

SUSEPTIBILITAS MAGNETIK TANAH SEBAGAI INDIKATOR TANAH LONGSOR DI DAERAH MALAMPAH KABUPATEN PASAMAN

Rahmatul Fitriah, Afdal*

Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Andalas
Kampus Unand, Limau Manis, Padang 25163

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 14 Januari 2024
Direvisi: 11 Februari 2024
Diterima: 04 September 2024

Kata kunci:

Longsor
Suseptibilitas magnetik
Bulir Superparamagnetik
Malampah kabupaten pasaman

Keywords:

Landslides
Magnetic Suseptibility
Superparamagnetic Grains
Malampah of Pasaman Regency

Penulis Korespondensi:

Afdal
Email: afdal@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan pengukuran suseptibilitas magnetik tanah sebagai indikator longsor di daerah Malampah Kabupaten Pasaman menggunakan metode kemagnetan batuan. Sampel diambil dari dua daerah yang telah terjadi longsor dan dua daerah yang belum terjadi longsor. Sampel diambil pada bagian atas, tengah, dan bawah dengan variasi kedalaman 5 cm, 25 cm, dan 50 cm. Pengukuran nilai suseptibilitas magnetik tanah dilakukan menggunakan alat *Bartington Susceptibility Meter* MS2B. Hasil penelitian menunjukkan nilai suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah (χ_{LF}) di setiap titik pengambilan sampel memiliki nilai yang lebih tinggi daripada nilai suseptibilitas magnetik frekuensi tinggi (χ_{HF}). Hal tersebut menandakan lokasi penelitian mengandung bulir superparamagnetik. Dari rentang nilai χ_{LF} yang diperoleh diperkirakan bahwa mineral magnetik yang mengontrol sampel bersifat paramagnetik dan ferromagnetik dan jenis mineralnya ilminit (FeTiO_3). Daerah yang telah terjadi longsor memiliki nilai χ_{FD} (%) yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah yang belum terjadi longsor, semakin tinggi nilai χ_{FD} (%) maka akan semakin banyak bulir superparamagnetik pada sampel. Bulir superparamagnetik bersifat halus dan mudah menyerap air, penambahan massa tanah akibat air menyebabkan tanah mudah bergerak saat berada pada lereng.

Soil magnetic susceptibility values have been measured in the Malampah area of Pasaman Regency using the rock magnetism method. Samples were taken from two areas where landslides had occurred and two areas where landslides had not occurred. Samples were taken at the top, middle, and bottom with 5cm, 25cm, and 50cm depth variations. Measurement of soil magnetic susceptibility value was conducted using Bartington Susceptibility Meter MS2B. The results showed that the magnetic susceptibility value at low frequency (χ_{LF}) at each sampling point is higher than the high-frequency magnetic susceptibility value (χ_{HF}). Indicating that the research location contains superparamagnetic grains. From the range of χ_{LF} values obtained, it is estimated that the magnetic minerals that control the samples are paramagnetic and ferromagnetic and the mineral type is estimated to be ilminite (FeTiO_3). Areas where landslides have occurred have a higher χ_{FD} (%) value than areas where landslides have not occurred. The higher the χ_{FD} (%) value, the more superparamagnetic grains will be in the sample. Superparamagnetic grains are smooth and easily absorb water. Adding soil mass due to water causes the soil to move quickly when on a slope.

Copyright © 2024 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Sumatera Barat adalah daerah perbukitan dengan rata-rata curah hujan yang tinggi mencapai 5.332,3 mm. Hujan sering kali menjadi pemicu terjadinya longsor. Hujan dapat meningkatkan kadar air dalam tanah sehingga kondisi fisik lereng menjadi tidak stabil dan memperlemah faktor keamanan lereng (Zakaria, 2009). Longsor dapat menyebabkan banyak kerugian seperti hancurnya bangunan hingga kematian. Dampak yang ditimbulkan tanah longsor dapat diminimalisir jika peristiwa tanah longsor dapat diprediksi sedini mungkin dengan melakukan penyelidikan terhadap perkursor atau tanda awal dari tanah longsor tersebut. Indikator yang dapat dijadikan sebagai perkursor longsor yaitu kapasitas air pada tanah, guguran mineral tanah, munculnya mata air baru (Jamil dan Togubu, 2016). Indikator utama penyebab longsor adalah curah hujan yang tinggi. Air hujan dapat meningkatkan kadar air dalam tanah sehingga berat tanah meningkat dan menyebabkan kondisi fisik tanah pada lereng menjadi tidak stabil (Vulkanologi dan Geologi, 2015).

Potensi longsor dapat diduga dengan metode geofisika dan magnetik. Metode geofisika yang paling sering digunakan dalam penyelidikan potensi longsor adalah metode geolistrik tanahan jenis (Dona dan Sudiar, 2015). Metode ini dapat memperkirakan kedalaman dan letak bidang gelincir pada daerah yang berpotensi longsor. Pengukuran akan lebih sulit dilakukan dan akurasinya akan menurun apabila metode geolistrik digunakan pada tanah yang lembab atau berair. Kondisi tanah di daerah Malampah Kabupaten Pasaman mengandung banyak air dan sebagian besarnya berada dalam kondisi lembab hingga berair. Selain metode ini, metode kemagnetan batuan juga bisa digunakan untuk mengetahui potensi longsor. Metode kemagnetan batuan lebih efisien dibandingkan metode geolistrik tanahan jenis karena tidak membutuhkan waktu yang lama dan tenaga yang banyak dalam pengambilan data lapangan. Potensi longsor dapat diketahui melalui bulir superparamagnetik yang terdapat pada permukaan tanah. Keberadaan bulir superparamagnetik dapat diketahui dari nilai suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi (χ_{FD} (%)) (Dearing, 1999). Semakin tinggi nilai χ_{FD} (%) maka tanah akan semakin banyak mengandung bulir superparamagnetik. Tanah yang mengandung bulir superparamagnetik berukuran halus dan mudah menyerap air. Penambahan massa tanah karena air mengakibatkan tanah mudah mengalami longsor di daerah lereng yang terjal (Pratiwi dkk., 2016).

Beberapa penelitian untuk memprediksi tanah longsor telah dilakukan. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa daerah yang telah mengalami longsor memiliki nilai χ_{FD} (%) yang lebih tinggi dari pada daerah yang belum mengalami longsor seperti Pratiwi dkk. (2016), Dhani dkk. (2021), dan Felita dkk. (2022). Malampah terletak di Kabupaten Pasaman Sumatera Barat, saat ini Malampah juga digunakan sebagai jalan lintas yang menghubungkan daerah Pasaman dan Pasaman Barat serta menghubungkan daerah Pasaman dan Agam. Malampah merupakan salah satu dari 12 daerah yang rawan longsor di Kabupaten Pasaman Sumatera Barat. Daerah Malampah memiliki topografi perbukitan dengan kemiringan lereng lebih dari 45°. Lahan-lahan di daerah Malampah pada bagian atas berupa hutan, perladangan, kebun campuran serta beberapa pemukiman. Daerah Malampah dan sekitarnya termasuk dalam zona gerakan tanah menengah. Hal tersebut bersama dengan curah hujan yang tinggi menyebabkan daerah Malampah rawan longsor. Di samping itu, sejauh ini belum pernah dilakukan penelitian tentang potensi longsor pada daerah tersebut.

II. METODE

Pengambilan sampel dilakukan di empat daerah (lereng), dua pada daerah yang diduga telah terjadi longsor yaitu Lereng 1 (L1) dan Lereng 3 (L3) serta dua daerah lagi pada daerah yang belum terjadi longsor yaitu Lereng 2 (L2) dan Lereng 4 (L4) yang dapat dilihat pada Gambar 1. Sampel diambil pada bagian atas (X), tengah (Y) dan bawah (Z) lereng dengan variasi kedalaman 5 cm, 25 cm dan 50 cm sehingga terdapat 36 sampel. Sampel tanah diambil sebanyak 100 gr lalu dimasukkan ke dalam plastik *ziplock* yang diberi tanda sesuai kode sampel. Sampel yang telah diambil dikeringkan pada suhu ruang selama 5 hari. Pengeringan sampel dilakukan agar uap air yang terkandung pada sampel tanah berkurang. Sampel yang sudah dikeringkan kemudian digerus dan diayak menggunakan saringan 100 mesh. Sampel kemudian dimasukan ke dalam *sample holder* sebanyak 10 gr.



Gambar 1 Lokasi pengambilan sampel

Pengukuran nilai suseptibilitas magnetik tanah dilakukan di Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika Universitas Andalas. Pengukuran dilakukan dalam 15 arah pengukuran dengan dua frekuensi yaitu frekuensi rendah (χ_{LF}) (0,47 kHz) dan frekuensi tinggi (χ_{HF}) (4,7 kHz), menggunakan alat Bartington Magnetic Suseptibility Meter MS2 sensor MS2B. Data yang diperoleh dalam 15 arah lalu diolah dengan program Matlab R2013a sehingga diperoleh *eigenvalue* dari tiap sampel. Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi ($\chi_{FD}(\%)$) menggunakan persamaan:

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

III. HASIL DAN PEMBAHSAN

3.1 Pendugaan Mineral Pengontrol Nilai Suseptibilitas Magnetik Sampel

Nilai suseptibilitas magnetik frekuensi rendah (χ_{LF}), nilai suseptibilitas magnetik frekuensi tinggi (χ_{HF}), dan nilai suseptibilitas bergantung frekuensi ($\chi_{FD}(\%)$) sampel pada Lereng 1, Lereng 2, Lereng 3, dan Lereng 4 ditampilkan pada Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4.

Tabel 1 Nilai suseptibilitas magnetik Lereng 1

No	Kode Sampel	χ_{LF} ($\times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$)	χ_{HF} ($\times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$)	$\chi_{FD} (\%)$
1	L1X5	571	560,8	1,80
2	L1X25	369,1	361	2,18
3	L1X50	391,8	383,3	2,18
4	L1Y5	571,4	555,4	2,80
5	L1Y25	461,5	449,3	2,66
6	L1Y50	343,9	336,1	2,27
7	L1Z5	422,3	414,9	1,76
8	L1Z25	564	548	2,83
9	L1Z50	375,7	367,7	2,12
	Maksimum	571,4	560,8	2,83
	Minimum	343,9	336,1	1,76
	Rata-rata	452,3	441,8	2,29
	Rentang	343,9-571,4	336,1-560,8	1,76-2,8

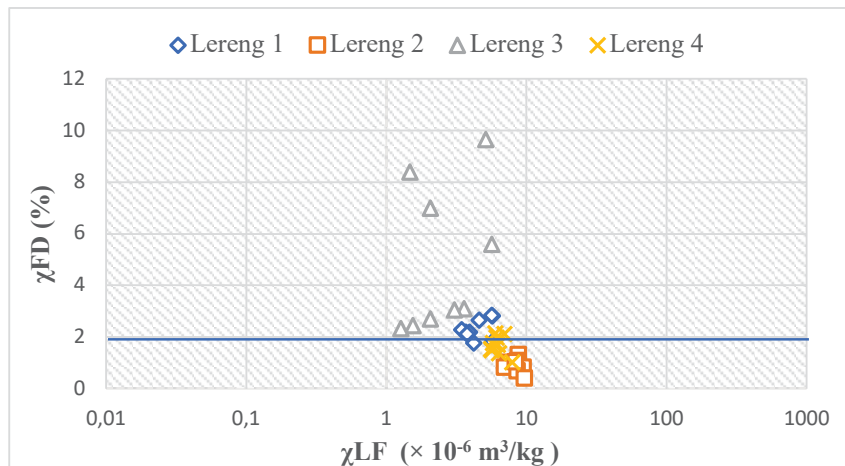
Tabel 2 Nilai suseptibilitas magnetik Lereng 2

No	Kode Sampel	χ_{LF} ($\times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$)	χ_{HF} ($\times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$)	χ_{FD} (%)
1	L2X5	878,9	867,7	1,28
2	L2X25	862,2	854,5	0,89
3	L2X50	743,7	736,2	1
4	L2Y5	876,2	866,8	1,07
5	L2Y25	959,2	951,5	0,8
6	L2Y50	704	698,4	0,79
7	L2Z5	862,6	856,9	0,66
8	L2Z25	843,8	835,2	1,02
9	L2Z50	970,1	966,4	0,38
Maksimum		970,1	966,4	1,28
Minimum		704	698,4	0,38
Rata-rata		855,6	848,2	0,88
Rentang		704-970	698-966	0,38-1,28

Nilai suseptibilitas magnetik sampel pada Lereng 1 memiliki rata-rata $452,3 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$, pada Lereng 2 memiliki rata-rata $855,6 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$, pada Lereng 3 memiliki rata-rata $287,3 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$ dan pada Lereng 4 memiliki rata-rata $628,8 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$. Berdasarkan nilai suseptibilitas magnetik yang didapatkan di daerah penelitian dapat diketahui bahwa mineral yang mengontrol sampel tersebut adalah ilminite (Hunt dkk., 1995). Ilminite memiliki nilai suseptibilitas magnetik berkisar antara $46 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$ sampai dengan $80.000 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$. Mineral magnetik yang terkandung untuk keseluruhan sampel pada masing-masing titik bersifat paramagnetik dan ferimagnetik dengan jenis mineral magnetiknya ilminit (FeTiO_3) (Tarling dan Hrouda, 1993). Ilminit mengandung besi yang membuat tanah menjadi lebih padat dan kurang permeabel terhadap air (Istiqomah dkk., 2019). Curah hujan yang tinggi pada tanah yang kurang permeabel dapat meningkat beban air di lereng. Beban air yang tinggi dan tanah yang tidak mampu menyalurkan air dengan baik dapat meningkatkan resiko terjadinya longsor.

3.2 Hubungan χ_{FD} (%) Dengan Domain Magnetik

Sebaran domain magnetik yang terkandung dalam sampel dapat dilihat dari *scattergram* yang terdapat pada Gambar 2. Dari *scattergram* dapat dilihat bahwa pada Lereng 2 dan 4 sampel memiliki χ_{FD} (%) yang kecil dari 2% yang berarti sampel pada lereng tersebut memiliki domain magnetik sebagian besar terdiri dari *single domain* (SD) atau *multi domain* (MD) serta tidak ada atau mengandung kurang dari 10% bulir superparamagnetik. Lereng 1 dan 3 memiliki χ_{FD} (%) besar dari 2% sehingga dapat diperkirakan pada lereng tersebut sampel memiliki domain magnetik sebagian besar terdiri dari bulir superparamagnetik (SP) dengan keberadaan bulir superparamagnetik berkisar antara 10 sampai 75% yang merupakan campuran antara bulir superparamagnetik yang berukuran halus dan kasar.



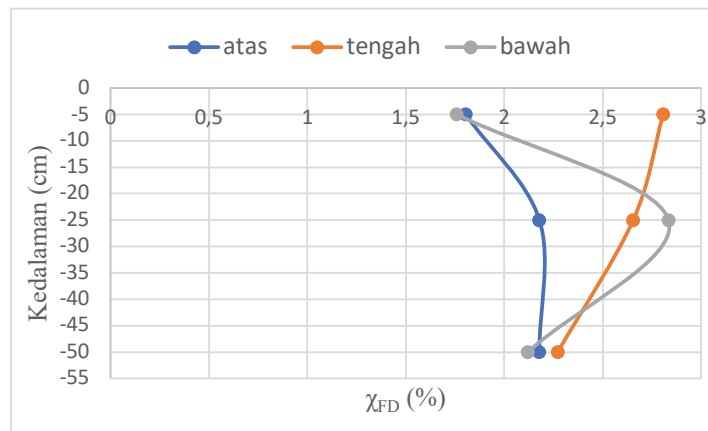
Gambar 2 Grafik hubungan χ_{FD} (%) dan nilai suseptibilitas magnetik pada lokasi penelitian

3.3 Variasi Nilai Suseptibilitas Magnetik Tanah terhadap Kedalaman Pengambilan Sampel

Potensi longsor dapat diprediksi dengan keberadaan bulir superparamagnetik yang terdapat pada tanah. Semakin tinggi nilai χ_{FD} (%) maka akan semakin banyak bulir superparamagnetik pada tanah tersebut (Pratiwi dkk., 2016). Tanah yang mengandung bulir superparamagnetik bersifat halus dan mudah menyerap air (Naldi dan Budiman, 2018). Air yang terserap dan terakumulasi di atas bidang gelincir, yang menimbulkan gerakan lateral tanah atau longsor.

3.3.1 Potensi Longsor Lereng 1

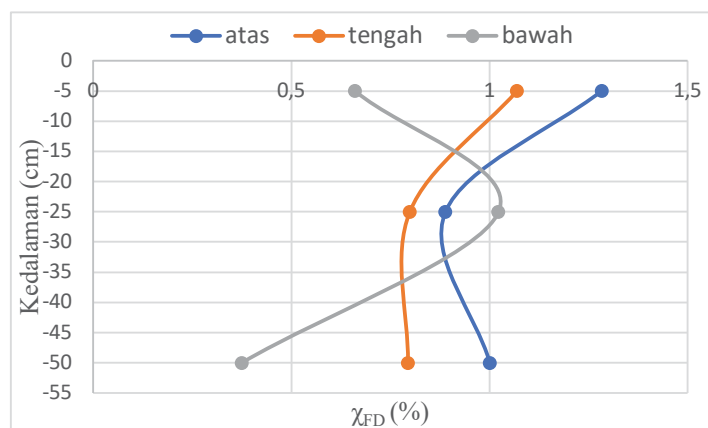
Pada Gambar 3 dapat dilihat nilai χ_{FD} (%) pada bagian atas lereng paling tinggi pada kedalaman 25 cm, kemudian 50 cm dan paling rendah pada kedalaman 5 cm. Pada bagian tengah memiliki χ_{FD} (%) yang semakin kecil saat kedalaman sampel semakin dalam. Pada bagian bawah lereng memiliki pola yang sama dengan bagian atas lereng. Lapisan tanah pada bagian atas dan bawah lereng diperkirakan telah terganggu yang dapat dilihat dari nilai χ_{FD} (%) yang lebih besar saat lebih dalam seharusnya pada tanah yang stabil atau belum terganggu memiliki nilai χ_{FD} (%) yang semakin kecil saat semakin dalam (Ulfa & Budiman, 2019). Besarnya nilai χ_{FD} (%) saat tanah semakin dalam membuat tanah lebih padat atau mengubah kekuatan tanah dan kohesi tanah. Pada Lereng 1 nilai χ_{FD} (%) lebih besar dari 2% sehingga dapat diprediksi bahwa Lereng 1 berpotensi untuk terjadi longsor.



Gambar 3 Grafik hubungan kedalaman dan χ_{FD} (%) pada Lereng 1

3.3.2 Potensi Longsor Lereng 2

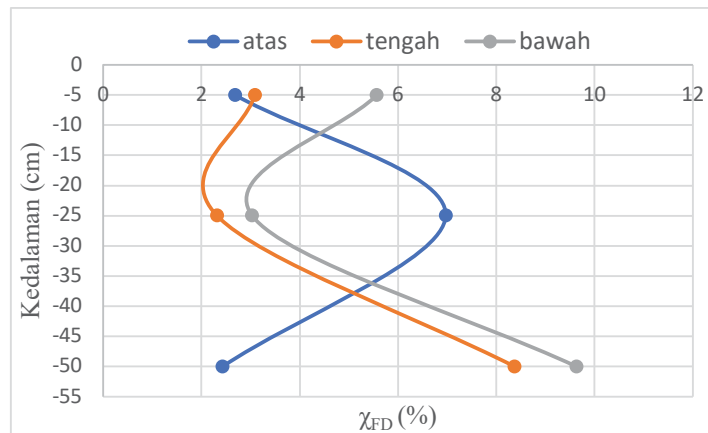
Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa tanah pada Lereng 2 terganggu pada bagian bawah lereng sedangkan pada bagian atas dan tengah lereng masih dapat dikatakan belum terganggu karena memiliki nilai χ_{FD} (%) yang semakin kecil saat semakin dalam. Pada Lereng 2 nilai χ_{FD} (%) yang didapatkan kecil dari 2%, tanah dengan nilai χ_{FD} (%) yang rendah dapat mengidentifikasi bahwa tanah tersebut belum mengalami proses pelapukan yang signifikan (Kanu dkk., 2014). Lereng 2 dapat diprediksi sulit untuk terjadi longsor karena sedikit mengandung bulir superparamagnetik dan belum mengalami pelapukan yang signifikan.



Gambar 4 Grafik hubungan kedalaman dan χ_{FD} (%) Lereng 2

3.3.3 Potensi Longsor Lereng 3

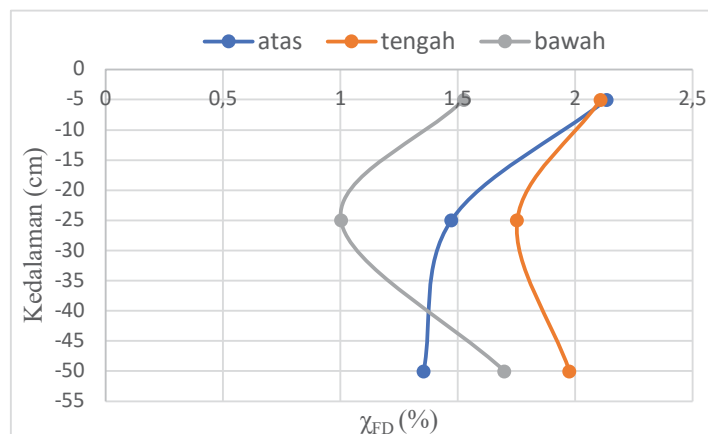
Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa Lereng 3 telah terganggu pada semua posisi lereng. Sama halnya dengan Lereng 1 sebelumnya Lereng 3 juga telah terjadi longsor, sehingga mempengaruhi pola aliran air di dalam tanah dan membawa mineral magnetik pada tanah tersebut masuk ke dalam tanah yang lebih dalam. Nilai χ_{FD} (%) pada Lereng 3 besar dari 2%, nilai χ_{FD} (%) yang tinggi dapat menunjukkan bahwa mineral tanah telah mengalami proses pelapukan kimia, pelapukan tersebut dapat mengubah komposisi mineral dalam tanah (Nugraha dan Winonazada, 2020). Bisa diprediksi bahwa Lereng 3 rentan untuk terjadi longsor, karena memiliki nilai χ_{FD} (%) yang semakin besar saat kedalaman sampel semakin dalam. Selain itu, pada lereng tidak terdapat vegetasi sehingga air hujan akan langsung masuk ke dalam tanah, yang menyebabkan berkurangnya tingkat kelekatan butiran tanah yang menyebabkan butiran tanah lebih halus (Mualifah, 2009).



Gambar 5 Grafik hubungan dan χ_{FD} (%) Lereng 3

3.3.4 Potensi Longsor Lereng 4

Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa pada Lereng 4 tanah juga telah terganggu namun hanya pada bagian bawah lereng saja yang memiliki nilai χ_{FD} (%) yang semakin tinggi saat semakin dalam. Hal tersebut dapat disebabkan oleh air hujan yang membawa dan mengangkut ke dalam tanah selama infiltrasi, sehingga menyebabkan redistribusi butiran mineral ke dalam tanah yang lebih dalam. Pada bagian atas dan bagian tengah lereng dengan kedalaman 5 cm memiliki nilai χ_{FD} (%) yang besar dari 2%, berarti pada kedalaman 5 cm tanahnya telah dipengaruhi oleh perubahan suhu dan cuaca yang membuat tanah mengalami pemuaihan serta penyusutan sehingga mengalami pelapukan mekanis (Braja, 1995). Potensi longsor pada Lereng 4 dapat diprediksi sangat kecil karena sebagian besar lereng masih memiliki nilai χ_{FD} (%) kecil dari 2%.



Gambar 6 Grafik hubungan dan χ_{FD} (%) Lereng 4

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa menirial pengontrol pada sampel adalah mineral ilmenit dengan sifat pengontrolnya ferimagnetik dan paramagnetik. Dari empat daerah pengambilan sampel Lereng 1 dan 3 yang telah terjadi tanah longsor memiliki nilai χ_{FD} (%) yang lebih tinggi dibandingkan daerah yang belum terjadi longsor Lereng 2 dan 4. Hal tersebut menunjukkan bahwa daerah yang telah mengalami longsor mengandung bulir superparamagnetik yang lebih banyak dan membuat sifat tanah menjadi lebih halus, sehingga lebih mudah menyerap air dan mengalami kejenuhan air yang terserap kedalam tanah serta dapat mengakibatkan tanah longsor. Erosi juga telah terjadi pada semua lereng yang ditandai dengan tingginya nilai suseptibilitas magnetik sampel saat kedalaman sampel semakin dalam.

DAFTAR PUSTAKA

- Braja, M. Das. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik)*. Jilid.
- Dearing, J. (1999). Magnetic susceptibility. *Environmental Magnetism: A Practical Guide*, 35–62.
- Dhani, A., Afdal, A., & Budiman, A. (2021). Suseptibilitas Magnetik Tanah Sebagai Indikator Bencana Longsor Daerah Sitinjau Lauik. *Jurnal Fisika Unand*, 10(2), 191–197.
- Dona, I. R., & Sudiar, N. Y. (2015). Identifikasi bidang gelincir menggunakan metode geolistrik tahanan jenis konfigurasi Schlumberger di Bukit Lantiak Kecamatan Padang Selatan (The identification of the slip surface using the geoelectric resistivity method of the Schlumberger configuration). *Pillar Of Physics*, 5(1).
- Felita, G., Afdal, A., & Marzuki, M. (2022). Kajian suseptibilitas magnetik tanah sebagai indikator longsor di Gunung Nago, Padang. *Jurnal Fisika Unand*, 11(1), 75–81.
- Hunt, C. P., Moskowitz, B. M., & Banerjee, S. K. (1995). Magnetic properties of rocks and minerals. *Rock Physics and Phase Relations: A Handbook of Physical Constants*, 3, 189–204.
- Istiqomah, I., Putri, A., Patmawati, T., Rohmawati, L., & Setyarsih, W. (2019). Ekstraksi titanium dioksida (tio₂) anatase menggunakan metode leaching dari pasir mineral tulungagung. *Akta Kimia Indonesia*, 4(2), 145–151.
- Jamil, M., & Togubu, J. (2016). Implementasi Teknologi Wireless Sensor Network (WSN) untuk Monitoring Pergeseran Tanah. *PROtek: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 3(2), 87–89.
- Mualifah, F. (2009). Perancangan dan Pembuatan Alat Ukur Tahanan Jenis Tanah. *Jurnal Neutrino*, 1(2), 10–15.
- Naldi, F., & Budiman, A. (2018). Analisis Suseptibilitas Magnetik Tanah Lapisan Atas sebagai Indikator Bencana Longsor di Bukit Sula Kecamatan Talawi Kota Sawahlunto. *Jurnal Fisika Unand*, 7(2), 110–116.
- Nugraha, L., & Winonazada, R. (2020). Pengaruh Pelapukan Terhadap Kuat Tekan Uniaksial Pada Batuan Andesit. *Prosiding Temu Profesi Tahunan PERHAPI*, 857–864.
- Pratiwi, R. A., Prakoso, A. G., Darmasetiawan, R., Agustine, E., Kirana, K. H., & Fitriani, D. (2016). Identifikasi sifat magnetik tanah di daerah tanah longsor. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*, 5, SNF2016-EPA.
- Tarling, D. H., & Hrouda, F. (1993). *The magnetic anisotropy of rocks*, (Chapman & Hall, London, GB.
- Ulfa, Y. S., & Budiman, A. (2019). Analisis Suseptibilitas Magnetik Tanah Pada Lahan Perkebunan Kopi di Kabupaten Solok. *Jurnal Fisika Unand*, 8(3), 219–226.
- Vulkanologi, P., & Geologi, M. B. (2015). Prakiraan Wilayah Potensi Terjadi Gerakan Tanah/Tanah Longsor dan Banjir Bandang di Seluruh Indonesia. *Bandung: ESDM, Kementerian*.
- Zakaria, Z. (2009). Analisis kestabilan lereng tanah. *Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Geologi. Universitas Padjajaran. Bandung*.