

HUBUNGAN SUSEPTIBILITAS MAGNETIK DAN LOGAM BERAT PASIR BESI PANTAI SAMPULUNGAN, TAKALAR, SULAWESI SELATAN

Vistarani Arini Tiwow¹⁾, Meytij Jeanne Rampe²⁾, Sulistiawaty¹⁾, Pariabti Palloan¹⁾

¹⁾Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar, Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia

²⁾Jurusan Kimia, Fakultas Matematika, Ilmu Pengetahuan Alam dan Kebumihan, Universitas Negeri Manado, Tondano, Sulawesi Utara, Indonesia

Corresponding author : Vistarani Arini Tiwow
E-mail : vistatiwow@unm.ac.id

Diterima 19 Agustus 2023, Disetujui 12 Oktober 2023

ABSTRAK

Pantai Sampulungan merupakan salah satu pantai di Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan sebagai kawasan wisata. Aktivitas pengunjung di pantai ini dapat mempengaruhi kualitas pasir besi. Dengan demikian, perlu dilakukan investigasi sifat magnetik pasir besi dan hubungannya dengan logam berat. Studi ini bertujuan menganalisis sumber mineral magnetik serta hubungan suseptibilitas magnetik dan logam berat pasir besi Pantai Sampulungan. Pengukuran parameter magnetik seperti suseptibilitas magnetik menggunakan alat Bartington Susceptibility Meter dilengkapi sensor MS2B. Metode XRF digunakan untuk identifikasi logam berat. Hasil menunjukkan bahwa mineral yang terkandung pada pasir besi bersifat ferimagnetik. Sumber mineral magnetik pada pasir besi dominan berasal dari proses pelapukan batuan secara alami atau litogenik. Hubungan suseptibilitas magnetik dan logam berat memiliki korelasi positif kuat.

Kata kunci: suseptibilitas magnetik; logam berat; korelasi positif; litogenik; pantai sampulungan.

ABSTRACT

Sampulungan Beach is one of the beaches in Takalar Regency, South Sulawesi, as a tourist area. Visitor activities on this beach can affect the quality of the iron sand. Thus, it is necessary to investigate the magnetic properties of iron sand and its relationship with heavy metals. This study aims to analyze the magnetic mineral resources and the relationship between magnetic susceptibility and the heavy metal iron sand of Sampulungan Beach. Measurement of magnetic parameters such as magnetic susceptibility uses a Bartington Susceptibility Meter equipped with an MS2B sensor. The XRF method is used to identify heavy metals. The results show that the minerals contained in the iron sand are ferrimagnetic. Iron sand's dominant magnetic mineral source comes from natural or lithogenic rock weathering processes. The relationship between magnetic susceptibility and heavy metals has a strong positive correlation.

Keywords: magnetic susceptibility; heavy metal; positive correlation; lithogenic; sampulungan beach.

PENDAHULUAN

Pasir besi merupakan endapan pasir di pantai yang berwarna hitam. Pasir berwarna hitam diketahui didominasi oleh unsur besi (Fe). Pasir yang banyak mengandung Fe diindikasikan mengandung mineral magnetik seperti magnetit (Fe_3O_4) maupun hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Namun, jika pasir mengandung sedikit titanium (Ti), maka pasir mengandung ilmenit (FeTiO_3). Mineral magnetik tersebut jika diolah lebih lanjut dapat dijadikan sebagai material maju maupun material fungsional. Untuk itu, perlu diketahui sifat mineral magnetik pada pasir besi mencakup jenis mineral maupun kandungan mineral.

Sifat mineral magnetik pada pasir besi dapat diselidiki menggunakan metode kemagnetan batuan terutama parameter suseptibilitas magnetik. Metode ini telah banyak dimanfaatkan pada beberapa penelitian sebelumnya. Rahmayuni et al., (2021) melaporkan bahwa pasir besi permukaan di Pantai Pasia Jambak memiliki nilai suseptibilitas magnetik $(485,2-13.077) \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ dengan rata-rata $3.306,37 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ dan mengandung mineral magnetik $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, Fe_3O_4 , dan FeTiO_3 . Togibasa et al. (2018) mengidentifikasi bahwa nilai suseptibilitas magnetik pasir besi di muara Sungai Tor berkisar $(3000-4000) \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. Sementara, nilai suseptibilitas magnetik di area

Sungai Verkame berkisar $(200-600) \times 10^{-8}$ m^3/kg . Mineral Fe_3O_4 ditemukan pada sampel pasir besi di muara Sungai Tor. Tamuntuan et al. (2017) menyelidiki bahwa mineral magnetik yang dominan dari sampel pasir besi di Sulawesi Utara adalah magnetit dengan domain state pseudo-single domain.

Studi yang berkaitan dengan kajian sifat magnetik pasir besi di Pantai Sampulungan telah dipelajari. Nilai suseptibilitas magnetik sampel pasir besi berkisar $(33.932,62-71.829,96) \times 10^{-8}$ m^3/kg yang didominasi mineral Fe_3O_4 dan memiliki bulir magnetik multidomain (MD) yang kasar (Tiwow et al., 2018; Tiwow et al., 2019). Arsyad et al., (2018) melaporkan bahwa hasil pengujian menggunakan metode XRD diperoleh sampel pasir besi Pantai Sampulungan dominan mengandung mineral Fe_3O_4 . Namun, kajian korelasi suseptibilitas magnetik dan kontaminasi logam berat di lingkungan Pantai Sampulungan belum dilaporkan.

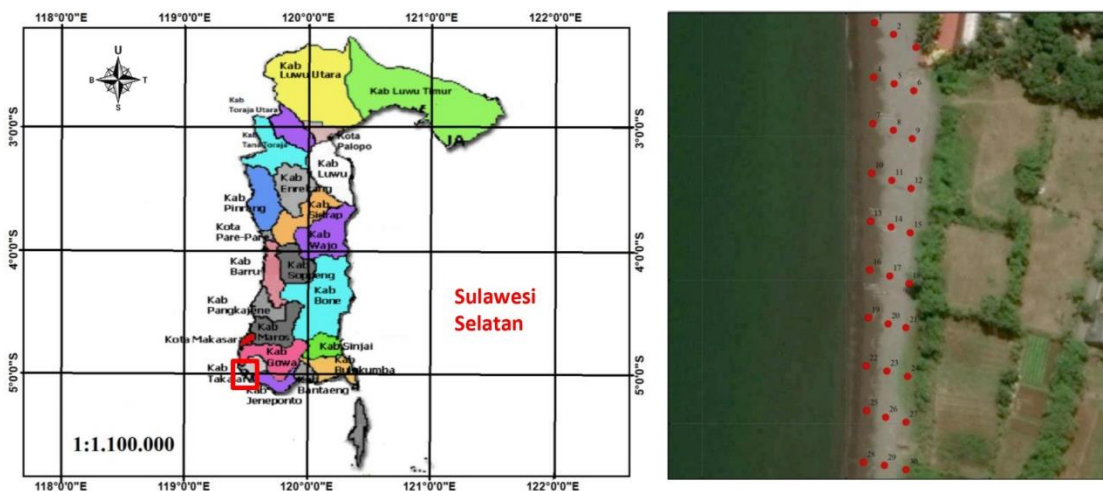
Dalam studi magnetik lingkungan, terbukti bahwa kandungan mineral magnetik pada suatu material berasosiasi dengan kandungan logam berat (Szczepaniak-Wnuk et al., 2020). Selanjutnya berdasarkan kesamaan ini, sifat magnetik dapat digunakan sebagai indikator keberadaan logam berat pada endapan pasir besi. Beberapa studi membuktikan bahwa parameter magnetik seperti suseptibilitas magnetik berhubungan dengan kandungan logam berat (Fitriani et al., 2021; Mariyanto et al., 2019; Szczepaniak-Wnuk et al., 2020). Selain itu, studi magnetic lingkungan berasosiasi dengan mineral magnetik, parameter geokimia, domain dan

ukuran bulir (Dearing, 1999). Karakteristik magnetik tertentu yang dimiliki dipengaruhi oleh transportasi material yang terbawa arus sehingga mengendap di pantai. Selain itu, dipengaruhi juga oleh geologi lokasi yang dipelajari.

Karakterisasi sifat magnetik dan hubungan antara parameter magnetik dengan kandungan logam berat pada pasir besi di lingkungan pantai sejauh ini belum dipelajari. Oleh karena itu, studi magnetik lingkungan dan hubungannya dengan kandungan logam berat perlu dilakukan. Studi ini bertujuan untuk meningkatkan pemahaman terkait analisis sifat magnetik dan korelasinya dengan logam berat dan menguji parameter magnetik sebagai proxy logam berat dalam pasir besi di lingkungan pantai khususnya di Pantai Sampulungan, Kabupaten Takalar. Dalam studi ini pengukuran magnetik dan kandungan logam berat menggunakan pengukuran suseptibilitas magnetik dan X-Ray Fluorescence (XRF). Hasil pengujian selanjutnya digunakan untuk menemukan hubungan antara parameter magnetik dengan kandungan logam berat pada pasir besi.

METODE PENELITIAN

Pasir besi diambil di Pantai Sampulungan pada 30 titik (Gambar 1) dengan kedalaman satu meter. Pasir besi diletakkan pada wadah, dibersihkan, dikeringkan pada suhu kamar, dan diekstraksi menggunakan magnet batang sebanyak 40 kali. Selanjutnya, sampel diayak dengan ayakan 100 mesh. Pasir besi dikemas dalam plastik klip dan diberi kode sesuai titik pengambilan sampel.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel Pantai Sampulungan di Kabupaten Takalar.

Sampel pasir besi dikemas dalam sampel holder yang telah diberi penyangga

yang terbuat dari plastisin. Sampel holder terbuat dari plastik berukuran tinggi 2,2 cm dan

diameter 2,54 cm. Pengukuran suseptibilitas magnetik dilakukan menggunakan *Bartington Magnetik Susceptibility Meter MS2* (Bartington Instrument Ltd, Oxford, United Kingdom) yang telah terhubung dengan sensor MS2B. Suseptibilitas magnetik diukur pada frekuensi rendah (χ_{LF}) 470 Hz dan frekuensi tinggi (χ_{HF}) 4700 Hz serta diolah menggunakan software Multisus (Boroallo et al., 2023; Mulyana et al., 2022; Tiwow et al., 2021).

Selanjutnya, menghitung suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi (χ_{FD}) menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\chi_{FD}(\%) = \frac{\chi_{LF} - \chi_{HF}}{\chi_{LF}} \times 100$$

dimana χ_{LF} adalah suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah dan χ_{HF} adalah suseptibilitas magnetik pada frekuensi tinggi (Sandi et al., 2021). Kemudian hubungan antara χ_{FD} dan χ_{LF} juga dibuat dalam bentuk grafik untuk mengetahui sumber mineral magnetik pasir besi. Penentuan jenis mineral magnetik dilakukan dengan cara mencocokkan nilai suseptibilitas magnetik hasil pengukuran dengan karakteristik mineral dan suseptibilitas magnetik berdasarkan (Dearing, 1999). Kemudian dilakukan plot grafik $\chi_{LF}-\chi_{FD}(\%)$ untuk menentukan sumber mineral magnetik sampel pasir besi Pantai Sampulungan (Tiwow & Rampe, 2022). Penentuan kandungan logam berat pada pasir besi menggunakan metode X-

Ray Fluorescence (XRF). Pengukuran XRF dilakukan dengan metode serbuk. Selanjutnya, dilakukan plot grafik untuk mengetahui korelasi parameter magnetik dan kandungan logam berat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ringkasan statistik deskriptif parameter magnetik sampel pasir besi disajikan pada Tabel 1. Semua parameter magnetik terdistribusi secara normal berdasarkan uji Kolmogorov-Smirnov (K-S). Massa spesifik suseptibilitas magnetik (χ_{LF}) dari sampel guano berkisar 339.33 sampai $718.30 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$ (Tiwow et al., 2019). Suseptibilitas magnetik pasir besi Pantai Sampulungan memiliki nilai relatif yang sangat tinggi dibandingkan dengan pasir besi yang berasal dari tempat lain. Ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan (Fadhilah et al., 2020; Togibasa et al., 2019). Suatu studi melaporkan bahwa material yang berasal dari lingkungan vulkanik memiliki nilai suseptibilitas yang tinggi (Pratama et al., 2018). Nilai suseptibilitas magnetik pasir besi Pantai Sampulungan tinggi karena jenis batuan Kabupaten Takalar adalah batuan vulkanik. Batuan vulkanik ini berasal dari gunung api Baturape-Cindako yang terdiri dari lava dan batuan piroklastik yang bersilangan dengan tufa dan batu pasir (Zulkifli et al., 2002). Material vulkanik dapat mempengaruhi kandungan mineral magnetik pada pasir besi (Tiwow et al., 2018).

Tabel 1. Deskripsi Statistik Suseptibilitas Magnetik Pasir Besi Pantai Sampulungan di Sulawesi Selatan (n=30).

Deskripsi Statistik	Parameter Magnetik		
	$\chi_{LF} (\times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg})$	$\chi_{HF} (\times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg})$	$\chi_{FD} (\%)$
Minimum	339,33	338,21	0,08
Maximum	718,30	717,03	0,66
Mean	624,44	622,34	0,33
Range	378,97	378,82	0,58

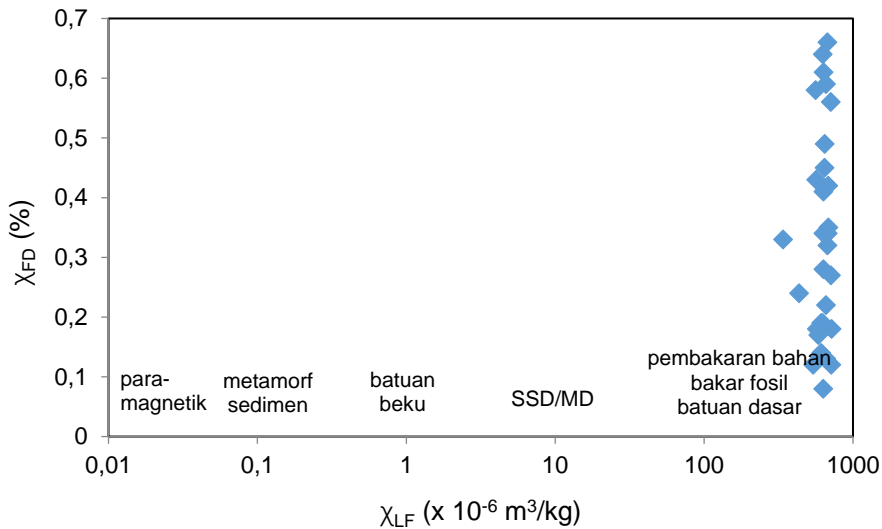
Kelimpahan mineral magnetik diduga bersumber dari kombinasi proses pelapukan batuan secara alamiah atau litogenik dan juga dapat bersumber dari aktivitas manusia atau antropogenik. Jenis mineral magnetik yang berkontribusi pada kelimpahan mineral magnetik pada pasir besi telah diselidiki oleh (Arsyad et al., 2018; Ipa et al., 2018; Tiwow & Rampe, 2022). Pasir besi Pantai Sampulungan dominan mengandung mineral Fe_3O_4 . Sama halnya pada pasir besi Pantai Pasia Nan Tigo dan Pantai Pasia Jambak Padang mengandung mineral magnetik seperti

magnetit (Fe_3O_4), hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), dan ilmenit (FeTiO_3) (Rahmi et al., 2022; Yuwanda et al., 2022). Untuk menemukan sumber mineral magnetit ini maka perlu dilihat ukuran bulir dan tipe domain magnetik yang disajikan dari hasil pengukuran parameter kemagnetan yaitu suseptibilitas magnetik. Karena nilai konsentrasi mineral magnetik dipengaruhi oleh ukuran bulir, komposisi dan bentuk mineral magnetik penyusunnya (Dearing, 1999; Zulaikah, 2015).

Pada suatu sampel dapat dideteksi keberadaan mineral superparamagnetik

berdasarkan nilai χ_{FD} . Pasir besi Pantai Sampulungan memiliki nilai χ_{FD} yang rendah yaitu 0,08 sampai 0,66 % yang menunjukkan bahwa pasir besi hampir tidak mengandung butir superparamagnetik (Tiwow et al., 2018; Tiwow et al., 2019). Hasil ini sejalan dengan studi yang dilakukan (Rahmi et al., 2022) pada pasir besi Pantai Pasia Jambak yang memperoleh nilai $\chi_{FD} < 2\%$. Hasil interpretasi ini didasarkan pada pedoman penggunaan sistem Bartington MS2 (Dearing, 1999). Scatter diagram bivariate antara χ_{LF} dan $\chi_{FD}\%$ yang

menunjukkan tipikal ukuran bulir dan domain mineral magnetik sehingga menjadi indikasi sumber mineral magnetik pada sampel pasir besi Pantai Sampulungan ditunjukkan pada Gambar 2. Ini artinya bahwa mineral magnetik pada sampel cenderung didominasi mineral magnetik non-SP yang berukuran bulir kasar ($>0,03 \mu\text{m}$) (Mariyanto et al., 2019). Selain itu, diindikasikan mineral magnetik bersumber dari proses pelapukan batuan dasar secara alamiah atau komponen litogenik.



Gambar 2. Scatter Diagram Bivariate χ_{LF} - $\chi_{FD}(\%)$ Sampel Pasir Besi Pantai Sampulungan.

Hasil XRF pada Tabel 2 menunjukkan bahwa kandungan logam berat pada sampel pasir besi pantai Sampulungan dengan konsentrasi yang bervariasi. Logam berat yang dimaksud adalah besi (Fe), kromium (Cr), dan mangan (Mn). Logam berat diindikasikan sebagai material pembawa sifat magnetik pada pasir besi. Kandungan logam berat sampel

pasir besi didominasi oleh Fe. Konsentrasi Fe pada semua sampel menunjukkan konsentrasi yang tinggi, sehingga menyebabkan suseptibilitas magnetiknya juga tinggi. Dalam hal ini, besarnya suseptibilitas magnetik pada suatu sampel dikontrol oleh konsentrasi Fe (Iswanto & Zulaikah, 2019).

Tabel 2. Deskripsi Statistik Kandungan Logam Berat Pasir Besi Pantai Sampulungan di Sulawesi Selatan (n=30).

Unsur	Satuan	Deskripsi Statistik			
		Minimum	Maximum	Mean	Range
Fe	%	20,19	50,58	44,10	30,39
Cr	ppm	450	960	813.67	510
Mn	ppm	2.380	4.330	3.921	1.950

Tingginya konsentrasi logam berat menunjukkan tingginya nilai suseptibilitas magnetik dan sebaliknya. Pada paper ini melaporkan bahwa besarnya suseptibilitas magnetik dan logam berat pada pasir besi dipengaruhi oleh sumbernya. Sumber mineral magnetic sampel pasir besi Pantai Sampulungan diindikasikan berasal dari hasil pelapukan batuan dasar, mengalami

transportasi, dan mengendap. Tetapi juga diindikasikan dari hasil pembakaran yang diakibatkan oleh adanya aktivitas manusia atau komponen antropogenik. Ini berkaitan dengan Pantai Sampulungan merupakan daerah wisata, sehingga adanya aktivitas manusia di lokasi tersebut. Sumber ini dapat berperan sebagai kontaminan. Dengan demikian, parameter suseptibilitas magnetik

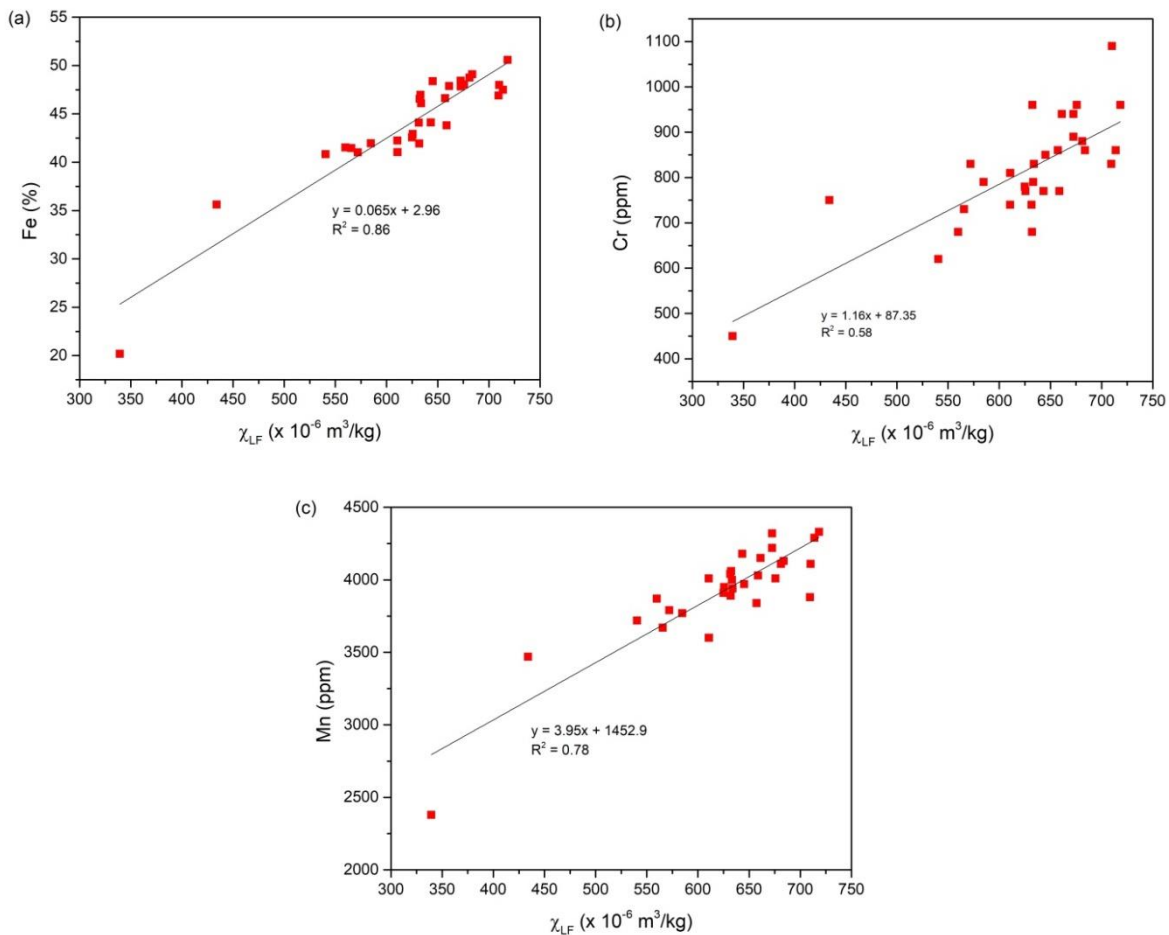
dapat digunakan sebagai proxy indikator logam berat (Arsyad et al., 2022; Kirana et al., 2014; Mariyanto et al., 2019).

Tabel 3 menunjukkan koefisien korelasi Pearson antara parameter magnetik dengan kandungan logam berat dari sampel pasir besi. Koefisien korelasi Pearson menunjukkan seberapa kuat hubungan antara logam berat dan antara parameter magnetik dengan logam berat. Koefisien korelasi Pearson antara parameter magnetik χ_{LF} -Fe (R=0,93), χ_{LF} -Cr (R=0,77), dan χ_{LF} -Mn (R=0,89) memiliki korelasi positif kuat (Gambar 3). Sementara koefisien korelasi Pearson Fe-Cr, Fe-Mn, dan Cr-Mn berturut-turut R=0,81, R=0,93, dan R=0,72 juga memiliki korelasi positif kuat. Fe merupakan unsur feromagnetik

yang mempengaruhi nilai suseptibilitas magnetik sampel pasir besi (Rahmayuni et al., 2021; Tamuntuan et al., 2017; Togibasa et al., 2019).

Tabel 3. Korelasi Pearson Antara Parameter Magnetik dan Kandungan Logam Berat Pasir Besi. Nilai R untuk Korelasi Positif Kuat Ditebalkan.

	Fe	Cr	Mn
Fe	1,00		
Cr	0,81	1,00	
Mn	0,93	0,72	1,00
χ_{LF}	0,93	0,77	0,89
χ_{FD}	0,14	0,04	0,04



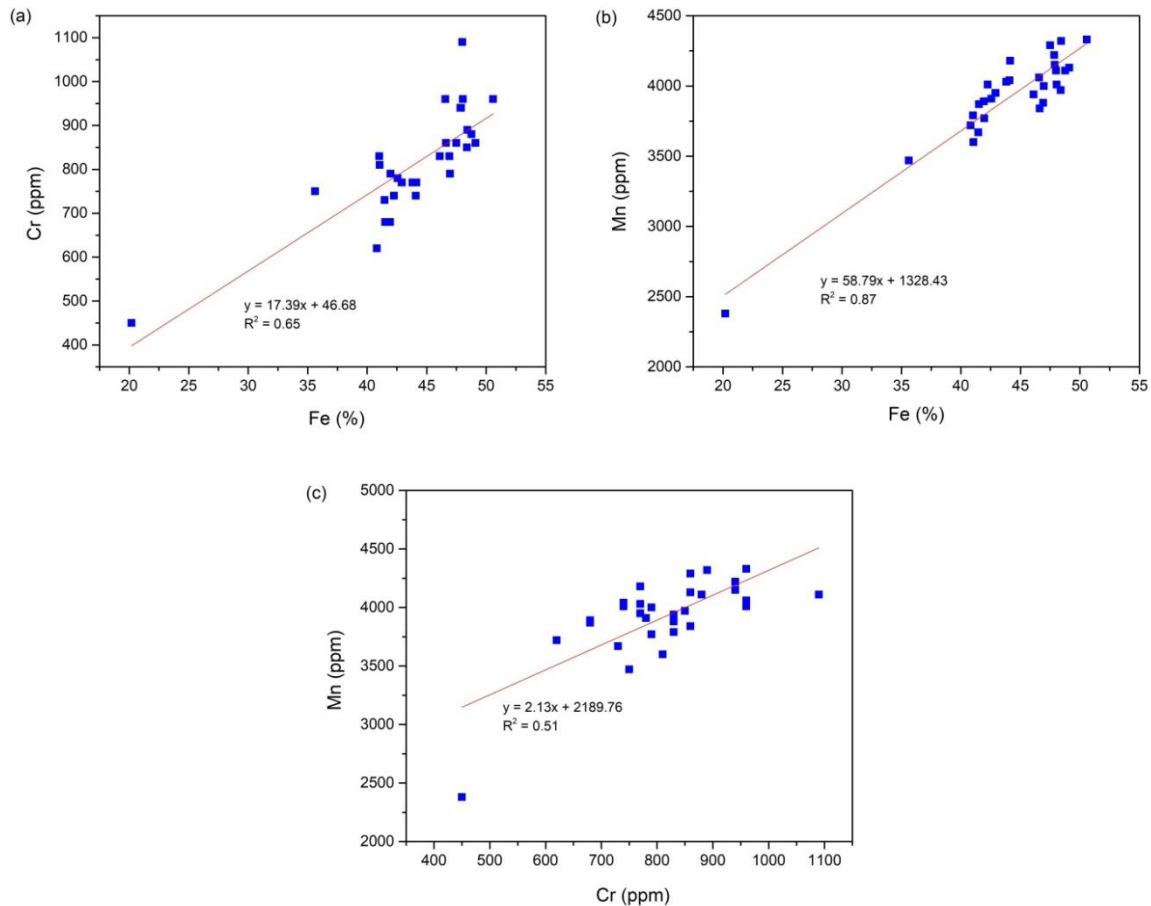
Gambar 3. Plot (a) χ_{LF} -Fe, (b) χ_{LF} -Cr, dan (c) χ_{LF} -Mn.

Unsur Fe dengan kandungan logam berat lainnya seperti Cr dan Mn memiliki koefisien korelasi Pearson positif kuat. Hal yang sama juga berlaku untuk korelasi antara logam Cr dengan Mn. Plot Fe dengan kandungan logam berat lainnya (Cr dan Mn) serta ditunjukkan pada Gambar 4. Berdasarkan hasil ini, diketahui bahwa

suseptibilitas magnetik sebagai proxy indikator untuk mendeteksi logam berat yang berasosiasi dengan Fe (Arsyad et al., 2022; Tiwow et al., 2022). Sumber suseptibilitas magnetik dan sumber logam berat dipengaruhi oleh lokasi pengambilan sampel pasir besi. Dalam hal ini, sampel pasir besi diambil di Pantai Sampulungan yang berada di perairan

Selat Makassar, dimana kelimpahan Fe dalam mineral magnetik lebih dipengaruhi oleh lokasi endapan pasir besi dan juga geologi daerah setempat. Bukti ini menegaskan bahwa pasir besi Pantai Sampulungan yang diekstraksi masih terkontaminasi logam berat walaupun dalam jumlah kecil. Ini diindikasikan batuan dasar yang mengandung logam berat telah

mengalami pelapukan dan tertransportasi melalui arus air sehingga mengakibatkan adanya endapan pasir di daratan. Pasir besi Pantai Sampulungan yang kaya akan mineral magnetit dapat dimanfaatkan lebih lanjut baik material maju maupun material fungsional (Achmad et al., 2022).



Gambar 4. Plot Kandungan Logam Berat (a) Fe-Cr, (b) Fe-Mn, dan (c) Cr-Mn.

SIMPULAN DAN SARAN

Nilai suseptibilitas magnetik sampel pasir besi Pantai Sampulungan berkisar 339,33 sampai $718,30 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$, sehingga mengandung mineral magnetit yang bersifat ferimagnetik. Pasir besi didominasi oleh mineral magnetik non-SP yang berukuran bulir kasar ($>0,03 \mu\text{m}$). Sumber mineral magnetik pada pasir besi dominan berasal dari proses pelapukan batuan secara alami atau litogenik. Besar kecilnya nilai suseptibilitas magnetik dipengaruhi oleh kandungan Fe. Fe berasosiasi dengan sejumlah logam berat lainnya seperti Cr dan Mn. Hubungan suseptibilitas magnetik dan logam berat memiliki korelasi positif. Artinya, suseptibilitas magnetik dapat digunakan sebagai proxy indikator untuk mendeteksi logam berat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada Winda Indira B. Tiro, S.Si. yang telah membantu dalam pengambilan sampel dan preparasi sampel. Terima kasih juga kepada Ibu Ramlia sebagai operator alat Bartington Susceptibility Meter MS2B yang telah membantu dalam pengolahan data suseptibilitas magnetik.

DAFTAR RUJUKAN

Achmad, R., Taib, S., & Ningrum, R. W. (2022). Crystal Structure and Magnetic Susceptibility of Iron Sand From Pangeo Village, Morotai Jaya Subdistrict as The Cathode of Lithium-Ion Batteries. *Techno: Jurnal Penelitian*, 11(2), 129–136. <https://doi.org/10.33387/tjp.v11i2.5562>

- Arsyad, M., Tiwow, V. A., & Rampe, M. J. (2018). Analysis of Magnetic Minerals of Iron Sand Deposit in Sampulungan Beach, Takalar Regency, South Sulawesi Using the X-Ray Diffraction Method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1120(1), 012059. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1120/1/012059>
- Arsyad, M., Tiwow, V. A., Rampe, M. J., & Rampe, H. L. (2022). Relationships of Magnetic Properties and Heavy Metals Content of Guano in Bat Cave, South Sulawesi, Indonesia. *Karbala International Journal of Modern Science*, 8(3), 406–414. <https://doi.org/10.33640/2405-609X.3254>
- Boroallo, A., Tiwow, V. A., & Sulistiawaty, S. (2023). Studi Mineral Magnetik Tanah TPA Antang Makassar Berdasarkan Data Suseptibilitas Magnetik. *ORBITA: Jurnal Kajian, Inovasi Dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, 9(1), 16–22. <https://doi.org/10.31764/orbita.v9i1.11663>
- Dearing, J. A. (1999). *Environmental Magnetic Susceptibility: Using the Bartington MS2 System*. British Library Cataloguing in Publication Data.
- Fadhilah, Prabowo, H., & Saldi, T. (2020). The Feasibility Test of Physical and Chemical Peoperties of Muaro Binguang Pasaman Barat Iron Sand for Semen Padang. *Journal of Physics: Conference Series*, 1594(1), 012037. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1594/1/012037>
- Fitriani, D., Utami, W., Kirana, K. H., Agustine, E., & Zulaikah, S. (2021). Tanda-Tanda Magnetik pada Sedimen Sungai dan Tanah Pertanian Sebagai Indikator Proksi Pencemaran Berasal dari Antropogenik (Studi Kasus : Sungai Cikijing , Rancaekek , Jawa Barat). *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 7(3), 381-387. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v7i3.697>
- Ipa, S. H. M., Kubangun, S. H., Bijaksana, S., Dahrin, D., & Hasanah, I. U. (2018). Characterization of Magnetic Properties of the Coastal Sand Deposits in South Beach of Manokwari, West Papua. *Journal of Natural Sciences and Mathematics Research*, 4(2), 33–40. <https://doi.org/10.21580/jnsmr.2018.4.2.11016>
- Iswanto, B. H., & Zulaikah, S. (2019). Selection Method to Identify the Dominant Elements that Contribute to Magnetic Susceptibility in Sediment. *Journal of Physics: Conference Series*, 1402(1), 044087. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/4/044087>
- Kirana, K. H., Fitriani, D., Supriyana, E., & Agustine, E. (2014). Sifat Magnetik Sedimen Sungai Sebagai Indikator Pencemaran (Studi Kasus: Sungai Citarum Kabupaten Karawang). *Jurnal Spektra*, 15(2), 99–101.
- Mariyanto, M., Amir, M. F., Utama, W., Hamdan, A. M., Bijaksana, S., Pratama, A., Yunginger, R., & Sudarningsih, S. (2019). Heavy Metal Contents and Magnetic Properties of Surface Sediments in Volcanic and Tropical Environment from Brantas River, Jawa Timur Province, Indonesia. *Science of the Total Environment*, 675, 632–641. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.244>
- Mulyana, M., Tiwow, V. A., & Sulistiawaty, S. (2022). Analisis Suseptibilitas Magnetik Tanah TPA Antang Makassar Berdasarkan Kedalaman. *ORBITA: Jurnal Kajian, Inovasi Dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, 8(2), 234–240. <https://doi.org/10.31764/orbita.v8i2.11252>
- Pratama, A., Bijaksana, S., Abdurrachman, M., & Santoso, N. A. (2018). Rock Magnetic, Petrography, and Geochemistry Studies of Lava at the Ijen Volcanic Complex (IVC), Banyuwangi, East Java, Indonesia. *Geosciences*, 8(5), 1–14. <https://doi.org/10.3390/geosciences8050183>
- Rahmayuni, R., Rifai, H., Dwiridal, L., Yuwanda, A. N., Visgus, D. A., & Rahmi, A. (2021). Distribution Pattern of Magnetic Susceptibility Value of Iron Sand on the Surface of Pasia Jambak Beach Pasia Nan Tigo Padang. *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 22(4), 302–310. <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol22-iss4/274>
- Rahmi, A., Rifai, H., Rahmayuni, R., Yuwanda, A. N., Visgun, D. A., & Dwiridal, L. (2022). Irregular Magnetic Susceptibility Pattern of Iron Sand from Pasia Jambak Beach, Pasia Nan Tigo, Padang, Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 2309(1), 012027. [ORBITA: Jurnal Pendidikan dan Ilmu Fisika](https://doi.org/10.1088/1742-</p>
</div>
<div data-bbox=)

- 6596/2309/1/012027
- Sandi, I. A., Fauzan, M. F. A., Fitriani, Rampe, M. J., & Tiwow, V. A. (2021). A Review of the Magnetic Susceptibility of Guano Deposits in Caves. *Journal of Physics: Conference Series*, 1899(1), 012125. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1899/1/012125>
- Szczepaniak-Wnuk, I., Górka-Kostrubiec, B., Dytłow, S., Szwarczewski, P., Kwapuliński, P., & Karasiński, J. (2020). Assessment of Heavy Metal Pollution in Vistula River (Poland) Sediments by Using Magnetic Methods. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 24129–24144. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08608-4>
- Tamuntuan, G., Tongkukut, S. H. J., & Pasau, G. (2017). Analisis Suseptibilitas dan Histeresis Magnetik pada Endapan Pasir Besi di Sulawesi Utara. *Jurnal MIPA*, 6(2), 105. <https://doi.org/10.35799/jm.6.2.2017.18008>
- Tiwow, V. A., & Rampe, M. J. (2022). Studi Suseptibilitas Magnetik Bergantung Frekuensi pada Sedimen Sungai Kota Makassar. *Jurnal Fisika Unand*, 11(4), 474–481. <https://doi.org/10.25077/jfu.11.4.474-481.2022>
- Tiwow, V. A., Rampe, M. J., & Arsyad, M. (2018). Kajian Suseptibilitas Magnetik Bergantung Frekuensi terhadap Pasir Besi Kabupaten Takalar. *Sainsmat*, 7(2), 136–146. <https://doi.org/10.35580/sainsmat7273662018>
- Tiwow, V. A., Arsyad, M., Sulistiawaty, Rampe, M. J., & Tiro, W. I. B. (2019). Analysis of Magnetic Mineral Types of Iron Sand at Sampulungan Beach, Takalar Regency Based on Magnetic Susceptibility Values. *Materials Science Forum*, 967, 292–298. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.967.292>
- Tiwow, V. A., Subaer, Sulistiawaty, Malago, J. D., Rampe, M. J., & Lapa, M. (2021). Magnetic Susceptibility of Surface Sediment in the Tallo Tributary of Makassar City. *Journal of Physics: Conference Series*, 1899(1), 012124. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1899/1/012124>
- Tiwow, V. A., Rampe, M. J., & Sulistiawaty, S. (2022). Suseptibilitas Magnetik dan Konsentrasi Logam Berat Sedimen Sungai Tallo di Makassar. *Jurnal Ilmiah Sains*, 22(1), 60–66. <https://doi.org/10.35799/jis.v22i1.38681>
- Togibasa, O., Akbar, M., Pratama, A., & Bijaksana, S. (2019). Distribution of Magnetic Susceptibility of Natural Iron Sand in the Sarmi Coast Area. *Journal of Physics: Conference Series*, 1204(1), 012074. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1204/1/012074>
- Togibasa, O., Bijaksana, S., & Novala, G. C. (2018). Magnetic Properties of Iron Sand from the Tor River Estuary, Sarmi, Papua. *Geosciences*, 8(4), 1–7. <https://doi.org/10.3390/geosciences8040113>
- Yuwanda, A. N., Rahmayuni, R., Visgun, D. A., Rahmi, A., Rifai, H., & Dwiridal, L. (2022). Characterization of Magnetic Minerals of Iron Sand Pasia Nan Tigo Padang Beach Using X-Ray Diffraction (XRD). *Indonesian Journal of Applied Physics*, 12(1), 35–46. <https://doi.org/10.13057/ijap.v12i1.51531>
- Zulaikah, S. (2015). Prospek dan Manfaat Kajian Kemagnetan Batuan pada Perubahan Iklim dan Lingkungan. *Jurnal Fisika Unnes*, 5(1), 1–5. <https://doi.org/10.15294/jf.v5i1.7364>
- Zulkifli, M. D., Tholib, A., Franklin, Sofyan, A., & Sudiaman. (2002). *Inventarisasi dan Evaluasi Mineral Logam di Daerah Kabupaten Gowa Provinsi Sulawesi Selatan*. Kolokium Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral.