

STUDI PERBANDINGAN PROSES PELINDIAN UNTUK EKSTRAKSI SKANDIUM DARI TERAK RESIDU BAUKSIT

A Comparative Study of the Leaching Process for Extraction of Scandium from Red Mud Slag

SARIMAN¹, SITI ROCHANI¹, NURYADI SALEH², ISYATUN RODLIYAH², ERIKA A. DIANAWATI³,
dan RETNO WIJAYANTI¹

¹ Pusat Riset Teknologi Pertambangan, Organisasi Riset Nanoteknologi dan Material, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jalan Ir. Sutami Km 15, Tanjung Bintang, Lampung, Indonesia

² Balai Besar Pengujian Mineral dan Batubara tekMIRA, Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jalan Jenderal Sudirman No. 623, Bandung, Indonesia

³ Pusat Riset Sumber Daya Geologi, Organisasi Riset Kebumihan dan Maritim, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Kampus BRIN Cisitu, Jalan Sangkuriang No. 21, Bandung, Indonesia

ABSTRAK

Skandium diklasifikasikan sebagai unsur tanah jarang. Keberadaannya secara geokimia dalam jumlah kecil sebagai mineral ikutan. Akibatnya, produksi skandium sangat terbatas dan dihasilkan dari sisa pengolahan mineral utama. Indonesia memiliki deposit bauksit yang besar dan diolah menjadi alumina yang menghasilkan residu bauksit sebagai produk samping. Residu bauksit mengandung logam tanah jarang termasuk skandium. Pada penelitian ini dilakukan berbagai cara untuk mengekstraksi skandium dari terak residu bauksit. Proses benefisiasi residu bauksit dilakukan melalui proses reduksi dan peleburan yang dilanjutkan dengan pemisahan magnetik. Ekstraksi skandium dilakukan dari terak residu bauksit melalui proses pelindian dengan asam sulfat pekat, sulfatasi, *alkali fusion* (peleburan basa), dan pelindian asam 2 tahap. Persen ekstraksi skandium terbaik diperoleh dengan menggunakan pelindian asam 2 tahap yaitu 88,40%, pada konsentrasi asam 500 g/kg, suhu 90°C, dan waktu pelindian 3 jam untuk setiap tahap pelindian. Selain itu dihitung juga persen ekstraksi neodimium dengan nilai terbaiknya adalah 76,97%, menggunakan *alkali fusion*, pada kondisi peleburan dalam NaOH, suhu 700°C selama 3 jam.

Kata kunci: *alkali fusion*, terak bauksit residu, pelindian asam, skandium, sulfatasi.

ABSTRACT

Scandium is classified as a rare earth element. Its existences are geochemically in small amounts as associate minerals. Consequently, scandium production is minimally from processing residues of major minerals. Indonesia has large bauxite deposits, and it is processed into alumina, producing bauxite residue as a by-product. The bauxite residue contains rare earth metals, including scandium. In this study, various ways of extracting scandium from bauxite residue slag were carried out. The bauxite residue beneficiation process was done through a smelting reduction process followed by magnetic separation. Scandium extractions were carried out from the bauxite residue slag through a leaching process with concentrated sulfuric, sulfation, *alkali fusion*, and a 2-stage acid leaching. The best percentage of scandium extracted was obtained at 88.40%, using the 2-stage acid leaching at the acid concentration of 500 g/kg, the temperature of 90°C, and the leaching time at 3 hours for each leaching stage. In addition, the best neodymium extracted achieved 76.97%, using the *alkali fusion*, fused in NaOH at 700°C for 3 hours.

Keywords: *alkali fusion*, bauxite residue slag, acid leaching, scandium, sulfatation.

PENDAHULUAN

Residu bauksit atau yang dikenal dengan *red mud* merupakan produk samping dari proses Bayer yang memproduksi alumina dari bauksit. Produksi alumina dunia mencapai 140 juta ton per tahun (Merrill, 2023). Rata-rata untuk setiap 1 metrik ton produksi alumina, dihasilkan 1-1,5 metrik ton residu bauksit, sehingga dapat dihasilkan lebih dari 170 juta metrik ton per tahun. Mengingat industri alumina sudah berdiri sejak tahun 1800-an, jumlah residu bauksit yang sudah tertimbun di *stockpile* di masing-masing pabrik *refinery* atau pemurnian alumina sangat besar sekitar 4 milyar ton (Wang *dkk.*, 2019). Kandungan utama residu bauksit adalah hematit, gutit, rutil, silika, alumina dan logam tanah jarang (LTJ). Fakta yang sangat menarik adalah konsentrasi skandium (Sc) dalam residu bauksit mencapai 130 ppm, jauh lebih tinggi daripada di kerak bumi (rata-rata 22 ppm) (Avdibegović, Regadio dan Binnemans, 2017). Hal ini berarti proses pengayaan skandium telah terjadi pada residu bauksit. Dengan demikian, ekstraksi skandium dari residu bauksit layak dilakukan. Kandungan unsur lain yang tinggi adalah besi dengan konsentrasi yang bervariasi antara 20–60% tergantung lokasinya (Paramguru, Rath dan Misra, 2004), sehingga biasanya dalam ekstraksi logam tanah jarang, kandungan besi dipisahkan lebih dahulu.

Penelitian ekstraksi skandium dari residu bauksit telah banyak dilakukan di berbagai negara di dunia. Secara garis besar ada dua metode yang berkembang yaitu pelindian langsung tanpa benefisi untuk mengurangi kandungan besi (Rivera *dkk.*, 2018; Agrawal dan Dhawan, 2021b, 2021a) dan metode lainnya yaitu dengan mengurangi kandungan besi dalam residu bauksit melalui proses peleburan reduksi terlebih dahulu (Bhoi, Rajput dan Mishra, 2017; Gotsu, Mishra dan Martins, 2018; Li *dkk.*, 2020; Archambo dan Kawatra, 2021). Selanjutnya dilakukan proses pelindian (Bhoi, Rajput dan Mishra, 2017; Sadangi *dkk.*, 2018). Proses pelindian terhadap residu bauksit tanpa melalui proses penghilangan mineral besi, akan menyebabkan semua logam akan larut dalam media asam (Borra *dkk.*, 2015; Borra, Blanpain, *dkk.*, 2016). Tahap pemisahan selanjutnya adalah penggunaan berbagai metode hidrometalurgi untuk memperoleh kembali skandium, seperti presipitasi (pengendapan),

ekstraksi pelarut, adsorpsi, pertukaran ion dan *solvent* ekstraksi (Habibi *dkk.*, 2023).

Pelindian langsung terhadap residu bauksit telah dilakukan oleh Wang, Pranolo dan Cheng (2013) untuk mengekstraksi skandium dari residu bauksit yang dihasilkan dari *smelter* alumina di Australia yang memiliki kandungan 54 ppm Sc. Pelindian dilakukan dengan H₂SO₄ (asam sulfat) dan HCl (asam klorida) pada suhu ruang dan 50°C dengan persen ekstraksi skandium 47,6%. Hasilnya masih relatif rendah sedangkan reagen yang dibutuhkan besar karena senyawa Fe, Al yang akan mengkonsumsi bahan pelarut. Davris *dkk.* (2018) menggunakan asam sulfat sebagai pelarut dengan konsentrasi 5 M H₂SO₄, S/l=5 suhu 95°C selama 24 jam, menghasilkan persen ekstraksi masing-masing untuk Sc dan Fe adalah 90 dan 99%. Namun karena tidak dilakukan pengambilan besi dari residu bauksit sebelumnya, mengakibatkan terjadi pelarutan bersama dengan Fe. Meskipun dapat dilakukan pengendapan terhadap Fe namun proses filtrasi menjadi lambat. Produk skandium dapat dimurnikan lebih lanjut melalui ekstraksi pelarut (*solvent extraction*) yang membutuhkan banyak reagen pelarut organik.

Modifikasi proses pelindian langsung telah berkembang dengan menambah proses sulfatasi dan atau *roasting* sebelum pelindian. Seperti yang dilakukan Narayanan, Kazantzis dan Emmert (2018) pada penelitian ekstraksi residu bauksit dari Alcan (Alcan Aluminium), Alcoa (Alcoa Corporation), Korea dan Jamaika yang mengandung 20-60 ppm Sc. Proses ini melibatkan 4 (empat) tahap yaitu; *roasting* residu, pelindian, pengendapan, dan selanjutnya dilakukan proses *roasting* terhadap produk endapan. Proses ini diperbaiki oleh Narayanan, Kazantzis dan Emmert (2019) yang diklaim sangat selektif dan murah. Tahapan proses dimulai dari sulfatasi, *roasting*, pelindian, dan kalsinasi. Kemurnian oksida skandium yang diperoleh cukup tinggi, yaitu 99% dengan persen ekstraksi mencapai 85%. Proses tersebut memerlukan sulfatasi yang cukup lama sekitar 18 jam dan memerlukan kapasitas reaktor yang besar. Percobaan lainnya dengan proses sulfatasi dan *alkali fusion* dilakukan oleh Anawati dan Azimi (2019), residu bauksit di-*roasting* dalam tungku pada suhu 200–400°C, dan berikutnya dilarutkan dalam air menghasilkan efisiensi ekstraksi (80% skandium). Zhang, Li dan Liu (2016)

menyatakan bahwa ekstraksi skandium dari residu bauksit dapat dilakukan dengan pelarut asam klorida pada suhu 60°C dan waktu pelindian 1 jam. Sebelum dilakukan pelindian, residu bauksit terlebih dahulu di-roasting pada suhu 1100°C selama 20 menit. Perolehan skandium yang dihasilkan adalah >85%.

Rivera *dkk.* (2019) melakukan pelindian bertekanan/ *high pressure acid leaching* (HPAL) dengan HCl dan H₂SO₄ terhadap terak residu bauksit yang dihasilkan dari peleburan reduktif dari sampel residu bauksit menghasilkan 90% Sc. Kanekaputra dan Mubarak (2023) juga melakukan pelindian bertekanan terhadap terak residu bauksit, menghasilkan persen ekstraksi 90,97% Sc, dengan kondisi proses yang optimum adalah pada 1,5 M H₂SO₄, durasi pelindian 1 jam, suhu 200°C, dan densitas 30% (b/b). Hasil yang diperoleh hampir sama dengan yang dihasilkan Rivera *dkk.* (2019). Meskipun persen ekstraksi yang dihasilkan tinggi, pelindian bertekanan memerlukan penanganan dan biaya tinggi. Pelindian pada tekanan atmosfer terhadap terak residu bauksit masih belum banyak dilakukan dan masih rendah persen ekstraksi yang diperoleh.

Pada penelitian ini dilakukan perbandingan metode ekstraksi skandium dengan pelindian dari terak residu bauksit yang diperoleh melalui proses reduksi dan peleburan. Terak yang dihasilkan digiling dan diturunkan kandungan Fe-nya dengan menggunakan *magnetic separator*. Terak residu bauksit yang minimum kandungan Fe akan diekstraksi Sc dan Fe, Al, Si, dan sebagian LTJ lainnya menggunakan 4 (empat) macam proses ekstraksi yang berbeda, yaitu proses pelindian asam pada tekanan atmosfer, sulfatasi, *alkali fusion* (peleburan basa), dan pelindian asam 2 (dua) tahap. Persen ekstraksi yang dihasilkan dari masing-masing proses ekstraksi dibandingkan untuk mengetahui proses yang efektif.

METODE

Terak yang digunakan pada penelitian ini diperoleh/disiapkan dari sampel residu bauksit yang diaglomerasi dengan batubara dan aditif dengan komposisi residu bauksit 90%, batubara 8%, dan aditif 2% kemudian direduksi pada temperatur 1050°C selama 2 jam. Hasil proses

reduksi yang diperoleh ditambahkan batubara dan kapur dengan perbandingan komposisi 85:10:5. Selanjutnya komposit dilebur menggunakan *Direct Current Arc Furnace* pada suhu 1450 °C dan ditahan selama 1 jam. Lelehan dituang ke dalam cetakan dan didinginkan hingga suhu ruang, logam besi berada pada lapisan sisi bawah dan terak pada lapisan sisi atas cetakan. Kemudian logam besi dan terak dipisahkan secara manual dan berat masing masing kemudian ditimbang. Terak digiling hingga lolos 74 mikron (200 *mesh*), lalu dilakukan pemisahan fraksi magnetik dan non-magnetik melalui magnetik separator, menghasilkan fraksi magnetik dan non-magnetik. Terak dari fraksi non-magnetik selanjutnya digunakan sebagai umpan proses ekstraksi skandium dan unsur lainnya.

Proses ekstraksi skandium dilakukan dengan 4 (empat) metode pelindian, yaitu pelindian asam pada tekanan atmosferik, sulfatasi, *alkali fusion*, dan pelindian asam 2 (dua) tahap. Setelah pelindian, dilakukan penyaringan dengan kertas saring 40, diperoleh residu dan filtrat. Residu dicuci dan dikeringkan selama 8 jam pada T = 110°C. Analisis unsur mayor menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan unsur minor (LTJ) menggunakan *Inductively coupled plasma* (ICP-OES) untuk filtrat dan residu.

Proses ke empat pelindian dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Pelindian asam pada tekanan atmosfer
Ekstraksi skandium dilakukan dengan pelindian asam sulfat pekat pada suhu 200°C menggunakan 1000 ml *laboratory reactor* tipe LR2ST yang dilengkapi dengan pengatur suhu selama 2 jam. Selanjutnya dilakukan pelindian dengan 400 ml air untuk melarutkan kembali senyawa sulfat yang terbentuk selama 1 jam lalu disaring. Residu di bilas dengan aquades sebanyak 2 (dua) kali, lalu dikeringkan. Dosis asam sulfat yang digunakan adalah 700 g/kg contoh, dengan berat umpan 100 g.
2. Sulfatasi
Percobaan dilakukan untuk menggunakan asam 500 g/kg. Berat umpan adalah 50 g, suhu proses 400°C yang dipanaskan dalam tungku (*furnace*). Tungku yang digunakan merupakan tungku *muffle* tipe GPC 12/36. Sampel dicampur dengan asam sulfat, dipanaskan dalam tungku selama 3 (tiga)

jam. kemudian dilindi dengan 200 ml air selama 2 jam pada suhu 70 °C, lalu disaring sehingga diperoleh filtrat dan residu. Residu selanjutnya dibilas dengan aquades sebanyak 2 (dua) kali, lalu dikeringkan dan ditimbang. Persen ekstraksi dihitung berdasarkan hasil analisis residu.

3. *Alkali Fusion*

Sampel dicampur dengan NaOH dengan perbandingan berat NaOH/sampel = 1/2, dengan berat umpan adalah 50 g. Selanjutnya dipanaskan dalam tungku *muffle* tipe GPC 12/36 pada suhu 700°C selama 3 jam. Kemudian dilindi dengan 200 ml air (*water leaching*) selama 2 jam pada suhu 70°C, lalu disaring sehingga diperoleh filtrat dan residu. Residu selanjutnya dibilas dengan aquades sebanyak 2 (dua) kali dikeringkan dan ditimbang. Persen ekstraksi dihitung berdasarkan analisis residu.

4. Pelindian asam 2 tahap;

Pada metode ini, pelindian dilakukan dalam 2 (dua) tahap yaitu:

a. Pelindian tahap 1

Sampel dilindi dengan asam sulfat pada konsentrasi 500 g/kg, suhu 90°C dan waktu pelindian 3 (tiga) jam, lalu

disaring dan residu yang diperoleh dikeringkan.

b. Pelindian tahap 2

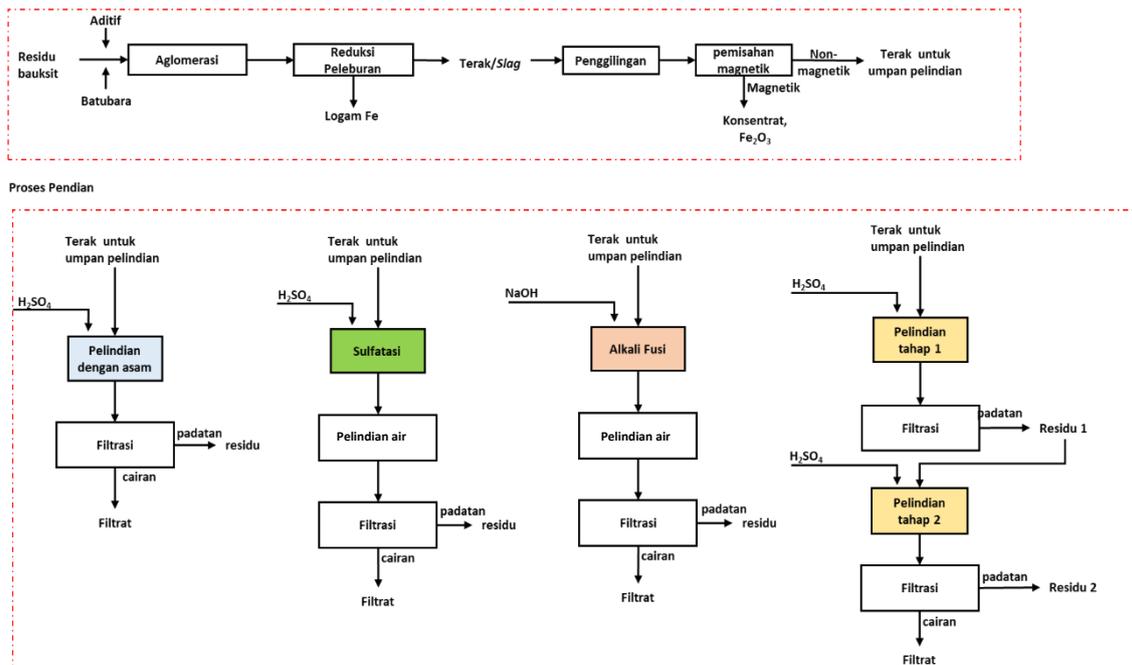
Residu dari hasil pelindian tahap 1 dilakukan pelindian dengan asam sulfat kembali dengan kondisi yang sama pada pelindian tahap 1. Kemudian dilakukan pemisahan padatan dan cairan. Padatan sebagai residu dibilas dengan aquades sebanyak 2 (dua) kali lalu dikeringkan dan ditimbang.

Alur proses dapat dilihat pada Gambar 1.

HASIL DAN DISKUSI

Karakterisasi Bahan Baku

Komposisi kimia yang terkandung dalam residu bauksit dianalisis menggunakan metode XRF. Analisis XRF disajikan pada Tabel 1, baik terhadap unsur mayor dan minor termasuk kandungan LTJ. Analisis komposisi kimia menunjukkan kandungan Fe total dalam residu bauksit mencapai 26,16% dan kandungan SiO₂ dan Al₂O₃ yang harus dikurangi, karena oksida tersebut akan mengkonsumsi asam ketika proses pelindian dilakukan.



Gambar 1. Bagan alir proses penyiapan bahan baku dan ekstraksi terak residu bauksit

Analisis kandungan LTJ menggunakan XRF menunjukkan kadar yang relatif besar yaitu 592 ppm yang terdiri dari 150 ppm praseodimium oksida (Pr_2O_3), 171 ppm neodimium oksida (Nd_2O_3), serium oksida (CeO_2) 140 ppm serta skandium 53 ppm. Pada penelitian ini difokuskan pada ekstraksi skandium karena unsur skandium mempunyai nilai yang tinggi. Paduan Al-Sc banyak digunakan untuk memperbaiki sifat mekanik bahan (Kaya *dkk.*, 2017). Kadar skandium 53 ppm pada residu bauksit dapat ditingkatkan agar ekonomis untuk diekstraksi. Selain skandium, unsur Nd dan Pr juga mempunyai nilai tinggi karena banyak digunakan sebagai campuran dalam pembuatan magnet permanen yang sangat dibutuhkan pada industri kendaraan di masa sekarang dan masa depan (Fagi, 2019).

Hasil analisis contoh terak residu bauksit setelah proses reduksi pada 1050°C dan peleburan pada temperatur 1450°C yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2, menunjukkan bahwa Fe yang semula sebanyak 26,16% dapat diturunkan sehingga 3,41%, hal ini berarti pengurangan kandungan Fe melalui proses peleburan sudah baik. Kandungan Fe dalam terak residu bauksit ini mirip dengan hasil dari Rivera *dkk.* (2019) yang berkisar antara 1,5-3,7%. Kandungan LTJ oksida dalam terak residu bauksit adalah 357 ppm, menurun

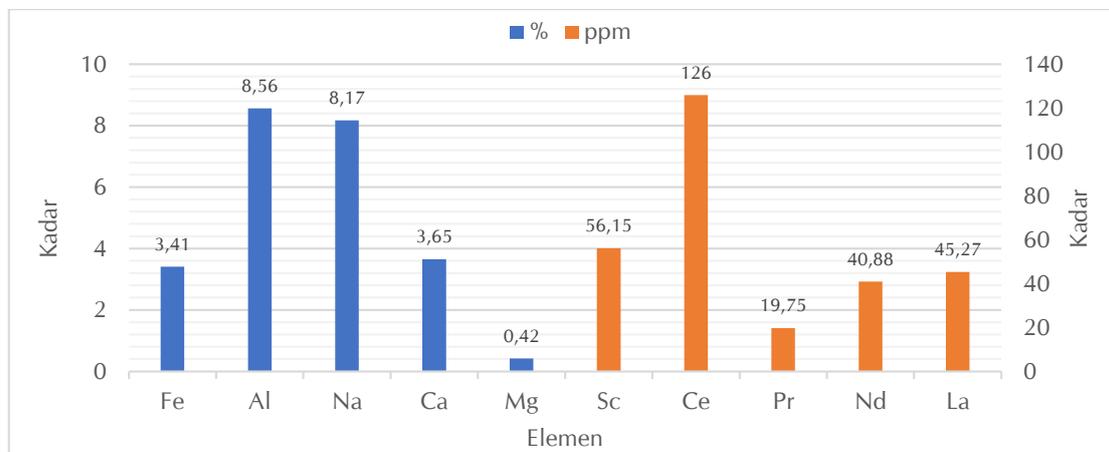
dibandingkan dengan yang terdapat di residu bauksit. Meskipun ada kenaikan untuk skandium dari 53 ppm menjadi 56,15 ppm, kadar unsur lain seperti Pr dan Nd menurun. Hal ini mungkin disebabkan oleh proses reduksi yang dimaksudkan untuk mengambil besi, namun beberapa unsur terbawa masuk ke dalam konsentrat Fe_2O_3 pada fraksi magnetik (Gambar 1). Seharusnya setelah proses peleburan, kandungan LTJ di dalam terak residu bauksit naik. Penyebab menurunnya kandungan LTJ di terak residu bauksit perlu dikaji lebih lanjut.

Ekstraksi Skandium dari Terak Residu Bauksit Hasil Reduksi Residu Bauksit dengan Asam Sulfat

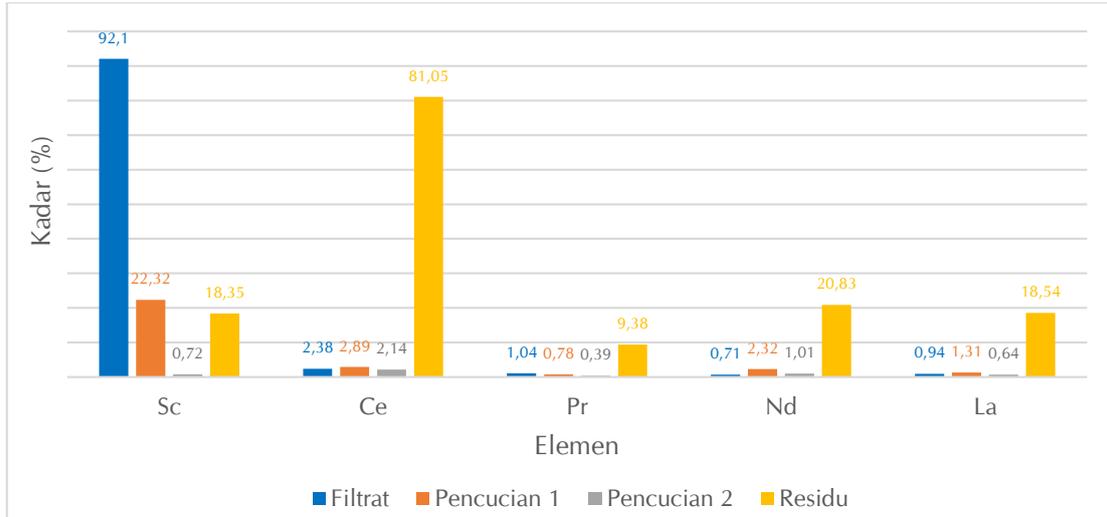
Sampel yang digunakan sebagai umpan pelindian adalah terak dari hasil reduksi residu bauksit pada suhu 1050°C dan peleburan pada temperatur 1450°C . Proses pelindian asam sulfat dimaksudkan untuk mengekstraksi kandungan skandium dalam bahan baku (terak) dilakukan menggunakan asam sulfat pekat dengan dosis 700 g/kg pada suhu 200°C . Selanjutnya dilakukan pelindian dengan air untuk melarutkan kembali senyawa sulfat yang terbentuk. Hasil analisis produk proses pelindian yaitu filtrat dan residu ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4.

Tabel 1. Komposisi kimia unsur mayor/minor oksida dan LTJ dalam residu bauksit

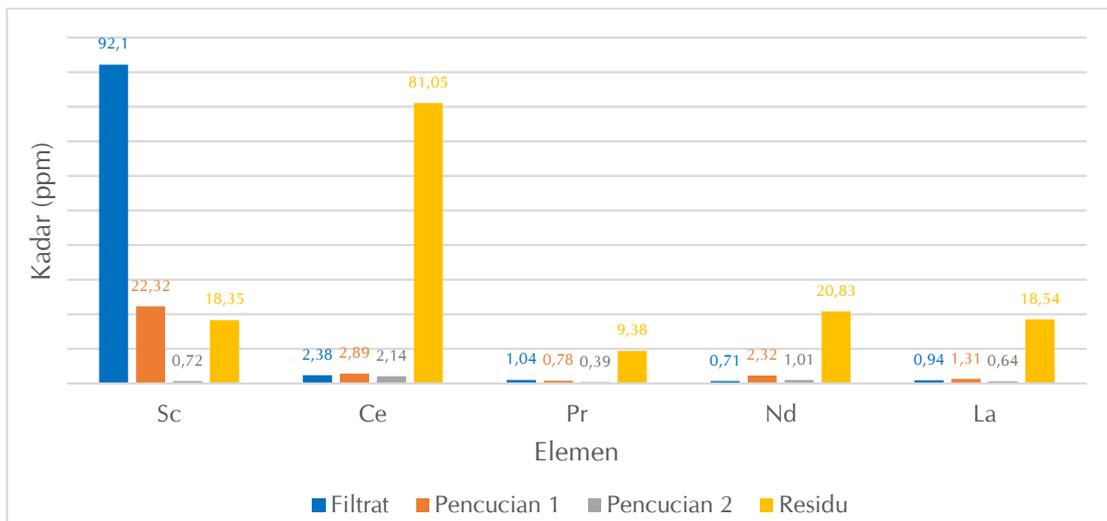
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K ₂ O	TiO_2	P_2O_5	BaO	Cr_2O_3	CuO	PbO	SrO	ZnO	ZrO_2	LOI
%	23,98	15,89	37,37	0,12	0,21	1,46	8,67	0,083	3,39	0,16	0,001	0,028	0,037	0,004	0,004	0,019	0,023	8,55
(ppm)	CeO_2	Dy_2O_3	Er_2O_3	Eu_2O_3	Gd_2O_3	Ho_2O_3	La_2O_3	Lu_2O_3	Nb_2O_5	Nd_2O_3	Pr_2O_3	Sc	Sm_2O_3	ThO_2	Tm_2O_3	U_3O_8	Yb_2O_3	Zr_2O_3
	140	60	9	13	2	2	50	5	3	171	150	53	6	6	234	5,6	2	70



Gambar 2. Komposisi kimia terak residu bauksit sebagai umpan proses pelindian



Gambar 3. Hasil analisis unsur mayor dari filtrat dan residu proses pelindian terak residu bauksit dengan asam sulfat pekat



Gambar 4. Hasil analisis LTJ dari filtrat dan residu proses pelindian dari terak residu bauksit dengan asam sulfat

Dari hasil analisis diketahui bahwa unsur Fe yang masih terkandung pada filtrat yaitu sekitar 1,93% sedangkan dalam residu hanya 0,19%. Kandungan Fe yang relatif kecil tidak akan mengkonsumsi asam dalam jumlah banyak. Berbeda dengan Al dan Ca, kandungannya lebih banyak terdapat di dalam residu daripada di filtrat. Adapun kandungan Na pada filtrat dan residu hampir sama. Dengan demikian yang harus diperhatikan adalah kandungan unsur Fe.

Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar skandium bertambah setelah pelarutan yaitu 92,1 ppm dalam filtrat dan 18,35 ppm dalam residu. Kandungan unsur lainnya seperti cerium (Ce), praseodimium (Pr), neodimium (Nd) dan lantanum (La) banyak terdapat pada residu. Dapat dikatakan bahwa pelindian skandium dan unsur LTJ lainnya berlangsung baik, kecuali Ce yang pelindian tidak optimal. Untuk memperjelas tingkat optimalisasi proses pelindian yang dilakukan, diperlukan perhitungan persen ekstraksi skandium dan

unsur-unsur lainnya berdasarkan persamaan (1) berikut:

$$\text{Hasil perhitungan persen ekstraksi elemen} = \frac{\text{berat elemen di umpan} - \text{berat elemen di residu}}{\text{berat elemen di umpan}} \times 100\%$$

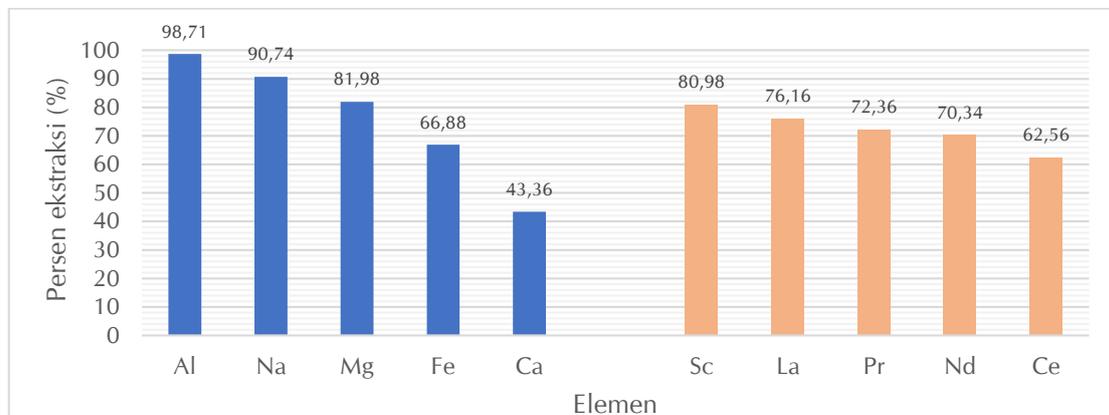
Dari hasil percobaan pelindian dari terak residu bauksit hasil reduksi residu bauksit diketahui bahwa berat umpan 100 g, berat residu 58,21 g, kadar dari masing-masing elemen sebelum dan setelah proses pelindian ditunjukkan pada Gambar 2, 3 dan 4. Dengan menggunakan persamaan (1) di atas, diperoleh persen ekstraksi skandium adalah 80,98%, dengan kondisi proses: kebutuhan asam 700 g/kg, waktu pelindian 2 jam, suhu 200°C, persentase tertinggi dibandingkan dengan unsur LTJ lainnya. Pada Gambar 5 ditunjukkan juga keberadaan dan persen ekstraksi unsur mayor antara lain aluminium dan besi yang tinggi yaitu 98,71 dan 66,88%, yang artinya aluminium dan besi perlu dipisahkan atau dihilangkan sebelum proses ekstraksi dilanjutkan. Dengan cara yang sama maka persen ekstraksi tiap elemen dapat ditentukan, seperti disajikan pada Gambar 5. Hasil ini sejalan dengan penelitian Borra *dkk.* (2015) yang menyatakan bahwa semua LTJ dapat larut dengan asam sulfat, pada suhu 90°C dengan urutan persen ekstraksi terbesar dimulai dari Sc, La, Nd, dan Ce. Adapun Pr tidak ditemukan di dalam sampel tersebut.

Ekstraksi Skandium dari Terak Residu Bauksit dengan Metode Sulfatasi

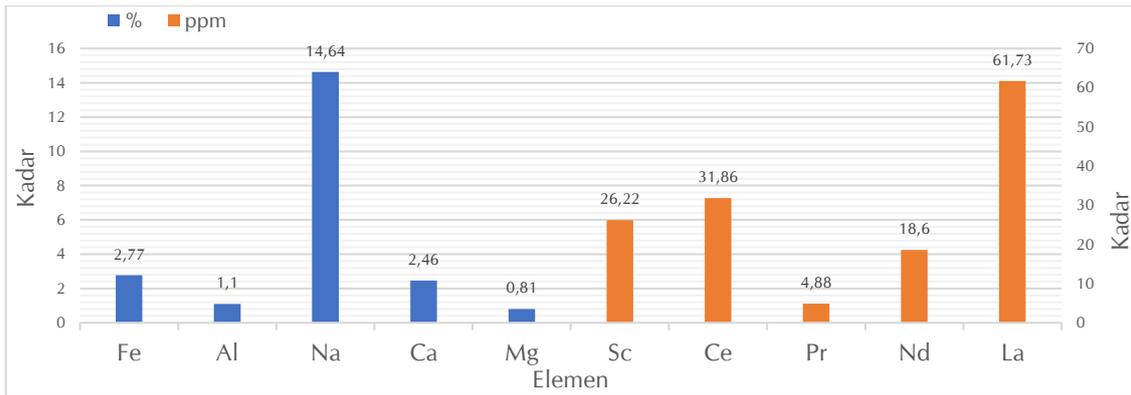
Hasil ekstraksi terak residu bauksit dengan metode sulfatasi (Gambar 6) menunjukkan

unsur utama yang berada dalam residu relatif rendah, kecuali Na. Hal ini menunjukkan pelarutan unsur-unsur tinggi. Berbeda dengan yang dihasilkan Borra, Blanpain, *dkk.* (2016) menyatakan umumnya senyawa yang mengandung Na dan Ca paling banyak mengkonsumsi asam. Perbedaan ini mungkin disebabkan oleh adanya pengendapan dari senyawa mengandung Na, mengakibatkan hasil analisis kandungan Na di residu sangat tinggi (14,64%). Kemungkinan lain adalah pengaruh pemanggangan (*roasting*) yang dapat meningkatkan pelarutan. Seperti ditunjukkan oleh Narayanan, Kazantzis dan Emmert (2019) yang melakukan *roasting* setelah sulfatasi, persen ekstraksi skandium mencapai 85%. Kandungan unsur LTJ yang paling kecil di residu adalah unsur Pr dan yang terbesar adalah La, mengisyaratkan Pr lebih mudah larut dibandingkan La.

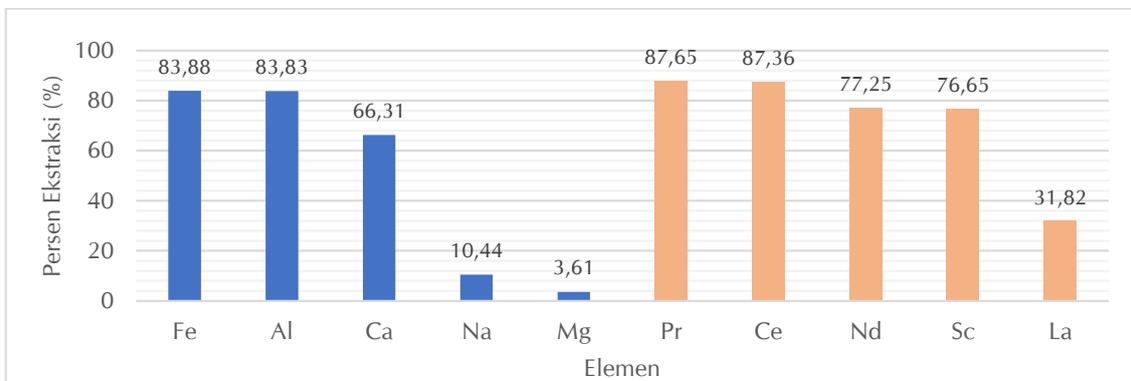
Diketahui bahwa berat umpan pada proses sulfatasi adalah 50 g dan berat residu setelah proses adalah 24,99 g. Dengan menggunakan data kadar masing-masing elemen sebagaimana yang tertera pada Gambar 6, maka hasil perhitungan persen ekstraksi skandium dan unsur-unsur lainnya diperoleh seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Hasil percobaan menunjukkan bahwa secara global persen ekstraksi terbesar secara berturut-turut adalah Pr, Ce, Nd, Sc, dan terakhir adalah La. Persen ekstraksi skandium yang diperoleh pada proses sulfatasi ini adalah 76,65% (26,22 ppm). Apabila dibandingkan dengan pelindian Sc menggunakan asam sulfat pekat pada suhu 200°C yang menghasilkan persen ekstraksi 80,98%, maka dapat dikatakan persen ekstraksi yang didapatkan tidak terlalu berbeda jauh.



Gambar 5. Persen ekstraksi hasil pelindian terak residu bauksit dengan asam sulfat pekat



Gambar 6. Hasil analisis ICP-EOS komposisi kimia residu hasil pelarutan terak residu bauksit dengan metode sulfatasi



Gambar 7. Persen ekstraksi hasil pelindian terak residu bauksit dengan proses sulfatasi

Ekstraksi Skandium dari Terak Residu Bauksit dengan Metode *Alkali Fusion*

Metode lain yang digunakan untuk mengekstraksi skandium dan LTJ lainnya adalah dengan proses *alkali fusion*. Gambar 8 menyajikan hasil analisis elemen dengan ICP-EOS dari proses *alkali fusion*. Dalam membandingkan data hasil analisis bahan baku (Gambar 2) dan data hasil proses (Gambar 8), terdapat dua elemen yang menunjukkan anomali, yaitu Fe dan Na. Kadar Fe melebihi kadar dalam bahan baku, sementara kadar Na tidak mengalami peningkatan setelah penggunaan NaOH sebagai bahan fusi. Atas dasar itu, perhitungan persentase ekstraksi tidak dilakukan. Secara garis besar pelarutan tidak optimal, terlihat dari relatif tingginya kandungan unsur pada residu, sebagai contoh kandungan Al masih 12,48%.

Berat residu hasil percobaan adalah 39,13 g, maka persen ekstraksi dapat dihitung untuk

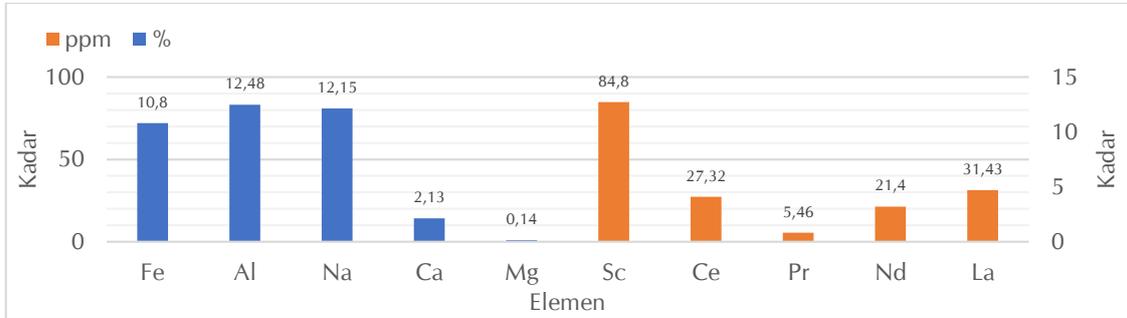
masing-masing elemen. Hasil perhitungan ditunjukkan pada Gambar 9. Hasil percobaan ekstraksi skandium dan Nd dengan peleburan basa menunjukkan persen ekstraksi skandium sangat rendah yaitu 33,55%, sebaliknya untuk unsur lainnya seperti Ce, Pr dan Nd mempunyai persen ekstraksi yang cukup tinggi masing masing 90,46%, 87,84% dan 76,97%. Shoppert *dkk.* (2022) melakukan proses *alkali fusion* dan dilanjutkan pelindian dengan asam nitrat menghasilkan persen ekstraksi skandium 57,5%. Data ini menunjukkan proses *alkali fusion* tidak optimal untuk ekstraksi skandium.

Ekstraksi Skandium dari Terak Residu Bauksit dengan Metode Pelindian Dua Tahap

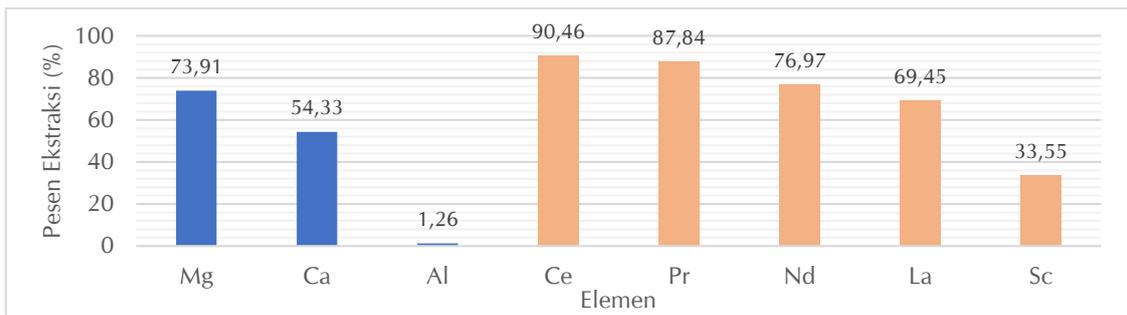
Pada metode ini, pelindian dilakukan dalam 2 tahap yaitu: pelindian tahap 1, sampel dilindi dengan asam sulfat pada konsentrasi 500 g/kg, suhu 90°C dan waktu pelindian 3 jam; pelindian tahap 2, terhadap residu dari hasil pelindian tahap 1 dilakukan pelindian kembali

dengan asam sulfat pada kondisi yang sama dengan pelindian tahap 1. Hasil analisis sampel yang digunakan pada pelindian tahap 1 dan tahap 2 dapat dilihat pada Gambar 10. Pelindian 2 tahap tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap pelarutan unsur-unsur

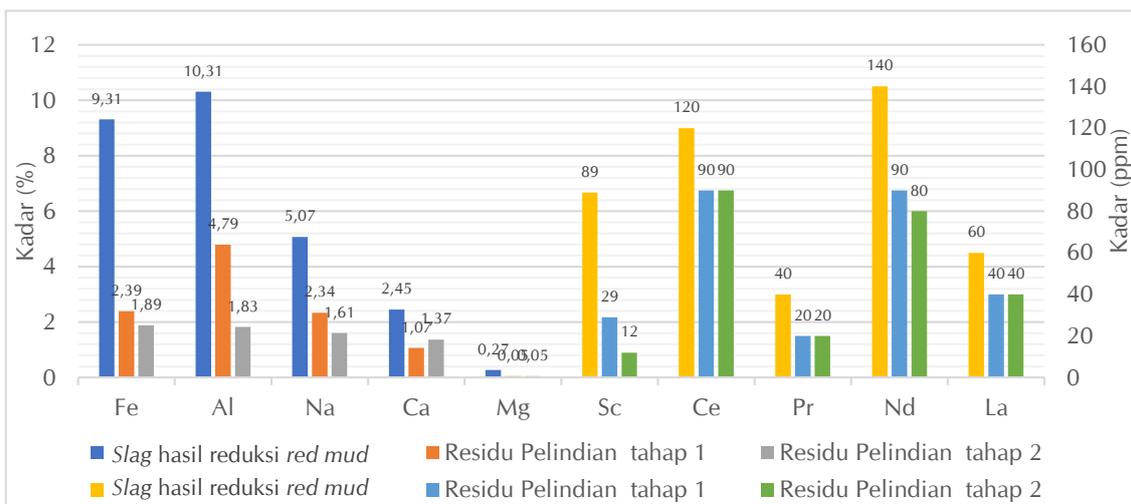
utama, kecuali terhadap unsur Al yang kadarnya berubah dari 4,79% menjadi 1,87%. Lebih jelas lagi pada unsur LTJ pengaruh pelindian 2 tahap sangat rendah, kecuali untuk unsur skandium, masih ada penurunan kadar dari 29 ppm menjadi 12 ppm.



Gambar 8. Hasil analisis XRF dan ICP-EOS elemen mayor dan elemen minor dalam residu hasil proses *alkali fusion* (peleburan)



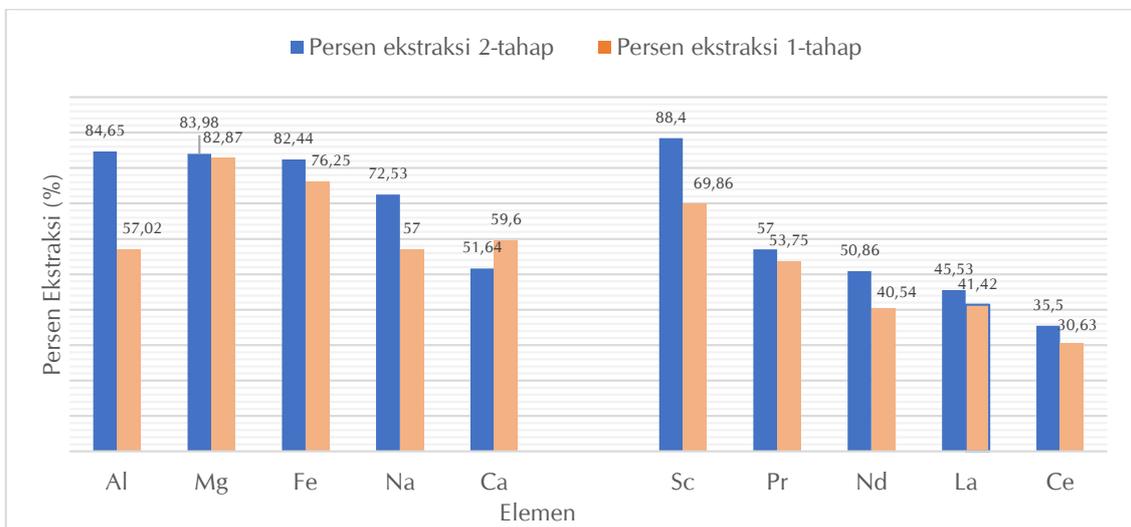
Gambar 9. Persen ekstraksi hasil pelindian terak residu bauksit dengan proses *alkali fusion*



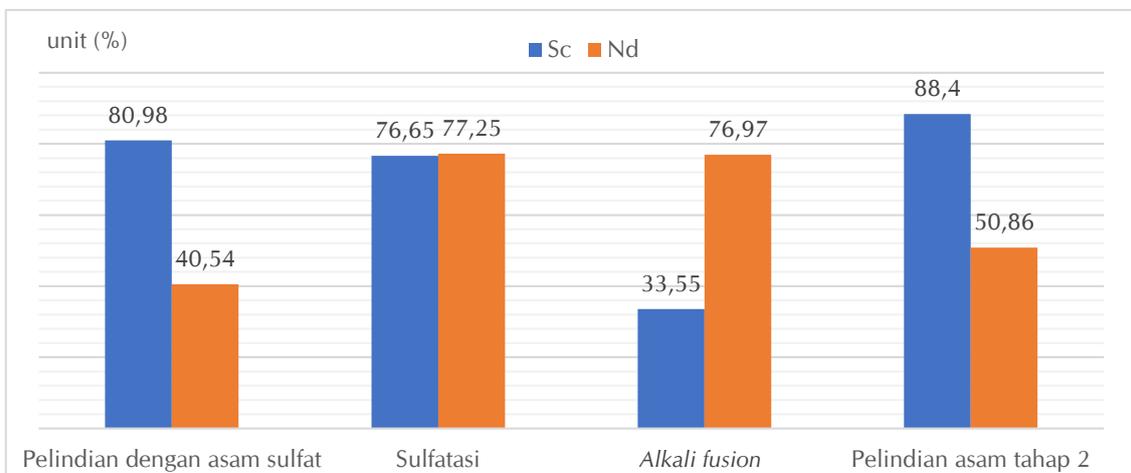
Gambar 10. Hasil analisis dengan ICP OES pelindian terak residu bauksit elemen mayor dan minor pada pelindian tahap 1 dan tahap 2

Gambar 11 menunjukkan bahwa persen ekstraksi skandium pada pelindian tahap 1 hanya sekitar 69,86% selanjutnya ketika dilakukan pelindian tahap 2 terhadap residu yang dihasilkan pada pelindian tahap 1, perolehan skandium meningkat menjadi 88,40%. Penyebab meningkatnya persen ekstraksi pada pelindian tahap 2 karena adanya akumulasi skandium yang telah lepas dari mineral pembawanya namun masih berada dalam residu, sehingga pada pelindian 2 adanya asam sulfat yang baru hanya digunakan untuk mengekstraksi skandium yang tersisa. Namun untuk unsur LTJ lainnya tidak signifikan (persen ekstraksi lainnya di bawah 60%). Bila dibandingkan dengan metoda HPAL, persen

ekstraksi skandium yang diperoleh adalah 90% (Rivera *dkk.*, 2019), dengan metode 2 tahap ini sudah mendekati yaitu 88,4%. Namun Habibi *dkk.* (2023) melakukan pelindian residu bauksit hanya satu tahap pada tekanan atmosfer menghasilkan persen ekstraksi 92,93%. Diungkap lebih jauh, hal ini disebabkan oleh adanya pengaruh positif kalsinasi terhadap sampel sebelum proses pelindian dilakukan. Hal menarik pada Gambar 11, kelarutan skandium dan besi hampir serupa yang memberikan persen ekstraksi sekitar 80%. Korelasi ini menunjukkan adanya korelasi skandium dengan besi. Hasil serupa juga diamati pada hasil studi Borra *dkk.* (2015).



Gambar 11. Persen ekstraksi hasil pelindian unsur mayor dan minor dari terak residu bauksit dengan proses pelindian asam 2 tahap



Gambar 12. Persen ekstraksi hasil pelindian skandium dan neodimium dari terak residu bauksit

Dari keempat metode ekstraksi, perolehan skandium yang cukup tinggi adalah pada pelindian dengan asam sulfat pekat dan pelindian 2 (dua) tahap, yaitu 80,98 dan 88,40%. Dari data literatur, hasil persen ekstraksi yang diperoleh lebih rendah. Penyebabnya adalah pada penelitian ini tidak dilakukan *roasting* terhadap sampel, karena bahan baku yang digunakan adalah terak, sehingga tahapan *roasting* dianggap tidak berpengaruh. Namun dalam penelitian Narayanan, Kazantzis dan Emmert (2018) yang melakukan pelindian dengan asam pekat, dilanjutkan dengan *roasting* memberikan persen ekstraksi skandium di atas 95%. Dengan demikian jelas diketahui bahwa pengaruh *roasting* terhadap pelindian cukup berarti. Demikian juga dengan sulfatasi yang dilanjutkan dengan *roasting* memberikan persen ekstraksi sebesar 85% (Borra, Mermans, dkk., 2016), sedangkan *alkali fusion* memberikan hasil yang tidak memuaskan, sebagaimana juga diperoleh Shoppert dkk. (2022). Hasil pelindian 2 tahap memberikan hasil yang relatif sama dengan hasil studi Habibi dkk. (2023), namun bila hanya 1 tahap, persen ekstraksi yang dihasilkan hanya 69,86%.

Pada pelindian dengan asam sulfat pekat, konsentrasi asam yang digunakan adalah 700 g/kg, suhu 200°C, waktu pelindian 2 jam dan dilanjutkan dengan pelindian menggunakan air dengan waktu 1 jam, sedangkan pada pelindian 2 tahap, kondisi proses yang digunakan adalah sama yaitu; konsentrasi asam yang digunakan adalah 500 g/kg, suhu 90°C, waktu pelindian 3 jam untuk setiap tahap pelindian. Dengan persen ekstraksi skandium yang tidak jauh berbeda antara pelindian asam dengan pelindian pada 2 tahap. Maka kedua metode ini dapat dipertimbangan untuk penelitian selanjutnya khususnya terkait konsentrasi asam, temperatur dan waktu.

Permasalahan yang perlu diatasi berikutnya adalah polimerisasi dari silika. Sebagaimana disampaikan sebelumnya bahwa kandungan mineral kuarsa, sodalit dan kankrinit merupakan mineral silika yang paling melimpah dalam residu bauksit. Ketika dilakukan reduksi mineral ini berubah menjadi silika amorf, yang sangat mudah larut dan membentuk gel ketika proses pelarutan dengan asam dilakukan. Senyawa silika amorf memiliki kelarutan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kuarsa, yang membuat

mineral ini menjadi perhatian khusus untuk penelitian lebih lanjut. Pembentukan silika gel merupakan permasalahan serius dalam ekstraksi logam dari bijih maupun dari residu proses dengan metode hidrometalurgi karena larutan gel tidak lagi dapat disaring (Shi dkk., 2017). Selain itu, gel ini melapisi permukaan partikel bijih sehingga mengganggu proses pelarutan lebih lanjut dan mengurangi kinetika pelindian secara signifikan. Alkan dkk. (2019) telah mendapatkan efisiensi ekstraksi skandium dari terak residu bauksit sebesar 80% dan berhasil menekan pelarutan silika sehingga tidak terjadi polimerisasi. Oleh karena itu tinjauan terhadap pelarutan silika yang dikembangkan Alkan dkk. (2019) perlu dicermati.

KESIMPULAN

Proses ekstraksi skandium dan LTJ lainnya dilakukan dari terak residu bauksit melalui proses reduksi dan benefisi untuk memisahkan kandungan besi yang tinggi. Proses pelindian kandungan utama seperti Al, Si, Na, masih menjadi kesulitan dalam pemisahan skandium dan LTJ lainnya.

Dari 4 (empat) metode yang diuji pada penelitian ini, metode *alkali fusion* (peleburan basa) menghasilkan persen ekstraksi yang rendah, sedangkan persen ekstraksi terbaik diperoleh dari proses pelindian asam 2 tahap dengan nilai 88,4%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada segenap rekan-rekan yang membantu penulis dalam melakukan kegiatan ini termasuk Analis Laboratorium Kimia mineral yang telah mendukung dalam menghasilkan data hasil analisis sampel awal dan hasil proses, sehingga kegiatan ini dapat berjalan dan diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, S. dan Dhawan, N. (2021a) "Evaluation of microwave acid baking on Indian red mud sample," *Minerals Engineering*, 160, hal. 106686. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106686>.

- Agrawal, S. dan Dhawan, N. (2021b) "Microwave acid baking of red mud for extraction of titanium and scandium values," *Hydrometallurgy*, 204, hal. 105704. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2021.105704>.
- Alkan, G., Yagmurlu, B., Gronen, L., Dittrich, C., Ma, Y., Stopic, S. dan Friedrich, B. (2019) "Selective silica gel free scandium extraction from Iron-depleted red mud slags by dry digestion," *Hydrometallurgy*, 185, hal. 266–272. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2019.03.008>.
- Anawati, J. dan Azimi, G. (2019) "Recovery of scandium from Canadian bauxite residue utilizing acid baking followed by water leaching," *Waste Management*, 95, hal. 549–559. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.06.044>.
- Archambo, M.S. dan Kawatra, S.K. (2021) "Utilization of bauxite residue: Recovering iron values using the iron nugget process," *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 42(4), hal. 222–230. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1080/08827508.2020.1720982>.
- Avdibegović, D., Regadio, M. dan Binnemans, K. (2017) "Recovery of scandium (iii) from diluted aqueous solutions by a supported ionic liquid phase (SILP)," *RSC Adv.*, 7(78), hal. 49664–49674. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1039/C7RA07957E>.
- Bhoi, B., Rajput, P. dan Mishra, C.R. (2017) "Production of green direct reduced iron (DRI) from red mud of Indian origin: A novel concept," in *Proceedings of 35th International ICSOBA Conference*. Hamberg, Germany: ICSOBA, hal. 565–574.
- Borra, C.R., Blanpain, B., Pontikes, Y., Binnemans, K. dan Van Gerven, T. (2016) "Smelting of bauxite residue (red mud) in view of iron and selective rare earths recovery," *Journal of Sustainable Metallurgy*, 2(1), hal. 28–37. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1007/s40831-015-0026-4>.
- Borra, C.R., Mermans, J., Blanpain, B., Pontikes, Y., Binnemans, K. dan Van Gerven, T. (2016) "Selective recovery of rare earths from bauxite residue by combination of sulfation, roasting and leaching," *Minerals Engineering*, 92, hal. 151–159. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.03.002>.
- Borra, C.R., Pontikes, Y., Binnemans, K. dan Van Gerven, T. (2015) "Leaching of rare earths from bauxite residue (red mud)," *Minerals Engineering*, 76, hal. 20–27. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2015.01.005>.
- Davris, P., Marinos, D., Balomenos, E., Panias, D. dan Paspaliaris, I. (2018) "Hydrometallurgical extraction of scandium from bauxite residue based on sulfuric acid process," in Y. Pontikes (ed.) *2nd International Bauxite Residue Valorisation and Best Practices Conference*. Athens, Greece: KU Leuven, hal. 449–454.
- Fagi, F. (2019) *Magnet tetap sebagai sumber energi terbarukan, Energi Baru dan Terbarukan*. Tersedia pada: <http://energibarudanterbarukan.blogspot.com/2011/04/magnet-tetap-sebagai-sumber-energi.html> (Diakses: 3 April 2023).
- Gotsu, S., Mishra, B. dan Martins, G. (2018) "Extraction of iron from red mud: Low temperature reduction to magnetite and magnetic separation," in Y. Pontikes (ed.) *Proceedings of the 2nd International Bauxite Residue Valorization and Best Practices Conference*. Atlanta, Greece: KU Leuven, hal. 7–10.
- Habibi, H., Mokmeli, M., Shakibania, S., Pirouzan, D. dan Pourkarimi, Z. (2023) "Separation and recovery of titanium and scandium from the red mud," *Separation and Purification Technology*, 317, hal. 123882. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.123882>.
- Kanekaputra, M.R. dan Mubarak, M.Z. (2023) "Extraction of scandium from bauxite residue by high-pressure leaching in sulfuric acid solution," *Heliyon*, 9(3), hal. e14652. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14652>.
- Kaya, Ş., Dittrich, C., Stopic, S. dan Friedrich, B. (2017) "Concentration and separation of scandium from Ni laterite ore processing streams," *Metals*, 7(12), hal. 557. Tersedia pada: <https://doi.org/10.3390/met7120557>.
- Li, X., Zhou, Z., Wang, Y., Zhou, Q., Qi, T., Liu, G. dan Peng, Z. (2020) "Enrichment and separation of iron minerals in gibbsitic bauxite residue based on reductive Bayer digestion," *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 30(7), hal. 1980–1990. Tersedia pada: [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(20\)65355-9](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(20)65355-9).
- Merrill, A.M. (2023) "Bauxite and alumina," in *Mineral Commodity Summaries*. U.S. Geological Survey, hal. 2.

- Narayanan, R.P., Kazantzis, N.K. dan Emmert, M.H. (2018) "Selective process steps for the recovery of scandium from Jamaican bauxite residue (red mud)," *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(1), hal. 1478–1488. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b03968>.
- Narayanan, R.P., Kazantzis, N.K. dan Emmert, M.H. (2019) "Process for scandium recovery from Jamaican bauxite residue: A probabilistic economic assessment," *Materials Today: Proceedings*, 9, hal. 578–586. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.10.378>.
- Paramguru, R.K., Rath, P.C. dan Misra, V.N. (2004) "Trends in red mud utilization – A review," *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 26(1), hal. 1–29. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1080/08827500490477603>.
- Rivera, R.M., Ulenaers, B., Ounoughene, G., Binnemans, K. dan Van Gerven, T. (2018) "Extraction of rare earths from bauxite residue (red mud) by dry digestion followed by water leaching," *Minerals Engineering*, 119, hal. 82–92. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.01.023>.
- Rivera, R.M., Xakalashé, B., Ounoughene, G., Binnemans, K., Friedrich, B. dan Van Gerven, T. (2019) "Selective rare earth element extraction using high-pressure acid leaching of slags arising from the smelting of bauxite residue," *Hydrometallurgy*, 184, hal. 162–174. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2019.01.005>.
- Sadangi, J.K., Das, S.P., Tripathy, A. dan Biswal, S.K. (2018) "Investigation into recovery of iron values from red mud dumps," *Separation Science and Technology*, 53(14), hal. 2186–2191. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1080/01496395.2018.1446984>.
- Shi, L., Ruan, S., Li, J. dan Gerson, A.R. (2017) "Desilication of low alumina to caustic liquor seeded with sodalite or cancrinite," *Hydrometallurgy*, 170, hal. 5–15. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2016.06.023>.
- Shoppert, A., Loginova, I., Napol'skikh, J., Kyrchikov, A., Chaikin, L., Rogozhnikov, D. dan Valeev, D. (2022) "Selective scandium (Sc) extraction from bauxite residue (red mud) obtained by alkali fusion-Leaching method," *Materials*, 15(2), hal. 433. Tersedia pada: <https://doi.org/10.3390/ma15020433>.
- Wang, L., Sun, N., Tang, H. dan Sun, W. (2019) "A review on comprehensive utilization of red mud and prospect analysis," *Minerals*, 9(6), hal. 362. Tersedia pada: <https://doi.org/10.3390/min9060362>.
- Wang, W., Pranolo, Y. dan Cheng, C.Y. (2013) "Recovery of scandium from synthetic red mud leach solutions by solvent extraction with D2EHPA," *Separation and Purification Technology*, 108, hal. 96–102. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.02.001>.
- Zhang, N., Li, H.-X. dan Liu, X.-M. (2016) "Recovery of scandium from bauxite residue—red mud: A review," *Rare Metals*, 35(12), hal. 887–900. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1007/s12598-016-0805-5>.

