

## Studi Suseptibilitas Magnetik Bergantung Frekuensi pada Sedimen Sungai Tallo, Kota Makassar, Indonesia

Vistarani Arini Tiwow<sup>1,\*</sup>, Meytij Jeanne Rampe<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar, Kampus UNM Parangtambung Jl. Daeng Tata Raya, Makassar, 90224, Indonesia

<sup>2</sup>Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Manado, Kampus UNIMA di Tondano, 95618, Indonesia

### Info Artikel

#### Histori Artikel:

Diajukan: 2 Juli 2022

Direvisi: 1 Agustus 2022

Diterima: 29 Agustus 2022

#### Kata kunci:

Antropogenik

Butir magnetik

Korelasi

Sedimen sungai

Suseptibilitas magnetik

#### Keywords:

Anthropogenic

Magnetic Grain

Correlation

River Sediment

Magnetic Susceptibility

#### Penulis Korespondensi:

Vistarani Arini Tiwow

Email: [vistatiwow@unm.ac.id](mailto:vistatiwow@unm.ac.id)

### ABSTRAK

Sedimen sungai telah dipelajari secara intensif dalam studi magnetik lingkungan karena sungai merupakan sumber kehidupan bagi hewan dan tumbuhan yang hidup di dalamnya maupun bagi manusia. Magnetik lingkungan merupakan ilmu yang relatif baru dan menjadi cara alternatif dalam mengkaji lingkungan. Oleh karena itu, dilakukan studi tentang pengukuran suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi pada sedimen Sungai Tallo di Kota Makassar. Metode yang digunakan adalah metode suseptibilitas magnetik menggunakan alat Bartington Susceptibility Meter MS2B. Hasil menunjukkan bahwa suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah dan tinggi terdapat perbedaan yang tidak signifikan yang berarti sampel sedimen hampir tidak memiliki bulir mineral superparamagnetik. Sampel dominan mengandung butiran non-SP dengan diameter sama atau lebih besar dari 0,03  $\mu\text{m}$ . Korelasi antara suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi dan suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah memiliki korelasi positif yang kuat. Peningkatan  $\chi_{LF}$  menyebabkan  $\chi_{FD}$  juga meningkat. Sampel sedimen mengandung butir multi domain (MD) dan superparamagnetik-*simple single domain* (SP-SSD). Kelimpahan mineral magnetik dipengaruhi oleh adanya aktivitas antropogenik di sekitar sungai.

*River sediments have been studied intensively in environmental magnetic studies because rivers are a source of life for animals and plants that live in them as well as for humans. Environmental magnetism is a relatively new science and is an alternative way of studying the environment. Therefore, a study was conducted on the measurement of frequency-dependent magnetic susceptibility on sediments of the Tallo River in Makassar City. The method used is the magnetic susceptibility method using the Bartington Susceptibility Meter MS2B. The results show that the magnetic susceptibility at low and high frequencies has no significant difference, which means that the sediment sample has almost no superparamagnetic mineral grains. The dominant sample contained non-SP grains with a diameter equal to or greater than 0.03  $\mu\text{m}$ . The correlation between frequency-dependent magnetic susceptibility and low-frequency magnetic susceptibility has a strong positive correlation. An increase in  $\chi_{LF}$  causes  $\chi_{FD}$  to also increase. The sediment samples contain multi-domain (MD) and superparamagnetic-simple single domain (SP-SSD) grains. The abundance of magnetic minerals is influenced by the presence of anthropogenic activities around the river.*

Copyright © 2022 Author(s). All rights reserved

## I. PENDAHULUAN

Sedimen sungai telah dipelajari secara intensif dalam studi magnetik lingkungan karena sungai merupakan sumber kehidupan bagi hewan dan tumbuhan yang hidup di dalamnya maupun bagi manusia. Magnetik lingkungan merupakan ilmu yang relatif baru dan menjadi cara alternatif dalam mengkaji lingkungan. Magnetik lingkungan melibatkan hubungan sifat magnetik dari mineral dengan proses lingkungan yang mengendalikannya (Tiwow *et al.*, 2021). Perkembangan studi magnetik lingkungan sampai saat ini telah dilakukan kajian pada beberapa lingkungan seperti TPA (Bijaksana dan Huliselan, 2010; Novala *et al.*, 2016), perkotaan (Wahyuni dan Afdal, 2018), pantai (Togibasa *et al.*, 2018), danau (Tamuntuan *et al.*, 2010), lahan pertanian (Ulfa dan Budiman, 2019), maupun sungai (Mariyanto *et al.*, 2019a; Sudarningsih *et al.*, 2017).

Salah satu parameter dalam kajian magnetik lingkungan adalah suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi ( $\chi_{FD}$ ). Pengukuran suseptibilitas magnetik dapat dilakukan dengan mudah, murah, cepat, dan tanpa merusak material (Bijaksana *et al.*, 2013). Pengukuran suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi pada sampel dilakukan dua kali yaitu pada dua frekuensi magnetisasi yang berbeda. Pengukuran frekuensi rendah (0,46 kHz) (pengukuran suseptibilitas standar  $\chi_{LF}$ ) memungkinkan kristal superparamagnetik (SP) yang dekat dengan batas dengan butir *stable single domain* (SSD) berkontribusi penuh terhadap suseptibilitas, sedangkan pengukuran frekuensi tinggi (4,6 kHz) tidak. Frekuensi yang lebih tinggi memiliki efek menggeser batas domain antara kristal SP dan SSD ke ukuran kristal yang lebih kecil. Perbedaan nilai pengukuran pada dua frekuensi magnetisasi yang berbeda menunjukkan keberadaan dan estimasi konsentrasi mineral superparamagnetik (Dearing, 1999).

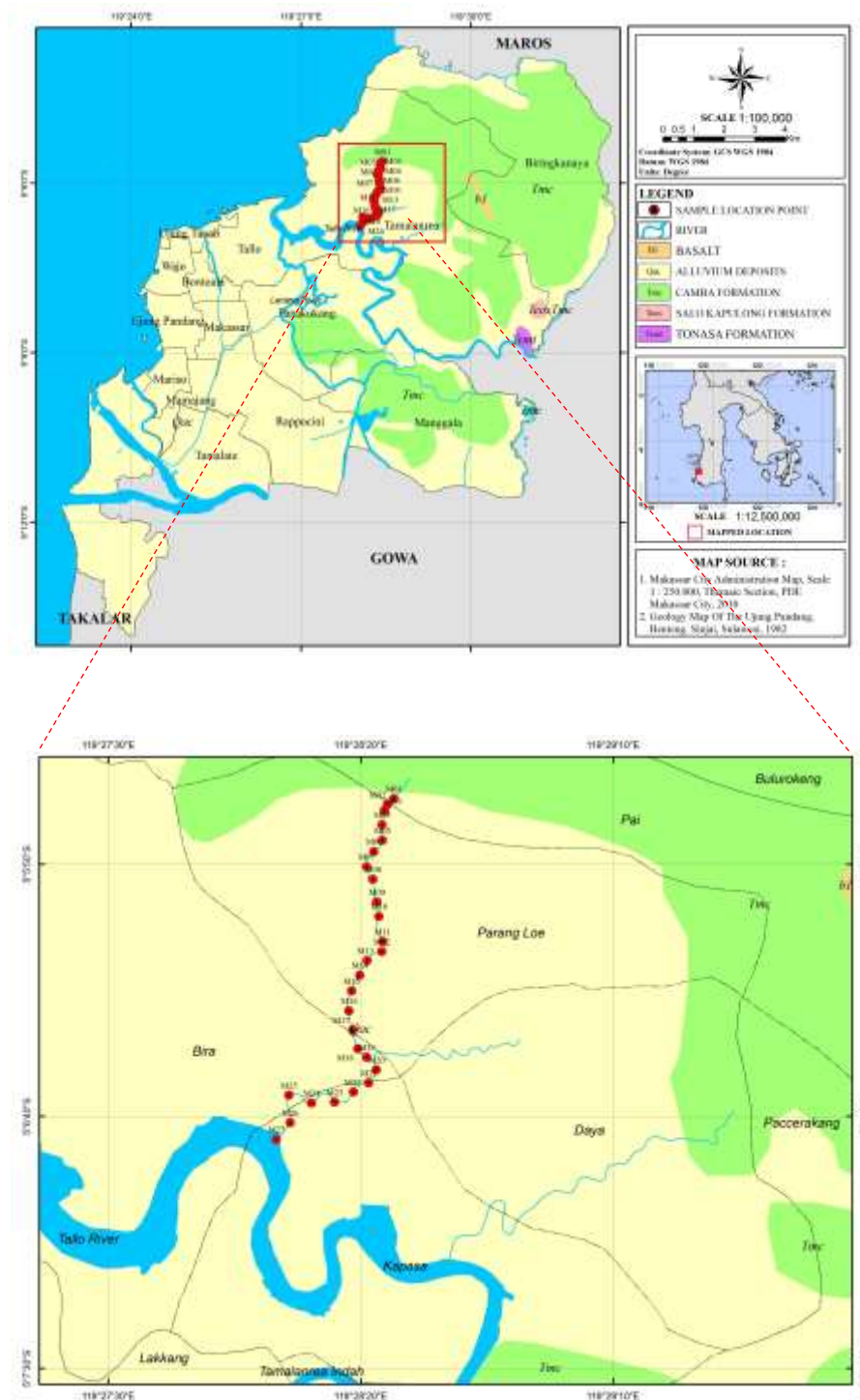
Butir superparamagnetik dikaitkan dengan ukuran butir mineral magnetik dalam bahan. Ukuran butir mineral magnetik berkaitan dengan domain magnetik bahan magnetik. Domain mineral magnetik berdasarkan ukuran butir dari kecil hingga besar meliputi single domain (<0,1  $\mu\text{m}$ ), pseudo single domain (0,1-10  $\mu\text{m}$ ) dan multi domain (>10  $\mu\text{m}$ ) (Dearing, 1999). Butir *ultrafine* <0,03  $\mu\text{m}$  adalah *single domain* tetapi menampilkan sifat unik disebut superparamagnetik. Dalam aplikasinya, ukuran butir dan domain mineral magnetik dapat mendeskripsikan sumber mineral magnetik, sehingga memberikan informasi mengenai pencemaran pada suatu lingkungan atau aktivitas antropogenik (Zulaikah, 2015).

Beberapa studi suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi telah dilakukan oleh peneliti (Kirana *et al.*, 2021) melaporkan bahwa sampel tanah lapisan atas perkotaan di Kota Bandung dominan mengandung butir SP dalam sampel (<10%) atau hampir tidak ada butir SP yang memiliki rentang  $\chi_{FD}$  0,38-4,52% dengan rata-rata 1,89%. Kajian  $\chi_{FD}$  pada sampel sedimen Sungai Surabaya dilakukan oleh (Mariyanto *et al.*, 2018) yang menyatakan bahwa  $\chi_{FD}$  sampel sedimen sungai termasuk pada kategori rendah dan medium. Selain itu juga,  $\chi_{FD}$  pada sampel tanah lapisan atas di berbagai wilayah Jalingo, Negara Bagian Taraba, Nigeria dilaporkan berdasarkan berbagai jenis aktivitas manusia sebagian besar memiliki campuran butir SP dan butir non-SP yang lebih kasar atau butir SP < 0,05  $\mu\text{m}$ .  $\chi_{FD}$  dihasilkan dari kombinasi sumber pedogenik dan antropogenik (Kanu *et al.*, 2014).

Di Indonesia, studi magnetik pada lingkungan sungai telah dipelajari pada Sungai Citarum, Jawa Barat (Sudarningsih *et al.*, 2017), Sungai Tabalong, Kalimantan Selatan (Sudarningsih *et al.*, 2013), Sungai Brantas, Jawa Timur (Mariyanto *et al.*, 2019b), dan Sungai Tallo, Sulawesi Selatan (Tiwow *et al.*, 2021, 2022). Kajian identifikasi mineral magnetik yang dominan dan sumber pencemaran telah dilaporkan (Tiwow *et al.*, 2021). Selanjutnya, kajian konsentrasi logam berat menggunakan XRF dan korelasi antara konsentrasi logam berat dengan suseptibilitas magnetik telah dipelajari (Tiwow *et al.*, 2022). Namun, kajian suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi dan butir magnetik belum dibahas dengan mendalam, sehingga kajian ini perlu dilakukan. Selain itu, Sungai Tallo juga menarik untuk dikaji karena melewati salah satu kota besar di Indonesia bagian timur yaitu Kota Makassar, dimana kota yang padat penduduk dan terdapat kawasan industri. Oleh karena itu, studi ini bertujuan untuk menganalisis hubungan suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah ( $\chi_{LF}$ ) dan tinggi ( $\chi_{HF}$ ), butir magnetik dan ukurannya, korelasi antara suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi ( $\chi_{FD}$ ) dengan suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah ( $\chi_{LF}$ ).

## II. METODE

Sungai Tallo adalah sungai yang membelah kota Makassar. Sungai Tallo memiliki dua hulu sungai. Hulu yang pertama berada di Sungai Moncongloe (Moncongloe Bulu, Moncongloe, Maros). Sementara hulu kedua berada di Pegunungan Pangkalaeng (Parigi, Tinggimoncong, Gowa). Sungai ini bermuara di Selat Makassar dan melewati 3 kabupaten/kota, yaitu Kota Makassar, Kabupaten Gowa, dan Kabupaten Maros. Daerah studi Sungai Tallo berlokasi di bagian utara Makassar tepatnya di Kecamatan Tamalanrea. Aliran sungai Tallo di daerah ini diapit oleh kawasan pabrik dan tempat tinggal penduduk, serta tambak ikan.



Gambar 1 Peta lokasi pengambilan sampel di Sungai Tallo Kota Makassar

Pengambilan sampel berupa sedimen di Sungai Tallo Kota Makassar yang berada di area yang dekat dengan tempat tinggal penduduk dan pabrik (Gambar 1). Sampel diambil menggunakan *van veen grab* pada 30 titik dan sampel yang digunakan sebanyak 27 sampel. Pengambilan sampel dilakukan secara random dan titik koordinat setiap titik dideteksi menggunakan GPS (*Global Positioning System*). Sampel dimasukkan ke dalam plastik *nylon* yang telah diberi kode dan dibawa ke Laboratorium Fisika Bumi. Masing-masing sampel dibersihkan dan diletakkan pada wadah untuk dikeringkan pada suhu kamar. Selanjutnya, sampel digerus dan diayak dengan ayakan 100 mesh untuk memperoleh ukuran yang lebih halus. Masing-masing sampel ditimbang 20 g dan dimasukkan dalam plastik cetik sehingga siap dilakukan pengukuran suseptibilitas magnetik.

Sampel sedimen yang telah dipreparasi dimasukkan ke dalam holder yang berukuran tinggi 2,2 cm dan diameter 2,54 cm. Kemudian, sampel tersebut dilakukan pengukuran suseptibilitas magnetik menggunakan alat Bartington Susceptibility Meter MS2B. Alat ini bekerja pada dua frekuensi yaitu frekuensi rendah (470 Hz) dan frekuensi tinggi (4700 Hz). Pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali untuk masing-masing sampel. Hasil pengukuran dianalisis menggunakan *software* Multisus. Berdasarkan data hasil pengukuran, selanjutnya dilakukan analisis suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi menggunakan persamaan berikut:

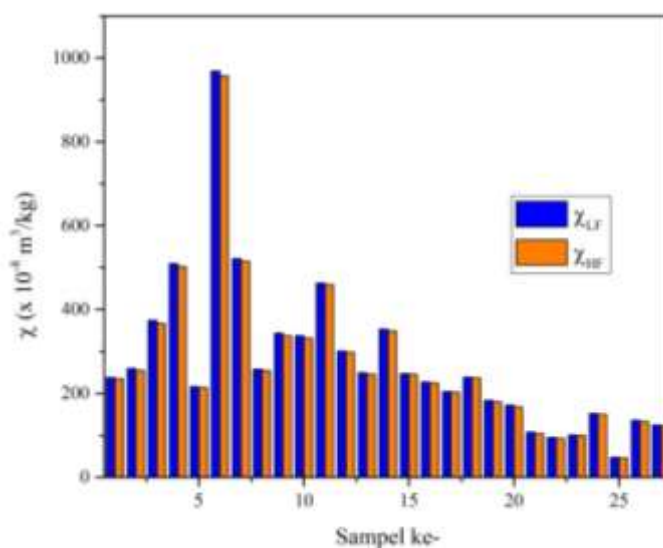
$$\chi_{FD}(\%) = \frac{\chi_{LF} - \chi_{HF}}{\chi_{LF}} \times 100\% \quad (1)$$

dimana  $\chi_{LF}$  = suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah ( $\text{m}^3/\text{kg}$ ) dan  $\chi_{HF}$  = suseptibilitas magnetik pada frekuensi tinggi ( $\text{m}^3/\text{kg}$ ) (Tiwow *et al.*, 2019).

Kemudian diplot grafik histogram suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah dan tinggi untuk menganalisis keberadaan mineral superparamagnetik. Analisis butir magnetik dan sumber mineral magnetik dengan melakukan plot grafik korelasi suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi dan suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah.

### III. HASIL DAN DISKUSI

Hasil pengukuran suseptibilitas magnetik dari 27 sampel sedimen menunjukkan suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah berkisar 47,7 hingga  $968,7 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$  dan suseptibilitas magnetik pada frekuensi tinggi 45,7 hingga  $957,4 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ . Sementara, hasil analisis suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi menggunakan persamaan (1) diperoleh 0,49 hingga 4,19 %. Histogram suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah dan tinggi diperlihatkan pada Gambar 2.



**Gambar 2** Histogram suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah ( $\chi_{LF}$ ) dan tinggi ( $\chi_{HF}$ )

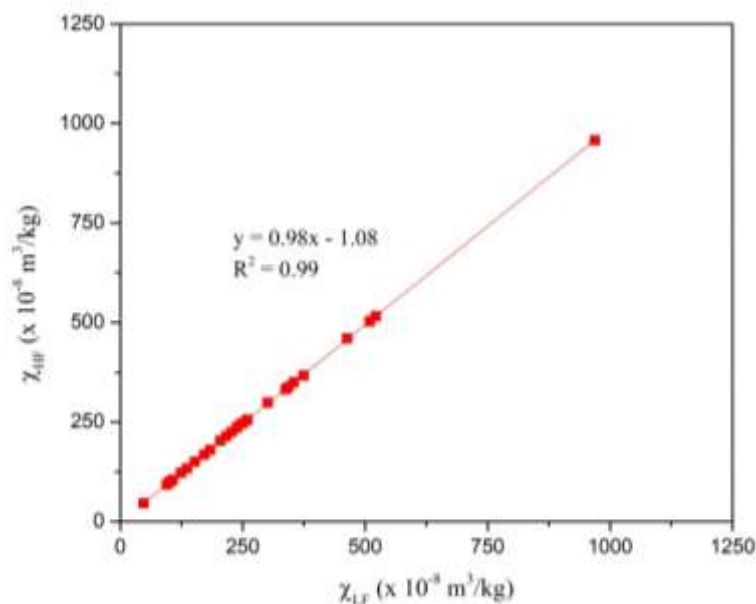
Suseptibilitas magnetik pada frekuensi tinggi nilainya lebih rendah dibandingkan dengan suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah. Hal ini disebabkan oleh pengukuran pada frekuensi yang lebih tinggi tidak memungkinkan butir mineral superparamagnetik bereaksi dengan medan magnet

bolak-balik yang digunakan akibat perubahan lebih cepat daripada waktu relaksasi yang diperlukan untuk bulir superparamagnetik. Jika keberadaan bulir superparamagnetik terdeteksi maka diperoleh nilai suseptibilitas magnetik pada frekuensi tinggi lebih rendah dibandingkan nilai suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah. Sebaliknya, jika nilai suseptibilitas magnetik pada frekuensi tinggi dan rendah identik, maka diindikasikan tidak ada bulir mineral superparamagnetik (Tiow *et al.*, 2018).

Gambar 2 menunjukkan bahwa suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah dan tinggi terdapat selisih nilai yang tidak signifikan. Selisih nilai suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah dan tinggi diperoleh nilai suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi. Studi ini melaporkan hasil analisis nilai suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi pada sampel sedimen diperoleh 0,49 hingga 4,19 %. Dari 27 sampel, 20 sampel memiliki  $\chi_{FD} < 2\%$  ( $\chi_{FD}$  rendah) dan 7 sampel memiliki  $\chi_{FD}$  2-10% ( $\chi_{FD}$  medium/sedang). Oleh karena itu,  $\chi_{FD}$  dominan  $< 2\%$  dimana kategori nilai tersebut dimiliki oleh sampel sedimen yang hampir tidak mengandung butir mineral superparamagnetik (SP). Dengan kata lain, dominan mengandung butiran non-SP dengan diameter sama atau lebih besar dari  $0,03 \mu\text{m}$  (Dearing, 1999).

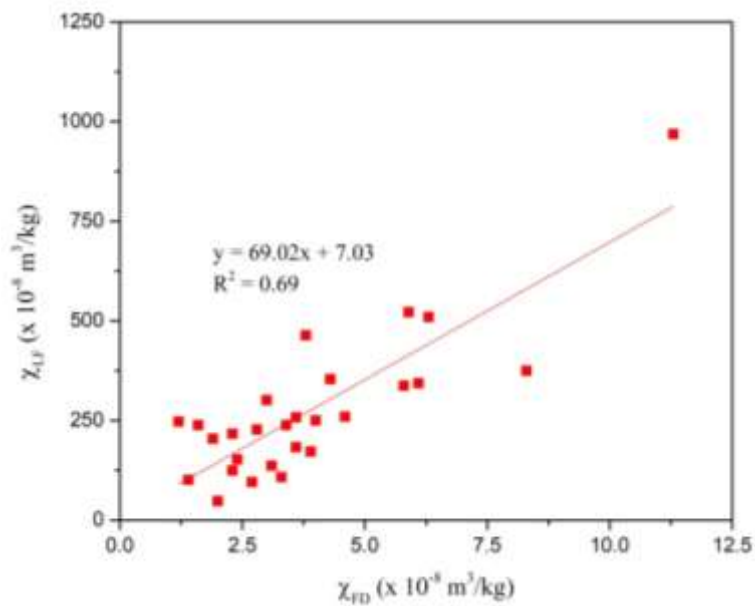
Pola sebaran nilai suseptibilitas magnetik juga dapat dideskripsikan berdasarkan Gambar 2. Nilai suseptibilitas magnetik pada setiap titik bervariasi. Ini bergantung pada lokasi titik pengambilan sampel berada di area tempat tinggal penduduk, pabrik, atau tambak ikan. Gambar 2 menunjukkan sampel ke-6 memiliki nilai suseptibilitas magnetik yang tinggi. Tingginya nilai suseptibilitas magnetik mengindikasikan dipengaruhi oleh faktor titik pengambilan sampel ke-6 di dekat pembuangan limbah kawasan pabrik, sehingga terjadi akumulasi mineral magnetik dengan konsentrasi yang cukup tinggi.

Selanjutnya, korelasi antara suseptibilitas pada frekuensi rendah dan frekuensi tinggi ditampilkan pada Gambar 3. Tampak bahwa hubungan yang diperoleh memiliki tingkat korelasi yang tinggi dengan koefisien Pearson  $r = 0,99$ . Artinya, suseptibilitas magnetik pada frekuensi tinggi dan rendah memiliki korelasi positif yang kuat. Gambar 4 menunjukkan plot grafik suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi dan suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah. Tampak bahwa nilai  $\chi_{FD}$  berkaitan dengan nilai  $\chi_{LF}$ . Hasil analisis korelasi juga menunjukkan koefisien Pearson diperoleh 0,83. Korelasi antara suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi dan suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah memiliki korelasi positif yang kuat. Artinya, jika terjadi peningkatan  $\chi_{LF}$  maka  $\chi_{FD}$  juga meningkat. Ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yaitu peningkatan nilai suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah dipengaruhi oleh kandungan mineral magnetik pada sampel, maka akan berakibat pada peningkatan suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi (Kanu *et al.*, 2013).

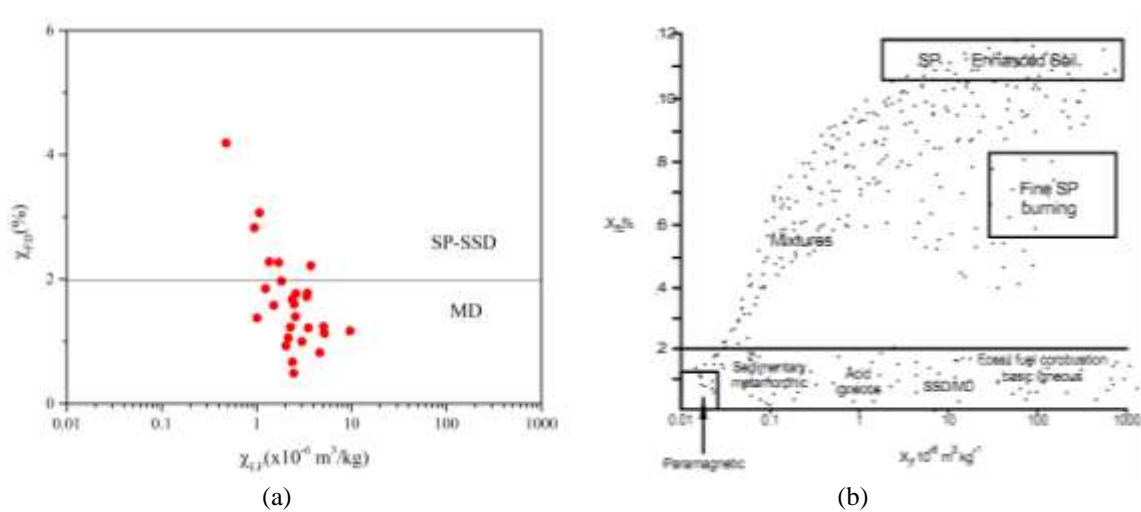


**Gambar 3** Korelasi suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah ( $\chi_{LF}$ ) dan tinggi ( $\chi_{HF}$ )





**Gambar 4** Korelasi suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah ( $\chi_{LF}$ ) dan suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi ( $\chi_{FD}$ )



**Gambar 5** Perbandingan skema distribusi  $\chi_{LF}$ - $\chi_{FD}$ % sampel yang berkaitan dengan kandungan bulir magnetik dan sumber mineral (a) sampel sedimen sungai Tallo (b) Dearing (1999)

Suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi dapat dinyatakan dalam persentase menggunakan persamaan (1). Hasil yang diperoleh menunjukkan skema distribusi  $\chi_{LF}$ - $\chi_{FD}$ % sampel yang berkaitan dengan kandungan bulir magnetik dan sumber mineral (Gambar 5). Gambar 5a memperlihatkan bahwa sampel sedimen mengandung kategori rendah  $\chi_{FD}$ % dan sedang  $\chi_{FD}$ %. Kategori rendah  $\chi_{FD}$ % berarti sampel sedimen memiliki suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi kurang dari 2%. Artinya, sampel sedimen hampir tidak memiliki bulir superparamagnetik (SP), namun lebih dominan mengandung bulir multi domain (MD). Sementara, kategori sedang  $\chi_{FD}$ % berarti sampel sedimen memiliki suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi kurang dari 2%. Artinya, sampel sedimen mengandung campuran SP dan non-SP kasar atau bulir SP berukuran  $< 0,005 \mu\text{m}$  (Dearing, 1999). Dengan kata lain sampel sedimen mengandung bulir superparamagnetik-*simple single domain* (SP-SSD) (Kanu *et al.*, 2013; Tiwow *et al.*, 2018).

Berdasarkan Gambar 5 juga dapat dideskripsikan mengenai sumber mineral magnetik. Jika dibandingkan Gambar 5a dan Gambar 5b, maka skema distribusi  $\chi_{LF}$ - $\chi_{FD}$ % sampel sedimen Sungai Tallo diindikasikan mineral magnetik bersumber dari aktivitas antropogenik. Hasil ini diperlihatkan dengan

distribusi  $\chi_{LF}$ - $\chi_{FD}$ % sampel sedimen dominan berbulir MD yang mengindikasikan mineral magnetik berasal dari pembakaran bahan bakar. Sementara mineral magnetik berbulir SSD diindikasikan berasal dari hasil pedogenesis, magnetosome bakteri, ataupun autigenik/greigite biogenik (Dearing, 1999). Berdasarkan kondisi lokasi pengambilan sampel di Sungai Tallo, kelimpahan mineral magnetik dipengaruhi oleh keberadaan kawasan industri berupa pabrik dan tempat tinggal penduduk di sekitar sungai (aktivitas antropogenik).

#### IV. KESIMPULAN

Suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah dan tinggi terdapat perbedaan yang tidak signifikan. Artinya, sampel sedimen hampir tidak memiliki bulir mineral superparamagnetik. Korelasi antara suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi dan suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah memiliki korelasi positif yang kuat. Artinya, jika terjadi peningkatan  $\chi_{LF}$  maka  $\chi_{FD}$  juga meningkat. Sampel sedimen mengandung bulir multi domain (MD) dan superparamagnetik-*simple single domain* (SP-SSD). Kelimpahan mineral magnetik dipengaruhi oleh adanya aktivitas antropogenik di sekitar sungai.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bijaksana, S., Huliselan, E., Safiuddin, L.O., Fitriani, D., Tamuntuan, G. dan Agustine, E. (2013), "Rock Magnetic Methods in Soil and Environmental Studies: Fundamentals and Case Studies", *Procedia Earth and Planetary Science*, Vol. 6, pp. 8–13.
- Bijaksana, S. dan Huliselan, E.K. (2010), "Magnetic Properties and Heavy Metal Content of Sanitary Leachate Sludge in Two Landfill Sites Near Bandung, Indonesia", *Environmental Earth Sciences*, Vol. 60 No. 2, pp. 409–419.
- Dearing, J. (1999), *Environmental Magnetic Susceptibility Using the Bartington MS2 System*, British Library Cataloguing in Publication Data, England.
- Kanu, M.O., Meludu, O.C. dan Oniku, S.A. (2013), "Measurement of Magnetic Susceptibility of Soils in Jalingo, N-E Nigeria: A case study of the Jalingo Mechanic Village", *World Applied Sciences Journal*, Vol. 24 No. 2, pp. 178–187.
- Kanu, M.O., Meludu, O.C. dan Oniku, S.A. (2014), "Comparative Study of Top Soil Magnetic Susceptibility Variation Based on Some Human Activities", *Cirugía Española*, Vol. 53 No. 4, pp. 411–423.
- Kirana, K.H., Apriliawardani, J., Ariza, D., Fitriani, D., Agustine, E., Bijaksana, S., Fajar, S.J. dan Nugraha, M.G. (2021), "Frequency Dependent Magnetic Susceptibility in Topsoil of Bandung City, Indonesia", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 873 No. 1, pp. 1–7.
- Mariyanto, M., Amir, M.F., Utama, W., Hamdan, A.M., Bijaksana, S., Pratama, A., Yunginger, R. dan Sudarningsih, S. (2019a), "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*, Vol. 675, pp. 632–641.
- Mariyanto, M., Amir, M.F., Utama, W., Hamdan, A.M., Bijaksana, S., Pratama, A., Yunginger, R. dan Sudarningsih, S. (2019b), "Environmental Magnetism Data of Brantas River Bulk Surface Sediments, Jawa Timur, Indonesia", *Data in Brief*, Vol. 25, p. 104092.
- Mariyanto, M., Bahri, A.S., Utama, W., Lestari, W., Silvia, L., Lestyowati, T., Anwar, M.K., Ariffiyanto, W., Hibatullah, A.I., dan Amir, M.F. (2018), "Relation Between Transport Distance with Frequency-Dependent Volume Magnetic Susceptibility in Surabaya River Sediments", *Jurnal Penelitian Fisika Dan Aplikasinya (JPFA)*, Vol. 8 No. 1, p. 33.
- Novala, G.C., Fitriani, D., Susanto, K. dan Kirana, K.H. (2016), "Magnetic Properties of Soils from Sarimukti Landfill as Proxy Indicators of Pollution (Case Study: Desa Sarimukti, Kabupaten Bandung Barat)", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 29 No. 1, p. 012015.
- Sudarningsih, Lestiana, E. and Wianto, T. (2013), "Analisa Polusi Logam Berat Sepanjang Daerah Aliran Sungai ( DAS ) Tabalong Kalimantan Selatan", *Prosiding Semirata FMIPA Universitas*

- Lampung, pp. 111–117.
- Sudarningsih, S., Bijaksana, S., Ramdani, R., Hafidz, A., Pratama, A., Widodo, W., Iskandar, I., Dahrin, D., Fajar, S.J., dan Santoso, N.A. (2017), “Variations in the Concentration of Magnetic Minerals and Heavy Metals in Suspended Sediments From Citarum River and Its Tributaries, West Java, Indonesia”, *Geosciences*, Vol. 7 No. 3, pp. 1–13.
- Tamuntuan, G., Bijaksana, S., Gaffar, E., Russell, J., Safiuddin, L.O. dan Huliselan, E. (2010), “The Magnetic Properties of Indonesian Lake Sediment: A Case Study of a Tectonic Lake in South Sulawesi and Maar Lakes in East Java”, *ITB Journal of Science*, Vol. 42 A No. 1, pp. 31–48.
- Tiwow, V.A., Rampe, M.J. dan Arsyad, M. (2018), “Kajian Suseptibilitas Magnetik Bergantung Frekuensi terhadap Pasir Besi Kabupaten Takalar”, *Sainsmat : Jurnal Ilmiah Ilmu Pengetahuan Alam*, Vol. 7 No. 2, pp. 136–146.
- Tiwow, V.A., Rampe, M.J. dan Sulistiawaty, S. (2022), “Suseptibilitas Magnetik dan Konsentrasi Logam Berat Sedimen Sungai Tallo di Makassar”, *Jurnal Ilmiah Sains*, Vol. 22 No. 1, pp. 60–66.
- Tiwow, V.A., Subaer, Sulistiawaty, Malago, J.D., Rampe, M.J. dan Lapa, M. (2021), “Magnetic Susceptibility of Surface Sediment in the Tallo Tributary of Makassar City”, *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1899 No. 1, p. 012124.
- Tiwow, V.A., Muhammad, A., Sulistiawaty, Rampe, M.J. dan 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*, Vol. 967, pp. 292–298.
- Togibasa, O., Bijaksana, S. dan Novala, G.C. (2018), “Magnetic Properties of Iron Sand From the Tor River Estuary, Sarmi, Papua”, *Geosciences (Switzerland)*, Vol. 8 No. 4, pp. 1–7.
- Ulfa, Y.S. dan Budiman, A. (2019), “Analisis Suseptibilitas Magnetik Tanah pada Lahan Perkebunan Kopi di Kabupaten Solok”, *Jurnal Fisika Unand*, Vol. 8 No. 3, pp. 219–226.
- Wahyuni, E.S. dan Afdal, A. (2018), “Identifikasi Hubungan Kandungan Logam Berat dengan Nilai Suseptibilitas Magnetik pada Tanah Lapisan Atas di Kota Sawahlunto”, *Jurnal Fisika Unand*, Vol. 7 No. 1, pp. 1–7.
- Zulaikah, S. (2015), “Prospek dan Manfaat Kajian Kemagnetan Batuan pada Perubahan Iklim dan Lingkungan”, Vol. 5 No. 1, pp. 1–6.