



Pengaruh Perbandingan TiO_2 dan Reduktor Natrium Bikarbonat terhadap Pembentukan Tipe Fasa Natrium Titanat

Ratna Yuliani^{a,1}, Soesaptri Oediyani^{b,2}, Suratman^{c,3}

^aJurusan Teknik Metalurgi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jendral Sudirman Km 3, Kotabumi Kec. Purwakarta, Kota Cilegon, Banten, 42435, Indonesia

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada Januari 2022

Direvisi pada Februari 2022

Disetujui pada April 2022

Kata kunci:

Titanium dioksida, *ulvite*, pemanggangan alkali, natrium titanat.

Keywords:

Titanium dioxide, *ulvite*, alkali roasting, sodium titanate.

ABSTRAK

Titanium dioksida (TiO_2) merupakan senyawa yang mempunyai nilai jual yang tinggi. TiO_2 ditemukan dalam mineral *ulvite* (Fe_2TiO_4) dengan kandungan 2-20% TiO_2 . Salah satu usaha untuk meningkatkan kadar TiO_2 dari mineral *ulvite* dengan deposit pasir besi adalah melewati jalur pemanggangan alkali. Proses pemanggangan alkali bertujuan untuk membentuk senyawa natrium titanat dan natrium ferrat sebagai produk dari pemanggangan yang nantinya bersifat insoluble dan soluble. Variasi suhu yang digunakan adalah 900 dan 950°C, sedangkan untuk variasi rasio natrium bikarbonat antara lain, kebutuhan stoikiometri, eksek 20%, eksek 30%, eksek 50%, dan eksek 80%. Analisis mineralogi dan hasil percobaan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), sedangkan untuk analisis kimia menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF). Dari serangkaian penelitian dan analisis terbentuk tipe senyawa natrium titanat (Na_2TiO_3) pada suhu terbaik 950°C saat keadaan stoikiometri. Hal ini menunjukkan bahwa keadaan eksek tidak memberikan dampak yang maksimal pada pembentukan tipe fasa natrium titanat.

ABSTRACT

Titanium dioxide (TiO_2) is a compound that has a high selling value. TiO_2 is found in the mineral *ulvite* (Fe_2TiO_4) with a content of 2-20% TiO_2 . One of the efforts to increase the TiO_2 content of *ulvite* minerals with iron sand deposits is through the alkaline roasting route. The alkaline roasting process aims to form sodium titanate and sodium ferrate compounds as products of roasting which will be insoluble and soluble. The temperature variation used is titanium dioxide (TiO_2) which is a compound that has a high selling value. TiO_2 is found in the mineral *ulvite* (Fe_2TiO_4) with a content of 2-20% TiO_2 . One of the efforts to increase the TiO_2 content of *ulvite* minerals with iron sand deposits is through the alkaline roasting route. The alkaline roasting process aims to form sodium titanate and sodium ferrate compounds as products of roasting which will be insoluble and soluble. Variations in temperature used were 900 and 950°C, while for variations in the ratio of sodium bicarbonate, among others, stoichiometric requirements, excess 20%, excess 30%, excess 50%, and excess 80%. Mineralogical analysis and experimental results used X-Ray Diffraction (XRD), while for chemical analysis used X-Ray Fluorescence (XRF). From a series of studies and analyzes, a compound type of sodium titanate (Na_2TiO_3) was formed at the best temperature of 950°C under stoichiometric conditions. This shows that the excess state does not have a maximum impact on the formation of the sodium titanate type of phase. 900 and 950°C, while for variations in the ratio of sodium bicarbonate, among others, stoichiometric requirements, excess 20%, excess 30%, excess 50%, and excess 80%. Mineralogical analysis and experimental results used X-Ray Diffraction (XRD), while for chemical analysis used X-Ray Fluorescence (XRF). From a series of studies and analyzes, a compound type of sodium titanate (Na_2TiO_3) was formed at the best temperature of 950°C under stoichiometric conditions. This shows that the excess state does not have a maximum impact on the formation of the sodium titanate type of phase.

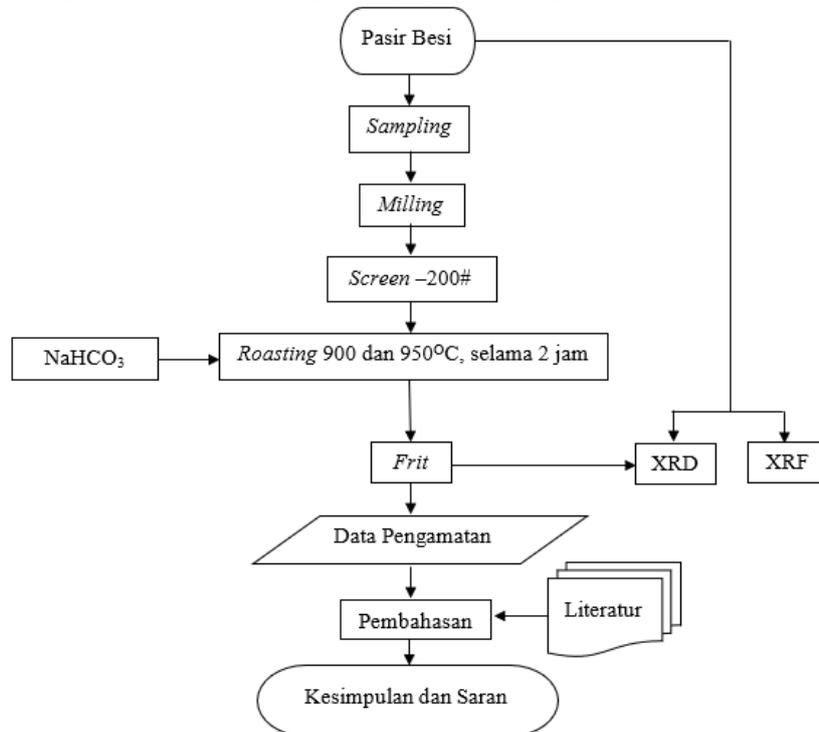
1. Pendahuluan

Titanium dioksida (TiO_2) atau yang disebut dengan oksida logam titanium merupakan sumber bahan baku pembuatan logam titanium [1]. Di samping itu titanium dioksida merupakan salah satu oksida logam yang secara luas digunakan untuk aplikasi pigmen. Beberapa industri yang memanfaatkan TiO_2 sebagai pigmen diantaranya industri plastik, pelapisan, dan industri tinta. Selain dimanfaatkan sebagai pigmen, TiO_2 juga bisa diaplikasikan pada industri non-pigmen seperti pada industri enamel

keramik, kosmetik, bahan makanan, serta sebagai filler untuk industri pengelasan. Aplikasi TiO_2 secara luas ini didukung oleh sifat TiO_2 seperti, berbentuk kristal berwarna putih, ramah lingkungan, tidak memiliki sifat yang berbahaya, serta tidak larut di air [2]. Secara umum sumber keterdapat TiO_2 berasal dari mineral ilmenit dan rutil. Selain itu sumber TiO_2 juga bisa didapatkan dari deposit pasir besi titanomagnetit dengan kadar berkisar antara 2-20% TiO_2 [2]. Keberadaan pasir besi Indonesia berjenis titanomagnetit yang terdiri atas mineral ulvit (Fe_2TiO_4) dan magnetit (Fe_3O_4) dengan ketersediannya yang terdapat di sepanjang Pantai Selatan Pulau Jawa. Akan tetapi selama ini pasir besi yang ditambang belum dimurnikan dan diolah terlebih dahulu. Hal ini telah diatur di dalam UU No.4 Tahun 2009 tentang pertambangan Mineral dan Batubara yang menegaskan bahwa pelarangan ekspor mineral mentah. Selanjutnya berdasarkan Peraturan Menteri ESDM No.8 tahun 2015, menegaskan tentang peningkatan mineral melalui kegiatan pengolahan dan pemurnian di dalam negeri. Oleh sebab itu banyaknya sumber TiO_2 dari deposit pasir besi Indonesia harus terlebih dahulu dilakukan pengolahan dan pemurnian dalam negeri. Teknologi ekstraksi TiO_2 secara komersial dari mineral ilmenit (35-65% TiO_2) dan rutil (92-98% TiO_2) diantaranya, proses sulfat, klorida, Becher, Benilite, Richter, Direct Leaching, De Wet, serta proses baru dengan tahapan pemanggangan alkali dan pelindian. Kelemahan dari beberapa teknologi yang telah digunakan hanya terbatas untuk feed yang berasal dari mineral ilmenit dan rutil, terkecuali proses baru dengan tahapan pemanggangan alkali. Teknologi baru dengan tahapan awal pemanggangan alkali memiliki keunggulan diantaranya dapat diterapkan untuk jenis feed yang lain seperti pasir besi jenis titanomagnetit [3]. Teknologi pemurnian TiO_2 dari pasir besi jenis titanomagnetit pertama kali dilakukan oleh industri New Zealand Steel Process. Proses pengolahan pasir besi melewati jalur pirometalurgi sehingga didapatkan produk titanium slag. Teknologi pemurnian TiO_2 dari titanium slag dikembangkan salah satunya oleh peneliti Yongjie Zhang yang mereaksikan titanium slag dengan persenyawaan natrium sebagai proses dari pemanggangan alkali. Permasalahan yang dihadapi terletak pada proses pemisahan TiO_2 dari deposit pasir besi yang cukup sulit, dikarenakan Fe dan Ti mempunyai ikatan yang kompleks [2]. Pada teknologi proses sebelumnya menggunakan jalur pirometalurgi dengan mengonsumsi energi yang cukup tinggi. Permasalahan lainnya yaitu kandungan TiO_2 yang terdapat pada pasir besi jenis titanomagnetit dengan jenis mineral ulvit masih cukup rendah (2-20%) [2]. Oleh sebab itu belum ada alternatif lain yang digunakan untuk mengekstraksi TiO_2 dari mineral ulvit. Sebagaimana penelitian yang dikemukakan oleh Biswas, dkk bahwa teknologi baru dengan metode pemanggangan alkali diharapkan dapat digunakan untuk mensintesis jenis mineral lainnya, termasuk ulvit. Prinsip pada pemanggangan alkali adalah pemanggangan oksidasi yaitu mereaksikan mineral dengan menggunakan reduktor persenyawaan natrium. Persenyawaan natrium dapat digunakan karena sifat dari mineral titaniferous yang dapat dipecah ikatannya dengan alkali [2].

2. Metode Penelitian

Secara skematik, penelitian ini digambarkan dalam bentuk diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 1.

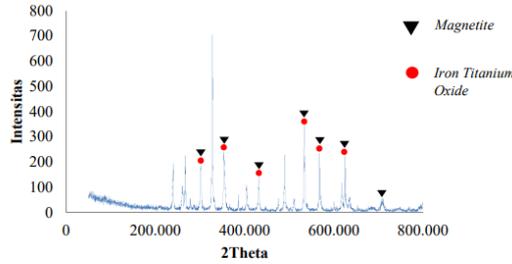


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

3. Hasil dan Pembahasan

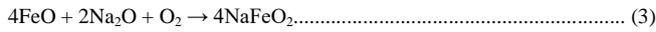
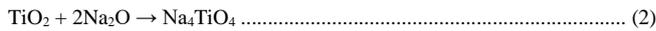
3.1. Analisa Mineralogi

Komposisi mineral pasir besi sebagai bahan penelitian dianalisis menggunakan metode analisis XRD. Pembacaan data hasil analisis menggunakan software ICDD. Analisis mineralogi digunakan untuk menentukan komposisi mineral yang terdapat dalam pasir besi bahan penelitian. Secara umum, senyawa dominan yang terdapat pada pasir besi adalah besi-oksida, titanium-oksida, dan silika-oksida. Hasil analisis XRD pasir besi bahan penelitian menunjukkan komposisi mineral dominan pada bahan terdiri dari mineral magnetit (Fe_3O_4) dan besi titanium oksida (Fe_2TiO_4)(ulvit) sebagaimana disajikan pada Gambar 2.



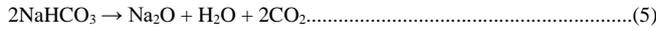
Gambar 2. Hasil XRD Pasir Besi-Titan Pandeglang.

Sebagian Reaksi pemanggangan alkali terhadap pasir besi yang digunakan sebagai bahan penelitian dengan didasarkan hasil analisis mineralogi XRD yang komposisi mineral seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 2., maka persamaan reaksi yang kemungkinan berlangsung pada suhu yang dipilih (900 dan 950°C) untuk diteliti proses pemanggangannya sebagai berikut:

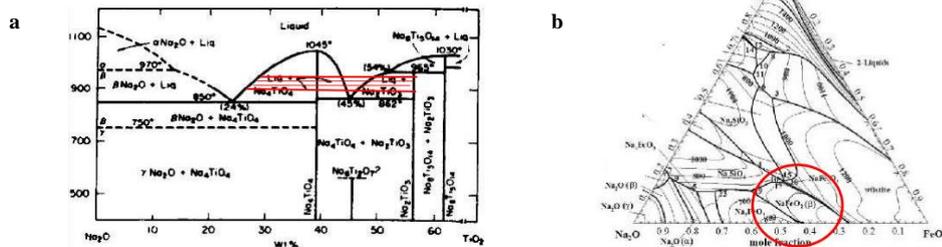


Persamaan 1 s.d 3 mengacu pada diagram fasa biner $\text{Na}_2\text{O}-\text{TiO}_2$ dan $\text{Na}_2\text{O}-\text{FeO}$. Senyawa FeO yang terbentuk dari reaksi mineral magnetit dan ulvit. $\text{Fe}_2\text{TiO}_4 \rightarrow 2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2 \dots\dots\dots (4)$

Persamaan-persamaan reaksi tersebut dapat dijelaskan dengan tahapan reaksi pemanggangan dengan meninjau reaksi pembentukan Na_2O dari reduktor natrium bikarbonat sebagai berikut :



Pembentukan senyawa $\text{Na}-\text{Ti}-\text{O}$ dan $\text{Na}-\text{Fe}-\text{O}$ didasarkan pada rasio Na_2O yang dibutuhkan. sebagaimana disajikan pada Gambar 3.

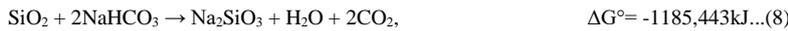
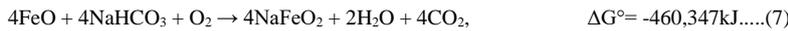
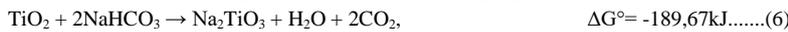


Gambar 6. - (a) Diagram Fasa Biner $\text{Na}_2\text{O}-\text{TiO}_2$; (b) Diagram Fasa Biner (b) $\text{Na}_2\text{O}-\text{FeO}$.

Diagram fasa biner menunjukkan kebutuhan Na_2O yang akan digunakan sebagai reduktor proses. Senyawa Na_2TiO_3 dan Na_4TiO_4 akan dituju pada percobaan ini.

3.2. Pengaruh Variabel Proses terhadap Pembentukan Senyawa Tipe Natrium Titanat

Untuk Pembahasan dari hasil pemanggangan alkali yang dilakukan akan meninjau hubungan dan pengaruh variabel proses yang dilakukan terhadap jumlah titanium dioksida (TiO_2) yang terdekomposisi menjadi senyawa yang soluble dan insoluble yang dinyatakan dalam perbandingan senyawa hasil pemanggangan alkali dengan senyawa yang terdapat pada residu hasil proses selanjutnya. Variabel bebas proses yang diamati terdiri dari suhu pemanggangan atau suhu fusi, rasio $\text{Na}_2\text{O}-\text{TiO}_2$, serta variasi kandungan TiO_2 pada sampel awal. Selanjutnya membahas pembentukan senyawa sebagai pengaruh dari suhu fusi yang didasarkan pada diagram biner sistem $\text{Na}_2\text{O}-\text{TiO}_2$ pada setiap suhu fusi percobaan dan rasio $\text{Na}_2\text{O}-\text{TiO}_2$. Beberapa hal yang perlu ditinjau untuk penelitian antara lain, aspek termodinamika, kajian diagram fasa, serta variabel-variabel yang digunakan. Aspek termodinamika sangat mempengaruhi dalam keberlangsungan proses. Nilai kespontanan dari reaksi kimia yang terjadi akan mempengaruhi senyawa-senyawa yang terbentuk. Senyawa-senyawa oksida dominan seperti yang telah dijelaskan sebelumnya akan direaksikan dengan natrium bikarbonat (NaHCO_3) sebagai reduktornya. Sesuai dengan persamaan 6 s.d 8.



Ditinjau dari nilai energi gibbs reaksi-reaksi kimia di atas, reaksi paling spontan yaitu reaksi untuk membentuk natrium silikat yang bersifat amorfus. Sedangkan untuk natrium ferrat dan natrium titanat bersifat kristalin. Persenyawaan natrium yang terbentuk ditinjau dari diagram fasa biner $\text{Na}_2\text{O}-\text{TiO}_2$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{FeO}$, dan $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$. Persenyawaan-natrium terbentuk dengan melihat rasio bahan terhadap reduktor, serta temperatur yang digunakan. Variabel yang digunakan menghasilkan persenyawaan-natrium yang nantinya dapat bersifat larut dan tidak larut di air sebagai proses lanjutan.

3.2.1. Pengaruh Rasio Natrium Bikarbonat (NaHCO_3) terhadap Pembentukan Senyawa Tipe Natrium Titanat

Penambahan reduktor akan mempengaruhi setiap hasil proses atau produk yang dihasilkan. Begitu pula halnya dengan penambahan reduktor NaHCO_3 pada 31 percobaan yang dilakukan. Rasio mol digunakan untuk memperhitungkan kebutuhan dari reduktor. Kebutuhan NaHCO_3 divariasikan atas lima yaitu, stoikiometri (1 : 2 mol), eksek 20% (1 : 2,4 mol), 30% (1 : 2,6 mol), 50% (1 : 3 mol), dan 80% (1 : 3,6 mol). Senyawa yang terbentuk akibat pengaruh rasio disajikan pada Tabel

1. Jika dilihat dari Tabel 1., senyawa natrium titanat terbentuk pada keadaan stoikiometri. Seperti yang telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya, hal ini tidak terlepas dari peran aspek termodinamika. Keadaan stoikiometri merupakan variabel terbaik proses untuk mendapatkan fasa yang diinginkan. Pada saat kebutuhan reduktor diganggu dimana kebutuhannya ditambahkan, tidak terlihat adanya fasa natrium titanat yang terbentuk. Hal ini dapat terjadi karena pada saat keadaan ekkses, kebutuhan NaHCO_3 lebih banyak digunakan. Kelebihan natrium bikarbonat akan berdampak pada terhalangnya pembentukan fasa natrium titanat, hal ini dipengaruhi oleh aspek termodinamika. Nilai energi gibbs dari natrium bikarbonat lebih negatif dibandingkan dengan senyawa yang lain. Dengan kata lain, natrium bikarbonat akan lebih dahulu bereaksi untuk terurai menjadi senyawa-senyawa nya., sebagaimana reaksi 9.



Setelah itu Na_2O yang tersisa akan mengikat senyawa FeO , kemudian TiO_2 . Akan tetapi hal ini tidak terjadi untuk pembentukan natrium titanat pada keadaan ekkses dikarenakan waktu yang digunakan selama proses dijadikan variabel tetap yaitu selama 2 jam, yang artinya natrium pada waktu yang digunakan hanya mampu mengikat dan membentuk natrium ferrat dalam keadaan ekkses. Pada rasio selanjutnya tidak terlihat adanya pembentukan senyawa yang diharapkan pada setiap rasio yang digunakan. Pada keadaan stoikiometri, natrium titanat yang terbentuk hanya Na_2TiO_3 . Hal ini berarti senyawa Na_2O hanya mampu mengikat TiO_2 sampai terbentuk fasa Na_2TiO_3 , hal ini kemungkinan dikarenakan fasa Na_4TiO_4 tidak lebih spontan dari Na_2TiO_3 . Untuk mencapai fasa Na_4TiO_4 dimungkinkan membutuhkan waktu lebih lama lagi dalam mencapai kesempurnaan reaksi. Sama halnya dengan penjelasan sebelumnya, pada keadaan ekkses tidak terlihat adanya natrium titanat yang terbentuk, hal ini dikarenakan natrium akan lebih dahulu terurai, setelah itu membentuk natrium ferrat, kemudian natrium titanat Na_2TiO_3 , serta tidak cukupnya waktu yang digunakan untuk selanjutnya membentuk Na_4TiO_4 .

Tabel 1. Hasil Analisis XRD Senyawa yang Terbentuk Akibat Pengaruh Rasio Natrium Bikarbonat.

NaHCO ₃	Umpan (gram)			Senyawa Frit Kristalin	
	Na ₂ O	TiO ₂	FeO	Teoritis	Percobaan
Stoikiometri	83,32	27,26	22,28	Na ₂ TiO ₃ , NaFeO ₂	Na ₂ TiO ₃ , NaFeO ₂
Ekses 20%	99,98	27,26	22,28	Na ₂ TiO ₃ , NaFeO ₂	NaFeO ₂
Ekses 30%	108,31	27,26	22,28	Na ₂ TiO ₃ , NaFeO ₂	-
Ekses 50%	124,97	27,26	22,28	Na ₂ TiO ₃ , NaFeO ₂	-
Ekses 80%	149,97	27,26	22,28	Na ₂ TiO ₃ , NaFeO ₂	-
Stoikiometri	72,32	27,26	22,28	Na ₄ TiO ₄ , NaFeO ₂	Na ₂ TiO ₃ , NaFeO ₂
Ekses 20%	86,79	27,26	22,28	Na ₄ TiO ₄ , NaFeO ₂	NaFeO ₂
Ekses 30%	94,02	27,26	22,28	Na ₄ TiO ₄ , NaFeO ₂	-
Ekses 50%	108,49	27,26	22,28	Na ₄ TiO ₄ , NaFeO ₂	-
Ekses 80%	130,18	27,26	22,28	Na ₄ TiO ₄ , NaFeO ₂	-

3.2.2. Pengaruh Suhu terhadap Pembentukan Senyawa Tipe Fasa Sodium Titanat

Jenis-jenis senyawa yang terbentuk dari hasil percobaan pemanggangan alkali dianalisa menggunakan metode XRD. Metode XRD hanya dapat menganalisa senyawa yang bersifat kristalin, sementara untuk senyawa yang bersifat amorf tidak dapat dideteksi dengan metode ini, sehingga fasa yang dapat dianalisa dengan metode ini hanya senyawa natrium titanat dan natrium ferrat. Sebagaimana penjelasan diagram fasa biner pada bab sebelumnya bahwa suhu proses yang digunakan terletak pada 900 dan 950°C. Hal ini diharapkan terjadinya keefektifan reaksi pada suhu tersebut. Berdasarkan Tabel 4.4, natrium titanat terbentuk pada kondisi stoikiometri saat suhu 950°C, dengan rumus kimia senyawa Na_2TiO_3 . Jika dilihat dari diagram fasa biner $\text{Na}_2\text{O-TiO}_2$, senyawa Na_2TiO_3 dapat terbentuk pada kedua suhu percobaan tersebut. Akan tetapi pada suhu 900°C untuk keadaan stoikiometri hanya terbentuk fasa NaTiO_2 . Hal ini membuktikan bahwa variabel suhu yang digunakan belum mencapai kesempurnaan reaksi. Sedangkan pada keadaan ekkses saat suhu 900 dan 950°C tidak memperlihatkan adanya fasa Na_2TiO_3 . Hal ini dikarenakan adanya pengaruh nilai termodinamika dari keseluruhan reaksi kimia yang terjadi selama proses. Energi gibbs untuk natrium bikarbonat (NaHCO_3) pada saat suhu 900°C maupun 950°C menunjukkan nilai yang negatif, yaitu -800 kJ, yang artinya natrium karbonat pada saat proses akan sangat spontan beraksi, atau dalam hal ini menjadi urutan pertama untuk terurai menjadi Na_2O , CO_2 , dan H_2O . Sedangkan untuk fasa natrium ferrat yang dalam hal ini senyawa yang terbentuk yaitu NaFeO_2 mempunyai nilai energi gibbs lebih besar dibandingkan natrium bikarbonat, yaitu -460 kJ. Fasa natrium titanat akan terbentuk setelah terbentuknya fasa natrium ferrat dengan nilai energi Gibbs -189 kJ. Berdasarkan Tabel 4.4, fasa Na_2TiO_3 hanya terbentuk pada suhu 950°C, yang artinya suhu optimum untuk pembentukan fasa target Na_2TiO_3 terjadi pada saat suhu proses 950°C.

Tabel 2. Hasil Analisis XRD Senyawa yang Terbentuk Akibat Pengaruh Suhu.

Suhu	Umpan (gram)			Senyawa Frit Kristalin	
	Na ₂ O	TiO ₂	FeO	Teoritis	Percobaan
900	83,32	27,26	22,28	Na ₂ TiO ₃ , NaFeO ₂	NaTiO ₂ , NaFeO ₂
	99,98	27,26	22,28	Na ₂ TiO ₃ , NaFeO ₂	NaFeO ₂
	108,31	27,26	22,28	Na ₂ TiO ₃ , NaFeO ₂	-
	124,97	27,26	22,28	Na ₂ TiO ₃ , NaFeO ₂	-
	149,97	27,26	22,28	Na ₂ TiO ₃ , NaFeO ₂	-
950	72,32	27,26	22,28	Na ₂ TiO ₃ , NaFeO ₂	Na ₂ TiO ₃ , NaFeO ₂
	86,79	27,26	22,28	Na ₂ TiO ₃ , NaFeO ₂	-
	94,02	27,26	22,28	Na ₂ TiO ₃ , NaFeO ₂	NaFeO ₂
	108,49	27,26	22,28	Na ₂ TiO ₃ , NaFeO ₂	-
	130,18	27,26	22,28	Na ₂ TiO ₃ , NaFeO ₂	NaFeO ₂

3.2.3. Pengaruh Kadar TiO₂ terhadap Pembentukan Senyawa Tipe Natrium Titanat

Sub-bab ini akan menjelaskan pengaruh perbedaan kadar titanium dioksida pada sampel awal terhadap pembentukan senyawa. Kadar TiO_2 yang digunakan yaitu 14,3% dan 27,257%. Fasa yang dibentuk pada keadaan ini ditampilkan pada Tabel 3. Jika dilihat dari keseluruhan fasa yang terbentuk dari perbedaan dua keadaan kadar awal, maka kadar tertinggi (27,257%) merupakan kadar terbaik untuk terbentuknya fasa natrium titanat yang

diinginkan. Kadar 14,3% sulit untuk membentuk fasa natrium titanat yang diinginkan, karena pada kadar ini masih banyak pengotor yang terapat di dalam pasir besi. Oleh sebab itu diperlukan benefisi awal untuk meningkatkan kadar senyawa TiO_2 sebelum dilakukannya proses pemanggangan alkali.

Tabel 3. Hasil Analisis XRD Senyawa yang Terbentuk pada Dua Kadar Berbeda.

Suhu (°C)	$\text{TiO}_2 : \text{NaHCO}_3$	Senyawa <i>frit</i> kristalin	
		Pandeglang (27,257% TiO_2)	Cipatujah (14,3% TiO_2)
900	Stoikiometri	$\text{NaTiO}_2, \text{NaFeO}_2$	$\text{NaTiO}_2, \text{NaFeO}_2$
	Ekses 20%	NaFeO_2	$\text{NaTiO}_2, \text{NaFeO}_2$
	Ekses 30%	-	NaFeO_2
	Ekses 50%	-	NaTiO_2
	Ekses 80%	-	-
950	Stoikiometri	$\text{Na}_2\text{TiO}_3, \text{NaFeO}_2$	NaFeO_2
	Ekses 20%	-	NaFeO_2
	Ekses 30%	NaFeO_2	NaFeO_2
	Ekses 50%	-	NaFeO_2
	Ekses 80%	NaFeO_2	-

4. Kesimpulan

1. Suhu dan rasio dapat mempengaruhi senyawa natrium titanat yang terbentuk. Semakin tinggi suhu yang digunakan maka akan semakin efektif senyawa natrium titanat yang terbentuk. Natrium titanat terbentuk pada saat suhu tertinggi (dalam hal ini 950°C) pada keadaan stoikiometri.
2. Rasio yang digunakan didasarkan atas kelebihan dari reduktor natrium bikarbonat (NaHCO_3). Semakin banyak NaHCO_3 yang digunakan maka semakin tidak efektifnya proses pembentukan senyawa natrium titanat yang diharapkan. Tidak terbentuknya senyawa natrium titanat pada ekses 20% - 80%.
3. Variasi kadar TiO_2 pada raw yang digunakan mempengaruhi pembentukan tipe fasa sodium titanat. Kadar TiO_2 pada raw tertinggi (27,257%) merupakan kadar terbaik untuk pembentukan tipe fasa sodium titanat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Whitfield & Associates. 2007. The Benefits of Chlorine Chemistry in Titanium and Titanium Dioxide. Amerika : American Chemistry Council. Pp : 5-6
- [2] Habashi, F. 1997. Titanium, Handbook of Extractive Metallurgy, Vol. II, Wiley-VCH, Weinheim, Federal Republic of Germany, pp.1129-1180
- [3] Porter, Robert. 2015. Mineral Sands Industry Fact Book May 2015. Australia., United States : ILUKA [4] Wahyudi, Tatang dkk. Indonesia Mining Journal. Volume : 11 Nomor 11, hal 10-11. Juni 2008. R&D Centre For Mineral And Coal Technology tekMIRA : Bandung
- [4] Fadhli, Kusnan. 2015. Preparasi Komposit $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ dari Pasir Besi Bengkulu dengan Pelarut Asam Sulfat untuk Degradasi Rhodamine B. Universitas Sebelas Maret : Surakarta
- [5] Akbar, Rizky, dkk. 2014. Ekstraksi TiO_2 Pasirbesi Rancecet-Pandeglang Melalui Proses Leaching HCl. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri (SNTI) ke-IV: Inovasi Teknologi Ramah Lingkungan untuk Penguatan Daya Saing Industri di Jakarta, 4-5 Juni 2014 - Buku II
- [6] http://bpmpt.kulonprogokab.go.id/pages-43-imsrfilesiconstrategis_pasirjpg.html (diakses 08/04/2016, 18.00)
- [7] Zulkarnain. 2000. Kemungkinan Pemanfaatan Pasir Desi Pesisir Pantai Aceh untuk Fabrikasi Magnet. UNSYIAH : Aceh. Prosiding Seminar Nasional Bahan Magnet I
- [8] Moe'tamar. 2008. Eksplorasi Umum Pasir Besi di Daerah Kabupaten Jeneponto, Provinsi Sulawesi Selatan. Pusat Sumber Daya Geologi : Bandung
- [9] NW, Bambang. 2005. Penyelidikan Endapan Pasirbesi di Daerah Pesisir Selatan ND-Flores Provinsi Nusa Tenggara Timur. Subdit : Mineral Logam
- [10] Knittel, D., 1983. Titanium and Titanium Alloys. In: Grayson, M. (Ed.), 3rd edition. Encyclopaedia of Chemical Technology, 23. John Wiley and Sons, pp.98-130 38 39
- [11] Middlemas Scott, Fang Zak. 2012. A New Methode For Production Titanium Dioxide Pigment. University of Utah : United States
- [12] Nayl, A.A., Aly, H.F., 2009. Acid Leaching of Ilmenite Decomposed by KOH. Hydrometallurgy . 97, 86-93
- [13] W. Zhang. 2011. A Literature Review Of Titanium Metallurgical Process. Journal Hydrometallurgy. Volume : 108, hal 177-188. www.elsevier.com/locate/hydromet. Januari 2016

- [14] J. Winkler. 2003. Titanium Dioxide. European Coating Literature : German
- [15] Barth, T. F. W., E. Posnjak. 1932. Spinel Structures: With And Without Variate Atom Equipoints, *Z. Kristallogr. Mineral.*, 82, 325
- [16] <http://mineraldata.org> terhubung berkala
- [17] N.C.Wilson, et al, 2005, Structure and Properties of Ilmenite from First Principles. The American Physical Society : Australia.
- [18] Clearfield, A., and Lehto, J., 1988. Preparation, Structure, and Ion-Exchange Properties of $\text{Na}_4\text{Ti}_9\text{O}_{20} \cdot x\text{H}_2\text{O}$. *Journal of Solid State Chemistry*, 73: 98–106
- [19] Bouaziz, R., and Mayer, M., 1971. The Binary Sodium Oxide-Titanium Dioxide. *C. R. Hebd. Sceances Acad. Sc. Ser. C.*, 272C: 1874–1877
- [20] Gicquel, C., Mayer, M., and Bouaziz, R., 1972. The Binary Sodium Oxide- Titanium Dioxide. *C. R. Hebd. Sceances Acad. Sc. Ser. C.*, 275C: 1427–1430.
- [21] Watanabe, M., 1981. The Investigation of Sodium Titanates by The Hydrothermal Reactions of TiO_2 with NaOH . *Journal of Solid State Chemistry*, 36: 91–96.
- [22] Batygin, V.G., 1967. Formation and Some Properties of Sodium Titanates. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, 12(6): 762–767.
- [23] Belyaev, E.K., Panasenko, N.M., and Linnik, E.V., 1970. Formation of Tetrasodium Trititanate in Mixtures of Sodium Carbonate and Titanium Dioxide. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, 15(3):336-338.
- [24] Li, C., Reid, A.F., and Saunders, S., 1971. Nonstoichiometric Alkali Ferrites and Aluminates in the Systems $\text{NaFeO}_2\text{-TiO}_2$, $\text{KFeO}_2\text{-TiO}_2$, $\text{KAlO}_2\text{-TiO}_2$, and $\text{KAlO}_2\text{-TiO}_2$. *Journal of Solid State Chemistry*, 3: 614–620. 40
- [25] Roth, R.S., Negas, T., and Cook, L.P. (Eds), 1981. Phase Diagrams for Ceramists. Columbus, US: American Ceramic Society, Figs 5123, 5124 and 5338.
- [26] Foley, E., and Mackinnon, K.P., 1970. Alkaline Roasting of Ilmenite. *Journal of Solid State Chemistry*, 1: 566–575. 28. El-Tawil, S. Z., Morsi, I. M., Yehia, A., and Francis, A. A., 1996. Alkali Reductive Roasting of Ilmenite Ore. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 35(1): 31–37