

Sintesis Nanopartikel Besi (III) Oksida (Fe_2O_3) dengan Menggunakan *Salt-Assisted Combustion Method (SACM)*

Abd.Wahidin Nuayi

Jurusan Fisika F.MIPA Universitas Negeri Gorontalo
Jl. Jenderal Sudirman No. 6 Kota Gorontalo, 96128
e-mail: wahidin.awn2023@ung.ac.id

Abstrak

Telah disintesis Nanopartikel Besi (III) Oksida (Fe_2O_3) yang menggunakan *Salt-Assisted Combustion Method (SACM)* dengan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (*merck*), $\text{HO}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n\text{H}$ /polietilen glikol (PEG-4000) dan KCl yang masing-masing berfungsi oksidator, bahan bakar dan garam. Produk yang terbentuk kemudian diuji dengan menggunakan *X-ray Diffractometer (XRD)* untuk mengetahui susunan atom-atom dalam suatu kristalin sehingga diketahui struktur, orientasi dan ukuran kristal, serta spektroskopi FTIR untuk mengetahui adanya ikatan logam-oksigen pada produk yang dihasilkan melalui vibrasi molekul dengan adanya pita penyerapan pada frekuensi tertentu. Hasil yang diperoleh menunjukkan terdapat fasa kristal nanopartikel Fe_2O_3 termasuk didalamnya fasa $\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3$ dan $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (hematite) meskipun masih terdapat impurities (pengotor), serta variasi molar $\text{FeSO}_4/\text{PEG-4000}$ yang menyebabkan ada perubahan ukuran diameter kristal nanopartikel Fe_2O_3 yang dihasilkan dari sebesar 44,706 nm menjadi 42,872 nm. Hasil FTIR menunjukkan munculnya pita serapan spesifik pada bilangan gelombang 509 cm^{-1} yang menyatakan vibrasi Fe-O stretching yang berasal dari ikatan dalam molekul Fe_2O_3 , serta penyerapan $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ terjadi pada daerah bilangan gelombang 3379 cm^{-1} , 1612 cm^{-1} , 633 cm^{-1} dan 509 cm^{-1} , yang mana puncak pada daerah 633 cm^{-1} dan 509 cm^{-1} sesuai dengan mode fibrasi logam-oksigen dan nilai-nilai frekuensi logam-oksigen untuk $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ sesuai dengan literatur.

Kata kunci: Fe_2O_3 , nanopartikel, Salt assisted combustion, fasa kristal

PENDAHULUAN

Material dalam skala ukuran nano dalam beberapa dekade terakhir ini menjadi sangat menarik, dan juga telah memiliki banyak metode sintesis yang dikembangkan. Berbagai penelitian yang sangat cermat secara terus menerus telah dilakukan yang didasarkan pada pemikiran atau ide yang sangat sederhana, yaitu menyusun sebuah material yang terdiri atas blok-blok partikel homogen dengan ukuran nanometer.

Salah satu jenis dari sekian banyak nanopartikel yang dihasilkan adalah Besi (III) Oksida atau Fe_2O_3 . Besi (III) oksida (Fe_2O_3) atau oksida besi juga dikenal sebagai bijih besi (bentuk alfa) atau maghemite (bentuk gamma) dalam bentuk mineral. Sebagai bahan kimia industri ini umumnya disebut *rouge*. Setelah dimurnikan, besi oksida digunakan sebagai lapisan dalam media audio dan komputer. Dalam lingkungan yang kering atau alkali, besi oksida itu dapat menyebabkan

pengvasifan dan menghambat karat, namun juga merupakan komponen utama karat (Sholihah, 2010).

Selain itu, oksida besi (Fe_2O_3) berukuran nanometer secara luas telah digunakan dalam berbagai bidang diantaranya pigmen (zat pewarna), katalis, serta sebagai material keramik dan perekaman magnetik. Yang mana, selama dua dekade yang lalu telah banyak perhatian yang diberikan untuk pembuatan Fe_2O_3 dengan berbagai ukuran, morfologi serta fasa kristalnya (Zheng *et al.*, 2006).

Untuk menghasilkan nanopartikel Fe_2O_3 ini dilakukan dengan menggunakan beberapa metode, diantaranya metode sol-gel, dari metode tersebut diperoleh ukuran partikel dari Fe_2O_3 antara 22 – 56 nm (Popovici *et al.*, 2006; Safee *et al.*, 2009; Cannas *et al.*, 1998; Duhan & Devi, 2010), metode presipitasi-kalinasasi dengan ukuran partikelnya antara 2,1 – 58,5 nm (Sahoo *et al.*, 2010), metode hidrotermal dengan ukuran partikelnya 5 – 60 nm (Kandori & Ishikawa, 2004; Xiong *et al.*, 2004;

Sreeja & Joy, 2007; Guohong *et al.*, 2011), metode elektrodeposisi dengan ukuran partikelnya 7 – 23 nm [12], dan metode pembakaran (*combustion*) yang saat ini tengah dikembangkan (Basavaraja *et al.*, 2007; Song *et al.*, 2010).

Penggunaan metode pembakaran (*combustion*) ini telah menarik minat para ilmuwan, dikarenakan keuntungan yang sangat baik, misalnya proses yang sederhana, biaya rendah, waktu yang singkat, konsumsi energi sedikit dan hasil produksi yang tinggi (Perdana, 2010). Proses *combustion* ini memanfaatkan *exothermicity* dari reaksi reduksi oksidasi (redoks) antara senyawa oksidator dan bahan bakar untuk langsung mengkristalkan bahan dari campuran molekul larutan prekursor, akan tetapi sulit untuk mendapatkan ukuran nanopartikel yang diinginkan, karena adanya agregasi dalam proses pembakaran. Untuk mengatasi kekurangan ini maka pada penelitian-penelitian selanjutnya dikembangkan metode pembakaran baru yang dibantu dengan menggunakan garam, dan hasilnya metode ini berhasil diterapkan dengan baik pada berbagai macam oksida dan nanopartikel komposit oksida. Akan tetapi, sejauh ini metode ini belum pernah digunakan untuk membuat nanopartikel Fe_2O_3 (Song *et al.*, 2010).

Berdasarkan uraian di atas, maka pada penelitian ini digunakan *salt-assisted combustion method* (SACM) untuk menghasilkan nanopartikel Fe_2O_3 yang memfokuskan pada usaha pengendalian fase kristal dan struktur mikro nanopartikel Fe_2O_3 nanopartikel yang menggunakan polietilen glikol (PEG-4000) sebagai bahan bakar dengan beberapa variasi molaritasnya terhadap $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ yang digunakan sebagai oksidator, serta KCl sebagai garam. Pemilihan KCl sebagai garam terbukti meningkatkan permukaan spesifik produk yang dihasilkan dari 21,96 menjadi 102,35 m^2/g (Song *et al.*, 2010).

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam percobaan ini berupa neraca analitik model AND GR-200, magnetik stirer dan stirer model MSH-200, spatula, gelas kimia (250 ml), termokopel, *furnace* model Vulcan^{TM3-130}, *crucible silica*, spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FTIR) model ABB

MB 300, dan *X-Ray Diffraction* (XRD) model Maxima XRD-7000.

Bahan yang digunakan dalam percobaan ini terdiri dari *Deionized water* dan Ethanol [C_2H_5OH , 96%] sebagai pencuci, Aqua bidest sebagai pelarut, serta $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (*merck*) sebagai oksidator, $HO(C_2H_4O)_nH$ /polietilen glikol (PEG-4000) sebagai bahan bakar dan KCl sebagai garam. Selain sebagai bahan bakar, PEG juga berfungsi sebagai penghambat ukuran kristal dari Fe_2O_3 yang akan terbentuk. Hal ini disebabkan karena PEG-4000 yang digunakan dalam percobaan ini memiliki berat molekul rata-rata 4000 g/mol dan memiliki derajat polimerisasi 68, yang mana derajat polimerisasi ini menyatakan banyaknya panjang rantai yang terkandung dalam PEG. Semakin banyak jumlah rantai yang dikandung oleh polietilen glikol, akan semakin banyak permukaan partikel Fe_2O_3 yang ditutupinya dan semakin menghambat pertumbuhan partikel sehingga ukuran kristalnya semakin kecil karena pertumbuhannya dibatasi atau dihalangi oleh banyaknya rantai PEG (Perdana, 2010). Pemilihan PEG-4000 ini juga dikarenakan karena sifatnya yang stabil, mudah bercampur dengan komponen-komponen lain, tidak beracun, dan tidak iritatif serta mudah didapat dan harganya cukup terjangkau.

Percobaan

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah melarutkan 0,006 mol $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (8,3406 g) dalam 100 ml larutan PEG4000 dengan rasio molaritas $SO_4/PEG4000$ sama dengan 1 (sebagai sampel 1), dan menambahkan sejumlah KCl dalam larutan tersebut dengan rasio molaritas KCl/SO_4 sebesar 1:1. Keseluruhan larutan tersebut distring dengan menggunakan magnetik stirer pada suhu 70 °C sampai terbentuk larutan yang homogen, transparan dan menyerupai sol. Langkah selanjutnya, larutan yang menyerupai sol ini dikeringkan pada suhu 110 °C selama 2 jam, kemudian gel yang dihasilkan diletakkan dalam *silika crucible* dan dipanaskan pada udara terbuka hingga gel tersebut terbakar. Setelah dipanaskan, bubuk yang dihasilkan direbus dalam aquades untuk menghilangkan garamnya. Langkah terakhir, produk yang dihasilkan disaring dan dicuci dengan aquades dan etanol, kemudian dikeringkan pada suhu 80 °C selama 2 jam.

Untuk mendapatkan perbandingan, sampel Fe_2O_3 yang dihasilkan dipreparasi dengan menggunakan perbandingan molaritas antara $\text{SO}_4/\text{PEG4000}$ sebesar 5:1 sebagai sampel 2. Selanjutnya sampel yang terbentuk di analisis dengan menggunakan *X-ray diffraction* (XRD), spektroskopi FTIR dan PSA.

Ukuran diameter partikel rata-rata didapatkan dari puncak tertinggi kurva hasil XRD dengan menggunakan persamaan Scherrer untuk lebar puncak yang diperluas sebagai fungsi dari ukuran partikel (Sahoo *et al.*, 2010).

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos(\theta)} \quad (1)$$

dengan λ merupakan panjang gelombang x-ray (Cu $K\alpha = 1,54056 \text{ \AA}$; k konstanta mesin (0,9); β merupakan $\frac{1}{2}$ lebar puncak maksimum; serta θ merupakan posisi puncak (Sahoo *et al.*, 2010).

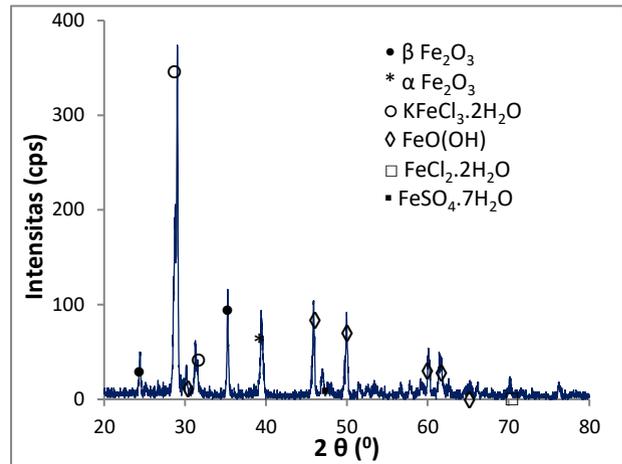
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis XRD (*X-Ray Diffraction*)

Analisis XRD digunakan untuk mengetahui susunan atom-atom dalam suatu kristalin sehingga akan diketahui struktur, orientasi dan ukuran kristal.

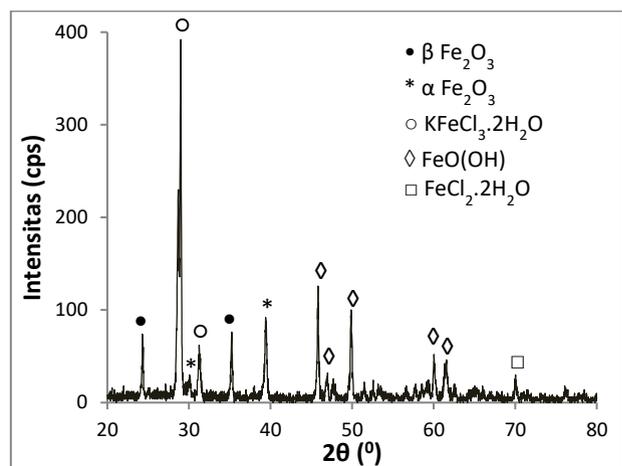
Pada Gambar 1 berikut dapat dilihat pola XRD dari sampel 1, yang mana bila dicocokkan dengan data standar (JCPDS 40-1139 dan 47-1409) telah terbentuk fasa Fe_2O_3 (sudut $2\theta = 24,38^\circ$; $35,26^\circ$ dan $39,42^\circ$) yang masing-masing berupa fasa $\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3$ dan $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (*hematite*), meskipun fasa yang terbentuk belum 100 persen. Hal ini dapat dilihat dari banyaknya puncak-puncak lain selain puncak dari keseluruhan fasa Fe_2O_3 , yang puncak-puncak lain tersebut diduga sebagai impuritas (pengotor).

Merujuk pada data standar, diketahui bahwa pengotor tersebut berupa *potassium iron chloride hydrate* ($\text{KFeCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) pada sudut $2\theta = 29,0^\circ$ dan $31,24^\circ$ (JCPDS 37-0680); *iron oxide hydroxide* (FeOOH) baik dalam fasa *akaganeite* ($\beta\text{-FeOOH}$) (sudut $2\theta = 45,88^\circ$ dan $60,10^\circ$), *goethite* ($\alpha\text{-FeOOH}$) (sudut $2\theta = 61,42^\circ$), dan *lepidocrocite* ($\gamma\text{-FeOOH}$) (sudut $2\theta = 49,98^\circ$) (JCPDS 08-0098, 34-1266 dan 29-0713); *Melanterite* ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) dan *Rokuhnite* ($\text{FeCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) masing-masing pada sudut $2\theta = 46,94^\circ$ dan $70,1^\circ$ (JCPDS 25-1040 dan 22-0633).



Gambar 1. Pola XRD dari $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ dan $\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3$ beserta *impurities* (pengotor) nya untuk sampel 1.

Untuk sampel 2, dengan perbandingan molaritas antara $\text{SO}_4/\text{PEG4000}$ sama dengan 5:1, kurva XRD yang diperoleh tidak jauh berbeda dengan kurva untuk sampel 1, seperti yang ditampilkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Pola XRD dari $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ dan $\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3$ beserta *impurities* (pengotor) nya untuk sampel 2.

Berdasarkan Gambar 2 di atas tampak bahwa penambahan konsentrasi PEG4000 tidak berpengaruh signifikan terhadap jumlah fasa Fe_2O_3 yang dihasilkan. Seperti halnya sampel 1, pada sampel 2 bila dicocokkan dengan data standar telah terbentuk fasa Fe_2O_3 yang berupa fasa $\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (sudut $2\theta = 24,3^\circ$ dan $35,22^\circ$) (JCPDS 40-1139)

maupun α -Fe₂O₃ (sudut $2\theta = 29,82^\circ$ dan $39,40^\circ$) (JCPDS 47-1409)f, serta pengotor yang hadir masih berupa *potassium iron chloride hydrate* (KFeCl₃.2H₂O) (sudut $2\theta = 29^\circ$ dan $31,26^\circ$) (JCPDS 37-0680); *iron oxide hydroxide* (FeOOH) baik dalam fasa *akaganeite* (β -FeOOH) pada sudut $2\theta = 45,82^\circ$ dan $60,1^\circ$, *goethite* (α -FeOOH) pada sudut $2\theta = 61,42^\circ$, dan *lepidocrocite* (γ -FeOOH) pada sudut $2\theta = 49,98^\circ$ (JCPDS 08-0098, 34-1266 dan 29-0713); dan *Rokuhnite* (FeCl₂.2H₂O) pada sudut $2\theta = 70^\circ$ (JCPDS 22-0633).

Masih terdapatnya *impurities* (pengotor) pada sampel 1 dan 2 seperti yang ditampilkan pada Gambar 1 dan 2 di atas, diduga bahwa dalam proses pembuatan nanopartikel Fe₂O₃ terdapat beberapa tahap yang kurang maksimal dilakukan, seperti perebusan dan pencucian sampel yang dihasilkan setelah proses anealing, tidak benar-benar menghilangkan kandungan garam dan pengotor lainnya. produk/sampel, serta suhu yang digunakan untuk membakar maupun mengeringkan sampel kurang begitu besar, dan ini ditunjukkan oleh mayoritas *impurities*nya berupa *iron oxide hydroxide* (FeOOH) baik dalam fasa *akaganeite* (β -FeOOH), *goethite* (α -FeOOH), dan *lepidocrocite* (γ -FeOOH) yang merupakan fasa transformasi sebelum terbentuknya Fe₂O₃ (Sahoo *et al.*, 2010).

Dari pola difraksi sinar-X dapat diketahui ukuran diaeter nanaopartikel kristal yang terbentuk dengan menggunakan metode Scherrer untuk sampel 1 sebesar 44,706 nm, dan untuk sampel 2 sebesar 42,872 nm.

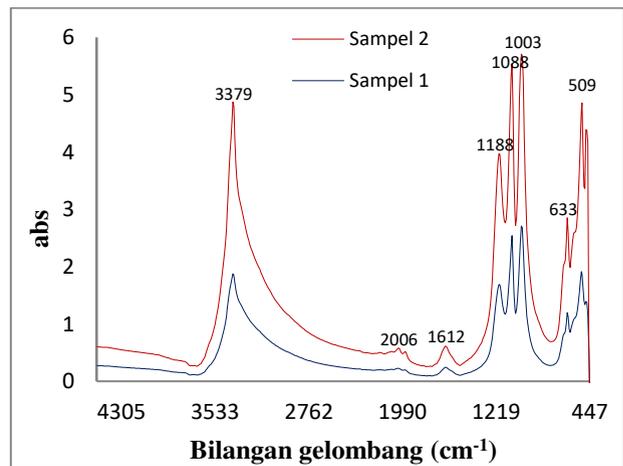
Besarnya ukuran diameter nanopartikel yang dihasilkan pada percobaan ini dengan menggunakan *salt-assisted combustion method* (SACM) tidak jauh berbeda dengan hasil-hasil yang diperoleh dengan menggunakan metode yang sama seperti yang dilakukan oleh Song Jun *et.al* maupun dengan menggunakan metode lain. Perbandingan besarnya ukuran diameter antara hasil dalam percobaan ini dengan beberapa metode lain yang pernah dilakukan ditampilkan pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Perbandingan ukuran diameter nanopartikel Fe₂O₃ dengan menggunakan beberapa metode

Metode	Prekursor	Diameter Fe ₂ O ₃ (nm)
Sol-Gel	Fe (NO ₃) ₃ .9H ₂)	12,6
Presipitasi – Kalsinasi	FeCl ₃ .6H ₂ O	2,1 – 58,5
Hidrotermal	FeCl ₃ .6H ₂ O	40-60
Hidrotermal	FeSO ₄ .7H ₂ O dan FeCl ₃ .6H ₂ O	11
Elektrodeposisi	FeCl ₃ .6H ₂ O	7 – 23

Analisis FTIR (Fourier Transform Infrared)

Analisis FTIR dilakukan untuk memastikan adanya ikatan logam-oksigen, dan hasil analisis dengan spektrofotometer inframerah (FTIR) untuk sampel 1 dan sampel 2 menunjukkan bahwa spektra serapan antara kedua sampel terjadi pada daerah atau bilangan gelombang yang sama, namun dengan intensitas serapan yang berbeda, yang mana intensitas serapan sampel 2 jauh lebi besar (sekitar 3 kali lipat) daripada intensitas serapan sampel 1, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Spektra absorbansi IR untuk Fe₂O₃

Berdasarkan Gambar 3 di atas tampak spektra serapan pada bilangan gelombang 3379 cm⁻¹, 2006 cm⁻¹, 1612 cm⁻¹, 1188 cm⁻¹, 1088 cm⁻¹, 1003 cm⁻¹, 633 cm⁻¹, dan 509 cm⁻¹.

Merujuk pada sumber data utama serapan infra merah, menunjukkan bahwa munculnya pita serapan spesifik pada 509 cm^{-1} yang menyatakan vibrasi Fe-O *stretching* yang berasal dari ikatan dalam molekul Fe_2O_3 (Duhan, 2010), dan penyerapan $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ terjadi pada daerah bilangan gelombang 3379 cm^{-1} , 1612 cm^{-1} , 633 cm^{-1} dan 509 cm^{-1} . Puncak pada daerah 633 cm^{-1} dan 509 cm^{-1} sesuai dengan mode fibrasi logam-oksigen (Duhan, 2010; Basavaraja *et al.*, 2011), nilai-nilai frekuensi logam-oksigen untuk $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ sesuai dengan nilai-nilai literatur serta puncak pada 3379 dan 1612 cm^{-1} berkaitan dengan air hidrasi (Basavaraja *et al.*, 2011).

Selanjutnya serapan pada bilangan gelombang 1612 cm^{-1} merupakan serapan dari H_2O secara lengkung (O-H tekuk). Serapan gugus OH yang cukup kuat menunjukkan kuatnya ikatan OH dengan kation-kation yang ada (Wijaya *et al.*, 2005). Data ini mendukung hasil XRD, dimana bubuk partikel yang dihasilkan juga masih mengandung (FeOOH) baik dalam fasa *akaganeite* ($\beta\text{-FeOOH}$), *goethite* ($\alpha\text{-FeOOH}$), dan *lepidocrocite* ($\gamma\text{-FeOOH}$). Pita serapan pada bilangan gelombang 1188 cm^{-1} , 1088 cm^{-1} , dan 1003 cm^{-1} yang terlihat menunjukkan pergeseran pembentukan oksida besi (FeOOH) yang merupakan fasa transformasi sebelum terbentuknya Fe_2O_3 (Sahoo *et al.*, 2010; Wijaya *et al.*, 2005).

PENUTUP

Telah terbentuk nanopartikel Fe_2O_3 dengan menggunakan *salt-assisted combustion method* (SACM) untuk menghasilkan nanopartikel Fe_2O_3 yang memfokuskan pada usaha pengendalian fase kristal dan struktur mikro nanopartikel Fe_2O_3 nanopartikel dengan beberapa variasi molaritas polietilen glikol (PEG-4000) sebagai bahan bakar terhadap $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ yang digunakan sebagai oksidator, serta KCl sebagai garam, meskipun masih terdapat sejumlah impurities (pengotor). Variasi molar $\text{FeSO}_4/\text{PEG-4000}$ menyebabkan ada perubahan ukuran diameter kristal nanopartikel Fe_2O_3 yang dihasilkan dari sebesar $44,706\text{ nm}$ menjadi $42,872\text{ nm}$, sehingga dapat dikatakan bahwa *salt-assisted combustion method* (SACM)

dapat digunakan untuk menghasilkan bubuk Fe_2O_3 dengan ukuran partikel nano.

Masih terdapatnya impurities pada produk yang dihasilkan seperti pada sampel 1 dan 2 yang berupa *iron oxide hydroxide* (FeOOH) baik dalam fasa *akaganeite* ($\beta\text{-FeOOH}$), *goethite* ($\alpha\text{-FeOOH}$), dan *lepidocrocite* ($\gamma\text{-FeOOH}$) yang merupakan fasa transformasi sebelum terbentuknya Fe_2O_3 , kedepan diharapkan tahapan dalam proses pembuatan nanopartikel Fe_2O_3 yang kurang maksimal dilakukan (seperti perebusan dan pencucian sampel yang dihasilkan setelah proses anealing, tidak benar-benar menghilangkan kandungan garam dan pengotor produk/sampel lainnya, serta suhu yang digunakan untuk membakar maupun mengeringkan sampel kurang begitu besar) lebih dimaksimalkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Sholiha, Lia Kurnia. 2010. Sintesis dan Karakteristik Partikel Nano Fe_3O_4 yang Berasal dari Pasir Besi dan Fe_3O_4 Bahan Komersial (Aldrich). *Laporan Tugas Akhir*. Jurusan Fisika. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Zheng, Yuan-hui., Cheng, Yao., Wang, Yuan-sheng. 2006. Quasicubic $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ Nanoparticles with Excellent Catalytic Performance. *The Journal of Physical Chemistry B*, 110 (7): 3093–3097.
- Popovici, Mihaela., Savii, Cecilia., Nižòanský, Daniel., Enache, Corina., Claudia, Lonescu., Radu, Ramona. 2006. Magnetic $\varepsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ Nanoparticles Obtained by Sol-gel Synthesis. *Material Structure*, 13 (2): 79-81.
- Safee, N. H. A., M. P. Abdullah., M. R. Othman. 2009. Synthesis and Characterization of Carbocymethyl Chitosan- Fe_3O_4 Nanoparticles. *Prosiding Seminar Kimia Bersama UKM- ITB VIII*, 9-11 Juni: 474-479
- Cannas, C., Gatteschi, D., Musinu, A., Piccaluga, G., Sangregori, C. 1998. Structural and Magnetic Properties of Fe_2O_3 Nanoparticles Dispersed Over a Silica Matrix. *J. Phys. Chem. B*, 102 (40) : 7721–7726
- Duhan, S., Devi, S. 2010. Synthesis and Structural Characterization of Iron Oxide-silica Nanocomposites Prepared by the Sol-Gel

- Method. *International Journal of Electronic Engineering*, 2 (1): 89-92.
- Sahoo, S.K., Agarwal, K., Singh, A.K., Polke B.G., Raha, K.C. 2010. Characterization of γ - and α - Fe_2O_3 Nano Powders Synthesized by Emulsion Precipitation-Calcination Route and Rheological Behaviour of α - Fe_2O_3 . *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 2 (8): 118-126.
- Kandori, K., Ishikawa, T. 2004. Preparation and microstructural studies on hydrothermally prepared hematite. *Journal of Colloid and Interface Science*, 272(1): 246-248
- Xiong, Wang., Xiangying, Chen., Xuchu, Ma., Huagui, Zheng., Mingrong, Ji., Zude, Zhang. 2004. Low-Temperature Synthesis of α - Fe_2O_3 Nanoparticles with a Closed Cage Structure. *Chemical Physics Letters*, 384: 391-393.
- Sreeja, V., Joy, P.A. 2007. Microwave-Hydrothermal Synthesis of γ - Fe_2O_3 Nanoparticles and Their Magnetic Properties. *Material Research Bulletin*, 42: 1570-1576.
- Guohong, Qiu., Hui, Huang., Genuino, Homer., Opembe, Naftali., Stafford, Lisa., Dharmarathna, Saminda., Suib, Steven L. 2011. Microwave-assisted hydrothermal synthesis of nanosized α - Fe_2O_3 for catalysts and adsorbents. *The Journal of Physical Chemistry C*, 115: 19626-19631.
- Park, Hosik., Ayala, Perla., Deshusses, Marc A., Mulchandani, Ashoka., Heechul, Choi., Nosang, V. Myunga. 2008. Electrodeposition of Maghemite ($-\text{Fe}_2\text{O}_3$) Nanoparticles. *Chemical Engineering Journal*, 139: 208-212.
- Basavaraja, S., H, Vijayanand., A, Venkataraman. 2007. Characterization of γ - Fe_2O_3 Nanoparticles Synthesized Through Self-Propagating Combustion Route. *Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic, and Nano-Metal Chemistry*, 37(6): 409-412.
- Basavaraja, S., H, Vijayanand., A, Venkataraman. 2011. *Solvothermal Synthesis and Characterization of Acicular α - Fe_2O_3 Nanoparticles*. *Bull. Mater. Sci.*, 34 (7): 1313-1317.
- Song, Jun., Ma, Zhen-Ye., Li, Cheng., Wu, Ru-Jun. 2010. *Synthesis of Ferric Oxide Nanoparticles with Controllable Crystal Phases by Salt-Assisted*, 25 (7): 780-783.
- Perdana, Febi Angelia. 2010. Sintesis Nanopartikel Fe_3O_4 dengan Template PEG – 1000 dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya. *Jurnal Materi dan Energi Indonesia*, 01 (01): 1-6.
- Duhan, S,S. Devi. 2010. Synthesis and Structural Characterization of Iron Oxide-silica Nanocomposites Prepared by the Sol-Gel Method. *International Journal of Electronic Engineering*, 2 (1): 89-92.
- Wijaya, Karna., Tahir, Iqmal., Haryanti, Nanik. 2005. Synthesis of Fe_2O_3 -Montmorillonite and its Application as a Photocatalyst for Degradation of Congo Red Dye. *Indo. J. Chem.*, 5 (1): 41 – 47