

PENGARUH PENAMBAHAN NaOH, TEMPERATUR DAN WAKTU TERHADAP PEMBENTUKAN FASA NATRIUM TITANAT DAN NATRIUM FERIT PADA PROSES PEMANGGANGAN ILMENIT BANGKA

Rudi Subagja, Ahmad Royani, Puguh Prasetyo

Pusat Penelitian Metalurgi – LIPI

Kawasan Puspipstek Serpong, Gedung 470, Tangerang 15314

E-mail : rudibagja@yahoo.com

Masuk tanggal : 02-10-2012, revisi tanggal : 05-11-2012, diterima untuk diterbitkan tanggal : 19-11-2012

Intisari

PENGARUH PENAMBAHAN NaOH, TEMPERATUR DAN WAKTU TERHADAP PEMBENTUKAN FASA NATRIUM TITANAT DAN NATRIUM FERIT PADA PROSES PEMANGGANGAN ILMENIT BANGKA. Pada penelitian ini telah dilakukan percobaan untuk mempelajari pengaruh penambahan NaOH, temperatur dan waktu terhadap pembentukan fasa Natrium titanat dan Natrium ferit pada proses pemanggangan Ilmenit – Bangka. Percobaan pemanggangan dilakukan dengan menggunakan Muffle Furnace, dengan variabel percobaan meliputi: a) perbandingan mol NaOH/ilmenit yang divariasikan dari 0,5 sampai dengan 4, b) temperatur pemanggangan yang divariasikan dari 400 °C sampai dengan 800 °C, dan c) waktu pemanggangan yang divariasikan dari 0,5 jam sampai dengan 10 jam. Dari hasil analisis dengan alat menggunakan difraksi Sinar-X (XRD) terhadap kalsin yang dihasilkan dari percobaan, diketahui bahwa intensitas difraksi sinar-X dari fasa Natrium titanat dan Natrium ferit meningkat bila perbandingan mol NaOH/Ilmenit ditingkatkan dari 0,5 sampai 4, temperatur pemanggangan dinaikkan dari 400 °C menjadi 800 °C dan waktu pemanggangan ditingkatkan dari 0,5 jam sampai dengan 10 jam.

Kata kunci : Ilmenite, NaOH, Pemanggangan, Natrium Titanat, Natrium Ferit

Abstract

THE EFFECT OF CAUSTIC ADDITION, TEMPERATURE AND REACTION TIME ON THE PHASE FORMATION OF SODIUM TITANATE AND SODIUM FERRITE DURING THE ROASTING OF BANGKA'S ILMENITE. In present work, the effect of caustic addition, temperature and reaction time on the phase formation of Sodium titanate and Sodium ferit during the Roasting of Ilmenit – Bangka were studied. The Roasting experiment was carried out by using the Electrical Muffle Furnace. The variabel for experiment are covering: a) Rasio of NaOH to Ilmenite from 0,5 to 4, b) Roasting Temperature from 400 °C to 800 °C, and c) reaction time from 0,5 hours to 10 hours. The result of analysis to the Calcine produced from experiment by using X-ray Diffraction shows that the intensities of X-ray Diffraction of Sodium Titanate and Sodium Ferrite increase when the ratio of NaOH to Ilmenit was increased from 0.5 to 4, roasting temperature was increased from 400 °C to 800 °C and reaction time was increased from 0,5 hours to 10 hours.

Keywords : Ilmenite, NaOH, Roasting, Sodium Titanate, Sodium Ferrite

PENDAHULUAN

Ilmenit, mineral dengan rumus kimia FeTiO_3 , mempunyai potensi untuk dapat digunakan sebagai bahan baku pada proses pembuatan TiO_2 , logam titanium dan besi. Peluang ini akan makin besar manakala cadangan mineral yang mempunyai

kandungan titanium tinggi makin berkurang jumlahnya, dan bila memperhatikan kecenderungan pada pola pemakaian bahan berbasis titanium di dunia, nampaknya arah pemanfaatan Ilmenit lebih banyak untuk membuat pigmen TiO_2 , sementara pemanfaatannya

untuk membuat logam titanium jumlahnya relatif kecil^[1].

Di Indonesia, ilmenit dapat diperoleh dari hasil samping proses pengolahan bijih timah di pulau Bangka, dimana sampai dengan saat ini ilmenit tersebut belum dimanfaatkan secara optimal. Disisi lain ketergantungan Indonesia akan pigmen TiO_2 untuk bahan baku cat masih tinggi. Oleh karena itu apabila Ilmenit Bangka dapat dibuat menjadi TiO_2 maka akan memberikan dampak positif bagi pengurangan ketergantungan pada bahan import. Permasalahan yang dihadapi untuk dapat memanfaatkan Ilmenit Bangka menjadi bahan TiO_2 adalah bagaimana menciptakan teknologi proses yang sesuai dengan karakteristik Ilmenit Bangka.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk dapat memanfaatkan ilmenit sebagai bahan baku untuk membuat TiO_2 . Proses – proses yang dikembangkan dalam penelitian tersebut umumnya digolongkan menjadi proses pirometalurgi, hidrometalurgi atau gabungan kedua proses tersebut. Dalam proses pirometalurgi, ilmenit direduksi dengan reduktor tertentu misalnya antrasit, untuk selanjutnya dilebur sehingga dihasilkan lelehan besi dan terak yang mengandung TiO_2 ^[2-5]. Alternatif proses lainnya adalah melalui jalur proses hidrometalurgi yaitu proses pelarutan yang menggunakan pelarut asam sulfat^[6-9] atau proses hidrometalurgi yang menggunakan pelarut asam khlorida^[10-14].

Disamping proses-proses tersebut, saat ini juga telah dikembangkan proses pemisahan besi dari titanium yang terdapat dalam ilmenit melalui jalur proses pemanggangan menggunakan soda abu pada daerah temperatur 873 K sampai 1173 K, dimana hasil dari proses pemanggangan adalah senyawa natrium titanat Na_2TiO_3 dan natrium ferit. Setelah ilmenit dirubah menjadi natrium titanat dan natrium ferit, proses selanjutnya adalah pemisahan natrium ferit dengan natrium titanat menggunakan pelarut air dimana natrium titanat merupakan senyawa

yang tidak dapat larut dalam air sedangkan natrium ferit dapat larut dalam air, sehingga kedua senyawa ini dapat dipisahkan dengan menggunakan pelarut air^[15]. Melalui pengembangan proses baru ini diharapkan besi dapat ditekan sehingga kemurnian TiO_2 yang dihasilkan akan lebih baik. Walaupun proses ini dapat digunakan untuk memisahkan besi dari titanium, namun temperatur pemanggangan masih dirasakan terlalu tinggi, dimana reaksi pembentukan natrium ferit akan berlangsung lebih baik pada temperatur di atas 1123 K^[15], oleh karena itu perlu dikembangkan alternatif proses yang dapat menggantikan natrium karbonat dan menurunkan temperatur pembentukan natrium ferit. Untuk maksud tersebut, pada penelitian ini sebagai pengganti natrium karbonat digunakan NaOH. Permasalahannya adalah sampai seberapa jauh NaOH dapat secara efektif merubah ilmenit menjadi natrium titanat dan natrium ferit. Atas dasar permasalahan tersebut, tujuan dari penelitian adalah untuk mempelajari pengaruh penambahan NaOH, temperatur dan waktu terhadap pembentukan fasa natrium titanat Na_2TiO_3 dan natrium ferit.

PROSEDUR PERCOBAAN

Bahan Baku

Bahan baku utama yang digunakan dalam percobaan ini adalah ilmenit. Bahan ini diperoleh dari hasil samping proses pengolahan bijih Timah di PT. Timah, Bangka. Sebelum percobaan dilakukan, bahan baku Ilmenit digerus sampai lolos 100 mesh, kemudian dianalisis dengan menggunakan *X-ray fluorocense* (XRF), *X-ray diffraction* (XRD) dan *scanning electron microscope* (SEM). Sedangkan NaOH yang digunakan adalah NaOH p.a. dibeli dari Wako.

Proses Pemanggangan

Proses Pemanggangan dilakukan dengan menggunakan tungku listrik

(*Muffle Furnace*) di Pusat Penelitian Metalurgi LIPI. Tungku ini mempunyai kemampuan memanaskan bahan sampai dengan 1000 °C, dan dilengkapi dengan *thermocouple* dan pengendali temperatur, sehingga temperatur pemanggangan dapat dijaga konstan.

Percobaan pemanggangan dilakukan dengan cara mencampurkan ilmenit (yang mempunyai ukuran – 100 #) dan NaOH dengan perbandingan tertentu. Campuran kemudian diletakkan dalam krusibel *stainless steel* dan dimasukkan ke dalam tungku listrik, untuk selanjutnya dipanggang pada temperatur dan waktu tertentu sesuai dengan kondisi percobaan yang dikehendaki sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 1. Setelah proses pemanggangan selesai, kalsin dikeluarkan dari tungku, kemudian didinginkan di udara terbuka untuk selanjutnya dianalisis dengan menggunakan XRD dan SEM.

Tabel 1. Kondisi percobaan Pemanggangan Ilmenit-Bangka

Perbandingan/Ilmenit/NaOH	1 : 0,5	1 : 1	1 : 3	1 : 4	
Temperatur Pemanggangan °C	400	500	600	700	800
Waktu Pemanggangan (jam)	0,5	1	5	10	

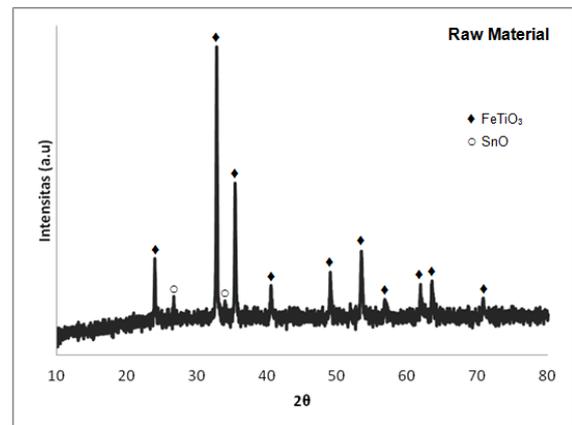
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Ilmenit Bangka

Untuk mengetahui komposisi kimia senyawa penyusun Ilmenit yang diperoleh dari P.T Timah di Bangka, terhadap ilmenit tersebut dilakukan karakterisasi dengan menggunakan XRF. Sedangkan untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada ilmenit, dilakukan karakterisasi dengan XRD dan struktur mikronya diamati dengan menggunakan SEM. Hasil

analisis ilmenit Bangka dengan XRF ditunjukkan pada Tabel 2, dimana dari tabel ini dapat dilihat bahwa senyawa dominan penyusun ilmenit yang diperoleh dari hasil samping pengolahan bijih timah di Pulau Bangka adalah Fe₂O₃ dan TiO₂. Senyawa lainnya yang turut bersama-sama dalam ilmenit adalah SiO₂, Al₂O₃, MnO, MgO, CaO, K₂O, P₂O₅, Cr₂O₃, SnO₂. Senyawa – senyawa ini jumlahnya relatif kecil bila dibandingkan dengan senyawa Fe₂O₃ dan TiO₂.

Kemudian untuk mengetahui fasa-fasa yang terkandung dalam Ilmenit-Bangka, yang akan digunakan dalam percobaan, maka terhadap ilmenit tersebut dilakukan analisis dengan menggunakan XRD dan hasilnya diperlihatkan pada Gambar 1.

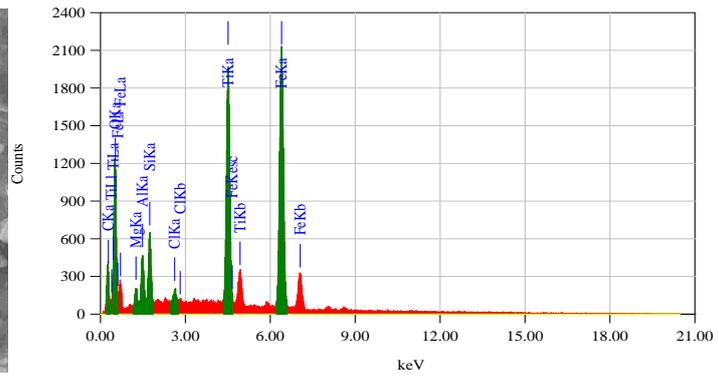
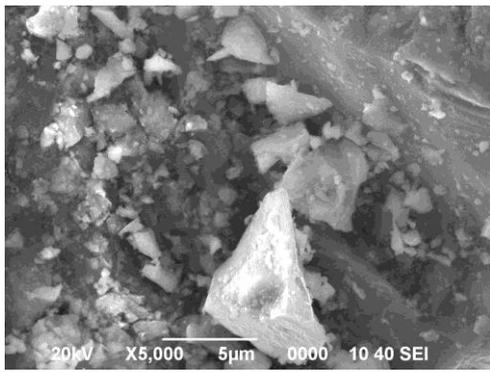


Gambar 1. Difraksi sinar -x bijih Ilmenit Bangka

Dari hasil analisis dengan XRD, pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa fasa dominan adalah FeTiO₃ dan SnO. Selanjutnya untuk mengetahui morfologi struktur mikro dari ilmenit, maka terhadap Ilmenit Bangka dianalisis struktur mikronya dengan menggunakan SEM, hasilnya diperlihatkan pada Gambar 2.

Tabel 2. Komposisi kimia Ilmenit Bangka menggunakan XRF

Komposisi Kimia Ilmenit Bangka (% Berat)										
Fe ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	SnO ₂
52,87	35,46	2,33	1,61	1,07	1,81	0,10	0,16	0,17	0,88	2,06

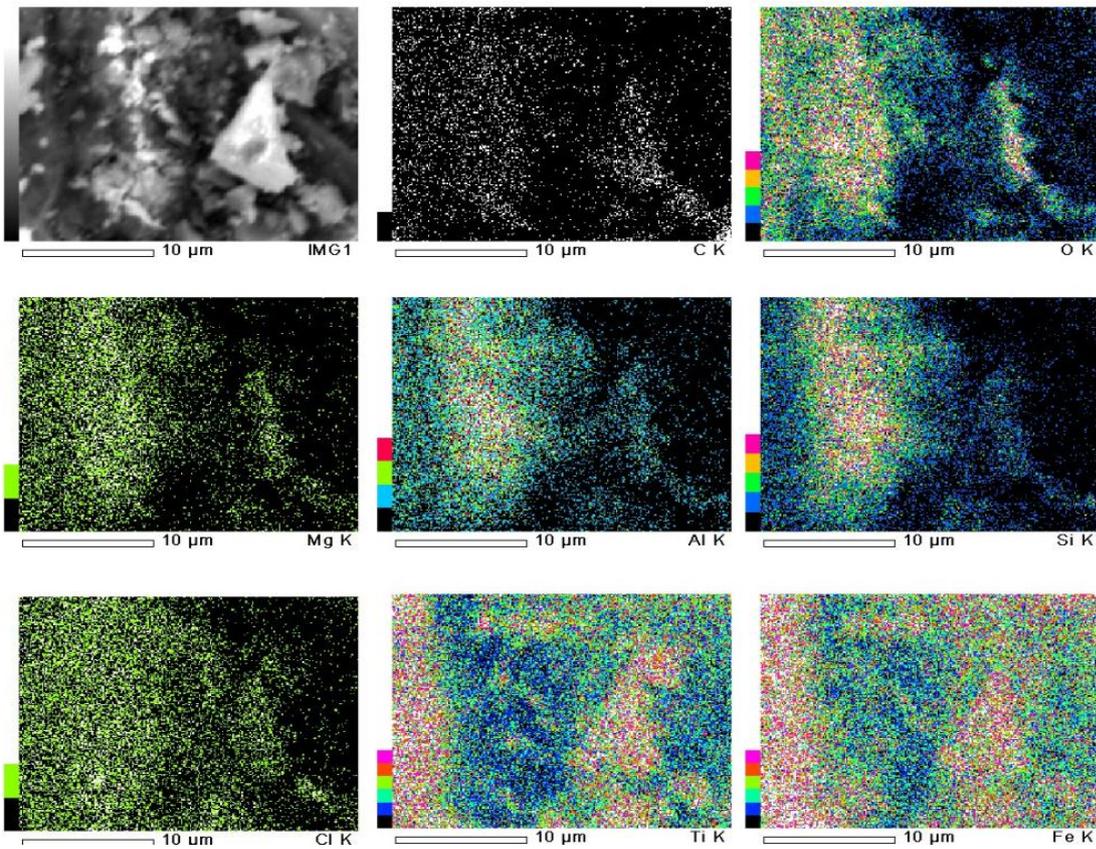


ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.2795

Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	9.24	0.14	21.79				2.6809
O K	0.525	21.28	0.29	37.69				15.5364
Mg K	1.253	1.16	0.16	1.36				0.5813
Al K	1.486	2.38	0.14	2.50				1.5397
Si K	1.739	2.95	0.12	2.97				2.4273
Cl K	2.621	0.59	0.09	0.47				0.7546
Ti K	4.508	18.69	0.16	11.06				23.7183
Fe K	6.398	43.71	0.30	22.17				52.7617
Total		100.00		100.00				

Gambar 2. Photo hasil SEM-EDS Ilmenit Bangka

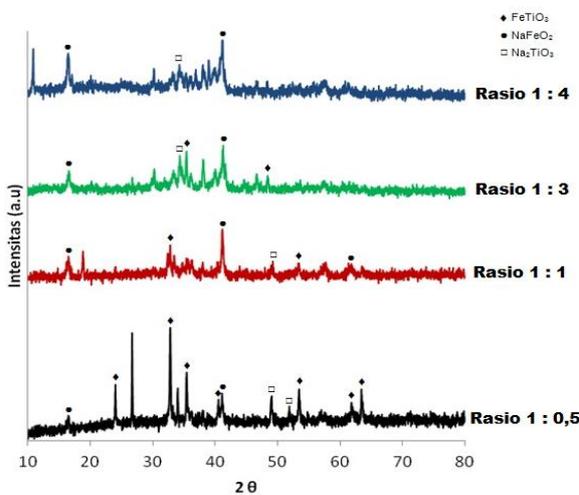


Gambar 3. Distribusi unsur dalam Ilmenit Bangka dengan SEM-EDS

Dari hasil analisis secara kualitatif dengan menggunakan SEM pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa unsur-unsur penyusun ilmenit yang diperoleh dari hasil pengolahan bijih timah dari Bangka terdiri dari besi, titan, magnesium, silikon, dan oksigen. Kemudian apabila unsur - unsur tersebut dipetakan lebih lanjut dengan menggunakan SEM, maka hasil pemetaan distribusi unsur – unsur yang terkandung dalam Ilmenit diperlihatkan oleh Gambar 3, dimana dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa unsur besi dan titan berada dalam satu posisi sehingga untuk memisahkan besi dari titan, nampaknya agak sulit bila dilakukan dengan cara fisik biasa.

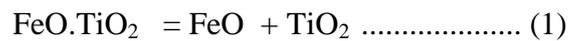
Pengaruh Perbandingan NaOH/Ilmenit terhadap Pembentukan Fasa Natrium Ferit Dan Natrium Titanat

Untuk mengetahui pengaruh perbandingan ilmenit dan NaOH terhadap pembentukan fasa natrium ferit dan natrium titanat, pada percobaan ini dilakukan pemanggangan campuran ilmenit dan NaOH dengan perbandingan mol (rasio) 1:0,5; 1:1; 1:3; dan 1:4 pada temperatur 400 ° C selama 1 jam. Hasil analisis dengan XRD terhadap kalsin yang dihasilkan dari percobaan ini diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Difraksi sinar-x pada berbagai rasio NaOH

Dari gambar, terlihat bahwa fasa natrium titanat Na₂TiO₃ dan natrium ferit NaFeO₂ sudah mulai terbentuk pada pemanggangan campuran Ilmenit/NaOH dengan perbandingan (rasio) 1:0,5. Namun demikian pada perbandingan ini fasa ilmenit masih kelihatan dominan. Akan tetapi bila perbandingan mol NaOH/ilmenit dinaikkan maka intensitas difraksi sinar- X dari fasa ilmenit (FeTiO₃) cenderung makin kecil dan intensitas difraksi sinar-X dari fasa natrium ferit cenderung makin tinggi. Hasil percobaan ini bersesuaian dengan hasil percobaan A Bhishek dan kawan kawan^[15], yang melakukan pemanggangan campuran ilmenit dan natrium karbonat, dimana dari hasil percobaannya dapat dilihat bahwa kenaikan rasio Na/ilmenit menyebabkan peningkatan intensitas difraksi sinar –x dari fasa natrium ferit dan natrium titanat, dan terbentuknya fasa-fasa natrium ferit dan natrium titanat dari ilmenit berlangsung menurut mekanisme reaksi dekomposisi ilmenit pada temperatur tinggi mengikuti persamaan reaksi 1 berikut:



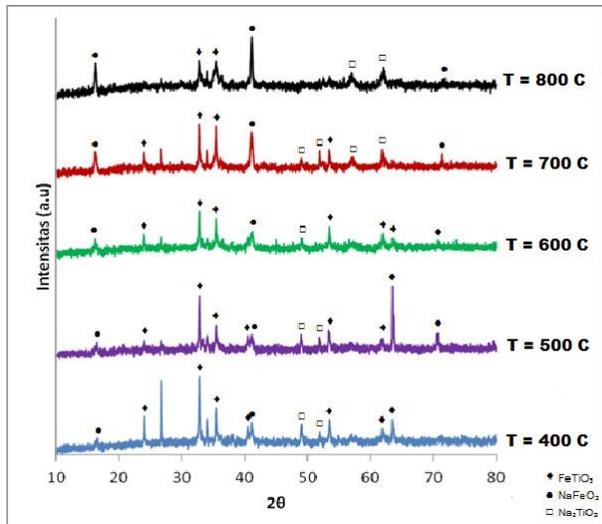
TiO₂ yang terbentuk kemudian bereaksi lebih lanjut dengan natrium untuk menghasilkan titanat suatu senyawa yang sulit larut dalam air dan natrium ferit senyawa yang mudah larut dalam air.

Dengan mengacu pada hasil percobaan ini maka pada percobaan selanjutnya perbandingan ilmenit / NaOH ditetapkan 1: 0,5.

Pengaruh Temperatur terhadap Pembentukan Fasa Natrium Ferit dan Natrium Titanat

Untuk mengetahui pengaruh temperatur pemanggangan terhadap pembentukan fasa natrium titanat dan natrium ferit, pada percobaan ini dilakukan pemanggangan campuran ilmenit/NaOH dengan perbandingan mol 1: 0,5 dan temperatur

pemanggangan divariasikan dari 400 °C sampai dengan 800 °C. Proses pemanggangan dilakukan selama 1 jam. Hasil analisis dengan XRD terhadap kalsin hasil pemanggangan pada percobaan ini diperlihatkan pada Gambar 5.



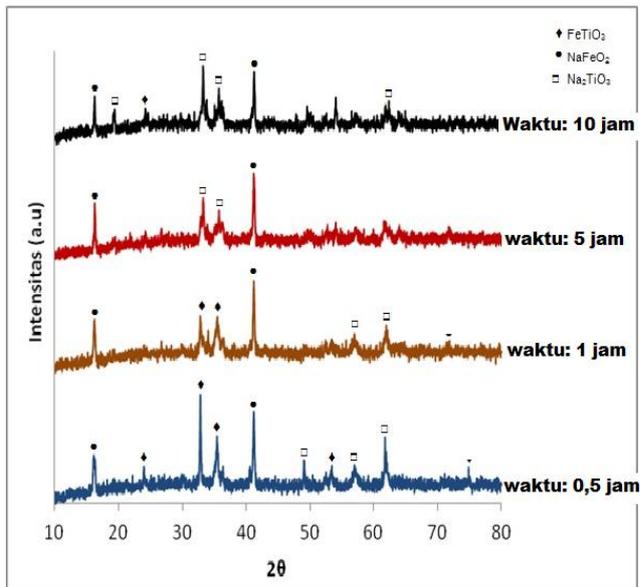
Gambar 5. Pola difraksi sinar-x dari ilmenit yang telah dipanggang dengan NaOH pada berbagai temperatur

Dari hasil analisis terhadap kalsin hasil percobaan pemanggangan pada temperatur 400 °C sampai dengan 800 °C, selama 1 jam, dengan menggunakan XRD pada Gambar 5 terlihat bahwa apabila temperatur pemanggangan dinaikan dari 400 °C sampai dengan 800 °C, maka intensitas difraksi sinar-x dari fasa natrium titanat dan natrium ferit cenderung makin besar sebaliknya intensitas dari fasa ilmenit makin kecil. Hasil ini bersesuaian dengan hasil percobaan A Bhishek dan kawan kawan^[15], yang melakukan pemanggangan campuran ilmenit dan natrium karbonat pada daerah temperatur 600 °C (873 K) sampai 900 °C (1173 K), dimana dari hasil percobaannya dapat dilihat bahwa kenaikan temperatur dari 600 °C menjadi 900 °C menyebabkan terjadinya peningkatan intensitas fasa dari natrium ferit dan natrium titanat, dengan kata lain peningkatan temperatur menyebabkan peningkatan jumlah fasa natrium ferit dan natrium titanat yang terbentuk. Namun apabila hasil percobaan

pengaruh temperatur ini dibandingkan lebih lanjut dengan hasil percobaan A Bhishek dan kawan kawan, maka akan terlihat dengan jelas bahwa pembentukan fasa natrium ferit dan natrium titanat dari hasil pemanggangan campuran ilmenit dengan NaOH jauh lebih menguntungkan bila dibandingkan dengan proses pemanggangan campuran ilmenit dengan natrium karbonat. Dimana pada pemanggangan campuran Ilmenit dengan natrium karbonat fasa natrium ferit dan natrium titanat lebih mudah terjadi pada temperatur di atas 900 °C (1123K)^[15], sedangkan pada pemanggangan campuran ilmenit dengan NaOH, fasa natrium ferit dan natrium titanat sudah mulai muncul pada proses pemanggangan pada temperatur 500 °C, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 5.

Pengaruh Waktu Pemanggangan terhadap Pembentukan Fasa Natrium Ferit dan Natrium Titanat

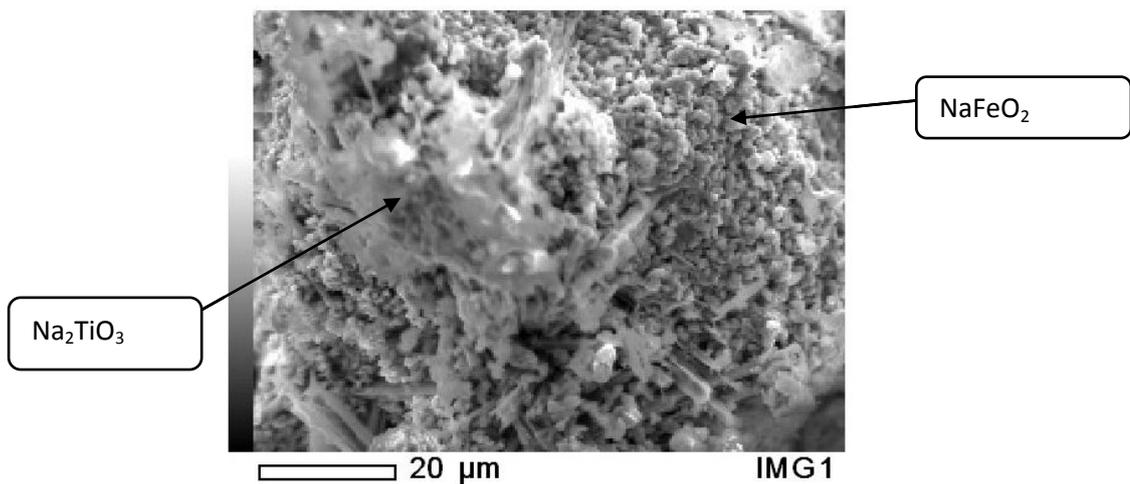
Untuk mempelajari pengaruh waktu pemanggangan terhadap pembentukan fasa natrium titanat dan natrium ferit, pada percobaan ini dilakukan pemanggangan terhadap campuran ilmenit dan NaOH dengan perbandingan mol 1: 0,5. Pemanggangan dilakukan pada temperatur 800 °C dan waktu pemanggangan divariasikan dari 0,5 jam sampai dengan 10 jam. Kalsin yang dihasilkan dari proses pemanggangan kemudian dianalisis dengan menggunakan XRD hasilnya diperlihatkan oleh Gambar 6.



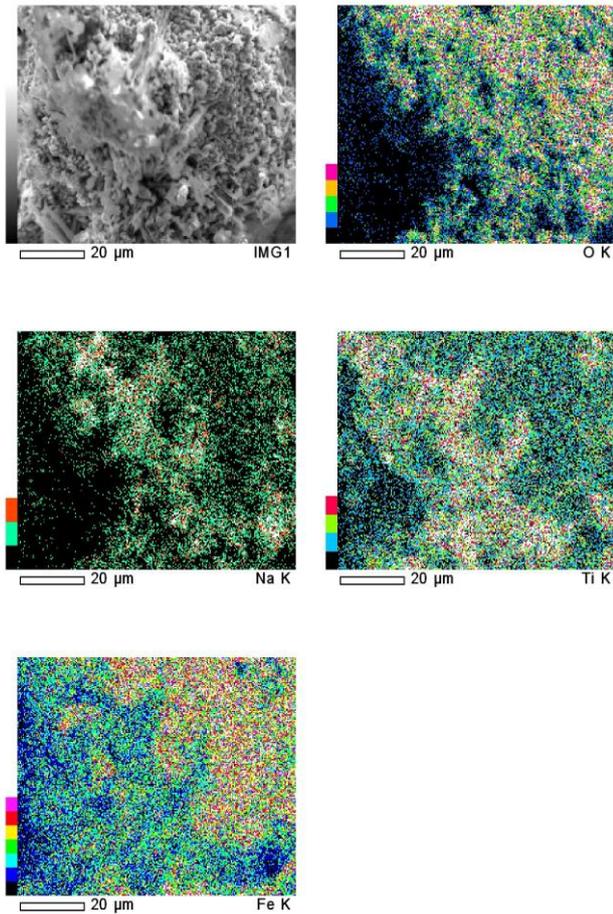
Gambar 6. Pengaruh waktu pemanggangan terhadap pembentukan fasa

Dari Gambar 6, dapat dilihat bahwa kenaikan waktu pemanggangan dari 0,5 jam sampai dengan 10 jam menyebabkan intensitas sinar-x dari fasa ilmenit cenderung makin kecil sedangkan intensitas sinar - x dari fasa natrium titanat

dan natrium ferit cenderung makin meningkat. Kemudian bila kalsin hasil pemanggangan pada temperatur 800 °C dan waktu pemanggangan selama 5 jam dianalisis dengan SEM, maka akan kelihatan dengan jelas bahwa fasa ilmenit telah berubah menjadi natrium titanat dan natrium ferit, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 7. Demikian juga hasil analisis distribusi unsur-unsur yang terkandung dalam kalsin yang telah mengalami proses pemanggangan selama 5 jam pada temperatur 800 °C. Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa keberadaan unsur besi dan titanium mulai terpisah, tidak berada dalam satu posisi, dengan demikian maka besi berpeluang untuk dapat dipisahkan dari titanium dengan cara melarutkan kalsin ke dalam pelarut air, karena besi dalam bentuk natrium ferit dapat dilarutkan dalam air, sedangkan natrium titanat tidak larut dalam air.



Gambar 7 . Foto hasil SEM ilmenit setelah pemanggangan ilmenit pada temperaur 800 °C selama 5 jam



Gambar 8. Distribusi unsur pada ilmenit yang telah dipanggang pada temperatur 800 °C selama 5 jam

KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan percobaan pemanggangan campuran ilmenit dengan natrium hidroksida, dengan tujuan untuk mempelajari pengaruh penambahan NaOH, temperatur dan waktu terhadap pembentukan fasa natrium titanat dan natrium ferit dari hasil proses pemanggangan campuran Ilmenit Bangka dengan NaOH, dimana perbandingan mol NaOH/ilmenit divariasikan dari 0,5 sampai dengan 4, temperatur divariasikan dari 400 °C sampai dengan 800 °C dan waktu divariasikan dari 0,5 jam sampai dengan 10 jam. Dari hasil percobaan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pemanggangan campuran ilmenit dengan natrium hidroksida pada daerah temperatur 400 °C sampai dengan 800

°C akan menghasilkan fasa natrium ferit dan natrium titanat

2. Kenaikan perbandingan NaOH/ilmenit dari 0,5 sampai 4 menyebabkan peningkatan intensitas difraksi sinar - x dari fasa natrium titanat dan natrium ferit.
3. Kenaikan temperatur pemanggangan dari 400 °C menjadi 800 °C menyebabkan peningkatan intensitas difraksi sinar-x dari fasa natrium titanat dan natrium ferit.
4. Peningkatan waktu pemanggangan dari 0,5 jam sampai dengan 10 jam menyebabkan peningkatan intensitas difraksi sinar - x fasa natrium titanat dan natrium ferit.
5. Temperatur pembentukan fasa natrium titanat dan natrium ferit pada pemanggangan campuran ilmenit-NaOH, lebih rendah dari temperatur pembentukan fasa natrium titanat dan natrium ferit pada pemanggangan campuran ilmenit-natrium karbonat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia yang telah memberikan dukungan dana melalui kegiatan kompetitif LIPI tahun anggaran 2012, untuk sub program kompetitif Material Maju dan Nano Teknologi, sehingga kegiatan penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mineral sands annual review. 2008. Victoria park W. Australia: Minerals international Pty. Ltd.
- [2] Tsuchida, H., Narita, E., Takeuchi, H., Adachi, M., Okabe, T. 1982., „Manufacture of high pure titanium (IV) oxide by the chloride, process: 1. Kinetic study of ilmenite ore in concentrated, hydrochloric acid solution”. *Bull. Chem. Soc. Jpn.* : 55 (6), 1934–1938.

- [3] Mohanty, S.P., Smith, K.A. 1993. „Alkali metal catalysis of carbothermic reaction of ilmenite”. *Trans. Inst. Min. Metall.* : 102, C163–C173.
- [4] Mackey, T.S. 1994. „Upgrading ilmenite into a high-grade synthetic rutile”. *Journal Of Metal.* : 59–64.
- [5] Mahmoud, Y.D., Georges, J.K. 1997. „Processing titanium and lithium for reduced-cost application”. *Journal Of Metal.* : 49 (6), 20–27.
- [6] Han, K.N., Rubcumintara, T., Fuerstenau, M.C. 1986. „Leaching behavior of ilmenite with sulfuric acid”. *Metall. Trans.* : 18B, 325–330.
- [7] Jagasekera, S., Marinovich, Y., Avraamides, J., Baily, S.I. 1995. „Pressure leaching of reduced ilmenite”. *Hydrometallurgy.* : 39, 183–199.
- [8] Sasikumar, C., Rao, D.S., Srikanth, S., Ravikumar, B., Mukhopadhyay, N.K., Mehrotra, S.P. 2004. „Effect of mechanical activation on the kinetics of sulfuric acid leaching of beach sand ilmenite from Orissa”. *Indian, Hydrometallurgy.* : 75, 189–204.
- [9] Liang, B., Li, C., Zhang, C.G., Zhang, Y.K. 2005. „Leaching kinetics of Panzhihua ilmenite in sulfuric acid”. *Hydrometallurgy.* : 76, 173–179.
- [10] Olanipekun, E. 1999. „A kinetic study of the leaching of a Nigerian ilmenite ore by hydrochloric acid”. *Hydrometallurgy.* : 53, 1–10.
- [11] Lanyon, M.R., Lwin, T., Merritt, R.R. 1999. „The dissolution of iron in the hydrochloric acid leach of an ilmenite concentrate”. *Hydrometallurgy.* : 51 (3), 299–323.
- [12] Ogasawara, T., Veloso de Araiyo, R.V. 2000. „Hydrochloric acid leaching of a pre-reduced Brazilian ilmenite concentrate in an autoclave”. *Hydrometallurgy.* : 56 (2), 203–219.
- [13] Van Dyk, J.P., Vegter, N.M., Chris Pistorius, P. 2002. „Kinetics of ilmenite dissolution in hydrochloric acid”. *Hydrometallurgy.* : 65, 31–36.
- [14] Dimitrios Filippou and Guillaume Hudon. 2009. „Iron Removal and Recovery in the Titanium Dioxide Feedstock and Pigment Industries”. *Journal Of Metal.* : 36-42.
- [15] Abhishek Lahiri dan Animesh JHA. 2007. „Kinetics and Reaction Mechanism of Soda Ash roasting of Ilmenite Ore for the Extraction of Titanium Dioxide”. *Metallurgical and Materials Transaction B.* : Vo. 38 B, 939 – 948.

RIWAYAT HIDUP PENULIS

Rudi Subagja, peneliti pada Pusat Penelitian Metalurgi LIPI. Menyelesaikan S1 dari jurusan teknik Kimia Institut Teknologi Bandung (ITB) pada tahun 1980, kemudian S2 dari jurusan Metalurgi, Universitas Waseda, Tokyo, Jepang pada tahun 1986, dan S3 dari jurusan Metalurgi, Universitas Waseda, Tokyo, Jepang pada tahun 1989. Sampai sekarang masih aktif sebagai Peneliti pada Pusat Penelitian Metalurgi-LIPI.

