

PEMISAHAN LOGAM TANAH JARANG DARI TAILING ZIRKON DENGAN PROSES PELINDIAN ASAM

Harry Supriadi^{1,2,3}, Iga Trisnawati^{1,2,3}, Panut Mulyono^{1,2}, dan Himawan Tri Bayu Murti Petrus^{1,2*}

¹Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jalan Grafika No.2, Yogyakarta 55281, Indonesia

²Pusat Kajian Sumberdaya Bumi Non-Konvensional (UGRG), Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jalan Grafika No.2, Yogyakarta 55281, Indonesia

³Pusat Sains dan Teknologi Akselerator BATAN, Yogyakarta, Indonesia

*E-mail: bayupetrus@ugm.ac.id

ABSTRAK

Tailing zirkon mengandung monasit dan senotim, dimana monasit dan senotim merupakan salah satu sumber dari logam tanah jarang (LTJ). Oleh sebab itu, tailing tersebut perlu diolah agar diperoleh bahan dengan ekonomis yang lebih tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu, ukuran butir dan rasio liquid/solid terhadap recovery LTJ pada proses pelindian tailing zirkon menggunakan asam sulfat. Dari hasil penelitian, semakin kecil ukuran butir, recovery dari LTJ menjadi semakin kecil. Recovery LTJ terbesar pada variasi ukuran butir diperoleh pada ukuran butir paling besar sebesar 78,30%. Kenaikan recovery dimungkinkan terjadi seiring kenaikan jumlah pelarut (liquid), namun pada tingkat rasio liquid/solid tertentu recovery LTJ akan menurun. Recovery LTJ terbesar pada variasi rasio liquid/solid diperoleh pada rasio liquid/solid 1mL:1g yaitu sebesar 76,56%. Pengaruh suhu pada proses pelindian yaitu semakin tinggi suhu, recovery dari LTJ menjadi semakin besar. Recovery LTJ terbesar pada variasi suhu diperoleh pada suhu 300°C yaitu sebesar 76,56%.

Kata kunci: tailing zirkon, pelindian, logam tanah jarang, recovery

1. PENDAHULUAN

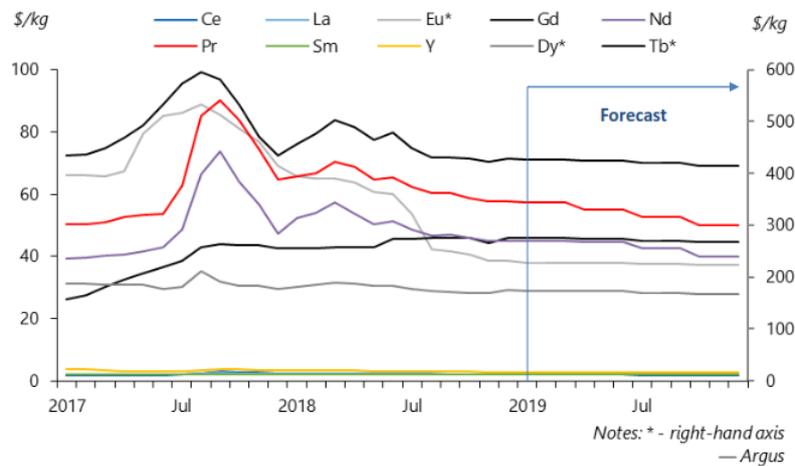
Logam tanah jarang (LTJ) merupakan bahan yang strategis, sukar diperoleh dan mempunyai kegunaan yang luas. Pemakaian unsur LTJ baik secara individual maupun dalam bentuk campurannya, saat ini menunjukkan kecenderungan yang terus meningkat. Hal ini disebabkan karena LTJ memiliki kekuatan mekanis yang cukup baik, titik leleh yang relatif tinggi, dan mempunyai tampang lintang serapan neutron yang besar sehingga banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang teknologi (Benedict, dkk., 1981).

LTJ banyak terdapat pada pasir senotim dan monasit. Itrium (Y) merupakan unsur LTJ yang terkandung dalam pasir senotim, di samping Dy, Gd, Sm, La, Ce dan Nd. Itrium oksida digunakan sebagai bahan tabung televisi berwarna, keramik, super konduktor, laser dan film magnetik, Y₂O₃ dalam bentuk paduan dengan Fe digunakan untuk produksi itrium iron garnet (Y₃Fe₅O₁₂) yang efektif untuk filter gelombang mikro, Dy, Sm dan Gd digunakan sebagai bahan pembuat batang kendali nuklir. Lantanum digunakan sebagai bahan X-ray screen, baterai, kapasitor dan bahan keramik. Ce digunakan sebagai bahan katalis pada penyulingan minyak bumi, logam paduan (tahan terhadap suhu tinggi dan korosi), kapasitor, keramik berwarna dan industri kaca/optic. Sedangkan Nd digunakan sebagai bahan baku pembuatan magnet (Soemarsono, dkk., 2005). LTJ sangat menarik karena sifat kimianya yang unik menjadikannya pelacak yang kuat dari berbagai proses kimiawi. Baru-baru ini, LTJ digunakan dalam model pencampuran biner untuk mengoreksi efek resuspensi aktif dan membatasi fluks karbon organik partikulat (Liu, dkk., 2019).

Kelompok unsur yang biasa disebut LTJ baru-baru ini menjadi sorotan untuk kebijakan bahan baku dan dicirikan sebagai "kritis" untuk aplikasi industri modern. Permintaan untuk LTJ sangat bervariasi dan berbagai kombinasi elemen digunakan dalam berbagai industri antara seperti fosfor (Eu, Y, Nd, Tb, Er, Gd), paduan logam (La, Ce, Pr, Nd, Y), katalis (La, Ce), magnet (Nd, Pr, Dy, Sm) dan keramik dan kaca (Ce, La, Pr, Nd, Gd, Er, Ho). Pemrosesan hilir dan pemisahan kimiawi substansial dari mineral yang mengandung LTJ yang ditambang diperlukan sebelum produk akhir, sering kali LTJ oksida dengan kemurnian tinggi, dapat dijual ke industri manufaktur (Paulick, dkk., 2017).

LTJ terdapat di berbagai mineral seperti monasit, senotim dan bastenasit. Namun, sangat jarang ditemukan deposit utama dari mineral tersebut. Mineral yang mengandung LTJ biasanya terikat atau menjadi mineral yang berasosiasi dengan mineral lain seperti kasiterit dan zirkon, sehingga LTJ umumnya diolah dari hasil samping

pengolahan mineral pembawanya (Stone, dkk., 2016). Harga LTJ hingga pertengahan tahun 2019 tersaji pada Gambar 1.



Gambar 1. Harga logam tanah jarang sampai Juli 2019 (Seddon, 2019)

Tailing penambangan zirkon masih menjadi permasalahan pada saat ini di Indonesia. Bukan hanya karena masalah penumpukan, tetapi juga masalah kandungan mineral radioaktif yang terdapat di dalamnya. Di berbagai daerah tempat penambangan zirkon (Pulau Bangka dan Kalimantan Barat) tailing zirkon masih berstatus limbah yang tidak dimanfaatkan, padahal masih terdapat mineral berharga yang bisa dipisahkan dari tailing zirkon itu sendiri, salah satunya adalah mineral monasit yang mengandung LTJ (Poernomo, dkk., 2016). Tailing tersebut biasanya mengandung monasit dan senotim, dimana monasit dan senotim merupakan salah satu sumber dari LTJ. Oleh sebab itu, tailing tersebut perlu diolah agar diperoleh bahan dengan ekonomis yang lebih tinggi.

Pemisahan berbasis asam sulfat dari monasit memiliki sejarah panjang, pertama kali dikembangkan pada awal-pertengahan 1900-an untuk pemisahan LTJ dan thorium dari monasit pasir pantai. Pada penelitian tersebut, monasit dalam reaktor diaduk pada suhu 200-245°C, menggunakan rasio berat asam:konsentrat bervariasi dari 1,5:1 hingga 3:1. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa suhu minimum sekitar 200°C diperlukan untuk dekomposisi monasit yang hampir sempurna, sedangkan rasio asam:konsentrat minimum yang diperlukan adalah 1,6:1 (Zhang, dkk., 2015). Pembuatan asam sulfat dari konsentrat bastnasite/monazite campuran Baotou dikembangkan pada tahun 1970-an. Baotou bijih tanah jarang memiliki rasio bastnasit : monasit mulai dari 9:1 hingga 1:1. Proses digesti asam pada suhu yang berbeda telah dikembangkan. Awalnya, suhu rendah yang digunakan, menghasilkan pelarutan dari LTJ dan pengotor selama pencucian. Pada 1980-an, digunakan suhu digesti antara 500-900°C, disebut "baking suhu tinggi", yang mengurangi ekstraksi thorium dan fosfor, yang mengarah pada manfaat pemurnian yang disederhanakan. Torium dan konsentrasi fosfor dalam cairan menurun saat suhu pelindian ditingkatkan dari 450°C menjadi 600°C. Konsentrasi logam tanah jarang juga sedikit menurun pada suhu tersebut. Dalam studi analisis termal Baotou berkonsentrasi dengan asam sulfat, yang dikaitkan dengan pembentukan thorium pirofosfat dan polifosfat ke peristiwa endotermik antara 300°C dan 350°C. Spesies thorium fosfat ini terbentuk dari reaksi pyrophosphoric ($H_4P_2O_7$) dan asam polifosfat (mis. $(HPO_3)_n$), produk dehidrasi ortofosfat asam (H_3PO_4), dengan torium sulfat ($Th(SO_4)_2$), meskipun tidak ada bukti eksperimental langsung yang diberikan (Christie, dkk., 1998).

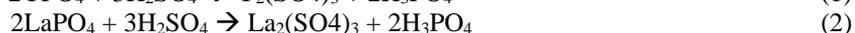
Penelitian lainnya yang berhubungan dengan digesti asam sulfat yaitu penelitian tentang pengaruh suhu digesti, pada penelitian tersebut dilakukan variasi suhu antara 200-800°C. Dari penelitian tersebut, disimpulkan bahwa reaksi monasit dengan asam sulfat terbentuk sulfat terlarut secara praktis lengkap pada 250°C (96% RE disolusi), dalam waktu reaksi 2 jam. Hampir sepenuhnya LTJ, fosfat dan thorium diperoleh setelah didigesti pada suhu 250°C. Sedangkan digesti pada suhu 300°C menghasilkan endapan fosfat amorf, sementara LTJ yang terlarut meningkat menjadi 99% (John, dkk., 2018). Penelitian lain yang berhubungan dengan pemisahan LTJ menggunakan pelarut asam sulfat adalah proses pembuatan oksida LTJ dari pasir senotim. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum proses pembuatan oksida LTJ dari pasir senotim. Tahapan proses meliputi digesti, pengendapan, ekstraksi dan kalsinasi. Proses digesti dilakukan pada suhu reaksi 210°C selama 4 jam, digunakan pasir senotim dengan ukuran 200-325 mesh, larutan H_2SO_4 96%, dan larutan H_2O_2 30%. Hasil digesti berupa filtrat konsentrat LTJ digunakan sebagai umpan proses pengendapan. Bahan pengendapannya ada dua macam yaitu : larutan NH_3 (aq) 25% dan larutan campuran dari amonia 25% dengan $H_2C_2O_4$ 30% (b/v).

Analisis produk menggunakan spektrometer pendar sinar-X. Oksida LTJ dibuat dengan cara pengendapan, ekstraksi dan kalsinasi. Variabel yang diteliti meliputi pH pengendapan, suhu dan waktu kalsinasi. Proses pengendapan menggunakan larutan amonia 25% pada pH = 4 (pengendapan bertingkat), dengan kondisi ini diperoleh oksida logam dengan konsentrasi Y = 46,79%, La = 4,33%, Ce = 5,12%, Nd = 2,25%, Sm = 0,95%, Gd = 0,12%, dan Dy = 0,08%. Sedang pengendapan serentak menggunakan campuran larutan amonia 25% dengan larutan H₂C₂O₄ 30% b/v (pH 2,5) diperoleh oksida logam dengan konsentrasi Y = 48,03%, La = 0,43%, Ce = 1,32%, Nd = 2,38%, Sm = 0,18%, Gd = 0,07%, Dy = 0,07%. Kondisi optimum proses kalsinasi dari kedua langkah pengendapan di atas adalah suhu kalsinasi = 1000°C, dan waktu kalsinasi = 2 jam (Sukmajaya, dkk., 2017).

Penelitian pemisahan LTJ dari tailing zirkon juga pernah dilakukan, pada penelitian tersebut digunakan pelarut HCl. Tahap awal dari penelitian tersebut yaitu proses fusi alkali yang dilakukan di dalam *furnace* dengan suhu 450°C selama 3 jam. Rasio umpan NaOH : tailing zirkon adalah 1:1. Hasil dari proses fusi alkali tersebut digunakan sebagai umpan pelindian menggunakan HCl. Proses pelindian menggunakan HCl dilakukan dengan variasi konsentrasi HCl, perbandingan solid/liquid dan variasi suhu. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh kondisi optimum proses pelindian tailing zirkon hasil fusi alkali yaitu pada suhu 60°C, konsentrasi HCl 1 M dan perbandingan S/L = 1:10 selama 7,5 menit. *Recovery* yttrium mencapai 87% dan didapatkan nilai energi aktivasi (*E_a*) sebesar 20,21 kJ/mol (Prameswara, dkk., 2020). Dari beberapa penelitian di atas, dapat kita lihat bahwa dengan bahan yang berbeda, maka kondisi operasi optimumnya juga berbeda. Sehingga untuk proses digesti tailing zirkon perlu dicari kondisi operasi optimumnya. Pada penelitian ini, akan dilakukan proses pelindian asam dengan variasi suhu, ukuran butir tailing dan perbandingan jumlah asam sulfat dengan berat tailing.

Metode pengolahan LTJ melibatkan kondisi yang sangat korosif, suhu tinggi dan mengkonsumsi sejumlah besar reagen. Proses industri yang paling umum untuk pengolahan LTJ melibatkan proses pemangangan asam dimana konsentrasi dikombinasikan dengan asam sulfat pekat pada suhu lebih dari 200°C (Lazo, dkk., 2018).

Pelindian adalah proses pengambilan solut dari padatan dengan pelarut (*solvent*) tertentu. Proses pelindian terjadi dalam dua tahap, yakni kontak antara padatan dengan pelarut sehingga terjadi perpindahan massa dari padatan ke larutan dan pemisahan padatan dan larutan setelah proses selesai (Liu, dkk., 2013). Pada proses pelindian sebagian substansi yang larut terhadap *solvent* akan terpisah dari padatan karena memiliki perbedaan kelarutan. Peranan *solvent* pada proses pelindian analog dengan peranan entalpi pada proses distilasi. Fase *solvent-rich* disebut ekstrak, dan fase *solvent-poor* disebut rafinat. Proses pelindian sangat berkaitan dengan struktur kimia bahan yang akan diekstrak. Biasanya proses pelindian berlangsung pada keadaan adiabatik dan isothermal, desain perhitungan menjadi kompleks karena pelindian susah untuk dianalisis pada campuran *liquid nonideal* (Fernández, dkk., 2017). Reaksi kimia yang terjadi selama pelindian menggunakan asam sulfat untuk logam Y, La, Ce dan Nd adalah sebagai berikut (Susilaningtyas, 1996):



Ada empat faktor penting yang harus diperhatikan dalam operasi pelindian :

a. Ukuran partikel

Semakin kecil ukuran partikel maka areal terbesar antara padatan terhadap cairan memungkinkan terjadi kontak secara tepat. Semakin besar partikel maka waktu yang diperlukan oleh cairan yang akan mendifusi relatif lebih lama (Sajima, 2018).

b. Faktor pengadukan

Pengadukan sangat erat hubungannya dengan sistem pendispersian butir padatan ke dalam cairan sehingga kontak molekul semakin luas dan memperbesar tumbukan antar molekul dalam cairan. Kecepatan pengadukan merupakan parameter penting dalam pengadukan yang dinyatakan dengan gradien kecepatan (Rosidi, 2015).

c. Suhu

Pada umumnya jika suhu dinaikkan, laju reaksi bertambah cepat. Hal ini dikarenakan semakin tinggi suhu, gerak partikel-partikel pereaksi dan energi kinetik partikel akan ikut meningkat. Hubungan antara konstanta kecepatan reaksi (*k*) dengan suhu mengikuti persamaan Arrhenius. Variasi suhu diperlukan untuk menentukan nilai energi aktivasi (Fogler, 2004).

d. Pelarut (*solvent*)

Pemilihan *solvent* yang baik adalah *solvent* yang sesuai dengan viskositas yang cukup rendah agar sirkulasinya bebas. Umumnya *solvent* murni akan digunakan meskipun dalam operasi ekstraksi dengan

konsentrasi solut yang tinggi, dengan begitu akan meningkatkan kecepatan reaksinya dan akan melambat ketika viskositas *solvent* bertambah karena sudah terikat dengan solut yang mengandung logam berharga (Genck, dkk., 2008). Pengaturan rasio *solid/liquid* ditujukan untuk menentukan komposisi yang tepat (reagen asam dan jumlah umpan).

2. METODE

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Pusat Sains dan Teknologi Akselerator BATAN Yogyakarta (PSTA-BATAN), dilakukan dalam skala laboratorium.

2.2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tailing zirkon dari PT. Monokem Surya, H₂SO₄ pekat (95-97%) produksi Merck & Co, Inc., aquades produksi laboratorium fabrikasi kernel PSTA-BATAN dan kertas saring. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *Ball Mill* tipe *planetary Ball Mill* produksi Changsha Tianchuang Powder Technology Co. Ltd., *autoclave*, *furnace* tipe *vertical lift door furnace* produksi PT. Suhaterm Manufacturing Indonesia, alat gelas laboratorium, *oven Heraeus*, ayakan, neraca analitik dan *X-Ray Fluorescence Epsilon4 PANalytical*.

2.3. Preparasi Sampel (Tailing Zirkon)

Tailing zirkon yang akan digunakan untuk bahan penelitian terlebih dahulu dikeringkan dengan cara dioven pada suhu 110°C selama 3 jam. Hasil dari pengeringan kemudian disaring guna memisahkan pengotor yang terdapat dalam tailing zirkon. Pada variasi ukuran butir, tailing zirkon yang sudah disaring dan dikeringkan kemudian diperkecil menggunakan *ball mill* dengan variasi waktu penggilingan 0 menit, 5 menit, 10 menit, 15 menit dan 20 menit.

2.4. Pengaruh Variabel Rasio *Solid/Liquid*

Pada penelitian menggunakan variabel rasio *solid/liquid*, dilakukan dengan memvariasi pelarut (asam sulfat pekat). Adapun variasi tersebut yaitu 0,5mL : 1g, 1mL : 1 g, 1,5mL : 1g, 2mL : 1g dan 2,5mL : 1g. Pelindian dilakukan pada setiap variasi, reaktor yang digunakan pada proses pelindian ini adalah *autoclave*. Proses pelindian dilakukan di dalam *furnace* pada suhu 300°C selama 2 jam untuk setiap variasi.

2.5. Pengaruh Variabel Ukuran Butir (Ukuran Butir Sebanding Dengan Lama Penggilingan)

Tailing zirkon yang sudah dipreparasi sesuai dengan lama waktu penggilingan (0 menit, 5 menit, 10 menit, 15 menit dan 20 menit), kemudian dilindi menggunakan asam sulfat pekat. Reaktor yang digunakan pada proses pelindian ini adalah *autoclave*. Proses pelindian dilakukan di dalam *furnace* pada suhu 300°C selama 2 jam untuk setiap variasi.

2.6. Pengaruh variabel suhu

Pada variabel suhu, penelitian dilakukan dengan variasi suhu yaitu 100, 150, 200, 250 dan 300°C. Pelindian dilakukan pada setiap variasi suhu, reaktor yang digunakan pada proses pelindian ini adalah *autoclave*. Proses pelindian dilakukan di dalam *furnace* pada suhu sesuai variasi penelitian, selama 2 jam untuk setiap variasi.

2.7. Penyaringan dan pengeringan hasil proses

Sebelum proses penyaringan, produk hasil proses diencerkan dengan penambahan aquades sebanyak 500ml, kemudian disaring menggunakan kertas saring dan padatan hasil penyaringan dikeringkan dengan cara dioven pada suhu 110°C selama 3 jam.

2.8. Analisis dan Interpretasi data

Residu hasil pelindian, dianalisis menggunakan *X-Ray Fluorescence* untuk mengetahui kadar masing-masing logam. Presentasi *recovery* dihitung berdasarkan perbandingan konsentrasi pada umpan pelindian dengan residu hasil pelindian. Penentuan persentase *recovery*, dilakukan menggunakan persamaan berikut :

$$Recovery = \frac{x_o - x_i}{x_o} \times 100\% \quad (5)$$

Dengan,

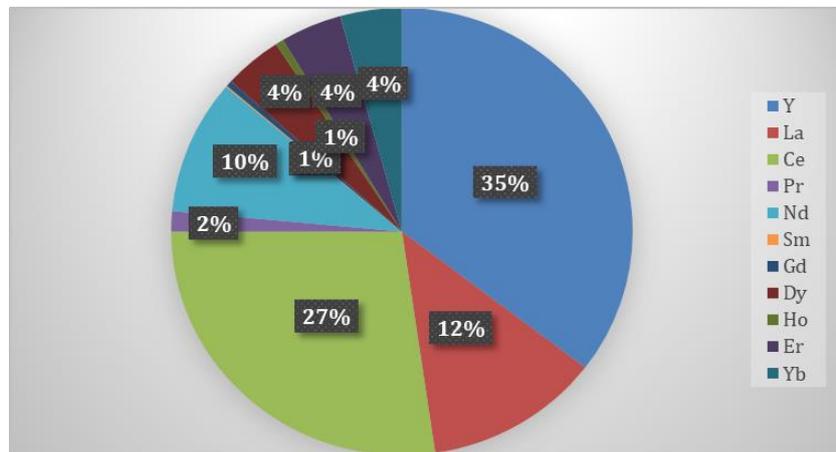
X_o = massa umpan pelindian x kadar unsur, %

Xi = massa residu hasil pelindian x kadar unsur, %

Data yang didapatkan akan diplotkan dalam bentuk grafik sehingga diketahui pengaruh dari setiap variasi (ukuran butir, rasio *liquid/solid* dan suhu).

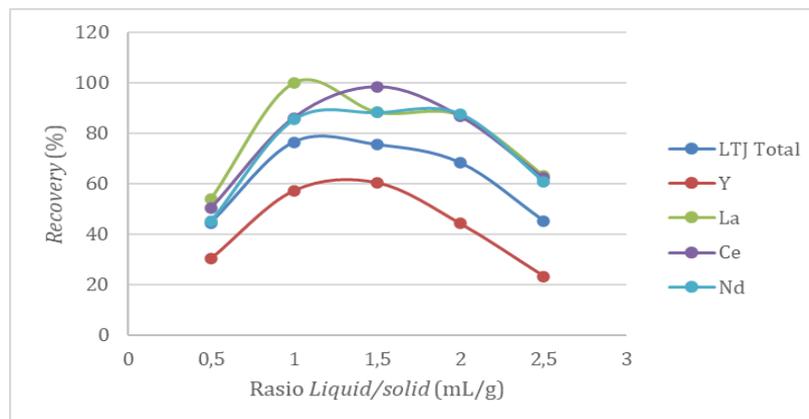
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap awal penelitian ini adalah proses pengeringan tailing zirkon yang nantinya akan digunakan sebagai umpan penelitian. Fungsi dari pengeringan ini adalah untuk menghilangkan kandungan air yang terdapat dalam tailing zirkon. Pengeringan dilakukan pada suhu 110°C selama 3 jam. Setelah proses pengeringan, dilakukan proses penyaringan untuk menghilangkan pengotor. Pada tahap awal penelitian juga dilakukan analisis menggunakan *X-Ray Fluorescence*, analisis ini bertujuan untuk mengetahui kadar LTJ yang terdapat dalam tailing zirkon. Dari hasil analisis, diperoleh kadar total logam tanah jarang sebesar 50,79%. LTJ yang mendominasi pada tailing zirkon adalah Y, Ce, La dan Nd, masing-masing sebesar 17,98%, 13,78%, 6,25% dan 4,95%. Kadar masing-masing LTJ per total kadar LTJ tersaji pada Gambar 2. Pada Gambar 2 dapat dilihat kadar terbesar yaitu logam Y sebesar 35%, kemudian diikuti logam Ce sebesar 27%, logam La sebesar 12% dan logam Nd sebesar 10%.



Gambar 2. Kadar masing-masing LTJ per total kadar LTJ

Hasil penelitian untuk variasi rasio *solid/liquid* didapatkan data yang tersaji pada Gambar 3.

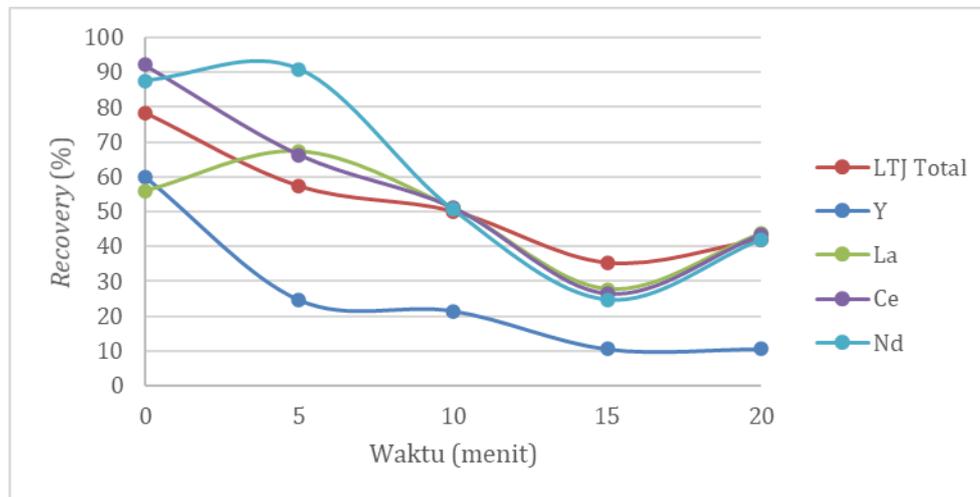


Gambar 3. Perbandingan antara *Recovery* vs Rasio *liquid/solid*

Pada Gambar 3 dapat dilihat *recovery* tertinggi untuk LTJ total dan logam La terjadi pada variasi rasio *solid/liquid* 1mL/g dengan *recovery* sebesar 76,56% dan 100%, sedangkan untuk logam Y, Ce dan Nd *recovery* tertinggi didapatkan pada variasi rasio *solid/liquid* 1,5mL/g masing-masing sebesar 60,35%, 98,31% dan

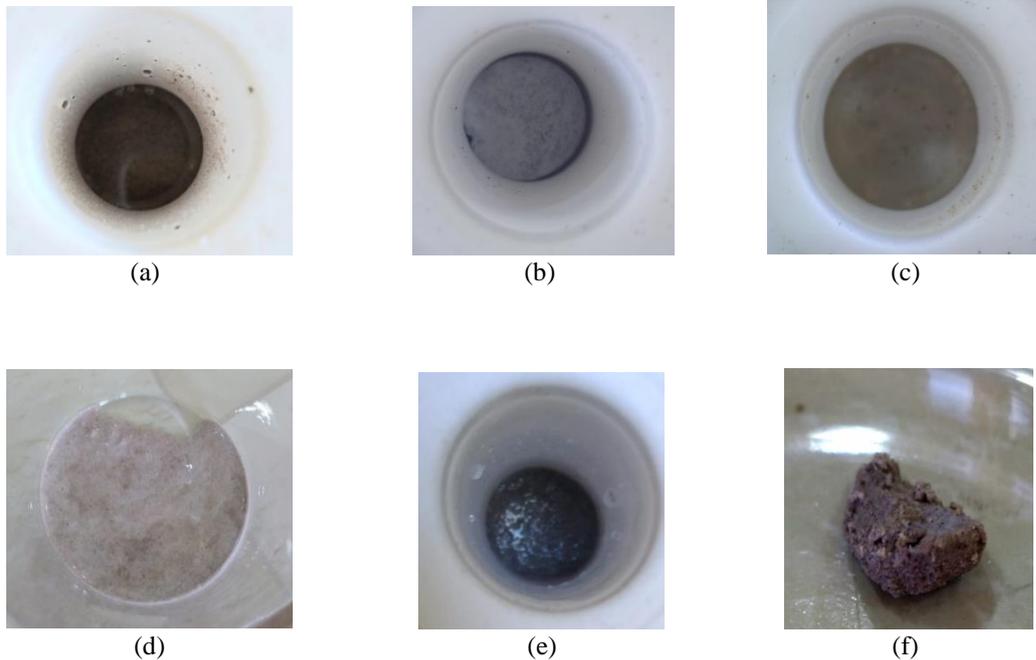
88,22%. Kenaikan *recovery* dimungkinkan terjadi seiring kenaikan konsentrasi asam. Namun pada tingkat rasio *liquid/solid* tertentu *recovery* LTJ akan menurun, karena peningkatan rasio *liquid/solid* juga meningkatkan viskositas *slurry*. sehingga mobilitas ion sulfat menurun dengan transpor ion Y, La, Ce dan Nd ke badan larutan juga melambat. Fenomena ini didasari oleh prinsip perpindahan massa, dimana solven yang memiliki konsentrasi di dalam reaktor akan berdifusi ke arah partikel padatan melalui pori-pori padatan. Solven yang telah berdifusi ke dalam padatan kemudian bereaksi dengan solut yang mengakibatkan konsentrasi solut bertambah sebanding dengan banyaknya solven yang bereaksi dengan solut. Hal tersebut mengakibatkan konsentrasi larutan akan berdifusi kembali ke badan solven yang memiliki konsentrasi lebih rendah dibandingkan solven yang telah bereaksi dengan solut. Keadaan setimbang terjadi setelah konsentrasi larutan di badan solven sama dengan konsentrasi larutan di dalam partikel padat. Menurut Genck (2008), pada umumnya *solvent* murni akan digunakan meskipun dalam operasi ekstraksi dengan konsentrasi solut yang tinggi, dengan begitu akan meningkatkan kecepatan reaksinya dan akan melambat ketika viskositas *solvent* bertambah karena sudah terikat dengan solut yang mengandung logam berharga (Genck, dkk., 2008).

Dari hasil penelitian, pada variasi ukuran butir didapatkan data yang tersaji pada Gambar 4. Dari hasil tersebut, dapat dilihat bahwa semakin kecil ukuran butir (ukuran butir semakin kecil dengan semakin lama waktu penggilingan), *recovery* dari LTJ menjadi semakin kecil.



Gambar 4. Perbandingan antara *Recovery* vs Waktu *milling* (penggilingan)

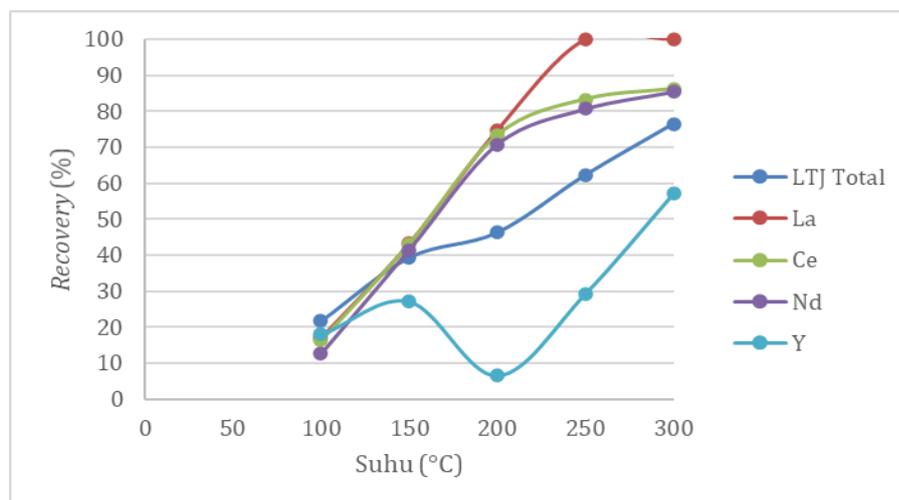
Pada Gambar 4 dapat dilihat *recovery* tertinggi untuk LTJ total dan logam seperti Y, La, Ce dan Nd yaitu masing-masing sebesar 78,30%, 60,05%, 67,35%, 92,15% dan 90,94%. Secara umum baik untuk LTJ total dan logam seperti Y, La, Ce dan Nd, *recovery* yang diperoleh semakin kecil dengan semakin kecilnya ukuran butir. Hal ini disebabkan karena dengan penggunaan reaktor seperti *autoclave* dan suhu 300°C, reaksi antara tailing zirkon dengan asam sulfat menghasilkan padatan yang sangat keras. Semakin kecil ukuran butir dari tailing zirkon, maka kerapatan dari padatan yang terbentuk semakin tinggi. Hal ini menyebabkan difusi dari asam sulfat ke padatan menjadi berkurang, sehingga mobilitas ion sulfat menurun dengan transpor ion Y, La, Ce dan Nd ke badan larutan juga melambat dan menyebabkan berkurangnya *recovery*. Hasil yang diperoleh akan berbeda jika digunakan reaktor berpengaduk. Menurut Rosidi (2015), pengadukan sangat erat hubungannya dengan sistem pendispersian butir padatan ke dalam cairan sehingga kontak molekuler semakin luas dan memperbesar tumbukan antar molekul dalam cairan. Menurut Lazo (2018), pada proses pelindian dengan suhu tinggi melibatkan kondisi yang sangat korosif, sehingga pada umumnya untuk pengolahan LTJ melibatkan proses *baking* asam.



Gambar 5. Hasil proses pelindian pada variasi ukuran butir, (a) sebelum proses pelindian, (b) hasil proses pelindian dengan ukuran butir paling besar, (c) hasil proses pelindian dengan ukuran butir paling kecil, (d) hasil proses pelindian dengan ukuran butir paling besar (dituangkan dalam gelas beker), (e) hasil proses pelindian dengan ukuran butir paling kecil (lapisan bawah), (f) padatan yang terbentuk dari hasil proses pelindian dengan ukuran butir paling kecil.

Pada Gambar 5 dapat dilihat beberapa fisik dari hasil proses pelindian dengan variasi ukuran butir. Dapat dilihat pada ukuran butir paling besar sisa pelarut sangat kecil, karena pada ukuran butir besar pelarut dapat berdifusi ke dalam padatan secara baik. Sedangkan untuk hasil pada ukuran butir paling kecil, pelarut masih terdapat pada lapisan atas, hal ini terjadi karena padatan yang terbentuk pada ukuran butir kecil sangat rapat, sehingga menghambat difusi dari pelarut.

Hasil penelitian untuk variasi suhu tersaji pada Gambar 6. Dari hasil tersebut, dapat dilihat bahwa semakin tinggi suhu, *recovery* dari LTJ menjadi semakin besar.



Gambar 6. Perbandingan antara *Recovery* vs Suhu

Pada Gambar 6 dapat dilihat baik untuk LTJ total dan logam seperti Y, La, Ce dan Nd secara umum mengalami kenaikan *recovery* seiring dengan kenaikan suhu. Logam La pada suhu 250 sudah mencapai *recovery* 100%. *Recovery* yang diperoleh semakin besar dengan semakin tingginya suhu. Hal ini disebabkan karena laju reaksi bertambah cepat dengan kenaikan suhu. Semakin tinggi suhu, gerak partikel-partikel pereaksi dan energi kinetik partikel akan ikut meningkat. Hal ini menyebabkan mobilitas ion sulfat semakin tinggi selaras dengan transpor ion Y, La, Ce dan Nd ke badan larutan juga semakin cepat. Menurut Fogler (2004), semakin tinggi suhu maka nilai konstanta kecepatan reaksi akan meningkat dan laju reaksi akan semakin cepat, karena konstanta kecepatan reaksi sangat bergantung pada suhu.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa semakin kecil ukuran butir tailing zirkon, *recovery* LTJ yang diperoleh semakin kecil jika penelitian dilakukan menggunakan sistem tertutup (*baking*) menggunakan reaktor berupa *autoclave*. Kenaikan *recovery* LTJ dimungkinkan terjadi seiring kenaikan jumlah solven (pelarut), namun pada tingkat rasio *liquid/solid* (jumlah pelarut) tertentu *recovery* LTJ akan menurun. *Recovery* LTJ meningkat seiring dengan kenaikan suhu percobaan.

Recovery LTJ akan semakin meningkat jika penelitian dilakukan menggunakan reaktor berpengaduk, namun harus memperhatikan segi keamanan karena penggunaan suhu tinggi, pelarut yang sangat korosif dan tekanan tinggi.

PUSTAKA

- Benedict, M., Pigford, T. H., and Levi, H. W., 1981. *Nuclear Chemical Engineering*. 2nd Edition, New York: Mc Graw-Hill Book Company.
- Christie, T., B. Braithwaite & A. Tulloch, 1998. *Rare Earth and Related Elements*. Mineral, Commodity Report. 17.
- Fernández, L., Ortega, J., dan Wisniak, J., 2017. *New computational tool to evaluate experimental VLE and VLE data of multicomponent systems*. Computers and Chemical Engineering, 106, 437–463.
- Fogler, H. S., 2004. *Elements of Chemical Reaction Engineering*. (3rd ed.). Michigan: Prentice-Hall of India.
- Genck, W. J., Dickey, D. S., dan Baczek, F. A., 2008. *Perry's Chemical Engineers' Handbook* Section 18. Liquid-Solid Operations and Equipment, In *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (8 th, hal. 155).
- John, D., Ho, E., Gamini, S., 2018. *Sulfuric acid baking and leaching of rare earth elements, thorium and phosphate from a monazite concentrate: Effect of bake temperature from 200 to 800 °C*. Hydrometallurgy 179, 254-267
- Lazo, D. E., Dyer, L. G., Alorro, R. D., Browner, R., 2018. *Treatment of monazite by organic acids II: Rare earth dissolution and recovery*. Hydrometallurgy 179, pages 94-99, Elsevier.
- Liu, J., Song, J., Yuan, H., Li, X., Li, N., and Duan, L., 2019. *Rare earth element and yttrium geochemistry in sinking particles and sediments of the Jiaozhou Bay, North China: Potential proxy assessment for sediment resuspension*. Marine Pollution Bulletin volume 144, pages 79-91, Elsevier.
- Paulick, H., Machacek, E., 2017. *The global rare earth element exploration boom: An analysis of resources outside of China and discussion of development perspectives*. Resources Policy 52, elsevier, pages 134-153.
- Poernomo, H., Biyantoro, D., dan Purwani, M., 2016. *Kajian Konsep Teknologi Pengolahan Pasir Zirkon Lokal yang Mengandung Monasit, Senotim, dan Ilmenit*. Eksplorium, 37(2), 73–88.
- Prameswara, G., Trisnawati, I., Poernomo, H., Mulyono, P., Prasetya, A., and Petrus, H. T. B. M., 2020. *Kinetics of yttrium dissolution from alkaline fusion on zircon tailings*. Mining, Metallurgy and Exploration, Springer.
- Rosidi, M., 2015. *Pengadukan dalam Proses Koagulasi-Flokulasi*. Chemistry-Environment (ChemVi).
- Sajima, 2018. *Pelindian natrium zirkonat menggunakan asam klorida secara catu*. Eksplorium, Volume 39, No. 1 : 67-74.
- Soemarsono, M., dan Biyantoro, D., 2005. *Pembuatan Oksida Logam Tanah Jarang dari Umpan Hasil Dijesti Pasir Senotim dengan Cara Pengendapan dan Kalsinasi*. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi - BATAN. Yogyakarta.
- Stone, K., Bandara, A. M. T. S., Senanayake, G., dan Jayasekera, S., 2016. *Processing of rare earth phosphate concentrates : A comparative study of pre-leaching with perchloric , hydrochloric , nitric and phosphoric acids*. Hydrometallurgy, 163(August 2016), 137–147.
- Sukmajaya, S., Prayoga, I., Handini, I., 2017. *Pembuatan oksida logam tanah jarang (LTJ) dari pasir senotim*. Prosiding PPI, PSTA-BATAN, hal. 263-268



- Trinopiawan, K., Mubarak, M. Z., Mellawati, J., dan Ani, B. Y., 2016. *Pelindian Logam Tanah Jarang dari Terak Timah dengan Asam Klorida Setelah Proses Fusi Alkali*, *Eksplorium*, 37(1), 41–50.
- Zhang, Z., Jia, Q., Liao, W., 2015. *Progress in the separation processes for rare earth resources*. Chapter 277, In: Jean-Claude, B., Vitalij, K.P. (Eds.), *Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths*. Elsevier, North Holland, pp. 287–376.