Jurnal Fisika Unand (JFU)
Vol. 15, No. 6, November 2026, hal.570 – 577
ISSN: 2302-8491 (Print); 2686-2433 (Online)
https://doi.org/10.25077/jfu.15.6.570-577.2026

Open Access

Karakterisasi Tanah Sawah Akibat Pengairan Berdasarkan Sifat dan Mineral Magnetik di Nagari Sungai Tarab dan Padang Laweh Kecamatan Sungai Tarab

Fajar Budi Raharja, 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: 29 September 2026
Direvisi: 19 Oktober 2026
Diterima: 30 Oktober 2026

Kata kunci:
oksida besi,
sifat magnetik tanah,
suseptibilitas magnetik,
warna tanah,
XRF

ABSTRAK

Perbedaan warna tanah sawah di Nagari Sungai Tarab yang berwarna hitam pekat dan Nagari Padang Laweh yang berwarna cokelat menjadi indikasi awal adanya perbedaan karakteristik tanah, khususnya komposisi mineral dan sifat magnetiknya. Penelitian ini bertujuan mengkarakterisasi tanah sawah berdasarkan sifat magnetik dan komposisi oksidanya pada kondisi pengairan yang berbeda di Nagari Sungai Tarab dan Nagari Padang Laweh, Kecamatan Sungai Tarab, Kabupaten Tanah Datar, Sumatera Barat. Sampel tanah diambil pada kedalaman 20 cm, masing-masing sebanyak 10 sampel pada kondisi kering dan 10 sampel pada kondisi tergenang di setiap lokasi. Karakterisasi dilakukan melalui pengukuran suseptibilitas magnetik frekuensi rendah (κ_{lf}) menggunakan Bartington MS2B dan analisis komposisi oksida menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rata-rata κ_{lf} di Nagari Padang Laweh lebih tinggi dibandingkan dengan Nagari Sungai Tarab, baik pada kondisi kering maupun tergenang. Pada kedua lokasi, nilai rata-rata κ_{lf} pada kondisi tergenang lebih rendah daripada kondisi kering. Sifat magnetik yang mengontrol nilai κ_{lf} diduga berkaitan dengan kontribusi mineral paramagnetik dan ferimagnetik dalam tanah. Hasil XRF pada sampel terpilih menunjukkan bahwa konsentrasi Fe_2O_3 menurun pada kondisi tergenang dan nilai κ_{lf} cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi Fe_2O_3. Perbedaan warna tanah, yaitu hitam pekat di Nagari Sungai Tarab dan cokelat di Nagari Padang Laweh, diduga berkaitan dengan perbedaan karakteristik bahan organik dan oksida besi.

Keywords:
iron oxides
magnetic susceptibility
soil color
soil magnetic properties
XRF

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

The difference in the color of paddy soil—jet black in Nagari Sungai Tarab and brown in Nagari Padang Laweh—serves as an initial indicator of variations in soil characteristics, specifically regarding mineral composition and magnetic properties. This study aims to characterize paddy soil based on its magnetic properties and oxide composition under different irrigation conditions in Nagari Sungai Tarab and Nagari Padang Laweh, located in the Sungai Tarab District, Tanah Datar Regency, West Sumatra. Soil samples were collected at a depth of 20 cm, with 10 samples taken under dry conditions and 10 under submerged (flooded) conditions at each location. Characterization was conducted by measuring low-frequency magnetic susceptibility (κ_{lf}) using a Bartington MS2B instrument and analyzing oxide composition via X-Ray Fluorescence (XRF). The results indicate that the mean κ_{lf} values in Nagari Padang Laweh are higher than those in Nagari Sungai Tarab, under both dry and submerged conditions. At both locations, the mean κ_{lf} values are lower under submerged conditions compared to dry conditions. The magnetic properties governing the κ_{lf} values are thought to be related to the contribution of paramagnetic and ferrimagnetic minerals within the soil. XRF analysis of selected samples reveals that Fe_2O_3 concentrations decrease under submerged conditions, and κ_{lf} values tend to increase as Fe_2O_3 concentrations rise. The observed difference in soil color—jet black in Nagari Sungai Tarab versus brown in Nagari Padang Laweh—is likely linked to variations in the characteristics of organic matter and iron oxides.Research has been conducted to characterise paddy soil due to irrigation based on the properties and magnetic minerals of the soil.

Copyright © 2026 Author(s)

I. PENDAHULUAN

Tanah sawah di Nagari Sungai Tarab dan Nagari Padang Laweh, Kecamatan Sungai Tarab, Kabupaten Tanah Datar, Sumatera Barat, menunjukkan fenomena perbedaan warna yang mencolok. Tanah sawah di Nagari Sungai Tarab berwarna hitam gelap, sedangkan tanah sawah di Nagari Padang Laweh berwarna cokelat. Perbedaan warna tersebut menjadi indikasi awal adanya perbedaan karakteristik tanah yang perlu dikaji lebih lanjut. Warna tanah dapat berkaitan dengan kandungan bahan organik dan komposisi mineral penyusunnya, termasuk mineral besi.

Kondisi pengairan memengaruhi lingkungan kimia tanah. Pada kondisi kering, tanah cenderung aerobik, sedangkan genangan air membatasi difusi oksigen dan mendorong terbentuknya kondisi anaerobik (Han dkk., 2025; Huang dkk., 2018) . Perubahan potensial redoks tersebut memengaruhi reaksi reduksi-oksidasi dan transformasi mineral besi, seperti magnetit (Fe_3O_4), maghemit (γ-Fe_2O_3), dan hematit (α-Fe_2O_3), yang memiliki karakteristik magnetik berbeda (Chen dkk., 2022). Oleh karena itu, perubahan kondisi pengairan dapat memengaruhi suseptibilitas magnetik (SM) tanah melalui proses pelarutan dan pembentukan mineral (Huang dkk., 2018; Maidani dkk., 2023).

Suseptibilitas magnetik merupakan ukuran respons bahan terhadap medan magnet luar yang dipengaruhi oleh jenis, konsentrasi, ukuran butir, dan karakteristik mineral magnetik. Sementara itu, metode *X-Ray Fluorescence* (XRF) digunakan untuk menganalisis komposisi unsur dan oksida dalam sampel tanah. Penggabungan kedua metode ini dapat memberikan informasi mengenai karakteristik magnetik dan komposisi kimia tanah.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa nilai SM tanah sawah dapat berbeda antarlokasi (Niarta dkk., 2021) , dipengaruhi oleh pemupukan (Maidani dkk., 2023), serta dikaji bersama warna tanah untuk memprediksi kandungan karbon organik (Rakotonindrina dkk., 2023). Namun, karakterisasi tanah sawah berwarna hitam di Nagari Sungai Tarab dan berwarna cokelat di Nagari Padang Laweh berdasarkan kondisi pengairan dengan menggabungkan pengukuran SM dan analisis XRF masih perlu dilakukan.

Penelitian ini bertujuan mengkarakterisasi tanah sawah di kedua lokasi melalui pengukuran SM pada kondisi kering dan tergenang, analisis komposisi oksida menggunakan XRF, serta kajian hubungan antara nilai SM dan kandungan hematit (Fe_2O_3). Hasil penelitian diharapkan memberikan informasi mengenai perbedaan sifat magnetik tanah berdasarkan lokasi dan kondisi pengairan, serta kemungkinan keterkaitan komposisi oksida dengan perbedaan warna tanah.

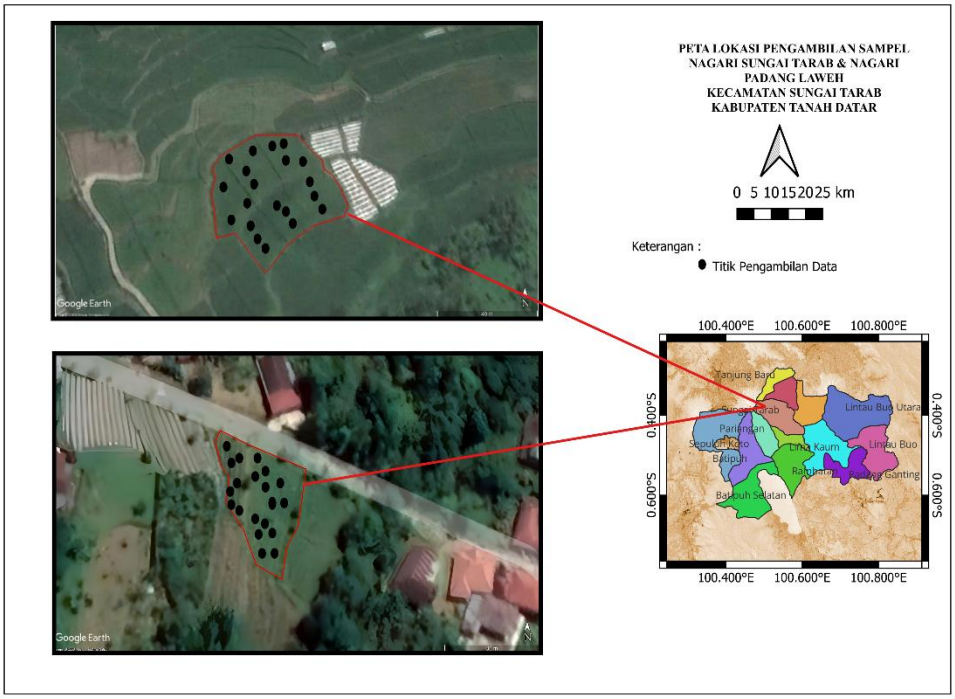
II. METODE

Penelitian ini dilakukan di Nagari Sungai Tarab dan Nagari Padang Laweh, Kecamatan Sungai Tarab, Kabupaten Tanah Datar, Sumatera Barat (Gambar 1). Pengambilan sampel dilakukan pada dua lokasi dengan karakteristik warna tanah yang berbeda, yaitu tanah berwarna hitam gelap di Nagari Sungai Tarab dan tanah berwarna cokelat di Nagari Padang Laweh. Pada setiap lokasi, sampel tanah diambil secara acak pada kondisi kering dan tergenang air, masing-masing sebanyak 10 sampel. Pengambilan sampel pada kedua kondisi dilakukan pada posisi yang sama dalam satu petak sawah pada waktu yang berbeda. Sampel tanah tergenang diambil setelah sawah tergenang selama 11 hari, sedangkan sampel tanah kering diambil setelah sawah berada dalam kondisi kering selama 30 hari. Pengambilan sampel dilakukan menggunakan pipa PVC berdiameter ½ inci yang ditancapkan ke dalam tanah hingga kedalaman 20 cm. Tanah di dalam pipa kemudian diambil dan dimasukkan ke dalam kantong plastik *ziplock* yang telah diberi label sesuai dengan lokasi dan kondisi pengambilan sampel.

Selanjutnya sampel dibawa ke Laboratorium Fisika Bumi Departemen Fisika FMIPA Universitas Andalas untuk dikeringkan pada temperatur ruang selama 5 hari untuk menghilangkan kandungan air. Setelah itu sampel digerus menggunakan mortal dan alu hingga halus, kemudian diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Tanah yang telah diayak dimasukkan ke dalam wadah sampel untuk dilakukan pengukuran nilai SM di Laboratorium Geofisika, Material dan Biofisika Departemen Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang. Nilai SM setiap sampel diukur menggunakan alat Bartington *Magnetic Susceptibility Meter* MS2B pada frekuensi rendah yaitu 0,47 kHz yang dinyatakan sebagai κ_{lf}. Pengukuran pada frekuensi rendah ini sangat penting untuk mendeteksi kontribusi total dari seluruh material magnetik di dalam sampel tanpa dipengaruhi oleh efek ketergantungan frekuensi (*frequency-dependent susceptibility*) yang biasa digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan bulir-bulir mineral

superparamagnetik halus (Dearing, 1999). Pengukuran untuk masing-masing sampel dilakukan sebanyak tiga kali.

Setelah nilai suseptibilitas magnetik sampel didapatkan, selanjutnya sebanyak 4 sampel yang memiliki nilai SM tertinggi untuk kondisi sawah kering dan sawah digenangi air dari masing-masing lokasi dilakukan uji XRF untuk mengetahui jenis dan kandungan sampel. Uji XRF dilakukan di Laboratorium Sentral Universitas Andalas.



Gambar 1. Peta lokasi pengambilan sampel tanah sawah

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Analisis Sifat Magnetik Tanah Berdasarkan Nilai Suseptibilitas Magnetik

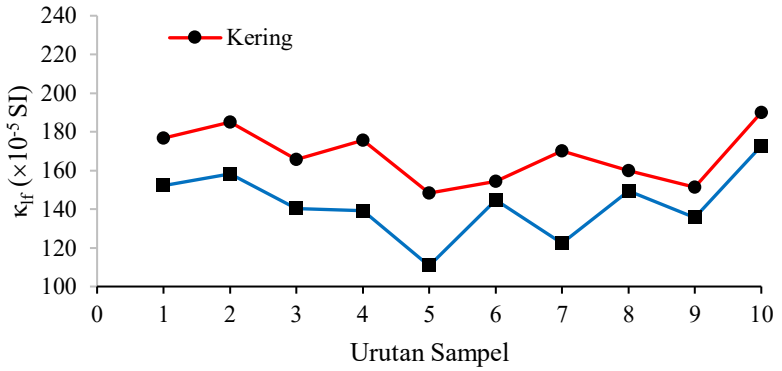
Hasil pengukuran suseptibilitas magnetik frekuensi rendah (κ_{lf}) dan perhitungan nilai rata-rata sampel tanah sawah untuk Nagari Sungai Tarab dan Nagari Padang Laweh pada kondisi kering dan tergenang air disajikan pada Tabel 1. Dari Tabel 1 terlihat bahwa nilai rata-rata κ_{lf} berfluktuasi baik sampel kering maupun tergenang air. Nilai rata-rata κ_{lf} sampel tanah sawah kering di Nagari Sungai Tarab berkisar antara $148{,}3\times10^{-5}$ SI (STK5) dan $190{,}0\times10^{-5}$ SI (STK10), dengan nilai rata-rata sebesar $167{,}7\times10^{-5}$ SI dan standar deviasi sebgesar $14{,}28\times10^{-5}$ SI. Sementara itu, sampel tanah sawah tergenang air memiliki nilai κ_{lf} berkisar antara $110{,}7\times10^{-5}$ SI (STB5) dan $172{,}7\times10^{-5}$ SI (STB10), dengan nilai rata-rata sebesar $142{,}6\times10^{-5}$ SI dan standar deviasi sebesar $17{,}60\times10^{-5}$ SI.

Untuk sampel dari Nagari Padang Laweh untuk tanah kering nilai κ_{lf} berada pada rentang $203{,}3\times10^{-5}$ SI (PLK1) hingga $324{,}3\times10^{-5}$ SI (PLK10), dengan nilai rata-rata sebesar $271{,}4\times10^{-5}$ SI dan standar deviasi $40{,}57\times10^{-5}$ SI. Adapun sampel tanah tergenang air menunjukkan nilai antara $192{,}3\times10^{-5}$ SI (PLB1) dan $302{,}0\times10^{-5}$ SI (PLB10), dengan rata-rata $255{,}0\times10^{-5}$ SI serta standar deviasi $39{,}02\times10^{-5}$ SI. Secara keseluruhan, nilai κ_{lf} tanah sawah di Nagari Padang Laweh lebih tinggi dibandingkan dengan Nagari Sungai Tarab, baik pada kondisi kering maupun tergenang. Perbedaan ini menunjukkan bahwa kedua lokasi memiliki karakteristik magnetik tanah yang berbeda. Menurut Tarling & Hrouda (1993) nilai κ_{lf} suatu batuan dikontrol oleh sifat magnetik mineral yang terkandung di dalamnya. Jika nilai κ_{lf} sampel lebih dari 500×10^{-5} SI, maka nilai κ_{lf} tanah dikontrol oleh mineral yang bersifat ferimagnetik. Jika nilai κ_{lf} antara $50{,}0\times10^{-5}$ SI dan 500×10^{-5} SI, maka nilai κ_{lf} batuan dikontrol oleh mineral yang bersifat ferimagnetik dan paramagnetik. Jika nilai κ_{lf} kecil dari $50{,}0\times10^{-5}$ SI, maka nilai κ_{lf} batuan dikontrol oleh mineral yang bersifat paramagnetik. Oleh karena itu, dari pada Tabel 1 dan Tabel 2, nilai

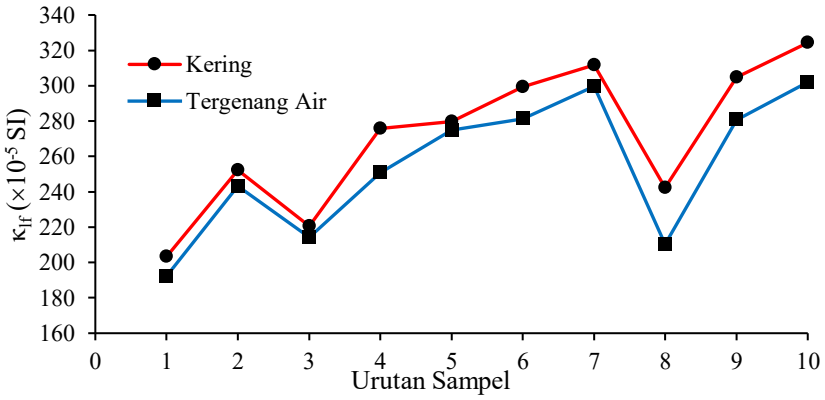
κ_{lf} yang terdapat yang terdapat pada sampel baik kering maupun tergenang yang berasal dari kedua nagari yaitu Nagari Sungai Tarab dan Nagari Padang Laweh dikontrol oleh mineral magnetik yang bersifat ferimagnetik dan paramanetik.

Tabel 1. Data pengukuran dan perhitungan nilai κ_{lf} rata-rata sampel Nagari Sungai Tarab.

No.	Nagari Sungai Tarab				Nagari Padang Laweh			
	Kering		Tergenang		Kering		Tergenang	
	Nama sampel	κ_{lf} (10^{-5} SI)	Nama sampel	κ_{lf} (10^{-5} SI)	Nama sampel	κ_{lf} (10^{-5} SI)	Nama sampel	κ_{lf} (10^{-5} SI)
1	STK1	176,7	STB1	152,3	PLK1	203,3	PLB1	192,3
2	STK2	185,0	STB2	158,3	PLK2	252,3	PLB2	243,3
3	STK3	165,7	STB3	140,3	PLK3	220,7	PLB3	214,3
4	STK4	175,7	STB4	139,3	PLK4	275,7	PLB4	250,7
5	STK5	148,3	STB5	110,7	PLK5	279,7	PLB5	275,0
6	STK6	154,3	STB6	144,7	PLK6	299,3	PLB6	281,3
7	STK7	170,0	STB7	122,3	PLK7	311,7	PLB7	299,7
8	STK8	160,0	STB8	149,3	PLK8	242,3	PLB8	210.3
9	STK9	151,3	STB9	135,7	PLK9	304,7	PLB9	280,7
10	STK10	190,0	STB10	172,7	PLK10	324,3	PLB10	302,0
	Rerata	**167,7**	**Rerata**	**142,6**	**Rerata**	**271,4**	**Rerata**	**255,0**



Gambar 2. Variasi nilai κ_{lf} rata-rata sampel sawah kering dan tergenang air dari Nagari Sungai Tarab.



Gambar 3. Variasi nilai κ_{lf} rata-rata sampel sawah kering dan tergenang air dari Nagari Padang Laweh.

Variasi nilai κ_{lf} terhadap urutan penngambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 2 (Nagari Sungai Tarab dan Gambar 3 (Nagari Padang Laweh). Dari kedua gambar terlihat bahwa nilai κ_{lf} sampel dari kedua lokasi baik kering maupun tergenang berfluktuasi. Konsentrasi dan jenis mineral magnetik merupakan faktor-faktor yang memengaruhi nilai suseptibilitas magnetik tanah, dimana sifat magnetik ditentukan oleh jenis mineral magnetik. Adapun variasi nilai κ_{lf} pada sampel dari kedua nagari dan pada kedua kondisi diduga disebabkan lebih disebabkan konsentrasi mineral magnetik yang tidak merata di dalam masing-masing sampel. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yaitu adanya perbedaan kandungan bahan organik, kondisi drainase, serta tingkat kejenuhan air dapat memengaruhi kondisi oksidasi-reduksi tanah. Pada tanah sawah, perubahan kondisi redoks selama penggenangan berpotensi memengaruhi pembentukan, pelarutan, dan transformasi mineral oksida besi yang berkontribusi terhadap sifat magnetiknya (Maxbauer dkk., 2016).

3.2. Analisis XRF dan Kaitannya dengan Sifat Magnetik Tanah dan Warna Tanah

Hasil uji XRF pada sampel dari Nagari Sungai Tarab untuk kondisi kering yaitu STK10 (kering) dan STB10 (tergenang) dan Nagari Padang Laweh yaitu PLK10 (kering) dan PLB10 (tergenang) dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil uji XRF menunjukkan bahwa komponen dominan pada pada keempat sampel adalah SiO_2 (silikon dioksida), Al_2O_3 (aluminium oksida) dan Fe_2O_3 (hematit). Walaupun SiO_2 mempunyai konsentrasi paling tinggi, tetapi tidak mempengaruhi nilai κ_{lf} karena bersifat diagmanetik yang memberikan respons magnetik sangat lemah dan berlawanan arah dengan medan magnet eksternal. Oleh karena itu Fe_2O_3 yang bersifat ferimagnetik dan mineral Al_2O_3 yang bersifat paramagnetik yang dapat memberikan kontribusi nilai κ_{lf}. Hal ini sejalan dengan Tarling & Hrouda (1993), yang menyatakan bahwa apabila nilai κ_{lf}.berada antara $50{,}0\times10^{-5}$ SI dan 500×10^{-5} SI, nilai suseptibilitas magnetik batuan dikontrol oleh mineral yang bersifat ferimagnetik dan paramagnetik yaitu mineral Fe_2O_3 dan Al_2O_3.

Tabel 3. Jenis-jenis dan konsentrasi mineral sampel Nagari Sungai Tarab dan Nagari Padang Laweh hasil uji XRF.

No.	Mineral	Sifat Magnetik	Konsentrasi (%)			
			STK10	STB10	PLK10	PLB10
1	Na_2O	Diamagnetik	0,339	0,586	0,270	0,283
2	MgO	Diamagnetik	0,000	0,149	0,000	0,000
3	Al_2O_3	Paramagnetik	15,020	13,638	16,309	16,513
4	SiO_2	Diamagnetik	34,262	34,686	31,673	32,469
5	P_2O_5	Diamagnetik	0,400	0,204	0,312	0,332
6	SO_3	Diamagnetik	0,231	0,223	0,214	0,227
7	Cl	Diamagnetik	0,175	0,197	0,167	0,172
8	K_2O	Paramagnetik	0,591	0,690	0,576	0,583
9	CaO	Paramagnetik	1,239	2,492	0,969	1,037
10	TiO_2	Paramagnetik	1,190	1,084	1,215	1,242
11	Mn_2O_3	Paramagnetik	0,173	0,122	0,210	0,221
12	Fe_2O_3	Ferimagnetik	14,406	11,255	15,897	15,532
13	BaO	Diamagnetik	0,157	0,139	0,179	0,193

Hasil uji XRF pada Tabel 2 juga menunjukkan bahwa untuk sampel dari Nagari Sungai Tarab konsentrasi Fe_2O_3 mengalami penurunan dari 14,406% (kering) menjadi 11,225% (tergenang) dengan selisih 3,181% dan begitu juga untuk konsentrasi Al_2O_3 menurun dari 15,020% (kering) menjadi 13,638% (tergenang) dengan selisih 1,382%. Sedikit berbeda yang terjadi untuk sampel dari Nagari Padang Laweh konsentrasi Fe_2O_3 mengalami penurunan dari 15,897% (kering) menjadi 15,532% (tergenang) dengan selisih hanya 0,365% dan begitu juga untuk konsentrasi Al_2O_3 naik dari 16,309% (kering) menjadi 16,513% (tergenang) dengan selisih 0,204%. Penurunan konsentrasi Fe_2O_3 yang lebih besar di Sungai Tarab dibandingkan Padang Laweh sejalan dengan penurunan relatif nilai κ_{lf} yang juga lebih besar yaitu 15,0 % (Sungai Tarab) dan 6,1% (Padang Laweh). Hasil ini menunjukkan keterkaitan bahwa perubahan konsentrasi mineral Fe_2O_3 yang sangat dominan memengaruhi nilai κ_{lf}.

Penurunan konsentrasi mineral Fe_2O_3 dari kondisi kering menjadi kondisi tergenang dikarenakan ketika lahan mengalami penggenangan air (seperti pada sampel STB10 dan PLB10), kondisi lingkungan berubah menjadi anoksik **(**suatu kondisi lingkungan yang sangat kekurangan atau sama sekali tidak memiliki oksigen molekuler atau oksigen bebas (O_2) dan memicu proses disolusi reduktif (*reductive dissolution*) (Li dkk., 2020; Smith dkk., 2021). Dalam kondisi miskin oksigen ini, ion besi tak larut (Fe^{3+}) yang berada dalam struktur ferimagnetik Fe_2O_3 mengalami reduksi kimiawi menjadi ion ferro (Fe^{2+}) yang bersifat mudah larut dalam air (Amin dkk., 2026; Bühring dkk., 2025). Proses pelarutan dan pencucian (*leaching*) hidrologis inilah yang secara langsung mereduksi persentase total Fe_2O_3 di dalam tanah (Rahma & Sarifuddin, 2025; Yelmiza dkk., 2024).

Secara visual, tanah sawah di Nagari Sungai Tarab memiliki warna hitam gelap, sedangkan tanah sawah di Nagari Padang Laweh berwarna cokelat. Perbedaan warna tersebut dapat berkaitan dengan perbedaan kandungan bahan organik serta komposisi dan karakteristik oksida besi pada tanah. Bahan organik, terutama hasil dekomposisi yang membentuk humus, berkontribusi terhadap warna gelap hingga hitam, sedangkan oksida besi dapat menghasilkan warna cokelat, kuning, atau merah bergantung pada jenis mineral dan kondisi pembentukannya (Rakotonindrina dkk., 2023; Scheinost and Schwertmann, 1999). Hasil uji XRF menunjukkan bahwa konsentrasi Fe_2O_3 pada sampel Nagari Padang Laweh lebih tinggi dibandingkan Nagari Sungai Tarab, baik pada kondisi kering maupun tergenang.. Kandungan Fe_2O_3 lebih banyak pada tanah dari Nagari Padang Laweh menghasilkan tanah yang berwarna coklat dan nilai κ_{lf} yang lebih tinggi dan sebaliknya untuk tanah dari Nagari Sungai Tarab.

IV. KESIMPULAN

Nilai κ_{lf} sampel Sungai Tarab dan Padang Laweh baik dari sawah kering dan sawah tergenang air dikontrol oleh mineral yang bersifat ferimagnetik dan paramagnetik. Nilai κ_{lf} sampel Sungai Tarab lebih kecil dibandingkan sampel Padang Laweh, namun baik sampel Sungai Tarab maupun Padang Laweh, κ_{lf} sampel dari sawah tergenang air lebih kecil dibandingkan sawah kering. Hasil uji XRF memvalidasi bahwa sampel mengandung mineral paramagnetik yaitu aluminium oksida (Al_2O_3) dan ferimagnetik yaitu hematit (Fe_2O_3) dan semakin tinggi nilai κ_{lf} maka semakin tinggi konsentrasi mineral hematit (Fe_2O_3). Penurunan konsentrasi mineral Fe_2O_3 mengalami penurunan dari kondisi kering menjadi kondisi tergenang Warna coklat pada tanah Padang Laweh diduga dari tingginya tingginya konsentrasi mineral hematit (Fe_2O_3).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Bapak Prof. Dr. Asrizal, M.Si selaku Ketua Departemen Fisika, Bapak Dr. Hamdi, M.Si dan Bapak Edi Kurnia S.Si. selaku Kepala dan Teknisi Laboratorium Geofisika, Material dan Biofisika Departemen Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang yang telah memberikan izin dan membantu penulis untuk menggunakan alat Bartington *Magnetic Suseptibility Meter* MS2 sensor MS2B.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan tidak terdapat konflik kepentingan.

PERNYATAAN PENDANAAN

Penelitian ini tidak memperoleh pendanaan khusus.

PERNYATAAN PENGGUNAAN AI GENERATIF DAN TEKNOLOGI BERBASIS AI

Selama proses penyusunan manuskrip ini, penulis menggunakan ChatGPT GPT-6 untuk membantu produktivitas (seperti parafrase atau pengecekan bahasa). Penulis telah meninjau dan memverifikasi keluaran yang dihasilkan serta bertanggung jawab penuh atas isi dan integritas publikasi.

DAFTAR PUSTAKA

Amin, L., Al-Juboori, R. A., Hauduc, H., Mikola, A., & Sperandio, M. (2026). Oxidation of ferrous iron in aerobic and anoxic conditions in activated sludge systems. *Water Research*, *305*. https://doi.org/10.1016/j.watres.2026.126508

Bühring, S. I., Böhnke-Brandt, S., Diehl, A., Gledhill, M., Haffert, L., Kleint, C., Koschinsky, A., Lennartz, S., Perner, M., Sander, S. G., Völker, C., & Ye, Y. (2025). Iron's irony: speciation, complexation & microbial processing of Fe in hydrothermal plumes. Dalam *Communications Earth and Environment* (Vol. 6, Nomor 1). Nature Publishing Group. https://doi.org/10.1038/s43247-025-02839-4

Chen, L., & Li, K. (2025). Mid-Holocene hydroclimatic changes drove Neolithic agricultural development in the Luoyang Basin of the Central Plains, China. *Catena*, *258*. https://doi.org/10.1016/j.catena.2025.109241

Chen, L., Zhao, D., Han, G., Yang, F., Gong, Z., Song, X., Li, D., & Zhang, G. (2022). Iron loss of paddy soil in China and its environmental implications. *Science China Earth Sciences*, *65*(7), 1277–1291. https://doi.org/10.1007/s11430-021-9936-6

Cornell, R. M. ., & Schwertmann, Udo. (2003). *The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrence, and uses*. VCH.

Dearing, J. A. (1999). *Environmental magnetic susceptibility: using the Bartington MS2 system* (Second). British Library London.

Evans, M. E., & Heller, F. (2003). *Environmental Magnetism* (R. Dmowska, J. R. Holton, & H. T. Rossby, Ed.; Vol. 86). Elsevier Science (USA).

Han, G. Z., & Zhang, G. L. (2013). Changes in magnetic properties and their pedogenetic implications for paddy soil chronosequences from different parent materials in south China. *European Journal of Soil Science*, *64*(4), 435–444. https://doi.org/10.1111/ejss.12050

Han, Y., Zhao, G., Lyu, B., & Liu, X. (2025). Mechanism of magnetic enhancement and depletion of the loess from northern piedmont of Dabie Mountains, east-central China. *Catena*, *258*. https://doi.org/10.1016/j.catena.2025.109251

Huang, L., Jia, X., Shao, M., Chen, L., Han, G., & Zhang, G. (2018). Phases and rates of iron and magnetism changes during paddy soil development on calcareous marine sediment and acid Quaternary red-clay. *Scientific Reports*, *8*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-017-18963-x

Li, W., Gao, X., Wang, R., Du, L., Hou, F., He, Y., Hu, Y., Yao, L., & Guo, S. (2020). Soil redistribution reduces integrated C sequestration in soil-plant ecosystems: Evidence from a five-year topsoil removal and addition experiment. *Geoderma*, *377*. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114593

Lu, S. G., Zhu, L., & Yu, J. Y. (2012). Mineral magnetic properties of Chinese paddy soils and its pedogenic implications. *Catena*, *93*, 9–17. https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.01.002

Maher, B. A. (1986). Characterisation of soils by mineral magnetic measurements. Dalam *Physics of the Earth and Planetary Interiors* (Vol. 42).

Maidani, D. P., Rifai, H., Dwiridal, L., & Mufit, F. (2023). The Effect of Chemical Fertilizers on The Magnetic Susceptibility Value and Soil Fertility of Paddy Soils in Surantih, Kabupaten Pesisir Selatan. *JPSE (Journal of Physical Science and Engineering)*, *8*(1), 52. https://doi.org/10.17977/um024v8i12023p052

Maxbauer, D. P., Feinberg, J. M., & Fox, D. L. (2016). Magnetic mineral assemblages in soils and paleosols as the basis for paleoprecipitation proxies: A review of magnetic methods and challenges. Dalam *Earth-Science Reviews* (Vol. 155, hlm. 28–48). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.01.014

Niarta, H. A., Zulaikah, S., & Indriawan, B. (2021). Studi komparasi suseptibilitas magnetik tanah pertanian padi di Madiun dan Malang. *Jurnal MIPA dan Pembelajarannya*, *2*(1). https://doi.org/10.17977/um067v2i1p67-70

Rahma, K. A., & Sarifuddin. (2025). Pengaruh Pencucian dan Beberapa Amelioran untuk Perbaikan Sifat Kimia Tanah dan Pertumbuhan Tanaman Jagung (Zea mays L.) pada

Tanah Bergaram. *Jurnal Agroteknologi*, *13*(3), 100–106. https://doi.org/10.32734/ja.v13i3.23558

Rakotonindrina, H., Moritsuka, N., Kawamura, K., Tsujimoto, Y., Nishigaki, T., Andrianary, H. B., Razafimbelo, T., Razakamanarivo, H., & Andriamananjara, A. (2023). Prediction of the soil properties of Malagasy rice soils based on the soil color and magnetic susceptibility. *Soil Science and Plant Nutrition*, *69*(1), 24–35. https://doi.org/10.1080/00380768.2022.2136929

Scheinost, A. C., & Schwertmann, U. (1999). Color Identification of Iron Oxides and Hydroxysulfates. *Soil Science Society of America Journal*, *63*(5), 1463–1471. https://doi.org/10.2136/sssaj1999.6351463x

Smith, G. J., McDowell, R. W., Condron, L. M., Daly, K., Ó hUallacháin, D., & Fenton, O. (2021). Reductive dissolution of phosphorus associated with iron-oxides during saturation in agricultural soil profiles. *Journal of Environmental Quality*, *50*(5), 1207–1219. https://doi.org/10.1002/jeq2.20256

Sutanto, Iryani, A., Darusman, L. K., Anwar, S., & June, T. (2011). Hujan Asam dan Leaching Fe Ke Dalam Air Sumur Di Wilayah Industri. *Ekologia*, *11*(1), 21–29.

Tarling, D., & Hrouda, F. (1993). *Magnetic anisotropy of rocks*. Springer Science & Business Media.

Yelmiza, Ikhsan, F., Ritonga, A. D., Herru, Y. D. N., & Yuvendius, H. (2024). Studi Permodelan Transport PHREEQC Pada Proses Leaching Besi (Fe), Timbal (Pb) dan Tembaga(Cu) Terhadap Lindi TPA Muara Fajar Pekanbaru. *Jurnal Karya Ilmiah Multidisiplin (JURKIM)*, *14*(2), 67–76.