

Analisis Suseptibilitas Magnetik Sedimen Sungai Banda Bakali Kota Padang Berdasarkan Nilai Suseptibilitas Magnetik

Nada Fitrati Humairah, Afdal*

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

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 12 Februari 2025
Direvisi: 5 Juli 2025
Diterima: 1 September 2025

Kata kunci:

Antropogenik
Mineral Magnetik
Pencemaran
Sedimen Sungai
Suseptibilitas Magnetik

ABSTRAK

Telah dilakukan analisis suseptibilitas magnetik sedimen Sungai Banda Bakali Kota Padang. Pengambilan sampel dilakukan di 48 titik yang tersebar pada kawasan hulu, tengah dan hilir sungai pada kedalaman 10 cm, meliputi bagian pinggir kiri, tengah dan pinggir kanan sungai. Nilai suseptibilitas magnetik frekuensi rendah sampel, χ_{lf} sedimen berkisar antara $929,0 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$ sampai $5284,5 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$, menunjukkan tingkat pencemaran sedang. Perbandingan nilai χ_{lf} antar bagian sungai menunjukkan konsentrasi pencemaran yang lebih tinggi di bagian pinggir sungai dibandingkan bagian tengah. Nilai χ_{lf} di kawasan hulu relatif lebih rendah dibandingkan kawasan tengah dan hilir sungai, yang dipengaruhi oleh aktivitas antropogenik yang meningkat di hilir. Analisis fraksi bulir superparamagnetik berdasarkan nilai suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi (χ_{fd}) mengindikasikan dominasi partikel magnetik dari sumber antropogenik, terutama limbah domestik dan industri. Temuan ini menegaskan bahwa suseptibilitas magnetik merupakan metode yang efektif untuk memantau kualitas sedimen dan mengidentifikasi dampak aktivitas manusia terhadap pencemaran logam berat di Sungai Banda Bakali.

Keywords:

Anthropogenic
Magnetic Minerals
Pollution
River Sediments
Magnetic Susceptibility

Penulis Korespondensi:

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

A magnetic susceptibility analysis of sediments in the Banda Bakali River in Padang City has been conducted. Sampling was carried out at 48 points spread across the river's upstream, middle, and downstream areas at a depth of 10 cm, covering the river's left, middle, and right banks. The low-frequency magnetic susceptibility values of the samples, χ_{lf} of the sediment, ranged from $929.0 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$ to $5284.5 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$, indicating a moderate pollution level. Comparison of χ_{lf} values between river sections showed higher pollution concentrations in the riverbanks compared to the middle section. χ_{lf} values in the upstream area were relatively lower than those in the middle and downstream areas, which were influenced by increased anthropogenic activities downstream. Analysis of the superparamagnetic grain fraction based on frequency-dependent magnetic susceptibility values (χ_{fd}) indicated the dominance of magnetic particles from anthropogenic sources, mainly domestic and industrial waste. These findings confirm that magnetic susceptibility is an effective method for monitoring sediment quality and identifying the impact of human activities on heavy metal pollution in the Banda Bakali River.

Copyright © 2025 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Sungai Banda Bakali, juga dikenal sebagai kanal banjir, adalah sungai buatan di Kota Padang yang membelah Batang Arau dan mengalir sepanjang 6,8 km dengan lebar 20 meter, bermuara dekat Pantai Purus ke Samudra Hindia. Sungai Banda Bakali adalah salah satu sungai di Kota Padang yang mengalir di sekitar kawasan pemukiman dan industri. Sungai ini berperan penting dalam pengendalian banjir sekaligus menopang sistem drainase kota dan dimanfaatkan masyarakat untuk keperluan rumah tangga (Sari, 2012). Menurut Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Padang, kualitas air sungai mulai menurun akibat pencemaran dari limbah domestik dan industri (Suararantau, 2022). Dilansir dari Sumbarkita (2022), sungai ini menjadi tempat pembuangan sampah terpanjang di Kota Padang, ini terjadi karena sampah yang dibuang sembarangan terbawa arus dari hulu hingga hilir. Menurut Ketua DLH, produksi sampah harian di Kota Padang mencapai 640 ton, tetapi hanya 500 ton yang sampai ke TPAS, sementara itu sisanya kemungkinan dikumpulkan pemulung atau dibuang ke drainase dan sungai.

Limbah yang dibuang ke sungai berasal dari aktivitas masyarakat, dengan salah satu bahan pencemarnya adalah logam berat. Logam berat yang berada pada sungai lama-kelamaan akan mengendap di dasar perairan membentuk sedimen. Menurut Palar (2004) logam berat sulit didegradasi dan cenderung mudah terakumulasi dalam sedimen. Kandungan logam berat pada sedimen sungai relatif lebih tinggi dibandingkan pada air sungai (Rochayatun dan Rozak, 2007) sehingga sedimen menjadi salah satu indikator penting untuk melihat pencemaran sungai (Zeb et al., 2024).

Logam berat mengakibatkan efek berbahaya baik secara langsung maupun tidak langsung terhadap kesehatan manusia (Sudarwin, 2008). Logam berat yang terakumulasi dan terangkut kembali ke permukaan air, mengakibatkan penurunan kualitas air sungai (Erlanda, 2012). Apabila logam berat masuk ke dalam tubuh manusia dalam jumlah banyak maka akan menyebabkan penyakit yang sangat berbahaya seperti infeksi sistem syaraf, ginjal, hati, tulang, sistem pernafasan, reproduksi dan gangguan pencernaan yang bersifat akut dan kronis (Endrinaldi, 2009).

Ada beberapa metode yang dapat digunakan dalam menentukan adanya kandungan logam berat pada sedimen yaitu metode fisika dan kimia serta metode geokimia dengan menggunakan alat Atomic Absorption Spectroscopy (AAS), X-Ray Fluoresence (XRF) atau Inductively Coupled Plasma (ICP) (Sudarningsih et al., 2013). Metode-metode ini akurat dalam penentuan kandungan zat pencemar, namun membutuhkan waktu yang lama dan mahal. Oleh karena itu, digunakan metode suseptibilitas magnetik sebagai metode alternatif karena dalam pengoperasian di lapangan relatif sederhana, mudah dan cepat (Schmidt et al., 2005).

Penggunaan nilai suseptibilitas magnetik dalam menentukan polusi tanah telah banyak diteliti. Orosun et al., (2020) pada suatu percobaan di sebuah stasiun automobile di Ilorin Nigeria Tengah Utara, menemukan nilai suseptibilitas magnetik di dalam stasiun lebih tinggi dibandingkan di luar stasiun. Nilai suseptibilitas magnetik yang tinggi di dalam stasiun menunjukkan konsentrasi mineral magnetik yang tinggi pada tanah, yaitu konsentrasi logam berat (Cu, Fe, Cr, Zn, Cd, Mg, dan Mn). Semakin banyak kandungan logam berat pada tanah, nilai suseptibilitas magnetik yang didapatkan semakin tinggi sehingga terdapatnya pencemaran di kawasan tersebut berasal dari aktivitas antropogenik (disebabkan oleh aktivitas manusia). Untuk daerah Kota Padang, Yanti et al., (2021) melakukan penelitian mengenai pencemaran logam berat pada sedimen sungai Batang Arau di Kota Padang. Dari hasil penelitiannya, ditemukan bahwa nilai suseptibilitas magnetik di zona perumahan padat penduduk lebih tinggi dibandingkan zona perumahan kurang padat penduduk. Nilai suseptibilitas magnetik yang tinggi pada zona padat penduduk menunjukkan adanya pencemaran antropogenik. Sampel sedimennya didominasi oleh mineral-mineral magnetik berukuran besar. Oleh karena itu, pengukuran nilai suseptibilitas magnetik dapat digunakan dalam penentuan pencemaran logam berat pada tanah.

Pada umumnya, tanah di kawasan pemukiman dan industri terkontaminasi oleh butiran logam berat yang sebagian besar berasal dari limbah industri, emisi kendaraan bermotor, serta dari aktivitas antropogenik. Butiran logam berat ini berada dalam fase multi-domain (MD), sedangkan butiran litogenik atau alamiah berada dalam fase superparamagnetik (SP). Interaksi antara butiran magnetik SP dengan stable single domain (SSD) atau bahkan MD dapat dianalisis menggunakan suseptibilitas magnetik tanah bergantung pada frekuensi (Hrouda, 2010). Sebagian besar polutan antropogenik yang dilepaskan ke lingkungan berada dalam butiran MD, sedangkan butiran magnetik litogenik biasanya berada dalam fase SP. Suseptibilitas yang bergantung pada frekuensi digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan butiran SP dan MD dalam sampel tanah (Dearing et al., 1999).

Menurut Evan dan Heller (2003), tingkat pencemaran logam berat dapat diidentifikasi berdasarkan nilai suseptibilitas magnetik. Tingkat I memiliki nilai suseptibilitas magnetik $<300 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ termasuk dalam kategori polusi rendah, tingkat II dengan nilai antara $300-600 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ dikategorikan polusi sedang, tingkat III dengan nilai suseptibilitas antara $600-1000 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ termasuk kategori polusi tinggi, dan tingkat IV dengan nilai $>1000 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ termasuk dalam kategori polusi sangat tinggi.

Berdasarkan bahaya pencemar logam berat dan kemungkinan telah tercemar oleh limbah yang bersumber dari limbah domestik, limbah industri, perbengkelan dan perkapalan, maka perlu dilakukan penelitian terhadap sedimen sungai menggunakan nilai suseptibilitas magnetik di sepanjang aliran sungai Banda Bakali dari hulu (aliran sungai Sarasah) hingga hilir (pantai Purus Muaro Lasak) sungai. Sejauh ini belum pernah dilakukan penelitian terhadap sedimen Sungai Banda Bakali di Kota Padang.

II. METODE

Penelitian dilaksanakan mulai bulan Februari sampai Juli 2024. Objek penelitian adalah sedimen sungai Banda Bakali di Kota Padang yang diambil pada 48 titik di sepanjang aliran dari hulu hingga hilir sungai seperti Gambar 1. Sampel diambil sebanyak $\pm 30 \text{ g}$ menggunakan pipa pvc berdiameter 2 cm pada kedalaman 10 cm di pinggir kiri, tengah dan pinggir kanan sungai. Pengukuran nilai suseptibilitas magnetik dilakukan pada frekuensi rendah ($\chi_{lf} = 0,47 \text{ kHz}$) dan frekuensi tinggi ($\chi_{hf} = 4,7 \text{ kHz}$) dengan alat Bartington Magnetic Susceptibility Meter MS2 dengan sensor MS2B pada 15 arah pengukuran. Pengolahan data untuk menghitung nilai suseptibilitas magnetik masing-masing sampel menggunakan Matlab R2024a. Kemudian dihitung nilai suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi χ_{fd} .



Gambar 1 Titik Pengambilan Data di Aliran Sungai Banda Bakali

III. HASIL DAN DISKUSI

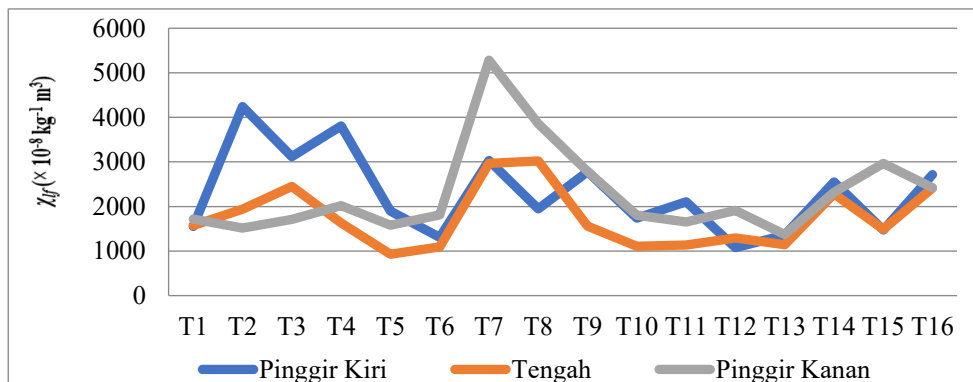
3.1 Karakteristik Umum Nilai Suseptibilitas Magnetik Sampel Sungai Banda Bakali

Nilai χ_{lf} , χ_{hf} dan χ_{fd} sampel ditunjukkan pada Tabel 1. Nilai χ_{lf} untuk tiga kawasan aliran sungai Banda Bakali bagian pinggir kiri, tengah dan pinggir kanan sungai berkisar antara $929,0 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$ sampai $5284,5 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$ dan nilai χ_{hf} berkisar antara $926,2 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$ sampai $5253,7 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$. Perbedaan antara χ_{lf} dan χ_{hf} yang konsisten menunjukkan adanya fraksi partikel superparamagnetik (SP). Partikel SP ini memiliki respon magnetik yang kuat pada frekuensi rendah, namun menurun pada frekuensi tinggi akibat ukuran partikel yang sangat kecil dan sifat magnetiknya yang khas (Dearing et al., 1996). Meskipun demikian nilai χ_{fd} yang sebagian besar di bawah 2% mengindikasikan bahwa dominasi partikel magnetik dalam sampel adalah *stable single domain* (SSD) dan multi domain (MD), yang merupakan karakteristik umum sedimen yang terkontaminasi aktivitas antropogenik (Jordanova et al., 2004; Solomon et al., 2017). Keberadaan partikel SP tetap signifikan sebagai indikator pencemaran antropogenik, terutama dari sumber seperti emisi industri dan polusi urban (Solomon et al., 2017).

Grafik perbandingan nilai χ_{lf} antar bagian sungai dari hulu ke hilir dapat dilihat pada Gambar 2. Titik T1 di hulu sungai yang dikelilingi oleh hutan berfungsi sebagai baseline karena nilai χ_{lf} dan χ_{fd} yang rendah mencerminkan kondisi alami tanpa pencemaran signifikan (Dearing, 1999). Hal ini konsisten dengan studi yang menunjukkan bahwa nilai suseptibilitas magnetik rendah mengindikasikan lingkungan yang belum terpengaruh oleh aktivitas manusia.

Tabel 1 Nilai suseptibilitas magnetik sampel χ_{lf} , χ_{hf} , dan χ_{fd}

Titik Sampel	Kawasan	$\chi_{lf} (\times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3)$			$\chi_{hf} (\times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3)$			$\chi_{fd} (\%)$		
		P.kiri	Tengah	P.Kanan	P.Kiri	Tengah	P.Kanan	P.Kiri	Tengah	P.Kanan
T1	Hulu	1550,1	1573,2	1715,6	1542,4	1567,6	1706,7	0,497	0,356	0,519
T2		4242,2	1939,2	1513,7	4232,4	1933,7	1508,3	0,231	0,284	0,357
T3		3115,5	2452,3	1709,8	3102,0	2439,2	1702,1	0,433	0,534	0,450
T4		3807,8	1627,9	2017,1	3795,6	1620,6	2009,2	0,320	0,448	0,392
T5		1893,8	929,0	1581,5	1886,7	926,2	1575,4	0,375	0,301	0,386
T6		1310,4	1095,1	1808,7	1306,8	1088,5	1772,2	0,275	0,603	2,018
T7		3034,2	2970,3	5284,5	2927,9	2909,5	5253,7	3,503	2,047	0,583
T8	Tengah	1945,5	3022,3	3857,2	1924,8	2994,3	3841,6	1,064	0,926	0,404
T9		2777,4	1562,7	2789,5	2726,4	1554,8	2769,7	1,836	0,506	0,710
T10		1741,7	1106,5	1806,6	1735,1	1099,9	1801,7	0,379	0,596	0,271
T11		2108,5	1137,8	1655,5	2102,9	1134,1	1647,0	0,266	0,325	0,513
T12		1077,1	1297,0	1911,0	1074,2	1292,3	1900,5	0,269	0,362	0,549
T13		1358,4	1146,1	1371,0	1355,7	1141,2	1364,5	0,199	0,428	0,474
T14		2552,8	2287,7	2319,5	2562,2	2279,3	2315,8	0,368	0,367	0,160
T15	Hilir	1474,9	1487,9	2965,9	1491,8	1482,1	2933,8	1,146	0,39	1,080
T16		2716,8	2415,3	2423,2	2697,6	2407,4	2415,3	0,707	0,327	0,326
Nilai Rata-Rata		2294,2	1753,1	2295,6	2279,0	1741,9	2282,3	0,742	0,550	0,575
Nilai Minimum		1077,1	929,0	1371,0	1074,2	926,2	1364,5	0,199	0,284	0,160
Nilai Maximum	Rata-Rata Semua	4242,2	3022,3	5284,5	4232,4	2994,3	5253,7	3,503	2,047	2,018
			2114,3			2101,1			0,622	



Gambar 2 Perbandingan nilai χ_{lf} antar bagian sungai

Peningkatan signifikan nilai χ_{lf} di sisi kiri sungai pada titik T2 sampai T4, lokasi pabrik kelapa sawit dan karet, mengindikasikan akumulasi mineral magnetik sebagai hasil aktivitas industri (Dearing et al., 1996). Penurunan χ_{lf} di T5 setelah pabrik diduga akibat proses pengendapan atau pencampuran dengan air bersih (Jordanova et al., 2004), namun tetap menunjukkan pengaruh antropogenik yang tidak hilang sepenuhnya. Variasi nilai χ_{lf} di kawasan tengah sungai, khususnya nilai tinggi di T7 dan T8, mencerminkan input material magnetik dari aktivitas pemukiman, transportasi, dan residu pembakaran domestik (Dearing et al., 1996; Solomon et al., 2017). Nilai χ_{fd} yang tinggi di beberapa titik menandakan keberadaan partikel superparamagnetik halus yang biasanya terkait dengan polusi urban dan pembakaran (Jordanova et al., 2004). Nilai χ_{lf} yang meningkat di hilir terutama di sisi kanan yang berdekatan dengan kawasan pesisir dan aktivitas nelayan menunjukkan akumulasi material magnetik hasil aktivitas pelayaran dan limbah pesisir. Peningkatan χ_{fd} di hilir mengindikasikan partikel halus berukuran superparamagnetik sebagai produk dari aktivitas industri dan urban pesisir (Dearing et al., 1996; Solomon et al., 2017). Pola ini mengindikasikan bahwa kawasan hilir tidak hanya menerima akumulasi material magnetik dari bagian hulu dan tengah sungai, tetapi juga terpapar langsung oleh aktivitas pesisir, seperti lalu lintas kapal, pelabuhan, dan limpasan permukiman. Perbedaan nilai χ_{lf} yang

lebih tinggi di bagian pinggir kiri dan kanan dibandingkan bagian tengah sungai sesuai dengan prinsip hidrodinamika sungai di mana arus kuat di tengah menghambat pengendapan partikel halus. Lokasi sumber pencemar yang umumnya berada di pinggir sungai juga memperkuat pola distribusi ini (Jordanova et al., 2004).

Nilai suseptibilitas magnetik sampel bagian tengah sungai secara umum lebih rendah daripada yang dibagian kiri dan kanan sungai. Nilai suseptibilitas magnetik yang lebih rendah pada bagian tengah sungai kemungkinan disebabkan oleh kombinasi kecepatan arus yang lebih tinggi, proses pengenceran, serta transportasi partikel magnetik ke arah tepi sungai. Arus utama yang deras mencegah pengendapan partikel bermassa besar maupun halus, sehingga konsentrasi mineral magnetik lebih dominan di sisi kiri dan kanan sungai yang memiliki kondisi aliran lebih tenang. Selain itu, sumber pencemar umumnya berada di pinggir sungai, sehingga distribusi partikel magnetik lebih terkonsentrasi di area tersebut dibandingkan tengah aliran.

3.2 Sumber Pencemar Sedimen Sungai

Hampir seluruh sampel di lokasi penelitian menunjukkan nilai χ_{fd} di bawah 2,0 %. Nilai χ_{fd} yang bernilai di bawah 2,0 % berarti sampel tersebut tidak mengandung atau mengandung kurang dari 10% bulir superparamagnetik. Nilai χ_{fd} yang rendah menunjukkan dominasi partikel SSD dan MD, bukan partikel SP (Solomon et al., 2017). Mineral magnetik ini memiliki kestabilan magnetik yang lebih tinggi dan kurang sensitif terhadap perubahan frekuensi, ini sering kali dihasilkan oleh pencemaran yang kemungkinan berasal dari aktivitas antropogenik seperti kegiatan industri, kegiatan rumah tangga, perbengkelan, perkapalan dan emisi kendaraan bermotor.

χ_{fd} mengukur persentase kontribusi partikel superparamagnetik (SP) dalam total nilai suseptibilitas magnetik. SP biasanya berasal dari proses alami (pedogenesis) atau aktivitas manusia (antropogenik), terutama pembakaran dan polusi logam halus. Nilai χ_{fd} pada sebagian besar titik (11 titik) hampir sama dibanding titik acuan T1. Satu titik dengan χ_{fd} tinggi (>2%), seperti T7, menjadi indikator lokasi dengan potensi pencemaran tertinggi. Sebagian titik lainnya (4 titik) memiliki nilai χ_{fd} 0,5 sampai 2 %) mengindikasikan pengaruh sedang, kemungkinan dari drainase, pemukiman padat, atau lalu lintas.

Nilai χ_{fd} yang bervariasi antara 0,16% hingga 3,50%, dengan rata-rata 0,62%, menunjukkan keberadaan partikel magnetik halus (superparamagnetik) yang biasanya terbentuk akibat proses pembakaran dan emisi dari aktivitas manusia. Titik dengan nilai χ_{fd} tinggi, seperti pada T7, mengindikasikan peningkatan proporsi partikel halus yang berpotensi berasal dari limbah industri dan aktivitas transportasi laut. Sebaliknya, nilai χ_{fd} yang rendah pada beberapa titik menunjukkan dominasi partikel magnetik kasar yang lebih mungkin berasal dari material alami atau pelapukan batuan di daerah hulu dan tengah sungai.

Perbedaan nilai χ_{lf} dan χ_{fd} antara sisi kiri, tengah, dan kanan sungai juga memperkuat hipotesis bahwa sumber pencemar tidak homogen, melainkan terkait dengan aktivitas spesifik di sisi sungai tertentu, seperti pabrik di sisi kiri hulu dan aktivitas nelayan di hilir. Secara umum, pola peningkatan χ_{fd} di kawasan tengah hingga hilir mencerminkan pergeseran sumber kontaminasi dari dominasi partikel kasar (di hulu, akibat limbah industri) menuju partikel halus (di tengah dan hilir), yang lebih sering dikaitkan dengan aktivitas urban dan transportasi.

Berdasarkan rata-rata nilai suseptibilitas magnetik frekuensi rendah (χ_{lf}) sebesar $2114,3 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$, sampel sedimen sungai dalam penelitian ini tergolong dalam kategori pencemaran sedang, menurut klasifikasi yang dikembangkan oleh Jordanova et al. (2004). Nilai ini mencerminkan adanya pengaruh signifikan dari aktivitas antropogenik, terutama di kawasan hulu yang terpapar industri kelapa sawit dan karet, serta bagian hilir yang berdekatan dengan kawasan pesisir dan pelayaran. Selain itu, beberapa titik menunjukkan nilai ekstrem, seperti pada T7 dan T8 yang mencatatkan χ_{lf} lebih dari $5000 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$, yang sesuai dengan kategori pencemaran sangat tinggi, mengindikasikan akumulasi partikel magnetik dalam jumlah besar yang berpotensi membawa logam berat seperti Fe, Pb, dan Zn.

Dengan demikian, nilai suseptibilitas magnetik pada lokasi penelitian ini dapat digunakan sebagai indikator awal (proxy) tingkat kontaminasi sedimen, yang menunjukkan keberadaan pencemar dari aktivitas industri dan pesisir. Temuan ini sejalan dengan hasil studi terdahulu yang menyatakan bahwa peningkatan nilai χ_{lf} umumnya berkorelasi dengan tingginya konsentrasi logam berat dalam sedimen sungai (Jordanova et al., 2004).

IV. KESIMPULAN

Nilai suseptibilitas magnetik frekuensi rendah (χ_{lf}) pada sedimen Sungai Banda Bakali bervariasi antara 929,0 hingga $5284,5 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$, dengan rata-rata $2114,3 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$, menunjukkan tingkat pencemaran sedang. Nilai χ_{lf} yang tinggi terutama ditemukan di sisi kiri sungai di kawasan hulu dekat pabrik kelapa sawit dan karet, serta di titik-titik tengah dan hilir yang berdekatan dengan pemukiman, aktivitas transportasi, dan pesisir, mengindikasikan kontribusi signifikan dari aktivitas antropogenik. Nilai χ_{fd} yang sebagian besar di bawah 2% menunjukkan dominasi partikel SSD dan MD, yang biasa terkait dengan sumber pencemar industri dan urban. Namun, nilai χ_{fd} yang lebih tinggi pada titik tertentu, seperti T7, mengindikasikan peningkatan proporsi partikel superparamagnetik halus yang biasanya berasal dari pembakaran dan emisi industri. Distribusi nilai suseptibilitas magnetik yang lebih tinggi di pinggir sungai dibandingkan bagian tengah menunjukkan pengaruh pola aliran sungai dan lokasi sumber pencemar yang umumnya berada di tepi sungai. Secara keseluruhan, data menunjukkan adanya akumulasi material magnetik dari berbagai sumber antropogenik, termasuk limbah industri, pemukiman, transportasi, dan aktivitas pesisir. Dengan demikian, suseptibilitas magnetik dapat digunakan sebagai indikator dalam mendeteksi dan memantau tingkat pencemaran sedimen di sungai ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Dearing, J.A., Dann, R.J.L., Hay, K., Lees, J.A., Loveland, P.J., Maher, B.A., dan O'Grady, K., 1996, 'Frequency-dependent susceptibility measurements of environmental materials', *Inggris, Geophysical Journal International*, Vol. 124, hal. 228–240.
- Dearing, J., 1999, *Environmental Magnetic Suseptibility Using the Bartington MS2 System*, Chi Publishing, England.
- Endrinaldi, 2009, 'Logam-logam Berat Pencemar Lingkungan dan Efek Terhadap Manusia', *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, Vol.4, No.1, hal. 42–46.
- Erlanda, E.P., 2012, 'Kajian Sedimentasi pada sumber Air Baku PDAM Kota Pontianak', *Jurnal Teknik Sipil UNTAN*, Vol.12, No.2.
- Evans, M.E., dan Heller, F., 2003, *Environment Magnetism Principles and Aplication of Environmagnetics*, Academic Press, California.
- Hrouda, F., 2010, Modelling relationship between bulk susceptibility and AMS in rocks consisting of two magnetic fractions represented by ferromagnetic and paramagnetic minerals – implications for understanding magnetic fabrics in deformed rocks, *Journal Geological Society of India*, 75, 254–266.
- Jordanova, N.V., Jordanova, D.V., Veneva, L., Yorova, K. dan Petrovsky, E., 2004, 'Magnetic response of soils and vegetation to heavy metal pollution – a case study', *Environmental Science & Technology*, Vol. 37, hal. 4417–4424.
- Jordanova, N., Jordanova, D., and Petrov, P., 2004, 'Magnetic minerals in urban dust and their relationship to pollution sources', *Environmental Geology*, Vol. 46(4), hal 414–421.
- Orosun, MM., Oniku, S.A., Peter. A., Orosun, R.O., Salawu, N.B., dan Hitler, L., 2020, 'Magnetic susceptibility measurement and heavy metal pollution at an automobile station in Ilorin, North-Central Nigeria', *Nigeria, Environmental Research Communications*, Vol. 2, hal. 1–9.
- Palar, H., 2004, 'Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat', *Rineka Cipta*, Jakarta.
- Rochyatun, E dan Rozak, A., 2007, 'Pemantauan Kadar Logam Berat dalam Sedimen di Perairan Teluk Jakarta', *Makara Sains*, Vol. 11 (1), hal 28–36.
- Sari, R.P., 2012, 'Penentuan Pencemaran Akibat Limbah Logam di Batang Air Bypass Kota Padang Menggunakan Metode Suseptibilitas Magnet dan Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)', *Skripsi, Fisika Unand, Padang*.

- Schmidt, A., Yarnold, R., Hill, M., Ashmore, M., 2005, Magnetic Susceptibility as Proxy for Heavy Metal Pollution: a Site Study, *Journal of Geochemical Exploration*, No. 85, Elsevier, hal. 109-117.
- Solomon, J. S., Ahmed, A. L., Adamu, I. H., & Dimu, O. O., 2017, 'Identifying anthropogenic metallic pollutants using frequency dependent magnetic susceptibility measurements in Abuja Metropolis', *Currents Trends In Natural Sciences*, 6(11), 13-22.
- Sudarningsih., Lestiana, E dan Wianto, T., 2013, 'Analisis Logam Berat Sepanjang Daerah Aliran Sungai (DAS) Tabalong Kalimantan Selatan', *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*, Lampung.
- Sudarwin, 2008, 'Analisis Spasial Pencemaran Logam Berat (Pb dan Cd) pada Sedimen Aliran Sungai dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Jatibarang Semarang', Tesis, Program Pasca Sarjana, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Yanti, R.P. dan Afdal, 2021, 'Identifikasi Pencemaran Logam Berat pada Sedimen Sungai Batang Aray Kota Padang Berdasarkan Nilai Suseptibilitas Magnetik', *Jurnal Fisika Unand*, Vol. 10, No. 2, hal 248-254.
- Zeb, M., Khan, K., Younas, M., Farooqi, A., Cao, X., Kavil, Y.N., Alelyani, S.S., Alkasbi, M.M. dan Al-Sehemi, A.G., 2024, 'A review of heavy metals pollution in riverine sediment from various Asian and European countries: distribution, sources, and environmental risk', *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 206, hal. 116775.
- Sumbarkita, 2022, 'Banda Bakali Tempat Pembuangan Sampah Terpanjang di Padang', diakses September 2023, <<https://sumbarkita.id/banda-bakali-tempat-pembuangan-sampah-terpanjang-di-padang/>>.
- Suararantau, 2022, "Banda Bakali Kota Padang Tercemar Dipenuhi Ratusan Sampah Plastik yang Dibuang Warga", diakses Desember 2023, <<https://www.suararantau.com/banda-bakali-kota-padang-tercemar-dipenuhi-ratusan-sampah-plastik-yang-dibuang-warga/>>.