



Analisa pasir besi alam dari Sungai Musi Sumatera Selatan

LUH AYU MELINIA^{1*}, ENDAH PUSPITA¹, MARZUKI NAIBAHO², RAMLAN¹, 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 Puspipstek Gedung 440-441, Tangerang-Selatan, Banten, Indonesia 15314.

<p>Kata kunci: pasir besi, milling, semi-hard-magnet</p>	<p>ABSTRAK: Telah dilakukan penelitian mengenai sifat magnetik dan kandungan pasir besi yang berasal dari Sungai Musi-Sumatera Selatan, Indonesia di Pusat Riset Material Maju-Brin. Sampel pasir besi diekstraksi menggunakan magnet permanen, kemudian dipreparasi dengan metode <i>milling</i>. Selanjutnya sampel dikarakterisasi menggunakan <i>Scanning Electron Microscopy</i> dengan <i>Energy Dispersive X-ray</i> (SEM-EDX) dan <i>Vibrating Sampel Magnetometer</i> (VSM). Berdasarkan hasil dari uji SEM-EDX menunjukkan bahwa partikel pasir besi dari sungai musi teraglomerasi dengan ukuran rata-rata $\pm 0.5 \mu\text{m}$ serta terdapat kandungan pengotor (<i>gangue</i>) antara lain Si, Ti, Mg, Al dan Mn sehingga sampel pasir besi bersifat ferromagnetik dan <i>semi-hard-magnet</i> dengan nilai saturasi (Ms), remanensi (Mr) dan koersivitas (Hc) masing-masing sebesar 46,61 emu/g, 8,72 emu/g dan 322,09 0e.</p>
<p>Keywords: iron sand, milling, semi-hard-magnet</p>	<p>ABSTRACT: Research on the magnetic properties and content of iron sand originating from the Musi River-South Sumatra, Indonesia has been carried out at the Center of Advance material-BRIN. Iron sand samples were extracted using a permanent magnet, then be prepared by milling method. Then the samples were characterized using Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) and Vibrating Sample Magnetometer (VSM). Based on the results of the SEM-EDX test, it showed that the iron sand particles from the Musi River were agglomerated with an average size of $\pm 0.5 \mu\text{m}$ and contain impurities (<i>gangue</i>) including Si, Ti, Mg, Al and Mn so that the iron sand samples are a ferromagnetic type and behave as semi-hard-magnet with the value of saturation (Ms), remanence (Mr) and coercivity (Hc) are 46.61 emu/g, 8.72 emu/g and 322.09 0e, respectively.</p>

1 PENDAHULUAN

Pasir merupakan bahan alam yang mudah didapatkan, bisa berasal dari sungai, letusan gunung berapi [1] dan pesisir pantai [2]. Bahan alam ini banyak digunakan sebagai bahan bangunan, padahal di dalam pasir terdapat kandungan mineral alam yang dapat digunakan sebagai bahan industri. Mineral yang terkandung didalam pasir diantaranya yaitu besi (Fe), titanium(Ti) [3], Silika (Si) [4] dan unsur lainnya. Pasir besi yang mengandung 10% - 35% magnetik dapat digunakan sebagai bahan baku industri semen [5]. Pasir besi yang mengandung magnetik $\geq 60\%$ digunakan untuk bahan baku industri baja [6][7]. Pasir besi alam tersebar luas di beberapa daerah Indonesia seperti pesisir pantai pulau Jawa [8], Sungai Sumatera utara [9], Banten [10] Sulawesi dan Nusa Tenggara [1]. Kandungan utama dari pasir besi yaitu besi oksida seperti, Fe_3O_4 dan Fe_2O_3 serta unsur lain seperti Si, Ca, K, Ni dan Ti [11]. Pasir besi

memiliki warna kehitaman yang menandakan adanya mineral magnetit didalamnya [12].

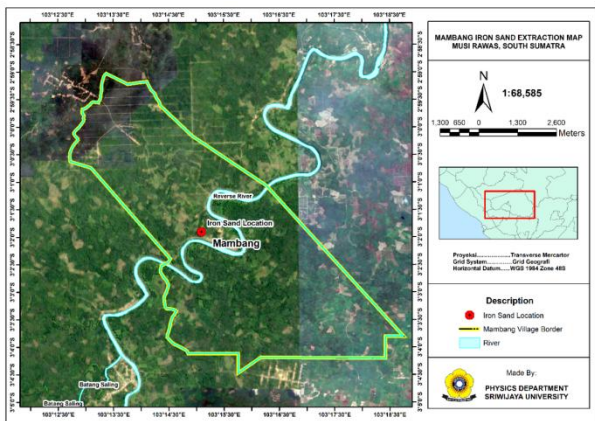
Nanopartikel magnetik adalah material yang paling menjanjikan untuk diaplikasikan dalam berbagai bidang. Material nanopartikel dapat digunakan sebagai beberapa aplikasi, seperti biosensor, medik dan perangkat fotonik [13]. Untuk mendapatkan bahan skala nanometer dapat dilakukan dengan dua proses yakni, proses *top down* dan proses *bottom up*. Proses *top down* yakni metode *High Energy Milling* yang menghaluskan bahan dengan proses *milling* untuk mendapatkan bahan berupa serbuk yang halus. Proses *bottom up* yakni metode kristalisasi *glass*, metode *sonochemical* dan *sol-gel* [14]. Proses *top down* dilakukan untuk mendapatkan partikel berukuran nano menggunakan metode *milling* dengan alat *High Energy Milling (HEM)*, metode ini dinilai lebih praktis dari pada metode lain [15].

* Corresponding Author: email: luhayu@gmail.com No. Hp(WA): +6281377836289

Telah banyak dilakukan penelitian dan analisis nanopartikel pasir besi alam yang diambil di beberapa daerah seperti dari daerah Tobelo Halmahera Utara [16], Sungai Buaya di Deli Serdang Utara [17], Desa Bonto Kanang Kecamatan Takala [18] dan Pantai Kulon Progo [19]. Namun belum ada penelitian pasir besi alam yang berasal dari Sungai Musi - Sumatera Selatan, karena pasir besi disetiap daerah mempunyai kandungan mineral magnetik maupun non-magnetik yang beraneka ragam. Dalam tulisan ini dilakukan analisis sifat kemagnetan dan kandungan mineral *magnetic* pasir besi Sungai Musi-Sumatera Selatan dengan metode *wet milling* menggunakan alat HEM untuk mendapatkan partikel pasir besi yang berukuran nano. Selanjutnya dari hasil pengujian SEM-EDX dapat diketahui kandungan unsur - unsur mineral dari pasir besi, serta distribusi ukuran dari partikel dengan menggunakan *software image - J* dan *software origin*. Untuk mengetahui sifat magnetik pasir besi dari sampel Sungai Musi, dilakukan dengan pengujian *Vibrating Sampel Magnetometer (VSM)*.

2 METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini pasir besi yang digunakan adalah pasir yang berasal dari Sungai Musi, desa Mambang, kabupaten Musi Rawas, Sumatera Selatan, Indonesia. Lokasi pengambilan sampel pasir besi sungai musu dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi pasir besi Sungai Musi

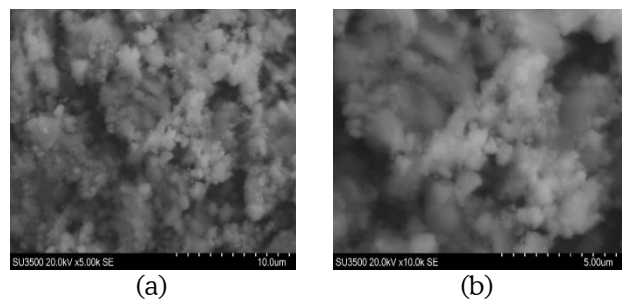
Pasir yang telah diambil dari Sungai Musi dijemur di bawah sinar matahari selama 1 hari, sampai keadaan pasir benar - benar kering. Setelah pasir kering lakukan pemisahan pasir besi menggunakan magnet permanen (*magnetic separation*) sebanyak 3 kali untuk memisahkan sampel pasir besi dari pengotor seperti pasir silika, kemudian sampel digerus menggunakan cawan mortal untuk mendapatkan pasir besi yang halus. Setelah itu sampel dicuci dengan

air, kemudian dikeringkan menggunakan oven 10°C. Selanjutnya sampel disaring menggunakan saringan 100 mesh, kemudian hasil penyaringan dilakukan pemisahan menggunakan magnet permanen neodymium dengan kekuatan medan magnet 1000 gauss. Hasil dari pemisahan digerus ulang sampai halus, kemudian disaring menggunakan saringan 200 mesh.

Untuk mendapatkan partikel sampel yang berukuran nano, dilakukan *wet milling* yaitu dengan menambahkan larutan *toluene* 10 ml pada sampel pasir besi[3] yang berada didalam alat *High Energy Milling (HEM)* tipe *shaker mill*. Rasio antara *ball mill* dan bubuk pasir besi yang digunakan yaitu 10:1 dalam % berat, dimana *ball mill* 100 gram dan pasir besi Sungai Musi 10 gram. Selanjutnya, di *milling* selama 6 jam setelah selesai sampel dipindahkan ke *beaker glass* untuk dilakukan pencucian dengan menggunakan aquades dan magnet permanen untuk menarik pasir besi sehingga tidak ikut terbuang bersama air pencucian. Pencucian dilakukan berulang kali hingga 10 kali. Ditandai dengan tidak ada *toluene* yang tersisa pada air pencucian. Setelah itu sampel dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 100°C untuk dilakukan pengeringan selama 24 jam. Kemudian sampel pasir besi dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)* untuk mengetahui struktur morfologi dan kandungan unsur yang terkandung dalam pasir besi, *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)* untuk sifat *magnetic*.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

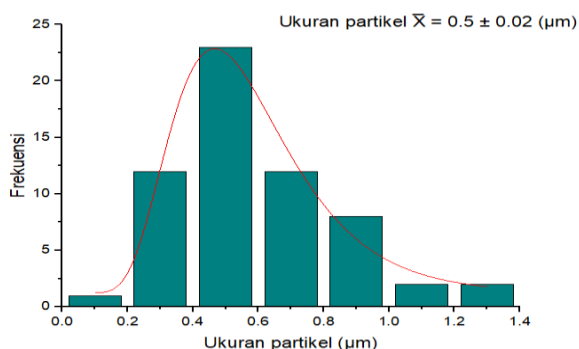
Pada Gambar 2 ditampilkan hasil pengukuran SEM-EDX dari sampel pasir Sungai Musi Sumatera Selatan, Indonesia.



Gambar 2. Morfologi sampel pasir besi Sungai Musi menggunakan SEM (a) perbesaran 5.000x, (b) perbesaran 10.000x,

Gambar 2a pada perbesaran 5.000x menunjukkan morfologi pasir besi Sungai Musi memiliki ukuran partikel yang tidak seragam dan pada Gambar 2b dengan perbesaran 10.000x menunjukkan peng-

gumpalan partikel pasir besi (aglomerasi). Aglomerasi terjadi karena partikel oksida besi memiliki kecenderungan interaksi magnetik antar partikel, sehingga membentuk gumpalan partikel [19].



Gambar 3. Distribusi ukuran partikel

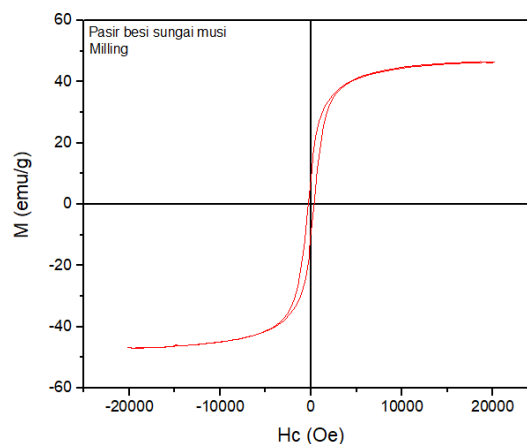
Gambar 3 merupakan distribusi ukuran partikel menggunakan pengolahan data dengan software image – J [20] dan software Origin terhadap Gambar 2. Pengukuran partikel dilakukan dengan menggunakan software image-j, dan dilanjutkan dengan pengolahan data menggunakan software Origin. Dari hasil pengukuran distribusi partikel diperoleh ukuran rata-rata partikel sampel pasir besi sebesar $\pm 0.5 \mu\text{m}$. Rentang ukuran partikel yang diperoleh dari hasil pengukuran yakni $0,1 \mu\text{m}$ hingga $1,4 \mu\text{m}$. Ukuran partikel yang diperoleh dalam penelitian ini lebih kecil, dibandingkan ukuran partikel yang didapatkan dengan waktu milling 3 jam oleh Rianna et al [3]. Hal Ini menyatakan lamanya waktu milling mempengaruhi ukuran partikel yang dihasilkan, karena adanya tumbukan yang terus terjadi sehingga mengikis ukuran partikel yang besar menjadi serpihan partikel yang lebih kecil [21], dan sebaliknya dapat terjadi aglomerasi karena adanya penggabungan partikel kecil menjadi struktur yang lebih besar [22].

Dari sampel pasir besi Sungai Musi hasil analisis EDX terdeteksi unsur-unsur yang terkandung di dalam sampel dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan unsur dalam besi alami sampel pasir

Element	Weight %
O	43.66
Na	0.58
Mg	2.18
Al	2.11
Si	5.84
K	0.18
Ca	0.60
Ti	3.39
Mn	0.32
Fe	41.13
Totals	100.00

Dari Tabel 1 hasil analisis EDX, kandungan Fe pada pasir besi Sungai Musi sebesar 41,13% dan kandungan O sebesar 43,66%. Secara umum, kandungan Fe dan O pada pasir besi biasanya ditemukan besi oksida yang berasal dari fasa magnetit (Fe_3O_4), maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), dan hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) [13]. Kandungan Fe pada pasir besi Sungai Musi lebih kecil dibandingkan kandungan Fe dari pasir besi Pantai Kata Pariaman Sumatera Barat dan Pantai Kulon Progo masing-masing 55,33% dan 60,96% [23][19], dimana butiran magnetik pada daerah aliran sungai lebih banyak berukuran besar (fraksi kasar) dari pada fraksi halus. Hal ini terjadi karena semakin jauh butiran magnetik terbawa oleh arus sungai maka ukuran butiran magnetik akan semakin kecil akibat proses pelapukan dan pengikisan batuan, kemudian berkumpul di muara sungai dan pantai [24]. Sedangkan sampel pasir besi dalam penelitian ini diambil dari pertengahan aliran Sungai Musi yang berupa fraksi halus. Diduga hal inilah yang menjadi penyebab kenapa pasir besi Sungai Musi yang diteliti memiliki kandungan Fe di bawah 50%. Selain itu juga karena banyaknya kandungan mineral lain seperti Si (5,84%), Ti (3,39%), Mg (2,18%), Al (2,11%) dan Mn (0,32%). Mineral-mineral yang menempel pada partikel besi merupakan pengotor (*gangue*) yang terbawa selama proses pengendapan. Selanjutnya pada Gambar 4 ditampilkan Kurva Histerisis hasil pengukuran VSM pasir Sungai Musi.



Gambar 4. Kurva histerisis pasir besi Sungai Musi

Berdasarkan kurva histerisis (Gambar 4) pasir besi Sungai Musi yang dihasilkan berupa *semi-hard-magnet* dan bersifat ferromagnetik ditandai dengan kurva histerisis yang terlihat ramping karena nilai koersivitasnya (H_c) yang kecil yakni 322,09 Oe, nilai saturasi (M_s) 46,61 emu/g dan remanansi (M_r) 8,72 emu/g. Bahan ferromagnetik atau magnet permanen ditandai dengan nilai koersivitas yang tinggi ($H_c > 200 \text{ Oe}$) [25]. Bahan *semi-hard-magnet* memiliki

koersivitas diantara 125-5026 Oe dan dapat diaplikasikan sebagai media *recording* [26]. Hal ini ada keterkaitannya dengan nilai koersivitas yang dipengaruhi oleh ukuran partikel, dimana apabila ukuran partikel semakin kecil maka nilai koersivitas akan semakin kecil [27]. Selain mengecilnya nilai koersivitas, ukuran partikel yang mengecil akan semakin mudah mengalami magnetisasi. Mengecilnya ukuran partikel mempengaruhi momen magnetik pada partikel menjadi lebih tidak stabil. Ketidakstabilan momen magnet pada partikel nano disebabkan oleh fakta bahwa partikel nano memiliki energi anisotropi yang jauh lebih kecil daripada partikel besar (*bulk*), oleh karena itu, dengan adanya medan magnet eksternal, partikel kecil akan lebih reaktif terhadap suatu medan luar [27]. Selain itu besar kandungan magnetik pada pasir besi juga dapat mempengaruhi sifat kemagnetan. Rendahnya kandungan magnetik pada pasir besi Sungai Musi (41,13%) diduga menjadi penyebab sifat kemagnetan yang dimiliki rendah. Hal ini ditunjukkan dengan rendahnya nilai koersivitas, saturasi dan remanansi pada sampel pasir besi Sungai Musi. Tidak hanya itu, banyaknya kandungan mineral pengotor (*gangue*) yang dimiliki seperti mineral K, Na, Mg, Mn, Al, Si, Ti dan Ca akan mengurangi sifat magnetik pasir besi. Keberadaan mineral non-magnetik dapat dikurangi dengan membi-las pasir besi dengan larutan asam atau basa [28].

4 KESIMPULAN

Pasir besi Sungai Musi – Sumatera Selatan telah berhasil dimilling menggunakan HEM. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa berdasarkan analisis SEM - EDX ukuran partikel tidak seragam karena adanya aglomerasi dan ukuran rata-rata partikel yang diperoleh sebesar $\pm 0,5 \mu\text{m}$, karena lamanya waktu *milling* mempengaruhi ukuran partikel yang dihasilkan. Untuk kandungan yang dominan ada pada mineral Fe dan O, masing-masing sebesar 41,13% dan 43,66 %. Sedangkan hasil analisa sifat kemagnetan menggunakan VSM menunjukkan bahwa pasir besi di Sungai Musi bersifat *semi-hard-magnet* dan feromagnetik, dengan nilai koersivitas 322,09 Oe. Nilai koersivitas dipengaruhi oleh ukuran partikelnya yang kecil dan besarnya kandungan Fe. Mengecilnya ukuran partikel maka nilai koersivitas akan menurun, dan banyaknya kandungan mineral Fe mengurangi sifat magnetik pasir besi. Bahan magnet semi-keras dapat diterapkan pada media *recording*.

REFERENSI

- [1] F. Ningsih, F. Fitrianiingsih, and L. A. Didik, "Analisis Pengaruh Lama Penggerusan Terhadap Resistivitas dan Konstanta Dielektrik pada Pasir Besi yang Disintesis dari Kabupaten Bima," *Indones. Phys. Rev.*, vol. 2, no. 3, pp. 92–98, 2019, doi: 10.29303/ipr.v2i3.31.
- [2] Juliansyah, Ratnawulan, and A. Fauzi, "Pengaruh Temperatur Kalsinasi Terhadap Struktur Mineral Granit yang Terdapat di Nagari Surian Kecamatan Pantai Cermin Kabupaten Solok," *Pillar Phys.*, vol. 9, pp. 9–16, 2015.
- [3] 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.
- [4] L. A. Didik and M. Wahyudi, "Analisa Kandungan Fe dan Karakteristik Sifat Listrik Pasir Besi Pantai Telindung yang Disintesis dengan Beberapa Metode," *Indones. Phys. Rev.*, vol. 3, no. 2, pp. 64–71, 2020, doi: 10.29303/ipr.v3i2.58.
- [5] S. Heri Prabowo, "Penyelidikan Kelayakan Kimia dan Penyebaran Cadangan Pasir Besi Daerah Tikau Kabupaten Agam untuk Bahan Baku Semen pada Pt. Semen Padang," *EKSAKTA Berk. Ilm. Bid. MIPA*, vol. 19, no. 1, pp. 39–42, 2018, doi: 10.24036/eksakta/vol19-iss1/121.
- [6] H. N. Qomaru Zaman, Firman Johan, "Mendukung Industri Pertahanan dengan Analisa Proses Pengolahan Besi Spons dari Pasir Besi sebagai Bahan Baja," *J. Ind. Eng. Manag. Res.*, vol. 3, no. 6, pp. 17–27, 2022.
- [7] A. Fatmaliana, M. Maulinda, and N. Sari, "Synthesis and Characterization of Hematite (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.
- [8] D. T. Nurrohman and J. S. Pribadi, "Kajian Struktur Kristal, Lattice Strain, dan Komposisi Kimia Nanopartikel Pasir Besi yang Disintesis dengan Metode Ball Milling," *Konstan - J. Fis. Dan Pendidik. Fis.*, vol. 3, no. 2, pp. 94–101, 2018, doi: 10.20414/konstan.v3i2.17.
- [9] . A. Setiadi *et al.*, "The Effect of Temperature on Synthesis of MgFe₂O₄ Based on Natural Iron Sand by Co-precipitation Method as Adsorbent Pb Ion," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 985, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1742-6596/985/1/012046.
- [10] M. A. Muhajir and D. Asmi, "Sintesis dan Karakterisasi Bahan Magnet Barium Heksaferit (BaFe₁₂O₁₉) Menggunakan Bahan Dasar Barium Karbonat (BaCO₃) dan Pasir Besi dari Daerah Pesisir Selatan Pandeglang-Banten," *J. Teor. dan Apl. Fis.*, vol. 03, no. 01, pp. 9–16, 2015. [Online]. Available: <http://jurnal.fmipa.unila.ac.id/jtaf/article/view/1278>
- [11] Novi Wahyu Ningseh, "Sintesis dan Karakterisasi Nanokomposit Fe₃O₄@SiO₂ Core Shell Berbasis Bahan Alam," *J. Inov. Fis. Indones.*, vol. 6, no. 3, pp. 10–13, 2017.
- [12] C. Gestarila and D. Puryanti, "Sintesis Nanopartikel Zink Ferit (ZnFe₂O₄) dengan Metode Kopresipitasi

- dan Karakterisasi Struktur Kristalnya," *J. Fis. Unand*, vol. 9, no. 3, pp. 299–303, 2020, doi: 10.25077/jfu.9.3.299-303.2020.
- [13] E. Widiyanto, K. Kardiman, and N. Fauji, "Karakterisasi Pasir Besi Alam Pantai Samudera Baru dan Pemanfaatannya sebagai Filler pada Sistem Penyaring Elektromagnetik," *JRST (Jurnal Ris. Sains dan Teknol.*, vol. 2, no. 1, p. 15, 2018, doi: 10.30595/jrst.v2i1.2325.
- [14] A. Johan and D. Ramlan, "Magnetik Nanokristalin Barium Heksaferit ($\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) Hasil Proses High Energy Milling," *J. Sains Mater. Indones. Indones. J. Mater. Sci. Ed. Khusus Oktober*, no. 1411–1098, pp. 120–125, 2007.
- [15] Johan.A, "Analisis Bahan Magnet Nanokristalin Barium Heksaferit ($\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) dengan Menggunakan High-Energy Milling," *J. Penelit. Sains*, vol. 14, no. 1(B), pp. 19–24, 2010.
- [16] F. Malega, I. P. T. Indrayana, and E. Suharyadi, "Synthesis and Characterization of the Microstructure and Functional Group Bond of Fe_3O_4 Nanoparticles from Natural Iron Sand in Tobelo North Halmahera," *J. Ilm. Pendidik. Fis. Al-Biruni*, vol. 7, no. 2, pp. 129–138, 2018, doi: 10.24042/jipfalbiruni.v7i2.2913.
- [17] E. A. Setiadi *et al.*, "The Synthesization of Fe_3O_4 Magnetic Nanoparticles Based on Natural Iron Sand by Co-precipitation Method for the used of the Adsorption of Cu and Pb Ions," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 776, no. 1, pp. 6–12, 2016, doi: 10.1088/1742-6596/776/1/012020.
- [18] M. R. Fahlepy, V. A. Tiwow, and Subaer, "Characterization of Magnetite (Fe_3O_4) 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.
- [19] A. N. Syahida, H. Sutanto, I. Alkian, F. D. D. Irianti, A. A. Wibowo, and P. Priyono, "Synthesized and Characterization Nanosized Synthesis Fe_3O_4 Powder from Natural Iron Sand," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1943, no. 1, pp. 1–5, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1943/1/012013.
- [20] R. Sastri, N. Nurlina, L. Destiarti, and I. Syahbanu, "Analisis Ukuran Partikel Silika Hasil Ekstraksi dari Batu Padas Asal Kabupaten Ketapang Kalimantan Barat," *Indones. J. Pure Appl. Chem.*, vol. 1, no. 1, p. 39, 2018, doi: 10.26418/indonesian.v1i1.26042.
- [21] Y. Duan, Y. Cui, B. Zhang, G. Ma, and W. Tongmin, "A Novel Microwave Absorber of FeCoNiCuAl High-Entropy Alloy Powders: Adjusting Electromagnetic Performance by Ball Milling Time and Annealing," *J. Alloys Compd.*, vol. 773, pp. 194–201, 2019, doi: 10.1016/j.jallcom.2018.09.096.
- [22] V. Anggraini, R. A. Putra, and T. A. Fadly, "Synthesis and Characterization of Manganese Ferrite (MnFe_2O_4) Nanoparticles by Coprecipitation Method at Low Temperatures," *Proc. 2nd Int. Conf. Sci. Technol. Mod. Soc. (ICSTMS 2020)*, vol. 576, no. Icastms 2020, pp. 118–122, 2021, doi: 10.2991/assehr.k.210909.028.
- [23] E. Amiruddin and A. Prayitno, "The Synthesis of Magnetic Nanoparticles from Natural Iron Sand of Kata Beach Pariaman West Sumatera Using Ball Milling Method as Environmental Material," *MATEC Web Conf.*, vol. 276, p. 06014, 2019, doi: 10.1051/mateconf/201927606014.
- [24] S. Purnawan, A. Azizah, Z. Jalil, and M. Zaki, "Karakteristik Sedimen dan Kandungan Mineral Pasir Besi di Labuhan Haji Timur, Kabupaten Aceh Selatan," *J. Rekayasa Kim. Lingkung.*, vol. 13, no. 2, pp. 110–119, 2018, doi: 10.23955/rkl.v13i2.10532.
- [25] Ramlan, "Analisa Sifat Fisis, Sifat Mekanik dan Sifat Magnet pada Bonded Magnet NdFeB dengan Perekat Celuna," *J. Tech. Eng. Pist.*, vol. 3, no. 2, pp. 1–5, 2020.
- [26] P. S. Eko Arief Setiadi, Wini Rahmawati, Pulung Karo Karo, Muhammad Yunus, "Efek Penambahan Fe_3Mn_7 Terhadap Sifat Fisis dan Mekanik $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$," *April 16*, vol. 1, no. 1, pp. 683–694, 2022, doi: 10.1515/9783112494448-033.
- [27] H. Kiswanto, A. H. Prima Yuniarto, N. I. Istiqomah, and E. Suharyadi, "Struktur Kristal dan Sifat Kemagnetan Nanopartikel Mn-Ferrite yang Disintesis dari Bahan Alam Pasir Besi," *J. Fis. Unand*, vol. 10, no. 4, pp. 413–420, 2021, doi: 10.25077/jfu.10.4.413-420.2021.
- [28] N. M. T. Martasiana Karbeka, Faryda Veronica Lamma Koly, "Karakterisasi Sifat Kemagnetan Pasir Besi Pantai Puntaru Kabupaten Alor-NTT," *Lantanida J.*, vol. 8, no. 2, pp. 96–188, 2020.