



PENKAYAAN UNSUR YTTRIUM DAN CERIUM PADA TERAK TIMAH BANGKA: ANALISIS TERMODINAMIKA

Sulaksana Permana^{a,*}, Debby Rachel^a, Agus Budi Prasetyo^{a,b}, Rafdi Abdul Majid^c,
Wahyu Kartika^d, Iwan Susanto^e, Johny Wahyuadi Soedarsono^a

^aCentre of Mineral Processing and Corrosion Research, Departemen Teknik Metalurgi and Material
Universitas Indonesia, Depok, Indonesia 16424

^bPusat Penelitian Metalurgi dan Material – LIPI

Gedung 470 Kawasan Puspiptek Serpong, Indonesia 15310

^cDepartemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Industri, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia 90231

^dDepartemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Jakarta Raya,
Kota Bekasi, Indonesia, 17121

^eDepartemen Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Indonesia 16425

*E-mail: sulaksana@yahoo.com

Masuk tanggal : 20-07-2020, revisi tanggal : 28-07-2020, diterima untuk diterbitkan tanggal 29-07-2020

Abstrak

Pada penelitian ini, terak timah Bangka-2 (TTB-2) dilakukan serangkaian kondisi proses untuk mendapatkan hasil pengkayaan yttrium dan cerium yang optimal. Proses yang dilakukan adalah dengan melakukan pemanggangan TTB-2 pada suhu 900 °C, pelindian dengan NaOH, pelindian dengan HNO₃ dan terakhir pelindian dengan H₃PO₄ dengan variasi konsentrasi. Analisis termodinamika dilakukan dengan perangkat lunak HSC 6.0 untuk mendapatkan Diagram Eh-pH sistem Ca-Na-H₂O; Ce-Na-H₂O; Y-Na-H₂O; Ce-N-H₂O; Y-N-H₂O; Ce-P-H₂O dan Y-P-H₂O pada suhu 25 °C dengan tujuan melihat unsur yang terlarut ke dalam larutan NaOH, HNO₃ dan H₃PO₄. Hasil yang didapatkan adalah kadar optimal cerium 4,39% setelah kondisi proses pelindian NaOH dan kadar yttrium mengalami peningkatan terus pada seluruh kondisi proses serta didapatkan kadar optimal 1,35% setelah dilakukan pelindian dengan HNO₃ 2M dan H₃PO₄ 1,5 M.

Kata Kunci: Cerium, pelindian, terak timah Bangka, unsur tanah jarang, yttrium

Abstract

In this analysis, the Bangka tin slag-2 (BTS-2) was carried out in a series of process conditions to obtain optimal yttrium and cerium enrichment results. The method is carried out by roasting BTS-2 at 900 °C, leaching with NaOH, leaching with HNO₃, and finally leaching with H₃PO₄ with different concentrations. The thermodynamic analysis was performed using HSC 6.0 software to obtain the Ca-Na-H₂O Eh-pH diagram system; Ce-Na-H₂O; Y-Na-H₂O; Ce-N-H₂O; Y-N-H₂O; Ce-P-H₂O and Y-P-H₂O at 25 °C to see the leached elements in NaOH, HNO₃, and H₃PO₄ solutions. The results obtained were that the optimal cerium content was 4.39 % after the NaOH leaching phase. The yttrium content continued to increase under all process conditions, and that the optimal cerium content was 1.35 % after leaching with HNO₃ 2 M and H₃PO₄ 1.5 M.

Keywords: Cerium, leaching, Bangka tin slag, rare earth element, yttrium

1. PENDAHULUAN

Unsur logam tanah jarang (UTJ) banyak digunakan pada teknologi saat ini seperti pada bidang elektronika, manufaktur, medis, teknologi laser, kendaraan hibrid, turbin angin, baterai

nuklir dan baterai pengisi, katalis bahan bakar bio dan lainnya[1].

Karena begitu diperlukannya UTJ pada peralatan teknologi informasi (IT), hal inilah yang menyebabkan meningkat pesatnya permintaan UTJ seiring pertumbuhan yang tajam pada dunia IT tersebut[2]. Namun hal ini

berkebalikan yang dilakukan oleh Cina sebagai pemimpin pasar dunia UTJ, dimana negara tersebut telah memperketat pembatasan ekspor UTJ terkonsentrasi. Hal inilah yang menyebabkan banyak negara melakukan penelitian dan eksplorasi pada sumber daya material baru seperti tambang perkotaan dan UTJ dengan tingkat konsentrasi rendah.

Penelitian sumber UTJ dari hasil samping penambangan dan pemurnian timah di kepulauan Bangka Belitung telah dilakukan oleh Krzysztof Szamalek dan kawan kawan [3]. Penelitian tentang UTJ pada TTB-2 diawali dengan melakukan analisis termodinamika dengan software HSC 6.0 pada kasus peningkatan kadar UTJ pada TTB [4], evaluasi pemrosesan termal ekstraksi dan pemisahan UTJ pada proses daur ulang sampah peralatan listrik dan elektronik juga menggunakan simulasi termodinamika *software FactSage 7.2* untuk pelindian serbuk lampu fluoresen oleh asam sulfat [5].

Komposit mesopori berbasis perlit yang diperluas / *expanded perlite-based* (EPd-APTES @Fe₃O₄) dirancang dan disintesis sebagai adsorben baru untuk pengayaan ion tanah jarang dalam larutan air, parameter termodinamika menyatakan bahwa proses adsorpsi bersifat endotermik. Lebih penting lagi, studi adsorpsi-desorpsi menunjukkan bahwa komposit bahan nano EPd-APTES@Fe₃O₄ memiliki stabilitas tinggi dan kemampuan daur ulang yang baik [6].

Fenomena inklusi non-logam sebagai akibat dari penambahan yttrium sebagai komponen paduan pada baja cair, urutan pengenalan komponen individu menentukan kandungan akhir mereka dalam baja, dan masalah ini dianalisis menggunakan program WYK_Stal. Studi pengendapan fase Y₂O₃ dan Y₂S₃ dan hubungan antara penambahan Y, Al, Ca, O, dan S pada baja cair dipelajari dengan menggunakan model termodinamika berdasarkan formalisme Wagner, jika yttrium dimasukkan setelah aluminium dan kalsium, yttrium digunakan untuk pengendapan sulfida, dan dengan cara ini pembentukan mangan sulfida berkurang [7].

Unsur racun potensial (Be, U, As, Cd, Pb, Sb, Bi) terdeteksi untuk lanskap tambang deposit timah-polimetalik Sherlovaya Gora. Perhitungan kesetimbangan termodinamika air kolam pembuangan *tailing* dilakukan melalui program kompleks "Selektor" berdasarkan algoritma minimisasi $\Delta G_{25\text{ }^\circ\text{C}}$ dan tekanan total 1 bar, ternyata air tambang jenuh terhadap banyak sulfat Ca, Mg, Sr, Zn, K, Cu, Ni, Cd, Be, Al, Ce dan Y, fluorida (Ln dan Y, Sc), dan Y fosfat [8].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan pengkayaan dengan kadar optimal

dari unsur cerium dan yttrium setelah TTB-2 dilakukan pemanggangan pada suhu 900 °C dan pencelupan ke dalam air, pelindian dengan NaOH, pelindian dengan HNO₃, dan pelindian dengan H₃PO₄ dengan variasi konsentrasi.

2. PROSEDUR PERCOBAAN

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa kondisi proses, untuk memudahkan pembahasan dan mengefisiensikan kalimat serta penyebutan pada grafik maka dilakukan penyingkatan penyebutan. Beberapa penyingkatan penyebutan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kondisi proses dan simbol

Simbol	Keterangan Kondisi Proses
I	Terak Awal
II	Pelindian dengan NaOH 8M
III	Pelindian dengan HNO ₃ 2M
IV	Pelindian dengan HNO ₃ 2M dilanjutkan dengan H ₃ PO ₄ 0,5M
V	Pelindian dengan HNO ₃ 2M dilanjutkan dengan H ₃ PO ₄ 1M
VI	Pelindian dengan HNO ₃ 2M dilanjutkan dengan H ₃ PO ₄ 1,5M

2.1 Material dan Peralatan

Sampel terak timah Bangka-2 didapatkan dari salah satu pabrik peleburan timah di kepulauan Bangka dan Belitung. Beberapa larutan kimia yang digunakan pada penelitian ini adalah larutan aquadest, NaOH (teknis) 8M, larutan HNO₃ (p.a) 2M dan larutan H₃PO₄ 0,5 M; 1 M; 1,5 M. Peralatan yang digunakan adalah *ball mill*, pengayak, *barnstead thermolyne furnace*, *magnetic stirrer thermo scientific CIMAREC*, *spinbar Bel-Art™ scienceware™*, gelas *beaker*, gelas ukur, labu takar, indikator pH dan *oven MEMMERT UN55 Universal*.

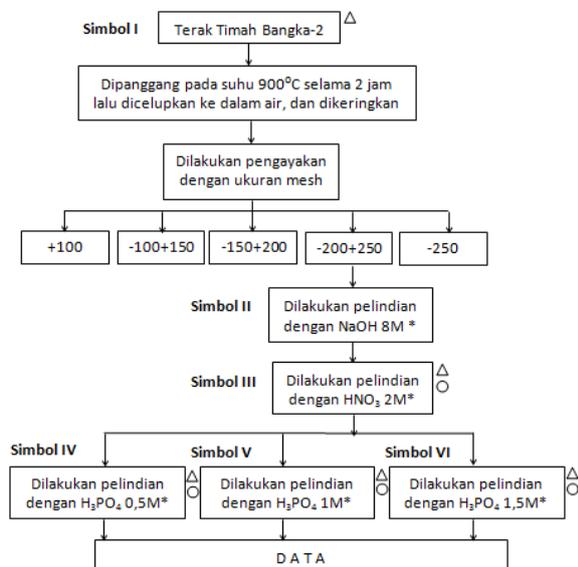
2.2 Prosedur

Pada tahap awal terak timah dilakukan proses pemanggangan pada suhu 900 °C selama 2 jam dilanjutkan pencelupan ke dalam air, dan setelah sampel terak timah Bangka-2 berada pada suhu kamar dan kering lalu dilakukan pengayakan. Sampel dengan ukuran butir -200+250 mesh dilakukan proses pelindian dengan NaOH dan selanjutnya dikeringkan, kemudian residu hasil pelindian basa selanjutnya dilakukan pelindian asam menggunakan pelarut HNO₃ dan selanjutnya dikeringkan serta dilanjutkan pelindian dengan H₃PO₄ dengan variasi konsentrasi dan selanjutnya dikeringkan. Rute proses penelitian pengkayaan unsur yttrium dan cerium pada terak timah Bangka-2 diperlihatkan pada Gambar 1.

2.3 Karakterisasi dan Analisis

Seluruh sampel terak timah Bangka-2 dikarakterisasi komposisi kimianya dengan menggunakan XRF (*X-ray fluorescence*), konsentrasi besi (Fe) dan kalsium (Ca) terlarut

dalam filtrat dikarakterisasi dengan menggunakan AAS (*atomic absorption spectroscopy*). Software *HSC Chemistry 6.0* digunakan untuk melihat analisis termodinamika yaitu untuk mendapatkan nilai ΔG dan Diagram Pourbaix, sedangkan tautan www.chemiday.com digunakan untuk melakukan produk yang terjadi jika terdapat 2 reaktan dilakukan reaksi kimia.



Keterangan:

* Sampel dilakukan pelindian selama 2 jam pada suhu kamar selanjutnya dikeringkan

△ Sampel padatan dikarakterisasi dengan XRF

○ Sampel filtrate dikarakterisasi dengan AAS

Gambar 1. Rute proses penelitian pengkayaan unsur yttrium dan cerium pada TTB-2

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel terak timah Bangka-2 (TTB-2) dilakukan pemanggangan pada suhu 900 °C selama 2 jam yang dilanjutkan dengan pencelupan dalam air dengan maksud memperluas area pembasahan dengan tahapan merubah permukaan menjadi lebih porous karena kondisi patah dan retak akibat perlakuan panas, dengan merujuk pada penelitian sebelumnya [9]. Dengan memperluas area pembasahan, diharapkan kondisi proses pelindian akan lebih berhasil melarutkan oksida-oksida ikutan yang kurang berharga.

Pada proses pemanggangan dengan suhu 900 °C sudah tentu akan terjadi reaksi kimia jika kita melakukan tinjauan dengan Ellingham Diagram, namun pada penelitian ini kami belum melakukan pembahasannya, demikian juga halnya dengan hasil pemanggangan 900 °C yang dilakukan pencelupan ke dalam air, kami juga belum melakukan pembahasannya.

3.1 Pemanggangan dan Pelindian dengan NaOH

Hasil pengayakan pada ukuran butir -200+250 mesh memperlihatkan seluruh kadar oksida yang tinggi, sekalipun kadar Y tertinggi pada ukuran butir -100+150 mesh yaitu 1,06 % tetapi kadar Y pada ukuran butir -200+250 mesh 0,93 % terjadi perbedaan yang sedikit sehingga ditetapkan sampel TTB-2 diambil ukuran butir -200+250 mesh.

Pelindian dengan NaOH mengacu pada penelitian sebelumnya [10], dimana dijelaskan bahwa pelindian TTB-2 dengan pelarut NaOH akan melarutkan oksida-oksida Al_2O_3 , Fe_2O_3 , dan ZrO_2 .

Tabel 2. Distribusi ukuran hasil pengayakan terak timah Bangka-2

Distihasi Ukuran(Mesh)	Kadar (%)								Total (%)
	Y	Ce	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Sn	Zr	CaO	
+100	0,64	0,65	2,57	0,96	1,29	2,24	1,09		9,44
-100+150	1,06	1,33	6,3	2,43	2,58	3,21	1,92	0,86	19,69
-150+200	0,88	1,27	4,68	1,82	2,01	2,63	1,52	0,03	14,84
-200+250	0,93	3,93	12,89	3,32	4,17	7,06	4,05	4,42	40,77
-250	0,89	1,01	4,75	1,78	1,97	2,93	1,55		14,88

Tabel 3. Data ΔG reaksi oksida-oksida SiO₂, CaO, TiO₂, Fe₂O₃ dan ZrO₂ dengan NaOH

Reaksi	ΔG (kcal)
$SiO_2 + 2NaOH \rightarrow Na_2SiO_3 + H_2O$	-21,228
$CaO + 2NaOH \rightarrow Ca(OH)_2 + Na_2O$	21,047
$6TiO_2 + 2NaOH \rightarrow Na_2Ti_6O_{13} + H_2O$	-23,582
$Fe_2O_3 + 2NaOH \rightarrow 2NaFeO_2 + H_2O$	-4,262
$ZrO_2 + 2NaOH \rightarrow Na_2ZrO_3 + H_2O$	-5,954

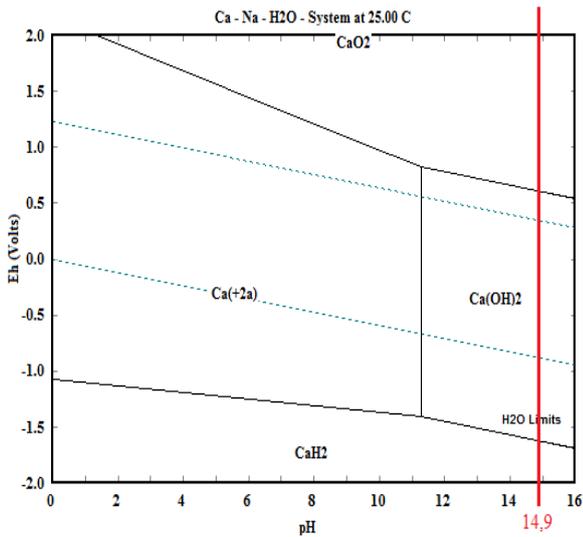
Dari Tabel 3 reaksi antara NaOH dengan SiO₂, TiO₂, Fe₂O₃, dan ZrO₂ keseluruhannya memperlihatkan nilai ΔG negatif, hal ini menunjukkan bahwa reaksi berlangsung secara spontan. Nilai ΔG reaksi yang bernilai positif terjadi hanya pada reaksi antara CaO dengan NaOH. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi berlangsung tidak spontan. Oleh karena itu kadar CaO setelah pelindian dengan NaOH tidak berkurang tetapi justru bertambah oleh karena senyawa oksida SiO₂, TiO₂, Fe₂O₃ dan ZrO₂ terlarut sebagian. Karakterisasi komposisi kimia filtrat dengan AAS (*atomic absorption spectroscopy*) pada kondisi proses II diperlihatkan pada Tabel 4 dimana hasil filtrat memperlihatkan kadar kalsium yang tidak terdeteksi.

Tabel 4. Hasil karakterisasi AAS pada filtrat

Kondisi Proses	Fe (ppm)	Ca (ppm)
II	31	tidak terdeteksi
IV	178,46	2.344,05
V	190,70	2.447,90
VI	267,69	2.659,00

Selain itu analisis mengapa kalsium diperkirakan tidak terlarut adalah dapat dilihat pada Diagram Pourbaix pada Gambar 2, dimana

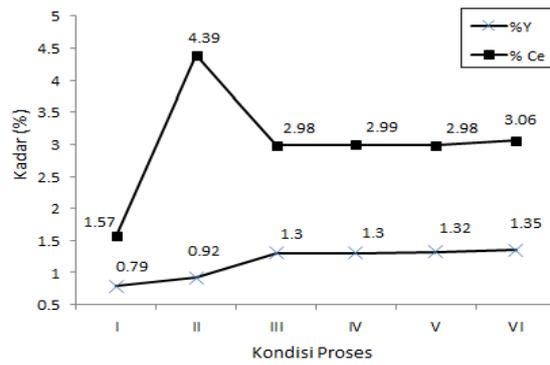
terlihat bahwa pada Diagram Pourbaix dengan sistem Ca-Na-H₂O, Ca pada pH 14,9, akan stabil menjadi senyawa Ca(OH)₂, CaH₂ atau CaO yang padat, sehingga tidak akan terlarut pada saat pelindian dengan NaOH 8 M. Pada Gambar 7 terlihat juga peningkatan kadar TiO₂ dan Fe₂O₃ pada kondisi proses II, sudah tentu hal ini berlawanan informasi dengan data pada Tabel 3 dimana nilai ΔG nya negatif yang harusnya terlarutkan, hal ini akan menjadi tantangan pada penelitian berikutnya.



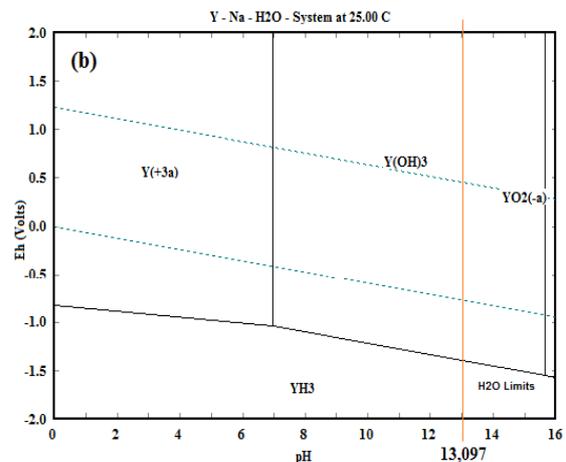
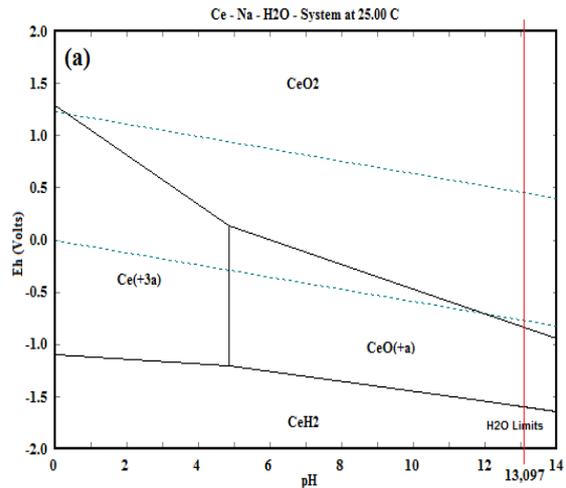
Gambar 2. Diagram Pourbaix sistem Ca-Na-H₂O pada suhu 25 °C

Kenaikan kadar cerium dari kondisi proses I ke kondisi proses II terlihat sangat signifikan yaitu dari kadar 1,57 % menjadi 4,39%, hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut: jika kita melihat Tabel 3 data ΔG reaksi oksida-oksida SiO₂, CaO, TiO₂, Fe₂O₃, dan ZrO₂ dengan NaOH akan mendukung kenaikan kadar cerium. Namun ada hal utama yang menyebabkan kenaikan kadar cerium adalah pelarutan cerium ke dalam NaOH 8M (pH= 13,097) menyebabkan cerium membentuk senyawa oksida cerium yaitu CeO₂ atau senyawa CeH₂, hal inilah yang membuat cerium tidak terlarutkan. Pembentukan senyawa CeO₂ atau CeH₂ dapat dijelaskan dengan Diagram Pourbaix sistem Ce-Na-H₂O pada suhu 25 °C yang ditunjukkan pada Gambar 4(a).

Penjelasan kenaikan kadar yttrium pada kondisi proses II dapat dilihat pada Gambar 4(b) dimana pelarutan yttrium dengan NaOH 8M (pH= 13,097) menghasilkan senyawa YH₃ dan Y(OH)₃ yang artinya yttrium tidak terlarutkan.



Gambar 3. Hasil karakterisasi XRF kadar yttrium dan cerium pada seluruh kondisi proses dalam TTB-2



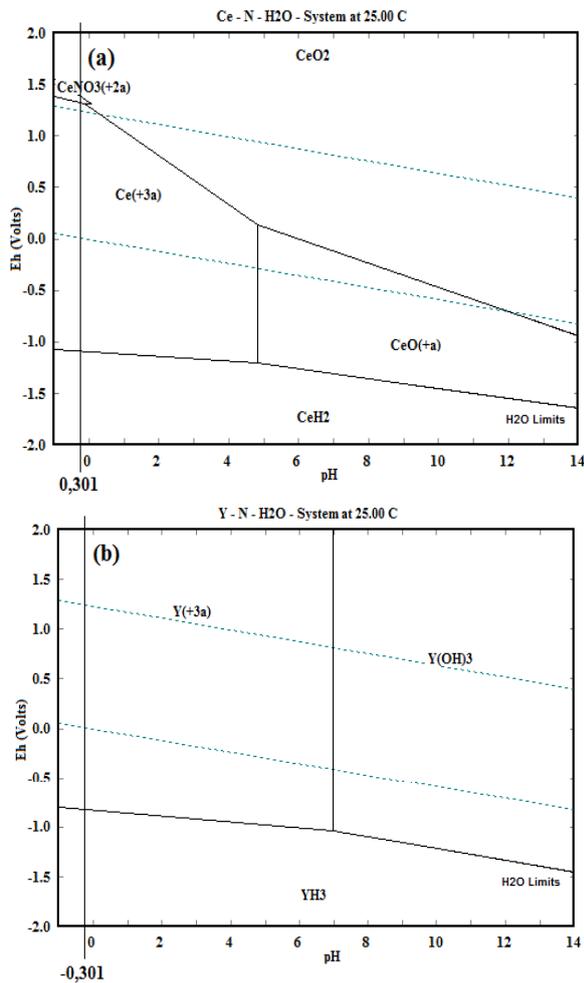
Gambar 4. Diagram Pourbaix sistem; (a) Ce-Na-H₂O, (b) Y-Na-H₂O pada suhu 25 °C

3.2 Pelarutan dalam Larutan HNO₃

Pada Gambar 3 terlihat kadar cerium dan yttrium pada residu hasil pelindian TTB-2 ke dalam larutan HNO₃ (kondisi proses III). Kadar unsur cerium mengalami penurunan drastis dari 4,39% menjadi 2,98 %. Sedangkan unsur yttrium mengalami kenaikan dari 0,92% menjadi 1,3%.

Penjelasan penurunan kadar cerium dan kenaikan kadar yttrium akan dijelaskan pada Gambar 5 dengan menggunakan analisis termodinamika menggunakan Diagram Pourbaix.

Gambar 5(a) memperlihatkan Diagram Pourbaix sistem Ce-N-H₂O, pada pH=-0,301 cerium terlarut dalam bentuk Ce⁺³ dan CeNO₃⁺². Jadi cerium mengalami penurunan karena terlarutkan sehingga kadar cerium di dalam TTB-2 mengalami penurunan.



Gambar 5. Diagram Pourbaix sistem; (a) Ce-N-H₂O, (b) Y-N-H₂O pada suhu 25 °C

Jika kita perhatikan pada Gambar 3, pada kondisi proses III kadar yttrium mengalami kenaikan, Diagram Pourbaix pada Gambar 5(b) dapat membantu untuk menjelaskan kenaikan kadar yttrium tersebut. Pada gambar tersebut yttrium berbentuk YH₃ dan Y³⁺ artinya kemungkinan saja yttrium terlarutkan dalam bentuk ion Y³⁺ atau tidak terlarutkan dalam bentuk senyawa YH₃.

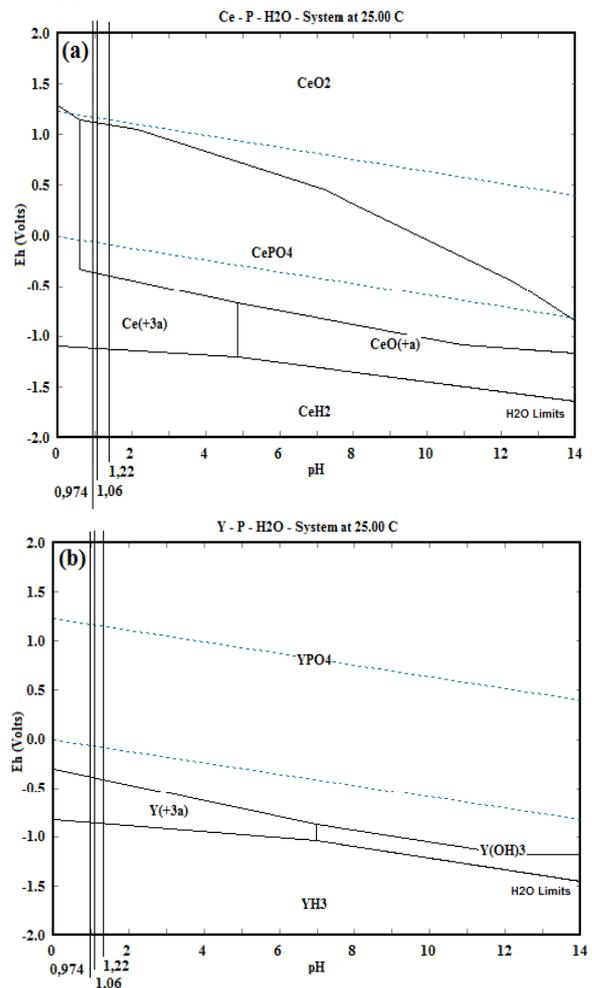
Jika yttrium terlarutkan maka keterlarutannya harus dibandingkan dengan keterlarutan oksida CaO. Jika ternyata kadar yttrium meningkat, kemungkinan terbesar adalah keterlarutan yttrium jauh lebih kecil dari keterlarutan oksida CaO. Indikasi keterlarutan oksida CaO yang besar dapat dilihat pada Gambar 7 dan 8. Jika kita bandingkan antara Gambar 3, 7 dan 8 kita bisa melihat kenaikan kadar cerium dari kondisi proses II ke kondisi proses III adalah 41,3 %

($[1,3-0,92]/[0,92] \times 100\%$) sedangkan penurunan kadar CaO adalah 43,26 % ($[4,53-2,57]/[4,53] \times 100\%$).

3.3 Pelarutan dalam Larutan H₃PO₄

Pada Gambar 3 kadar cerium dan yttrium hasil pelindian TTB-2 ke dalam larutan H₃PO₄ (kondisi proses IV, V dan VI). Kadar unsur cerium mengalami kenaikan bertahap dari 2,99% dan terakhir 3,06%. Sedangkan unsur yttrium mengalami kenaikan dari 1,3% dan terakhir 1,35 %.

Penjelasan kenaikan kadar cerium dan yttrium akan dijelaskan di bawah dengan menggunakan analisis termodinamika menggunakan Diagram Pourbaix.



Gambar 6. Diagram Pourbaix sistem (a) Ce-P-H₂O, (b) Y-P-H₂O pada suhu 25 °C

Karena H₃PO₄ merupakan asam lemah maka menentukan konsentrasi H⁺-nya harus menggunakan K_a dengan nilai 7,5 x 10⁻³. Dengan data tersebut didapat pH H₃PO₄ pada 0,5M, 1M dan 1,5M adalah 1,22; 1,06 dan 0,974.

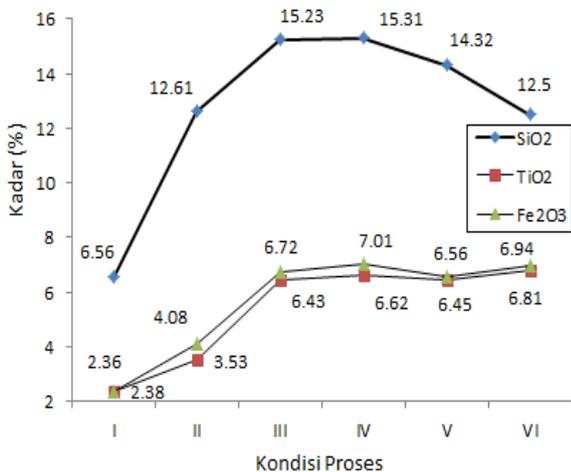
Untuk unsur cerium, dari ketiga pH tersebut dan kita korelasikan dengan diagram Pourbaix seperti pada Gambar 6(a), disana terlihat pelindian cerium dengan H₃PO₄ pada ketiga pH

lebih dominan menghasilkan senyawa CeO_2 , CePO_4 dan CeH_2 . Sehingga dari senyawa tersebut memperlihatkan bahwa unsur cerium kurang terlarutkan pada kondisi proses IV, V dan VI.

Hal lain yang mendukung kenaikan kadar cerium adalah terlarutkannya SiO_2 pada kondisi proses IV, V dan VI, informasi tentang hal ini dapat dilihat pada Gambar 7.

Boussaa, dkk., [11] melakukan pelindian pasir silika dengan HNO_3 selama 2,5 jam, dan hasilnya memperlihatkan penurunan kandungan Al dan Fe yang sangat signifikan. Besar persentasi Fe yang dihilangkan mencapai 90,5 % dan untuk Al sebesar 87,3%. Kemudian untuk agen pelindi H_3PO_4 lebih banyak melarutkan Fe dan Al dibanding HNO_3 , yaitu secara berturut-turut sebesar 97,62 % dan 91,15 %. Terak peleburan timah mengandung Si, Fe, dan Al yang berikatan dengan Ca, maka pada saat pelindian dalam larutan asam nitrat akan mengalami pelarutan Ca, Al, dan Fe, yang mengakibatkan keruntuhan struktur ikatan, dan melepaskan partikel-partikel halus SiO_2 sebagai larutan koloid [12].

Hal ini juga serupa dengan penjelasan yang termuat pada artikel yang ditulis oleh C.Subramanian dan A.K Suri [13], bahwa pelindian asam akan melarutkan Al, Fe, dan Ca, dengan persen terlarut paling tinggi pada senyawa Al, diikuti Ca dan Fe.



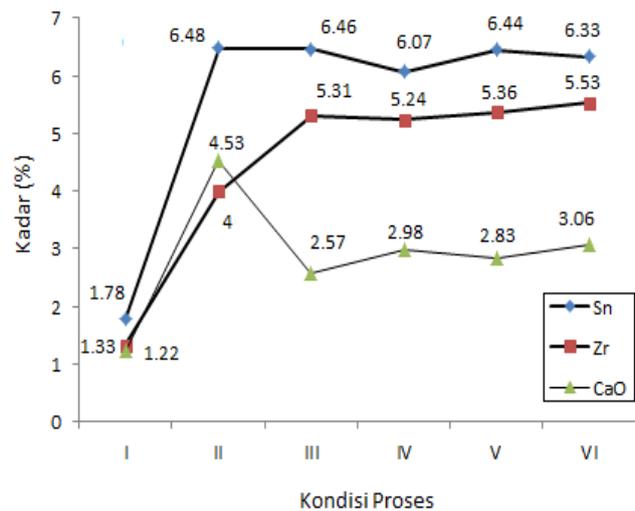
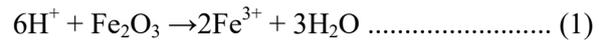
Gambar 7. Hasil karakterisasi XRF kadar SiO_2 , TiO_2 dan Fe_2O_3 pada seluruh kondisi proses TTB-2

Seperti pada unsur cerium, kenaikan unsur yttrium salah satunya didukung oleh terlarutkannya SiO_2 pada kondisi proses IV, V dan VI, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 7.

Pelindian yttrium dengan H_3PO_4 pada ketiga variasi pH lebih dominan menghasilkan senyawa YPO_4 dan YH_3 . Dengan adanya senyawa YPO_4 dan YH_3 tersebut memperlihatkan bahwa unsur

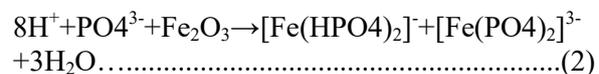
yttrium kurang terlarutkan pada kondisi proses IV, V dan VI.

Penelitian lain yang menggunakan pelindian dengan H_3PO_4 dan HNO_3 dilaporkan oleh Zhang, dkk., [14], dimana pelarutan besi yang terus meningkat seiring naiknya konsentrasi H_3PO_4 yang dicampur ke dalam HNO_3 2M. Hal ini dijelaskan bahwa dengan adanya ion H^+ yang disediakan oleh asam kuat HNO_3 , akan bereaksi dengan senyawa besi yang mengakibatkan besi akan terlarut ke dalam filtrat pelindian. Reaksinya adalah sebagai berikut:



Gambar 8. Hasil karakterisasi XRF kadar Sn, Zr dan CaO pada seluruh kondisi proses TTB-2

Ditambah juga dengan adanya disosiasi H_3PO_4 yang menyediakan ion H^+ ($\text{pK}_a = 2,12$), yang akan bereaksi juga dengan senyawa oksida, selain itu ion PO_4^{3-} yang hadir karena disosiasi H_3PO_4 , dan memiliki kemampuan membentuk ion kompleks dengan besi, dan membuat besi akan terus terlarut ke dalam filtrat. Reaksinya adalah sebagai berikut [14]:



Ion-ion hidrogen ini akan terabsorpsi ke permukaan oleh karena adanya aktivasi permukaan. Ion hidrogen akan teradsorpsi ke permukaan padatan, dan membuat adanya pusat permukaan yang aktif, dimana pada kondisi tersebut akan menjadi letak pelarutan senyawa besi. Semakin banyaknya permukaan yang aktif, maka laju pelindian akan semakin besar [14].

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian di atas didapatkan informasi kadar optimum dari unsur cerium dan yttrium setelah TTB-2 dilakukan pemanggangan 900 °C, pelindian dengan NaOH, pelindian dengan HNO₃, dan pelindian dengan H₃PO₄ dengan variasi konsentrasi.

Pengkayaan kadar cerium optimum didapatkan setelah terak timah yang telah mengalami pemanggangan pada suhu 900 °C dan ukuran butirnya +200-250 mesh dilakukan pelindian dengan NaOH 8M. Kadar cerium yang didapatkan pada kondisi proses tersebut 4,59%.

Kadar yttrium meningkat pada seluruh kondisi proses, dan nilai kadar optimum didapat setelah kondisi proses pelindian dengan HNO₃ 2M yang dilanjutkan dengan kondisi proses pelindian dengan H₃PO₄ 1,5 M. Kadar yttrium yang didapatkan pada kondisi proses tersebut 1,35%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada *Centre of Mineral Processing and Corrosion Research* Departemen Teknik Metalurgi and Material Universitas Indonesia yang telah memfasilitasi penelitian ini dan PT Timah Tbk. yang telah memberi sampel terak timah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Balaram, "Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact," *Geosci. Front.*, vol. 10, no. 4, pp. 1285–1303, 2019.
- [2] N. Clavier, R. Podor, dan N. Dacheux, "Crystal chemistry of the monazite structure," *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 31, no. 6, pp. 941–976, 2011.
- [3] G. Konopka, K. Zglinicki, dan B. M. Maliszewska, "New potential source of rare earth elements," *Gospod. SUROWCAMI Miner.*, vol. 29, no. 4, pp. 59–76, 2013.
- [4] S. Permana, A. Rustandi, dan R. A. Majid, "Thermodynamic analysis with software : A case study of upgrading rare earth elements content in Bangka tin slag," *Far East J. Electron. Commun.*, vol. 17, no. 5, pp. 1211–1220, 2017.
- [5] A. B. Botelho Junior, D. C. R. Espinosa, dan J. A. S. Tenório, "The use of computational thermodynamic for yttrium recovery from rare earth elements-bearing residue," *J. Rare Earths*, 2020. Doi.org/10.1016/j.jre.2020.02.019.
- [6] J. Liu, L. Zeng, S. Liao, X. Liao, J. Liu, J. Mao, Y. Chen, T. Qiu dan S. Ren, "Highly efficient enrichment and adsorption of rare earth ions (yttrium(III)) by recyclable magnetic nitrogen functionalized mesoporous expanded perlite," *Chinese Chem. Lett.*, 2020. Doi.org/10.1016/j.ccl.2020.08.017.
- [7] S. Gerasin, D. Kalisz, dan J. Iwanciw, "Thermodynamic and kinetic simulation of Y₂O₃ and Y₂S₃ nonmetallic phase formation in liquid steel," *J. Min. Metall. Sect. B Metall.*, vol. 56, no. 1, pp. 11–25, 2020.
- [8] O. Eremin, O. Rusal, M. Solodukhina, E. Epova, dan G. Yurgenson, "Thermodynamic equilibria of tailings dump pond water of Sherlovaya Gora tin-polymetallic deposit (Transbaikalia)," in *E3S Web of Conferences*, vol. 98, no. 1014, pp. 1–6, 2019.
- [9] S. Permana, S. F. Vincia, A. Amilia, A. Maksum, K. S. Widana, dan J. W. Soedarsono, "Enrichment on Bangka tin slag's tantalum and niobium oxide contents through non-fluoride process," *Eastern-European J. Enterp. Technol.*, vol. 5, no. 12–95, pp. 56–64, 2018.
- [10] A. M. K. S. W. K. Trinopiawan, J. W. Soedarsono, S. Permana, J. K. Hutauruk, R. Adhyputra, dan A. Rustandi, "Upgrading tantalum and niobium oxides content in Bangka tin slag with double leaching Upgrading tantalum and niobium oxides content in Bangka tin slag with double leaching," in *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, pp. 1–9, 2018.
- [11] S. A. Boussaa, A. Kheloufi, N. Boutarek Zaourar, dan S. Bouachma, "Iron and aluminium removal from Algerian silica sand by acid leaching," *Acta Phys. Pol. A*, vol. 132, no. 3, pp. 1082–1086, 2017.
- [12] I. Gaballah, E. Allain, M.C. M. Joly, dan K. Malau, "A possible method for the characterization of amorphous slags recovery of refractory metal oxides from tin slags," *Metall. Trans.*, vol. 23, pp. 249–259, 1992.
- [13] C. Subramanian dan A. K. Suri, "Recovery of niobium and tantalum from low grade tin slag - A hydrometallurgical approach," *Environ. Waste Manag.*, vol. 831, no. 7, pp. 100–107, 1998.
- [14] F. K. Crundwell, "The dissolution and leaching of minerals: Mechanisms, myths and misunderstandings," *Hydrometallurgy*, vol. 139, pp. 132–148, 2013.

