

Analisis Ketidakstabilan Lereng Berdasarkan Nilai Suseptibilitas Magnetik (Studi Kasus: Dua Lereng di Nagari Sikur Tengah, Padang Pariaman)

Bagas Meiza Mulya, Arif Budiman*

Laboratorium Fisika Bumi, Departemen Fisika,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas,
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia.

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 28 Februari 2025
Direvisi: 13 April 2025
Diterima: 28 April 2025

Kata kunci:

High Frequency
Ketidakstabilan lereng
Low Frequency
Susceptibilitas Magnetik

Keywords:

High Frequency
Slope instability
Low Frequency
Magnetic Susceptibility

Penulis Korespondensi:

Arif Budiman
Email: arifbudiman@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian untuk analisis ketidakstabilan lereng berdasarkan nilai suseptibilitas magnetik di Nagari Sikur Tengah, Padang Pariaman. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada dua lintasan dari lereng tanpa vegetasi (Lintasan A) dan lereng bervegetasi (Lintasan B) dan satu titik acuan. Pengukuran nilai suseptibilitas magnetik sampel menggunakan alat Bartington *Susceptibility Meter* dengan menggunakan dua frekuensi yaitu *low frequency* (lf) dan *high frequency* (hf). Berdasarkan nilai suseptibilitas magnetik pada *low frequency* (κ_{lf}) diperoleh bahwa mineral magnetik yang mengontrol sampel titik acuan bersifat ferrimagnetik, sedangkan sampel Lintasan A dan Lintasan B bersifat ferrimagnetik dan paramagnetik, tetapi sebagian sampel Lintasan B bersifat ferimagnetik. Hubungan nilai κ_{lf} terhadap kedalaman pada titik acuan menunjukkan pola penurunan nilai yang konsisten, sedangkan pada Lintasan A dan Lintasan B mengalami fluktuatif dan nilai κ_{lf} pada Lintasan A jauh lebih kecil dibandingkan Lintasan B dari titik acuan. Berdasarkan nilai suseptibilitas bergantung frekuensi κ_{fd} sampel Lintasan A didominasi oleh domain superparamagnetik yang mengindikasikan bahwa sampel memiliki butiran yang jauh lebih kecil dibandingkan sampel Lintasan B. Kedua lereng telah mengalami ketidakstabilan, dimana lereng Lintasan A telah mengalami ketidakstabilan lebih tinggi dibandingkan lereng Lintasan B.

A study has been conducted for slope instability analysis based on magnetic susceptibility values in Nagari Sikur Tengah, Padang Pariaman. Soil sampling was carried out on two tracks from slopes without vegetation (Path A) and slopes with vegetation (Path B) and one reference point. Measurement of magnetic susceptibility values of samples using the Bartington *Susceptibility Meter* using two frequencies, namely low frequency (lf) and high frequency (hf). Based on the magnetic susceptibility value at low frequency (κ_{lf}), it was obtained that the magnetic minerals that control the reference point samples are ferrimagnetic, while samples from Path A and Path B are ferrimagnetic and paramagnetic, but some samples from Path B are ferrimagnetic. The relationship between the κ_{lf} value and the depth at the reference point shows a consistent pattern of decreasing values, while Path A and Path B fluctuate and the κ_{lf} value at Path A is much smaller than Path B from the reference point. Based on the frequency-dependent susceptibility value κ_{fd} , the sample of Path A is dominated by superparamagnetic domains, indicating that the sample has much smaller grains than the sample of Path B. Both slopes have experienced instability, where the slope of Path A has experienced higher instability than the slope of Path B.

Copyright © 2025 Author(s). All rights reserve

I. PENDAHULUAN

Padang Pariaman merupakan sebuah kabupaten yang terletak di pesisir Provinsi Sumatera Barat. Padang Pariaman terdiri dari 40% dataran rendah yaitu pada bagian barat yang mengarah ke pantai dengan ketinggian antara 0 – 10 m di atas permukaan laut dan 60% daerah bagian timur yang merupakan daerah bergelombang sampai ke Bukit Barisan dengan ketinggian 10 – 1000 m di atas permukaan laut (Dinas Lingkungan Hidup, 2007). Kabupaten Padang Pariaman mempunyai curah hujan yang tinggi. Sepanjang tahun 2022 tercatat jumlah curah hujan 5.353,20 mm/tahun dengan jumlah hari hujan sebanyak 230 hari. Bulan Maret tercatat sebagai bulan dengan curah hujan tertinggi yaitu 734,00 mm dan jumlah hari hujan tertinggi yaitu sebanyak 27 hari terjadi hujan (Badan Pusat Statistik, 2015). Curah hujan yang tinggi merupakan salah satu faktor utama yang dapat menyebabkan ketidakstabilan lereng. Di samping itu, Kabupaten Padang Pariaman merupakan daerah yang memiliki potensi gempa bumi yang tinggi dikarenakan letaknya berhadapan langsung dengan zona sumber gempa bumi *megathrust*. Gempa bumi juga merupakan salah satu pemicu utama ketidakstabilan lereng, baik lereng alami maupun buatan manusia (Hack dkk., 2007). Ketidakstabilan lereng adalah penyebab utama terjadinya tanah longsor. Di beberapa daerah Kabupaten Padang Pariaman terdapat lereng-lereng yang langsung berbatasan dengan jalan raya. Keberadaan lereng di pinggir jalan ini sangat beresiko tinggi jika lereng mengalami longsor yang akan menyebabkan korban jiwa dan kemacetan lalu lintas yang berdampak pada perekonomian. Oleh karena itu penelitian tentang kestabilan lereng perlu dilakukan di daerah ini sebagai upaya mitigasi bencana longsor.

Ketidakstabilan lereng dapat dianalisis melalui beberapa parameter diantaranya faktor geometri lereng, sifat fisik material pembentuk lereng, air (hidrologi dan hidrogeologi), bidang lemah batuan, tegangan alamiah dalam massa batuan, konsentrasi tegangan lokal, getaran (alamiah dan perbuatan manusia) serta pengaruh termik (Pangestu dkk., 2023). Kekuatan mekanis tanah adalah salah satu sifat fisik tanah yang sangat erat hubungannya dengan kestabilan lereng. Kekuatan mekanis tanah, seperti kekuatan geser dan daya dukung, menentukan kemampuan tanah untuk menahan gaya-gaya luar yang bekerja pada lereng (Rochmawati & Irianto, 2020). Tanah terdiri dari berbagai komponen, termasuk mineral magnetik dan non magnetik, bahan organik, udara, dan air (Chiti dkk., 2019). Keberadaan dan konsentrasi mineral-mineral magnetik di dalam tanah seperti magnetit, hematit, dan goetit dapat memberikan informasi penting tentang ketidakstabilan lereng karena sifat-sifat fisik dan kimianya yang berkaitan langsung dengan proses pembentukan, pelapukan, serta kestabilan tanah. Tanah yang kaya akan mineral-mineral ini memiliki kohesi yang lebih baik, meningkatkan daya dukung dan stabilitas lereng (Robert & Hack, 2020).

Kandungan atau konsentrasi dan sifat mineral magnetik di dalam tanah dapat ditentukan melalui nilai suseptibilitas magnetiknya. Suseptibilitas magnetik (SM), perbandingan magnetisasi dalam bahan yang disebabkan oleh medan magnetik luar, adalah besaran magnetik yang paling umum digunakan untuk tanah. Jika suatu tanah memiliki kandungan mineral magnetik yang tinggi, suseptibilitas magnetiknya juga akan tinggi. Sebaliknya, jika kandungan mineral magnetik dalam tanah rendah, suseptibilitas magnetiknya juga akan rendah (Hunt dkk., 1995). Sifat mineral magnetik yang terdapat juga mempengaruhi SM. Misalnya, magnetit memiliki SM yang jauh lebih tinggi daripada hematit dan goetit. Hal ini dikarenakan magnetit bersifat ferrimagnetik sedangkan hematit dan goetit bersifat antiferomagnetik (Rochette, 1987). Metode pengukuran SM pertama kali diterapkan oleh Dearing dkk. (1986) untuk mempelajari pola redistribusi tanah melalui perubahan nilai SM tanah. Metode tanah ini merupakan metode yang sederhana, cepat, dan ekonomis yang tidak memerlukan penghancuran (Menshov dkk., 2018).

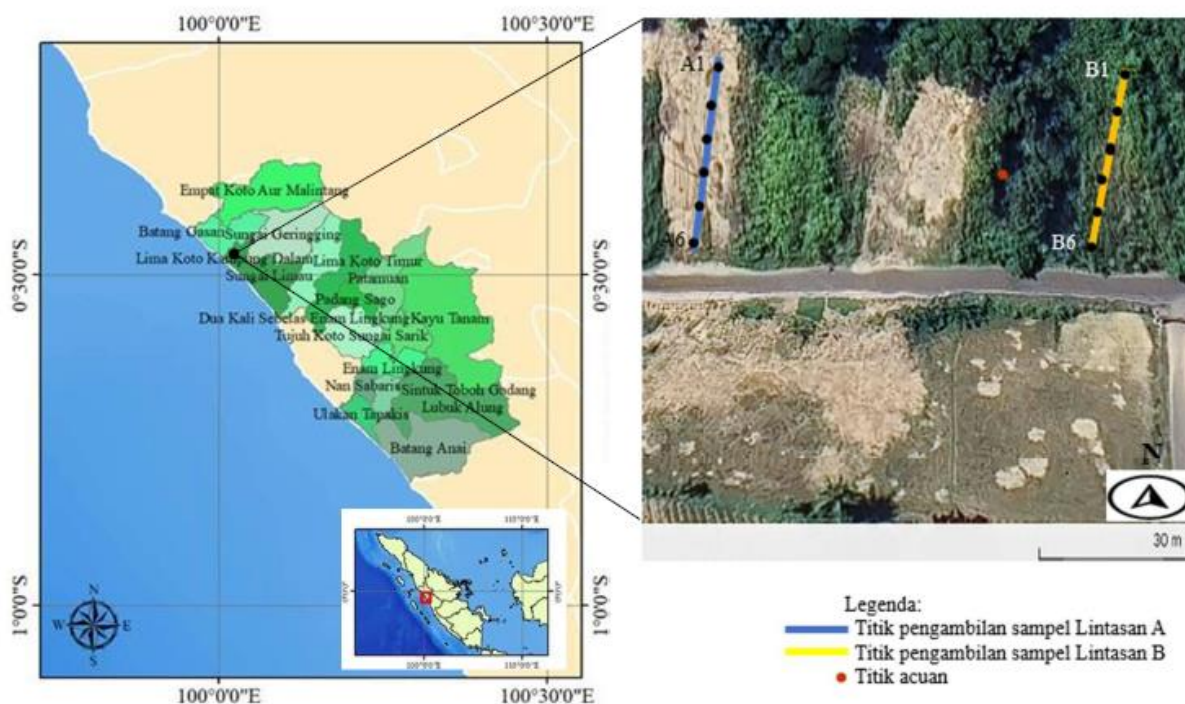
Metode SM telah banyak digunakan untuk membandingkan pola redistribusi tanah di antara berbagai jenis penggunaan lahan, seperti lahan pertanian, lahan reboisasi, dan hutan untuk mengamati erosi yang terjadi pada tanah akibat penggunaan lahan (Liu dkk., 2015; Rahimi dkk., 2013; Sadiki dkk., 2009). Beberapa penelitian juga telah menggunakan metode ini dalam mengamati potensi longsor suatu lereng melalui pola redistribusi tanah akibat erosi tanah yang terjadi pada lereng (Derajah & Budiman, 2022; Luthfi & Budiman, 2024; Menshov dkk., 2022; Putri & Budiman, 2024). Pada penelitian sebelumnya pengamatan potensi longsor pada lereng berdasarkan erosi yang terjadi pada lereng tersebut berdasarkan analisis sebaran nilai SM tanah, sedangkan pada penelitian ini analisis nilai SM tanah digunakan untuk mengetahui ketidakstabilan lereng. Penelitian dilakukan pada dua lereng yang berbatasan langsung dengan jalan yang terletak di Nagari Sikucur Tengah, Kecamatan V Koto Kampung

Dalam Kabupaten Padang Pariaman. Di samping hingga saat ini belum pernah dilakukan penelitian mengenai potensi longsor di Nagari Sikukur Tengah ini.

II. METODE

2.1 Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan pada tiga lokasi berbeda yaitu dua lereng dan satu titik acuan. Dua lereng dipilih dengan karakteristik berbeda yaitu tanpa vegetasi dengan kemiringan $28,7^\circ$ dan bervegetasi dengan kemiringan $15,1^\circ$, sedangkan titik acuan adalah sebuah titik yang dianggap memiliki tanah dalam kondisi ideal. Pada masing-masing lereng sampel diambil dari enam titik yang terletak pada sebuah lintasan lurus dengan panjang 50 m dengan jarak masing-masing titik adalah 10 m. Lintasan pada lereng tanpa vegetasi disebut Lintasan A dan pada lereng bervegetasi disebut Lintasan B (Gambar 1). Jadi terdapat 13 titik pengambilan sampel yang terdiri dari masing-masing enam titik pada Lintasan A (A1, A2, A3, A4, A5, A6) dan Lereng B (B1, B2, B3, B4, B5, B6) dan satu titik acuan (AC). Pada setiap titik sampel diambil pada kedalaman 10, 20, 30, 40, 50, 60 cm, sehingga terdapat 78 sampel yang terdiri dari masing-masing 36 sampel dari Lereng A dan Lereng B dan 6 sampel dari satu titik acuan. Sampel tanah diambil menggunakan bor belgi sebanyak 50 g lalu dimasukkan ke dalam plastik *ziplock* yang diberi tanda sesuai kode sampel.



Gambar 1 Lokasi pengambilan sampel

2.2 Preparasi Sampel

Preparasi sampel dilakukan dengan mengeringkan sampel tanah pada suhu kamar selama 5 hingga 7 hari bertujuan untuk mengurangi uap air yang terkandung pada tanah berkurang. Selanjutnya sampel tanah yang sudah kering digerus menggunakan mortal dan alu. Kemudian sampel tanah diayak menggunakan ayakan 100 mesh.

2.3 Pengukuran dan Pengolahan Nilai Suseptibilitas

Tanah yang telah diayak ditempatkan pada tempat *sample holder* sebanyak 10 g. Kemudian nilai suseptibilitas magnetik pada tanah diukur sebanyak tiga kali dengan alat *Bartington Magnetic Susceptibility Meter*. Alat ini menggunakan arus bolak-balik atau *alternating curreng* (AC) dengan dua frekuensi osilasi berbeda yaitu frekuensi rendah (*low frequency*) yaitu 0,47 kHz dan frekuensi tinggi (*high*

frequency) 4,7 kHz. Frekuensi osilasi akan mengalami perubahan saat sampel diletakkan pada alat, sehingga nilai suseptibilitas magnetik sampel diperoleh dengan membandingkan frekuensi osilator sebelum dan sesudah sampel diletakkan. Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai SM sampel gayut-frekuensi (κ_{fd}) dengan menggunakan Persamaan 1 sebagai berikut:

$$\kappa_{fd} = [(\kappa_{lf} - \kappa_{hf})/\kappa_{lf}] \times 100\% \quad (1)$$

dengan κ_{lf} adalah nilai SM sampel yang diukur pada frekuensi rendah dan κ_{hf} adalah nilai SM sampel yang diukur pada frekuensi tinggi.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Analisis Kestabilan Lereng Berdasarkan Sifat Magnetik Sampel

Data nilai rata-rata κ_{lf} sampel untuk keseluruhan sampel dapat dilihat pada Tabel 1. Dari Tabel 1 untuk sampel titik acuan mempunyai nilai κ_{lf} berkisar dari $623,0 \times 10^{-5}$ SI ($6,230 \times 10^{-3}$ SI) hingga $787,0 \times 10^{-5}$ SI ($7,870 \times 10^{-3}$ SI) dengan rata-rata nilai $699,9 \times 10^{-5}$ SI ($6,999 \times 10^{-3}$ SI), Lintasan A nilai κ_{lf} berkisar dari $79,0 \times 10^{-5}$ SI ($0,790 \times 10^{-3}$ SI) hingga $187,3 \times 10^{-5}$ SI ($1,873 \times 10^{-3}$ SI) dengan rata-rata nilai $123,3 \times 10^{-5}$ SI ($1,233 \times 10^{-3}$ SI), Lintasan B nilai κ_{lf} berkisar dari $157,0 \times 10^{-5}$ SI ($1,570 \times 10^{-3}$ SI) hingga $751,3 \times 10^{-5}$ SI ($7,513 \times 10^{-3}$ SI) dengan rata-rata nilai $431,9 \times 10^{-5}$ SI ($4,319 \times 10^{-3}$ SI). Nilai κ_{lf} untuk keseluruhan sampel titik acuan mempunyai nilai κ_{lf} lebih dari 5×10^{-3} (SI). Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa mineral magnetik yang terdapat dalam sampel titik acuan yang mengontrol nilai κ_{lf} berasal dari fraksi mineral bersifat ferimagnetik. Dalam hal ini sampel titik acuan dapat dianggap sebagai tanah ideal atau yang belum mengalami gangguan. Mineral magnetik yang bersifat ferimagnetik terdapat dalam tanah adalah magnetit (Fe_3O_4), hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dan goetit ($\alpha\text{-FeOOH}$).

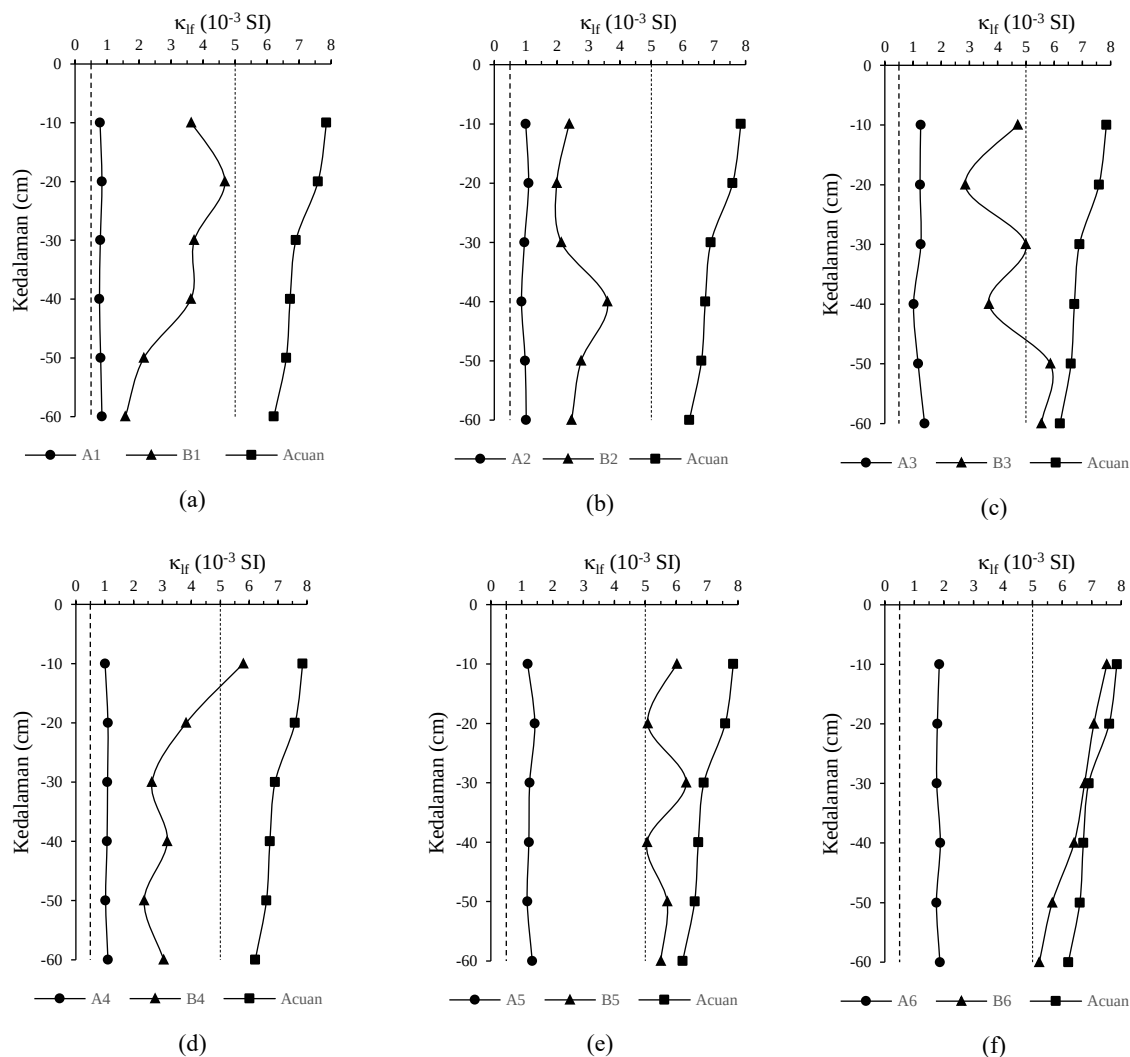
Tabel 1 Nilai rata-rata κ_{lf} sampel pada Lintasan A, Lintasan B dan titik acuan

Titik Sampel	Nilai rata-rata κ_{lf} sampel (10^{-5} SI) pada kedalaman					
	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm	60 cm
A1	79,0	86,0	79,7	77,3	81,0	85,0
A2	100,0	109,3	96,0	86,7	98,3	101,7
A3	127,0	124,7	127,7	102,0	118,0	141,0
A4	101,0	111,0	109,7	108,0	103,0	111,0
A5	119,0	142,3	125,7	123,0	117,7	134,0
A6	184,3	177,7	175,7	187,7	174,7	186,3
B1	363,3	468,0	372,3	361,7	215,0	157,0
B2	238,3	198,7	213,3	360,0	276,7	246,3
B3	471,0	284,7	499,7	368,7	586,3	554,7
B4	579,7	382,3	263,7	316,7	236,3	304,0
B5	601,7	507,7	632,3	505,3	570,7	550,0
B6	751,3	707,3	675,7	640,3	566,3	522,7
Titik Acuan	787,0	761	691,7	673,0	664,0	623,0

Nilai κ_{lf} untuk keseluruhan sampel Lintasan A mempunyai nilai SM antara $0,5 \times 10^{-3}$ SI dan 5×10^{-3} SI. Hal ini menunjukkan bahwa mineral-mineral yang terdapat dalam sampel Lintasan A yang mengontrol nilai κ_{lf} bersifat dan ferimagnetik dan paramagnetik. Dua puluh satu (21) dari 36 sampel Lintasan B mempunyai nilai SM antara $0,5 \times 10^{-3}$ SI dan 5×10^{-3} SI, sedangkan sisanya 15 dari 36 sampel Lintasan B mempunyai nilai κ_{lf} lebih dari 5×10^{-3} SI. Jadi 21 sampel di Lintasan B mengalami kekurangan mineral ferimagnetik, sehingga yang mengontrol nilai κ_{lf} adalah mineral ferimagnetik dan paramagnetik. dan untuk 15 sampel sisanya yang mengontrol nilai SM adalah mineral ferimagnetik saja. Berdasarkan hal ini dapat dikatakan lereng Lintasan A dan B telah mengalami ketidakstabilan, tetapi lereng Lintasan A mengalami ketidakstabilan lebih tinggi dibandingkan lereng Lintasan B.

3.2 Analisis Kestabilan Lereng Berdasarkan Nilai Suseptibilitas Magnetik Sampel terhadap Kedalaman

Hubungan nilai rata-rata κ_{lf} sampel dari titik-titik pada lintasan dan titik acuan terhadap kedalaman disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 2. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa pada titik acuan nilai rata-rata κ_{lf} lebih besar dari nilai nilai rata-rata κ_{lf} sampel baik dari Lintasan A maupun Lintasan B. Di samping itu menunjukkan pola penurunan nilai rata-rata κ_{lf} titik acuan konsisten terhadap kedalaman. Kedua hal ini mengindikasikan kondisi tanah pada titik acuan bersifat ideal, sehingga nilai rata-rata κ_{lf} layak dijadikan pembanding dengan nilai rata-rata κ_{lf} sampel lainnya.



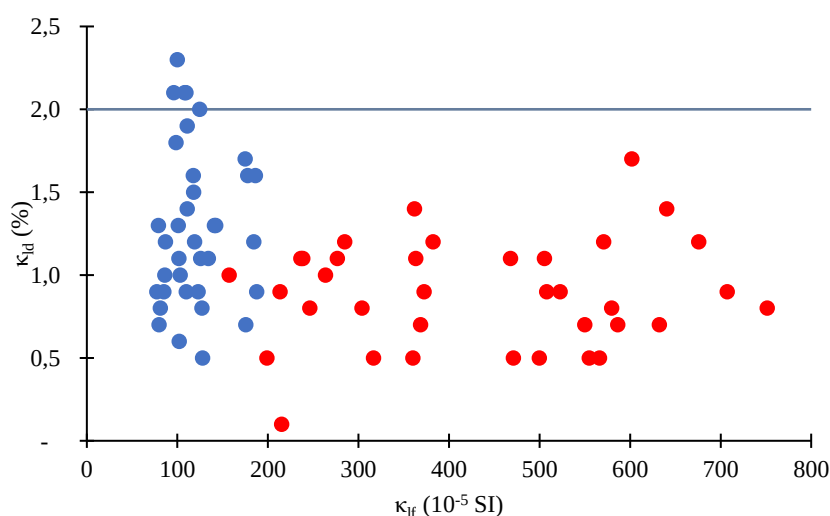
Gambar 2 Grafik hubungan nilai κ_{lf} sampel terhadap kedalaman (a) titik A1, B1, dan acuan, (b) titik A2, B2, dan acuan, (c) titik A3, B3, dan acuan, (d) titik A4, B4, dan acuan, (e) titik A5, B5, dan acuan dan (f) titik A6, B6, dan acuan.

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa jarak kurva nilai rata-rata κ_{lf} sampel pada Lintasan A dan sampel titik acuan lebih besar dibandingkan dengan jarak kurva nilai rata-rata κ_{lf} sampel pada Lintasan B dan sampel titik acuan. Untuk sampel pada Lintasan B kurva nilai rata-rata κ_{lf} ada yang mendekati kurva nilai rata-rata κ_{lf} sampel titik acuan yaitu B5 (Gambar 2(e)) dan B6 (Gambar 2(f)) yang terletak di kaki lereng. Hal ini mengindikasikan bahwa material di Lintasan A mengalami pelapukan yang lebih tinggi menyebabkan kandungan mineral yang lebih lemah dan lebih rentan terhadap ketidakstabilan. Sebaliknya pada Lintasan B nilai rata-rata κ_{lf} mendekati nilai titik acuan yang menunjukkan bahwa material di Lintasan B relatif lebih kuat dan stabil secara mekanis meskipun tetap ada fluktuasi yang

menunjukkan variasi dalam komposisi tanah. Hal ini menunjukkan bahwa lereng Lintasan A lebih telah mengalami ketidakstabilan lereng lebih tinggi dibandingkan dengan lereng Lintasan B yang cenderung lebih stabil karena mendekati nilai κ_{lf} rata-rata titik acuan.

3.3 Analisis Kestabilan Lereng Berdasarkan Nilai Suseptibilitas Magnetik Bergantung Frekuensi

Data hasil perhitungan nilai κ_{fd} (%) sampel Lintasan A berkisar dari 0,5% hingga 2,3% dan sampel Lintasan B berkisar dari 0,5% hingga 1,7%. Plot nilai κ_{lf} dan κ_{fd} sampel pada masing-masing lintasan disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 3. Plot ini dapat digunakan memperkirakan jenis domain magnetik yang terdapat dalam sampel sehingga dapat diperkirakan ukuran butir sampel (Dearing, 1999). Dari Gambar 3 dapat dilihat sebagian besar sampel Lintasan A dan semua sampel Lintasan B mempunyai nilai κ_{fd} (%) di bawah 2,0%. Sebaran sampel Lintasan A menunjukkan bahwa domain magnetik sampel Lintasan A didominasi oleh superparamagnetik (SP), sedangkan domain magnetik sampel Lintasan B didominasi oleh *single domain* (SD) dan *multi domain* (MD). Menurut Dearing (1999) sampel yang didominasi oleh domain magnetik SP memiliki ukuran butir rata-rata kurang dari 0,005 μm bahkan lebih kecil, sedangkan sampel yang didominasi oleh domain magnetik non-SP akan memiliki ukuran butir rata-rata sama atau lebih besar dari 0,03 μm . Berdasarkan hal di atas dapat dikatakan bahwa sampel Lintasan A didominasi oleh butir yang jauh lebih kecil dibandingkan sampel Lintasan B. Sampel dengan ukuran lebih kecil mempunyai kemampuan lebih banyak menyerap air. Semakin banyak tanah menyerap air akan menyebabkan kemampuan daya ikat antar butir tanah menjadi lemah. Hal ini akan menyebabkan tanah akan mudah mengalami ketidakstabilan. Berdasarkan hal ini dapat dikatakan lereng Lintasan A dan B telah mengalami ketidakstabilan, tetapi lereng Lintasan A mengalami ketidakstabilan lebih tinggi dibandingkan lereng Lintasan B.



Gambar 3 Grafik hubungan nilai κ_{lf} rata-rata pada κ_{fd} sampel Lintasan A (warna biru) dan sampel Lintasan B (warna merah)

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis sifat magnetik sampel, analisis nilai suseptibilitas magnetik sampel terhadap kedalaman dan analisis nilai suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi dapat disimpulkan bahwa kedua lereng yang terletak di Nagari Sikur Tengah, Kecamatan V Koto Kampung Dalam, Kabupaten Padang Pariaman telah mengalami ketidakstabilan, dimana lereng Lintasan A telah mengalami ketidakstabilan lebih tinggi dibandingkan lereng Lintasan B.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pusat Statistik. (2015). *Padang Pariaman Dalam Angka-2015*. Pemerintah Kabupaten Padang Pariaman.

- Chiti, T., Certini, G., Marzaioli, F., D'Acqui, L. P., Forte, C., Castaldi, S., & Valentini, R. (2019). Composition and turnover time of organic matter in soil fractions with different magnetic susceptibility. *Geoderma*, 349, 88–96. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.04.042>
- Dearing, J. A. (1999). *Environmental magnetic susceptibility: using the Bartington MS2 system* (Second). British Library London.
- Dearing, J. A., Morton, R. I., Price, T. W., & Foster, I. D. L. (1986). Tracing movements of topsoil by magnetic measurements: two case studies. In *Physics of the Earth and Planeta O* (Vol. 42).
- Derajah, A., & Budiman, A. (2022). Analisis Nilai Suseptibilitas Magnetik Tanah Untuk Pendugaan Erosi di Daerah Sekitar Jalan Lintas Sungai Penuh-Tapan. 21(3), 341–347.
- Dinas Lingkungan Hidup. (2007). *Status Lingkungan Hidup Daerah (SLHD) Kabupaten Padang Pariaman Tahun 2006*. Pemerintah Kabupaten Padang Pariaman.
- Hack, R., Alkema, D., Kruse, G. A. M., Leenders, N., & Luzi, L. (2007). Influence of earthquakes on the stability of slopes. *Engineering Geology*, 91(1), 4–15. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2006.12.016>
- Hunt, C. P., Moskowitz, B. M., & Banerjee, S. K. (1995). Magnetic Properties of Rocks and Minerals: A Handbook of Physical Constants. *Rock Physics & Phase Relations*, 3, 189–204.
- Liu, L., Zhang, K., Zhang, Z., & Qiu, Q. (2015). Identifying soil redistribution patterns by magnetic susceptibility on the black soil farmland in Northeast China. *Catena*, 129, 103–111. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.03.003>
- Luthfi, H., & Budiman, A. (2024). Identifikasi Daerah Potensi Longsor Melalui Pengamatan Erosi Berdasarkan Analisis Nilai Suseptibilitas Magnetik Tanah (Studi Kasus: Daerah Tonggo Kanagarian Tigo Koto Silungkang, Kecamatan Palembayan, Kabupaten Agam, Sumatera Barat. *Sustainability (Switzerland)*, 13(5), 711–717.
- Menshov, O., Ivanik, O., Vyzhva, S., Horoshkova, L., Tonkha, O., & Hadiatska, K. (2022). Applying Magnetic Methods to Studies of Soil Erosion and Landslides in Ukraine's Urban Areas. *83rd EAGE Annual Conference & Exhibition*, 1–5. <https://doi.org/https://doi.org/10.3997/2214-4609.202210933>
- Menshov, O., Kruglov, O., Vyzhva, S., Nazarov, P., Pereira, P., & Pastushenko, T. (2018). Magnetic methods in tracing soil erosion, Kharkov Region, Ukraine. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 62(4), 681–696. <https://doi.org/10.1007/s11200-018-0803-1>
- Pangestu, I. E., Oktaviani, R., & Respati, L. L. (2023). Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Probabilistik Simulasi Monte Carlo pada Disposasi PT. XYZ. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 77–86. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v3i2.2212>
- Putri, R. S., & Budiman, A. (2024). Identifikasi Pola Redistribusi Tanah Yang Tidak dan Telah Mengalami Longsor Berdasarkan Nilai Suseptibilitas Magnetik di Daerah Batu Busuk Kota Padang. *Jurnal Fisika Unand*, 13(1), 22–28. <https://doi.org/10.25077/jfu.13.1.22-28.2024>
- Rahimi, M. R., Ayoubi, S., & Abdi, M. R. (2013). Magnetic susceptibility and Cs-137 inventory variability as influenced by land use change and slope positions in a hilly, semiarid region of west-central Iran. *Journal of Applied Geophysics*, 89, 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2012.11.009>
- Robert, H., & Hack, G. K. (2020). Weathering, Erosion, and Susceptibility to Weathering. *Soft Rock Mechanics and Engineering*, 11, 291–333. https://doi.org/10.1007/978303029477-9_11
- Rochette, P. (1987). Magnetic susceptibility of the rock matrix related to magnetic fabric studies. *Journal of Structural Geology*, 9(8), 1015–1020. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(87\)90009-5](https://doi.org/10.1016/0191-8141(87)90009-5)
- Rochmawati, R., & Irianto. (2020). Tinjauan Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Untuk Menentukan Daya Dukung Tanah (Studi Kasus: Jalan Baru Kayu Batu Base-G Jayapura Sta 0+200). *INTAN Jurnal Penelitian Tambang*, 3(1), 50–58.
- Sadiki, A., Faleh, A., Navas, A., & Bouhlassa, S. (2009). Sensitivity of post-hurricane beach. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34(March), 613–628. <https://doi.org/10.1002/esp>