

Analisis Fase, Morfologi dan Kandungan Mineral, serta Sifat Magnetik Pasir Besi Sungai Siguluan Samosir

Marzuki Naibaho^{1*}, Nazaruddin Nasution², Masno Ginting³

¹Universitas Indonesia, Depok, Indonesia

²Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan, Indonesia

³Badan Riset dan Inovasi Nasional, Serpong, Indonesia

ABSTRAK

Potensi pasir besi alam sebagai material bernilai tambah masih belum dimanfaatkan secara optimal, terutama untuk aplikasi lanjutan di bidang kemagnetan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik struktural, morfologi, komposisi mineral, dan sifat magnetik pasir besi alam dari Sungai Siguluan, Desa Simbolon Purba, Kecamatan Palipi, Kabupaten Samosir, sebagai upaya awal pemanfaatan material lokal dalam aplikasi magnetik. Sampel pasir besi dipisahkan menggunakan magnet permanen neodimium, digerus hingga ukuran 100 mesh. Kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD untuk identifikasi fase, SEM-EDS untuk analisis morfologi dan komposisi, serta VSM untuk pengukuran sifat magnetik (M_s , M_r , dan H_c). Hasil XRD menunjukkan bahwa magnetit (Fe_3O_4) merupakan fase utama, dengan fasa minor hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), dan senyawa lain seperti Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , dan CaO dengan total kandungan sekitar 5% berat. Analisis SEM-EDS mengonfirmasi dominasi unsur Fe dan O dengan persentase masing-masing 38,22 wt% dan 37,16 wt%. Pengukuran VSM menunjukkan nilai saturasi magnetik (M_s) 55,31 emu/g, remanensi (M_r) 6,22 emu/g, dan koersivitas (H_c) 118,39 Oe. Secara keseluruhan, hasil ini mengonfirmasi bahwa pasir besi alam dari lokasi tersebut memiliki karakteristik magnetik yang cukup baik dan berpotensi untuk dikembangkan sebagai material dasar dalam aplikasi magnetik berbasis magnetit.

ABSTRACT

The potential of natural iron sand as a value-added material has not yet been fully optimized, particularly for advanced applications in magnetics. This study aims to investigate the structural characteristics, morphology, mineral composition, and magnetic properties of natural iron sand from the Siguluan River, Simbolon Purba Village, Palipi District, Samosir Regency, as an initial effort to utilize local materials for magnetic applications. The iron sand sample was separated using a neodimium permanent magnet, ground to 100 mesh, and subsequently characterized using XRD for phase identification, SEM-EDS for morphological and compositional analysis, and VSM to measure magnetic properties (M_s , M_r , and H_c). XRD results revealed that magnetite (Fe_3O_4) is the dominant phase, accompanied by minor phases of hematite ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), maghemite ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), and other compounds such as Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , and CaO with a total content of approximately 5 wt%. SEM-EDS analysis confirmed the dominance of Fe and O elements, with weight percentages of 38.22 wt% and 37.16 wt%, respectively. VSM measurements showed a magnetic saturation (M_s) of 55.31 emu/g, remanence (M_r) of 6.22 emu/g, and coercivity (H_c) of 118.39 Oe. Overall, these findings confirm that the natural iron sand from this location exhibits favorable magnetic characteristics and holds strong potential for further development as a base material for magnetite-based magnetic applications.

Kata Kunci: Pasir Besi Alam, Fase, Morfologi, Magnetite (Fe_3O_4), Sifat Magnetik.

Email Address: * sinaibahomarzuki@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.30829/jistech.v10i2.26264>

Received 10 February 2025; Received in revised form 10 April 2025; Accepted 15 June 2025



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Pendahuluan

Indonesia memiliki cadangan pasir besi yang melimpah dan tersebar di berbagai wilayah, termasuk Sumatra, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi, Maluku, dan Papua, sehingga menjadikannya sebagai salah satu sumber daya mineral yang penting [1]. Pasir besi umumnya mengandung mineral bermagnet seperti magnetit (Fe_3O_4), hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), dan maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), yang memiliki nilai strategis bagi industri material magnetik. Namun, sebagian

besar pemanfaatannya masih terbatas pada sektor konstruksi dan industri semen, sehingga nilai tambahnya belum optimal [2]–[5].

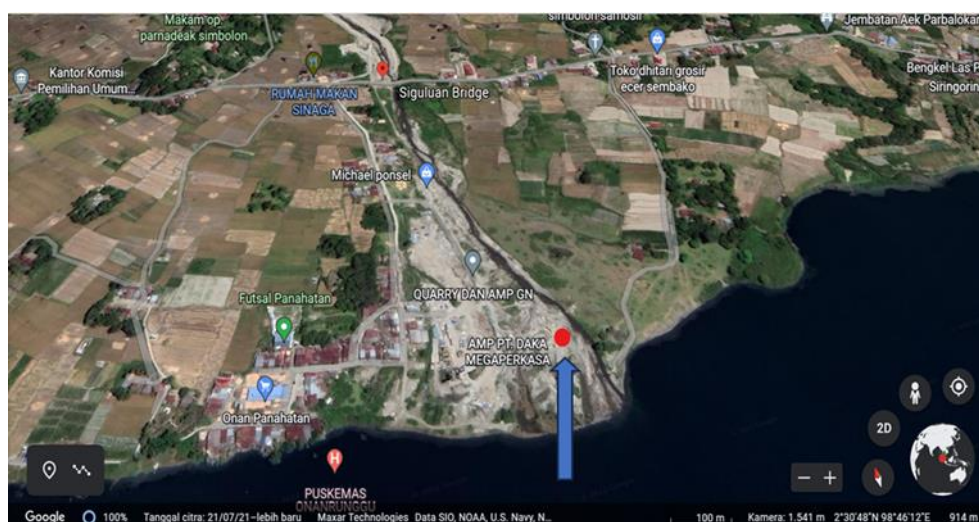
Berbagai studi sebelumnya telah menunjukkan bahwa pasir besi dapat diproses menjadi material magnetik seperti Fe_2O_3 [6]–[8], Fe_3O_4 [9], material perovskite [10], ferit heksagonal [11]–[13], serta material spinel [14] dan magnetik berukuran nano [5][7][15]. Material-material tersebut memiliki potensi aplikasi yang luas, mulai dari perangkat elektronik [16]–[19], penyerap gelombang elektromagnetik [11][20][21], hingga teknologi energi dan lingkungan [22]–[24]. Meskipun demikian, karakterisasi pasir besi lokal sebagai bahan baku material magnetik masih belum banyak dilakukan secara komprehensif, terutama pada wilayah tertentu yang secara geologi berpotensi memiliki kandungan mineral magnetik tinggi.

Salah satu daerah yang belum banyak dilaporkan adalah Sungai Siguluan di Desa Simbolon Purba, Kecamatan Palipi, Kabupaten Samosir, Sumatera Utara. Potensi mineral magnetik dari lokasi ini belum dipetakan secara detail, sehingga diperlukan karakterisasi yang meliputi struktur kristal, morfologi, komposisi mineral, serta sifat magnetik dasarnya. Informasi ini penting sebagai langkah awal untuk menilai kelayakan pasir besi lokal sebagai material dasar pengembangan material magnetik bernilai tambah. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan untuk menganalisis sifat struktural dan mineralogi pasir besi dari Sungai Siguluan menggunakan XRD dan SEM-EDS, serta mengukur sifat magnetiknya menggunakan VSM, mencakup magnetisasi saturasi (M_s), remanensi (M_r), dan koersivitas (H_c). Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman awal mengenai potensi pasir besi lokal sebagai material magnetik untuk aplikasi lanjutan.

Metodologi Penelitian

a. Lokasi dan metode

Gambar 1 menunjukkan lokasi pengambilan pasir dari Sungai Siguluan, Desa Simbolon Purba, Kecamatan Palipi, Kabupaten Samosir, Sumatera Utara.



Gambar 1. Lokasi pengambilan pasir besi di Sungai Siguluan, Desa Simbolon Purba, Kecamatan Palipi, Kabupaten Samosir, Sumatera Utara.

Pasir terlebih dahulu disaring untuk memisahkan fraksi berukuran besar dan kecil. Selanjutnya, pasir yang telah disaring dipisahkan menggunakan magnet permanen Neodymium untuk memisahkan material magnetik dan nonmagnetik dengan pengulangan sebanyak sepuluh kali. Pasir besi yang diperoleh kemudian dihaluskan menggunakan mortar. Setelah cukup halus, pasir tersebut dicuci menggunakan air suling sebanyak lima kali untuk membersihkannya dari kotoran atau pengotor. Kemudian, pasir dikeringkan di dalam oven selama 3 jam pada suhu 85°C . Setelah proses pengeringan, pasir dihaluskan kembali hingga berukuran 100 mesh. Pasir besi yang lolos saringan 100 mesh selanjutnya siap untuk dikarakterisasi.

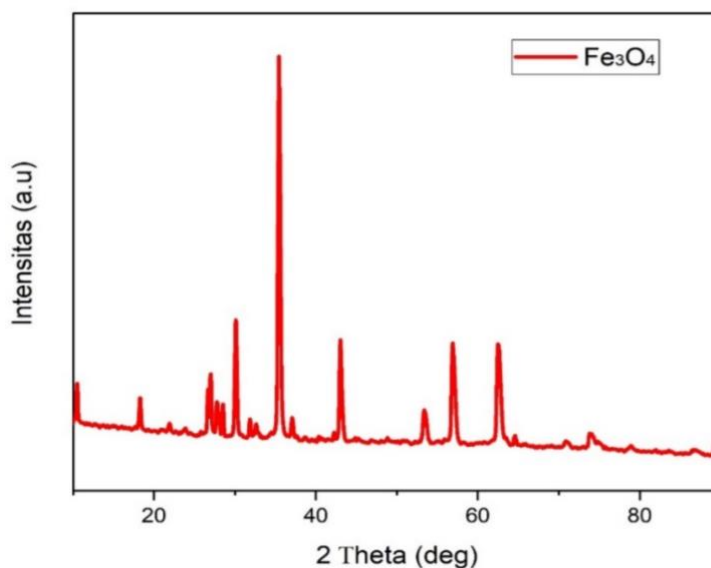
b. Karakterisasi

Pengujian dilakukan menggunakan XRD (Rigaku Smartlab) untuk menentukan fase kristal, SEM-EDS (Hitachi SU-3500) untuk mengetahui kandungan unsur dan morfologi pasir besi, serta VSM (VSM250) untuk menentukan sifat magnetiknya.

Hasil dan Pembahasan

a. Analisis X-Ray Diffraction (XRD)

Gambar 2 menunjukkan hasil XRD yang dianalisis pada rentang sudut $2\theta=10-90^\circ$ untuk menentukan fase yang terdapat pada pasir besi Sungai Siguluan.

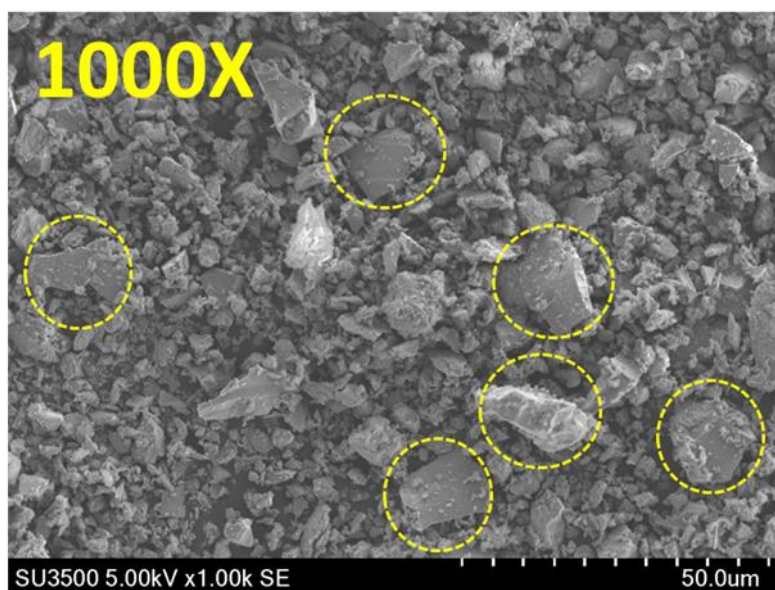


Gambar 2. Pola XRD pasir besi alam Sungai Siguluan

Pada Gambar 2 ditampilkan pola XRD pasir besi alam Sungai Siguluan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa fase magnetit (Fe_3O_4) merupakan fase utama (major phase), sedangkan hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dan maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) merupakan fase minor. Selain itu, terdapat pula senyawa lain yang terbentuk seperti CaO , Al_2O_3 , SiO_2 , dan TiO_2 dengan persentase berat sekitar 5%.

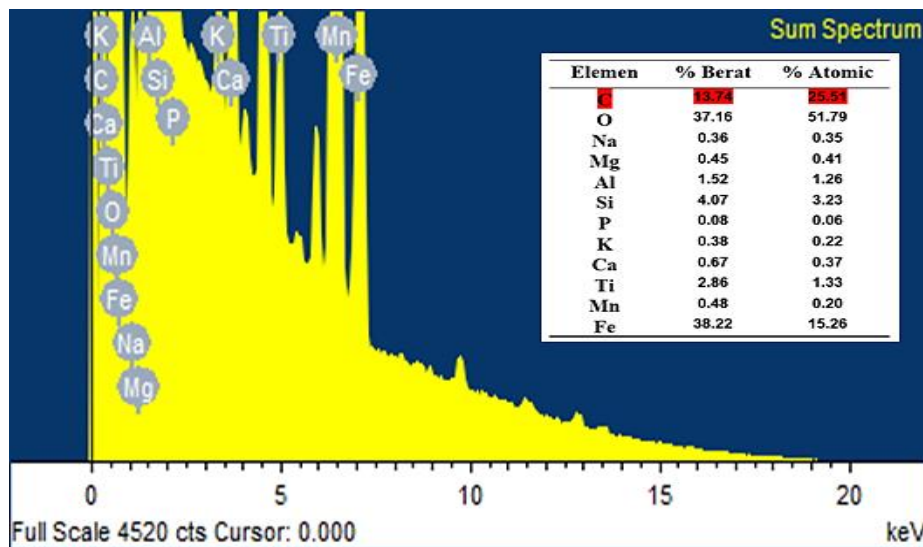
Pasir besi alam Sungai Siguluan memiliki fase magnetit (Fe_3O_4) sebagai fase dominan, sehingga pasir besi ini berpotensi untuk dikembangkan sebagai material magnetik lanjutan. Untuk mengetahui karakteristik lebih lanjut dari sampel pasir besi alam Sungai Siguluan, dapat diamati melalui hasil uji SEM guna melihat morfologinya.

b. Analisis Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM-EDS)



Gambar 3. Morfologi pasir besi alam Sungai Siguluan

Pada Gambar 3 ditampilkan morfologi pasir besi alam Sungai Siguluan yang diamati dengan perbesaran 1000x. Gambar tersebut menunjukkan bahwa ukuran partikel pasir besi tidak seragam, dengan rentang ukuran partikel antara 1–20 μm . Hal ini terjadi karena masih terdapat beberapa unsur lain selain Fe di dalam sampel. Secara umum, Fe memiliki morfologi berbentuk serpihan (flakes) yang ditunjukkan oleh garis putus-putus berwarna kuning sebagaimana dilaporkan oleh Endah et al. [5]. Oleh karena itu, hal ini dapat dikonfirmasi lebih lanjut melalui hasil uji EDX.



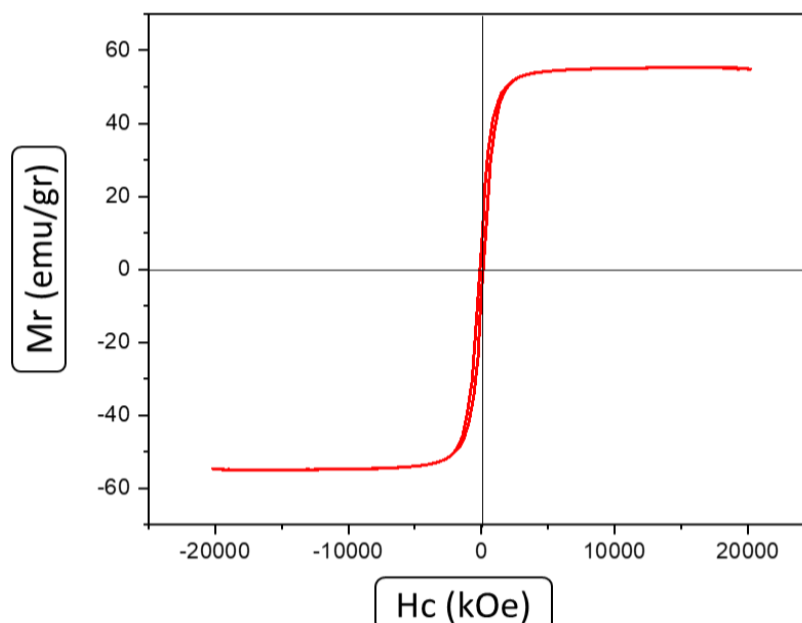
Gambar 4. Kandungan mineral pada pasir besi alam Sungai Siguluan

Pada pengujian EDX, unsur-unsur penyusun yang terdapat dalam pasir besi alam terdiri atas Fe dan O sebagai unsur utama, serta unsur lain seperti Al, Si, Ti, Mn, Mg, dan Ca. Unsur karbon (C) yang terdeteksi pada sampel bukan merupakan bagian dari komposisi pasir besi, melainkan berasal dari perekat (carbon tape) yang digunakan pada alat SEM-EDS. Unsur Fe dan O merupakan komponen yang berasal dari fase magnetik seperti magnetit (Fe_3O_4), maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), dan hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Ketiga oksida besi tersebut merupakan senyawa yang umumnya ditemukan dalam pasir besi, sebagaimana dikonfirmasi oleh hasil XRD pada Gambar 2. Sementara itu, unsur-unsur seperti Al, Si, Ti, dan Ca berasal dari fase Al_2O_3 , SiO_2 , CaO , dan TiO_2 , yang memiliki persentase berat kurang dari 5% pada pasir besi alam Sungai Siguluan, sebagaimana juga dikonfirmasi dalam hasil XRD. Pasir besi yang memiliki fase magnetik Fe_3O_4 umumnya memiliki warna kehitaman, sulit direduksi, dan memiliki sifat kemagnetan yang sangat kuat. Sifat magnetik dari pasir besi alam Sungai Siguluan ini dapat dikonfirmasi lebih lanjut melalui pengujian VSM.

c. Analisis Sifat Magnet

Hasil uji sifat magnetik yang dilakukan menggunakan alat VSM ditunjukkan dalam bentuk kurva histeresis pada Gambar 5. Melalui kurva histeresis tersebut, dapat diketahui nilai koersivitas (H_c), magnetisasi jenuh (M_s), dan magnetisasi remanen (M_r) dari pasir besi alam.

Koersivitas (H_c) merupakan nilai medan magnet yang diperlukan untuk menurunkan magnetisasi hingga nol. Magnetisasi jenuh (M_s) adalah nilai magnetisasi ketika seluruh momen magnetik berada pada orientasi yang sama. Sedangkan magnetisasi remanen (M_r) merupakan magnetisasi sisa yang masih tertinggal setelah medan magnet dikurangi hingga nol.



Gambar 4. Kurva histeresis pasir besi alam sungai siguluan

Oleh karena itu, pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa kurva histeresis pasir besi alam Sungai Siguluan menunjukkan nilai magnetisasi jenuh (M_s) sebesar 55,31 emu/g, magnetisasi remanen (M_r) sebesar 6,22 emu/g, dan koersivitas (H_c) sebesar 118,39 Oe. Berdasarkan hasil sifat magnetik tersebut, pasir besi ini berpotensi untuk digunakan dalam pembuatan magnet permanen, sensor magnetik, material penyerap gelombang mikro (microwave absorbing material), dan berbagai aplikasi lainnya. Dengan demikian, pasir besi ini dapat terus dikembangkan dalam pembuatan material magnetik sesuai dengan aplikasi yang diinginkan.

Berikut ini adalah Tabel 1 yang menunjukkan hasil perbandingan pasir besi alam dari berbagai wilayah di Indonesia yang telah dilaporkan sebelumnya.

Tabel 1. Hasil perbandingan pasir besi alam dari berbagai wilayah di Indonesia

Lokasi	Fasa	Unsur	H_c (Oe)	M_s (emu/g)	M_r (emu/g)	Ref
Pantai Kata, Sumatera Barat	Fe_3O_4 , Fe_2O_3 ,	C Al Si Ca Mn Fe	93	30	4	[25]
Panatai Selatan, Purworejo, Jawa Tengah	Fe_3O_4 and SiO_2	Fe, Ti, O	-	-	-	[26]
Pantai Ambal, Kabupaten Kebumen	Fe_3O_4 , Fe_2O_3 , (Fe, Mg) $(Cr, Fe)_2O_4$	Fe, Mg, Cr, O	123	31.88	5.55	[27]
Pantai Alor, NTT	Fe_3O_4 , SiO_2 , Fe_2O_3 , $FeTiO_3$, $CaSiO_3$.	Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ag, Ba, O	200	25.42	5	[28]
Pantai Sampulungan	Fe_3O_4 , TiO_2 , V_2O_3 , CrO, $FeTiO_3$	Fe, Ti, V, O	-	-	-	[29]
Sungai Musi, Sumatera Selatan	-	O, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe	322,09	46,61	8,72	[30]
Hulu Sungai Seruai, Kabupaten Deli Serdang	Fe_3O_4 , Fe_2O_3 , $FeCO_3$, Fe_2TiO_4	Fe, Ti, Ba, Mg, Al, Si	-	-	-	[31]
Sungai bah bolon, Simalungun, Sumatera Utara	-	Fe, O, Ca, Zn, Cu, Mn	129.93	57.70	7.09	[32]
Sungai Siguluan, Samosir, Sumatera Utara	Fe_3O_4, γ- Fe_2O_3, Al_2O_3, SiO_2, TiO_2.	Fe, O, Al, Si, Ti, Mn, Mg, Ca.	118,39	55,31	6,22	Saat ini

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa pasir besi alam dari Sungai Siguluan memiliki potensi besar untuk dikembangkan dalam berbagai aplikasi, seperti material magnetik untuk penyerap limbah logam berat, pembuatan magnet permanen $BaFe_{12}O_{19}$, material magnetik penyerap gelombang mikro (microwave absorber), dan berbagai aplikasi lainnya.

Kesimpulan

Pasir besi alam dari sungai siguluan telah berhasil diekstraksi dan dikarakterisasi XRD dengan didominasi fasa magnetit (Fe_3O_4) sebagai fasa major, hematite (γ - Fe_2O_3), dan maghemit (γ - Fe_2O_3) fasa minor serta fasa lain seperti Al_2O_3 , SiO_2 dan TiO_2 memiliki persentase berat <5%. Pada hasil SEM-EDS diketahui bahwa Fe memiliki morfologi seperti serpihan dan terdapat bebtuk lain yang lebih kecil berbentuk bulat yang mengindikasikan unsur lain seperti Al, Si, Ti, Mn, Mg, Ca. Sehingga pada pengujian VSM sifat magnetiknya menghasilkan saturasi, remanansi dan koersivitas masing-masing 55,31 emu/g, 6,22 emu/g, 118,39 Oe. Berdasrkan hasil tersebut bahwa pasir besi dapat dari sungai siguluan berpotensi untuk di kembangkan sebagai bahan mateial magnet.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Riset Material Maju – Badan Riset dan Inovasi Nasional (PRMM-BRIN) yang telah memfasilitasi penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] B. Nasional, T. Lembaran, and N. Republik, "Peraturan Pemerintah Nomor 96 Tahun 2021 tentang Pelaksanaan Kegiatan Usaha Pertambangan Mineral dan 2021 Nomor 208 , Tambahan Lembaran Negara Republik Peraturan Presiden Nomor 97 Tahun 2021 tentang Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (Lembaran Ne, " pp. 1-46, 2022.
- [2] E. Mulyani, "PRODUKSI , KONSUMSI SEMEN DAN BAHAN BAKUNYA DI INDONESIA PERIODE 1997 – 2009 DAN PROSPEKNYA 2010 – 2015," no. April 2011, pp. 82-89, 2015.
- [3] M. Putri and M. Maburur, "ANALISIS PROSEDUR PEMBUATAN SEMEN PADA PT . SEMEN BATURAJA Analisis Prosedur Pembuatan Semen Pada PT . Semen Baturaja maka tahun 1973 di daerah Kabupaten Ogan Komering Ulu Propinsi liat oleh Direktorat Jendral Umum Departemen Pertambangan , dan hasil proses kering . Survei kelayakan ini diadakan berdasarkan survei bahan baku Biro Industrialisasi pada tahun 1964 , yang kemudian

- dilanjutkan kembali Pembangunan pabrik dimulai pada tahun 1978 oleh Ishikawajima Harima Heavy Industries Company limited (IHI) dari Jepang . Sebagai General Contractor , IHI bertanggung jawab menyelesaikan seluruh manajemen berkapasitas 500 . 000 ton semen per tahun dengan mutu yang sesuai dengan 1 . Mengetahui bahan baku pada pembuatan semen pada ‘ Prosedur Pembuatan Semen pada PT semen baturaja ’ . metode sebagai berikut :,” pp. 512–522, 2022.
- [4] S. Aritonang, “Sovian Aritonang, Jupriyanto, dan Riyadi Juhana,” pp. 1–12, 2000.
 - [5] dan M. G. Endah Puspita, Luh Ayu Melinia, Marzuki Naibaho, Ramlan, “Sintesis dan karakterisasi pasir besi Sungai Musi Sumatera Selatan menggunakan metode kopresipitasi Endah,” *J. Penelit. Sains*, vol. 24, no. 3, pp. 160–165, 2022, [Online]. Available: <http://ejurnal.mipa.unsri.ac.id/index.php/jps/index>
 - [6] R. Ramlan, A. A. Bama, A. Johan, M. Naibaho, and M. Ginting, “Synthesis and Characterization of Hematite (α - Fe_2O_3) from Iron Sand Using Coprecipitation Method,” *Key Eng. Mater.*, vol. 985, pp. 145–151, 2024, doi: 10.4028/p-uib7jj.
 - [7] E. Puspita, M. Ginting, and Ramlan, “Preparation and Characterization of Fe_2O_3 from Iron Sand of the Coastal Sea of Cidaun Beach–South Cianjur (Indonesia) using the Co-precipitation Method,” *Sci. Technol. Indones.*, vol. 8, no. 4, pp. 594–598, 2023, doi: 10.26554/sti.2023.8.4.594-598.
 - [8] N. Novita, R. Ramlan, M. Naibaho, M. Ginting, S. Humaidi, and T. N. Duma, “ Fe_2O_3 Review: Nanostructure, Synthesis Methods, and Applications,” *Int. J. Soc. Serv. Res.*, vol. 4, no. 02, pp. 539–559, 2024, doi: 10.46799/ijssr.v4i02.728.
 - [9] S. H. Dewi and W. A. Adi, “Synthesis and characterization of high purity Fe_3O_4 and α - Fe_2O_3 from local iron sand Synthesis and characterization of high purity Fe_3O_4 and α - Fe_2O_3 from local iron sand,” 2018.
 - [10] M. Rianna, T. Sembiring, E. Amiruddin, and P. Sebayang, “Co-precipitation synthesis of $\text{LaFe}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_3$ ($x = 0-0.2$) on structure and electromagnetic properties,” *Mater. Sci. Energy Technol.*, vol. 6, pp. 43–47, 2023, doi: 10.1016/j.mset.2022.11.006.
 - [11] M. Rianna *et al.*, “The effect of Mg-Al additive composition on microstructure, magnetic properties, and microwave absorption on $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Mg}_x\text{Al}_x\text{O}_{19}$ ($x = 0-0.5$) material synthesized from natural iron sand,” *Mater. Lett.*, vol. 256, p. 126612, 2019, doi: 10.1016/j.matlet.2019.126612.
 - [12] N. Nasution *et al.*, “The Influence of Yttrium Doping on The Microstructure and Magnetic Properties of Barium Hexaferrite,” vol. 22, no. 12, pp. 13–15, 2025.
 - [13] M. Rianna *et al.*, “Enhanced calcination temperatures of $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ synthesized by local iron sand from Lombok Island,” *Case Stud. Chem. Environ. Eng.*, vol. 8, no. July, p. 100530, 2023, doi: 10.1016/j.cscee.2023.100530.
 - [14] M. Rianna *et al.*, “Evaluation of $\text{Co}_0.7\text{Ni}_0.3\text{Fe}_2\text{O}_4$ nano-particle on structural, morphological, and magnetic properties as a heavy metal adsorbent in Cu, Cr,” *Mater. Sci. Energy Technol.*, vol. 6, pp. 77–80, 2023, doi: 10.1016/j.mset.2022.11.011.
 - [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] B. O. C. Sebagai, K. Motor, S. Simbolon, and M. Sebayang, “Sintesa dan Karakterisasi Material Komposit Berbasis $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{C}$ Sebagai Komponen Motor Listrik,” vol. 3, no. 1, pp. 24–29, 2019.
 - [17] M. G. Ramlan, Balada Soerya, Amdy Fachredzy, Marzuki Naibaho, “Effect of Silicon Rubber (SIR) in Fabrication of $\text{NdFeB}/\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ -based Hybrid Magnet,” *Indones. Phys. Rev.*, vol. 7, no. 1, pp. 114–123, 2024.
 - [18] M. Naibaho, N. Fauzi, E. Puspita, A. A. Bama, R. Ramlan, and N. Indayaningsih, “Pembuatan Karbon Serat Sabut Kelapa dan Pengujian Konduktivitas Listriknya,” *J. Penelit. Sains*, vol. 24, no. 2, p. 64, 2022, doi: 10.56064/jps.v24i2.690.
 - [19] J. K. Alagarasan *et al.*, “Electro-oxidation of heavy metals contaminated water using banana waste-derived activated carbon and Fe_3O_4 nanocomposites,” *Environ. Res.*, vol. 215, no. P2, p. 114293, 2022, doi: 10.1016/j.envres.2022.114293.
 - [20] M. G. Marzuki Naibaho, Januar Widakdo, Budhy Kurniawan, Phahul Zhemas Zul Nehan, Okvarahireka Vitayaya, Novita, Ramlan, Wisnu Ari Adi, “Analysis of Structure , Morphology , Magnetic Properties , and Microwave Absorption of Lanthanum Orthoferrite (LaFeO_3),” *Sci. Technol. Indones.*, vol. 9, no. 4, pp. 1–6, 2024, [Online]. Available: <https://doi.org/10.26554/sti.2024.9.4.851-856>
 - [21] Y. Yunasfi, J. Setiawan, M. Mashadi, D. S. Winatapura, and M. Puspitasari, “Cationic distribution analysis of lanthanum doped Cobalt nickel titanate as microwave absorbing material and its correlation with weak ferromagnetic behavior,” 2025.
 - [22] P. Zhemas, Z. Nehan, O. Vitayaya, and R. Munazat, “The magnetocaloric effect properties for potential applications of magnetic refrigerator technology :,” 2024, doi: 10.1039/d4cp01077a.
 - [23] P. Zhemas *et al.*, “Calcium ion deficiency and its influence on structure , critical behavior ,” *J. Alloys Compd.*, vol. 1020, no. February, p. 179467, 2025, doi: 10.1016/j.jallcom.2025.179467.
 - [24] O. Vitayaya, Z. Zul, and R. Munazat, “Magnetoresistance (MR) properties of magnetic materials,” pp. 18617–18645, 2024, doi: 10.1039/d4ra01989j.
 - [25] 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.
 - [26] W. Sumatra *et al.*, “Synthesis and characterization of iron (III) oxide from natural iron sand of the south

- coastal area , Purworejo Central Java Synthesis and characterization of iron (III) oxide from natural iron sand of the south coastal area , Purworejo Central Java,” no. Iii, doi: 10.1088/1742–6596/1444/1/012043.
- [27] Bilalodin, Sunardi, and M. Effendy, “Analisis Kandungan Senyawa Kimia dan Uji Sifat Magnetik Pasir Besi Pantai Ambal,” *J. Fis. Indones.*, vol. XVII, no. 50, pp. 29–31, 2013.
- [28] M. Karbeka, F. V. L. Koly, and N. M. Tellu, “Karakteristik Sifat Kemagnetan Pasir Besi Pantai Puntaru Kabupaten Alor-NTT,” *Lantanida J.*, vol. 8, no. 2, pp. 96–188, 2020.
- [29] M. Arsyad, V. A. Tiwowa, and M. J. Rampe, “Analysis of magnetic minerals of iron sand deposit in Sampulungan Beach, Takalar Regency, South Sulawesi using the x-ray diffraction method,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1120, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1742–6596/1120/1/012059.
- [30] L. A. Melinia, E. Puspita, M. Naibaho, R. Ramlan, and M. Ginting, “Analisa Pasir Besi Alam dari Sungai Musi Sumatera Selatan,” *J. Penelit. Sains*, vol. 24, no. 3, p. 122, 2022, doi: 10.56064/jps.v24i3.716.
- [31] M. Ito, A. H. Daulay, and L. H. Lubis, “Karakterisasi Kandungan Mineral dan Pengaruh Treatment Panas Pasir Besi Hulu Sungai Seruai Kabupaten Deli Serdang,” vol. 5, no. 3, pp. 151–160, 2023.
- [32] N. Novita, M. Naibaho, E. Puspita, R. Ramlan, M. Ginting, and S. Humaidi, “Analysis of Mineral Content and Magnetic Properties of Iron Sand of Bah Bolon Simalungun River, North Sumatera,” *Asian J. Eng. Soc. Heal.*, vol. 2, no. 12, pp. 1633–1639, 2023, doi: 10.46799/ajesh.v2i12.196.