

STUDI MINERAL MAGNETIK TANAH TPA ANTANG MAKASSAR BERDASARKAN DATA SUSEPTIBILITAS MAGNETIK

Anastacya Haplin Boroallo¹⁾, Vistarani Arini Tiwow¹⁾, Sulistiawaty¹⁾

¹⁾Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Makassar, Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia

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

Diterima 21 November 2022, Direvisi 11 Maret 2023, Disetujui 16 Maret 2023

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian untuk mengetahui nilai suseptibilitas magnetik pada tanah di TPA Antang Makassar berdasarkan sebaran. Suseptibilitas magnetik diukur menggunakan *bartington MS2 Magnetic susceptibility meter* dengan *sensor MS2B* yang bekerja pada dua frekuensi. Pengukuran suseptibilitas magnetik dilakukan dengan mengambil sampel pada 30 titik dengan jarak yang tidak ditentukan atau secara random. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai suseptibilitas magnetik di TPA Antang Makassar bervariasi dengan rentang $1,442 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$ hingga $33,523 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$ dan suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi berada pada rentangan 2,32% hingga 6,51% rentangan nilai suseptibilitas magnetik tersebut mengindikasikan sampel mengandung mineral magnetik yang bersifat antiferomagnetik dan paramagnetik. Dimana domain magnetik pada sampel tanah TPA yaitu superparamagnetik (SP) dan stable single domain (SSD).

Kata kunci: tanah; suseptibilitas magnetik; mineral magnetik; TPA.

ABSTRACT

Research has been carried out to determine the value of magnetic susceptibility on soil at TPA Antang Makassar based on distribution. Magnetic susceptibility was measured using a *bartington MS2 Magnetic susceptibility meter* with an *MS2B sensor* that works on two frequencies. Magnetic susceptibility measurements were carried out by taking samples at 30 points with an undetermined distance or randomly. The results showed that the magnetic susceptibility values in Antang TPA Makassar varied with the range of $1.442 \text{ m}^3/\text{kg}$ to $33.523 \text{ m}^3/\text{kg}$ and the frequency-dependent magnetic susceptibility was in the range of 2.32% to 6.51%. The range of magnetic susceptibility values indicated that the sample contained magnetic minerals, which are antiferromagnetic and paramagnetic. The magnetic domains in the soil samples are superparamagnetic (SP) and stable single domain (SSD).

Keywords: soil; magnetic susceptibility; magnetic minerals; landfill

PENDAHULUAN

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) adalah tempat untuk membuang sampah dan bahan limbah. TPA ini dirancang untuk meminimalkan dampak sampah terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. TPA Antang Makassar yang merupakan satu-satunya TPA yang berlokasi di Kelurahan Bangkala, Kecamatan Manggala, Kota Makassar. TPA ini sangat dekat dengan daerah pemukiman sehingga sering timbul keluhan penduduk setempat terkait bau tak sedap yang berasal dari TPA.

Logam berat merupakan jenis polutan berbahaya yang dapat mencemari lingkungan, baik udara, air, maupun tanah. Sumber pencemaran dapat berasal dari proses alami (litogenik) dan kegiatan manusia (antropogenik). Ada beberapa pendekatan

yang dapat dilakukan dalam mengkaji tanah, salah satunya menggunakan metode kemagnetan batuan. Metode tersebut memahami sifat magnetik dari berbagai mineral magnetik dalam sedimen, batuan, serta tanah. Sifat magnetik sering digunakan sebagai indikator perkembangan tanah, terutama untuk identifikasi oksida besi tanah dan sifatnya. Magnetisme juga dapat menjelaskan indikator pencemaran tanah dan perubahan iklim. Dimana perkembangan metode kemagnetan batuan salah satunya adalah memahami sifat magnetik pada lingkungan sekitar aktivitas manusia (Daryanti dkk., 2018).

Penelitian terkait dengan pencemaran telah banyak dilakukan, diantaranya penelitian yang dilakukan oleh Yoshida, *et al* (2003) terhadap kompos tanah pertanian yang

berasal dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) di Mornag, Tunisia, dimana ditunjukkan bahwa mineral ferrimagnetik yang berperan dalam pencemaran tanah adalah *magnetite* (Fe_3O_4) dan *maghemite* ($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$). Kapicka, *et al* (2003) juga berhasil mengidentifikasi pencemaran yang diakibatkan oleh aktivitas industri di Taman Nasional Republik Ceko. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa mineral magnetik yang dikandung polutan pada 160 sampel tanah adalah *magnetite*. Sementara itu, penelitian menganalisis logam berat di tanah TPA Gunung Tugel Banyumas yang dilakukan Akbar dkk.(2020) menunjukkan keberadaan cadmium (Cd) dengan konsentrasi tinggi pada TPA.

TPA yang ada di Kota Makassar Sulawesi Selatan belum dapat dikatakan memenuhi kriteria sebagai tempat pembuangan sampah yang aman. Ini disebabkan adanya permasalahan yang sering dihadapi oleh pemerintah daerah yaitu pengelolaan sampah. Dalam pengelolaan sampah padat terdapat aspek penting yaitu lindi. Lindi merupakan cairan yang merembes melalui tumpukan sampah dengan membawa zat yang mengandung materi yang terlarut atau tersuspensi (Kirana *et al.*, 2011; Apriyani & Lesmana, 2018).

Lindi terbentuk dalam timbunan sampah yang mengandung banyak senyawa dan kadar pencemar yang tinggi khususnya zat organik dan akan mengisi rongga-rongga pada sampah. Jika kapasitasnya melampaui kapasitas tekanan air sampah, maka air lindi akan keluar dan mengekstraksi bahan organik dan anorganik hasil proses fisika, kimia, dan biologis yang terjadi pada tumpukan sampah (Pinem dkk., 2014). Sementara, sampah padat diproses sebagai sanitasi padat.

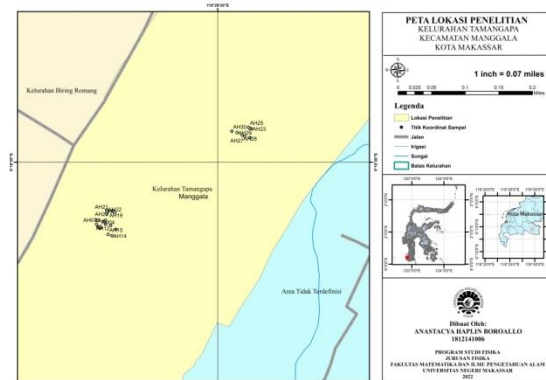
Peningkatan magnetik lapisan sedimen tanah dikarenakan masuknya partikel magnetik. Untuk penilaian pencemaran tanah, salah satu parameter yang digunakan dalam studi kemagnetan yaitu suseptibilitas magnetik yang bergantung frekuensi (χ_{FD}). Suseptibilitas magnetik dapat dilakukan pengukuran dengan mudah, murah, cepat dan tanpa merusak material (Bijaksana *et al.*, 2013; Tiwow *et al.*, 2021; Arsyad *et al.*, 2022). Nilai suseptibilitas magnetik dapat digunakan untuk menentukan sifat mineral magnetik (Hakim *et al.*, 2014; Ramdani & Budiman, 2015). Suseptibilitas magnetik juga dapat digunakan untuk menentukan indikasi kandungan mineral magnetik di alam dengan adanya unsur Fe serta dapat digunakan sebagai indikator kondisi pada lingkungan (Iswanto & Zulaikah, 2019).

Berdasarkan penjelasan tersebut, maka perlu dilakukan penelitian pada tanah di sekitar TPA Antang, dengan metode suseptibilitas untuk mengetahui nilai dan sifat magnetik tanah.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Sampel tanah yang akan diteliti berasal dari tanah yang ada di sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Tamangapa Antang, Kelurahan Bangkala, Kecamatan Manggala, Kota Makassar, Sulawesi Selatan (Gambar 1). Penelitian tersebut dilaksanakan selama kurunwaktu 2 bulan dan pengujian tersebut dilakukan di Laboratorium Geofisika Fakultas Ilmu teknologi dan Kebumihan Universitas HaluOleo, Kendari, Provinsi Sulawesi Tenggara. Adapun data koordinat pada lokasi tempat pengambilan sampel ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 1. Lokasi tempat penelitian (sumber: Arcgis, 2022)

Pengambilan dan Preparasi Sampel

Pada tahap pengambilan sampel tanah di TPA, sampel diambil secara random di 30 titik di atas permukaan tanah pada 3 zona dengan menggunakan alat Hand Bor, sampel dimasukkan pada plastik penyimpanan sampel sementara. Kemudian sampel dikeringkan selama kurang lebih satu minggu, untuk menghilangkan kadar air pada sampel. Sampel yang telah kering kemudian digerus hingga halus lalu selanjutnya diayak menggunakan ayakan 100 mesh dan kemudian sampel ditimbang sebesar 20 gram untuk tiap sampel yang berjumlah 30 sampel dan siap diuji.

Pengukuran Suseptibilitas Magnetik

Pengukuran suseptibilitas magnetik yaitu sampel tanah yang telah di preparasi dimasukkan kedalam kapsul lalu dikemas dalam sampel holder plastik dengan ukuran 2,2 cm dan diameter 2,54cm. Sampel yang telah dikemas tersebut kemudian diukur nilai suseptibilitas magnetiknya menggunakan

Bartington MS2 Susceptibility Meter dengan sensor MS2B (Bartington Instrumen Ltd., Oxford, United Kingdom).

Tabel 1. Titik Koordinat Daerah Penelitian

Kode sampel	Titik koordinat	
	Latitude	Longitude
AH1	5°10'34.5"	119°29'20.6"
AH2	5°10'34.5"	119°29'20.8"
AH3	5°10'34.6"	119°29'21.1"
AH4	5°10'35.0"	119°29'20.9"
AH5	5°10'35.0"	119°29'20.7"
AH6	5°10'35.0"	119°29'20.9"
AH7	5°10'34.5"	119°29'20.7"
AH8	5°10'35.1"	119°29'20.9"
AH9	5°10'34.8"	119°29'21.3"
AH10	5°10'34.9"	119°29'21.7"
AH11	5°10'34.5"	119°29'21.3"
AH12	5°10'34.8"	119°29'20.6"
AH13	5°10'35.2"	119°29'22.1"
AH14	5°10'35.7"	119°29'21.8"
AH15	5°10'35.6"	119°29'21.5"
AH16	5°10'33.8"	119°29'21.8"
AH17	5°10'33.8"	119°29'21.9"
AH18	5°10'33.9"	119°29'22.0"
AH19	5°10'33.8"	119°29'21.5"
AH20	5°10'33.7"	119°29'21.4"
AH21	5°10'33.8"	119°29'21.4"
AH22	5°10'34.0"	119°29'21.4"
AH23	5°10'27.4"	119°29'32.6"
AH24	5°10'27.4"	119°29'32.5"
AH25	5°10'27.3"	119°29'32.4"
AH26	5°10'28.1"	119°29'32.5"
AH27	5°10'28.0"	119°29'32.1"
AH28	5°10'27.9"	119°29'31.9"
AH29	5°10'27.7"	119°29'31.5"
AH30	5°10'27.6"	119°29'31.1"

Suseptibilitas magnetik diukur dalam dua frekuensi, yaitu 470 Hz untuk frekuensi rendah (χ_{LF}) dan 4700 Hz untuk frekuensi tinggi (χ_{HF}). Rasio pengukuran pada kedua frekuensi diekspresikan sebagai *frequency-dependent susceptibility* (χ_{FD}) (Dearing, 1996) yang dituliskan sebagai:

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

HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun hasil penelitian yang telah dilakukan disekitar tempat pemrosesan akhir (TPA) Antang Makassar dengan pengujian yang dilakukan menggunakan dua metode yaitu metode suseptibilitas magnetik.

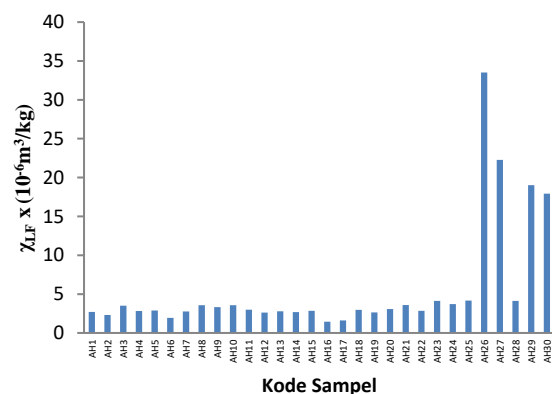
Nilai Suseptibilitas Magnetik Tanah di TPA

Pengukuran suseptibilitas magnetik menunjukkan tingginya nilai suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah mengindikasikan tinggi pula kandungan

mineral magnetik pada sampel tanah di TPA. Nilai suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah lebih tinggi dibandingkan dengan suseptibilitas magnetik pada frekuensi tinggi. 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 μ m) yang terjadi sebagai kristal dan sampai batas domain tertentu (kira-kira fraksi lebih besar dari 0,03 sampai kurang dari 0,06 μ m) pengukuran frekuensi yang lebih tinggi tidak memungkinkan butir superparamagnetik (Dearing, 1999).

Nilai hasil pengukuran suseptibilitas magnetik tanah dapat dilihat pada Tabel 2. Sampel tanah di TPA Antang memiliki nilai suseptibilitas magnetik dengan rentang 2,097 $\times 10^{-6}$ m³/kg sampai dengan 33,523 $\times 10^{-6}$ m³/kg. Setelah nilai hasil pengukuran dicocokkan dengan nilai suseptibilitas magnetik berdasarkan Dearing (1999) dapat diinterpretasikan bahwa sampel mengandung mineral magnetik yang bersifat antiferomagnetik dan paramagnetik.

Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai suseptibilitas magnetik tanah di TPA Antang bervariasi dan tidak konstan yang direpresentasikan dalam bentuk diagram batang dimana terlihat bahwa pada sampel di titik AH26 memiliki nilai suseptibilitas magnetik yang cukup tinggi seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Nilai Suseptibilitas Magnetik pada Frekuensi Rendah (χ_{LF}) Sampel Tanah di Sekitar TPA Antang

Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai suseptibilitas magnetik tanah sekitar TPA Antang Makassar tertinggi pada sampel AH26 sebesar 33,523 $\times 10^{-6}$ m³/kg sedangkan nilai suseptibilitas terendah terdapat pada sampel AH16 dengan nilai 1,442 $\times 10^{-6}$ m³/kg. Hal ini mengindikasikan bahwa nilai suseptibilitas

magnetik tanah di TPA Antang Makassar bervariasi.

Tabel 2. Nilai Suseptibilitas Magnetik Sampel Tanah di TPA

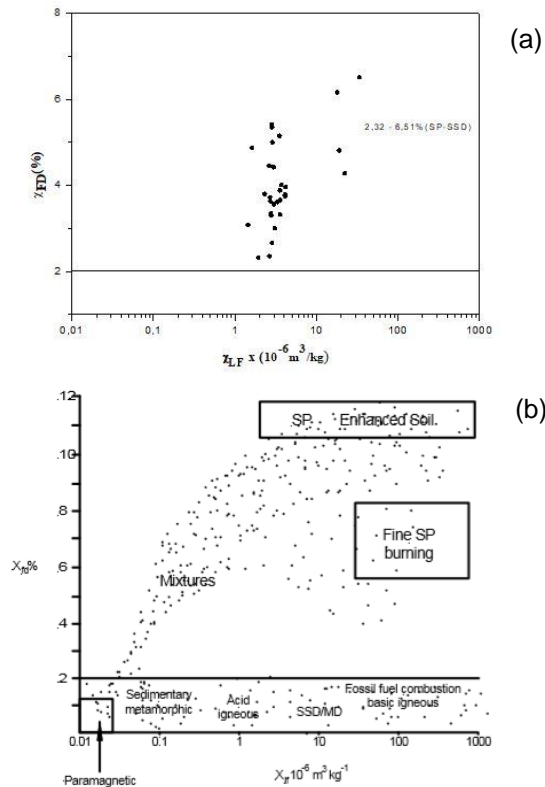
Kode Sampel	Nilai suseptibilitas magnetik		
	χ_{LF} ($\times 10^{-6}$ m ³ /kg)	χ_{HF} ($\times 10^{-6}$ m ³ /kg)	χ_{FD} (%)
AH1	2,707	2,609	3,63
AH2	2,318	2,230	3,80
AH3	3,514	3,333	5,15
AH4	2,828	2,675	5,42
AH5	2,883	2,739	5,00
AH6	1,935	1,890	2,32
AH7	2,772	2,679	3,35
AH8	3,561	3,423	3,88
AH9	3,326	3,206	3,61
AH10	3,561	3,443	3,32
AH11	3,0	2,893	3,56
AH12	2,630	2,513	4,45
AH13	2,793	2,701	3,30
AH14	2,697	2,597	3,72
AH15	2,847	2,771	2,66
AH16	1,442	1,398	3,08
AH17	1,618	1,539	4,87
AH18	2,966	2,835	4,42
AH19	2,652	2,590	2,35
AH20	3,070	2,978	3,00
AH21	3,586	2,455	3,66
AH22	2,846	2,694	5,35
AH23	4,117	3,963	3,75
AH24	3,709	3,560	4,01
AH25	4,174	4,008	3,96
AH26	33,523	31,340	6,51
AH27	22,262	21,308	4,28
AH28	4,133	3,976	3,79
AH29	19,016	18,102	4,81
AH30	17,930	16,826	6,16

Gambar 3a menunjukkan hubungan χ_{FD} dengan χ_{LF} sampel tanah TPA Antang. Grafik ini menggambarkan sebaran domain dan sumber mineral magnetik. Nilai χ_{FD} pada rentang 2,32-6,51% menunjukkan bahwa domain pada sampel adalah superparamagnetik (SP) dan *stable single domain* (SSD). Jika dibandingkan dengan Gambar 3b maka dapat diinterpretasi bahwa sumber mineral magnetik sampel tanah TPA berasal dari pedogenesis, *bacterial magnetosome*, pembakaran, dan *biogenic* (Dearing, 1999). Kandungan mineral magnetik pada tanah TPA Antang diindikasikan berasal dari proses pedogenik dan antropogenik.

Menurut Prakoso dkk.(2016) mengatakan bahwa pedogenik adalah sumber mineral magnetik alami yang dimiliki sampel tersebut sedangkan antropogenik merupakan sumber mineral magnetik yang berasal dari aktivitas dan kegiatan manusia, salah satunya polutan. Hal ini disebabkan oleh *pedogenesis*, *bacterial magnetosome*, *biogenic*, dan

pembakaran. Adapun proses pedogenesis merupakan proses pembentukan tanah secara alami dimana struktur geologi wilayah TPA Antang tersusun oleh formasi camba dan endapan aluvium. Dimana formasi camba terbentuk atas sedimen laut berselingan, sedangkan endapan aluvium terbentuk atas kerikil, pasir, lempung, dan lumpur.

Bacterial magnetosome, *biogenic* merupakan proses yang terjadi akibat adanya reaksi-reaksi kimia pada tumpukan sampah pada TPA yang kemudian berpengaruh pada kandungan mineral pada tanah tersebut. Kandungan mineral pada tanah TPA Antang, juga dipengaruhi oleh karena adanya proses pembakaran sampah oleh petugas-petugas di TPA Antang dimana hal tersebut sesuai dengan pengamatan langsung dilapangan.



Gambar 3. Perbandingan skema distribusi sampel yang berkaitan dengan kandungan bulir magnetik dan sumber mineral (a) Sampel Tanah TPA Antang Makassar dan (b) Dearing (1999)

Sampel tanah dari 3 lokasi di TPA Antang Makassar diambil sebanyak 30 titik di atas permukaan tanah memiliki nilai suseptibilitas magnetik berkisar $1,442 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$ sampai dengan $33,523 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$. Nilai suseptibilitas magnetik tanah yang paling rendah yaitu $1,442 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$ berada pada titik AH16 yang mengindikasikan bahwa nilai suseptibilitas magnetik pada sampel tersebut cukup rendah. Hal ini disebabkan oleh sampel yang diambil pada zona pertama dimana lokasi tersebut merupakan lokasi penimbunan sampah baru diduga memiliki konsentrasi Fe rendah sehingga mineral magnetik yang terkandung juga rendah. Sedangkan nilai suseptibilitas magnetik tertinggi yaitu $33,523 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$ berada pada titik AH26 mengindikasikan bahwa konsentrasi Fe pada titik tersebut cukup tinggi. Hal ini disebabkan oleh sampel yang diambil pada zona ketiga menurut pengamatan lapangan lokasi tersebut merupakan lokasi penimbunan sampah lama sehingga suseptibilitas magnetiknya cukup tinggi. Menurut Kirana, *et. al* (2014) tingginya nilai suseptibilitas magnetik mengindikasikan adanya akumulasi mineral magnetik dengan konsentrasi atau jumlah yang cukup tinggi.

Berdasarkan hasil penelitian terlihat bahwa nilai disetiap titik pengambilan sampel memiliki nilai yang berbeda-beda. Hal ini dikarenakan, sumber pencemarnya juga berbeda, di zona pertama, diduga berasal dari limbah rumah tangga, yang belum sepenuhnya mengalami pembusukan. Begitupun pada zona kedua merupakan penimbunan sampah yang agak lama dibanding yang zona pertama. Sementara, zona ketiga merupakan penimbunan sampah yang lama, dan sumber pencemarnya diduga cukup banyak mengandung besi dan hasil pembakaran sehingga memiliki nilai suseptibilitas magnetik cukup tinggi dibandingkan zona pertama dan kedua.

Penelitian ini memiliki kesesuaian dengan penelitian yang dilakukan oleh Tiyurma & Budiman (2020). Nilai suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah (χ_{LF}) berkisar antara $120,2 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ dan $458,5 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ dengan rata-rata $209,86 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. Nilai suseptibilitas magnetik terhadap χ_{FD} (%) menunjukkan bahwa hampir keseluruhan sampel memiliki nilai χ_{FD} (%) di atas 2,00 %. Hal ini menunjukkan bahwa lokasi penelitian memiliki kandungan bulir superparamagnetik. Sama halnya penelitian yang dilakukan oleh Tiwow dkk (2022) menunjukkan bahwa nilai suseptibilitas magnetik sedimen berkisar 47,7 sampai $968,7 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. Nilai suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi berkisar 0,49-4,19%. Hasil menunjukkan domain mineral magnetik pada sampel yaitu MD, SP, dan SSD dimana mineral magnetik berasal dari pedogenik dan antropogenik.

SIMPULAN DAN SARAN

Nilai suseptibilitas magnetik tanah di sekitar TPA Antang bervariasi dengan rentang $2,097 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$ hingga $33,523 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$, dan nilai suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi pada rentang 2,51% hingga 6,51%. Rentangan nilai suseptibilitas magnetik tersebut mengindikasikan sampel mengandung mineral magnetik yang bersifat antiferomagnetik dan paramagnetik. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan mengambil penelitian di lokasi yang sama serta dengan pengujian yang lebih banyak agar diperoleh data yang lebih spesifik dalam menentukan nilai dan sifat magnetik tanah, sehingga dapat dibandingkan dengan hasil peneliti sebelumnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Dinas Lingkungan Hidup Kota Makassar dalam memberikan izin penelitian di TPA Antang Makassar. Terima kasih kepada Muh Andry, Imam Ashari, Syahrul Ramadan,

Muhammad Braziliun, Juliati, Herlina Bunga', Mulyana, Nur Azizah, Dian Mukarramah, Nur Rahmi, Novika Asti dan 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 pengujian dan pengolahan data suseptibilitas magnetik.

DAFTAR RUJUKAN

- Akbar, F., Rahmawati, S., Wacano, D., Studi, P., Lingkungan, T., & Indonesia, U. I. (2016). Analisis Kandungan Logam Berat Di Dalam Tanah Tpa Gunung Tugel Banyumas. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 10(1), 3
- Apriyani, N., & Lesmana, R. Y., (2018). Pengaruh Air Lindi Terhadap pH dan Zat Organik pada Air Tanah di Tempat Penampungan Sementara Kelurahan Pahandut Kota Palangkaraya. *J Manusia & Lingkungan*, 25(2), 60–65. <https://doi.org/10.22146/jml.39489>
- 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>
- Bijaksana, S., Huliselan, E., Safiuddin, L. O., Fitriani, D., Tamuntuan, G., & Agustine, E. (2013). Rock Magnetic Methods in Soil and Environmental Studies: Fundamentals and Case Studies. *Procedia Earth and Planetary Science*, 6, 8–13. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2013.01.001>
- Darlan, Y. (2012). Gas Biogenik Dan Unsur Mineral Pada Sedimen Delta Kapuas Kalimantan Barat Biogenic Gas And Elements Of Mineral On Sediment Of The Kapuas Delta West Kalimantan. *Jurnal Geologi Kelautan*, 10(3), 133–146
- Daryanti, N. Y., Zulaikah, S., & Mufti, N. (2020). Suseptibilitas Magnetik dan Kelimpahan Mineral Magnetik pada Tanah Sawah di Lawang dan Soekarno-Hatta, Malang. *Journal of Physical Science and Engineering*, 3(2), 48–54. <https://doi.org/10.17977/um024v3i22018p048>
- Dearing, J. A., Dann, R. J. L., Hay, K., Lees, J. A., Loveland, P. J., Maher, B. A., & O'Grady, K. (1996). FrequencyDependent Susceptibility Measurements of Environmental Materials. *Geophysical Journal International*, 124(1), 228–240. <https://doi.org/10.1111/j.1365246X.1996.tb06366.x>
- Dearing, J., & Dearing, J. A. (1999). *Environmental Magnetic Susceptibility Using the Bartington MS2 System*
- Hakim, A. R., Susilo, A., & Maryanto, S. (2014). Indikasi Penyebaran Kontaminan Sampah Bawah Permukaan dengan Menggunakan Metode Magnetik (Studi Kasus: TPA Supit Urang, Malang). *Natural B*, 2(3), 281–289. <https://doi.org/10.21776/ub.naturalb.2014.002.03.13>
- 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(4), 044087. <https://doi.org/10.1088/17426596/1402/4/044087>
- Kapicka, A., Jordanova, N., Petrovsky, E., & Podrazsky, V. (2003). Magnetic Study of Weakly Contaminated Forest Soils. Magnetic susceptibility variation of MSW compost- amended soils : In situ method for monitoring heavy metal contamination. *Water Air and Soil Pollution*, 155–160. <https://doi.org/10.1023/A:1025429928763>
- Kirana, K., Aufa, N., Huliselan, E., & Bijaksana, S. (2011). Magnetic and Electrical Properties of Leachate. *ITB Journal of Science*, 43 A(3), 165–178. <https://doi.org/10.5614/itbj.sci.2011.43.3.2>
- 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
- Pinem, J. A., Ginting, M. S., & Peratenta, M. (2014). Pengolahan Air Lindi TPA Muara Fajar dengan Ultrafiltrasi. *Jurnal Teknobiologi*, V(1), 43–46
- Prakoso, A. G., Darmasetiawan, R., Pratiwi, R. A., Widjatmoko, B., Kirana, K. H., & Fitriani, D. (2016). Sifat Magnetik Tanah Dan Daun Sebagai Indikator Pencemaran. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*, V. <https://doi.org/10.21009/0305020601>
- Ramdani, B., & Budiman, A. (2015). Penentuan Nilai Suseptibilitas Magnetik

- Guano yang Berasal dari Gua Baba Kecamatan Lubuk Kilangan Kota Padang. *Jurnal Fisika Unand*, 4(1), 97–102.
<https://doi.org/10.25077/jfu.4.1.%25p.2015>
- 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/10.1088/17426596/1899/1/012124>
- 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>
- Tiyurma, A., & Budiman, A. (2020). Analisis Nilai Suseptibilitas Magnetik Tanah Permukaan Daerah Potensi Longsor di Bukit Gado-Gado Padang. *Jurnal Fisika Unand*, 9(2), 209–216. <https://doi.org/10.25077/jfu.9.2.209-216.2020>
- Yoshida, M., Jedidi, N., Hamdi, H., Ayari, F., Hassen, A., & M'Hiri, A. (2003). Magnetic susceptibility variation of MSW compost-amended soils: In-situ method for monitoring heavy metal contamination. *Waste Management and Research*, 21(2), 155–160. <https://doi.org/10.1177/0734242X0302100209>