

ANALISIS XRD DAN SUSEPTIBILITAS MAGNETIK UNTUK IDENTIFIKASI KARAKTERISTIK ENDAPAN LUMPUR PADA WILAYAH TIMUR LAUT GUNUNG LUMPUR X

Akbar Dwi Kurniawan¹, Amien Widodo¹, dan Mariyanto¹

¹Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

e-mail : akbar2kurniawan@gmail.com

Abstrak. Identifikasi karakteristik endapan lumpur menjadi penting dalam pemahaman proses pembentukan dan pemanfaatannya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara data geokimia dan suseptibilitas magnetik dalam mengidentifikasi karakteristik endapan lumpur pada gunung lumpur X. Analisis geokimia menggunakan metode *X-ray diffraction* (XRD) untuk memperoleh kandungan mineral penyusun endapan lumpur. Sementara itu, analisis suseptibilitas magnetik dilakukan dengan menggunakan Bartington MS2B *Susceptibility Meter*, yang memberikan informasi mengenai sifat magnetik endapan lumpur. Hasil XRD mengungkapkan bahwa endapan lumpur hasil erupsi sebagian terdiri dari kuarsa, albit, kalsit, siderit, pirit, dan kelompok mineral lempung seperti kaolinit, montmorillonit, dan illit. Secara keseluruhan mineral yang terdeteksi mengindikasikan lingkungan pengendapan vulkaniklastik di lingkungan laut. Karakterisasi endapan lumpur berdasarkan hasil nilai suseptibilitas magnetik (χ_{LF}) adalah $(0,27 - 0,41) \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$ yang menunjukkan kandungan campuran *Superparamagnetic* (SP) dan butiran non-SP yang lebih kasar, atau butiran SP $<0,005\mu\text{m}$.

Kata Kunci: Gunung Lumpur; Suseptibilitas Magnetik; XRD.

Abstract. Identification of the characteristics of mud deposits is important in understanding the process of their formation and utilization. This study aims to analyze the relationship between geochemical data and magnetic susceptibility in identifying the characteristics of mud deposits in mud volcano X. Geochemical analysis was carried out using the XRD method to obtain the mineral content making up the mud deposits. Meanwhile, magnetic susceptibility analysis was carried out using the Bartington MS2B Susceptibility meter, which provides information on the magnetic properties of the mud deposits. XRD results revealed that the mud deposits resulting from the eruption consisted mostly of quartz and albite. Other clay minerals such as kaolinite, montmorillonite and illite were also detected in the samples. In addition there are other minerals such as calcite, siderite, and pyrite. Overall the detected minerals indicate a volcaniclastic depositional environment in the marine environment. The characterization of the mud deposits based on the results of the χ_{LF} magnetic susceptibility value is $(0.27 - 0.41) \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$ which indicates a mixture of Superparamagnetic (SP) and coarser non-SP grains, or granular SP $<0.005\mu\text{m}$.

Keywords: Mud Volcano; Magnetic Susceptibility; XRD

PENDAHULUAN

ISTILAH 'sistem gunung lumpur' sering digunakan untuk menggambarkan kumpulan struktur yang terkait dengan gunung lumpur dan kompleks penghubung gunung berapi ke satuan stratigrafi sumbernya (Stewart dan Davies 2005). Sistem didorong oleh tekanan dan sumber fluida yang letaknya berdekatan dengan sumber lumpur. Diatas sumber lumpur terdapat jalur fluida yang terdiri dari struktur rekahan yang kompleks dan tanggul berisi lumpur yang materialnya bercampur cairan sedimen ke permukaan bumi. Campuran cairan-sedimen kemudian meletus membentuk gunung

lumpur (Planke et al., 2003). Keberadaan gunung lumpur seringkali diasosiasikan dengan keberadaan minyak dan gas bumi, struktur patahan dan potensi bencana (Widodo et al., 2023). Dari segi geologi, pemahaman mengenai karakteristik endapan lumpur dapat dijadikan dasar untuk mengetahui dari formasi apa endapan lumpur tersebut berasal. Penggunaan metode difraksi sinar-X (XRD) dalam menentukan mineralogi sampel endapan gunung lumpur dibuktikan dengan hasil fasa mineral sampel dari penelitian yang telah dilakukan oleh (Agustawijaya et al., 2017). Dalam beberapa penelitian, penggunaan metode analisis geokimia

dinilai efektif dan dapat menentukan karakter mineral yang terdapat pada sampel gunung lumpur (Cangemi et al., 2010). Sedangkan penggunaan parameter suseptibilitas magnetik diperlukan dalam menentukan karakteristik mineralogi sampel karena sifat magnetik yang ada pada sampel bergantung pada kandungan mineral magnetik dan lingkungan pembentukan mineral tersebut. Penelitian yang dilakukan oleh [Sasmita et al. (2020) dan Yunginger et al. (2022)] berhasil mengidentifikasi mineralogi magnetik pada sampel sedimen sungai dan danau dengan menggunakan nilai suseptibilitas magnetik. Fokus penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi mineral penyusun endapan gunung lumpur X dan mengetahui sifat magnetiknya.

METODOLOGI

Secara umum, tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

1. Pengambilan dan Preparasi Sampel

Sampel endapan lumpur dilakukan di area gunung lumpur X menggunakan bor gambut pada kedalaman 0 - 5 meter. Proses preparasi sampel dibedakan untuk pengukuran suseptibilitas magnetik dan pengukuran XRD. Pada pengujian suseptibilitas magnetik, sampel lumpur terlebih dahulu dikeringkan untuk menghilangkan kadar air pada sampel lalu dimasukkan kedalam holder plastik berbentuk silinder dengan ukuran tinggi 2,2 cm dan diameter 2,54 cm dan dilanjutkan dengan mengukur massa sampel lumpur (Mulyana et al., 2022). Untuk pengujian XRD sampel lumpur terlebih dahulu melalui tahap pengeringan dalam oven bersih dengan suhu sekitar 110° C hingga benar-benar kering. Setelah itu dilanjutkan dengan tahap homogenisasi pada sampel dengan cara digerus menggunakan *ball mill* sehingga menghasilkan

sampel yang lolos ayakan 200 mesh. Hasil gerusan yang telah berupa bubuk homogen diambil sebanyak 0,1 gr yang siap untuk selanjutnya dilakukan uji XRD (Irzon dan Permanadewi, 2010).

2. Pengujian Suseptibilitas Magnetik dan XRD

Pengukuran Suseptibilitas magnetik dilakukan menggunakan alat Bartington MS2B *Susceptibility meter* (Bartington Instrument Ltd., Oxford, UK). Nilai suseptibilitas magnetik diukur dengan menggunakan dua frekuensi, yaitu frekuensi rendah (470 Hz) dan frekuensi tinggi (4,7 kHz) sehingga diperoleh nilai suseptibilitas frekuensi rendah χ_{LF} dan frekuensi tinggi χ_{HF} . Dari kedua nilai tersebut di hitung perubahan nilainya sehingga diperoleh nilai frequency dependent susceptibility $\chi_{FD}(\%)$ menggunakan persamaan $\chi_{FD}(\%) = [(\chi_{LF} - \chi_{HF}) / \chi_{HF}] \times 100\%$. Klasifikasi nilai χ_{FD} menurut Dearing et al. (1999) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1

Interpretasi Nilai *frequency dependent susceptibility* (Dearing et al., 1999)

No	Nilai χ_{FD} (%)	Klasifikasi	Keterangan
1	< 2,0	Rendah	Hampir tidak ada atau mengandung sekitar < 10% butiran superparamagnetik (SP)
2	2,0 – 10,0	Sedang	Mengandung campuran SP dan butiran non-SP yang lebih kasar, atau butiran SP <0,005 μ m
3	10,0 – 14,0	Tinggi	Keseluruhan atau mengandung lebih dari 75% butir SP
4	> 14,0	Sangat tinggi	Jarang ditemukan, kesalahan pengukuran, bersifat anistropi, sampel terkontaminasi

Klasifikasi nilai *frequency dependent susceptibility* χ_{FD} (%) digunakan untuk mendeteksi keterdapatannya mineral bersifat ferrimagnetik atau superparamagnetik ultrahalus (<0,03 mm) dan domain magnetik beserta sumber mineral magnetiknya. Butiran superparamagnetik mengindikasikan material dengan magnetisasi tinggi ketika diberi medan magnet eksternal, namun ketika tidak ada pengaruh medan magnet eksternal nilai magnetisasinya nol. Nilai χ_{FD} yang relatif tinggi

menunjukkan konsentrasi butiran SP dalam tanah, dan jika kurang dari 4%, maka termasuk MD (*multi-domain*) dan PSD (*pseudo-single domain*) atau didominasi butiran SSD (Ranganai et al., 2015). Sampel yang mengandung mineral ultrahalus akan menunjukkan nilai yang sedikit lebih rendah bila diukur pada frekuensi tinggi (Dearing et al., 1999). Sedangkan pengukuran χ_{FD} dilakukan dengan alat *Automated Multipurpose XRD- SmartLab* (Rigaku, Jepang) dengan tujuan untuk menginterpretasi presentase mineral penyusun sampel.

3. Pengolahan Data

Setelah nilai suseptibilitas magnetik (χ_{FD}), presentase mineral penyusun pada sampel diketahui, selanjutnya untuk pengolahan data sebagian besar diolah menggunakan software *Ms. Excel* untuk proses visualisasi data. Data suseptibilitas dibuat dalam bentuk tabel dan divisualisasikan dalam bentuk peta kontur persebaran nilai suseptibilitas dengan variasi kedalaman pengambilan sampel endapan lumpur. Kemudian, untuk data XRD dilakukan analisis fasa mineral dimana akan dilakukan proses pencocokan puncak-puncak difraksi dengan database mineral, sehingga dapat diketahui data fasa mineral penyusunnya yang selanjutnya akan ditabelkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisis XRD

Metode pengujian difraksi sinar-X (XRD) dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan fasa mineral dari sampel lumpur. Sampel yang digunakan dalam pengujian XRD diambil pada kedalaman 0 sampai 1 meter atau dapat dianggap sebagai sampel permukaan. Fasa mineral diperoleh dengan cara mencocokkan *peak* dari data hasil pengukuran dengan *database* mineral yang ada. Fasa mineral yang terdeteksi pada ketujuh sampel permukaan diklasifikasikan pada masing-masing kelompok mineralnya dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Hasil XRD mengungkapkan bahwa endapan lumpur hasil erupsi sebagian besar terdiri dari kuarsa, dan albit. Mineral lempung lain seperti kaolinit, montmorillonit dan illit juga terdeteksi pada sampel. Selain itu terdapat mineral lain seperti

kalsit, siderit, dan pirit. Mineral yang mendominasi adalah mineral kuarsa dikarenakan mineral tersebut merupakan mineral yang terdapat pada urutan paling akhir pada deret reaksi Bowen, dimana hal tersebut mengindikasikan bahwa kuarsa sebagai mineral yang paling stabil secara termal dan umum ditemukan di berbagai jenis batuan dan berbagai lingkungan geologi. Sedangkan mineral albit dalam deret reaksi Bowen merupakan mineral yang termasuk kelompok feldspar plagioklas yang kaya akan kandungan natrium (Na). Albite termasuk kedalam rangkaian reaksi kontinu paling akhir dan terbentuk pada lingkungan sedimentasi.

Tabel 2
Fasa dan Presentase Mineral pada Sampel Permukaan Endapan Gunung Lumpur X

Fasa Mineral		Presentase Mineral (%)
		2-3 m
Kuarsa	Quartz	24
Lempung	Illite	19,3
	Kaolinite	17,4
	Montmorillonite	5,5
Magnetik	Pyrite	4,9
Feldspar	Albite	23,1
Karbonat	Calcite	3,5
	Siderite	2,3

Fasa mineral dengan presentase tertinggi selanjutnya adalah mineral illit, kaolinit, dan montmorillonit yang termasuk kelompok mineral lempung. mineral lempung dapat terbentuk melalui 2 skenario, yaitu melalui proses transformasi dan neoformasi. Transformasi adalah perubahan mineral lempung yang sudah ada menjadi mineral lempung yang berbeda akibat suhu, tekanan, dan kondisi kimia pada lingkungan. Sedangkan neoformasi merujuk pada proses pembentukan mineral lempung yang baru terjadi, proses tersebut terjadi ketika senyawa atau larutan yang mengandung unsur-unsur yang diperlukan untuk membentuk mineral lempung bereaksi secara kimia dan membentuk kristal baru. Ketiga mineral tersebut dapat terbentuk melalui proses transformasi sedangkan untuk proses neoformasi hanya dapat terjadi pada mineral kaolinit dan montmorillonit saja.

Mineral sisanya yang termasuk kelompok mineral sulfida dan karbonat terbentuk melalui proses presipitasi kimia yang menandakan lingkungan pengendapan laut. Secara keseluruhan mineral yang terdeteksi mengindikasikan lingkungan vulkaniklastik di lingkungan laut.

2. Analisis Suseptibilitas Magnetik

Sampel dengan 5 variasi kedalaman pada rentang 0 hingga 5 meter dari permukaan diukur nilai suseptibilitasnya pada 2 frekuensi yaitu frekuensi rendah (470 Hz) dan frekuensi tinggi (4,7 kHz) yang kemudian dihitung sehingga menghasilkan nilai χ_{FD} , nilai rata-rata suseptibilitas magnetik yang terukur tersebut disajikan pada Tabel 3.

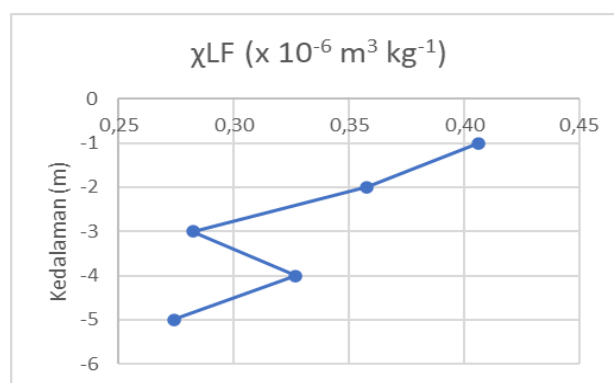
Tabel 3
Nilai Suseptibilitas

Kedalaman (m)	Nilai Pada kedalaman		
	$\chi_{LF} (x 10^{-6} m^3 kg^{-1})$	$\chi_{HF} (x 10^{-6} m^3 kg^{-1})$	$\chi_{FD} (\%)$
1	0,41	0,39	2,95
2	0,36	0,35	3,24
3	0,28	0,27	3,63
4	0,33	0,30	8,26
5	0,27	0,26	6,56

Nilai suseptibilitas magnetik frekuensi rendah bervariasi pada rentang $0,27 \times 10^{-6} m^3/kg$ hingga $0,41 \times 10^{-6} m^3/kg$, untuk suseptibilitas magnetik frekuensi tinggi memiliki rentang nilai $0,26 \times 10^{-6} m^3/kg$ hingga $0,39 \times 10^{-6} m^3/kg$. Dari hasil tersebut tampak bahwa nilai χ_{LF} memiliki nilai lebih besar daripada χ_{HF} , hal itu disebabkan karena pada frekuensi tinggi, butir superparamagnetik tidak sempat terukur sehingga nilai suseptibilitasnya lebih rendah.

Untuk nilai suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi (χ_{FD}) memiliki rentang nilai dari 2,95% hingga 8,26%, sehingga hasil tersebut mengindikasikan bahwa sampel memiliki nilai χ_{FD} 2-10 % (sedang). Nilai χ_{FD} sedang berarti mengandung campuran SP dan butiran non-SP yang lebih kasar, atau butiran SP $<0,005\mu m$. Hasil nilai χ_{LF} diplot pada masing-masing kedalaman dan disajikan pada Gambar 2.

Gambar 2 menunjukkan secara keseluruhan nilai suseptibilitas magnetik menghasilkan tren cenderung menurun seiring bertambahnya kedalaman. Adanya pola penurunan tersebut dipengaruhi oleh kandungan didominasi oleh domain SP berubah menjadi didominasi oleh domain SD yang lebih kecil, hal tersebut didukung oleh nilai χ_{FD} yang terdeteksi bernilai sedang. Besarnya nilai suseptibilitas magnetik lebih dikontrol oleh mineral yang mengandung unsur magnetik yang dominan seperti Fe. domain magnetik berhubungan dengan ukuran bulir magnetik, variasi pada nilai χ_{LF} bisa jadi dipengaruhi



Gambar 2. Grafik suseptibilitas χ_{LF} terhadap kedalaman

oleh skala mikrostruktural yakni fasa mineral magnetik pada sampel endapan lumpur.

PENUTUP

Simpulan dan Saran

Karakterisasi endapan lumpur berdasarkan hasil pengukuran suseptibilitas magnetik dan mineralogi pada adalah: Nilai suseptibilitas magnetik χ_{LF} adalah $(0,27 - 0,41) \times 10^{-6} m^3/kg$ yang menunjukkan kandungan campuran SP dan butiran non-SP yang lebih kasar, atau butiran SP $<0,005\mu m$. Secara keseluruhan hasil mineral yang terdeteksi mengindikasikan lingkungan pengendapan vulkaniklastik di lingkungan laut. Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan dilakukannya pengujian XRF untuk identifikasi senyawa yang terkandung pada sampel sebagai validasi hasil pengujian XRD dan suseptibilitas magnetik. Diperlukan juga pengukuran parameter magnetik yang lainnya, seperti ARM dan hysteresis agar persebaran domain magnetik dan hubungannya

dengan *grain size* beserta mineraloginya diketahui. Dapat juga ditambah uji pengukuran SEM dengan perbesaran yang lebih mikro agar pola mineral magnetiknya diketahui.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustawijaya, D. S., Karyadi, K., Krisnayanti, B. D., dan Sutanto, S. (2017). Rare earth element contents of the LUSI Mud: An attempt to identify the environmental origin of the hot mudflow in East Java – Indonesia. *Open Geosciences*, 9(1). <https://doi.org/10.1515/geo-2017-0052>
- Cangemi, M., Di Leonardo, R., Bellanca, A., Cundy, A., Neri, R., dan Angelone, M. (2010). Geochemistry and mineralogy of sediments and authigenic carbonates from the Malta Plateau, strait of sicily (Central Mediterranean): Relationships with mud/fluid release from a mud volcano system. *Chemical Geology*, 276(3-4), 294–308. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2010.06.014>
- Dearing, J. (1999) Environmental magnetic susceptibility: Using the bartington MS2 system. Chi Publishing, Kenilworth.
- Irzon, R. dan Permanadewi, S., 2010. Elements Study of Igneous and Altered Rocks in Kulonprogo and Its Surrounding Using ICP-MS. Proceeding PITIAGI, Lombok: 1-10
- Mulyana, M., Tiwow, V. A., dan Sulistiawaty, S. (2022). Analisis suseptibilitas Magnetik Tanah TPA antang Makassar Berdasarkan kedalaman. *ORBITA: Jurnal Kajian, Inovasi Dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, 8(2), 234. <https://doi.org/10.31764/orbita.v8i2.11252>
- Planke, S., Svensen, H., Hovland, M., Banks, D. A., dan Jamtveit, B. (2003). Mud and fluid migration in active mud volcanoes in Azerbaijan. *Geo-Marine Letters*, 23(3-4), 258–268. <https://doi.org/10.1007/s00367-003-0152-z>
- Ranganai, R. T., Moidaki, M., dan G. King, J. (2015). Magnetic susceptibility of soils from eastern Botswana: A reconnaissance survey and potential applications. *Journal of Geography and Geology*, 7(4), 45. <https://doi.org/10.5539/jgg.v7n4p45>
- Sasmita, Amelia (2019) *Analisis Suseptibilitas Magnetik Abu Vulkanik Pada Lahan Gambut Danau Diatas Kabupaten Solok Menggunakan Metoda Kemagnetan Batuan*. Skripsi thesis, Universitas Negeri Padang
- Stewart, Simon dan Davies, Richard. (2006). Structure and emplacement of mud volcano systems in the South Caspian Basin. *Aapg Bulletin - AAPG BULL.* 90. 771-786. 10.1306/11220505045.
- Widodo, A., Rochman, J. P., Hilyah, A., dan Novian, D. P. (2023). Asesmen Sumberdaya Warisan geologi semburan Lumpur di Kecamatan Sedati, Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Geosaintek*, 9(1), 37. <https://doi.org/10.12962/j25023659.v9i1.16656>
- Yunginger, R., Supu, I., Zulaikah, S., Wijaya, A., Ramadani, A. I., dan Mariyanto, M. (2022). Investigasi Sumber mineral Magnetik Pada sedimen Sungai
-