktivitas	23.072	< 1500	$\mu$ S/cm
Konsentrasi Th	733	0,2	ppm

Melalui data karakteristik awal sampel pada Tabel 4.1, diketahui bahwa nilai TDS dan konduktivitas sampel berada jauh di atas standar baku mutu air limbah. Oleh karena itu, diperlukan proses lanjutan untuk menurunkan TDS sampel sehingga sesuai dengan baku mutu limbah.

Tidak adanya baku mutu untuk torium yang ditetapkan oleh pemerintah Indonesia maupun dunia menyebabkan sulitnya menentukan batas torium pada lingkungan, oleh sebab itu digunakan standar baku uranium sebagai perbandingan baku mutu torium. Menurut PERMEN LH No.2 Tahun 2011 tentang Baku Mutu

Air Limbah Kegiatan Eksplorasi menyatakan bahwa batas maksimal konsentrasi uranium (U) pada air adalah 0,2 ppm. Apabila dibandingkan dengan baku mutu uranium yang ada, konsentrasi torium pada sampel yang digunakan sangat tinggi yaitu 733 ppm, karenanya dibutuhkan proses lanjutan pada air limbah yang pada penelitian kali ini dilakukan upaya penurunan kadar torium dalam air limbah menggunakan resin menukar anion.

Sampel yang diuji komposisinya dengan menggunakan alat uji *X-Ray Fluorescence* (XRF) berupa padatan hasil proses pengendapan tanah jarang dari bijih monasit (Gambar 3.1), kemudian diamati hasil konsentrasi masing-masing unsur. Berdasarkan hasil analisis monasit diperoleh data *X – ray Fluorescence* (XRF) sebagaimana ditunjukkan pada Lampiran 5, kemudian dibuat Tabel 4.2 berdasarkan lima unsur yang paling banyak terkandung dalam monasit.

Tabel 4.2 Data analisis komposisi kimia sampel monasit menggunakan XRF

<b>Komposisi Kimia</b>	<b>Konsentrasi (ppm)</b>
Sc	7,8
Y	3770
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22080
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	42500
Pr	2179
Nd	11580
Sm	1215
Er	265,6
Yb	256,9
Th	30,8

Berdasarkan Tabel 4.2, dapat diketahui bahwa konsentrasi dari unsur neodimium (Nd), lantanum (La), dan serium (Ce) merupakan tiga unsur dominan dalam sampel, hal ini disebabkan sampel monasit merupakan mineral dengan

kandungan 35 – 71% LTJ, dimana sebagian besar LTJ merupakan unsur serium (Ce) dan neodimium (Nd) (Qi, 2018).

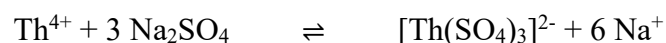
#### 4.2 Preparasi sampel limbah cair

Sampel limbah cair dilakukan 5x pengenceran dengan air, tahap ini dilakukan untuk mengencerkan sampel sehingga mengurangi resiko bahaya saat bekerja. Sampel yang tidak diencerkan terlebih dahulu memiliki bau amoniak yang sangat tajam dan kandungan torium yang tinggi (Tabel 4.1) sehingga dianggap berbahaya bila bekerja dalam waktu yang lama. Sampel memiliki warna khas berwarna biru pucat yang berasal dari dua logam tanah jarang yang memiliki warna serupa yaitu, serium (Ce) dan neodimium (Nd) (Djerdj dkk., 2009), sedangkan unsur torium tidak berwarna (Nash dan Lumetta, 2011). Sebagaimana diketahui, monasit dikenal sebagai mineral fosfat yang umumnya terdiri dari 45% – 48% serium dan 17% neodimium (Nd) (Dan dkk., 2014)

Setelah diencerkan, sampel ditambahkan NaOH 5% hingga terjadi perubahan pH sampel, awal mula pH sampel 8,2 menjadi pH 9,8. Tahap ini dilakukan untuk meningkatkan kelarutan torium dalam sampel, torium akan larut dengan maksimal pada lingkungan pH 9,8 (Nuri dkk., 2000).

Torium yang semula bermuatan positif +4 ( $\text{Th}^{4+}$ ) dalam sampel kemudian diubah menjadi anion dengan membentuk kompleks bersama ion sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) melalui penambahan natrium sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) 0,3% dan membentuk kompleks torium sulfat,  $[\text{Th}(\text{SO}_4)_3]^{2-}$  yang tidak berwarna (*colorless*) (Wiberg dkk, 2001). Tahap pembentukan kompleks torium sulfat ini bertujuan agar torium dapat

ditukarkan melalui resin penukar anion. Adapun reaksi pembentukan kompleks anion torium adalah sebagai berikut (Trinopiawan dkk., 2011):



Hasil dari tahap ini adalah torium yang semula berupa kation ( $\text{Th}^{4+}$ ) menjadi bentuk kompleks anion torium berupa  $[\text{Th}(\text{SO}_4)_3]^{2-}$ . Adapun hasil uji spektrofotometri pada tiap perlakuan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3 Data hasil uji spektrofotometer UV-Vis preparasi sampel

Perlakuan	Konsentrasi torium (ppm)		
	Ulangan 1	Ulangan 2	Rata-rata
Pengenceran sampel	66,923	66,779	66,851
Pengaturan pH sampel*	150,855	148,280	149,568
Pengompleksan sampel	138,506	138,023	138,264

\*pH sampel = 9,8

Berdasarkan hasil Tabel 4.3, menunjukkan bahwa konsentrasi torium setelah tahap pengenceran diketahui hanya sebesar 66,85 ppm, hal ini disebabkan oleh banyaknya torium yang belum larut sedangkan salah satu syarat untuk analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis yaitu sampel harus jernih (tembus cahaya) dan bebas padatan, sehingga instrumen hanya mampu mendeteksi sebagian torium (Skoog dkk., 2017). Setelah sampel dilakukan pengaturan pH dari 8,2 menjadi 9,8 diketahui konsentrasi torium pada sampel sebesar 149,57 ppm, ini membuktikan bahwa pada lingkungan pH tersebut torium larut secara maksimal sehingga lebih banyak torium yang mampu dideteksi oleh instrumen (Trinopiawan dkk., 2011). Penambahan natrium sulfat berlebih sebagai pembentuk kompleks torium menyebabkan turunnya konsentrasi torium pada sampel, hal ini terjadi karena anion dari pengompleks ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) mampu mengikat torium ( $\text{Th}^{4+}$ ) dan membentuk

$\text{Th}(\text{SO}_4)_2$  yang dapat mengendap sehingga mengurangi jumlah torium dalam sampel (Prabowo dkk., 2019).

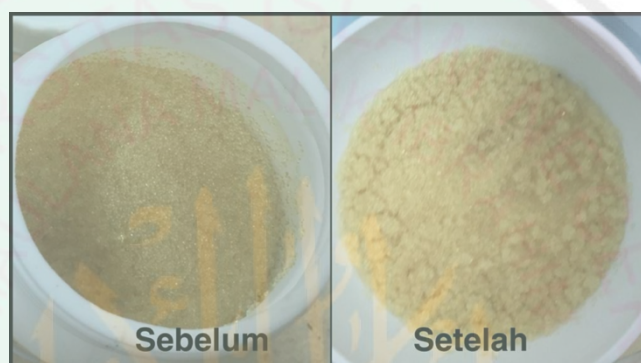
### 4.3 Preparasi resin

Penelitian ini menggunakan dua resin penukar anion yaitu, resin Amberlite IRA402 dan resin Tulsion A23, keduanya merupakan resin dengan sifat basa kuat, memiliki nilai kapasitas pertukaran ion yang sama, dan anion yang ditukarkan  $\text{Cl}^-$ . Dimana pada resin penukar anion waktu retensi dan selektivitas ion  $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$  karena  $\text{SO}_4^{2-}$  lebih mudah terpolarisasi dari pada  $\text{Cl}^-$  dan ukuran ion  $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$  sehingga gugus  $\text{Cl}^-$  pada resin dapat bertukarkan dengan torium sulfat,  $[\text{Th}(\text{SO}_4)_3]^{2-}$  (Vitha, 2016). Amberlite IRA402 dipilih karena sudah sangat umum digunakan dalam pengolahan air dan Tulsion A23 dipilih karena merupakan salah satu resin *nuclear grade*.

Preparasi resin dilakukan untuk menghilangkan kadar air dan terjadi perubahan fasa pada resin dengan cara dipanaskan pada suhu  $80^\circ\text{C}$  selama 3 jam. Resin Amberlite IRA402 memiliki warna lebih cerah (krem) dan resin Tulsion A23 cenderung memiliki warna yang lebih gelap (cokelat muda). Perubahan fisik akibat proses aktivasi dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2, warna resin memudar akibat hilangnya kadar air, dan resin yang semula basah karena mengandung air menjadi kering dan tidak menempel satu sama lain maupun pada wadah. Hasil tahap ini berupa resin kering yang siap digunakan sebagai penukar anion.



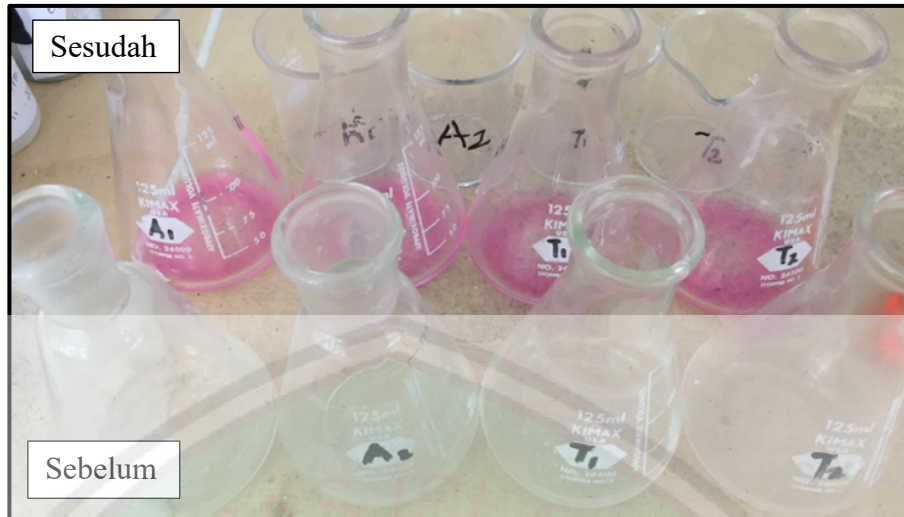
Gambar 4.1 Kondisi fisik resin Amberlite IRA402 sebelum dan setelah aktivasi



Gambar 4.2 Kondisi fisik resin Tulsion A23 sebelum dan setelah aktivasi

#### 4.4 Penentuan nilai kapasitas pertukaran ion

Kapasitas pertukaran ion mewakili jumlah total sisi aktif atau gugus fungsi yang bertanggung jawab untuk pertukaran ion dalam membran elektrolit polimer. Umumnya, metode yang digunakan untuk menentukan nilai kapasitas pertukaran ion adalah titrasi asam basa konvensional (Kumar dkk., 2018). Tahapan titrasi asam basa dilakukan dengan menukarkan gugus fungsi asli resin ( $\text{Cl}^-$ ) dengan anion dari larutan asam sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) selama 2 jam. Kemudian didiamkan semalaman untuk memaksimalkan pertukaran ion. Filtrat yang telah dipisahkan dari resin kemudian di titrasi dengan NaOH 1 N sebagai titran dan pp 0,1% sebagai indikator titik akhir titrasi sampai warna larutan berubah menjadi merah muda. Perubahan warna dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Perubahan warna sebelum titrasi (tidak berwarna) dan setelah mencapai titik akhir titrasi (merah muda) dari resin tanpa sampel limbah

Tabel 4.3 Data hasil nilai kapasitas tukar ion resin Amberlite IRA402 dan Tulsion A23

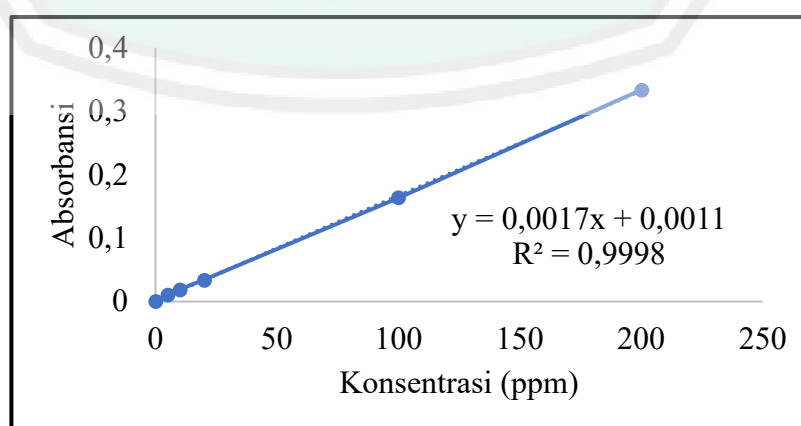
Resin	Volume titrasi (mL)					Kapasitas tukar ion (meq/mL)
	I	II	III	IV	Rata-rata	
Amberlite IRA402	10,9	11,9	10,9	10	10,925	1,7
Tulsion A23	9,9	10,8	10,8	10,7	10,55	1,65

Tahap ini menghasilkan nilai pertukaran ion untuk setiap 1 gram resin kering. Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 4.3 dan perhitungan pada Lampiran 3, nilai tukar anion pada resin Amberlite IRA402 sebesar 1,7 meq/mL dan untuk resin Tulsion A23 sebesar 1,65 meq/mL. Hasil yang diperoleh sesuai dengan standar yang ditentukan oleh masing-masing perusahaan resin, dimana 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 (Koujalagi dkk., 2016; Solgy dkk., 2015). Atas dasar kemiripan nilai tukar ion inilah sehingga dilakukan variasi dengan kedua resin ini untuk mengetahui kualitas kerja resin yang lebih baik.

#### 4.5 Pembuatan kurva standar torium

Kurva standar merupakan model regresi yang digunakan untuk memprediksi konsentrasi analit yang tidak diketahui berdasarkan respon instrumen terhadap standar yang diketahui (Moosavi dan Ghassabian, 2018). Metode ini umum digunakan pada analisis torium dalam limbah industri, pengaruh pengganggu terhadap analisis torium, sintesis adsorben nanokomposit, dan lain-lain (Boybul dan Yanlinastuti, 2016; Fisli dan Yusuf, 2010; Noviarthy dkk., 2011).

Tahap pembuatan kurva kalibrasi atau kurva standar torium dilakukan karena keakuratan penghitungan sampel bergantung pada akurasi, presisi, dan linearitas standar. Standar torium nitrat ( $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ ) yang digunakan sebagai larutan induk pada penelitian ini berasal dari *Thomas Scientific Thorium Spex* dengan konsentrasi 10.000 ppm. Bentuk pembuatan kurva baku standar yang baik dapat dibuktikan berdasarkan kemiringan kurva kalibrasi. Nilai maksimal  $R^2$  adalah 1, maka semakin besar nilai  $R^2$  semakin baik pula data tersebut. Berdasarkan Gambar 4.4, hasil perhitungan regresi menunjukkan nilai  $R^2$  sebesar 0,9998, artinya standar ini dapat digunakan untuk analisis sampel dan menghasilkan nilai yang tepat, data lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Lampiran 10.



Gambar 4.4 Grafik uji linearitas larutan standar torium

Tabel 4.4 Data hasil uji linearitas larutan standar torium

Konsentrasi larutan standar torium (ppm)	Serapan larutan standar torium (A)
0	0
5	0,011
10	0,019
20	0,034
100	0,164
200	0,334
Koefisien korelasi (r)	0,9999
Regresi linear (R <sup>2</sup> )	0,9998

#### 4.6 Proses penukaran torium

Proses penukaran torium diawali dengan perakitan alat (Gambar 3.1), kemudian mengontakkan resin dan sampel dengan laju alir konstan 1 mL/menit. Tahap ini merupakan inti dari penelitian ini yaitu proses penukaran torium menggunakan resin dengan variasi jenis resin, waktu lama pakai resin, dan massa resin. Proses ini dijaga sebaik mungkin agar laju alir tetap konstan, jarak antar titik keluar sampel dari buret ke permukaan resin tidak jauh sehingga terbentuk cekungan, berat *glass wool* tetap, sampel tidak mengendap di dasar kolom resin, dan tidak ada kontaminan yang masuk ke dalam sistem.

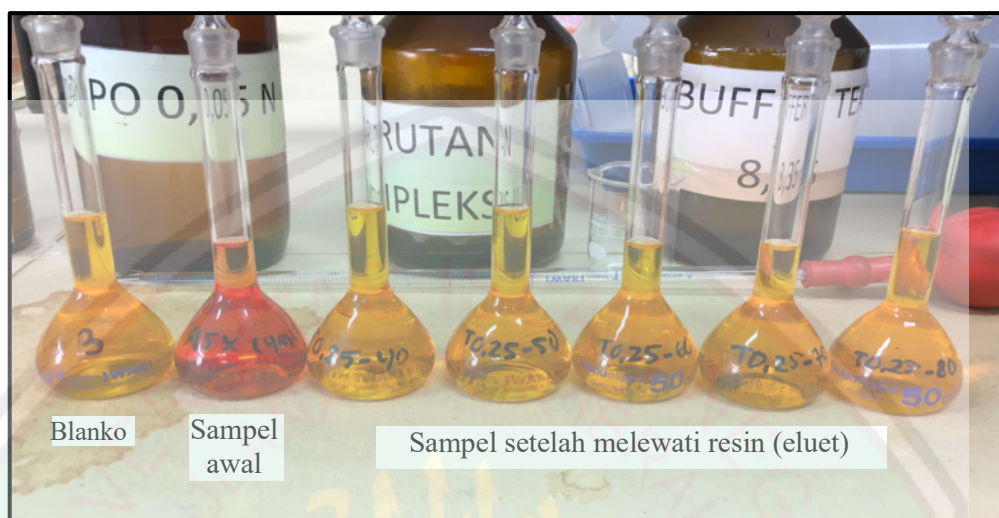
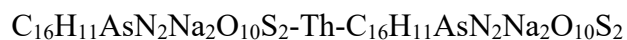
Proses ini menyebabkan perubahan warna pada resin dan *glass wool* yang ditunjukkan pada Gambar 4.5. Resin berubah warna dari kuning-*cream* menjadi kebiruan, hal ini menandakan bahwa tidak hanya kompleks anion torium ( $[\text{Th}(\text{SO}_4)_3]^{2-}$ ) saja yang tertukarkan pada resin melainkan ada anion-anion lain yang ikut terjebak ke dalam resin sehingga menyebabkan perubahan warna resin. *Glass wool* mengalami perubahan warna dari semula berwarna putih menjadi warna biru, perubahan ini dapat terjadi akibat pengotor-pengotor yang tidak larut dalam air dan terakumulasi pada *glass wool* sehingga dapat merubah warna *glass wool*. Perubahan sebaliknya terjadi pada sampel, sebelum dikontakkan dengan resin

sampel memiliki warna khas biru namun setelah keluar dari kolom resin sampel menjadi tidak berwarna.



Gambar 4.5 Perubahan warna resin dan glass wool setelah kontak dengan sampel

Sampel yang keluar dari kolom resin (eluet) kemudian dipreparasi sesuai metode uji torium dengan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui konsentrasi akhir torium. Sampel yang telah dipreparasi (Gambar 4.6) memiliki warna yang khas merah-*orange* yang menandakan tingkat konsentrasi torium dalam sampel, semakin pekat warna sampel maka semakin tinggi konsentrasi toriumnya, dan semakin dekat warna sampel dengan blanko maka semakin rendah konsentrasi torium dalam sampel. Sampel diuji pada hari yang sama untuk menghindari perubahan yang mungkin terjadi pada sampel karena sifat sampel yang tidak stabil. Sebagian lainnya disimpan untuk dilakukan uji sifat fisik akhir sampel berupa nilai pH, konduktivitas, dan TDS. Berikut reaksi pembentukan kompleks torium-thorin (Gambar 2.16) (Hamed dan Aglan, 2019):



Gambar 4.6 Perbedaan warna pada blanko, sampel, dan eluet yang telah dipreparasi dengan metode analisis torium dengan spektrofotometer UV-Vis

#### 4.7 Pengaruh variasi jenis resin, waktu lama pakai resin dan massa resin terhadap persen pertukaran torium

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui jenis resin, waktu lama pakai resin, dan massa resin optimum terhadap persen pertukaran torium. Resin Amberlite IRA402 dan Tulsion A23 digunakan sebagai penukar anion dengan variasi massa resin 0,25; 0,5; 0,75; dan 1 gram. Limbah cair hasil pengolahan monasit yang mengandung torium berperan sebagai sampel yang akan ditukarkan anionnya. Pengamatan dilakukan pada waktu lama pakai resin 40, 50, 60, 70, dan 80 menit.

Analisis kapasitas adsorpsi menyatakan jumlah adsorbat (torium) yang diambil oleh adsorben (resin) per satuan massa dari adsorben. Kapasitas adsorpsi dari resin untuk sampel limbah cair dinyatakan sebagai massa torium yang

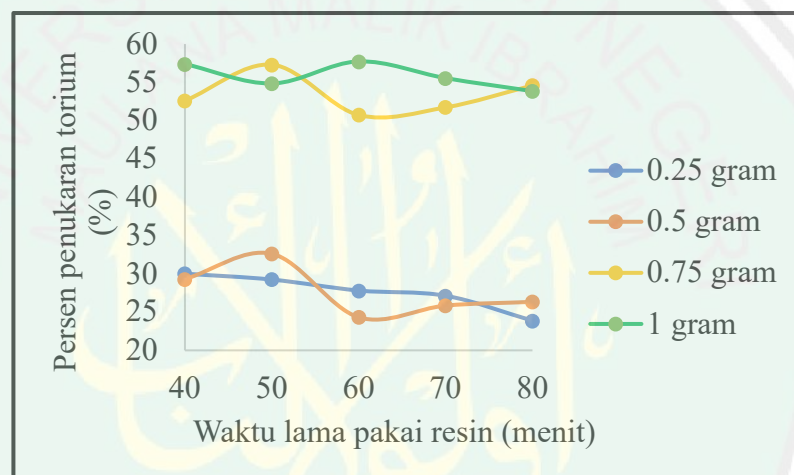
teradsorpsi per massa resin (Mokhatab, dkk., 2019). Resin yang baik memiliki nilai kapasitas adsorpsi torium dan persen penukaran torium yang tinggi. Kapasitas adsorpsi resin pada penelitian kali ini dapat dilihat pada Tabel 4.5, kapasitas adsorpsi optimum resin Amberlite IRA402, yaitu 0,5 mg/g didapatkan pada variasi berat resin 0,75 gram dan pada waktu lama pakai 50 menit, sedangkan kapasitas adsorpsi optimum resin Tulsion A23, yaitu 1,02 mg/g terjadi pada variasi berat resin 0,25 gram dan saat waktu lama pakai 60 menit.

Tabel 4.5 Data hasil perhitungan kapasitas adsorpsi ( $Q_e$ ) resin Amberlite IRA402 dan Tulsion A23 terhadap variasi massa resin dan waktu lama pakai

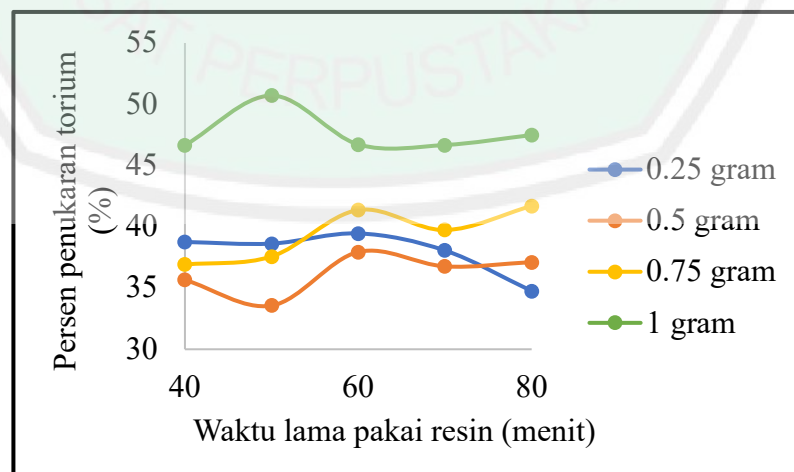
Massa resin (gr)	Waktu lama pakai (menit)	$Q_e$ (mg/g)	
		Amberlite IRA402	Tulsion A23
0,25	40	0,45	1,00
0,25	50	0,44	1,00
0,25	60	0,42	1,02
0,25	70	0,41	0,98
0,25	80	0,36	0,90
0,50	40	0,26	0,46
0,50	50	0,29	0,43
0,50	60	0,22	0,49
0,50	70	0,23	0,47
0,50	80	0,23	0,48
0,75	40	0,46	0,32
0,75	50	0,50	0,32
0,75	60	0,45	0,36
0,75	70	0,45	0,34
0,75	80	0,48	0,36
1	40	0,38	0,31
1	50	0,36	0,33
1	60	0,38	0,31
1	70	0,36	0,31
1	80	0,35	0,31

Analisis persen pertukaran torium terhadap jenis resin juga diamati, dimana massa resin yang digunakan dibuat tetap, dan waktu lama pakai resin dibuat bergerak atau bervariasi. Gambar 4.7 merupakan grafik persen penyerapan torium

(%) dari resin Amberlite IRA402 terhadap variasi waktu lama pakai resin dan massa resin. Berdasarkan Gambar 4.7, persen penyerapan torium tertinggi sebesar 57,74% didapat pada waktu lama pakai resin 60 menit dan berat resin 1 gram. Sedangkan persen penyerapan torium terendah sebesar 23,88% didapat pada waktu lama pakai resin 80 menit dan massa resin 0,25 gram, artinya resin ini belum mampu menukarkan torium pada massa resin tersebut. Data hasil penyerapan torium dari resin Amberlite IRA402 selengkapnya terdapat pada Lampiran 6.



Gambar 4.7 Grafik resin Amberlite IRA402 berdasarkan variasi waktu lama pakai resin dan massa resin terhadap persen pertukaran torium



Gambar 4.8 Grafik resin Tulsion A23 berdasarkan variasi waktu lama pakai resin dan massa resin terhadap persen pertukaran torium

Gambar 4.8 merupakan grafik persen penyerapan torium (%) dari resin Tulsion A23 terhadap variasi waktu lama pakai resin dan massa resin. Berdasarkan Gambar 4.8, persen penyerapan torium tertinggi sebesar 50,7% didapat pada waktu lama pakai resin 50 menit dan massa resin 1 gram. Sedangkan persen penyerapan torium terendah sebesar 33,6% didapat pada waktu lama pakai resin 50 menit dan berat resin 0,5 gram. Data hasil penyerapan torium dari resin Tulsion A23 selengkapnya terdapat pada Lampiran 6.

Berdasarkan Gambar 4.7 dan Gambar 4.8, persen pertukaran torium optimum berdasarkan variasi jenis resin terjadi pada resin Amberlite IRA402 dengan persentase sebesar 57,74%, sedangkan resin Tulsion hanya mampu menurunkan kadar torium sebesar 50,71% yang terkandung dalam sampel. Persen 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.

Berdasarkan variasi massa resin (0,25; 0,5; 0,75; dan 1 gram) terhadap persen pertukaran torium diperoleh titik tertinggi dari variasi yang digunakan adalah 1 gram, dengan persen pertukaran 57,74% untuk resin Amberlite IRA402 dan 50,71% untuk resin Tulsion A23. Artinya, persen pertukaran meningkat seiring dengan peningkatan massa resin. Hal ini terjadi karena menambah massa resin sama dengan menambah sisi aktif sehingga kemampuan sistem untuk menukarkan torium lebih besar. Peningkatan massa resin juga berarti menurunkan persaingan antar anion sehingga lebih banyak torium yang dapat terperangkap di dalam resin (Bhat dkk., 2015).

Waktu lama pakai resin merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi persen pertukaran ion pada resin. Waktu lama pakai resin dideskripsikan sebagai jumlah waktu yang dihabiskan resin untuk menukarkan ion dan berpengaruh terhadap daya tukar resin. Variasi waktu lama pakai resin dilakukan dari 40 – 80 menit pada kedua resin. Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 memperlihatkan waktu lama pakai resin optimum untuk masing-masing resin, resin Amberlite IRA402 dengan waktu lama pakai resin 60 menit dan resin Tulsion A23 dengan waktu lama pakai resin 50 menit. Persen penyerapan torium akan turun setelah titik optimumnya tercapai dan kemudian kemampuannya akan stabil karena resin jenuh. Hal ini terjadi karena sisi aktif resin telah terisi sepenuhnya sehingga persen penyerapan torium sebanding dengan persen pelepasannya di dalam resin.

Resin Amberlite IRA402 dan Tulsion A23 pada penelitian sebelumnya diketahui optimum pada waktu lama pakai resin 100 menit dengan metode *batch* (Koujalagi dkk., 2016; Solgy dkk., 2015). Dibandingkan penelitian terdahulu, metode kolom dinilai lebih cepat dalam mencapai titik optimum dimana dalam penelitian kali ini titik optimum dicapai pada waktu lama pakai resin 50 menit untuk resin Tulsion A23 dan 60 menit untuk resin Amberlite IRA402. Penelitian kali ini menerapkan metode kolom, metode ini dinilai lebih unggul dari metode *batch* karena reaksinya lebih sempurna. Sampel bergerak melalui kolom dan berkontak dengan bagian-bagian baru dari resin. Metode kolom dapat dilakukan secara kontinu sedangkan metode *batch* hanya dapat dilakukan sekali, sehingga metode ini setara dengan metode *batch* yang dilakukan berkali-kali (Sylvia dkk., 2017; Zagorodni, 2006). Metode kolom dilakukan secara statis sehingga ion yang terikat dalam resin tidak mudah lepas dan titik optimum penyerapan ion terjadi lebih cepat.

Keunggulan lain dari metode ini adalah penggunaan energi rendah, pada metode *batch* dibutuhkan energi lebih untuk mengaduk sistem sedangkan pada metode kolom mengandalkan gaya gravitasi. Gaya gravitasi menyebabkan sampel melewati lapisan-lapisan resin sehingga reaksi pertukaran ion terjadi berulang kali. Kapasitas resin untuk menyerap ion target pada situs aktif berkurang pada metode *batch* karena permukaan resin menjadi cekung disebabkan oleh tegangan geser yang tinggi yang disebabkan oleh tingkat tumbukan resin yang tinggi pula (Othman dkk., 2018).

Persen penukaran torium terbaik ditunjukkan pada resin Amberlite IRA402 sebesar 57,7% pada waktu lama pakai resin 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, dimana strukturnya terkoordinasi lebih baik. Beberapa sifat resin yang mempengaruhi selektivitas resin yaitu, komposisi matriks, ukuran gugus fungsi, dan tingkat basa dari gugus fungsi (Sengupta, 2017). 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 (Pawlowski, 1982).

Keberadaan LTJ dalam jumlah yang jauh lebih besar dari torium memungkinkan dapat mengganggu proses pertukaran ion. Gangguan dari LTJ ini dapat dilihat secara fisik melalui warna sampel yang kebiruan, sebagaimana telah dijelaskan bahwa warna biru merupakan warna khas dari unsur neodimium (Nd) dan serium (Ce). Warna ini kemudian terlihat jelas berubah warna akhir resin menjadi kebiruan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5. Adanya daya saing

saat proses penukaran ion menyebabkan tidak hanya torium yang tertukarkan pada resin, melainkan ion-ion lainnya seperti neodimium (Nd) dan serium (Ce) ikut tertukarkan. Sebab-sebab inilah yang membuat pertukaran torium tidak maksimal.

Hasil analisis kemudian dilakukan uji statistika menggunakan metode rancangan acak lengkap (RAL) untuk mengetahui pengaruh masing-masing variasi (jenis resin, waktu lama pakai resin, dan massa resin). Percobaan ini terdiri dari tiga faktor, faktor jenis terdiri dari 2 variasi, faktor waktu lama pakai resin terdiri dari 5 variasi, dan faktor massa resin terdiri dari 4 variasi. Total kombinasi faktor-faktor tersebut ialah  $2 \times 4 \times 5 = 40$ . Hasil analisis ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Data hasil uji statistika RAL

<i>Source</i>	<i>Type III Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Corrected Model</i>	2969,759	8	371,220	9,286	0,000
<i>Intercept</i>	66346,238	1	66346,238	1659,607	0,000
<b>Jenis resin</b>	6,909	1	6,909	0,173	0,680
<b>Massa resin</b>	2946,152	3	982,051	24,565	0,000
<b>Waktu lama pakai resin</b>	16,697	4	4,174	0,104	0,980
<i>Error</i>	1239,289	31	39,977		
<i>Total</i>	70555,286	40			
<i>Corrected Total</i>	4209,048	39			

Berdasarkan hasil analisis rancangan acak lengkap (RAL) diperoleh nilai signifikan untuk variasi jenis resin adalah sebesar 0,680; variasi massa resin 0,000; dan variasi waktu lama pakai resin 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. Sedangkan 2 faktor lain, yaitu waktu lama pakai resin dan jenis, tidak berpengaruh

terhadap laju penukaran resin karena nilai signifikan  $>0,05$  sehingga  $H_0$  diterima. Disimpulkan bahwa dari ketiga faktor tersebut hanya massa resin yang memiliki pengaruh terhadap persen penukaran torium, sedangkan 2 faktor lain tidak berpengaruh. Oleh karena itu, dilakukan uji lanjut menggunakan metode *Duncan* untuk faktor massa sehingga diperoleh hasil sebagaimana Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Data hasil uji statistika *Duncan*

Massa resin (gr)	Jumlah sampel (n)	Tulsion A23	Amberlite IRA402
0,50	10	31,94610	
0,25	10	32,77320	
0,75	10		46,42430
1,00	10		51,76280
<b>Sig.</b>		0,772	0,068

Berdasarkan Tabel 4.7, diperoleh bahwa massa resin 0,75 gram dan 1 gram pada resin Amberlite IRA402 lebih mempengaruhi persen penukaran dibandingkan massa resin lainnya. Sedangkan massa resin 0,50 gram dan 0,25 gram pada resin Tulsion A23 lebih mempengaruhi persen penukaran dibanding massa jenis sejenis pada resin Amberlite IRA402. Disimpulkan bahwa 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).

Variasi jenis resin menunjukkan perbandingan kapasitas adsorpsi resin Tulsion A23 dan Amberlite IRA402 terhadap torium. Tabel 4.5 menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi resin Tulsion A23 cenderung lebih besar dibandingkan dengan Amberlite IRA402, hal ini berkebalikan dengan persen penyerapan torium. Artinya, suatu resin yang memiliki persen penyerapan yang tinggi belum tentu kapasitas adsorpsinya pun tinggi. Hasil ini dapat dijadikan pertimbangan ekonomi,

dimana akan dipilih resin Tulsion A23 sebagai penukar ion yang lebih efektif (Ehrampoush dkk., 2012).

Variasi massa resin menyebabkan persen penyerapan torium cenderung meningkat seiring meningkatnya masa resin (Lampiran 6), dari 24,3% menjadi 57,7% pada resin Amberlite IRA402 dan dari 33,6% menjadi 50,7% pada resin Tulsion A23. Hal ini diikuti dengan hasil perhitungan kapasitas adsorpsi resin terhadap jumlah torium terserap per gram resin Amberlite IRA402, hasilnya menunjukkan kenaikan dari 0,22 mg/g pada massa resin 0,5 gram menjadi 0,50 mg/g pada massa resin 0,75 gram. Artinya, pada resin Amberlite IRA402 dari segi eksperimen maupun dari sudut pandang praktis akan dipilih massa resin besar (0,75 gram atau 1 gram) sebagai bahan pertimbangan pada penelitian selanjutnya, hal ini didukung dengan hasil analisis statistika yang menunjukkan bahwa resin Amberlite IRA402 baik digunakan pada variasi massa resin besar (0,75 gram dan 1 gram).

*Trend* sebaliknya terjadi pada hasil perhitungan kapasitas adsorpsi resin terhadap jumlah torium yang terserap per gram resin Tulsion A23, hasilnya menunjukkan penurunan dari 1,02 mg/g pada massa resin 0,25 gram menjadi hanya 0,31 mg/g pada massa resin 1 gram. Artinya, walaupun pada massa resin 1 gram adalah massa terbaik karena memiliki persen penyerapan resin tertinggi dari segi eksperimen, namun apabila dilihat dari sudut pandang praktis, massa resin 0,25 gram dipilih untuk percobaan selanjutnya untuk menjaga jumlah resin yang digunakan seminimal mungkin namun tetap memadai untuk pengolahan limbah cair hasil pengolahan monasit (Ding dan Sartaj, 2016).

Hasil ini mengindikasikan bahwa, walaupun penambahan jumlah resin dapat menambahkan luas area permukaan dan menambahnya sisi aktif resin, tetapi

pola adsorpsi menunjukkan bahwa jumlah resin yang besar tidak menguntungkan. Fenomena ini merupakan poin terpenting untuk perancangan perangkat adsorpsi skala besar namun tetap ekonomis (Ehrampoush, dkk., 2012). Hal ini pun didukung dengan hasil analisis statistika yang menunjukkan bahwa resin Tulsion A23 *superior* untuk massa resin kecil, yakni 0,25 gram dan 0,5 gram, disebabkan oleh hasil perhitungan persen penyerapan torium antar variasi massa resin yang tidak memiliki perbedaan besar. Penelitian selanjutnya akan dipilih resin Tulsion A23 sebagai agen penyerap torium dan polutan lainnya dalam limbah cair hasil pengolahan monasit karena harganya lebih rendah, kapasitas adsorpsinya lebih besar, dan ketersediaannya di Indonesia, sebab resin Tulsion A23 diproduksi di Indonesia, sedangkan resin Amberlite IRA402 merupakan produk *import*.

Uji sifat fisik akhir sampel dilakukan untuk mengetahui sifat fisik sampel yaitu pH, TDS dan konduktivitas. Nilai pH, TDS dan konduktivitas pada penelitian kali ini diukur menggunakan pH dan TDS meter dengan cara mencelupkan elektroda ke dalam sampel dan dicatat bila nilai TDS dan konduktivitas telah stabil. Hasil uji parameter fisik ini kemudian disesuaikan dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 5 tahun 2014 tentang baku mutu limbah cair. Hasil uji parameter fisika sampel rata-rata ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Karakteristik akhir sampel setelah dilewatkan resin

Parameter	Hasil uji	Baku mutu	Satuan
<b>pH</b>	9,15	6 – 9	-
<b>TDS</b>	8530	< 4000	ppm
<b>Konduktivitas</b>	17810	< 1500	μS/cm

Berdasarkan Tabel 4.8 pH akhir sampel mengalami kenaikan dibandingkan pH awal sampel yaitu 8,2. Naiknya nilai pH akhir sampel dipengaruhi oleh

perlakuan pengaturan pH sampel hingga 9,8. Sedangkan pada parameter TDS dan konduktivitas akhir sampel mengalami penurunan yaitu 8530 ppm untuk nilai akhir TDS, dan 17810  $\mu\text{S}/\text{cm}$  untuk nilai akhir konduktivitas sampel. Sampel limbah yang dipakai pada penelitian ini termasuk kategori limbah industri dimana nilai konduktivitas rata-rata limbah industri sebesar 10000 – 40000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dan nilai TDS limbah industri rata-rata sebesar 500 – 17000 ppm. Menurut PERMEN LH No.2 Tahun 2011 tentang baku mutu air limbah dan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PP) No.20 Tahun 1990 tentang limbah kegiatan eksplorasi, semua parameter sifat fisik akhir sampel melebihi ambang batas baku mutu limbah cair oleh karena itu, dibutuhkan proses lanjutan untuk mengontrol sifat fisik sampel agar sesuai baku mutu yang telah ditetapkan.

#### 4.8 Pengolahan air limbah dalam prespektif Islam

Allah SWT menciptakan segala sesuatu pasti memiliki manfaat. Sebagai khalifah di muka Bumi, manusia sudah sepatutnya memanfaatkan sumber daya alam yang Allah berikan tanpa merusak alam itu sendiri. Salah satu sumber daya alam yang dibahas dalam penelitian ini adalah mineral-mineral yang didalamnya terkandung logam tanah jarang. Logam tanah jarang yang memiliki peran penting dalam perkembangan teknologi sudah sepatutnya untuk dimanfaatkan dengan baik. Seringkali manusia luput akan dampak yang ditimbulkan dari pemanfaatan lingkungan, padahal Allah telah memerintahkan kepada umat manusia untuk selalu menjaga lingkungan. Allah SWT berfirman:

وَلَا تُطِيعُوا أَمْرَ الْمُسْرِفِينَ ۝١٥١  
الَّذِينَ يُفْسِدُونَ فِي الْأَرْضِ وَلَا يُصْلِحُونَ ۝١٥٢

*“Dan janganlah kamu menaati perintah orang-orang yang melampui batas. Yang berbuat kerusakan di bumi dan tidak mengadakan perbaikan.” (Qs. Asy-Syu’ara: 151-152)*

وَأَحْسِنَ كَمَا أَحْسَنَ اللَّهُ إِلَيْكَ ۖ وَلَا تَبْغِ الْفَسَادَ فِي الْأَرْضِ ۗ إِنَّ اللَّهَ لَا يُحِبُّ الْمُفْسِدِينَ

*“Dan berbuat baiklah (kepada orang lain) sebagaimana Allah telah berbuat baik kepadamu, dan janganlah kamu berbuat kerusakan di (muka) bumi. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berbuat kerusakan.” (QS. Al-Qashash: 77)*

Berdasarkan ayat-ayat di atas, manusia diberikan oleh Allah kekayaan alam untuk dimanfaatkan sebaik-baiknya. Manusia diberi hak oleh Allah untuk mengelola semua sumber daya alam yang diberikannya untuk mendukung kesejahteraan umat manusia. Berkat hak yang diberikan Allah tersebut, sudah sepatutnya manusia selalu bersyukur kepada Allah dengan tidak merusak pemberian-Nya dan senantiasa menyayangi ciptaan-Nya (Katsir, 2005). Tidak jarang perbuatan manusia yang ingin memanfaatkan sumber daya alam malah justru merusak alam sedangkan, Allah tidak menyukai orang-orang yang berbuat kerusakan. Penelitian ini difokuskan pada pengolahan limbah cair monasit sebagai upaya untuk melestarikan lingkungan, khususnya air.

Salah satu aspek penting dari lingkungan yang harus selalu dijaga adalah air, atau dalam penelitian ini air yang dimaksud adalah limbah cair monasit. Setiap makhluk ciptaan-Nya pasti membutuhkan air untuk hidup, baik itu manusia, hewan, dan alam (tumbuhan). Air disebut sebagai dasar kehidupan, pada penelitian ini keadaan fisik air merupakan faktor awal untuk mendeteksi pencemaran pada air, sehingga perlu dilakukan uji fisika untuk mengetahui uji lanjutan seperti uji kimia dan lain-lain seperti halnya pada penelitian kali ini. Zat pencemar berupa

torium sebagai fokus pada penelitian ini dimana zat tersebut dipisahkan dari badan air supaya tidak mencemari lingkungan dan makhluk hidup. Allah SWT berfirman:

أَوَلَمْ يَرَ الَّذِينَ كَفَرُوا أَنَّ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ كَانَتَا رَتْقًا فَفَتَقْنَاهُمَا ۖ وَجَعَلْنَا مِنَ  
الْمَاءِ كُلِّ شَيْءٍ حَيٍّ ۚ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ

*“Dan apakah orang-orang kafir tidak mengetahui bahwasanya langit dan bumi itu keduanya dahulu adalah satu padu, Kami pisahkan antara keduanya. Dan dari air Kami jadikan segala sesuatu hidup. Maka mengapakah mereka tiada juga beriman?.” (Qs Al-Anbiya:30)*

Ayat di atas menjelaskan tentang pembentukan alam raya dimana Allah menurunkan hujan, dan dijadikan-Nya air sebagai sumber kehidupan. Air sangat berguna bagi lingkungan dimana tanaman, tanah dan ekosistem tidak dapat hidup tanpa air yang bersih dan bebas racun (Shihab, 2007). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pengolahan limbah cair dalam upaya menurunkan kadar torium dan menyesuaikan sifat fisik limbah cair belum maksimal. Perlu dilakukan tahap lanjutan hingga sesuai dengan standar baku mutu yang telah ditentukan sehingga limbah cair tersebut tidak menyebabkan dampak buruk bagi lingkungan dan makhluk hidup.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Uji statistika dengan metode RAL menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan pada variasi jenis resin dimana nilai signifikan  $>0,05$ . Hasil analisis kapasitas adsorpsi resin menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi resin Tulsion A23 (1,02 mg/g) lebih baik daripada resin Amberlite IRA402 (0,50 mg/g).
2. Massa resin terbaik dalam menurunkan kadar torium adalah 1 gram, dimana resin Amberlite IRA402 mampu mereduksi torium hingga 57,7% dan resin Tulsion A23 mampu mereduksi torium hingga 50,7%. Uji statistika metode RAL menunjukkan variasi massa resin memberikan pengaruh terhadap persen penyerapan torium dengan nilai signifikan sebesar 0,000. Uji *Duncan* menunjukkan resin Amberlite IRA402 bekerja lebih baik pada massa resin besar (0,75 dan 1 gram), sedangkan Tulsion A23 bekerja lebih baik pada massa resin kecil (0,25 dan 0,75 gram). Hasil analisis kapasitas adsorpsi resin menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi terbaik pada resin Amberlite IRA402 terjadi pada massa resin 0,75 gram dan pada resin Tulsion A23 terjadi pada massa resin 0,25 gram.
3. Waktu lama pakai resin optimum dalam menurunkan kadar torium dalam limbah cair hasil pengolahan monasit untuk resin Amberlite IRA402 dan Tulsion A23 adalah 50 – 60 menit berdasarkan analisis kapasitas adsorpsi

dan persen pertukaran torium. Namun, hasil analisis RAL menunjukkan bahwa variasi waktu lama pakai tidak memiliki pengaruh terhadap penurunan kadar torium dengan nilai signifikan  $>0,05$ .

## 5.2 Saran

Berdasarkan kekurangan pada penelitian ini maka disarankan:

1. Perlu dilakukan optimasi terhadap pengompleks sehingga tidak merubah konsentrasi awal torium.
2. Perlu dilakukan analisis lanjutan dengan variasi massa resin di atas 1 gram untuk mengetahui massa optimum kedua resin dalam menurunkan kadar torium (Th).
3. Perlu dilakukan proses penukar anion bertingkat untuk memaksimalkan penurunan kadar torium pada limbah cair hasil pengolahan monasit.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdul, Ghoffar M. 2004. *Tafsir Ibnu Katsir*. Bogor: Pustaka Imam Asy-Syafi'i.
- Affandi, K., S, R., Alwi, G., Sumiarti, 2002. Analisis Torium dalam UTJ Hidroksida Hasil Proses Pengolahan Monasit Bangka secara Spektrofotometri. *Prosiding Seminar IPTEK Nuklir dan Pengelolaan Sumber Daya Tambang*: 156 - 156. Jakarta, 2 Mei 2002: Pusat Pengembangan Bahan Galian Nuklir dan Geologi Nuklir - BATAN.
- Agrawal, Y.K., Dayal, U., 1985. Spectrophotometric determination of trace level thorium with n-phenylbenzohydroxamic acid. *Journal of Radioanalytical dan Nuclear Chemistry*. 90 (2): 303–308. doi.org/10.1007/BF02060785
- Ahrland, S., Bagnall, K.W., Brown, D., 2016. *The Chemistry of the Actinides: Comprehensive Inorganic Chemistry*. England: Elsevier.
- Akasaka, T., Osuka, A., Fukuzumi, S., Kandori, H., Aso, Y., 2015. *Chemical Science of  $\pi$ -Electron Systems*. Tokyo: Springer.
- Ang, K.L., Li, D., Nikoloski, A.N., 2017. The effectiveness of ion exchange resins in separating uranium dan thorium from rare earth elements in acidic aqueous sulfate media. Part 1. Anionic dan cationic resins. *Hydrometallurgy*. 174: 147–155. doi.org/10.1016/j.hydromet.2017.10.011
- Anggraini, M., Sumarni, Sumiarti, S, R., W, S., 2012. Pengendapan unsur tanah jarang hasil digesti monasit bangka menggunakan asam sulfat. *Eksplorium*. 33 (2): 121 - 128. https://dx.doi.org/10.17146/eksplorium.2012.33.2.2662.
- Applebaum, S.B., 2013. *Demineralization by Ion Exchange: In Water Treatment dan Chemical Processing of Other Liquids*. New York: Elsevier.
- Atmawinata, A., Yahya, F., Widhianto, S., Roosmariharso, Irianto, D., Adlir, A., Susilo, Y., Radjid, W., Massaruddin, Noviansyah, D., Sutjiatmo, A.I., V, S., Wuri, S., Sutjiatmo, B.P., Ardhana, 2014. *Telaah Penguatan Struktur Industri Pemetaan Potensi Logam Tanah Jarang Di Indonesia*. Kementerian Perindustrian Republik Indonesia 147.
- Awual, Md.R., Yaita, T., Taguchi, T., Shiwaku, H., Suzuki, S., Okamoto, Y., 2014. Selective cesium removal from radioactive liquid waste by crown ether immobilized new class conjugate adsorbent. *Journal of Hazardous Materials*. 278: 227–235. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.06.011
- Bahti, H.H., Mulyasih, Y., Anggraeni, A., 2011. Extraction dan chromatographic studies on rare-earth elements (REEs) from their minerals: the prospect of REEs production in Indonesia?. *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Seminar on Chemistry 2011*: 421 - 430. Jatinangor, 24-25 November 2011:

Departement of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Science,  
Pdjajaran University.

- Beckhoff, B., Kanngießer, B., Langhoff, N., Wedell, R., Wolff, H., 2007. *Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis*. Jerman: Springer Science & Business Media.
- Bertin, L., Ferri, F., Scoma, A., Marchetti, L., Fava, F., 2011. Recovery of high added value natural polyphenols from actual olive mill wastewater through solid phase extraction. *Chemical Engineering Journal*. 171: 1287–1293. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.05.056>
- Bhat, A., Gangadhar, B., Thomas, C., Bhargava, H., Jeevitha, C., Chandrashekar, S., GM, M., 2015. Adsorption dan optimization studies of lead from aqueous solution using  $\gamma$ -Alumina. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 3. 3 (1): 30-39. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.11.014>
- Bhowon, M.G., Jhaumeer-Laulloo, S., Wah, H.L.K., Ramasami, P., 2013. *Chemistry: The Key to our Sustainable Future*. New York: Springer Science & Business Media.
- Bochkarev, M., Zakharov, L.N., Kalinina, G.S., 1995. *Organoderivatives of Rare Earth Elements, Topics in F-Element Chemistry*. Rusia: Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-0361-9>
- Boybul, Yanlinastuti, 2016. Pengaruh Penambahan Uranium Pada Analisis Thorium Secara Spektrofotometri Uv-Vis Dengan Pengompleks Arsenazo(III). *Urania Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir*. 16 (4): 174-181. <https://doi.org/10.17146/urania.2010.16.4.2421>
- Boyle, R.W., 2013. *Geochemical Prospecting for Thorium dan Uranium Deposits*. New York: Elsevier.
- Byrd, C.H., 1953. *Spectrophotometric determination of thorium with the trisodium salt of 2-(2-hydroxy-3,6-disulfo-1-naphthylazo)-benzenearsonic acid dan some properties of complexes involved (Doctor of Philosophy)*. Iowa State University: United States Atomic Energy Commission.
- Caon, M., 2016. *Examination Questions dan Answers in Basic Anatomy dan Physiology: 2000 Multiple Choice Questions*. Singapore: Springer.
- Cardarelli, F., 2018. *Materials Handbook: A Concise Desktop Reference*. Canada: Springer.
- Chandramouleeswaran, S., Ramkumar, J., 2014. n-Benzoyl-n-phenylhydroxylamine impregnated Amberlite XAD-4 beads for selective removal of thorium. *Journal of Hazardous Materials*. 280: 514–523. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.08.047>

- Chen, K., Luo, G., Lei, Z., Zhang, Z., Zhang, S., Chen, J., 2018. Chromatographic separation of glucose, xylose dan arabinose from lignocellulosic hydrolysates using cation exchange resin. *Separation dan Purification Technology*. 195: 288–294. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.12.030>
- Chen, R., Tanaka, H., Kawamoto, T., Asai, M., Fukushima, C., Kurihara, M., Watanabe, M., Arisaka, M., Nankawa, T., 2012. Preparation of a film of copper hexacyanoferrate nanoparticles for electrochemical removal of cesium from radioactive wastewater. *Electrochemistry Communications*. 25: 23–25. <https://doi.org/10.1016/j.elecom.2012.09.012>
- Cheng, K.L., Ueno, K., Imamura, T., 2017. *CRC Handbook of Organic Analytical Reagents*. US: CRC Press.
- Cummins, P.M., Dowling, O., O'Connor, B.F., 2011. Ion-Exchange Chromatography: Basic Principles dan Application to the Partial Purification of Soluble Mammalian Prolyl Oligopeptidase, in: Walls, D., Loughran, S.T. (Eds.), *Protein Chromatography*. 681: 215–228. [https://doi.org/10.1007/978-1-60761-913-0\\_12](https://doi.org/10.1007/978-1-60761-913-0_12)
- Dan, Z., Ji, C., Deqian, L., 2014. Separation chemistry dan clean technique of cerium(IV): A review. *Journal of Rare Earths*. 32: 681–685. [https://doi.org/10.1016/S1002-0721\(14\)60125-3](https://doi.org/10.1016/S1002-0721(14)60125-3)
- Dash, D.C., 2017. *Analytical Chemistry, Second Edition*. New Delhi: PHI Learning Pvt. Ltd.
- Dhayalan, K., Rathinam, A., Sreeram, K.J., Rao, J., 2009. Application of rare earth salts for permanent stabilization of skin. *Journal of scientific dan industrial research*. 68: 135-139.
- Ding, H., Luo, X., Zhang, X., Yang, H., 2019. Efficient thorium removal by alginate-immobilized *Aspergillus niger*: characterization, kinetics, thermodynamic dan mechanism analysis. *J Radioanal Nucl Chem*. 319: 869–880. <https://doi.org/10.1007/s10967-018-6370-7>
- Ding, Y. and Sartaj, M. 2016. Optimization of ammonia removal by ion-exchange resin using response surface methodology. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 13(4): 985–994. doi: 10.1007/s13762-016-0939-x.
- Djerdj, I., Haensch, A., Koziej, D., Pokhrel, S., Barsan, N., Weimar, U., Niederberger, M., 2009. Neodymium Dioxide Carbonate as a Sensing Layer for Chemoresistive CO<sub>2</sub> Sensing. *Chem. Mater*. 21: 5375–5381. <https://doi.org/10.1021/cm9013392>
- Dulski, T.R., 2017. *Trace Elemental Analysis of Metals: Methods dan Techniques*. UK: Marcel Dekker.

- Elkins, K.M., 2018. *Introduction to Forensic Chemistry*. Boca Raton: CRC Press.
- Ehrampoush, M., Ghanizadeh, G. and Ghaneian, M. 2012. Equilibrium And Kinetics Study Of Reactive Red 123 Dye Removal From Aqueous Solution By Adsorption On Eggshell. *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.* 8: 101–108. [https://www.researchgate.net/publication/228453135\\_Equilibrium\\_And\\_Kinetics\\_Study\\_Of\\_Reactive\\_Red\\_123\\_Dye\\_Removal\\_From\\_Aqueous\\_Solution\\_By\\_Adsorption\\_On\\_Eggshell](https://www.researchgate.net/publication/228453135_Equilibrium_And_Kinetics_Study_Of_Reactive_Red_123_Dye_Removal_From_Aqueous_Solution_By_Adsorption_On_Eggshell).
- Ferliana, R., Wasito, B., Prassanti, R., 2016. Ekstraksi dan Stripping Thorium dari Rafinat Hasil Ekstraksi Uranium Monasit Bangka. *Jurnal Forum Nuklir*. 10 (1): 26-37. <http://repo-nkm.batan.go.id/id/eprint.2310>.
- Fisli, A., Yusuf, S., 2010. Synthesis of Magnetic Nanocomposite with Natural Base Material for Thorium Adsorbent. *Indonesia Journal of Material Science*. 11 (2): 93-98. <https://doi.org/10.17146/jsmi.2010.11.2.1044>
- Gambogi, J., 2015. 2015. *Minerals Yearbook [Advanced Release]*. US Geological Survey Minerals Yearbook-2015, USGS.
- Gandjar, I.G., Rohman, A., 2018. *Spektroskopi Molekuler Untuk Analisis Farmasi*. Yogyakarta: UGM PRESS.
- Grasso, V.B., 2013. Rare Earth Elements in National Defense Background, Oversight Issues, dan Options for Congress. *Congressional Research Service*: 1-39. Washington, DC, 12 September 2013: Congressional Research Service, The Library of Congress.
- Gunandjar, 2010. Analisis Uranium Dan Thorium Dalam Limbah Radioaktif Dari Proses Daur Bahan Bakar Nuklir. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengolahan Limbah VI*: 25-35. Serpong, 24 Juni 2008: Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN.
- Gunandjar, G., Sundari, T., Purwanto, Y., 2016. Imobilisasi Limbah Radioaktif dari Produksi Radioisotop Molibdenum-99 (<sup>99</sup>Mo) Menggunakan Bahan Matriks *Synroc* Titanat. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan". 1-10. Yogyakarta, 17 Maret 2016: Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN.
- Guyer, J.P., P.E, R.A, 2018. *An Introduction to Industrial Water Treatment*. California: The Clubhouse Press
- Hamed, M.M., Aglan, R.F., 2019. Simple dan sensitive method for the determination of trace amounts of thorium using a benzoquinone derivative. *Nuclear Science and Technique*. 30 (5): 73. <https://doi.org/10.1007/s41365-019-0606-2>.

- Heshmati, H., Gilani, H.G., Torab-Mostaedi, M., Haidary, A., 2014a. Adsorptive Removal of Thorium(IV) from Aqueous Solutions Using Synthesized Polyamidoxime Chelating Resin: Equilibrium, Kinetic, dan Thermodynamic Studies. *Journal of Dispersion Science dan Technology*. 35 (4): 501–509. <https://doi.org/10.1080/01932691.2013.796886>
- Hubicki, Z., Majdan, M., Geca, M., Gladysz-Plaska, A., 2011. Selected Aspect In The Separation Of Inorganic Dan Organic Species On Ion Exchangers Dan Sorbents Of Various Types. *Annales*. 6 (1): 130 - 146. <https://doi.org/10.2478/v10063-0113-y>.
- Huda, N., 2001. Pemeriksaan Kinerja Spektrofotometer UV-Vis GBC 911A Menggunakan Pewarna Tartazine CL 19140. *Sigma Epsilon*. P2TKN-BATAN
- Hurst, C., 2010. *China's Rare Earth Elements Industry: What Can the West Learn?*. Institute for the Analysis of Global Security (IAGS): US Government Printing Office.
- Inamuddin, Luqman, M., 2012. *Ion Exchange Technology I: Theory dan Materials*. New York: Springer Science & Business Media.
- Jha, A.R., 2014. *Rare Earth Materials: Properties dan Applications*. Boca Raton: CRC Press.
- Kadous, A., Didi, M.A., Villemin, D., 2011. Removal of uranium(VI) from acetate medium using Lewatit TP 260 resin. *J Radioanal Nucl Chem*. 288 (2): 553–561. <https://doi.org/10.1007/s10967-010-0970-1>
- Kang, S.-Y., Lee, J.-U., Moon, S.-H., Kim, K.-W., 2004. Competitive adsorption characteristics of Co<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, dan Cr<sup>3+</sup> by IRN-77 cation exchange resin in synthesized wastewater. *Chemosphere* 56 (2): 141–147. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.02.004>
- Katsir, A.B.M.B.A.B.I.A., 2005. Tafsir Ibnu Katsir. Jakarta: Niaga Swadaya.
- Kenkel, J. 2013. *Analytical Chemistry for Technicians*. Boca Raton: CRC Press.
- Koujalagi, P.S., Divekar, S.V., Kulkarni, R.M., Cuerda-Correa, E.M., 2016. Sorption of hexavalent chromium from water dan water–organic solvents onto an ion exchanger Tulsion A-23 (Gel). *Desalination dan Water Treatment*. 57 (50): 23965–23974. <https://doi.org/10.1080/19443994.2016.1138329>
- Koujalagi, P.S., Divekar, S.V., Kulkarni, R.M., Nagarale, R.K., 2013. Kinetics, thermodynamic, dan adsorption studies on removal of chromium(VI) using Tulsion A-27(MP) resin. *Desalination dan Water Treatment*. 51 (16018): 3273–3283. <https://doi.org/10.1080/19443994.2012.749049>

- Krishnamurthy, N., Gupta, C.K., 2015. *Extractive Metallurgy of Rare Earths*. Boca Raton: CRC Press.
- Kumar, V., Kumar, M., Prasad, R., 2018. *Phytobiont dan Ecosystem Restitution*. Singapore: Springer.
- Lee, W.E., Ojovan, M.I., Jantzen, C.M., 2013. *Radioactive Waste Management dan Contaminated Site Clean-Up: Processes, Technologies dan International Experience*. UK: Elsevier.
- Li, D., Liu, S., 2018. *Water Quality Monitoring dan Management: Basis, Technology dan Case Studies*. UK: Academic Press.
- Lima, I.B.D., Filho, W.L., 2015. *Rare Earths Industry: Technological, Economic, dan Environmental Implications*. UK: Elsevier.
- Lottermoser, B., 2007. *Mine Wastes: Characterization, Treatment dan Environmental Impacts*. New York: Springer Science & Business Media.
- Lucas, J., Lucas, P., Mercier, T.L., Rollat, A., Davenport, W.G., 2014. *Rare Earths: Science, Technology, Production dan Use*. UK: Elsevier.
- Marisi, D.P., Suprihatin, Ismayana, A., 2018. Penurunan Kadar Torium dan Radioaktivitas dalam Limbah Cair Proses Pengolahan Monasit PLUTHO Menggunakan Koagulan FeSO<sub>4</sub>. *Eksplorium*. 39 (1): 39-50. <https://doi.org/10.17146/eksplorium.2018.39.1.4276>.
- Martinie, S., Autran, J.-L., Munteanu, D., Wrobel, F., Gedion, M., Saigne, F., 2011. Analytical Modeling of Alpha-Particle Emission Rate at Wafer-Level. *IEEE Transactions on Nuclear Science*. 58 (6): 2798–2803. <https://doi.org/10.1109/TNS.2011.2170851>
- Memasuki Era Tanah Jarang.2012.(<http://geomags.geologi.esdm.go.id/memasuki-era-tanah-jarang/>. diakses 6 May 2020)
- Mohite, B.S., Jadhav, A.S., 2003. Column chromatographic separation of thorium(IV) from ascorbic acid medium using poly-(dibenzo-18-crown-6). *Journal of Radioanalytical dan Nuclear Chemistry*. 256 (1): 173–176. <https://doi.org/10.1023/A:1023389101671>
- Mokhatab, S., Poe, W. A. and Mak, J. Y. (2019) *Handbook of Natural Gas Transmission and Processing*. Elsevier. doi: 10.1016/C2017-0-03889-2. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-03889-2>.
- Moosavi, S.M., Ghassabian, S. 2018. Linearity of Calibration Curves for Analytical Methods: A Review of Criteria for Assessment of Method Reliability. Calibration dan Validation of Analytical Methods - A Sampling of Current Approaches. *IntechOpen Journal*. doi: 10.5772/intechopen.72932

- Morales, D.V., Rivas, B.L., González, M., 2016. Synthesis and Characterization Of Poly ((2-methacryloyloxy) Ethyl) Trimethylammonium Chloride) Resin With Removal Properties For Vanadium(V) and Molybdenum(VI). *Journal of Chilean Chemical Society*. 61 (4): 3295–3303. <https://doi.org/10.4067/S0717-97072016000400029>
- Müllertz, A., Perrie, Y., Rades, T., 2016. *Analytical Techniques in the Pharmaceutical Sciences*. New York: Springer.
- Nagasaki, S., Nakayama, S., 2015. *Radioactive Waste Engineering dan Management*. Japan: Springer.
- Nasab, M.E., 2014. Solvent extraction separation of uranium(VI) dan thorium(IV) with neutral organophosphorus dan amine ligands. *Fuel*. 116: 595–600. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.08.043>
- Nash, K. L. and Lumetta, G. J. 2011. *Advanced Separation Techniques for Nuclear Fuel Reprocessing and Radioactive Waste Treatment*. Elsevier.
- Nayak, A.K., 2018. *Thorium—Energy for the Future*. Singapore: Springer.
- Ngadenin, N., Syaeful, H., Widana, K.S., Nurdin, M., 2014. Potensi Thorium dan Uranium di Kabupaten Bangka Barat. *EKSPLORIUM*. 35: 69–84. <https://doi.org/10.17146/eksplorium.2014.35.2.2754>
- Noviarty, Fatimah, S., Nampira, Y., 2011. Analisis Thorium Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Seminar Nasional: 555-560. Yogyakarta, 16 November 2011: Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN.
- Nuri, H.L., W, S., S, B., S, A., Susilaningtyas, 2000. Pengolahan Monasit Dari Limbah Penambangan Timah : Pemisahan Logam Tanah Jarang (Re) Dari U Dan Th. Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Ulang Bahan Bakar Nuklir V: 54 - 60. Jakarta, 22 Pebruari 2000. Pusat Pengembangan Bahan Galian Nuklir - BATAN.
- Ojovan, M.I., Lee, W.E., 2013. *An Introduction to Nuclear Waste Immobilisation*. UK: Elsevier.
- Automatic citation updates are disabled. To see the bibliography, click Refresh in the Zotero tab.
- Parsons, D.S., Dixon, D.W., Jarvis, P.J., Sharp, E., 2007. *Treatment of Waters with Elevated Organic Content*. UK: American Water Works Association.
- Patnaik, P., 2017. *Handbook of Environmental Analysis: Chemical Pollutants in Air, Water, Soil, and Solid Wastes, Third Edition*. Boca Raton: CRC Press.
- Patwardhan, A.D., 2017. *Industrial Wastewater Treatment*. India: PHI Learning Private Limited.

- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 02 Tahun 2011 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Eksplorasi Dan Eksploitasi Gas Metana Batubara.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Pasal 2 Nomor 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air.
- Pawłowski, L., 1982. *Physicochemical Methods for Water dan Wastewater Treatment*. New York: Elsevier.
- Pereira, L.F.R., 2012. *Organic Light Emitting Diodes: The Use of Rare Earth and Transition Metals*. Singapore: Pan Stanford Publishing Pte. Ltd.
- Plant, J.A., Voulvoulis, N., Ragnarsdottir, K.V., 2012. *Pollutants, Human Health and the Environment: A Risk Based Approach*. UK: John Wiley & Sons.
- Prabowo, B.H., Nursaidah, Z., Safitri, F., 2019. Pengaruh H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dalam Metode Koagulasi Air Payau Menggunakan Koagulan PAC dan Aluminium Sulfat. *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu dan Aplikasi Teknik*. 18 (2): 101 – 107. <http://jurnalteknik.unjani.ac.id/index.php/jt>
- Pusch, R., Yong, R.N., Nakano, M., 2017. *Geologic Disposal of Low- and Intermediate-Level Radioactive Waste*. Boca Raton: CRC Press.
- Qi, D., 2018. *Hydrometallurgy of Rare Earths: Extraction and Separation*. UK: Elsevier.
- Rahman, R.O.A., Rakhimov, R.Z., Rakhimova, N.R., Ojovan, M.I., 2014. *Cementitious Materials for Nuclear Waste Immobilization*. UK: John Wiley & Sons.
- Rajesh, A.M., Popat, K.M., 2017. Taste masking of azithromycin by resin complex and sustained release through interpenetrating polymer network with functionalized biopolymers. *Drug Development and Industrial Pharmacy*. 43 (5): 732–741. <https://doi.org/10.1080/03639045.2016.1224894>.
- Reisman, D., R. Weber, J. McKernan, *et al.*, 2013. *Rare Earth Elements: A Review of Production, Processing, Recycling, and Associated Environmental Issues*. Washington, DC: US Environmental Protection Agency.
- Revol, J.-P., Bourquin, M., Kadi, Y., Lillestol, E., Mestral, J.-C. de, Samec, K., 2016. Thorium Energy for the World: *Proceedings of the ThEC13 Conference*: 1-446. Switzerland, October 27- 31, 2013 : Globe of Science and Innovation.

- Ridhuan, K., 2016. Pengolahan Limbah Cair Tahu Sebagai Energi Alternatif Biogas yang ramah lingkungan. *Jurnal Program Studi Teknik Mesin*. 1 (1): 1-9. <https://doi.org/10.24127/trb.v1i1.81>
- Rohm dan Haas Ion exchange resins. 2008. Amberlite IRA-402 OH: Product Data Sheet. <https://www.lenntech.com/products/resins/rohm-haas/rohm-haas-ion-exchange-resins.htm> [diakses 11 November 19].
- Rožmarić, M., Ivšić, A. G., & Grahek, Ž. 2009. Determination of uranium and thorium in complex samples using chromatographic separation. *ICP-MS and spectrophotometric detection*. 80(1): 352–362. doi:10.1016/j.talanta.2009.06.078
- Ryabchikov, D.I., Gol'Braikh, E.K., 2013. *The analytical chemistry of thorium: International Series of Monograph on Analytical Chemistry*. New York: Pergamon Press
- Sa'adah, K., Kusuma, S.E., Indriastuti, S., 2013. Kebijakan Cina Membatasi Ekspor LTJ (Logam Tanah Jarang) ke Amerika Serikat (China's Policy to Restrict Rare Earth Metal Export to United State of America). *Jurnal Online Mahasiswa*. 2 (2): 1-15. <http://repositry.unej.ac.id/handle/123456789/57834>.
- Salimin, Z., Rachmadetin, J., 2011. Denitrifikasi Limbah Radioaktif Cair yang Mengandung Asam Nitrat dengan Proses Biooksidasi. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah IX: 149-158. Tangerang, 2011: PTLR-BATAN.
- Sarma, A.K., Singh, V.P., Bhattacharjya, R.K., Kartha, S.A., 2018. *Urban Ecology, Water Quality and Climate Change*. Switzerland: Springer.
- Sassolini, A., Milanese, L., Cenciarelli, O., Malizia, A., Ventura, P., Chiappini, M., Chiappini, S., Carestia, M., Di Giovanni, D., Gabbarini, V., Ludovici, G.M., Palombi, L., Gaudio, P., 2016. Evaluation of hand-held Gamma spectrometry instrument as confirm technique for environmental analysis of thorium in soil. *Fresenius Environmental Bulletin* 25 (4): 3388– 3394.
- Semnani, F., Asadi, Z., Samadfam, M., Sepehrian, H., 2012. Uranium(VI) sorption behavior onto amberlite CG-400 anion exchange resin: Effects of pH, contact time, temperature and presence of phosphate. *Annals of Nuclear Energy* 48: 21–24. <https://doi10.1016/j.anucene.2012.05.010>
- SenGupta, A.K., 2017. *Ion Exchange in Environmental Processes: Fundamentals, Applications and Sustainable Technology*. USA: John Wiley & Sons.
- Sengupta, A.K., 2017. *Ion Exchange and Solvent Extraction: A Series of Advances, Volume 22*. US: CRC Press.

- Shaidan, N.H., Eldemerdash, U., Awad, S., 2012. Removal of Ni(II) ions from aqueous solutions using fixed-bed ion exchange column technique. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 43 (1): 40–45. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2011.06.006>
- Shariff, S., Kaler, A.K., 2016. *Principles & Interpretation of Laboratory Practices in Surgical Pathology*. India: Jaypee Brothers Medical Publisher 9P) Ltd.
- Shihab, Quraish. 2007. *Tafsir Al-Mishbah, Vol. 7*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.
- Shimizu, H., Gijutsu, S.D.Z., Machi, M., Shi, A., 2010. *Method of Producing High Molecular Weight Organopolysiloxane, Composition Comprising The High Molecular Weight Organopolysiloxane, and Optical Semiconductor Device Sealed with Cured Product Thereof*. European Patent Specification No. EP 1 780 235 B1.
- Singare, P., 2015. Radioactive tracer application to study the thermodynamics of ion exchange reactions using Tulsion A-23 and Indion-454. *Ionics*. 21(6): 1623-1630. <https://doi.org/10.1007/s11581-014-1345-3>
- Singare, P.U., 2013. Radioisotopic tracer technique for characterization of nuclear and non-nuclear grade ion exchange resins Tulsion A-23 and Indion-810. *International Letters of Chemistry, Physics, and Astronomy*. 6: 1–5. <https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/ILCPA.11.1>
- Skoog, D.A., Holler, F.J., Crouch, S.R., 2017. *Principles of Instrumental Analysis*. USA: Cengage Learning.
- Solgy, M., Taghizadeh, M., Ghoddocynejad, D., 2015. Adsorption of uranium(VI) from sulphate solutions using Amberlite IRA-402 resin: Equilibrium, kinetics and thermodynamics study. *Annals of Nuclear Energy*. 75: 132–138. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2014.08.009>
- Subagja, R., 2014. Monasite Bangka dan Alternatif Proses Pengolahannya. *Metalurgi*. 29 (1): 79-90. <http://dx.doi.org/10.14203/metalurgi.v29i1.274>
- Suprpto, S.J., 2009. Tinjauan Tentang Unsur Tanah Jarang. *Buletin Sumber Daya Geologi*. 4: 36–47. <https://doi.org/10.47599/bsdg.v4i1.173>
- Sylvia, N., Meriatna, Hakim, L., Fitriani, Fahmi, A., 2017. Kinerja Kolom Adsorpsi Pada Penjerapan Timbal (Pb<sup>2+</sup>) Dalam Limbah Artifisial Menggunakan Cangkang Kernel Sawit. *Jurnal Intergrasi Proses*. 6 (4): 185–190. <http://dx.doi.org/10.36055/jip.v6i4.2549>
- Thermax Tulsion A-23 Demineralization Anion Exchange Resin (A-23). 2006. Tulsion A-23:Product data sheet. <https://www.lenntech.com/products/Thermax/A-23/Tulsion-A-23-Demineralization-Anion-Exchange-Resin/index.html> [diakses 23 November 19].

- Tolbin, A.Yu., Savelyev, M.S., Gerasimenko, A.Yu., Tomilova, L.G., 2016. High-performance optical limiters based on stable phthalocyanine J-type dimers. *Chemical Physics Letters*. 661: 269–273. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2016.06.051>
- Trinopiawan, K., Prassanti, R., Sumarni, S., Pudjianto, R., 2011. Pemisahan Uranium dari Thorium pada Monasit dengan Metode Ekstraksi Pelarut Alamine. *Eksplorium* 32 (155): 47 – 52. DOI:10.17146/eksplorium.2011.32.155.2829
- Verma, H.R., 2007. *Atomic dan Nuclear Analytical Methods: XRF, Mössbauer, XPS, NAA dan Ion-Beam Spectroscopic Techniques*. UK: Springer Science & Business Media.
- Víctor-Ortega, M.D., Ochando-Pulido, J.M., Hodaifa, G., Martínez-Ferez, A., 2014. Final purification of synthetic olive oil mill wastewater treated by chemical oxidation using ion exchange: Study of operating parameters. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 85: 241–247. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2014.10.002>
- Víctor-Ortega, M.D., Pulido, J.M.O., Martínez-Férez, A., 2016. Equilibrium Studies on Phenol Removal from Industrial Wastewater Through Polymeric Resins. *Chemical Engineering Transactions*. 47: 253-258. <https://doi.org/10.3303/CET1647043>
- Vitha, M.F., 2018. *Spectroscopy: Principles and Instrumentation*. USA: John Wiley & Sons.
- Vitha, M.F., 2016. *Chromatography: Principles and Instrumentation*. USA: John Wiley & Sons.
- Voncken, J.H.L., 2015. *The Rare Earth Elements: An Introduction*. Switzerland: Springer.
- Wachinski, A.M., 2016. *Environmental Ion Exchange: Principles and Design, Second Edition*. Boca Raton: CRC Press.
- Wang, L., Zhong, B., Liang, T., Xing, B., Zhu, Y., 2016. Atmospheric Thorium pollution and inhalation exposure in the largest rare earth mining and smelting area in China. *Science of The Total Environment*. 572: 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.192>
- Wasito, B., Biyantoro, dwi, 2009. Optimasi Proses Pembuatan Oksida Logam Tanah Jarang Dari Pasir Senotim Dan Analisis Produk Dengan Spektrometer Pendar Sinar-X. *Seminar Nasional V SDM Teknologi Nuklir*: 677-686. Yogyakarta, 5 November 2009: Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-BATAN.
- Wismawati, T., Deddi, E., 2000. Unsur Radiotoksik pada Contoh Tanah dari Sekitar Kolam Limbah Pengolahan U Lemajung Kalimantan Barat. *Prosiding*

*Seminar Pranata Nuklir dan Teknisi Litkayasa*: 134-148. Jakarta, 8 Maret 2000: PPBGN-BATAN.

Wu, M., Wang, S., Gao, N., Zhu, Y., Li, L., Niu, M., Li, S., 2016. Removal of perchlorate from water using a biofilm magnetic ion exchange resin: feasibility and effects of dissolved oxygen, pH and competing ions. *RSC Advances*. 6: 73365–73372. <https://doi.org/10.1039/C6RA10553J>

Zagorodni, A.A., 2006. *Ion Exchange Materials: Properties and Applications*. Amsterdam: Elsevier.

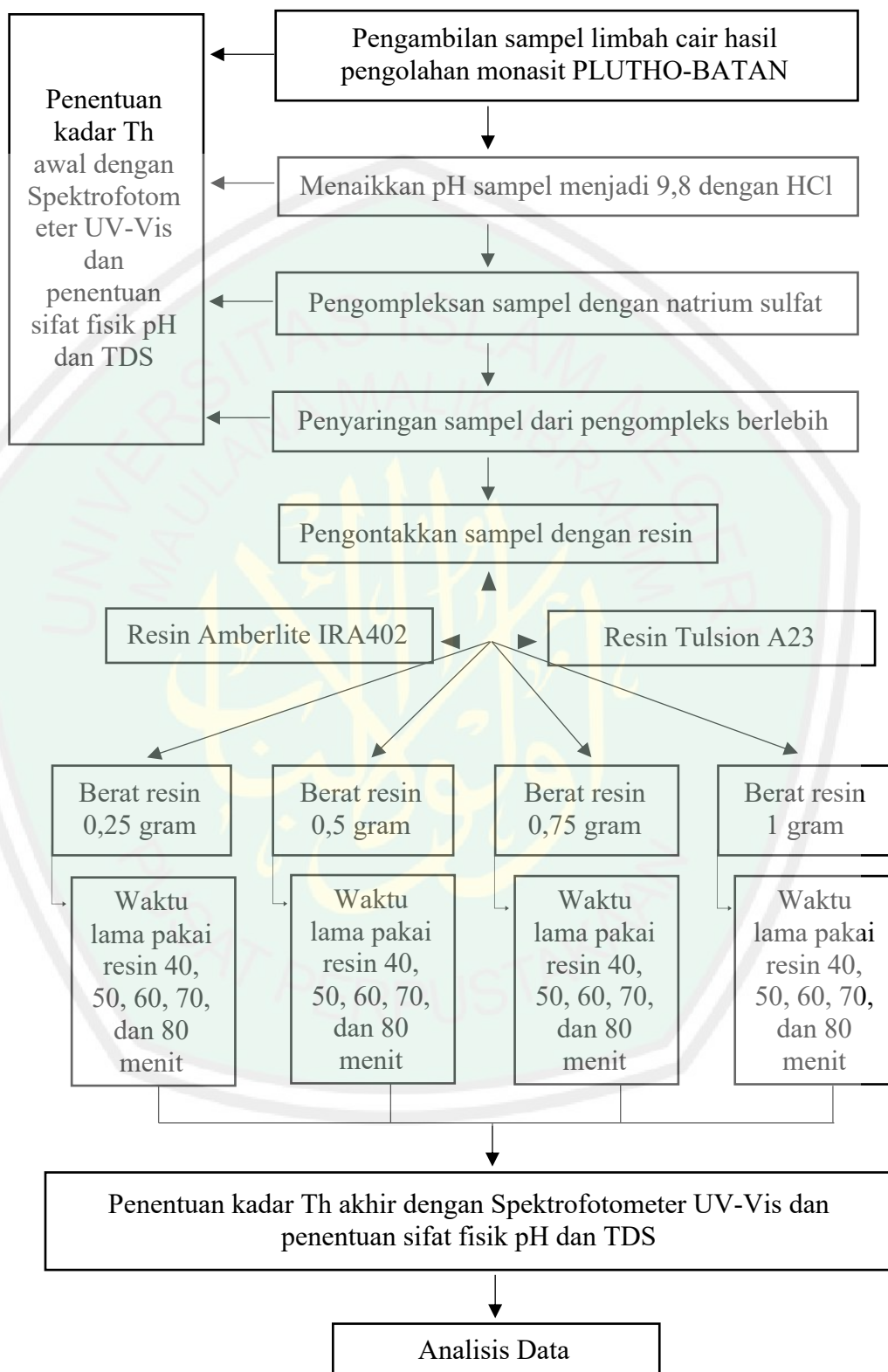
Zamora, R., Harmadi, Wildian, 2015. Perancangan Alat Ukur TDS (Total Dissolved Solid) Air dengan Sensor Konduktivitas secara Real Time. *Jurnal Sainstek*. 8 (1): 11-15. <https://doi.org/10.31958/js.v7i1.120>

Zhang, J., Zhao, B., Schreiner, B., 2016. *Separation Hydrometallurgy of Rare Earth Elements*. New York: Springer.

Zhu, L., Deng, Y., Zhang, J., Chen, J., 2011. Adsorption of phenol from water by N- butylimidazolium functionalized strongly basic anion exchange resin. *Journal of Colloid and Interface Science*. 364 (2): 462–468. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2011.08.068>

## LAMPIRAN

Lampiran 1. Rancangan Penelitian



## Lampiran 2. Diagram Alir

## 2.1 Pembuatan reagen

## 2.1.1 Pembuatan Indikator PP 0,1%

Padatan phenolftalein

- Ditimbang sebanyak 0,025 gram
- Dilarutkan dengan 20 mL alkohol teknis (96%) dalam gelas kimia
- Dipindahkan dalam labu ukur 25 mL
- Ditandabatkan dengan alkohol teknis dan dihomogenkan

Hasil

## 2.1.2 Pembuatan Indikator kanji/amilum 1%

Padatan amilum ( $C_6H_{10}O_5$ )

- Ditimbang sebanyak 0,5 gram
- Dilarutkan dengan 25 mL aquades
- Dipindahkan dalam labu ukur 50 mL
- Ditandabatkan dengan akuades dan dihomogenkan

Hasil

## 2.1.3 Pembuatan natrium tetraborat 1N

Natrium tetraborat

- Ditimbang sebanyak 10,062 gram
- Dilarutkan dengan 50 mL akuades dalam gelas kimia
- Dipanaskan di atas *hotplate*
- Dipindahkan ke dalam labu ukur 100 mL
- Ditandabatkan dengan akuades

Hasil

## 2.1.4 Pembuatan Asam sulfat 2N

Asam sulfat 96%

- Dipipet 28 mL ke dalam labu ukur 500 mL
- Ditandabatkan dengan akuades dan dihomogenkan

Hasil

### 2.1.5 Pembuatan NaOH 1M

#### Padatan NaOH

- Ditimbang sebanyak 10 gram
- Dilarutkan dalam aquades 100 mL
- Dipindahkan ke dalam labu ukur 250 mL
- Ditandabatkan dengan akuades dan dihomogenkan

Hasil

### 2.1.6 Pembuatan larutan standar torium

#### 2.1.6.1 Pengenceran 100 kali

#### Larutan standar spex torium 10000 ppm

- Dipipet 1 mL ke dalam labu takar 100 mL
- Ditandabatkan dengan akuades
- Dihomogenkan

Hasil

#### 2.1.6.2 Pembuatan deret standar torium 0, 5, 10, 20, 50, 100, dan 200 ppm

#### Larutan torium 100 ppm

- Dipipet berturut-turut 0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; dan 2 mL ke dalam labu takar 50 mL
- Ditandabatkan dengan akuades
- Dihomogenkan

Hasil

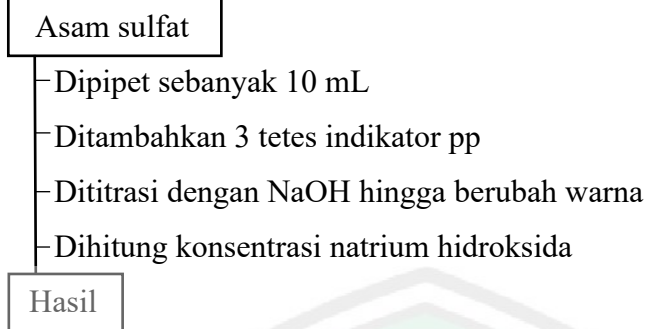
### 2.2 Standarisasi asam sulfat dengan natrium tetraborat ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ )

#### Natrium tetraborat

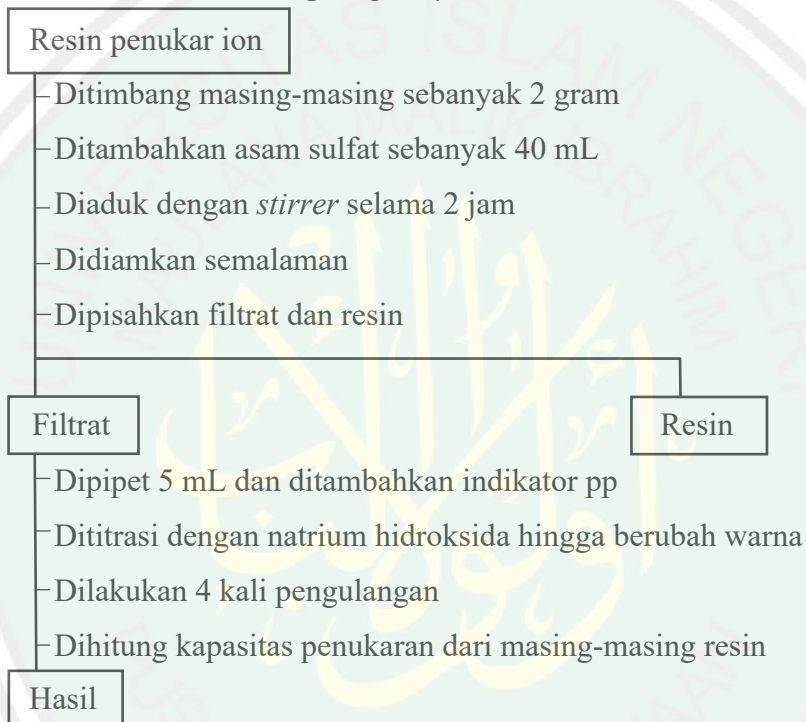
- Dipipet sebanyak 20 mL dalam erlenmeyer
- Ditambahkan 3 tetes indikator kanji
- Dititrasi dengan asam sulfat hingga berubah warna
- Duplo
- Dihitung konsentrasi asam sulfat

Hasil

### 2.3 Standarisasi NaOH dengan asam sulfat



### 2.4 Penentuan *total exchange capacity*



## 2.5 Preparasi sampel limbah cair monasit

Limbah cair monasit

- Dilakukan 5 kali pengenceran dengan cara dipipet 100 mL sampel cair monasit ke dalam labu ukur 500 mL
- Ditandabatkan dengan akuades
- Dihomogenkan dengan *magnetic stirrer*
- Ditambahkan natrium hidroksida 5% hingga pH 9,8
- Dihomogenkan dengan *magnetic stirrer*
- Ditambahkan pengompleks natrium sulfat 1,5 gr
- Dihomogenkan dengan *magnetic stirrer*
- Dipisahkan residu dengan filtrat

Filtrat

Residu

- Disimpan dalam botol kaca gelap

Hasil

## 2.6 Penentuan optimalisasi pertukaran torium

### 2.6.1 Aktivasi resin

Resin penukar anion Amberlite IRA402 dan Tulsion A23

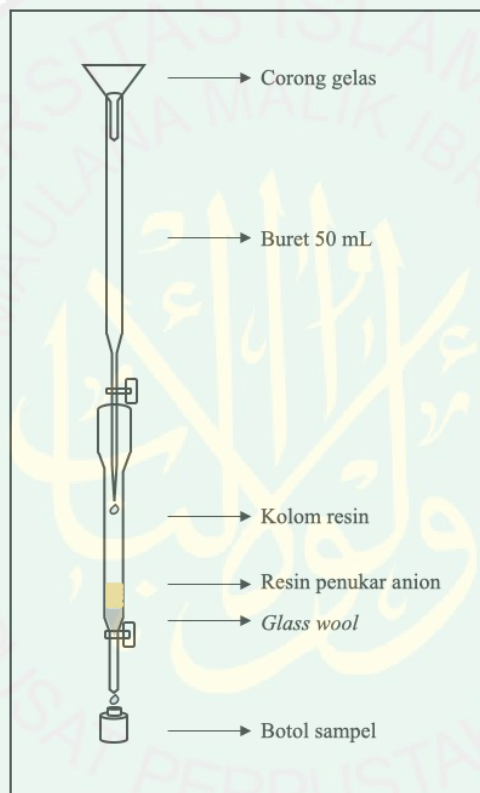
- Dikeringkan di dalam oven dengan suhu 80°C selama 3 jam
- Didinginkan di dalam desikator

Hasil

### 2.6.2 Pengontakan sampel dengan resin

#### Kolom resin

- Ditimbang glass wool seberat 0,5 gram
- Dimasukkan ke dalam kolom resin
- Dibasahi dengan akuades secukupnya
- Dikeringkan dinding kolom resin
- Dimasukkan resin ke dalam kolom resin dengan variasi berat resin 0,25; 0,5; 0,75; dan 1 gram.
- Dirakit buret di dalam kolom resin sebagai mana gambar dibawah:



- Dimasukkan sampel ke dalam buret
- Dikontakkan dengan resin dengan laju alir 1 mL/menit
- Dilakukan variasi waktu lama pakai resin yaitu 40, 50, 60, 70, dan 80 menit
- Disimpan sampel di dalam botol sampel
- Dilakukan pengulangan sebanyak 3x
- Dianalisis sampel dengan instrumen spektrofotometer UV-Vis

#### Hasil

## 2.7 Analisis sampel dan standar dengan metode Spektrofotometri UV-Vis

### 2.7.1 Penentuan kurva standar torium

#### Larutan standar torium

- Dipipet masing-masing 1 mL larutan standar ke dalam labu takar 50 mL
- Ditambahkan 15 mL HCl pH 0,8 dan dihomogenkan
- Ditambahkan 4 mL torin 0,1% kemudian dihomogenkan dan dibiarkan 5 menit
- Ditambahkan 4 mL asam askorbat 5% kemudian dihomogenkan dan dibiarkan 5 menit
- Ditepatkan dengan HCl pH 0,8 hingga tanda batas dan dihomogenkan
- Dibiarkan minimal 30 menit
- Diukur absorbansi deret standar dengan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 545 nm
- Dilihat hasil, minimal nilai R yang didapatkan yaitu 0,998 bila didapatkan dibawah angka tersebut maka diulang pembuatan standar.

#### Hasil

### 2.7.2 Penentuan konsentrasi torium dalam sampel

#### Sampel

- Dipipet masing-masing 5 mL larutan standar ke dalam labu takar 50 mL
- Ditambahkan 15 mL HCl pH 0,8 dan dihomogenkan
- Ditambahkan 4 mL torin 0,1% kemudian dihomogenkan dan dibiarkan 5 menit
- Ditambahkan 4 mL asam askorbat 5% kemudian dihomogenkan dan dibiarkan 5 menit
- Ditepatkan dengan HCl pH 0,8 hingga tanda batas dan dihomogenkan
- Dibiarkan minimal 30 menit
- Diukur absorbansi sampel dengan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 545 nm.

#### Hasil

## 2.8 Penentuan sifat fisik sampel

### 2.8.1 Penentuan nilai pH sampel

Sampel

- Dihomogenkan
- Dicelupkan elektroda pH meter pada sampel
- Dicatat angka pada pH meter apabila telah stabil
- Dilakukan dua kali pengulangan
- Dikeluarkan elektroda dari sampel
- Dicuci dengan akuades dan dikeringkan sebelum digunakan kembali
- Dianalisis

Hasil

### 2.8.2 Penentuan nilai TDS sampel

Sampel

- Dihomogenkan
- Dicelupkan elektroda TDS meter pada sampel
- Dicatat angka pada TDS meter apabila telah stabil
- Dilakukan dua kali pengulangan
- Dikeluarkan elektroda dari sampel
- Dicuci dengan akuades dan dikeringkan sebelum digunakan kembali
- Dianalisis

Hasil

### Lampiran 3. Pembuatan Reagen dan Perhitungan

#### 3.1 Pembuatan reagen natrium tetraborat ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) 1N

Dik, konsentrasi = 1N  
 Valensi = 2  
 Mr  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  = 201,24 gr/mol  
 Vol akhir = 100 mL atau 0,1 L

Dit, berat  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  ?

Jawab,  $N = \text{gr} \times \text{valensi} / \text{Mr} \times \text{Vol}$

$$\text{gr} = N \times \text{Mr} \times \text{Vol} / \text{valensi}$$

$$\text{gr} = \frac{1\text{N} \times 201,24 \text{ gr/mol} \times 0,1 \text{ L}}{2} = 10,062 \text{ gram}$$

Jadi, untuk membuat 100 mL larutan  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  dibutuhkan 10,062 gram padatan  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ .

#### 3.2 Pembuatan reagen asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 2N ~ 1M

Dik, Konsentrasi awal asam sulfat = 96%  
 Konsentrasi akhir asam sulfat = 2N

Dit, Volume asam sulfat ?

Jawab, 1. Mencari masa larutan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )

$$\begin{aligned} \text{Massa} &= \text{volume} \times \text{densitas} \\ &= 100 \text{ mL} \times 1,84 \text{ g/mL} \\ &= 184 \text{ g} \end{aligned}$$

2. Mencari massa asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )

$$\begin{aligned} \text{Massa} &= \text{persen} \times \text{massa larutan} \\ &= 98\% \times 184 \text{ gr} \\ &= 180,32 \text{ gr} \end{aligned}$$

3. Mencari mol asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )

$$\begin{aligned} \text{Mol} &= \text{g/Mr} \\ &= 180,32/98 \\ &= 1,84 \text{ mol} \end{aligned}$$

4. Menghitung konsentrasi dalam molar larutan asam sulfat pekat

$$\begin{aligned} M &= \text{mol/volume larutan} \\ &= 1,84/0,1\text{L} \end{aligned}$$

$$= 18,4 \text{ M} \sim 36,8 \text{ N}$$

5. Mencari volume asam sulfat 96% yang dibutuhkan

$$N_1 \times V_1 = N_2 V_2$$

$$36 \text{ N} \times V_1 = 2 \text{ N} \times 500 \text{ mL}$$

$$V_1 = 28 \text{ mL}$$

Jadi, untuk membuat 2N asam sulfat dalam 500 mL akuades dari konsentrasi asam sulfat 96% adalah dengan memipet asam sulfat 96% sebanyak 28 mL.

3.3 Pembuatan indikator fenolftalein (pp) 0,1%

Dik, Konsentrasi indikator pp = 0,1%

Volume larutan = 25 mL

Dit, Berat indikator yang dibutuhkan?

Jawab, Berat = konsentrasi x volume larutan

$$\text{Berat} = \frac{0,1}{100} \times 25 \text{ mL} = 0,025 \text{ gram}$$

Jadi, untuk membuat 0,1% indikator pp dalam 25 mL larutan dibutuhkan 0,025 gram padatan indikator pp.

3.4 Pembuatan reagen *thorin* 0,1%

Dik, Konsentrasi *thorin* = 0,1%

Volume larutan = 2000 mL

Dit, Berat *thorin* yang dibutuhkan?

Jawab, Berat = konsentrasi x volume larutan

$$\text{Berat} = \frac{0,1}{100} \times 2000 \text{ mL} = 2 \text{ gram}$$

Jadi, untuk membuat 0,1% reagen *thorin* dalam 2000 mL larutan dibutuhkan 2 gram padatan *thorin*.

3.5 Pembuatan reagen asam askorbat 5%

Dik, Konsentrasi asam askorbat = 5%

Volume larutan = 200 mL

Dit, Berat asam askorbat yang dibutuhkan?

Jawab, Berat = konsentrasi x volume larutan

$$\text{Berat} = \frac{5}{100} \times 200 \text{ mL} = 10 \text{ gram}$$

Jadi, untuk membuat larutan asam askorbat 5% sebanyak 200 mL dibutuhkan padatan asam askorbat sebanyak 10 gram.

### 3.6 Standarisasi asam sulfat dengan natrium tetraborat

#### A. Standarisasi asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) dengan natrium tetraborat ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ )

Dik, Volume titrasi  $V_1$  : 9,8 mL dan  $V_2$  : 9,9 mL

$$\text{Rata-rata volume titrasi} = \frac{9,8 \text{ mL} + 9,9 \text{ mL}}{2} = 9,85 \text{ mL}$$

$$V_1 N_1 = V_2 N_2$$

$$9,85 \text{ mL } N_1 = 20 \text{ mL} \times 1N$$

$$N_1 = \frac{20 \text{ mL} \times 1N}{9,85 \text{ mL}} = 2,03 N$$

#### B. Konsentrasi asam sulfat

$$N = a \times M$$

$$M = N / 2$$

$$= 2,03N / 2 = 1,015$$

Jadi, konsentrasi larutan asam sulfat adalah 1.015 M.

### 3.7 Standarisasi NaOH

#### A. Membuat larutan NaOH 1 M

$$M = \frac{\text{gr}}{Mr} \times \frac{1000}{\text{mL}}$$

$$\text{gr} = \frac{M \times Mr \times \text{mL}}{1000}$$

$$\text{gr} = \frac{1M \times 40 \frac{\text{gr}}{\text{mol}} \times 250\text{mL}}{1000} = \frac{40}{4} = 10 \text{ gram}$$

Dibutuhkan 10 gram padatan NaOH untuk membuat 1M larutan NaOH dalam 250 mL aquades.

#### B. Titrasi natrium hidroksida (NaOH) dengan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 1,015 M

$$V_1 = 13 \text{ mL}, V_2 = 13 \text{ mL}$$

$$\text{Rata-rata volume titrasi} = \frac{13 \text{ mL} + 13 \text{ mL}}{2} = 13 \text{ mL}$$

$$V_1M_1 = V_2M_2$$

$$13 \text{ mL } M_1 = 10 \text{ mL} \times 1,015 \text{ M}$$

$$M_1 = \frac{10,15 \text{ mL M}}{13 \text{ mL}} = 0,78 \text{ M}$$

Jadi, konsentrasi NaOH adalah 0,78 M

### 3.8 Penentuan Total Exchange Capacity

A. Titrasi (5 mL) sampel yang sudah direndam asam sulfat 1,015 M semalaman dengan 0,78 M NaOH

- Volume titrasi dari resin Amberlite IRA-402

$$V_1 = 10,9 \text{ mL}, V_2 = 11,9 \text{ mL}, V_3 = 10,9 \text{ mL}, V_4 = 10 \text{ mL}$$

$$\text{Rata-rata volume titrasi} = \frac{10,9 \text{ mL} + 11,9 \text{ mL} + 10,9 \text{ mL} + 10 \text{ mL}}{4} = 10,925 \text{ mL}$$

- Volume titrasi dari resin Tulsion A23

$$V_1 = 9,9 \text{ mL}, V_2 = 10,8 \text{ mL}, V_3 = 10,8 \text{ mL}, V_4 = 10,7 \text{ mL}$$

$$\text{Rata-rata volume titrasi} = \frac{9,9 \text{ mL} + 10,8 \text{ mL} + 10,8 \text{ mL} + 10,7 \text{ mL}}{4} = 13 \text{ mL}$$

B. Resin Amberlite IRA-402

$$V_1M_1 = V_2M_2$$

$$M_1 = \frac{10,925 \text{ mL} \times 0,78 \text{ M}}{5 \text{ mL}} = 1,7043 \text{ meq/mL}$$

Jadi, kapasitas resin Amberlite IRA-402 adalah 1,7043 meq/mL

C. Resin Tulsion A23

$$V_1M_1 = V_2M_2$$

$$M_1 = \frac{10,55 \text{ mL} \times 0,78 \text{ M}}{5 \text{ mL}} = 1,6458 \text{ meq/mL}$$




Jadi, kapasitas resin Tulsion A23 adalah 1,6458 meq/mL

## Lampiran 4. Risk Assessment

LEMBAR IDENTIFIKASI BAHAYA DAN PENILAIAN RESIKO  
KEGIATAN PENELITIAN MAHASISWA

JURUSAN KIMIA FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI UIN MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG		IDENTIFIKASI BAHAYA DAN PENILAIAN RESIKO		PENELITIAN		
				Jumlah halaman : 3		
JUDUL PENELITIAN : REDUKSI THORIUM PADA LIMBAH CAIR PENGOLAHAN MONASIT MENGGUNAKAN RESIN PENUKAR ANION						
No	Tahapan Kerja Penelitian	Potensi Bahaya	Upaya Pengendalian	Level		Tingkat Bahaya (R x P)
				Resiko (R)	Peluang (P)	
1.	Aktivasi resin dengan oven	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terbakar</li> <li>• Kerusakan mata</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menjauh dari oven, melepaskan pakaian yang terkontaminasi, posisikan dalam keadaan yang nyaman dan tetap hangat. Tetap istirahat hingga benar-benar pulih dan cari tenaga medis bila diperlukan.</li> </ul>	1	1	1
2.	Penentuan nilai pertukaran ion dari resin Amberlite IRA402 dan Tulsion A23 dengan reagen natrium hidroksida, asam sulfat, natrium tetraborat, dan indikator pp	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merusak lingkungan</li> <li>• Iritasi kulit, saluran pencernaan, dan saluran pernapasan</li> <li>• Perubahan warna urin</li> <li>• Batuk-batuk</li> <li>• Diare</li> <li>• Kerusakan mata dan kulit</li> <li>• Berbahaya bagi hewan air</li> <li>• Beracun</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terhirup: pindahkan ke udara segar. Jika sulit bernapas, berikan oksigen. Jika korban tidak bernafas, lakukan resusitasi mulut ke mulut. Segera dapatkan perawatan medis.</li> <li>• Tertelan: jangan dimuntahkan. Jika muntah, pertahankan kepala tetap rendah agar muntah tidak masuk. Jangan pernah memberikan apapun melalui mulut kepada orang yang tidak sadar. Segera dapatkan perawatan medis.</li> <li>• Kontak Kulit: siram bagian yang terpapar dengan banyak air setidaknya selama 15 menit. Lepas pakaian dan sepatu yang terkontaminasi. Cuci pakaian sebelum digunakan kembali. Segera dapatkan perawatan medis.</li> <li>• Kontak Mata: Periksa dan lepaskan lensa kontak. Segera siram mata dengan air mengalir selama setidaknya 15 menit, sesekali mengangkat kelopak mata atas dan bawah. Segera dapatkan perawatan medis.</li> </ul>	2	2	4
3.	Pembuatan larutan standar torium dengan larutan spex torium 10000 ppm dan akuades	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Korosif</li> <li>• Kerusakan mata</li> <li>• Kulit terbakar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terhirup: pindahkan ke udara segar. Jika sulit bernapas, berikan oksigen. Jika korban tidak bernafas, lakukan resusitasi mulut ke mulut. Segera dapatkan perawatan medis.</li> <li>• Tertelan: jangan dimuntahkan. Jika muntah, pertahankan kepala tetap rendah agar muntah tidak masuk. Jangan pernah memberikan apapun melalui mulut kepada orang yang tidak sadar. Segera dapatkan perawatan medis.</li> <li>• Kontak Kulit: siram bagian yang terpapar dengan banyak air setidaknya selama 15 menit. Lepas pakaian dan sepatu yang terkontaminasi. Cuci pakaian sebelum digunakan kembali. Segera dapatkan perawatan medis.</li> </ul>	2	1	2

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kontak Mata: Periksa dan lepaskan lensa kontak. Segera siram mata dengan air mengalir selama setidaknya 15 menit, sesekali mengangkat kelopak mata atas dan bawah. Segera dapatkan perawatan medis.</li> </ul>			
4.	Preparasi sampel limbah cair monasit dengan akuades, natrium sulfat, dan natrium hidroksida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kulit terbakar</li> <li>• Kerusakan mata</li> <li>• Berbahaya bagi hewan air</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terhirup: pindahkan ke udara segar. Jika sulit bernapas, berikan oksigen. Jika korban tidak bernafas, lakukan resusitasi mulut ke mulut. Segera dapatkan perawatan medis.</li> <li>• Tertelan: jangan dimuntahkan. Jika muntah, pertahankan kepala tetap rendah agar muntah tidak masuk. Jangan pernah memberikan apapun melalui mulut kepada orang yang tidak sadar. Segera dapatkan perawatan medis.</li> <li>• Kontak Kulit: siram bagian yang terpapar dengan banyak air setidaknya selama 15 menit. Lepas pakaian dan sepatu yang terkontaminasi. Cuci pakaian sebelum digunakan kembali. Segera dapatkan perawatan medis.</li> <li>• Kontak Mata: Periksa dan lepaskan lensa kontak. Segera siram mata dengan air mengalir selama setidaknya 15 menit, sesekali mengangkat kelopak mata atas dan bawah. Segera dapatkan perawatan medis.</li> </ul>	2	1	2
5	Pengontakan resin dengan sampel dengan bantuan <i>glass wool</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merusak lingkungan</li> <li>• Melukai bagian tubuh</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terhirup: pindahkan ke udara segar. Jika sulit bernapas, berikan oksigen. Jika korban tidak bernafas, lakukan resusitasi mulut ke mulut. Segera dapatkan perawatan medis.</li> <li>• Tertelan: jangan dimuntahkan. Jika muntah, pertahankan kepala tetap rendah agar muntah tidak masuk. Jangan pernah memberikan apapun melalui mulut kepada orang yang tidak sadar. Segera dapatkan perawatan medis.</li> <li>• Kontak Kulit: siram bagian yang terpapar dengan banyak air setidaknya selama 15 menit. Lepas pakaian dan sepatu yang terkontaminasi. Cuci pakaian sebelum digunakan kembali. Segera dapatkan perawatan medis.</li> <li>• Kontak Mata: Periksa dan lepaskan lensa kontak. Segera siram mata dengan air mengalir selama setidaknya 15 menit, sesekali mengangkat kelopak mata atas dan bawah. Segera dapatkan perawatan medis.</li> </ul>	1	1	1
6	Analisis kadar torium pada sampel dengan instrumen Spektrofotometer UV-Vis dengan reagen HCl pH 0,8; torin 0,1%; dan asam askorbat 5%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Korosif.</li> <li>• Menyebabkan luka bakar pada kulit, mata, dan saluran pencernaan yang parah.</li> <li>• Berbahaya jika tertelan.</li> <li>• Asap atau uap sangat mengiritasi mata dan saluran pernapasan</li> <li>• Beracun</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terhirup: pindahkan ke udara segar. Jika sulit bernapas, berikan oksigen. Jika korban tidak bernafas, lakukan resusitasi mulut ke mulut. Segera dapatkan perawatan medis.</li> <li>• Tertelan: jangan dimuntahkan. Jika muntah, pertahankan kepala tetap rendah agar muntah tidak masuk. Jangan pernah memberikan apapun melalui mulut kepada orang yang tidak sadar. Segera dapatkan perawatan medis.</li> <li>• Kontak Kulit: siram bagian yang terpapar dengan banyak air setidaknya selama 15 menit. Lepas pakaian dan sepatu yang terkontaminasi. Cuci pakaian sebelum digunakan kembali. Segera dapatkan perawatan medis.</li> <li>• Kontak Mata: Periksa dan lepaskan lensa kontak. Segera siram mata dengan air mengalir selama setidaknya 15 menit, sesekali mengangkat kelopak mata atas dan bawah. Segera dapatkan perawatan medis.</li> </ul>	2	2	4

7	Penentuan sifat fisik sampel dengan pH meter dan TDS meter	Tidak berbahaya	• Gunakan alat hati-hati		1	1	1
<p><b>KETERANGAN</b></p> <p><b>RESIKO</b> - merupakan suatu nilai yang ditetapkan untuk menentukan suatu tingkatan dampak/akibat berdasarkan keparahan yang disebabkan oleh kecelakaan kerja</p> <p>Level-1 : Tidak ada cedera, kerugian biaya rendah, kerusakan peralatan ringan  Level-2 : Cedera ringan (hanya membutuhkan P3K), peralatan rusak ringan  Level-3 : Menyebabkan cedera yang memerlukan perawatan medis ke rumah sakit, peralatan rusak sedang  Level-4 : Menyebabkan cedera yang menyebabkan cacatnya anggota tubuh permanen, peralatan rusak berat  Level-5 : Menyebabkan korban jiwa (kematian), peralatan rusak berat</p> <p><b>PELUANG</b> - merupakan suatu nilai yang ditetapkan untuk menentukan tingkat frekuensi terhadap kejadian kecelakaan kerja</p> <p>Level-1 : Hampir tidak pernah terjadi  Level-2 : Frekuensi kejadian jarang terjadi waktu tahunan  Level-3 : Frekuensi kejadian sedang dalam waktu bulanan  Level-4 : Hampir 100 % terjadi kejadian tersebut  Level-5 : 100 % kejadian pasti terjadi</p> <p><b>TINGKAT BAHAYA</b> - merupakan hasil perkalian dari Resiko (R) dan Peluang (P) sebagai tetapan tingkat bahaya dari suatu pekerjaan yang dilakukan</p> <p>SKOR:      1-4      Rendah      Masih dapat ditoleransi                5-10     Sedang      Dikendalikan sampai batas toleransi                11-25    Tinggi      Pemantauan intensif dan pengendalian</p>							
	disusun oleh :	telah diperiksa oleh :			telah disetujui oleh :		
Tanggal	8, Juni 2020	10 Juli 2020	7 Juli 2020	15 Juni 2020			
Tanda Tangan							
Nama	LAILI HASNA	SUCI AMALIA, M.Sc	ACH. NASHICHUDDIN, M.A	DANY POLTAK MARISI, S.T, M.Si			
NIM/NIP	16630089	19821101 200901 2 007	10730705 200003 1 002	19900626 201403 1 006			

Lampiran 5. Data Komposisi Sampel dengan Instrumen XRF

SPECTRO X-LabPro Job Number PKL201

Freset Sample Data

Sample Name	1 2	Dilution Material	D_HWC
Description		Sample Mass (g)	5.0000
Method	GeoChemPellet 2	Dilution Mass (g)	1.0000
Job Number	PKL2019	Dilution Factor	0.8333
Sample Type	Pressed tablet, 32 mm	Sample rotation	No
Sample State	40-Ring	Date of Receipt	1/23/2019 10:37:14 AM
Sample Status	A X X A X X A A	Date of Evaluation	1/23/2019 10:37:38 AM

Results

The error is the statistical error with 1 sigma confidence interval

Mass Att Coeff 63.0

Z	Symbol	Element	Norm Int	Concentration	Abs. Error
11	Na2O	Sodium	16.5983	2.94 %	0.12 %
12	MgO	Magnesium	11.1216	< 0.042 %	(0.032) %
13	Al2O3	Aluminum	25.4966	0.3179 %	0.0076 %
14	SiO2	Silicon	23.9409	< 0.0011 %	(0.0) %
15	P2O5	Phosphorus	76.6949	0.4197 %	0.0048 %
16	S	Sulfur	4.0208	52.9 μg/g	9.0 μg/g
17	Cl	Chlorine	5619.6515	38520 μg/g	50 μg/g
19	K2O	Potassium	28.6867	0.00552 %	0.00065 %
20	CaO	Calcium	651.2194	0.1319 %	0.0012 %
21	Sc	Scandium	9.3311	7.8 μg/g	5.4 μg/g
22	TiO2	Titanium	6.9352	0.00081 %	0.00081 %
23	V2O5	Vanadium	615.5659	605 μg/g	39 μg/g
24	Cr2O3	Chromium	67.6817	31 μg/g	15 μg/g
25	MnO	Manganese	0.0000	< 1.3 μg/g	(0.0) μg/g
26	Fe2O3	Iron	839.8949	0.1938 %	0.0012 %
27	CoO	Cobalt	35.6346	241 μg/g	21 μg/g
28	NiO	Nickel	90.3085	87.3 μg/g	3.4 μg/g
29	CuO	Copper	65.3515	45.9 μg/g	1.8 μg/g
30	ZnO	Zinc	26.5265	13.8 μg/g	1.1 μg/g
31	Ga	Gallium	0.0000	< 0.5 μg/g	(0.0) μg/g
32	Ge	Germanium	0.0000	< 0.5 μg/g	(0.0) μg/g
33	As2O3	Arsenic	0.0000	< 0.5 μg/g	(0.0) μg/g
34	Se	Selenium	0.0000	< 0.7 μg/g	(0.0) μg/g
35	Br	Bromine	2.5729	0.4 μg/g	0.3 μg/g
37	Rb2O	Rubidium	12.6072	1.8 μg/g	0.2 μg/g
38	SrO	Strontium	3.9880	0.5 μg/g	0.2 μg/g
39	Y	Yttrium	102.6069	11.4 μg/g	0.3 μg/g
40	ZrO2	Zirconium	38884.5046	3770 μg/g	5 μg/g
41	Nb2O5	Niobium	91.6850	60.7 μg/g	2.1 μg/g
42	MoO	Molybdenum	0.0000	< 0.7 μg/g	(0.0) μg/g
44	Ru	Ruthenium	0.0000	< 0.6 μg/g	(0.0) μg/g
45	Rh	Rhodium	0.0000	< 0.5 μg/g	(0.0) μg/g
46	Pd	Palladium	0.0000	< 0.5 μg/g	(0.0) μg/g
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.5 μg/g	(0.0) μg/g
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.5 μg/g	(0.0) μg/g
49	In	Indium	0.0000	< 0.3 μg/g	(0.0) μg/g
50	SnO2	Tin	0.0000	< 0.5 μg/g	(0.0) μg/g
51	Sb2O5	Antimony	304.2942	40.9 μg/g	0.5 μg/g
52	Te	Tellurium	0.0000	< 0.7 μg/g	(0.0) μg/g
53	I	Iodine	0.0000	< 0.5 μg/g	(0.0) μg/g
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.7 μg/g	(0.0) μg/g
56	BaO	Barium	0.0000	< 1.0 μg/g	(0.0) μg/g
57	La2O3	Lanthanum	0.0000	< 1.7 μg/g	(0.0) μg/g
58	Ce2O3	Cerium	36602.1413	22080 μg/g	30 μg/g
			56225.3221	42500 μg/g	50 μg/g

SPECTRO X-LabPro Job Number PKL2019

Sample Name	1 2	Date of Receipt	1/23/2019 10:37:14 AM
Description		Method	GeoChemPellet 2

Z	Symbol	Element	Norm Int	Concentration	Abs. Error
59	Pr	Praseodymium	5364.5996	2179 μg/g	7 μg/g
60	Nd	Neodymium	14825.3432	11580 μg/g	20 μg/g
62	Sm	Samarium	1915.9872	1215 μg/g	21 μg/g
68	Er	Erbium	162.7869	265.6 μg/g	7.5 μg/g
70	Yb	Ytterbium	158.2071	256.9 μg/g	5.6 μg/g
72	Hf	Hafnium	2.8559	0.3 μg/g	0.3 μg/g
73	Ta2O5	Tantalum	24.3653	19.7 μg/g	2.3 μg/g
74	WO3	Tungsten	0.0000	< 1.5 μg/g	(0.0) μg/g
79	Au	Gold	1.3894	< 7.2 μg/g	(3.5) μg/g
80	Hg	Mercury	3.5506	1.9 μg/g	0.8 μg/g
81	Tl	Thallium	5.4803	1.8 μg/g	0.5 μg/g
82	Pb	Lead	83.9792	35.6 μg/g	0.9 μg/g
83	Bi	Bismuth	1.0292	0.2 μg/g	0.2 μg/g
90	Th	Thorium	115.3942	30.8 μg/g	0.6 μg/g
92	U	Uranium	15.1029	2.5 μg/g	0.3 μg/g

Lampiran 6. Data Hasil Persen Penyerapan Torium

Nama Sampel	Absorbansi			Konsentrasi (ppm)			Torium terserap (ppm)			Persen penyerapan torium (%)				Qe (mg/g)
	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3	Rata-rata	
A5x	0,060	0,061	0,068	35,868	36,557	40,199								
A0.25-40	0,042	0,041	0,050	24,929	24,310	29,731	10,939	12,247	10,468	30,498	33,501	26,040	30,013	0,449
A0.25-50	0,043	0,042	0,049	25,636	25,082	29,017	10,232	11,475	11,182	28,527	31,389	27,817	29,244	0,439
A0.25-60	0,044	0,045	0,048	26,274	26,355	28,631	9,594	10,202	11,568	26,748	27,907	28,777	27,811	0,418
A0.25-70	0,047	0,045	0,046	27,816	26,734	27,306	8,052	9,823	12,893	22,449	26,870	32,073	27,131	0,410
A0.25-80	0,048	0,044	0,053	28,511	26,060	31,194	7,357	10,497	9,005	20,511	28,714	22,401	23,875	0,358
A5x	0,066	0,060	0,061	59,483	35,868	36,557								
A0,5-40	0,048	0,043	0,043	42,958	25,330	25,311	16,525	10,538	11,246	27,781	29,380	30,763	29,308	0,255
A0,5-50	0,045	0,041	0,042	40,127	23,982	24,802	19,356	11,886	11,755	32,540	33,138	32,155	32,611	0,287
A0,5-60	0,047	0,047	0,048	42,294	27,834	28,638	17,189	8,034	7,919	28,897	22,399	21,662	24,319	0,221
A0,5-70	0,050	0,047	0,043	45,222	27,539	25,465	14,261	8,329	11,092	23,975	23,221	30,342	25,846	0,225
A0,5-80	0,048	0,046	0,045	43,081	27,384	26,404	16,402	8,484	10,153	27,574	23,653	27,773	26,334	0,234
A5x	0,112	0,112	0,106	66,779	66,923	63,696								
A0,75-40	0,052	0,053	0,053	30,903	31,659	30,975	35,876	35,264	32,721	53,723	52,693	51,371	52,596	0,462
A0,75-50	0,046	0,046	0,050	27,430	27,121	29,603	39,349	39,802	34,093	58,924	59,474	53,525	57,308	0,503
A0,75-60	0,054	0,054	0,055	32,163	32,214	32,802	34,616	34,709	30,894	51,837	51,864	48,502	50,734	0,445
A0,75-70	0,053	0,055	0,053	31,303	32,720	31,239	35,476	34,203	32,457	53,124	51,108	50,956	51,730	0,454
A0,75-80	0,048	0,047	0,055	28,719	27,870	32,856	38,060	39,053	30,840	56,994	58,355	48,417	54,589	0,480
A5x	0,112	0,106	0,110	66,923	63,696	65,675								
A1-40	0,051	0,044	0,046	30,427	26,223	27,050	36,496	37,473	38,625	54,534	58,831	58,812	57,393	0,375
A1-50	0,056	0,047	0,046	33,384	27,883	27,431	33,539	35,813	38,244	50,116	56,225	58,232	54,858	0,359

A1-60	0,050	0,044	0,047	29,412	25,884	27,720	37,511	37,812	37,955	56,051	59,363	57,792	57,735	0,378
A1-70	0,054	0,046	0,048	32,241	26,933	28,160	34,682	36,763	37,515	51,824	57,716	57,122	55,554	0,363
A1-80	0,059	0,048	0,046	35,261	28,438	26,993	31,662	35,258	38,682	47,311	55,354	58,899	53,855	0,352
A5x	0,109	0,070	0,108	65,288	63,515	64,484								
T0,25-40	0,062	0,048	0,065	37,160	42,612	38,510	28,128	20,903	25,974	43,083	32,910	40,280	38,758	1,00
T0,25-50	0,065	0,047	0,064	38,420	42,014	38,129	26,868	21,501	26,355	41,153	33,852	40,871	38,625	1,00
T0,25-60	0,061	0,046	0,067	36,424	40,828	39,696	28,864	22,687	24,788	44,210	35,719	38,441	39,457	1,02
T0,25-70	0,062	0,050	0,064	36,884	44,381	38,332	28,404	19,134	26,152	43,506	30,125	40,556	38,062	0,98
T0,25-80	0,064	0,053	0,068	37,794	47,426	40,737	27,494	16,089	23,747	42,112	25,331	36,826	34,756	0,90
A5x	0,109	0,070	0,070	65,288	63,319	63,515								
T0,5-40	0,065	0,046	0,049	38,846	40,948	43,732	26,442	22,371	19,783	40,501	35,331	31,147	35,659	0,46
T0,5-50	0,060	0,049	0,053	35,888	43,739	47,800	29,400	19,580	15,715	45,031	30,923	24,742	33,565	0,43
T0,5-60	0,066	0,045	0,045	39,085	39,846	40,255	26,203	23,473	23,260	40,134	37,071	36,621	37,942	0,49
T0,5-70	0,067	0,046	0,046	39,858	40,796	40,794	25,430	22,523	22,721	38,950	35,571	35,773	36,765	0,47
T0,5-80	0,064	0,047	0,045	38,292	42,064	40,383	26,996	21,255	23,132	41,349	33,568	36,420	37,112	0,48
A5x	0,109	0,070	0,108	65,288	63,319	64,484								
T0,75-40	0,065	0,046	0,070	38,456	41,342	41,959	26,832	21,977	22,525	41,098	34,708	34,931	36,912	0,32
T0,75-50	0,063	0,049	0,065	37,359	44,159	38,891	27,929	19,160	25,593	42,778	30,259	39,689	37,576	0,32
T0,75-60	0,061	0,044	0,063	36,083	39,427	37,635	29,205	23,892	26,849	44,733	37,733	41,637	41,367	0,36
T0,75-70	0,061	0,049	0,062	35,985	43,630	36,617	29,303	19,689	27,867	44,883	31,095	43,215	39,731	0,34
T0,75-80	0,063	0,044	0,061	37,362	38,918	36,247	27,926	24,401	28,237	42,774	38,537	43,789	41,700	0,36
A5x	0,112	0,070	0,112	66,779	63,515	66,923								
T1-40	0,056	0,043	0,056	33,397	38,074	33,521	33,382	25,441	33,402	49,989	40,055	49,911	46,652	0,31
T1-50	0,055	0,037	0,053	32,578	33,052	31,493	34,201	30,463	35,430	51,215	47,962	52,941	50,706	0,33

T1-60	0,056	0,042	0,058	33,145	37,156	34,608	33,634	26,359	32,315	50,366	41,500	48,287	46,718	0,31
T1-70	0,056	0,042	0,058	33,552	37,020	34,434	33,227	26,495	32,489	49,757	41,715	48,547	46,673	0,31
T1-80	0,056	0,040	0,058	33,547	35,488	34,424	33,232	28,027	32,499	49,764	44,127	48,562	47,484	0,31



Lampiran 7. Data Hasil Uji TDS

Nama Sampel	TDS (ppt)									
	Ulangan 1			Ulangan 2			Ulangan 3			Rata-rata
	1	2	Rata-rata	1	2	Rata-rata	1	2	Rata-rata	
A0,25-40	8,41	8,43	8,42	8,50	8,50	8,50	8,44	8,41	8,43	8,45
A0,25-50	8,63	8,67	8,65	8,35	8,57	8,46	8,57	8,53	8,55	8,55
A0,25-60	8,33	8,30	8,32	8,42	8,46	8,44	8,49	8,28	8,39	8,38
A0,25-70	8,54	8,52	8,53	8,55	8,51	8,53	8,52	8,61	8,57	8,54
A0,25-80	8,49	8,47	8,48	8,40	8,45	8,43	8,44	8,48	8,46	8,45
A0,5-40	8,76	8,60	8,68	8,74	8,62	8,68	8,77	8,58	8,68	8,68
A0,5-50	8,52	8,50	8,51	8,50	8,52	8,51	8,54	8,55	8,55	8,52
A0,5-60	8,74	8,75	8,75	8,72	8,78	8,75	8,80	8,69	8,75	8,75
A0,5-70	8,56	8,53	8,54	8,54	8,50	8,52	8,53	8,47	8,50	8,52
A0,5-80	8,60	8,58	8,59	8,58	8,55	8,57	8,60	8,57	8,59	8,58
A0,75-40	8,70	8,68	8,69	8,64	8,57	8,61	8,59	8,67	8,63	8,64
A0,75-50	8,66	8,64	8,65	8,50	8,69	8,60	8,70	8,42	8,56	8,60
A0,75-60	8,69	8,67	8,68	8,67	8,70	8,69	8,37	8,79	8,58	8,65
A0,75-70	8,66	8,64	8,65	8,61	8,55	8,58	8,28	8,59	8,43	8,56
A0,75-80	8,67	8,65	8,66	8,70	8,65	8,68	8,42	8,50	8,46	8,60
A1-40	8,75	8,37	8,56	8,45	8,38	8,42	8,04	8,52	8,28	8,42
A1-50	8,04	8,77	8,41	8,10	8,75	8,43	8,24	8,37	8,31	8,38
A1-60	8,77	8,72	8,75	8,66	8,79	8,73	8,29	8,33	8,31	8,59
A1-70	8,81	8,79	8,80	8,76	8,69	8,73	8,35	8,30	8,33	8,62
A1-80	8,73	8,72	8,73	8,67	8,70	8,69	8,28	8,70	8,49	8,63
T0,25-40	8,44	8,42	8,43	8,24	8,38	8,31	8,10	8,22	8,16	8,30
T0,25-50	8,36	8,33	8,34	8,28	8,30	8,29	8,38	8,25	8,32	8,32
T0,25-60	8,59	8,55	8,57	8,36	8,42	8,39	8,59	8,67	8,63	8,53
T0,25-70	8,55	8,51	8,53	8,45	8,43	8,44	8,50	8,41	8,46	8,47
T0,25-80	8,50	8,49	8,50	8,40	8,34	8,37	8,30	8,24	8,27	8,38
T0,5-40	8,69	8,63	8,66	8,52	8,37	8,45	8,44	8,59	8,51	8,54
T0,5-50	8,69	8,62	8,66	8,71	8,57	8,64	8,28	8,08	8,18	8,49
T0,5-60	8,76	8,66	8,71	8,72	8,68	8,70	8,33	8,42	8,37	8,59
T0,5-70	8,69	8,61	8,65	8,66	8,52	8,59	8,52	8,45	8,49	8,58
T0,5-80	8,65	8,59	8,62	8,60	8,52	8,56	8,37	8,10	8,24	8,47
T0,75-40	8,73	8,67	8,70	8,77	8,64	8,71	8,67	8,79	8,73	8,71
T0,75-50	8,78	8,69	8,73	8,77	8,61	8,69	8,42	8,35	8,39	8,60
T0,75-60	8,78	8,77	8,78	8,73	8,70	8,72	8,79	8,60	8,70	8,73
T0,75-70	8,71	8,70	8,70	8,69	8,65	8,67	8,50	8,22	8,36	8,58
T0,75-80	8,69	8,61	8,65	8,62	8,59	8,61	8,19	8,28	8,24	8,50
T1-40	8,65	8,56	8,61	8,60	8,54	8,57	8,20	8,32	8,26	8,48
T1-50	8,69	8,67	8,68	8,68	8,59	8,64	8,42	8,30	8,36	8,56
T1-60	8,61	8,58	8,59	8,37	8,79	8,58	8,04	8,28	8,16	8,45
T1-70	8,61	8,60	8,61	8,42	8,28	8,35	8,34	8,67	8,51	8,49
T1-80	8,62	8,57	8,59	8,59	8,50	8,54	8,50	8,22	8,36	8,50
										Rata-rata 8,53

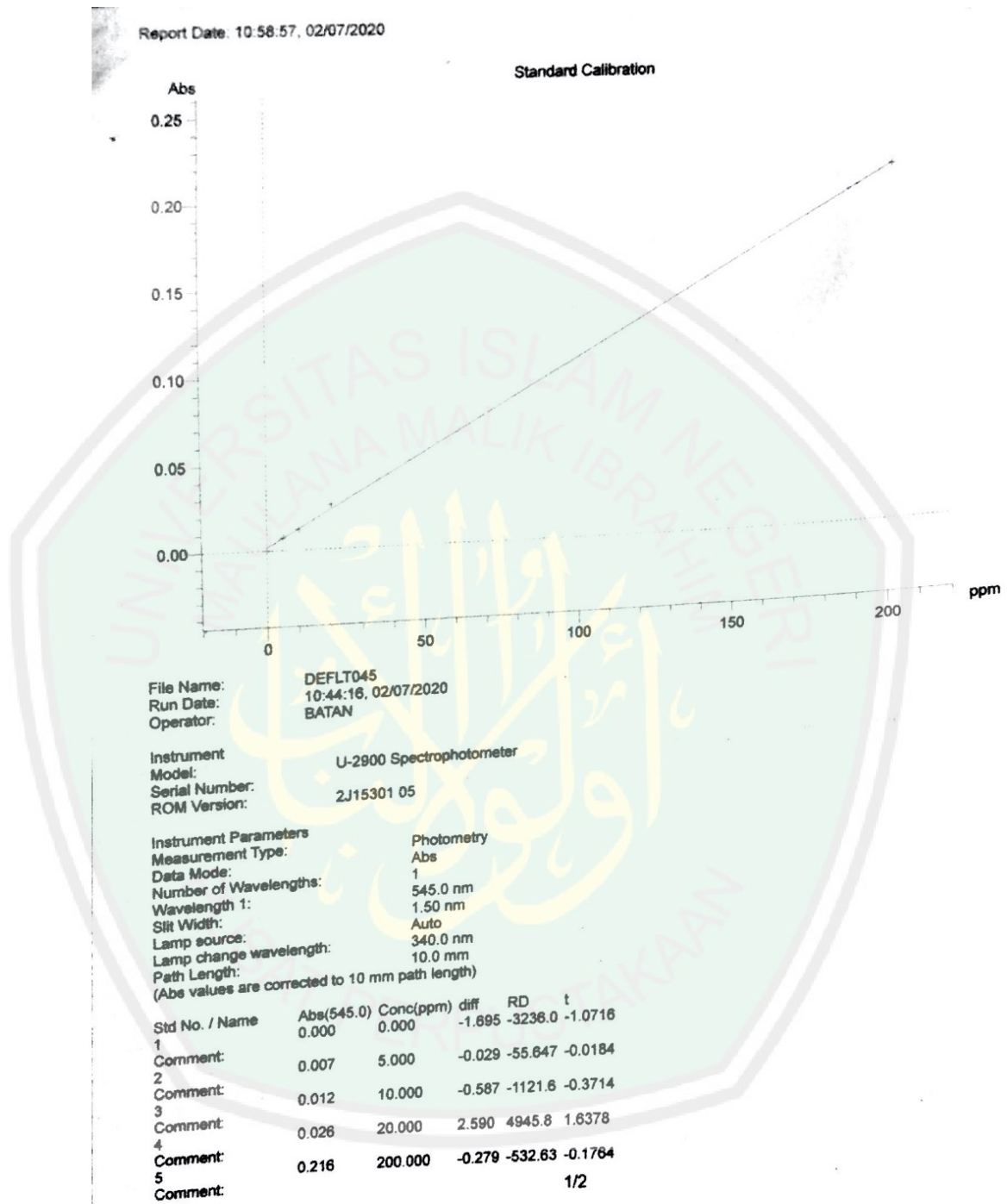
Lampiran 8. Data Hasil Uji Konduktivitas

Nama Sampel	Konduktivitas (mS/cm)									
	Ulangan 1			Ulangan 2			Ulangan 3			Rata-rata
	1	2	Rata-rata	1	2	Rata-rata	1	2	Rata-rata	
A0,25-40	17,41	17,39	17,40	17,40	17,38	17,39	17,35	17,20	17,28	17,36
A0,25-50	17,76	17,82	17,79	17,76	17,72	17,74	17,72	17,60	17,66	17,73
A0,25-60	17,95	17,70	17,83	17,58	17,55	17,57	17,49	17,76	17,63	17,67
A0,25-70	17,61	17,68	17,65	17,54	17,52	17,53	17,27	17,11	17,19	17,46
A0,25-80	17,62	17,55	17,59	17,68	17,76	17,72	17,59	17,47	17,53	17,61
A0,5-40	17,77	17,70	17,74	17,60	17,50	17,55	17,58	17,60	17,59	17,63
A0,5-50	17,87	17,63	17,75	17,88	17,72	17,80	17,68	17,42	17,55	17,70
A0,5-60	18,08	18,12	18,10	17,96	17,85	17,91	17,94	17,96	17,95	17,99
A0,5-70	17,77	17,69	17,73	17,50	17,47	17,49	17,76	17,67	17,72	17,64
A0,5-80	17,73	17,72	17,73	17,40	17,42	17,41	17,35	17,25	17,30	17,48
A0,75-40	17,94	17,90	17,92	17,95	17,90	17,93	17,84	17,83	17,84	17,89
A0,75-50	18,13	17,93	18,03	18,00	17,95	17,98	18,00	18,00	18,00	18,00
A0,75-60	17,90	17,88	17,89	17,85	17,88	17,87	17,72	17,74	17,73	17,83
A0,75-70	17,94	17,93	17,94	17,89	17,84	17,87	17,94	17,96	17,95	17,92
A0,75-80	17,85	17,82	17,84	17,78	17,75	17,77	17,72	17,65	17,69	17,76
A1-40	18,25	18,11	18,18	18,20	18,15	18,18	18,10	18,00	18,05	18,14
A1-50	18,11	18,05	18,08	18,00	18,10	18,05	17,95	17,85	17,90	18,01
A1-60	18,27	18,16	18,22	17,76	17,70	17,73	17,86	17,76	17,81	17,92
A1-70	18,13	18,08	18,11	18,05	17,93	17,99	17,50	17,48	17,49	17,86
A1-80	18,03	18,06	18,05	17,98	17,90	17,94	17,82	17,80	17,81	17,93
T0,25-40	17,59	17,46	17,53	17,50	17,43	17,47	17,40	17,36	17,38	17,46
T0,25-50	17,19	17,16	17,18	17,09	17,00	17,05	17,10	17,00	17,05	17,09
T0,25-60	17,95	17,78	17,87	17,92	17,82	17,87	17,86	17,84	17,85	17,86
T0,25-70	17,54	17,50	17,52	17,58	17,48	17,53	17,58	17,49	17,54	17,53
T0,25-80	17,66	17,60	17,63	17,76	17,64	17,70	17,84	17,75	17,80	17,71
T0,5-40	17,94	17,86	17,90	17,90	17,76	17,83	17,87	17,78	17,83	17,85
T0,5-50	17,98	17,84	17,91	17,89	17,86	17,88	17,48	17,58	17,53	17,77
T0,5-60	18,10	17,93	18,02	18,00	18,00	18,00	17,89	17,86	17,88	17,96
T0,5-70	17,95	17,81	17,88	17,95	17,85	17,90	17,76	17,86	17,81	17,86
T0,5-80	17,88	17,77	17,83	17,80	17,75	17,78	17,98	17,81	17,90	17,83
T0,75-40	18,03	17,93	17,98	18,10	18,00	18,05	18,10	18,03	18,07	18,03
T0,75-50	18,13	17,98	18,06	18,05	17,93	17,99	18,20	18,15	18,18	18,07
T0,75-60	18,11	17,86	17,99	18,00	17,97	17,99	17,98	17,69	17,84	17,94
T0,75-70	18,00	17,97	17,99	17,80	17,72	17,76	17,84	17,81	17,83	17,86
T0,75-80	17,98	17,80	17,89	17,94	17,86	17,90	17,73	17,77	17,75	17,85
T1-40	17,89	17,70	17,80	17,80	17,79	17,80	17,72	17,64	17,68	17,76
T1-50	18,98	17,92	18,45	18,68	17,86	18,27	18,79	18,75	18,77	18,50
T1-60	17,81	17,74	17,78	18,78	18,80	18,79	18,62	17,76	18,19	18,25
T1-70	17,82	17,76	17,79	18,64	18,39	18,52	17,89	17,45	17,67	17,99
T1-80	17,84	17,71	17,78	17,93	17,53	17,73	17,75	17,46	17,61	17,70
									Rata-rata	17,81

Lampiran 9. Data Hasil Uji pH

Nama Sampel	pH			
	Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3	Rata-rata
A0,25-40	9,11	9,20	9,13	9,15
A0,25-50	9,08	9,23	9,16	9,16
A0,25-60	9,32	9,32	9,09	9,24
A0,25-70	9,18	9,21	9,07	9,15
A0,25-80	9,00	9,10	9,19	9,10
A0,5-40	9,12	9,18	9,20	9,17
A0,5-50	9,14	9,21	9,08	9,14
A0,5-60	9,01	9,08	9,10	9,06
A0,5-70	9,09	9,16	9,19	9,15
A0,5-80	9,12	9,07	9,09	9,09
A0,75-40	9,18	9,09	9,10	9,12
A0,75-50	9,02	9,21	9,11	9,11
A0,75-60	9,02	9,19	9,26	9,16
A0,75-70	9,25	9,13	9,00	9,13
A0,75-80	9,31	9,12	9,23	9,22
A1-40	9,15	9,06	9,06	9,09
A1-50	9,22	9,20	9,18	9,20
A1-60	9,26	9,06	9,15	9,16
A1-70	9,27	9,18	9,06	9,17
A1-80	9,04	9,08	9,19	9,10
T0,25-40	9,11	9,18	9,02	9,10
T0,25-50	9,00	9,26	9,21	9,16
T0,25-60	9,14	9,00	9,11	9,08
T0,25-70	9,20	9,15	9,16	9,17
T0,25-80	9,19	9,19	9,06	9,15
T0,5-40	9,21	9,01	9,11	9,11
T0,5-50	9,06	9,16	9,12	9,11
T0,5-60	9,24	9,24	9,27	9,25
T0,5-70	9,18	9,08	9,19	9,15
T0,5-80	9,18	9,13	9,11	9,14
T0,75-40	9,19	9,12	9,03	9,11
T0,75-50	9,05	9,17	9,16	9,13
T0,75-60	9,14	9,11	9,15	9,13
T0,75-70	9,13	9,20	9,11	9,15
T0,75-80	9,21	9,22	9,21	9,21
T1-40	9,21	9,10	9,17	9,16
T1-50	9,21	9,10	9,20	9,17
T1-60	9,20	9,18	9,22	9,20
T1-70	9,20	9,19	9,20	9,20
T1-80	9,25	9,15	9,03	9,14
			Rata-rata	9,15

Lampiran 10 Data Analisis Spektrofotometer UV-Vis



Calibration type: 1st order  
 Force curve through zero: No  
 Start (ppm): 0.000  
 End (ppm): 200.000  
 A0: -1.8570  
 A1: 932.93  
 R: 0.9998  
 R2: 0.9997

Samp No. / Name	Abs(545.0)	Conc(ppm)	Avg Conc [SD][CV] (%)
1 A5x	0.066	59.483	
Comment:			
2 A0.25-40	0.033	28.540	
Comment:			
3 A0.25-50	0.032	28.309	38.778 [17.932][46.243]
Comment:			
4 A0.25-60	0.037	32.802	
Comment:			
5 A0.25-70	0.042	37.376	
Comment:			
6 A0.25-80	0.040	35.210	35.129 [2.2877][6.5123]
Comment:			
7 A0.5-40	0.048	42.958	
Comment:			
8 A0.5-50	0.045	40.127	
Comment:			
9 A0.5-60	0.047	42.294	41.793 [1.4802][3.5418]
Comment:			
10 A0.5-70	0.050	45.222	
Comment:			
11 A0.5-80	0.048	43.081	
Comment:			
12 A0.75-40	0.042	37.276	41.860 [4.1113][9.8215]
Comment:			
13 A0.75-50	0.045	40.011	
Comment:			
14 A0.75-60	0.050	44.323	
Comment:			
15 A0.75-70	0.047	41.913	42.082 [2.1612][5.1358]
Comment:			
16 A0.75-80	0.049	44.040	
Comment:			
17 A1-40	0.045	39.775	
Comment:			
18 A1-50	0.041	36.728	40.181 [3.6731][9.1415]
Comment:			
19 A1-60	0.049	44.049	
Comment:			
20 A1-70	0.046	40.844	
Comment:			
21 A1-80	0.039	34.833	39.909 [4.6786][11.723]
Comment:			

Calibration type: 1st order  
 Force curve through zero: No  
 Start (ppm): 0.000  
 End (ppm): 200.000  
 A0: -1.8570  
 A1: 932.93  
 R: 0.9998  
 R2: 0.9997

Samp No. / Name	Abs(545.0)	Conc(ppm)	Avg Conc [SD][CV] (%)
1 A5x	0.070	63.515 HIGH	
Comment:			
2 T0.25-40	0.048	42.812	
Comment:			
3 T0.25-50	0.047	42.014	49.380 [12.245][24.797]
Comment:			
4 T0.25-80	0.046	40.828	
Comment:			
5 T0.25-70	0.050	44.381	
Comment:			
6 T0.25-80	0.053	47.426	44.212 [3.3024][7.4695]
Comment:			
7 T0.5-40	0.049	43.732	
Comment:			
8 T0.5-50	0.053	47.800	
Comment:			
9 T0.5-80	0.045	40.255	43.929 [3.7765][8.5968]
Comment:			
10 T0.5-70	0.046	40.794	
Comment:			
11 T0.5-80	0.045	40.383	
Comment:			
12 T0.75-40	0.045	40.382	40.520 [0.2376][0.5865]
Comment:			
13 T0.75-50	0.047	42.453	
Comment:			
14 T0.75-80	0.050	44.396	
Comment:			
15 T0.75-70	0.051	45.303	44.051 [1.4560][3.3054]
Comment:			
16 T0.75-80	0.048	43.008	
Comment:			
17 T1-40	0.043	38.074	
Comment:			
18 T1-50	0.037	33.052	38.045 [4.9783][13.085]
Comment:			
19 T1-80	0.042	37.156	
Comment:			
20 T1-70	0.042	37.020	
Comment:			
21 T1-80	0.040	35.488	36.555 [0.9263][2.5339]
Comment:			

Std No. / Name	Abs(545.0)	Conc(ppm)	diff	RD	t
1 std1	-0.001	0.000	-1.070	-1145.5	-1.0076
Comment:					
2 std2	0.011	5.000	1.026	1097.5	0.9853
Comment:					
3 std3	0.019	10.000	0.983	1052.0	0.9254
Comment:					
4 std4	0.034	20.000	-0.129	-138.31	-0.1217
Comment:					
5 std5	0.164	100.000	-1.438	-1538.6	-1.3533
Comment:					
6 std6	0.334	200.000	0.629	672.89	0.5919
Comment:					

Calibration type: 1st order  
Force curve through zero: No  
Start (ppm): 0.000  
End (ppm): 200.000  
A0: -0.5107  
A1: 602.94  
R: 0.9999  
R2: 0.9998

Samp No. / Name	Abs(545.0)	Conc(ppm)	Avg Conc [SD][CV] (%)
1 A5X	0.080	35.868	
Comment:			
2 A5X (baru)	0.112	67.219	
Comment:			
3 A0.25-40	0.042	24.929	42.672 [21.951][51.440]
Comment:			
4 A0.25-50	0.043	25.636	
Comment:			
5 A0.25-60	0.044	26.274	
Comment:			
6 A0.25-70	0.047	27.816	26.576 [1.1210][4.2180]
Comment:			
7 A0.25-80	0.048	28.511	
Comment:			
8 A0.5-40	0.043	25.330	
Comment:			
9 A0.5-50	0.041	23.982	25.941 [2.3255][8.9645]
Comment:			
10 A0.5-60	0.047	27.834	
Comment:			
11 A0.5-70	0.047	27.539	
Comment:			
12 A0.5-80	0.046	27.384	27.586 [0.2287][0.8290]
Comment:			

Calibration type: 1st order  
 Force curve through zero: No  
 Start (ppm): 0.000  
 End (ppm): 200.000  
 A0: -1.8570  
 A1: 932.93  
 R: 0.9998  
 R2: 0.9997

Samp No. / Name	Abs(545.0)	Conc(ppm)	Avg Conc [SD][CV] (%)
1 A5x	0.070	63.319 HIGH	
Comment:			
2 T0.25-40	0.044	39.570	
Comment:			
3 T0.25-50	0.045	40.260	47.716 [13.517][28.327]
Comment:			
4 T0.25-60	0.049	43.896	
Comment:			
5 T0.25-70	0.050	44.645	
Comment:			
6 T0.25-80	0.055	49.270	45.870 [2.9824][6.5019]
Comment:			
7 T0.5-40	0.046	40.948	
Comment:			
8 T0.5-50	0.049	43.739	
Comment:			
9 T0.5-60	0.045	39.846	41.511 [2.0064][4.8333]
Comment:			
10 T0.5-70	0.046	40.796	
Comment:			
11 T0.5-80	0.047	42.064	
Comment:			
12 T0.75-40	0.046	41.342	41.400 [0.6361][1.5365]
Comment:			
13 T0.75-50	0.049	44.159	
Comment:			
14 T0.75-60	0.044	39.427	
Comment:			
15 T0.75-70	0.049	43.630	42.405 [2.5927][6.1142]
Comment:			
16 T0.75-80	0.044	38.918	
Comment:			
17 T1-40	0.037	32.805	
Comment:			
18 T1-50	0.035	30.482	34.068 [4.3577][12.791]
Comment:			
19 T1-60	0.045	40.523	
Comment:			
20 T1-70	0.037	32.668	
Comment:			
21 T1-80	0.039	34.748	35.980 [4.0700][11.312]
Comment:			

Std No. / Name	Abs(545.0)	Conc(ppm)	diff	RD	t
1 std1	-0.001	0.000	-1.070	-1145.5	-1.0076
Comment:					
2 std2	0.011	5.000	1.026	1097.5	0.9653
Comment:					
3 std3	0.019	10.000	0.983	1052.0	0.9254
Comment:					
4 std4	0.034	20.000	-0.129	-138.31	-0.1217
Comment:					
5 std5	0.164	100.000	-1.438	-1538.6	-1.3533
Comment:					
6 std6	0.334	200.000	0.629	672.89	0.5919
Comment:					

Calibration type: 1st order  
Force curve through zero: No  
Start (ppm): 0.000  
End (ppm): 200.000  
A0: -0.5107  
A1: 602.94  
R: 0.9999  
R2: 0.9998

Samp No. / Name	Abs(545.0)	Conc(ppm)	Avg Conc [SD][CV] (%)
1 A5X	0.061	36.557	
Comment:			
2 A5X (baru)	0.113	67.659	
Comment:			
3 A0.25-40	0.041	24.310	42.842 [22.347][52.162]
Comment:			
4 A0.25-50	0.042	25.082	
Comment:			
5 A0.25-60	0.045	26.355	
Comment:			
6 A0.25-70	0.045	26.734	26.057 [0.8653][3.3209]
Comment:			
7 A0.25-80	0.044	26.060	
Comment:			
8 A0.5-40	0.043	25.311	
Comment:			
9 A0.5-50	0.042	24.802	25.391 [0.6329][2.4927]
Comment:			
10 A0.5-60	0.048	28.638	
Comment:			
11 A0.5-70	0.043	25.465	
Comment:			
12 A0.5-80	0.045	26.404	26.836 [1.6299][6.0737]
Comment:			

Samp No. / Name	Abs(545.0)	Conc(ppm)	Avg Conc [SD][CV] (%)
1 A5X	0.112	66.923	
Comment:			
2 A5X (tdk komp)	0.251	150.855	
Comment:			
3 A5X (tdk saring)	0.231	138.506	118.761 [45.316][38.157]
Comment:			
4 A0.75-40	0.053	31.659	
Comment:			
5 A0.75-50	0.046	27.121	
Comment:			
6 A0.75-60	0.054	32.214	30.331 [2.7944][9.2130]
Comment:			
7 A0.75-70	0.055	32.720	
Comment:			
8 A0.75-80	0.047	27.870	
Comment:			
9 A1-40	0.051	30.427	30.339 [2.4260][7.9962]
Comment:			
10 A1-50	0.056	33.384	
Comment:			
11 A1-60	0.050	29.412	
Comment:			
12 A1-70	0.054	32.241	31.679 [2.0445][6.4538]
Comment:			
13 A1-80	0.059	35.261	
Comment:			
14 A0.25-40	0.059	35.315	
Comment:			
15 A0.25-50	0.053	31.361	33.979 [2.2674][6.6731]
Comment:			
16 A0.25-60	0.087	52.128	
Comment:			
17 A0.25-70	0.055	32.491	
Comment:			
18 A0.25-80	0.057	33.712	39.443 [11.002][27.893]
Comment:			
19 T1-40	0.056	33.521	
Comment:			
20 T1-50	0.053	31.493	
Comment:			
21 T1-60	0.058	34.608	33.207 [1.5810][4.7610]
Comment:			
22 T1-70	0.058	34.434	
Comment:			
23 T1-80	0.058	34.424	
Comment:			

Samp No. / Name	Abs(545.0)	Conc(ppm)	Avg Conc [SD][CV] (%)
1 A5X Comment:	0.112	66.779	
2 A5X (tdk komp) Comment:	0.247	148.280	
3 A5X (tdk saring) Comment:	0.230	138.023	117.694 [44.391][37.717]
4 A0.75-40 Comment:	0.052	30.903	
5 A0.75-50 Comment:	0.046	27.430	
6 A0.75-60 Comment:	0.054	32.163	30.165 [2.4514][8.1267]
7 A0.75-70 Comment:	0.053	31.303	
8 A0.75-80 Comment:	0.048	28.719	
9 A1-40 Comment:	0.052	30.661	30.228 [1.3454][4.4508]
10 A1-50 Comment:	0.053	31.568	
11 A1-60 Comment:	0.050	29.893	
12 A1-70 Comment:	0.058	34.510	31.990 [2.3373][7.3064]
13 A1-80 Comment:	0.057	33.613	
14 A0.25-40 Comment:	0.059	34.896	
15 A0.25-50 Comment:	0.053	31.302	33.270 [1.8215][5.4748]
16 A0.25-60 Comment:	0.088	52.419	
17 A0.25-70 Comment:	0.054	32.284	
18 A0.25-80 Comment:	0.059	35.039	39.914 [10.917][27.352]
19 T1-40 Comment:	0.056	33.397	
20 T1-50 Comment:	0.055	32.576	
21 T1-60 Comment:	0.056	33.145	33.040 [0.4192][1.2687]
22 T1-70 Comment:	0.056	33.552	
23 T1-80 Comment:	0.056	33.547	

Std No. / Name	Abs(545.0)	Conc(ppm)	diff	RD	t
1 std1	-0.001	0.000	-1.070	-1145.5	-1.0076
Comment:					
2 std2	0.011	5.000	1.026	1097.5	0.9653
Comment:					
3 std3	0.019	10.000	0.983	1052.0	0.9254
Comment:					
4 std4	0.034	20.000	-0.129	-138.31	-0.1217
Comment:					
5 std5	0.164	100.000	-1.438	-1538.6	-1.3533
Comment:					
6 std6	0.334	200.000	0.629	672.89	0.5919
Comment:					

Calibration type: 1st order  
Force curve through zero: No  
Start (ppm): 0.000  
End (ppm): 200.000  
A0: -0.5107  
A1: 602.94  
R: 0.9999  
R2: 0.9998

Samp No. / Name	Abs(545.0)	Conc(ppm)	Avg Conc [SD][CV] (%)
1 A5X	0.109	65.288	
Comment:			
2 T0.25-40	0.062	37.160	
Comment:			
3 T0.25-50	0.065	38.420	46.956 [15.889][33.838]
Comment:			
4 T0.25-60	0.061	36.424	
Comment:			
5 T0.25-70	0.062	36.884	
Comment:			
6 T0.25-80	0.064	37.794	37.034 [0.6972][1.8827]
Comment:			
7 T0.5-40	0.065	38.846	
Comment:			
8 T0.5-50	0.060	35.888	
Comment:			
9 T0.5-60	0.066	39.085	37.939 [1.7810][4.6944]
Comment:			
10 T0.5-70	0.067	39.858	
Comment:			
11 T0.5-80	0.064	38.292	
Comment:			
12 T0.75-40	0.065	38.456	38.868 [0.8607][2.2145]
Comment:			
13 T0.75-50	0.063	37.359	
Comment:			
14 T0.75-60	0.061	36.083	
Comment:			
15 T0.75-70	0.061	35.985	36.476 [0.7670][2.1026]
Comment:			
16 T0.75-80	0.063	37.362	
Comment:			

Std No. / Name	Abs(545.0)	Conc(ppm)	diff	RD	t
1 std1	-0.001	0.000	-1.070	-1145.5	-1.0076
Comment:					
2 std2	0.011	5.000	1.026	1097.5	0.9653
Comment:					
3 std3	0.019	10.000	0.983	1052.0	0.9254
Comment:					
4 std4	0.034	20.000	-0.129	-138.31	-0.1217
Comment:					
5 std5	0.164	100.000	-1.438	-1538.6	-1.3533
Comment:					
6 std6	0.334	200.000	0.629	672.69	0.5919
Comment:					

Calibration type: 1st order  
 Force curve through zero: No  
 Start (ppm): 0.000  
 End (ppm): 200.000  
 A0: -0.5107  
 A1: 602.94  
 R: 0.9999  
 R2: 0.9998

Samp No. / Name	Abs(545.0)	Conc(ppm)	Avg Conc [SD][CV] (%)
1 A5X	0.108	64.484	
Comment:			
2 T0.25-40	0.065	38.510	
Comment:			
3 T0.25-50	0.064	38.129	47.041 [15.107][32.115]
Comment:			
4 T0.25-60	0.067	39.696	
Comment:			
5 T0.25-70	0.064	38.332	
Comment:			
6 T0.25-80	0.068	40.737	39.588 [1.2064][3.0473]
Comment:			
7 T0.5-40	0.068	40.549	
Comment:			
8 T0.5-50	0.065	38.530	
Comment:			
9 T0.5-60	0.067	39.842	39.640 [1.0246][2.5847]
Comment:			
10 T0.5-70	0.069	41.158	
Comment:			
11 T0.5-80	0.066	39.254	
Comment:			
12 T0.75-40	0.070	41.959	40.790 [1.3893][3.4059]
Comment:			
13 T0.75-50	0.065	38.891	
Comment:			
14 T0.75-60	0.063	37.635	
Comment:			
15 T0.75-70	0.062	36.617	37.714 [1.1391][3.0203]
Comment:			
16 T0.75-80	0.061	36.247	
Comment:			

Std No. / Name	Abs(545.0)	Conc(ppm)	diff	RD	t
1 std1	-0.001	0.000	-1.070	-1145.5	-1.0076
Comment:					
2 std2	0.011	5.000	1.026	1097.5	0.9653
Comment:					
3 std3	0.019	10.000	0.983	1052.0	0.9254
Comment:					
4 std4	0.034	20.000	-0.129	-138.31	-0.1217
Comment:					
5 std5	0.164	100.000	-1.438	-1538.6	-1.3533
Comment:					
6 std6	0.334	200.000	0.629	672.89	0.5919
Comment:					

Calibration type: 1st order  
 Force curve through zero: No  
 Start (ppm): 0.000  
 End (ppm): 200.000  
 A0: -0.5107  
 A1: 802.94  
 R: 0.9999  
 R2: 0.9998

Samp No. / Name	Abs(545.0)	Conc(ppm)	Avg Conc [SD][CV] (%)
1 A5X	0.110	65.875	
Comment:			
2 A0.25-40	0.037	21.994	
Comment:			
3 A0.25-50	0.043	25.155	37.608 [24.358][64.767]
Comment:			
4 A0.25-60	0.040	23.794	
Comment:			
5 A0.25-70	0.049	28.970	
Comment:			
6 A0.25-80	0.044	26.144	26.303 [2.5915][9.8526]
Comment:			
7 A0.75-40	0.054	32.231	
Comment:			
8 A0.75-50	0.053	31.353	
Comment:			
9 A0.75-60	0.060	35.698	33.094 [2.2972][6.9415]
Comment:			
10 A0.75-70	0.056	33.188	
Comment:			
11 A0.75-80	0.057	33.566	
Comment:			
12 A1-40	0.046	27.050	31.268 [3.6579][11.699]
Comment:			
13 A1-50	0.046	27.431	
Comment:			
14 A1-60	0.047	27.720	
Comment:			
15 A1-70	0.048	28.160	27.770 [0.3671][1.3220]
Comment:			
16 A1-80	0.048	28.993	
Comment:			

Std No. / Name	Abs(545.0)	Conc(ppm)	diff	RD	t
1 std1	-0.001	0.000	-1.070	-1145.5	-1.0076
Comment:					
2 std2	0.011	5.000	1.026	1097.5	0.9653
Comment:					
3 std3	0.019	10.000	0.983	1052.0	0.9254
Comment:					
4 std4	0.034	20.000	-0.129	-138.31	-0.1217
Comment:					
5 std5	0.164	100.000	-1.438	-1538.6	-1.3533
Comment:					
6 std6	0.334	200.000	0.629	672.89	0.5919
Comment:					

Calibration type: 1st order  
 Force curve through zero: No  
 Start (ppm): 0.000  
 End (ppm): 200.000  
 A0: -0.5107  
 A1: 602.94  
 R: 0.9999  
 R2: 0.9998

Samp No. / Name	Abs(545.0)	Conc(ppm)	Avg Conc [SD][CV] (%)
1 A5X	0.106	63.696	
Comment:			
2 A0.25-40	0.035	20.475	
Comment:			
3 A0.25-50	0.040	23.881	36.017 [24.031][66.721]
Comment:			
4 A0.25-60	0.042	25.079	
Comment:			
5 A0.25-70	0.047	27.622	
Comment:			
6 A0.25-80	0.043	25.638	26.113 [1.3363][5.1176]
Comment:			
7 A0.75-40	0.052	30.975	
Comment:			
8 A0.75-50	0.050	29.603	
Comment:			
9 A0.75-60	0.055	32.802	31.126 [1.6048][5.1559]
Comment:			
10 A0.75-70	0.053	31.239	
Comment:			
11 A0.75-80	0.055	32.856	
Comment:			
12 A1-40	0.044	26.223	30.106 [3.4590][11.489]
Comment:			
13 A1-50	0.047	27.883	
Comment:			
14 A1-60	0.044	25.884	
Comment:			
15 A1-70	0.046	26.933	26.900 [0.9998][3.7167]
Comment:			
16 A1-80	0.048	28.438	
Comment:			

Std No. / Name	Abs(545.0)	Conc(ppm)	diff	RD	t
1 std1	-0.001	0.000	-1.070	-1145.5	-1.0076
Comment:					
2 std2	0.011	5.000	1.026	1097.5	0.9653
Comment:					
3 std3	0.019	10.000	0.983	1052.0	0.9254
Comment:					
4 std4	0.034	20.000	-0.129	-138.31	-0.1217
Comment:					
5 std5	0.164	100.000	-1.438	-1538.6	-1.3533
Comment:					
6 std6	0.334	200.000	0.629	672.89	0.5919
Comment:					

Calibration type: 1st order  
Force curve through zero: No  
Start (ppm): 0.000  
End (ppm): 200.000  
A0: -0.5107  
A1: 602.94  
R: 0.9999  
R2: 0.9998

Samp No. / Name	Abs(545.0)	Conc(ppm)	Avg Conc [SD][CV] (%)
1 A5X	0.068	40.199	
Comment:			
2 A0.25-40	0.054	31.786	
Comment:			
3 A0.25-50	0.056	33.492	35.159 [4.4474][12.649]
Comment:			
4 A0.25-60	0.048	28.698	
Comment:			
5 A0.25-70	0.057	33.757	
Comment:			
6 A0.25-80	0.055	32.806	31.754 [2.6886][8.4670]
Comment:			
7 A0.25-40	0.050	29.731	
Comment:			
8 A0.25-50	0.049	29.017	
Comment:			
9 A0.25-60	0.048	28.631	29.126 [0.5584][1.9172]
Comment:			
10 A0.25-70	0.046	27.306	
Comment:			
11 A0.25-80	0.053	31.194	
Comment:			