

## SINTESIS $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_3\text{O}_4$ DARI MILL SCALE PABRIK BAJA DENGAN METODE PRESIPITASI

Grace Tj. Sulungbudi, Mujamilah dan Ridwan

Puslitbang Iptek Bahan (P3IB) - BATAN  
Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang

### ABSTRAK

**SINTESIS  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Fe}_3\text{O}_4$  DARI MILL SCALE PABRIK BAJA DENGAN METODE PRESIPITASI.** Mill scale yang digunakan dalam penelitian ini, berdasarkan hasil karakterisasi fasa menggunakan data difraksi sinar-x (XRD) dan perangkat lunak analisis kristal RIETAN-2000, mengandung 85,84 % berat FeO dan 14,16 % berat  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Dari hasil proses dengan menggunakan metode presipitasi diperoleh serbuk oksida besi dengan sistem fasa  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Fe}_3\text{O}_4$ , dan ukuran kristalin 27,19 nm. Di sini terjadi peningkatan fasa  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_3\text{O}_4$  sebesar ~86 % dari mill scale awal. Sebagai pembandingan digunakan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Aldrich (63-7106) yang mempunyai fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan ukuran kristalin 27,49 nm. Pengukuran sifat magnetik dengan *vibrating sample magnetometer (VSM)* menunjukkan bahwa serbuk magnet oksida besi hasil proses mempunyai harga magnetisasi saturasi lebih tinggi dibandingkan dengan produk  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Aldrich (63-7106) masing-masing adalah 84 emu/gram dan 72 emu/gram.

**Kata kunci :**  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_3\text{O}_4$ , mill scale, presipitasi

### ABSTRACT

**SYNTHESIS OF  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Fe}_3\text{O}_4$  FROM MILL SCALE BY PRECIPITATION METHOD.** The mill scale used in this experiment, based on phase characterization by x-ray diffraction (XRD) and RIETAN 2000 software, consist of 85.84 wt % FeO and 14.16 wt %  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Precipitation process of this mill scale produce powder of iron oxide with  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Fe}_3\text{O}_4$  phase system and crystalline size of 27.19 nm. There is ~86% enhancement of  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_3\text{O}_4$  phase from the origin mill scale. As comparison, we used  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Aldrich (63-7106) having  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  phase system and crystalline size of 27.49 nm. Magnetic measurement using Vibrating Sample Magnetometer (VSM) showed that mill scale processed iron oxide powder has higher saturation magnetization than  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Aldrich (63-7106), which are 84 and 72 emu/gram, respectively.

**Key words :**  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_3\text{O}_4$ , mill scale, precipitation

### PENDAHULUAN

Bahan oksida besi tersedia di alam dalam jumlah yang sangat besar. Oksida besi tersebut dapat terbentuk dalam beberapa kombinasi komposisi kimia FeO (*wustite*),  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  (*hematite*),  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  (*maghemite*) ataupun  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (*magnetite*). Selain proses sintesis secara alamiah (*natural*), bahan ini juga secara terkontrol dapat di sintesis di laboratorium, misalnya dengan metode presipitasi atau *sonochemistry* [1,2]. Proses pembentukan fasa-fasa oksida besi ini sangat bergantung pada elemen-elemen dasar, suhu reaksi dan atmosfer [3].

Dari sistem oksida besi ini, fasa-fasa  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  bersifat ferimagnet dengan nilai magnetisasi saturasi masing-masing 0,47 T dan 0,6 T serta suhu Curie 863K (590°C) dan 858K (585°C) [4]. Sedangkan untuk fasa FeO bersifat antiferomagnet dan untuk  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  meski bersifat ferimagnet namun memiliki nilai magnetisasi yang jauh lebih rendah. Sifat magnetik yang ditunjukkan kedua fasa oksida  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$

dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  tersebut menjadikan bahan ini banyak digunakan sebagai penyimpan data dan *toner*.

Perkembangan teknologi pemrosesan bahan yang memungkinkan diperolehnya serbuk oksida besi dalam ukuran nanometer, membuka peluang bagi bahan ini untuk dimanfaatkan di bidang kesehatan. Sebagai contoh,  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  oksida besi dalam ukuran ~10 nm sebagai *ferofluid* telah banyak digunakan dalam proses *magnetic separation* dan *contrast agent* untuk *Magnetic Resonance Imaging, MRI* [5]. Selain itu juga dapat digunakan sebagai penyerap logam berat dalam pengolahan air [6]. Sehingga sampai saat ini teknologi proses untuk mendapatkan partikel magnetik dari oksida besi ini dalam ukuran nanometer masih terus berkembang.

Dalam makalah ini akan dibahas hasil penelitian proses sintesis oksida besi,  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  atau  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dari bahan dasar *mill scale* dengan metode presipitasi. *Mill scale* merupakan hasil samping dari pabrik baja

yang terbentuk pada permukaan logam dalam proses pembuatan baja, yaitu pada saat proses penuangan, pemanasan ulang, dan *hot rolling* [7]. Bahan ini dapat dimanfaatkan dalam pembuatan bahan magnet permanen heksaferit yaitu dengan mengubah campuran oksida besi yang terkandung menjadi  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  [8].

Hasil yang diperoleh dibandingkan dengan serbuk oksida besi komersial berdasarkan parameter kristalit (sistem fasa dan ukuran kristalin) dan sifat magnetik bahan.

## METODE PERCOBAAN

Bahan awal yang digunakan dalam penelitian ini adalah *mill scale* dari pabrik baja PT. Krakatau Steel, HCl 25 % pro analisis (Merck), NaOH pro analisis (Merck), dan sebagai material pembanding digunakan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dari Aldrich (63-7106). *Mill scale* yang digunakan dalam penelitian ini terlebih dahulu dikarakterisasi fasanya.

*Mill scale* dilarutkan dalam larutan 1:1 HCl 25% (3,8M), kemudian disaring. Pada larutan yang diperoleh ditambahkan larutan NaOH 5M sedikit demi sedikit sambil terus diaduk dengan pengaduk magnetik hingga telah terbentuk presipitat yang sempurna [9,10]. Dengan kata lain tidak terjadi proses pengendapan lagi. Presipitat kemudian dicuci dengan *aquadest* sampai bebas klor (diuji dengan  $\text{AgNO}_3$ ), lalu disaring dan dikeringkan.

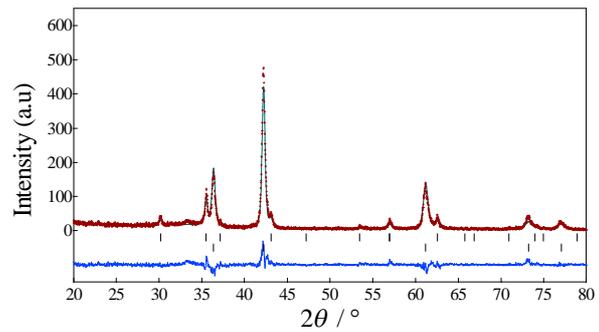
Presipitat yang telah dikeringkan kemudian dikarakterisasi fasa dan sifat magnetnya. Karakterisasi fasa dilakukan menggunakan difraksi sinar-X (XRD) dengan target Cu-K $\alpha$  dan dianalisis menggunakan program RIETAN-2000 [11]. Bahan dalam bentuk serbuk ditaburkan pada permukaan wadah yang diberi perekat. Pengambilan data dilakukan dengan selang tiap data 0,02°. Sifat magnet dari bahan diukur dengan VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*). Bahan berupa serbuk ditempatkan dalam wadah berbentuk silinder tanpa dipadatkan. Pengambilan data dilakukan dengan kecepatan pengukuran 0,25T/menit.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Seperti yang telah dinyatakan dalam pendahuluan bahwa penelitian ini bertujuan mensintesis fasa  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_3\text{O}_4$  dari campuran oksida besi yang terdapat dalam *mill scale* (MS) dengan metode presipitasi. Pola difraksi sinar-X dan hasil analisis RIETAN dari bahan *mill scale* ini diberikan pada Gambar 1.

Data difraksi sinar-X hasil pengukuran dianalisis dengan pendekatan multi fasa FeO (*space group Fm3m*) dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (*space group Fd3m*). Tanda ( | ) pada Gambar 1 menyatakan posisi puncak fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (bagian

atas) dan untuk fasa FeO (bagian bawah). Grafik bagian bawah menyatakan selisih antara data hasil pengamatan dan perhitungan. Hasil analisis menunjukkan komposisi fasa MS sebelum diproses adalah 85,84% berat FeO dan 14,16% berat  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Dari hasil analisis ini, perbandingan mol  $\text{Fe}^{2+}$  terhadap  $\text{Fe}^{3+}$  awal dapat dihitung. Hasil perhitungan dapat dilihat dalam Tabel 1. Sehingga diperoleh perbandingan  $\text{Fe}^{2+}$  terhadap  $\text{Fe}^{3+}$  adalah 1,25 : 0,12 atau ~10:1.

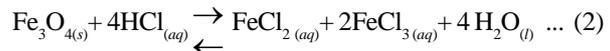
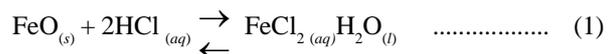


Gambar 1. Pola difraksi sinar-x dari pengamatan (•) dan analisis Rietveld (—) untuk bahan MS sebelum diproses.

Tabel 1. Perbandingan  $\text{Fe}^{2+}$  terhadap  $\text{Fe}^{3+}$  dalam MS.

Fasa	% berat	$\text{Fe}^{2+}$ (mol)	$\text{Fe}^{3+}$ (mol)
FeO	85,84	1,19	-
$\text{Fe}_3\text{O}_4$	14,16	0,06	0,12
Total	100	1,25	0,12

Tahapan berikutnya MS dilarutkan dalam HCl dengan reaksi kimia yang terjadi seperti pada persamaan (1) dan (2), sehingga terbentuk campuran larutan  $\text{FeCl}_2$  dan  $\text{FeCl}_3$ .

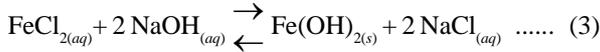


Dari perhitungan diatas terlihat bahwa dalam MS terdapat  $\text{Fe}^{2+}$  yang banyak, tetapi adanya kontak dengan udara maupun  $\text{H}_2\text{O}$  selama eksperimen menyebabkan sebagian  $\text{Fe}^{2+}$  berubah menjadi  $\text{Fe}^{3+}$ . Ditinjau dari sifat kimia besi, valensi 3+ lebih stabil daripada valensi 2+, karena  $\text{Fe}^{3+}$  mempunyai konfigurasi elektron 3d<sup>5</sup> di mana sub kulit d semuanya terisi setengah penuh, seperti dijelaskan di bawah ini.

Fe(II)	[Ar]	↑↓	↑	↑	↑	↑	4s
		3d					
Fe(III)	[Ar]	↑	↑	↑	↑	↑	4s
		3d					

$\text{Fe}^{3+}$  maupun  $\text{Fe}^{2+}$  dengan asam klorida yang berlebih, dapat terbentuk spesi  $\text{FeCl}_4^-$  atau  $\text{FeCl}_4^{2-}$  [12].

Presipitat hidroksida besi diperoleh setelah larutan besi klorida tersebut ditambah dengan larutan NaOH. Reaksi kimia yang terjadi seperti persamaan (3) dan (4).



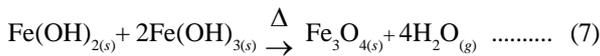
Presipitat hidroksida besi ini bersifat gelatin yang sangat tidak larut dalam air. Presipitat  $\text{Fe(OH)}_2$  dan  $\text{Fe(OH)}_3$  mempunyai Ksp (*solubility product constant*) masing-masing adalah  $2 \times 10^{-15}$  dan  $1,1 \times 10^{-36}$  [9].

$$K_{sp \text{ Fe(OH)}_2} = [\text{Fe}^{2+}] [\text{OH}^-]^2 \dots\dots\dots (5)$$

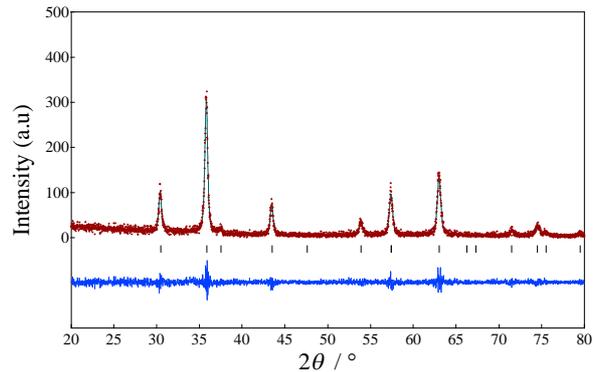
$$K_{sp \text{ Fe(OH)}_3} = [\text{Fe}^{3+}] [\text{OH}^-]^3 \dots\dots\dots (6)$$

Dari harga Ksp ini dapat dihitung molaritas kelarutan presipitat dalam air, yaitu  $7,937 \times 10^{-6}$  mol/liter untuk  $\text{Fe(OH)}_2$ , dan  $4,493 \times 10^{-10}$  mol/liter untuk  $\text{Fe(OH)}_3$ . Hal ini berarti kelarutan  $\text{Fe(OH)}_2$  lebih besar daripada  $\text{Fe(OH)}_3$ . Dengan menambahkan NaOH berlebih akan terjadi efek ion senama (*common ion effect*), kesetimbangan kimia bergeser ke arah pembentukan presipitat yang lebih sempurna dan tidak mudah larut.

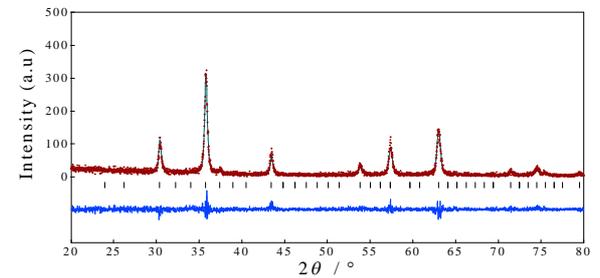
Campuran hidroksida besi ini dicuci dengan *aquadest* untuk menghilangkan NaCl yang terbentuk. Untuk mengetahui bahwa presipitat sudah bebas NaCl maka dilakukan uji dengan  $\text{AgNO}_3$ . Setelah itu presipitat disaring dengan kertas saring dan dikeringkan pada  $100^\circ\text{C}$ , sehingga diperoleh serbuk berwarna coklat kehitaman. Pada saat dehidrasi, molekul air dikeluarkan dari sistem presipitat  $\text{Fe(OH)}_2$  dan  $\text{Fe(OH)}_3$ . Apabila perbandingan  $\text{Fe}^{2+} : \text{Fe}^{3+} = 1:2$  maka akan terbentuk oksida besi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , seperti pada persamaan reaksi di bawah ini



Serbuk yang telah dikeringkan tersebut dikarakterisasi dengan XRD untuk melihat fasa yang terbentuk. Pada Gambar 2 dan Gambar 3 diperlihatkan pola difraksi dan hasil analisis *RIETAN* dengan pendekatan fasa masing-masing sebagai  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (*space group Fd3m*) dan sebagai  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  (*space group P4<sub>1</sub>32*). Ternyata pola difraksi sinar-x dari presipitat *MS* hasil proses cocok untuk kedua *fitting* tersebut dan tidak dapat dibedakan. Sehingga untuk selanjutnya fasa yang diperoleh disebut sebagai fasa  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Studi lanjut untuk karakterisasi fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  dari sampel tersebut akan diteliti dengan difraksi neutron pada penelitian lain. Hasil analisis kuantitatif dengan *RIETAN* terhadap serbuk *MS* hasil proses sesuai persamaan kimia (2), (3), (4) dan (7) diperoleh 100% kandungan fasa  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Fe}_3\text{O}_4$  tanpa adanya fasa lain.



Gambar 2. Pola difraksi sinar-x dari pengamatan (•) dan analisis *Rietveld* (—) untuk bahan *MS* setelah diproses dengan pendekatan fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .



Gambar 3. Pola difraksi sinar-x dari pengamatan (•) dan analisis *Rietveld* (—) untuk bahan *MS* setelah diproses dengan pendekatan  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ .

Jumlah ion  $\text{Fe}^{2+}$  yang berlebih pada *MS* tidak menyebabkan pembentukan fasa  $\text{FeO}$  dalam sampel hasil proses seperti terlihat pada pola difraksi sinar-X pada Gambar 2 dan Gambar 3. Secara kualitatif, hal ini menunjukkan  $\text{Fe}^{2+}$  yang teroksidasi menjadi  $\text{Fe}^{3+}$  cukup besar. Seperti telah disebutkan sebelumnya, bahwa apabila perbandingan  $\text{Fe}^{2+} : \text{Fe}^{3+} = 1:2$  maka akan terbentuk  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , hal ini berarti terjadi perubahan perbandingan dari  $\sim 10:1$  menjadi  $1:2$

Dari data *XRD* dapat dihitung ukuran kristalin dengan menggunakan persamaan *Scherrer* [13],

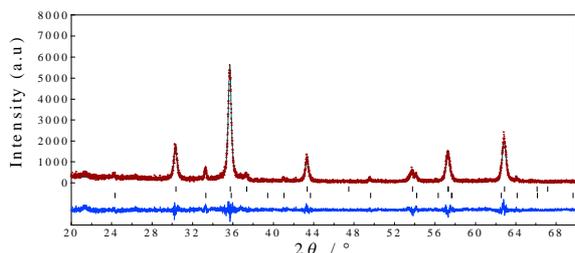
$$D = \frac{0,9\lambda}{\beta \cos \theta} \dots\dots\dots (8)$$

*D* adalah ukuran kristalin,  $\lambda$  adalah panjang gelombang target ( $\lambda_{\text{Cu-K}\alpha} = 0,15404 \text{ nm}$ ),  $\beta$  adalah *FWHM* (*Full width at half maximum*), dan  $\theta$  sudut difraksi *Bragg*. Dari persamaan ini diperoleh ukuran kristalin fasa  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Fe}_3\text{O}_4$  hasil sintesis adalah  $27,19 \text{ nm}$ .

Sebagai bahan pembanding, digunakan serbuk  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Aldrich (63-7106). Serbuk ini dikarakterisasi dengan *XRD* dan data yang diperoleh diolah dengan *RIETAN* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.

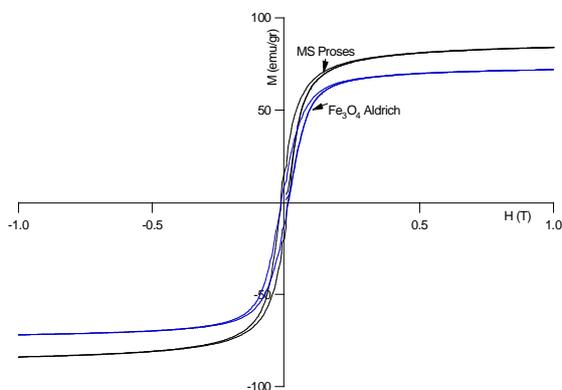
Hasil analisis menunjukkan bahan ini mengandung fasa campuran yaitu 89,76% berat  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ditunjukkan oleh posisi puncak *Bragg* (|) di bagian atas dan 10,24% berat  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  (*space group*) tanda (|) di

bagian bawah. Analisis data XRD dan dengan menggunakan persamaan (8), diperoleh ukuran kristalin serbuk  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Aldrich ini adalah 27,49 nm.



Gambar 4. Pola difraksi sinar-x dari pengamatan (•) dan analisis Rietveld (—) untuk bahan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Aldrich

Sifat magnetik dari  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_3\text{O}_4$  hasil sintesis dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Aldrich diukur dengan VSM. Magnetisasi saturasi  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_3\text{O}_4$  hasil sintesis adalah 84 emu/g sedangkan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Aldrich adalah 72 emu/g. Sedangkan harga medan koersivitas ( $H_{ci}$ ) untuk kedua bahan sama yaitu 145 Oe. Kurva histeresis kedua bahan tersebut diperlihatkan pada Gambar 5. Sampai batas ukuran serbuk tertentu (128 nm untuk  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan 166 nm untuk  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), partikel akan masuk pada daerah *single domain* sehingga koersivitas akan menurun dengan makin mengecilnya serbuk [14]. Nilai koersivitas yang sama dari bahan hasil proses dan perbandingan menunjukkan adanya kecenderungan ukuran butir yang sama dari kedua bahan yang didukung dari hasil analisis ukuran kristalin diatas.



Gambar 5. Kurva histeresis  $\text{Fe}_3\text{O}_4 / \gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  hasil sintesis dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Aldrich.

Mengingat pengukuran sifat magnetik bahan menggunakan cuplikan berupa serbuk yang tidak dipadatkan, maka dapat dipastikan bahwa magnetisasi saturasi yang diukur hanya bergantung pada kualitas bahan. Rendahnya magnetisasi saturasi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Aldrich dibandingkan  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_3\text{O}_4$  hasil sintesis, sangat mungkin disebabkan dalam  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Aldrich masih terkandung fasa  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  yang mempunyai nilai momen magnetik lebih rendah dibanding  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_3\text{O}_4$ .

Hasil pembahasan di atas secara ringkas dapat dilihat dalam Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Hasil analisis dan karakterisasi MS sebelum dan sesudah proses, dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Aldrich.

Bahan	Komposisi fasa (% berat)			Ukuran kristalin (nm)	$M_s$ (emu/g)	$H_{ci}$ (Oe)
	FeO	$\text{Fe}_3\text{O}_4 / \gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$			
MS awal	14,16	85,84	-	-	-	-
MS proses	-	100	-	27,19	84	145
$\text{Fe}_3\text{O}_4$ Aldrich	-	89,76	10,24	27,49	72	145

Berdasarkan hasil analisis bahan seperti telah diuraikan di atas, maka dari kegiatan penelitian ini telah dapat dihasilkan sistem nanokristalin oksida besi dengan sifat magnet yang cukup baik. Namun demikian apabila serbuk magnet oksida besi ini akan dimanfaatkan untuk tujuan medis, maka kandungan unsur-unsur lain yang mungkin tidak dapat diidentifikasi menggunakan teknik difraksi sinar-x dalam kegiatan ini masih harus dianalisis lebih lanjut menggunakan metode-metode lain yang lebih presisi lagi.

## KESIMPULAN

Mill scale yang merupakan hasil samping pabrik baja, dapat dimanfaatkan dalam penelitian bahan magnet dengan memproses campuran oksida besi yang terkandung di dalamnya menjadi fasa  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_3\text{O}_4$ . Dengan metode presipitasi, mill scale yang terdiri dari 85,84% berat FeO dan 14,16 % berat  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  diperoleh serbuk nanokristal dengan fasa tunggal  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_3\text{O}_4$  dan ukuran kristalin 27,19 nm. Hal ini menunjukkan telah terjadi peningkatan fasa  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_3\text{O}_4$  sebesar ~86 % dari mill scale awal. Jumlah  $\text{Fe}^{2+}$  yang berlebih pada awal proses tidak menyebabkan terbentuknya fasa asing selain  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_3\text{O}_4$ . Fasa ini sesuai dengan fasa serbuk nanokristal  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Aldrich yang berukuran 27,49 nm. Magnetisasi saturasi  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_3\text{O}_4$  dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Aldrich masing-masing adalah 84 emu/g dan 72 emu/g. Hasil kegiatan ini membuka peluang lebih lanjut untuk penelitian sistem nanokristalin oksida besi untuk tujuan medis dan pemanfaatan yang lebih luas di bidang industri lainnya.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Kami mengucapkan terimakasih kepada PT. Krakatau Steel atas cuplikan mill scale yang digunakan dalam penelitian ini, dan kepada Sdr. Wisnu Ari Adi, S.Si dalam pengambilan data XRD.

## DAFTARACUAN

- [1] SEUNG-JUN LEE, JONG-RYUL JEONG, SUNG-CHUL SHIN, JIN-CHUL KIM, JONG-DUK KIM, *J. Magn. Mater.* **282** (2004) 147-150.
- [2] R. ABU MUKH-QASEM, A. GEDANKEN, *J. Colloid Interface Sci.* **284** (2005) 489 - 494

- [3] JING TANG, M. MYERS, K. A. BOSNICK, and L.E. BRUS, *J. Phys. Chem. B.* **107** (2003) 7501-7506.
- [4] R. SKOMSI, *J. Phys.: Condens. Matter* **15** (2003) R841-R896
- [5] Q.A.PANKHURST, J. CONNOLY, S.K. JONES and J. DOBSON, *J. Phys. D. Appl. Phys.*, **36** (2003) R167-R181
- [6] MIROSLAVA VACLAVIKOVA, G. GALLIOS, P. MISAELIDES, S. HREDZAK, M. MATIK, D. GESPEROVA, *Acta Montanistica*, **9** (4) (2004) 414-417.
- [7] PORTLAND CEMENT ASSOCIATION, *Sustainable Manufacturing Fact Sheet, Iron and Steel Byproduct*, Washington DC (2005).
- [8] RIDWAN, G.T. SULUNGBUDI, dan MUJAMILAH, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, **5** (1) (2003) 29-33.
- [9] R.A. DAY and A.L. UNDERWOOD, *Quantitative Analysis, 4<sup>th</sup> Ed.*, Prentice-Hall, New Delhi (1981).
- [10] RIDWAN dan G.T. SULUNGBUDI, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, **5** (2) (2004) 31-35
- [11] F. IZUMI and T. IKEDA, *Mater. Sci. Forum*, **321-324** (2000) 198-203.
- [12] F.A.COTTON and G.WILKINSON, *Basic Inorganic Chemistry*, John Wiley & Sons, Inc., New York (1976)
- [13] H. P. KLUG and L. E. ALEXANDER, *X-ray Diffraction Procedures*, John Wiley & Sons Inc, London (1962)
- [14] L.A. HARRIS, Polymer Stabilized Magnetite Nanoparticles and Poly(propylene oxide) Modified Styrene Dimethacrylate Networks, *Dissertation in Chemistry*, Faculty of The Virginia Polytechnic Institute and State University, (2002)

## TANYA JAWAB

Azwar Manaf, Departemen Fisika FMIPA - UI

### Pertanyaan

1. Apakah  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  stabil pada suhu kamar.
2. Mengapa *millscale* lebih banyak mengandung FeO dari pada  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  mengingat fasa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  adalah fasa yang paling stabil pada sistem Fe-O

### Jawaban

1.  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  stabil pada suhu kamar.  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  akan berubah (transformasi) menjadi  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  pada suhu  $\sim 500^\circ\text{C}$
2. FeO maupun  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  adalah fasa yang stabil pada suhu dan tekanan atmosfer. *Mill scale* yang dipakai dalam penelitian ini lebih banyak mengandung FeO karena kondisi proses *hot strip mill* pada *reheating furnace* sedangkan *mill scale* yang banyak mengandung  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  adalah *mill scale* dari hasil proses *pickling* pada *cold rolling mill*.