



Sintesis dan karakterisasi pasir besi Sungai Musi Sumatera Selatan menggunakan metode kopresipitasi

ENDAH PUSPITA¹, LUH AYU MELINIA¹, MARZUKI NAIBAHO², RAMLAN^{1*}, DAN MASNO GINTING²

¹Jurusan Fisika, Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya Sumatera Selatan 30862, Indonesia.

² Pusat Riset Material Maju (PRMM) - Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Komplek Puspiptek Gedung 440-441, Tangerang-Selatan, Banten, Indonesia 15314.

<p>Kata kunci: pasir besi, kopresipitasi, enstatite-ferrosilite, pentaquachloridochromium (III) chloride</p>	<p>ABSTRAK: Telah dilakukan sintesis dan karakterisasi pada pasir besi yang berasal dari Sungai Musi - Sumatera Selatan menggunakan metode kopresipitasi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pembentukan fasa, struktur kristal, kandungan mineral magnetik dan sifat kemagnetan yang terdapat pada pasir besi. Karakterisasi yang digunakan pada penelitian ini adalah <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>, <i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)</i> dan <i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i>. Berdasarkan hasil XRD menunjukkan pasir besi yang telah disintesis menghasilkan struktur amorf dengan fasa yang terbentuk yakni Enstatite – Ferrosilite ($MgSiO_3$ - $FeSiO_3$ atau $(Mg, Fe)SiO_3$). Hasil SEM-EDX menunjukkan partikel-partikel mengalami aglomerasi dan membentuk agregat dengan ukuran rata-rata partikel sebesar $12,495 \mu m$ serta masih terdapat kandungan pengotor (gangue) yang menempel pada bijih besi (Fe) seperti Na, Mg, Al, Si, Ca, V, Cr dan Ti serta terdapat penambahan unsur seperti V dan Cr yang berasal dari proses milling yang mengalami abrasi. Hasil VSM menunjukkan bahwa sampel pasir besi merupakan <i>soft magnet</i> dan bersifat anti-ferromagnetik dengan nilai saturasi (M_s), remanensi (M_r) dan koersivitas (H_c) masing-masing sebesar $0,53 \text{ emu/g}$, $0,04 \text{ emu/g}$ dan $376,63 \text{ Oe}$.</p>
<p>Keywords: iron sand, coprecipitation, enstatite-ferrosilite, pentaquachloridochromium (III) chloride</p>	<p>ABSTRACT: Synthesis and characterization of iron sand originating from the Musi River - South Sumatra has been carried out using the coprecipitation method. This research was conducted to determine the phase formation, crystal structure, magnetic mineral content, and magnetic properties of iron sand. The characterization used in this study is <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>, <i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)</i>, and <i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i>. Based on the XRD results, it was shown that the synthesized iron sand produced an amorphous structure with the phase formed, namely Enstatite – Ferrosilite ($MgSiO_3$ - $FeSiO_3$ or $(Mg, Fe)SiO_3$). SEM-EDX results show that the particles undergo agglomeration and form aggregates with an average particle size of $12.495 \mu m$. There are still impurities (gangue) attached to iron ore (Fe), such as Na, Mg, Al, Si, Ca, V, Cr, Ti, and additional elements such as V and Cr, that come from the milling process, which experiences abrasion. VSM results show that the iron sand sample is a soft magnet and is anti-ferromagnetic with saturation (M_s), remanence (M_r), and coercivity (H_c) values of 0.53 emu/g, 0.04 emu/g, and 376.63 Oe, respectively.</p>

1 PENDAHULUAN

Pasir besi adalah jenis pasir yang mengalami pertemuan antar laut dan sungai dimana material seperti kerikil, batu-batuan, dan abu vulkanik dari gunung terbawa dari sungai kemudian tertahan dan mengendap pada daerah yang mengandung mineral magnetik [1]. Selain mineral magnetik, pasir besi memiliki beberapa kandungan mineral lain seperti

Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 , CaO , TiO_2 , V_2O_5 , Cr_2O_3 dan MnO [2]. Mineral-mineral tersebut tentunya memiliki banyak manfaat namun tidak semuanya dimanfaatkan [3]. Kandungan mineral magnetik yakni berupa bijih besi yang tinggi akan oksida besi dengan variasi warna seperti kuning cerah, abu-abu gelap, ungu tua dan merah berkarat [4].

* Corresponding Author: email: ramlan@unsri.ac.id.

<https://doi.org/10.56064/jps.v24i3.717>

Naskah diusulakan: 27 Oktober 2022; Naskah disetujui: 12 Desember 2022

p-ISSN: 1410-7058 e-ISSN: 2597-7059 © 2022 JPS MIPA UNSRI

Bijih besi (Fe) pada pasir besi yang ada di dunia berkisar 38–68% [5]. Bijih besi merupakan komponen utama pada besi oksida yakni magnetit (Fe_3O_4), hematite ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dan maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) Siderit (FeCO_3), Goetit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) dan Pirit (FeS_2) [6], [7]. Kandungan oksida besi pada setiap daerah tentunya berbeda-beda dimana pemanfaatan dan pengaplikasian pasir besi tergantung pada jumlah oksida besinya seperti pembuatan semen menggunakan bijih besi (Fe) sebesar 57,69-70% sedangkan untuk pembuatan baja menggunakan bijih besi (Fe) lebih dari 70% [8]. Selain itu, oksida besi memiliki manfaat lain yang berdasarkan dari segi sifat kemagnetannya yakni katalis, sensor, tinta, film tipis dan lain-lain [9].

Pasir besi telah tersebar luas di seluruh Indonesia yakni dari Sumatera, Sulawesi, Nusa Tenggara Timur, Maluku dan Papua, pesisir selatan Jawa dan Bali dimana jumlah pasir besi mencapai 173.810.612 ton untuk bijih dan 63 ton untuk logam [10]. Pada provinsi Sumatera khususnya Sumatera Selatan memiliki sungai yang menjadi muara dari banyaknya sungai yang besar dan kecil, sungai tersebut bernama Sungai Musi [11]. Sungai Musi merupakan sistem perairan yang ada di wilayah Sumatera Selatan dengan panjang kurang lebih 750 km [12]. Informasi mengenai kandungan dan kemagnetan pada pasir besi sungai Musi saat ini belum berkembang, sehingga pada penelitian ini akan dilakukan proses sintesis dan karakterisasi pasir besi dari sungai Musi untuk mengetahui pembentukan fasa, struktur kristal kandungan-kandungan mineral serta sifat kemagnetan didalamnya.

2 MATERIAL DAN METODE

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir besi sungai Musi yang diambil pada daerah Mambang Kabupaten Musi Rawas (Sumatera Selatan). Pasir besi terlebih dahulu dilakukan penggerusan kemudian dilanjutkan proses *magnetic separation* menggunakan magnet permanen kemudian *milling* menggunakan 10 ml toluena (*wet-mill*) dengan alat *High Energy Milling* (HEM) dengan perbandingan pasir besi dan *ball mill* yakni 1:10 wt% selama 6 jam dan dicuci menggunakan aquades kemudian dikeringkan [13].

Selanjutnya pasir besi yang telah di *milling* kemudian disintesis menggunakan metode kopresipitasi [14]. Sebanyak 12,5 gram pasir besi hasil *milling* dilarutkan ke dalam 75 ml HCl 37% kemudian diaduk dengan kecepatan 350 rpm dan menggunakan suhu 100°C selama 1 jam. Setelah itu, tambahkan NH_4OH 25% secara bertahap sampai pH 6. Lakukan pengendapan pada larutan semalaman kemudian dicuci beberapa kali menggunakan kertas saring.

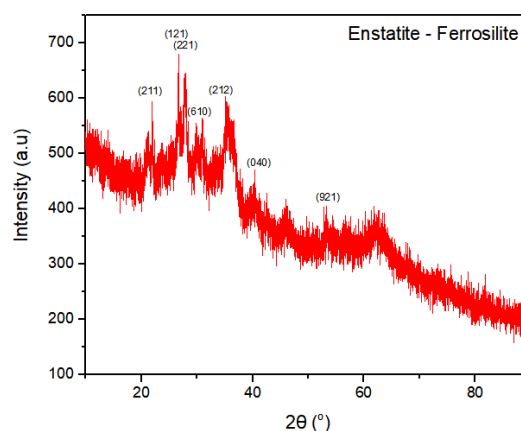
Endapan kemudian dilakukan pengeringan pada suhu 100°C selama 19 jam. Endapan yang sudah kering dikalsinasi pada suhu 400°C selama 1 jam kemudian dikarakterisasi.

Karakterisasi yang digunakan adalah *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) dan *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM). Pada karakterisasi XRD bertujuan untuk mengetahui struktur kristal dan fasa yang terbentuk pada sampel pasir besi yang telah dikopresipitasi. Karakterisasi SEM bertujuan untuk mengetahui morfologi, ukuran partikel dan kandungan unsur yang terdapat pada sampel pasir besi yang telah disintesis. Karakterisasi VSM bertujuan untuk mengetahui sifat kemagnetan yang terdapat pada sampel pasir besi setelah dikopresipitasi.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

X-Ray Diffraction (XRD)

Pada karakterisasi XRD, pola pengukuran difraksi cahaya sinar-X pada sampel pasir besi Sungai Musi dicocokkan menggunakan *software HighScore Plus* dengan database ICDD 2002 dan COD19_HS4x yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pola puncak difraksi pada sampel pasir besi Sungai Musi

Gambar 1 menunjukkan bahwa sampel pasir besi Sungai Musi menghasilkan fasa Enstatite – Ferrosilite (MgSiO_3 - FeSiO_3 atau $(\text{Mg, Fe})\text{SiO}_3$). Enstatite merupakan mineral yang dapat ditemukan pada batubatuan beku, metamorf, batuan meteorit dan besi. Enstatite ini juga dapat membentuk serangkaian larutan padat dengan mineral ferrosilite dimana ketika sebuah struktur memiliki dua elemen atau lebih yang dapat saling menggantikan satu sama lain untuk membentuk serangkaian larutan padat [15], [16]. Terbentuknya fasa Enstatite – Ferrosilite disebabkan adanya kandungan unsur seperti Mg, Si, O dan Fe

pada sampel masing-masing sebesar 0,37%, 2,86%, 36,80% dan 9,49%. Selain itu, dengan adanya senyawa $MgSiO_3$ dan $FeSiO_3$ pada sampel menandakan bahwa sampel tidak mengalami reaksi secara sempurna yang mengakibatkan senyawa menjadi tidak homogen [17], [18]. Pada senyawa $MgSiO_3$ dan $FeSiO_3$ secara umum memiliki struktur kristal orthorombik, namun pada fasa ini memiliki struktur amorf yang menandakan struktur partikel dan susunan molekul pada sampel tidak stabil dimana struktur amorf memiliki puncak intensitas pada sudut 2θ seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1, yakni $21,984^\circ$, $26,653^\circ$, $27,914^\circ$, $30,941^\circ$, $36,743^\circ$, $40,343^\circ$, $53,743^\circ$ dengan masing-masing bidang hkl (211), (121), (221), (610), (212), (040), (921). Selanjutnya, ukuran kristal amorf pada sampel dapat diketahui melalui persamaan Scherrer:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \tag{1}$$

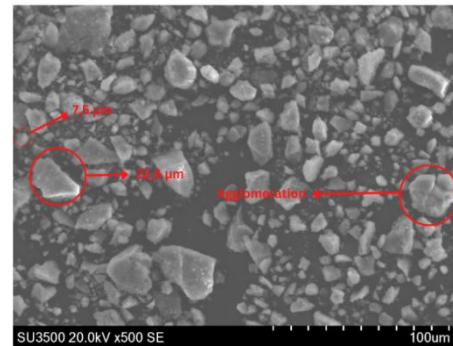
dimana D adalah ukuran kristal (nm), K adalah konstanta (0,94), β adalah lebar setengah puncak (FWHM), λ adalah panjang gelombang sinar-X (nm) dan θ adalah sudut puncak pada Bragg ($^\circ$) [19].

Tabel 1. Parameter ukuran kristal amorf pada sampel pasir besi

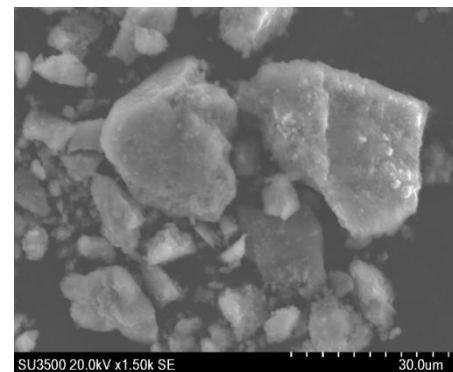
Fasa pada sampel	hkl	2θ ($^\circ$)	θ ($^\circ$)	$\cos \theta$ rad	FWHM (β)	Ukuran kristal amorf (nm)
Enstatite - Ferrosilite	211	21,984	10,992	0,981	0,480	0,293
	121	26,653	13,326	0,725	0,321	0,595
	221	27,914	13,957	0,179	0,937	0,825
	610	30,941	15,470	0,963	1,121	0,128
	212	36,743	18,371	0,887	1,329	0,117
	040	40,343	20,171	0,938	1,178	0,125
	921	53,743	26,871	0,892	2,490	0,062

Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)

Berdasarkan hasil SEM, penampakan morfologi dan distribusi partikel pasir besi Sungai Musi yang telah disintesis dapat dilihat pada Gambar 2. Pada perbesaran 500 dan 1.500 kali terlihat butiran-butiran partikel pada sampel pasir besi memiliki bentuk yang tidak bulat (agregat) dan kasar, kemudian sampel juga mengalami aglomerasi dimana terlihat penggabungan partikel-partikel kecil ke partikel-partikel yang besar yang membentuk agregat. Aglomerasi ini terjadi disebabkan tidak stabilnya partikel-partikel dalam larutan selama proses sintesis sehingga untuk dapat mencapai kestabilan partikel maka partikel-partikel ini akan berusaha untuk saling berikatan [20]. Selain itu, sampel memiliki ukuran partikel yang tidak seragam yang ditunjukkan dengan hasil distribusi partikel pada Gambar 3.

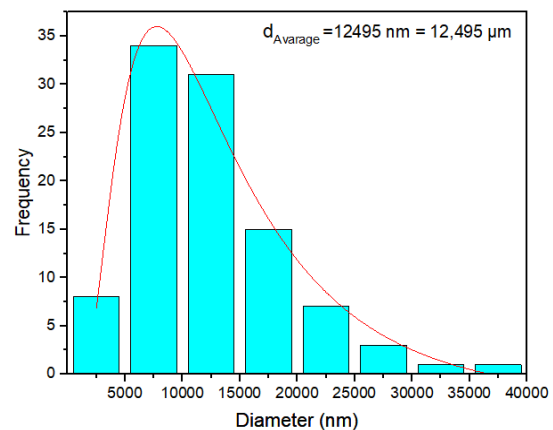


(a)



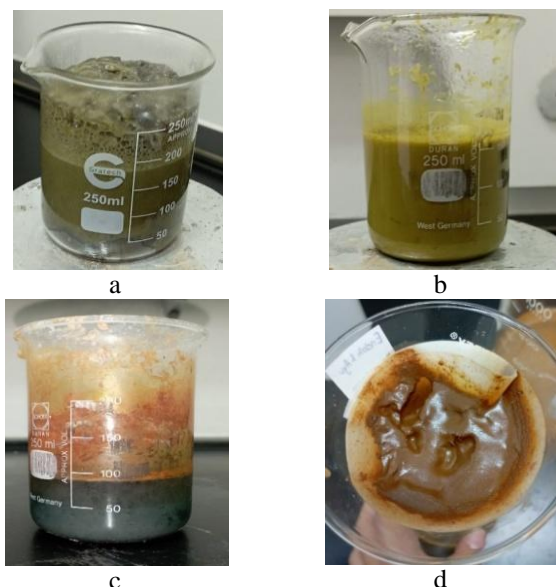
(b)

Gambar 2. Morfologi sampel pasir besi Sungai Musi yang telah disintesis, (a) perbesaran 500 kali dan (b) perbesaran 1.500 kali



Gambar 3. Distribusi ukuran partikel sampel pasir besi Sungai Musi

Gambar 3 menunjukkan ukuran partikel tidak seragam yang dimulai dari 3 - 38 μm dengan ukuran rata-rata partikel sebesar 12,495 μm . Ketidakteraturan ini kemungkinan disebabkan pada proses sintesis yang dilakukan tidak maksimal, dimana pasir besi setelah dimilling saat direaksikan dengan larutan HCl 37% mengalami reaksi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

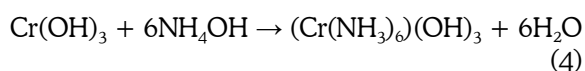


Gambar 4. Reaksi yang terjadi pada sampel pasir besi, (a,b) saat dilarutkan dalam HCl, (c) saat ditetaskan NH₄OH dan (d) saat pencucian larutan.

Pada Gambar 4a dan 4b terlihat bahwa larutan mengalami reaksi saat ditambahkan HCl 37% yakni larutan akan menjadi berwarna hijau dan muncul gelembung-gelembung atau buih di atasnya. Gelembung-gelembung atau buih di atasnya disebabkan karena adanya unsur Calcium (Ca) sebesar 0,13% yang masih terkandung pada sampel. Unsur Ca saat direaksikan dengan HCl akan menghasilkan gelembung-gelembung atau buih dalam larutan. Gelembung atau buih ini menandakan proses terjadinya pelepasan gas seperti gas CO₂ atau mineral tertentu [21]. Unsur Ca diduga berasal dari pasir besi Sungai Musi dimana pada pasir besi ini masih banyak memiliki pengotor-pengotor (gangue) yang menempel pada bijih besi. Larutan berwarna hijau disebabkan karena adanya unsur Chromium (Cr) sebesar 0,11% yang bereaksi dengan HCl dan H₂O. Cr yang bereaksi dengan HCl dan H₂O cenderung membentuk ion kompleks yang akan menghasilkan Pentaaquachloridochromium (III) chloride atau Cr (III) dimana persamaan reaksinya :

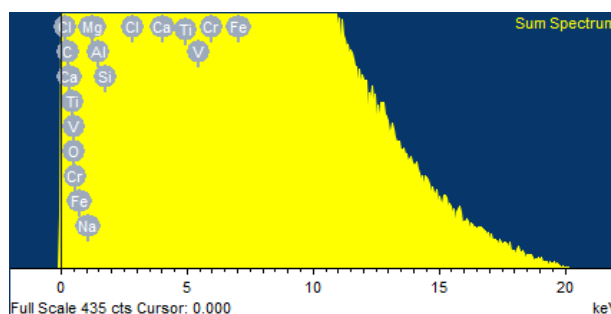


Gambar 4c menunjukkan perubahan warna dari warna hijau menjadi abu-abu kebiruan. Perubahan warna ini terjadi saat larutan mulai ditetaskan NH₄OH. Persamaan reaksi yang terjadi pada Cr (III) dan NH₄OH yaitu [22], [23]:



Munculnya unsur Cr pada sampel disebabkan oleh pengikisan (abrasi) yang terjadi pada alat *milling* yakni dari *jar mill* atau *ball mill*. Meskipun sudah menggunakan toluene, proses *milling* yang terjadi masih tetap menimbulkan abrasi sehingga kandungan Cr dari alat *milling* bercampur pada sampel. Pada Gambar 4d memperlihatkan keadaan endapan dari larutan yang sedang dilakukan pencucian menggunakan aquades. Saat pencucian, endapan mengalami perubahan warna menjadi coklat (karat). Warna coklat pada endapan menunjukkan bahwa sampel mengalami oksidasi pada unsur besi (Fe) sehingga sampel akan mudah sekali mengalami karat.

Selanjutnya, untuk hasil mengetahui unsur atau kandungan yang terdapat pada sampel setelah disintesis dapat diketahui berdasarkan hasil EDX. Hasil EDX pada sampel pasir besi Sungai Musi setelah ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil EDX pada sampel pasir besi Sungai Musi yang telah disintesis

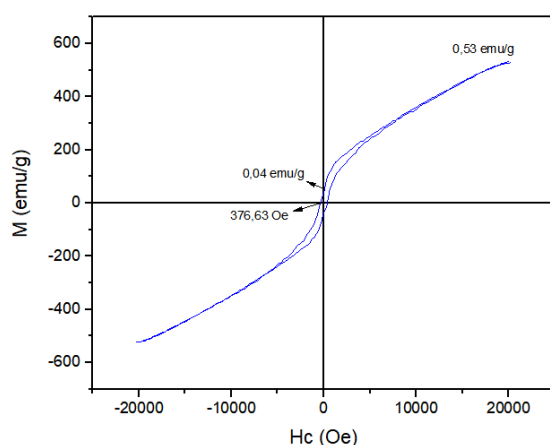
Gambar 5 menunjukkan unsur-unsur yang terdapat pada sampel pasir besi Sungai Musi yang telah disintesis seperti yang lebih rinci dapat dilihat pada Tabel 2. Kandungan unsur tertinggi pada sampel adalah O yakni sebesar 36,80% sedangkan untuk kandungan unsur pada Fe memiliki persentase yang rendah yakni sebesar sebesar 9,49%. Rendahnya kandungan Fe disebabkan oleh banyaknya pengotor-pengotor yang tidak hilang selama proses sintesis yakni Na (0,09%), Mg (0,37%), Al (0,97%), Si (2,86%), Cl (1,23%), Ca (0,13%), V (0,10%), Cr (0,11%) dan Ti (2,17%), sedangkan pada unsur C (45,68%) merupakan material yang digunakan pada saat pengujian EDX pada sampel. Unsur Na, Mg, Al, Si, Ca, dan Ti merupakan pengotor-pengotor (gangue) yang menempel pada bijih besi, unsur Cl merupakan zat pelarut yang masih menempel pada sampel dan unsur V dan Cr merupakan pengotor yang berasal dari alat *milling* yang terjadi abrasi sehingga menempel pada serbuk pasir besi yang telah dimilling.

Tabel 2. Kandungan unsur pada sampel pasir besi

Kandungan Unsur	Persen Berat (%)
C	45,68
O	36,80
Na	0,09
Mg	0,37
Al	0,97
Si	2,86
Cl	1,23
Ca	0,13
Ti	2,17
V	0,10
Cr	0,11
Fe	9,49

Vibrating Sample Magnetometer (VSM)

Berdasarkan hasil VSM, sampel pasir besi Sungai Musi yang telah disintesis dapat diketahui sifat kemagnetannya melalui kurva histerisis yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Kurva histerisis pada sampel pasir besi Sungai Musi

Gambar 6 memperlihatkan bentuk kurva histerisis pada sampel pasir besi Sungai Musi dimana kurva tersebut menampilkan kurva sempit yang menandakan bahwa sampel merupakan magnet lunak (*soft magnet*). Sampel dapat dikatakan sebagai magnet lunak jika nilai koersivitasnya kurang dari 1 kOe ($< 1\text{kOe}$) dimana sampel mudah termagnetisasi. Artinya, hanya diperlukan energi yang kecil untuk magnetisasi sampel, selain itu sampel yang merupakan magnet lunak bersifat anti-ferromagnetik. Sampel yang memiliki nilai koersivitasnya yang tinggi yakni lebih dari 1 kOe ($> 1\text{kOe}$) menandakan bahwa sampel merupakan magnet keras (*hard magnet*) yang ditandai dengan kurva histerisis yang luas dimana pada *hard magnet* akan memerlukan energi yang lebih besar supaya sampel dapat termagnetisasi [24].

Selanjutnya, dari hasil kurva histerisis tersebut menunjukkan nilai saturasi magnetik (M_s), remanensi magnetik (M_r) dan koersivitas (H_c) masing-masing sebesar 0,53 emu/g, 0,04 emu/g dan 376,63 Oe. Berdasarkan hasil dari nilai saturasi, remanensi dan koersivitas pada sampel menunjukkan bahwa kandungan sifat kemagnetan pada sampel sangat rendah. Rendahnya sifat kemagnetan pada sampel dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti masih terdapat pengotor-pengotor (*gangue*) yang menempel pada bijih besi Na, Mg, Al, Si, Ca, dan Ti. Selain itu, sampel mengalami penambahan unsur berupa V dan Cr yang disebabkan saat proses milling mengalami abrasi pada *jar mill* atau *ball mill*, kemudian sampel juga membentuk fasa Enstatite – Ferrosilite dimana pada fasa ini merupakan gabungan dari unsur MgO dan FeO pada SiO_2 serta pada unsur Fe juga mengalami oksidasi selama proses sintesis sehingga sampel menjadi berkarat. Dengan bertambahnya unsur-unsur yang terdapat pada sampel tentunya mengakibatkan penurunan pada sifat magnetik pasir besi Sungai Musi dimana semakin banyak pengotor atau impuritas yang terdapat pada sampel maka nilai saturasi, remanensi dan koersivitas pada sampel akan semakin menurun sehingga sampel akan sulit ditarik oleh magnet [20].

4 KESIMPULAN

Analisis pembentukan fasa, struktur kristal, morfologi dan sifat kemagnetan pada sampel pasir besi Sungai Musi telah selesai dilakukan. Pasir besi yang telah disintesis menggunakan metode kopresipitasi menghasilkan struktur amorf dengan fasa Enstatite – Ferrosilite (MgSiO_3 - FeSiO_3 atau $(\text{Mg, Fe})\text{SiO}_3$). Ukuran rata-rata partikel yang diperoleh pada sampel yakni sebesar $12,495\ \mu\text{m}$ yang disebabkan partikel-partikel pada sampel mengalami aglomerasi. Selain itu, masih terdapat pengotor-pengotor (*gangue*) yang menempel pada bijih besi (Fe) saat proses sintesis serta sampel juga mengalami penambahan unsur-unsur seperti V dan Cr yang berasal dari abrasi pada proses *milling* sehingga menyebabkan sifat kemagnetan pada sampel menjadi rendah (*soft magnet*) dan bersifat anti-ferromagnetik dengan nilai saturasi, remanensi dan koersivitas masing-masing sebesar 0,53 emu/g, 0,04 emu/g dan 376,63 Oe.

REFERENSI

- [1] D. A. Visgun, H. Rifai, R. Rahmayuni, A. N. Yuwanda, A. Rahmi, and L. Dwiridal, "Identification of Rock Types from Iron Sand at Identification of Rock Types from Iron Sand at Pasia Jambak Beach, Padang, West Sumatra," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2309, 2022, doi: 10.1088/1742-6596/2309/1/012023.

- [2] B. A. Sadjab, I. P. T. Indrayana, S. Iwamony, and R. Umam, "Investigation of The Distribution and Fe Content of Iron Sand at Wari Ino Beach Tobelo Using Resistivity Method with Werner-Schlumberger Configuration," *J. Ilm. Pendidik. Fis. Al-Biruni*, vol. 9, no. 1, pp. 141–160, 2020, doi: 10.24042/jipfalbiruni.v9i1.5394.
- [3] M. Rianna *et al.*, "Studi dan karakterisasi Fe₃O₄ yang disintesis dari pasir besi alam Sumatera Utara Study and characterization of Fe₃O₄ synthesized from natural iron sand in Sumatera Utara," *Aceh Phys. Soc.*, vol. 11, no. 2, pp. 45–48, 2022, doi: 10.24815/jacps.v11i2.23492.
- [4] H. E. and I. B. Osama R. Shaltamia, Daniela de Moraisb, Fares F. Faresa, Farag M. EL Oshebia, "22 th International Conference on Ore Deposits University of Dar es Salaam (UDSM) Proceeding Book GOLD-BEARING VEINS: A REVIEW," *22 th Int. Conf. Ore Depos. Univ. Dar es Salaam (UDSM) Proceeding B. GOLD-BEARING VEINS A Rev.*, no. September, pp. 11–18, 2020.
- [5] S. Fitri, Z. Zulhan, and I. Santoso, "Produksi Besi Dan Terak Titanium Kadar Tinggi Dari Konsentrat Pasir Besi Atau Titanomagnetit: Ulasan Literatur," *Metalurgi*, vol. 3, no. 2021, pp. 119–133, 2022, [Online]. Available: 10.14203/metalurgi.v3i3.580
- [6] K. D. Septityana *et al.*, "Sintesis Dan Karakterisasi Pigmen Hematit (α -Fe₂O₃) Dari Bijih Besi Alam Melalui Metode Presipitasi," *Youngster Phys. J.*, vol. 2, no. 3, pp. 95–100, 2013.
- [7] L. AM, R. J, and A. AL, "Characterization of the Iron Ore Deposit Using 2D Resistivity Imaging and Induced Polarization Technique at Diddaye-Potiskum Area, Northeastern Nigeria," *Phys. Sci. Biophys. J.*, vol. 2, no. 1, 2018, doi: 10.23880/psbj-1600018.
- [8] A. Fatmaliana, M. Maulinda, and N. Sari, "Synthesis and Characterization of Hematite (α -Fe₂O₃) of Iron Ore and Magnetite (Fe₃O₄) from Iron Sand Through Precipitation Method For Industrial RAW Materials," *J. Neutrino*, vol. 12, no. 2, pp. 37–42, 2020, doi: 10.18860/neu.v12i2.8183.
- [9] M. P. Aji, A. Yulianto, and S. Bijaksana, "Sintesis Nano Partikel Magnetit, Maghemit dan Hematit dari Bahan Lokal," *J. Sains Mater. Indones.*, pp. 106–108, 2007.
- [10] S. Aritonang, R. Juhana, and U. Pertahanan, "Analysis of the Process of Iron Sand Processing Into Sponge," *J. Pertahanan Bela Negara* |, vol. 9, no. 1, pp. 1–15, 2019.
- [11] P. Sulistiyani, M. S. Imanudin, and M. Said, "Sedimentation Rate and Characteristics of Musi River Mud, Palembang City, South Sumatra," *J. Wetl. Environ. Manag.*, vol. 7, no. 2, p. 95, 2019, doi: 10.20527/jwem.v7i2.192.
- [12] D. Rosanti, D. Novianti, and Y. P. Putri, "Perbandingan Kualitas Air Sungai Musi pada Tiga Tata Guna Lahan," *Sainmatika J. Ilm. Mat. dan Ilmu Pengetah. Alam*, vol. 18, no. 2, p. 231, 2022, doi: 10.31851/sainmatika.v18i2.6953.
- [13] M. Rianna *et al.*, "Characterization of Natural Iron Sand From Kata Beach, West Sumatra With High Energy Milling (Hem)," *J. Nat.*, vol. 18, no. 2, pp. 97–100, 2018, doi: 10.24815/jn.v18i2.11163.
- [14] M. R. Fahlepy, V. A. Tiwow, and Subaer, "Characterization of magnetite (Fe₃O₄) minerals from natural iron sand of Bonto Kanang Village Takalar for ink powder (toner) application," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 997, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1742-6596/997/1/012036.
- [15] Jorena, H. Kaban, and A. A. Bama, "Uji Fisis dan Mekanik pada Desain Struktur Keramik Forsterite (Mg₂SiO₄) dengan Teknik Sintering (Solid State-Reaction)," *J. Penelit. Sains*, vol. 20, no. 1, pp. 1–9, 2018.
- [16] J. Xu, D. Fan, D. Zhang, X. Guo, W. Zhou, and P. K. Dera, "Phase Transition of Enstatite-Ferrosilite Solid Solutions at High Pressure and High Temperature: Constraints on Metastable Orthopyroxene in Cold Subduction," *Geophys. Res. Lett.*, vol. 47, no. 12, pp. 1–10, 2020, doi: 10.1029/2020GL087363.
- [17] F. Amalina and S. Pratapa, "Analisis Komposisi Fasa Keramik Forsterit Dari Bahan Dasar Periklas Dan Kristobalit Dengan Metode Rir," *J. Sains dan Seni ITS*, vol. 4, no. Vol 4, No 2 (2015), pp. 57–59, 2015, [Online]. Available: http://ejournal.its.ac.id/index.php/sains_seni/article/view/13221
- [18] A. Kholifatunnisa and S. Pratapa, "Sintesis Keramik Komposit Berbasis Forsterit dengan Bahan Dasar Periklas dan Silika Amorf," *J. Sains dan Seni ITS*, vol. 4, no. 2, pp. 2337–3520, 2015.
- [19] S. D. Yudanto, L. A. R. Hakim, M. E. H. Rasyadi, A. Imaduddin, and A. W. Pramono, "Sintesis dan Karakterisasi MgB₂ dengan Penambahan Nano-SiC melalui Metode Reaksi Padat," *Indones. J. Appl. Phys.*, vol. 12, no. 1, p. 108, 2022, doi: 10.13057/ijap.v12i1.49136.
- [20] H. Kiswanto, A. P. Y. Hakim, N. I. Istiqomah, and E. Suharyadi, "Struktur Kristal dan Sifat Kemagnetan Nanopartikel Mn-Ferrite," *J. Fis. Unand*, vol. 10, no. 4, pp. 413–420, 2021.
- [21] N. Laili, E. Fitri, and D. Rusmini, "Characterization of Chitosan from Simping Shells (Placuna placenta) Waste," *UNESA J. Chem.*, vol. 109.
- [22] A. Lennartson, "The colours of chromium," *Nat. Chem.*, vol. 6, no. 10, p. 942, 2014, doi: 10.1038/nchem.2068.
- [23] H. Davy, *Elements of Chemical Philosophy*, vol. 1, no. 1. 1812.
- [24] M. Karbeka, F. V. L. Koly, and N. M. Tellu, "Characterization of Magnetic Content from Puntaru Beach Iron Sand," *AIP Conf. Proc.*2349, vol. 020026, no. June, 2021.