

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)

Haris Luthfi, Arif Budiman*

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

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 16 Agustus 2024
Direvisi: 11 Agustus 2024
Diterima: 12 Agustus 2024

Kata kunci:

erosi,
longsor,
suseptibilitas magnetik,
frekuensi rendah,
gayut-frekuensi.

Keywords:

erosion,
landslide,
magnetic susceptibility,
low frequency,
frequency-dependent.

Penulis Korespondensi:

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

ABSTRAK

Penelitian dilakukan untuk mengamati erosi tanah di daerah potensi longsor berdasarkan analisis suseptibilitas magnetik (SM) tanah di daerah Tonggo Kenagarian Tigo Koto Silungkang, Kecamatan Palembayan, Kabupaten Agam, Propinsi Sumatera Barat. Sampel berupa tanah yang diambil dari dua lereng yaitu Lintasan A dan Lintasan B dan satu titik acuan. Pengukuran nilai SM sampel berupa SM frekuensi rendah (χ_{lf}) dan SM gayut-frekuensi (χ_{fd}). Hasil penelitian menunjukkan bahwa χ_{lf} dan χ_{fd} berturut-turut berkisar dari 183,7 hingga $435,5 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ dan 1,2 hingga 4,6% (Lintasan A), 416,9 hingga $600,4 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ dan 0,9 hingga 2,2% (Lintasan B), dan 365,8 hingga $638,3 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ (titik acuan). Nilai χ_{lf} sampel di setiap titik di Lintasan A jauh lebih kecil dari nilai χ_{lf} sampel di titik acuan, sedangkan nilai χ_{lf} sampel di setiap titik di Lintasan B hampir mendekati nilai χ_{lf} sampel di titik acuan. Hasil ini menunjukkan bahwa lereng Lintasan A mengalami erosi lebih parah dibandingkan Lintasan B. Sebaran nilai χ_{lf} dan χ_{fd} untuk Lintasan A relatif berbanding lurus, sedangkan untuk Lintasan B kenaikan nilai χ_{lf} tidak diikuti oleh kenaikan nilai χ_{fd} . Hasil ini menunjukkan bahwa Lintasan A mengalami gangguan bersifat antropogenik. Lereng Lintasan A mempunyai potensi longsor yang lebih besar dibandingkan lereng Lintasan B.

The research has been conducted to observe soil erosion in potential landslide areas based on soil magnetic susceptibility (MS) analysis in Tonggo Kenagarian Tigo Koto Silungkang area, Palembayan District, Agam Regency, West Sumatra Province. Soil samples were taken from on two slopes, namely Track A and Track B and one reference point. Samples were measured for low frequency MS (χ_{lf}) and frequency-dependent MS (χ_{fd}). The results showed that χ_{lf} and χ_{fd} respectively ranged from 183.7 to $435.5 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ and 1.2 to 4.6% (Track A), 416.9 to $600.4 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ and 0.9 to 2.2% (Track B), and 365.8 to $638.3 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ (reference point). The χ_{lf} value of sample of each point on Track A is much smaller than the χ_{lf} value of sampel of the reference point, while the χ_{lf} value of sample of each point on Track B is almost close to the χ_{lf} value of sample of the reference point. These results indicate that the slopes of Track A experienced more severe erosion than Track B. The distribution of χ_{lf} and χ_{fd} values for Track A was relatively straight, whereas for Track B the increase in the χ_{lf} value was not followed by an increase in the χ_{fd} value. These results indicate that Track A experienced anthropogenic disturbance. The slope of Track A has a greater landslide potential than the slope of Track B.

Copyright © 2024 Author(s).

I. PENDAHULUAN

Tanah longsor adalah salah satu jenis bencana alam yang kerap terjadi di Indonesia. Sepanjang tahun 2023 tanah longsor tercatat sebagai bencana alam terbanyak keempat yang terjadi di Indonesia yaitu 597 kejadian setelah kebakaran hutan (1.802 kejadian), banjir (1.170 kejadian) dan cuaca ekstrim (1.155 kejadian) (Finaka, 2023). Sebagai salah satu bencana alam, sudah pasti tanah longsor memberikan dampak besar bagi lingkungan mulai dari kerusakan lahan akibat vegetasi penutup lahan hilang, kerusakan rumah penduduk dan fasilitas umum seperti jalan raya dan jembatan yang dapat menghambat aktivitas manusia dan mengganggu perekonomian masyarakat, hingga korban jiwa.

Terganggunya kestabilan tanah atau batuan penyusun pada suatu lereng dimulai dengan peristiwa erosi yang terjadi pada tanah. Air, terutama dalam bentuk hujan, merupakan penyebab utama erosi pada lereng. Tetesan hujan diserap ke dalam ruang pori tanah saat jatuh ke tanah. Ketika semua ruang pori tanah terisi dengan air, tanah menjadi jenuh dan air akan mengalir ke bawah sebagai limpasan permukaan. Air yang mengalir melalui proses limpasan permukaan akan mengangkut partikel tanah dan memulai proses erosi. Dengan meningkatnya intensitas hujan, limpasan meningkat dan gaya yang diberikan pada partikel tanah juga meningkat yang lama kelamaan akan menyebabkan struktur dan kekuatan tanah tidak stabil (Arsyad, 2009). Oleh karena itu, hal pertama yang seharusnya dipelajari untuk memprediksi tanah longsor suatu lereng adalah erosi tanah (Menshov dkk., 2022).

Penelitian yang sering dilakukan di daerah potensi longsor adalah menduga posisi dan kedalaman bidang gelincir dengan menggunakan metode geolistrik tahanan jenis. Penelitian ini terbukti memberikan hasil yang memuaskan dalam menentukan posisi dan kedalaman bidang gelincir, tetapi tidak bisa memberikan gambaran kondisi tanah di daerah potensi longsor tersebut. Sebaliknya penelitian potensi longsor melalui erosi tanah akan memberikan gambaran kondisi tanah mulai tanah lapisan atas hingga di bawahnya (Menshov dkk., 2022). Saat ini pengamatan erosi banyak dilakukan dengan menggunakan metode suseptibilitas magnetik (SM). Hal ini dikarenakan metode ini menggunakan prinsip sederhana dimana erosi diamati melalui pola redistribusi mineral magnetik yang terkandung dalam tanah sebagai akibat dari erosi (Dearing, 1999); (Mullins, 1977). Di samping itu metode SM menggunakan alat dengan biaya relatif murah dan cara kerja yang cepat (Menshov dkk., 2018).

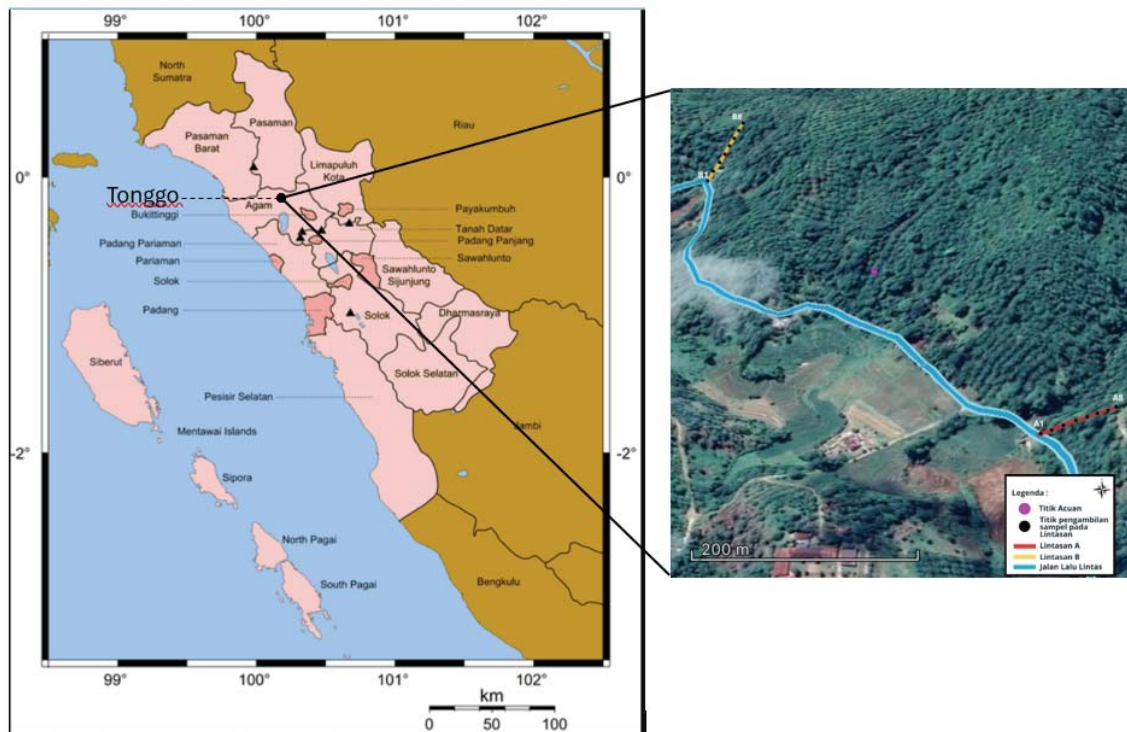
Metode SM secara luas telah digunakan untuk mengamati erosi melalui pola redistribusi tanah berdasarkan penggunaan lahan seperti lahan pertanian, padang rumput dan hutan (Sadiki dkk., 2009; Rahimi dkk., 2013; Liu dkk., 2015). Metode SM juga telah digunakan untuk mengamati proses erosi berdasarkan kemiringan dan posisi lereng (De Jong dkk., 2000; Zhang dkk., 2009). Khusus untuk daerah potensi longsor terdapat beberapa peneliti yang menggunakan metode SM dalam mengamati erosi diantaranya Ramdhani dkk. (2016) di daerah potensi longsor Pasir Ipis Lembang Bandung Barat, Eso dkk. (2019) di daerah longsor Sulawesi Selatan, Derajah & Budiman (2022) di daerah sekitar Jalan Lintas Sungai Penuh-Tapan, Silvia dkk. (2022) di daerah rawan longsor Malalak Kabupaten Agam Sumatera Barat, dan Menshov dkk. (2022) di daerah perkotaan Ukraina, serta Putri & Budiman (2024) di daerah Batu Busuk, Kelurahan Lambung Bukit, Kecamatan Pauh, Kota Padang.

Daerah Tonggo merupakan salah satu daerah di Kanagarian Tigo Koto Silungkang, Kecamatan Palembang, Kabupaten Agam, Sumatera Barat. Daerah Tonggo memiliki topografi yang berlereng pada ketinggian daerah 559 mdpl dan berada di daerah dengan curah hujan yang tinggi yaitu 291-333 ml/bulan (BPS Agam, 2021). Di samping itu, di Daerah Tonggo hampir sebagian besar lereng dialihfungsikan menjadi lahan pertanian. Hal ini merupakan beberapa faktor penyebab yang menjadikan daerah Tonggo sebagai daerah berpotensi longsor. Di daerah Tonggo terdapat jalan raya berstatus jalan provinsi yang menghubungkan daerah-daerah di Kabupaten Agam dan Kabupaten Pasaman Barat. Jika lereng-lereng yang berada di pinggir jalan ini mengalami longsor tentu akan menghambat aktivitas dan perekonomian masyarakat di daerah tersebut. Berdasarkan hal tersebut di atas dilakukan penelitian untuk mengidentifikasi daerah yang berpotensi longsor dari dua lereng di daerah Tonggo melalui pengamatan erosi yang terjadi pada keduanya berdasarkan analisis nilai suseptibilitas magnetik.

II. METODE

Penelitian dimulai dari pengambilan sampel di Daerah Tonggo dari tiga lokasi berbeda yaitu dua lereng yaitu Lintasan A (0,1623673°LS, 100,1670913°BT) dan Lintasan B (0,1593525°LS,

100,1714787°BT) dan satu titik acuan (0,1608767°LS, 100,1688374°BT). Panjang masing-masing lintasan dibuat sama yaitu 70 m, dimana panjang lintasan ini disesuaikan dengan panjang lereng. Pada setiap lintasan terdapat 8 titik pengambilan sampel, dimana jarak masing-masing titik adalah 10 m (Gambar 1). Pada setiap titik, sampel diambil pada kedalaman 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, dan 100 cm. Jadi jumlah keseluruhan sampel yang diambil sebanyak 170 sampel yang terdiri 80 sampel dari masing-masing lintasan dan 10 sampel dari satu titik acuan.



Gambar 1 Peta lokasi penelitian dan pengambilan sampel.

Sampel tanah diambil sebanyak 100 g 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 dimasukkan ke dalam *sample holder* sebanyak 10 g.

Pengukuran nilai SM tanah dilakukan di Laboratorium Fisika Bumi, Departemen Fisika Universitas Andalas. Pengukuran nilai SM sampel dilakukan 15 arah dengan dua frekuensi yaitu frekuensi rendah (0,47 kHz) dan frekuensi tinggi (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 swanilai dari tiap sampel. Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai SM sampel gayut-frekuensi (χ_{fd}) dengan menggunakan Persamaan 1 sebagai berikut:

$$\chi_{fd} = \left[\frac{(\chi_{lf} - \chi_{hf})}{\chi_{lf}} \right] \times 100\% \quad (1)$$

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

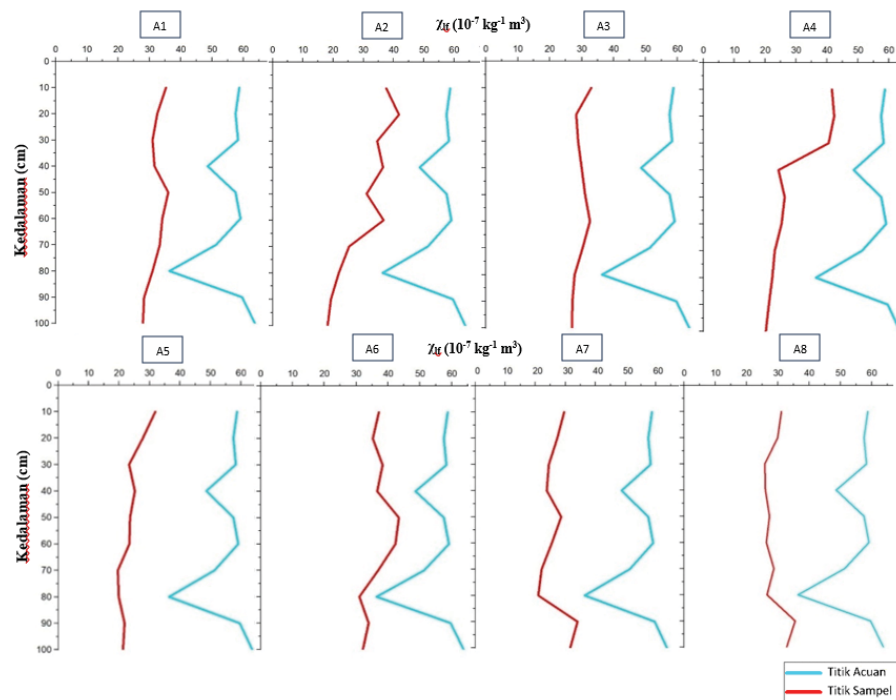
III. HASIL DAN DISKUSI

Nilai χ_{lf} sampel Lintasan A, Lintasan B dan titik acuan dapat dilihat pada Tabel 1. Dari tabel terlihat bahwa, sampel Lintasan A (80 sampel) yang memiliki nilai χ_{lf} berkisar dari $183,7 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$

sampai dengan $435,5 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ dengan rata-rata $297,94 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ dan sampel Lintasan B (80 sampel) yang memiliki nilai χ_{lf} berkisar $416,9 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ sampai dengan $600,4 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ dengan rata-rata $529,9 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$, sedangkan sampel dari titik acuan (10 sampel) mempunyai nilai χ_{lf} berkisar dari $365,8 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ sampai dengan $638,3 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ dengan rata-rata $552,2 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$.

Tabel 1 Nilai χ_{lf} sampel pada Lintasan A, Lintasan B dan titik acuan.

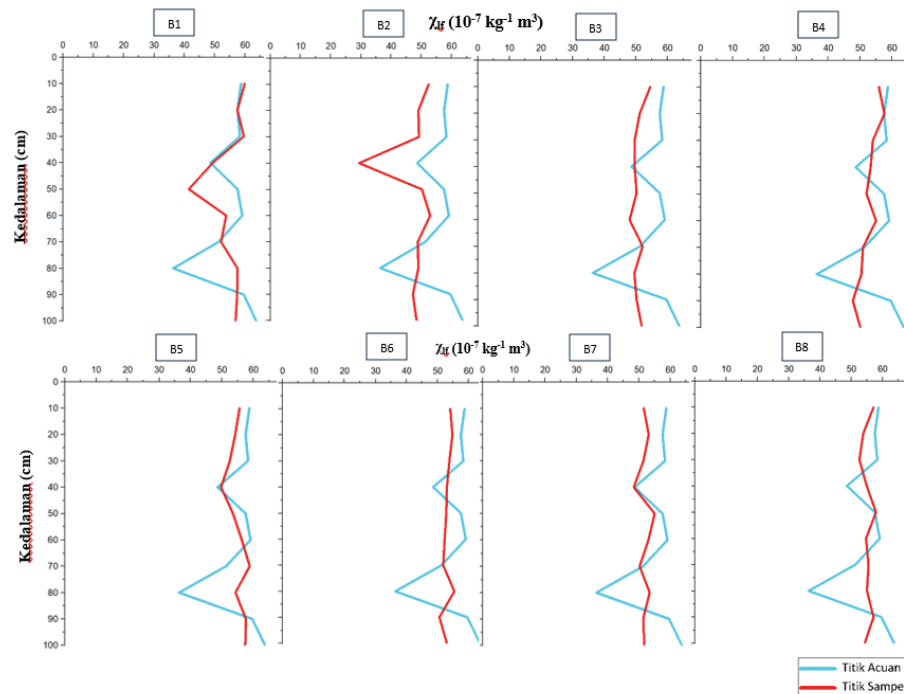
Titik Sampel	Nilai χ_{lf} sampel ($\times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$) pada kedalaman									
	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm	60 cm	70 cm	80 cm	90 cm	100 cm
A1	354,8	326,0	311,6	317,8	361,4	342,1	334,3	311,2	297,7	280,9
A2	377,7	419,3	347,5	366,8	312,4	368,3	254,5	220,5	194,1	183,7
A3	331,9	284,3	290,8	301,5	312,0	327,9	304,7	279,6	272,1	271,6
A4	417,2	424,4	406,3	244,9	264,0	254,7	232,6	224,1	213,1	203,0
A5	320,8	279,7	234,2	253,3	237,5	235,7	197,5	207,5	219,4	214,5
A6	372,7	353,3	384,1	367,8	435,5	424,9	370,0	311,3	340,7	322,6
A7	297,5	274,9	246,7	239,0	287,3	256,5	222,2	211,9	341,1	317,3
A8	312,9	300,6	259,9	261,4	274,5	264,4	288,0	266,5	356,8	329,5
B1	600,4	576,9	597,3	495,2	416,9	539,2	522,7	576,6	575,6	570,1
B2	520,9	491,1	493,8	495,4	503,9	530,4	489,8	491,0	473,6	485,0
B3	546,1	513,6	497,4	497,0	503,3	481,7	522,1	496,5	503,3	519,3
B4	560,0	577,6	541,3	534,2	521,3	551,2	510,8	505,5	478,7	502,6
B5	557,1	543,9	526,5	498,7	536,9	564,9	589,4	544,9	577,8	575,1
B6	542,2	549,2	539,0	531,4	529,7	524,9	519,5	555,0	507,7	531,2
B7	516,4	532,2	515,0	484,2	551,5	531,6	503,8	535,4	514,6	518,6
B8	572,0	539,9	527,0	550,0	580,9	548,1	556,6	551,7	572,6	544,6
Acuan	588,0	576,8	584,7	487,9	576,6	592,2	514,6	365,8	597,6	638,3



Gambar 2 Grafik hubungan nilai χ_{lf} sampel Lintasan A dan titik acuan terhadap kedalaman.

Selanjutnya hubungan nilai χ_{lf} sampel dari titik-titik pengambilan sampel pada masing-masing lintasan dan titik acuan terhadap kedalaman disajikan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 2 (Lintasan A) dan Gambar 3 (Lintasan B). Dari Gambar 2 terlihat nilai χ_{lf} sampel di setiap titik di Lintasan A jauh lebih kecil dari nilai χ_{lf} sampel di titik acuan. Hal ini menunjukkan bahwa lereng

Lintasan A telah mengalami erosi. Mulai dari titik A1 (terendah) hingga titik A8 (tertinggi) terlihat bahwa kurva nilai χ_{lf} sampel Lintasan A cenderung menjauhi kurva nilai χ_{lf} sampel titik acuan. Hal ini menunjukkan bahwa proses erosi dimulai dari puncak lereng dan terjadi pengendapan di kaki lereng. Pendugaan kedalaman erosi dapat dilihat dari posisi perpotongan pertama dari permukaan antara kurva nilai χ_{lf} sampel daerah yang diteliti dan titik acuan (Yue dkk., 2019). Kurva nilai χ_{lf} sampel Lintasan A dan titik acuan tidak ada satupun saling berpotongan, sehingga diduga pada lereng Lintasan A telah terjadi erosi hingga kedalaman 100 cm (Sitompul & Budiman, 2022).



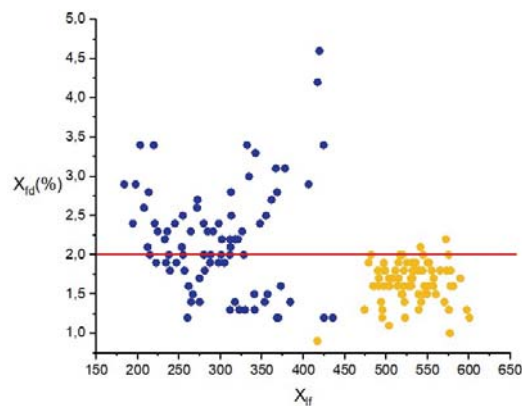
Gambar 3 Grafik hubungan nilai χ_{lf} sampel Lintasan B dan titik acuan terhadap kedalaman.

Berbeda dengan Lintasan A, nilai χ_{lf} sampel di setiap titik di Lintasan B hampir mendekati nilai χ_{lf} sampel di titik acuan dan bahkan di titik B1 (terendah) nilai χ_{lf} sampel sedikit lebih besar dari nilai χ_{lf} sampel di titik acuan (Gambar 3). Hal ini menunjukkan bahwa pada lereng Lintasan B juga telah terjadi erosi tetapi tidak separah lereng Lintasan A. Mulai dari titik B1 (terendah) hingga titik B8 (tertinggi) terlihat bahwa kurva nilai χ_{lf} sampel Lintasan B cenderung menjauhi kurva nilai χ_{lf} sampel titik acuan yang menunjukkan telah terjadi pengendapan di kaki lereng dan erosi semakin meningkat ke arah puncak lereng. Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa posisi perpotongan pertama dari permukaan tanah antara kurva nilai χ_{lf} sampel Lintasan B dan titik acuan (kecuali di titik B1) yaitu pada kedalaman 70 cm (B2), 40 cm (B3), 20 cm (B4), 40 cm (B5), 35 cm (B6), 40 cm (B7) dan 35 cm (B8). Dengan mengabaikan hasil dari titik B2, erosi pada lereng Lintasan B diduga telah terjadi hingga kedalaman 40 cm.

Selanjutnya nilai SM gayut-frekuensi (χ_{fd}) sampel Lintasan A nilai χ_{fd} berkisar dari 1,2 hingga 4,6% dengan nilai rata-rata 2,2%, sedangkan sampel Lintasan B nilai χ_{fd} berkisar dari 0,9 hingga 2,2% dengan nilai rata-rata 1,6%. Hubungan nilai χ_{lf} dan χ_{fd} dari sampel pada masing-masing lintasan disajikan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 4. Untuk Lintasan A hanya sebagian sampel mempunyai nilai χ_{fd} kurang dari 2,0 % dan sebaran nilai χ_{lf} dan χ_{fd} relatif berbanding lurus, artinya kenaikan nilai χ_{lf} diikuti oleh nilai χ_{fd} . Berbeda untuk Lintasan B, hampir keseluruhan sampel mempunyai nilai χ_{fd} kurang dari 2,0 % dan sebaran kenaikan nilai χ_{lf} tidak diikuti oleh nilai χ_{fd} .

Menurut Dearing (1999), nilai χ_{fd} menggambarkan persentase keberadaan bulir Superparamagnetik (SP) dalam tanah. Bulir SP mempunyai ukuran yang sangat halus yang berasal dari bulir-bulir

magnetik lainnya yang berukuran lebih besar seperti *Single Domain* (SD), *Pseudo Single Domain* (PSD) dan *Multi Domain* (MD). Perubahan suatu bulir magnetik menjadi SP dapat terjadi secara alami (pedogenik) dan gangguan dari luar (antropogenik). Erosi adalah salah satu bentuk gangguan dari luar. Keberadaan bulir SP menggambarkan gangguan struktur tanah yaitu pelapukan butir-butir tanah. Erosi merupakan gangguan yang dapat mempercepat pelapukan tanah. Berdasarkan nilai χ_{fd} (%) dan sebaran nilai χ_{lf} dan χ_{fd} , diduga Lintasan A mengalami erosi lebih parah dari Lintasan B



Gambar 4 Grafik hubungan χ_{lf} pada χ_{fd} sampel Lintasan A (warna biru) dan Lintasan B (warna kuning).

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis grafik hubungan nilai χ_{lf} sampel dari titik-titik pada masing-masing lintasan dan titik acuan terhadap kedalaman diduga Lintasan A mengalami erosi lebih parah dari Lintasan B dengan erosi pada lereng Lintasan A dan Lintasan B berturut-turut diduga telah terjadi hingga kedalaman 100 cm dan 40 cm. Dari analisis nilai χ_{fd} dan grafik mempunyai nilai χ_{lf} dan χ_{fd} diduga tanah pada Lintasan A mengalami pelapukan akibat gangguan yang berasal dari luar (antropogenik) yaitu erosi. Parahnya erosi yang dialami oleh lereng Lintasan A dibandingkan Lintasan B, diduga oleh faktor kemiringan dan jenis dan ukuran vegetasi tanaman yang tumbuh pada lereng, sehingga dapat dikatakan bahwa lereng Lintasan A mempunyai potensi longsor yang lebih besar dibandingkan lereng Lintasan B.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S. (2009). *Konservasi tanah dan air*. Pt Penerbit Ipb Press.
- BPS Agam. (2021). *Kecamatan Palembang Dalam Angka 2021*. 2021. <https://agamkab.bps.go.id/publication/2021/09/24/608c837976af49cdf82e5569/kecamatan-palembayan-dalam-angka-2021.html>
- De Jong, E., Pennock, D. J., & Nestor, P. A. (2000). Magnetic susceptibility of soils in different slope positions in Saskatchewan, Canada. *Catena*, 40(3), 291–305. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(00\)00080-1](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00080-1)
- Dearing, J. A. (1999). *MS2/MS3 Magnetic Susceptibility System Manual*. British Library
- Derajah, A., & Budiman, A. (2022). Analisis Nilai Suseptibilitas Magnetik Tanah Untuk Pendugaan Erosi di Daerah Sekitar Jalan Lintas Sungai Penuh-Tapan. *Jurnal Fisika Unand*, 11(3), 341–347. <https://doi.org/10.25077/jfu.11.3.341-347.2022>
- Eso, R., Safiuddin, L. O., Bijaksana, S., Ngkoimani, L. O., Agustine, E., Tamuntuan, G., Tufaila, M., Syaf, H., Harudu, L., Alfat, S., Usman, I., Hasrorayan, & Ardin. (2019). Patterns of variation magnetic properties and chemical elements of soil profile in landslide area of South East Sulawesi Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 311(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/311/1/012008>

- Finaka, A. W. (2023). *4.940 Bencana Terjadi di Indonesia Sepanjang 2023*. <https://indonesiabaik.id/infografis/4940-bencana-terjadi-di-indonesia-sepanjang-2023>
- 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.
- 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 Conference and Exhibition 2022*, *5*, 3376–3380. <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>
- Mullins, C. E. (1977). Magnetic Susceptibility of the Soil and Its Significance in Soil Science – a Review. *Journal of Soil Science*, *28*(2), 223–246. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1977.tb02232.x>
- 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>
- Ramdhani, R., Fitriani, D., Kirana, K. H., Wijatmoko, B., & Sutanto, O. (2016). Magnetic properties of soils from landslide potential area (Case study: Pasir Ipis-Lembang, West Bandung). *Journal of Physics: Conference Series*, *739*(1), 2–7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/739/1/012107>
- Silvia, C. R., Rifai, H., & Dwiridal, L. (2022). *Application of Rock Magnetic Methods to Landslide Disaster Vulnerability: a Case Study (Malalak, Agam Regency)*. *15*(2), 105–110.
- Sitompul, E. G., & Budiman, A. (2022). Pendugaan Kedalaman Erosi Melalui Analisis Nilai Suseptibilitas Magnetik Tanah Di Salah Satu Daerah Lereng Nagari Bukik Limbuku. *Jurnal Fisika Unand*, *12*(1), 56–62. <https://doi.org/10.25077/jfu.12.1.56-62.2023>
- Yue, Y., Keli, Z., Liang, L., Qianhong, M., & Jianyong, L. (2019). Estimating long-term erosion and sedimentation rate on farmland using magnetic susceptibility in northeast China. *Soil and Tillage Research*, *187*, 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.11.011>
- Zhang, J. H., Su, Z. A., & Nie, X. J. (2009). An investigation of soil translocation and erosion by conservation hoeing tillage on steep lands using a magnetic tracer. *Soil and Tillage Research*, *105*(2), 177–183. <https://doi.org/10.1016/j.still.2009.07.006>