Analisis mineral magnetik sedimen sungai Jeneberang berdasarkan data suseptibilitas magnetik

M Reski Saputra, Vistarani Arini Tiwow*, Agus Susanto
Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar
Jalan Daeng Tata Raya, Kampus UNM Parangtambung, 90224 Makassar
**email: vistatiwow@unm.ac.id*

Abstrak – Telah dilakukan penelitian bertujuan untuk menganalisis nilai suseptibilitas magnetik sedimen Sungai Jeneberang. Sampel diperoleh di Sungai Jeneberang pada koordinat 05°17'06,5" S 119°34'49,1" E dengan mengambil sampel pada 30 titik yang berbeda. Metode yang digunakan adalah metode suseptibilitas magnetik. Hasil menunjukkan bahwa nilai suseptibilitas magnetik sedimen Sungai Jeneberang bervariasi dengan rentang $254{,}3\times10^{-8}$ m^3/kg hingga $4507{,}8\times10^{-8}$ m^3/kg. Hal ini mengindikasikan bahwa sampel mengandung mineral magnetit (Fe_3O_4) yang bersifat ferrimagnetik. Fe_3O_4 diduga bersumber dari litogenik (secara alami) hasil pelapukan batuan beku dan proses pedogenik serta juga antropogenik (aktivitas manusia) yaitu hasil pembakaran.

Kata kunci: sedimen, mineral magnetik, suseptibilitas magnetik, sungai Jeneberang.

Abstract – *Research has been carried out aimed at analyzing the magnetic susceptibility value of Jeneberang River sediments. Samples were obtained in the Jeneberang River at coordinates 05°17'06.5" S 119°34'49.1" E by taking samples at 30 different points. The method used is the magnetic susceptibility method. The results show that the magnetic susceptibility value of Jeneberang River sediment varies with a range of* 254.3×10^{-8} m^3/kg *to* 4507.8×10^{-8} m^3/kg. *These results indicate that the sediment samples contain the mineral magnetite* (Fe_3O_4) *which is ferrimagnetic.* Fe_3O_4 *is thought to originate from lithogenic (natural) weathering of igneous rocks and pedogenic processes as well as anthropogenic (human activity), namely the result of combustion.*

Key words: *sediment, magnetic mineral, magnetic susceptibility, Jeneberang river*

PENDAHULUAN

Sungai Jeneberang adalah salah satu sungai besar yang ada di Kabupaten Gowa. Sungai ini terletak pada dua wilayah administrasi kota dan kabupaten yaitu Kota Makassar dan Kabupaten Gowa. Sungai ini berasal dan mengalir dari bagian timur Gunung Bawakaraeng dan Gunung Lompobattang (Kabupaten Gowa) yang kemudian menuju hilirnya di selat Makassar (Kota Makassar). Secara geografis Daerah Pengaliran Sungai (DPS) Jeneberang terletak pada koordinat 05° 10' 00" LS - 05° 26' 00" LS dan 119° 23' 50" BT - 119° 56' 10" BT. Pada lokasi dimana daerah aliran sungai jeneberang berada, secara topografi merupakan wilayah pegunungan Malino (Gunung Lompobattang), wilayah lipatan tersier selatan Combi, dan wilayah dataran rendah aluvial selatan Makassar. Luas wilayah pengaliran sungai Jeneberang sebesar 727 km^2 dengan panjang sungai 78,75 km. Tidak dapat dipungkiri bahwa Sungai Jeneberang yang berada di daerah selatan Kota Makassar memiliki peran yang sangat besar bagi kota ini [1].

Sungai Jeneberang yang memiliki peran penting dalam pengendalian banjir Kota Makassar dan Kabupaten Gowa memerlukan perhatian khusus terutama setelah terjadinya longsor di hulu sungai ini yaitu di Gunung Bawakaraeng yang memilki volume longsoran ±200 juta kubik lumpur dan pasir. Pasir dan lumpur yang terdapat pada hulu sungai akan terbawa di sepanjang aliran sungai yang mempengaruhi sedimentasi di sepanjang sungai [1].

Permasalahan Sungai Jeneberang adalah pencemaran air sungai yang diakibatkan oleh aktivitas antropogenik. Badan Lingkungan Hidup Daerah (BLHD) Sulawesi Selatan (Sulsel) bahkan melabeli kualitas air sungai yang melintasi Kabupaten Gowa dan dua kecamatan di Makassar ini, sangat buruk. Masalah lain yang dihadapi adalah aktvitas masyarakat di sekitar sungai yang berakibat pada pencemaran sungai pertanian, limbah rumah tangga, hotel, dan tempat wisata.

Berakibat pada sungai menjadi tercemar dan membawa endapan sedimen sungai yang tercemar. Umumnya pencemaran air Sungai Jeneberang ini berasal dari erosi di pinggiran sungai yang disebabkan oleh penebangan hutan. Pencemaran juga diakibatkan oleh aktivitas pertambangan yang dilakukan di pinggiran sungai. Hal inilah yang menjadi penyebab terjadinya peningkatan sedimentasi di aliran Sungai Jeneberang.

Sedimen sungai merupakan hasil dari sebuah proses sedimentasi di lingkungan sungai yang berasal hasil pelapukan batuan dasar maupun yang berasal dari proses erosi, bahan organik, partikel atau senyawa antropogenik (limbah yang dihasilkan dari aktivitas manusia). Permasalahan yang timbul pada sedimen sungai adalah kehadiran bahan (zat) yang bersifat membahayakan lingkungan (polutan). Polutan yang berasal dari antropogenik merupakan sumber polutan yang dominan pada sedimen sungai, seperti kegiatan penggunaan lahan (perkotaan dan pedesaan) yang berada di sekitar sungai, pembuangan limbah industri, limbah rumah tangga, limbah pertambangan maupun limbah pertanian [2].

Sifat mineral magnetik pada sedimen bergantung pada batuan dan juga lingkungan pembentuknya. Sensifitas mineral magnetik terhadap lingkungan pembentuknya menjadi proxy indicator untuk mengetahui proses lingkungan pembentuknya baik yang dipengaruhi oleh proses alamiah atau litogenik maupun karena komponen antropogenik. Hal ini sangat membantu dalam menginvestigasi sumber mineral magnetik pada sedimen sungai sehingga dapat diketahui proses perubahan lingkungan yang terjadi di perairan sungai [3].

Dalam metode kemagnetan batuan salah satu parameter yang lazim dimanfaatkan untuk menginvestigasi sumber mineral magnetik pada batuan dan sedimen yaitu parameter suseptibilitas magnetik. Parameter suseptibilitas magnetik ternyata telah berhasil membuktikan bahwa terdapat sedimen Sungai Biyonga yang masuk ke Danau Limboto yang cenderung berasal dari komponen antropogenik terutama dari aktivitas pertanian dan limbah pemukiman yang terdapat di perairan Sungai Biyonga [3].

Dalam penelitian ini digunakan metode suseptibilitas magnetik yang merupakan salah satu parameter magnetik paling umum untuk mengetahui mineral magnetik dan logam berat, dan pengukurannya sangat mudah sehingga banyak digunakan dalam studi kemagnetan dalam penerapannya di berbagai bidang terutama masalah lingkungan. Suseptibilitas magnetik adalah ukuran dari kemampuan suatu bahan untuk termagnetisasi [4].

Suseptibilitas magnetik sering juga digabungkan dengan perubahan unsur kimia terutama untuk membedakan kondisi lingkungan tertentu. Suseptibilitas magnetik secara teoritis, berkorelasi positif dengan kandungan mineral feromagnetik yang akan terlihat dengan adanya unsur Fe dalam pengujian unsur sampel kimia [5]–[7]. Kandungan mineral magnetik di alam yang ditandai dengan adanya unsur kimia Fe umumnya bersifat ferrimagnetik yang dominan dengan nilai x serta dapat digunakan sebagai indikator kondisi lingkungan. Karena unsur Fe yang dapat berasosiasi dengan unsur lain untuk membentuk mineral paramagnetik sehingga keberadaan unsur Fe terukur tidak selalu bernilai positif dengan y dan jika pun bernilai positif, seringkali koefisien korelasinya sangat rendah. Hal ini karena unsur Fe dominan dalam sampel tidak selalu berkorelasi positif dengan suseptibilitas magnetik [8].

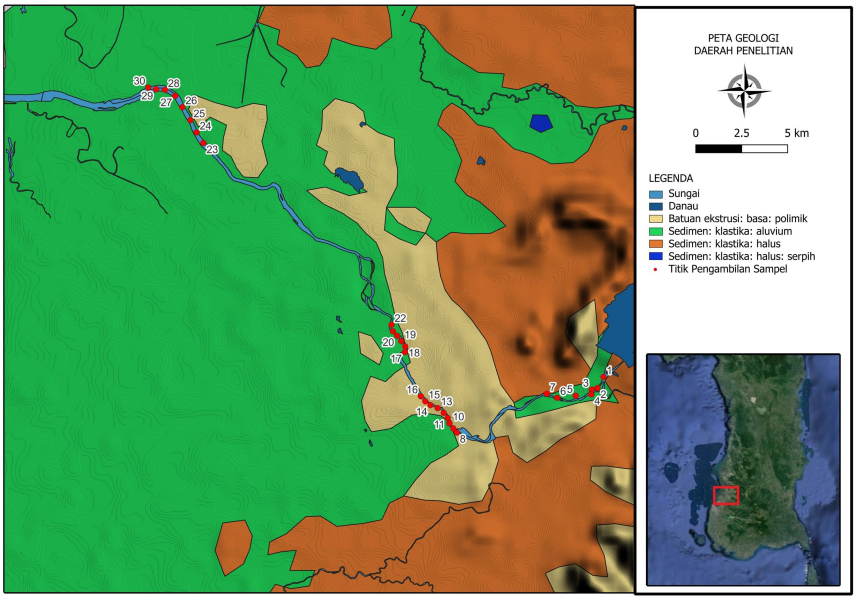
Berdasarkan penelitian sebelumnya, beberapa studi telah menunjukkan analisis mineral magnetik pada sedimen sungai. Berdasarkan hasil pengukuran suseptibilitas magnetik, sampel suspended sedimen Sungai Citarum memiliki nilai yang cenderung menurun dari hulu ke hilir, yang mana sampel di hulu memiliki nilai suseptibilitas $1005{,}8\times10^{-8}$ m^3/kg dan sampel hilir memiliki nilai suseptibilitas magnetik $319{,}6\times10^{-8}$ m^3/kg. Sementara nilai suseptibilitas anak Sungai Citarum bervariasi dari $(652{,}4\text{-}256.0)\times10^{-8}$ m^3/kg [9].

Penelitian lain mengenai suseptibilitas magnetik yaitu nilai suseptibilitas mineral magnetik (χ_{LF}) sedimen Sungai Biyonga lebih tinggi dari 10×10^{-8} m^3/kg. Ini menunjukkan bahwa semua sampel sedimen mengandung mineral magnetik yang didominasi oleh kelompok mineral ferimagnetik karena pada umumnya nilai χ_{LF} lebih tinggi dari 10×10^{-8} m^3/kg yang mengindikasi bahwa sampel dikontrol oleh mineral ferimagnetik [3].

Berdasarkan latar belakang di atas, maka perlu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk menganalisis sifat mineral magnetik sedimen Sungai Jeneberang menggunakan metode suseptibilitas magnetik. Karakterisasi mineral magnetik pada sedimen diharapkan dapat digunakan sebagai monitoring kondisi lingkungan di Sungai Jeneberang.

PROSEDUR PENELITIAN

Lokasi pengambilan sampel di Sungai Jeneberang (Gambar 1). Pengambilan sampel menggunakan sedimen grab. Sedimen grab diturunkan ke dasar Sungai Jeneberang menggunakan tali. Sampel yang diperoleh, kemudian dimasukkan ke dalam wadah plastik penyimpanan sementara (holder) yang sudah diberikan label berupa lokasi dan nomor sampel.



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel.

Sampel sedimen yang sudah diambil, diletakkan pada wadah plastik. Sampel kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari sampai sampel mengering Sampel kemudian digerus dengan pastel dan mortar hingga berukuran 100 mesh.

Sampel selanjutnya diayak menggunakan ayakan 100 mesh dan kemudian sampel ditimbang sebesar 10 g lalu sampel dikemas dan diberi label, sampel siap diuji dengan metode suseptibilitas magnetik menggunakan Bartington MS2B Susceptibility Meter.

Sampel yang telah dikemas dalam sampel holder kemudian diukur suseptibilitas magnetiknya. Suseptibilitas magnetik diukur dalam dua frekuensi, yaitu 47 Hz untuk frekuensi rendah (χ_{LF}) dan 4700 Hz untuk frekuensi tinggi (χ_{HF}) menggunakan Bartington MS2 Susceptibility Meter dengan sensor MS2B (Bartington Instrument Ltd., Oxford, United Kingdom).

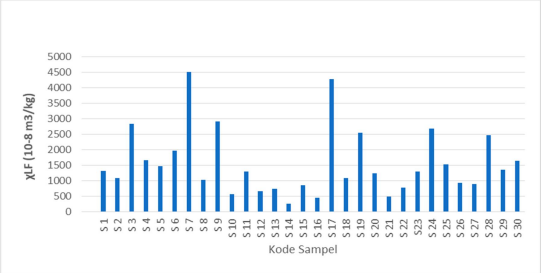
Berdasarkan data nilai suseptibilitas magnetik, maka diperoleh plot grafik hubungan antara nilai χ_{LF} dan χ_{FD}. Nilai χ_{LF} sebagai sumbu x dan nilai χ_{FD} sebagai sumbu y. Grafik ini digunakan untuk melihat bagaimana hubungan antara χ_{LF} dan χ_{FD}. Grafik antara nilai χ_{LF} dan χ_{FD} ini juga dapat digunakan untuk membedakan antara ukuran butir magnetik dan sebaran domain serta memberikan pesan awal tentang klasifikasi sifat magnetik serta sumbernya [10]–[12]. Setelah didapatkan hasil dari χ_{FD} Kemudian dicocokkan hasil pengukuran dengan nilai suseptibilitas berdasarkan [13].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran suseptibilitas magnetik menggunakan alat Bartington MS2 Susceptibility meter (Bartington Instrument Ltd., Oxford United Kingdom) dilengkapi sensor MS2B yang bekerja pada 2 frekuensi yakni 470 Hz untuk frekuansi rendah dan 4700 Hz untuk frekuensi tinggi. Tingginya nilai suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah mengindikasikan tinggi pula kandungan mineral magnetik pada sampel yang diuji. Pengukuran yang dilakukan pada dua frekuensi diterapkan pada medan magnet bolak balik, umumnya digunakan untuk mendeteksi keberadaan mineral ultrafine ferrimagnetik (superparamagnetik fraksinya kurang dari $0.03\mu m$) yang terjadi sebagai kristal dan sampai batas domain tertentu (kira-kira fraksi lebih

besar dari 0.03 sampai kurang dari 0.06 μm) pengukuran frekuensi yang lebih tinggi tidak memungkinkan butir superparamagnetik [13].

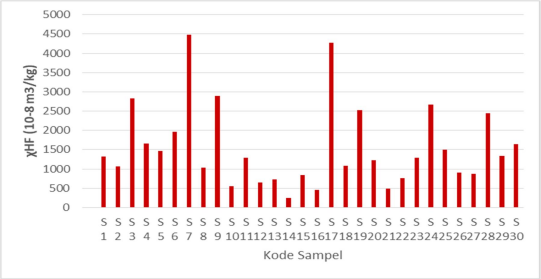
Hasil pengukuran nilai suseptibilitas magnetik sedimen Sungai Jeneberang pada frekuensi rendah dan frekuensi tinggi direpresentasikan dalam bentuk diagram batang pada Gambar 2 dan Gambar 3. Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai suseptibilitas magnetik sedimen sungai terendah berada pada sampel S14 sebesar $253{,}4\times10^{-8}$ m^3/kg dan tertinggi berada pada sampel S7 sebesar $4507{,}8\times10^{-8}$ m^3/kg. Sementara, Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai suseptibilitas magnetik sedimen sungai terendah berada pada sampel S14 sebesar $250{,}0\times10^{-8}$ m^3/kg dan tertinggi berada pada sampel S7 sebesar $4489{,}1\times10^{-8}$ m^3/kg.



Gambar 2. Nilai suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah (χ_{LF}) sampel sedimen Sungai Jeneberang

Nilai suseptibilitas magnetik yang paling rendah yaitu $253{,}4\times10^{-8}$ m^3/kg berada pada titik S14 sekitar daerah perkebunan dan suseptibilitas magnetik tertinggi yaitu $4507{,}8\times10^{-8}$ m^3/kg berada pada daerah tambang pasir besi. Nilai suseptibilitas yang rendah mengindikasikan bahwa kandungan Fe pada sampel tersebut rendah. Sedangkan nilai suseptibilitas magnetik yang tinggi mengindikasikan bahwa kandungan Fe pada sampel tersebut tinggi [11], [14]–[17]. Beberapa hal yang dapat mempengaruhi nilai suseptiblitas magnetik adalah geologi, sedimentasi, dan kandungan mineral magnetik (Kucer, 2012).

Berdasarkan hasil pengukuran suseptibilitas magnetik, mineral magnetik yang terkandung pada sedimen Sungai Jeneberang diduga termasuk mineral bersifat ferimagnetik. Hal ini nampak pada nilai suseptibilitas magnetik sedimen Sungai Jeneberang lebih dari $10\text{x}10^{-8}$ m^3/kg. Menurut [13], pada umumnya nilai χ_{LF} lebih tinggi dari $10\text{x}10^{-8}$ m^3/kg mengindikasikan bahwa sampel dikontrol oleh mineral ferimagnetik. Mineral ferimagnetik diduga Penelitian in sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh [3], nilai suseptibilitas mineral magnetik (χ_{LF}) sedimen Sungai Biyonga lebih tinggi dari $10\text{x}10^{-8}$ m^3/kg.

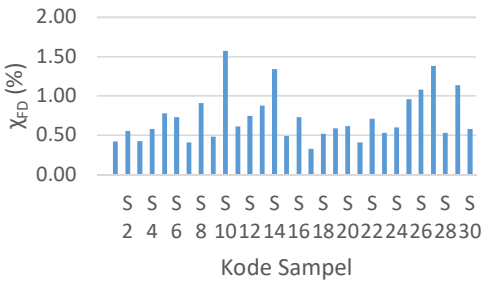


Gambar 3. Nilai suseptibilitas magnetik pada frekuensi tinggi (χ_{HF}) sampel sedimen Sungai Jeneberang

Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai χ_{FD} berada pada rentang 0,33-1,57%. Jika nilai χ_{FD} dibawah <2% maka berada pada kategori rendah (low category) χ_{FD}. Menurut [13] χ_{FD} dengan nilai persentase kurang dari 2% artinya hampir tidak ada bulir superparamagnetik (SP). Selain itu ukuran bulir magnetik sedimen Sungai Jeneberang terindikasi berukuran besar dan bertekstur kasar. Bulir superparamagnetik merupakan mineral dengan ukuran bulir yang sangat halus (lebih kecil dari ~0,03 μm) dan memiliki perilaku magnetik yang memperlihatkan perubahan terhadap waktu seperti pada sampel sedimen Sungai Citarum bagian hilir. Bulir magnetik alami (litogenik) sebagian besar merupakan bulir superparamagnetik [18]. Pada sedimen yang tercemar oleh polutan (antropogenik) sering ditemukan nilai χ_{FD} (%) rendah (1–4%), sedangkan tanah yang mengalami proses secara alami atau litogenik memiliki nilai χ_{FD} (%) yang lebih tinggi (>10%) [19].

Gambar 5 menunjukkan plot grafik antara χ_{FD} versus χ_{LF} yang mendeskripsikan mengenai tipikal sampel yang didominasi oleh variasi domain dan sumber mineral magnetik. Hasil yang diperoleh sampel sedimen Sungai Jeneberang dominan mengandung domain SSD (*Single Stable Domain*) dan MD (*Multi Domain*). Temuan domain tersebut menggambarkan bahwa mineral ferimagnetik yang terkandung pada sampel sedimen Sungai Jeneberang diduga berasal dari litogenik (secara alami) yaitu pelapukan batuan beku dan proses

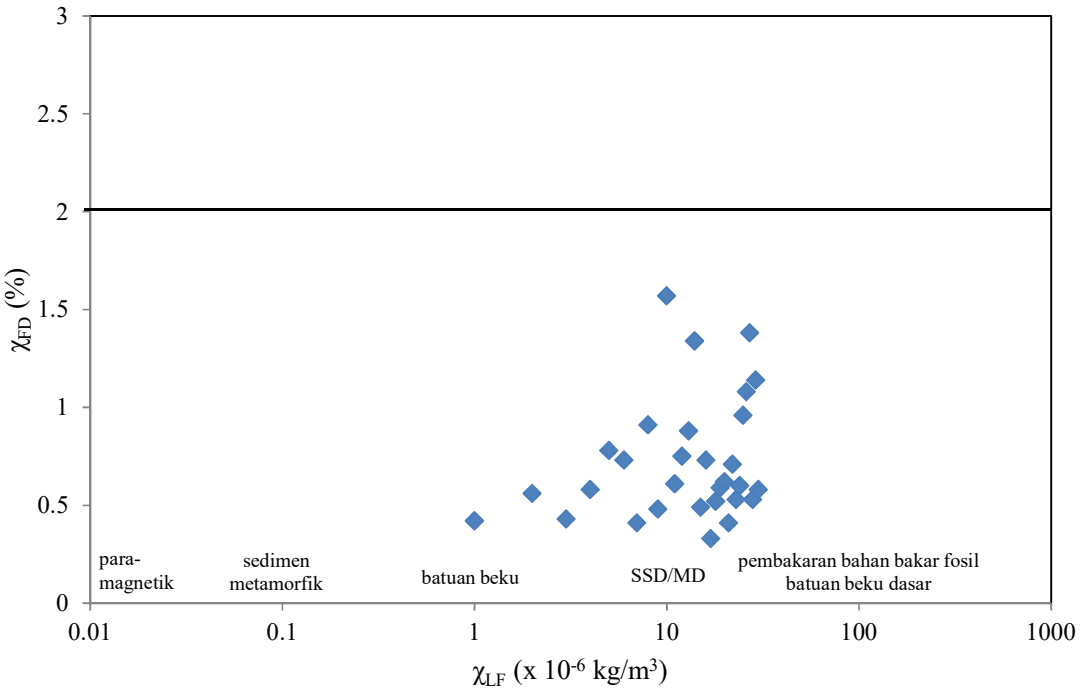
pedogenik, serta berasal dari antropogenik yaitu hasil pembakaran [13].



Gambar 4. Nilai suseptibilitas magnetik bergantung pada frekuensi (χ_{FD}) sampel sedimen Sungai Jeneberang

Sesuai dengan geologi lokasi penelitian, dimana pada titik sampel S1 sampai S7 dan titik sampel S17-S30 merupakan daerah sedimen klastika endapan alluvium,sedangkan pada titik sampel S8 sampai S16 merupakan batuan ektruksi basa polimik. Batuan sedimen klastika disebut juga dengan batuan klastika-klastika atau hancuran batuan yang mengendap secara alami maupun mekanik. batuan jenis ini kemudian terbentuk sebagai hasil pengerjaan kembali dari batuan yang sudah ada sebelumnya. Proses pengerjaan kembali yang terjadi sebagai pembentukan batuan ini sendiri meliputi erosi, transportasi, pelapukan, dan juga redeposisi atau pengendapan kembali.

Batuan alluvium adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan sedimen yang diendapkan oleh sungai. Sungai terus-menerus membawa material sedimen sepanjang alirannya, biasanya akibat erosi. Sebagian besar bahan ini diambil di daerah sungai di mana air mengalir sangat cepat dan memiliki kekuatan lebih.



Gambar 3. Sebaran χ_{LF}- χ_{FD}(%) sampel sedimen Sungai Jeneberang

Batuan basa ektruktif (batuan beku luar) atau batuan beku vulkanik batuan yang berasal dari magma dan mencapai permukaan bumi untuk kemudiam mengalami pembekuan. Pembekuan batu basa ekstruktif umumnya relatif singkat sehingga tidak memiliki cukup waktu untuk membentuk kristal-kristal mineral.

Dengan demikian, sedimen Sungai Jeneberang sepanjang daerah aliran sungai banyak mengandung sedimen klastika jenis endapan alluvial dan juga batuan ektruksi basa polimik yang bersumber dari longsoran Gunung Bawakaraeng. Sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh [20] penyebaran batuan sedimen yang berada di atas

permukaan yang merupakan longsoran dari Gunung Bawakaraeng, kemudian didominasi endapan alluvium yang tersebar di setiap lintasan pengukuran dengan menggunakan geolistrik. Pada kedalaman di baawah 15 m terdapat batuan andesit dan batu gabro.

KESIMPULAN

Nilai suseptibilitas magnetik sedimen sungai Jeneberang bervariasi dengan kisaran 250,0 $\times 10^{-8}$ m^3/kg sampai dengan 4507,8 $\times 10^{-8}$ m^3/kg. Tinggi rendahnya nilai suseptibilitas magnetik dipengaruhi oleh kadar Fe (besi) pada sampel sedimen sungai Jeneberang. Jenis mineral magnetik yang terkandung pada sampel Sungai Jeneberang diduga adalah mineral magnetit (Fe_3O_4) yang bersifat ferimagnetik. Mineral ferimagnetik diduga bersumber dari litogenik (aktivitas alami) seperti pelapukan batuan beku dan proses pedogenik, serta antropogenik (aktivitas manusia) seperti hasil pembakaran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Kepala Balai Besar Wilayah Sungai Jeneberang yang telah memberikan ijin kepada kami untuk melakukan penelitian. Ucapan terima kasih juga kepada Sitti Hasaniyah dan Rindah Putri Aslami yang telah membantu dalam pengambilan sampel.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. A. Cenne, "Studi Karakteristik Sedimen dan Morfologi Dasar di Muara Sungai Jeneberang," Skripsi, Universitas Hasanuddin, 2016.

[2] C. Perry dan K. Taylor, "Environmental sedimentology," *Geogr. J.*, vol. 174, no. 2, p. 190, 2008, doi: 10.1111/j.1475-4959.2008.283_10.x.

[3] R. Yunginger, I. Supu, S. Zulaikah, A. Wijaya, A. I. W. S. Ramadani, dan M. Mariyanto, "Investigasi sumber mineral magnetik pada sedimen Sungai Biyonga sebagai inlet Danau Limboto menggunakan parameter suseptibilitas magnetik," *Positron,* vol. 12, no. 1, p. 18, 2022, doi: 10.26418/positron.v12i1.50470.

[4] F. Brempong, Q. Mariam, dan K. Preko, "The use of magnetic susceptibility measurements to determine pollution of agricultural soils in road proximity," *African J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 10, no. 9, pp. 263–271, 2016, doi: 10.5897/ajest2015.2058.

[5] M. Mariyanto et al., "Heavy metal contents and magnetic properties of surface sediments in volcanic and tropical environment from Brantas river, Jawa Timur province, Indonesia," *Sci. Total Environ.*, vol. 675, pp. 632–641, 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.244.

[6] I. Szczepaniak-Wnuk, B. Górka-Kostrubiec, S. Dytłow, P. Szwarczewski, P. Kwapuliński, dan J. Karasiński, "Assessment of heavy metal pollution in Vistula River (Poland) sediments by using magnetic methods," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 27, pp. 24129–24144, 2020, doi: 10.1007/s11356-020-08608-4.

[7] S. Sudarningsih et al., "Magnetic susceptibility and heavy metal contents in sediments of Riam Kiwa, Riam Kanan and Martapura rivers, Kalimantan Selatan province, Indonesia," *Heliyon*, vol. 9, no. 6, p. e16425, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e16425.

[8] B. H. Iswanto dan S. Zulaikah, "Selection Method to Identify the Dominant Elements that Contribute to Magnetic Susceptibility in Sediment," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1402, no. 1, p. 044087, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1402/4/044087.

[9] Sudarningsih et al., "Magnetic characterization of sand and boulder samples from Citarum river and their origin," J. *Math. Fundam. Sci.*, vol. 49, no. 2, pp. 116–126, 2017, doi: 10.5614/j.math.fund.sci.2017.49.2.2.

[10] V. A. Tiwow dan M. J. Rampe, "Studi suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi pada sedimen sungai Kota Makassar," *J. Fis. Unand*, vol. 11, no. 4, pp. 474–481, 2022, doi: 10.25077/jfu.11.4.474-481.2022.

[11] A. Boroallo, V. A. Tiwow, dan S. Sulistiawaty, "Studi mineral magnetik tanah TPA Antang Makassar berdasarkan data suseptibilitas magnetik," *ORBITA J. Kajian, Inov. dan Apl. Pendidik. Fis.*, vol. 9, no 1, pp. 16–22, 2023, doi: 10.31764/orbita.v9i1.11663.

[12] M. Mulyana, V. A. Tiwow, dan S. Sulistiawaty, "Analisis suseptibilitas magnetik tanah TPA Antang Makassar berdasarkan kedalaman," *ORBITA J. Kajian, Inov. dan Apl. Pendidik. Fis.*, vol. 8, no 2 pp 234–240, 2022, doi: 10.31764/orbita.v8i2.11252.

[13] J. A. Dearing, Environmental Magnetic Susceptibility: Using the Bartington MS2 System. British Library Cataloguing in Publication Data, 1999.

[14] V. A. Tiwow, M. J. Rampe, dan M. Arsyad, "Kajian suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi terhadap pasir besi Kabupaten Takalar," *Sainsmat*, vol. 7, no. 2, pp. 136–146, 2018, doi: 10.35580/sainsmat7273662018.

[15] V. A. Tiwow, M. J. Rampe, dan S. Sulistiawaty, "Suseptibilitas magnetik dan konsentrasi logam berat sedimen Sungai Tallo di Makassar," *J. Ilm. Sains*, vol. 22, no. 1, pp. 60–66, 2022, doi: 10.35799/jis.v22i1.38681.

[16] M. Arsyad, V. A. Tiwow, M. J. Rampe, dan H. L. Rampe, "Relationships of magnetic properties and heavy metals content of guano in Bat cave, South Sulawesi, Indonesia," *Karbala Int. J. Mod. Sci.*, vol. 8, no. 3, pp. 406–414, 2022, doi: 10.33640/2405-609X.3254.

[17] I. A. Sandi, M. F. A. Fauzan, Fitriani, M. J. Rampe, dan V. A. Tiwow, "A review of the magnetic susceptibility of guano deposits in caves," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1899, no. 1, p. 012125, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1899/1/012125.

[18] J. S. Solomon, A. L. Ahmed, I. H. Adamu, dan O. O. Dimu, "Identifying anthropogenic metallic pollutants using frequency dependent magnetic susceptibility," *Curr. Trends Nat. Sci.*, vol. 6, no. 11, pp. 13–22, 2017.

[19] S. Bijaksana dan E. K. Huliselan, "Magnetic properties and heavy metal content of sanitary leachate sludge in two landfill sites near Bandung, Indonesia," *Environ. Earth Sci*., vol. 60, no. 2, pp. 409–419, 2010, doi: 10.1007/s12665-009-0184-4.

[20] A. M. Massinai, Lantu, Virman, dan S. Akbar, "Aplikasi metoda geolistrik untuk identifikasi sesar bawah permukaan di wilayah DAS Jeneberang Sulawesi Selatan," in Prosiding Seminar Nasional Sains dan Pendidikan Sains VIII, 2013, vol. 4, no. 1, pp. 305–310.