



Bulletin of Scientific Contribution GEOLOGY

Fakultas Teknik Geologi
UNIVERSITAS PADJADJARAN

homepage: <http://jurnal.unpad.ac.id/bsc>
p-ISSN: 1693-4873; e-ISSN: 2541-514X



Volume 22, No.1
April 2024

IDENTIFIKASI PENCEMARAN TANAH PADA KAWASAN INDUSTRI BAJA MELALUI SIFAT MAGNETIK DAN MORFOLOGI BULIR MAGNETIK

Darin Nur Azizah¹, Dini Fitriani^{2*}, Eleonora Agustine², Kartika Hajar Kirana², Achmad Arif Mulyana¹

¹ Program Studi Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran, Jl. Ir. Soekarno Km. 21, Jatinangor, 45363

² Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran, Jl. Ir. Soekarno Km. 21, Jatinangor, 45363

*Korespondensi: dini@geophys.unpad.ac.id

ABSTRACT

Steel industry activities involving the melting of iron and steel can trigger soil pollution, as it can produce waste in the form of dust and fly ash that spreads through the wind and then settles on the surface soil. In this study, soil pollution in the area around the steel industry has been identified through magnetic susceptibility parameters and measurement of Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-Ray. (SEM-EDX). The samples used are the soil taken at the point of two line namely line 1 and line 2, where line 2 in the design has a closer distance to the industrial area than line 1. The magnetic susceptibility values (χ_{LF}) for line 1 are in the range of 96,9-854,1 ($\times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$) and the values of $\chi_{FD}(\%)$ are 0,13-2,85, whereas χ_{LF} for line 2 is within the range 194,7-3473,9 ($\times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$) and the values of $\chi_{FD}(\%)$ are 0,47-1,53. It is assumed that the waste of dust and fly ash accumulated more on line 2 which is closer to the steel industry. As for the $\chi_{FD}(\%)$ values of the entire sample of less than 4% and the presence of a negative correlation between the values $\chi_{FD}(\%)$ and χ_{LF} , indicate that the magnetic mineral originates from anthropogenic sources. Based on the SEM-EDX measurement of the sample in line 1 showed a magnetic grain of octahedral and spherule shape, which indicates the presence of magnetic minerals from pedogenic and anthropogenic sources. While the SEM-EDX results on the sample in line 2 showed the presence of spherule fine-shaped magnetic grain that indicate that magnetic minerals originated from anthropogenic sources.

Keywords: Industry, Soil pollution, SEM-EDX, Magnetic susceptibility

ABSTRAK

Kegiatan industri baja yang melibatkan peleburan besi dan baja dapat memproduksi limbah dalam bentuk debu dan *fly ash* yang menyebar terbawa angin lalu mengendap pada tanah permukaan dan menyebabkan pencemaran tanah. Dalam penelitian ini telah dilakukan identifikasi pencemaran tanah di kawasan sekitar perindustrian baja melalui parameter suseptibilitas magnetik dan pengukuran *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX). Sampel yang digunakan yaitu berupa tanah yang diambil pada titik dari dua lintasan yaitu lintasan 1 dan lintasan 2. Dimana lintasan 2 di desain memiliki jarak yang lebih dekat dengan kawasan perindustrian dibandingkan lintasan 1. Nilai suseptibilitas magnetik (χ_{LF}) pada lintasan 1 berada pada rentang 96,9-854,1 ($\times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$) dan nilai $\chi_{FD}(\%)$ yaitu 0,13-2,85, sedangkan χ_{LF} lintasan 2 berada pada rentang 194,7-3473,9 ($\times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$) dan nilai $\chi_{FD}(\%)$ yaitu 0,47-1,53. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai χ_{LF} pada lintasan 2 cenderung lebih tinggi daripada lintasan 1. Hal ini diduga bahwa limbah yang berupa debu maupun *fly ash* lebih banyak terakumulasi pada lintasan 2 yang areanya lebih dekat dengan perindustrian baja. Adapun nilai $\chi_{FD}(\%)$ dari seluruh sampel yang bernilai kurang dari 4% dan adanya korelasi negatif antara nilai $\chi_{FD}(\%)$ dan χ_{LF} menunjukkan bahwa mineral magnetik berasal dari sumber antropogenik. Berdasarkan pengukuran SEM-EDX pada sampel di lintasan 1 menunjukkan bulir mineral magnetik yang berbentuk oktahedral dan bulat, yang menunjukkan keberadaan mineral magnetiknya berasal dari sumber pedogenik dan antropogenik. Sedangkan hasil SEM-EDX pada sampel di lintasan 2 menunjukkan keberadaan bulir mineral

magnetik berbentuk bulat dan halus yang menunjukkan bahwa mineral magnetik berasal dari sumber antropogenik.

Kata Kunci: Industri, Pencemaran tanah, SEM-EDX, Suseptibilitas magnetik

PENDAHULUAN

Kegiatan industri baja yang didalamnya meliputi aktivitas peleburan besi dan baja dapat menghasilkan limbah berupa partikel-partikel dalam bentuk debu (*dust*) atau abu terbang (*fly ash*). Partikel-partikel tersebut terbawa oleh aliran udara kemudian mengendap pada benda disekitarnya seperti pada tumbuhan, bangunan ataupun mengendap pada tanah permukaan, sehingga hal tersebut berpotensi menyebabkan pencemaran tanah di daerah sekitar perindustrian. Debu dan *fly ash* dapat mengandung bahan kimia yang beracun dan berbahaya yang menyebabkan struktur atmosfer bumi berubah dengan ditandai adanya peningkatan temperatur (Sari, 2019). Bahan kimia yang terkandung pada limbah industri dapat berupa logam berat seperti cadmium (Cd), chromium (Cr), timbal (Pb), besi (Fe), seng (Zn), dan logam berat lainnya (Yulianto dkk, 2006). Dalam penelitian ini telah dilakukan identifikasi pencemaran tanah akibat kegiatan industri baja. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu mengidentifikasi pencemaran tanah akibat adanya kegiatan industri baja dengan mengetahui sifat magnetik tanah melalui parameter suseptibilitas magnetik serta morfologi bulir mineral magnetik tanah pengukuran *Scanning Electron Microscopy-Energy-Dispersive-X-Ray* (EDX).

Suseptibilitas magnetik merupakan derajat atau ukuran seberapa besar suatu bahan dapat termagnetisasi (Evans dan Heller, 2003). Nilai suseptibilitas magnetik dapat dipengaruhi oleh sifat dan mineral magnetik yang terkandung pada suatu bahan (Telford dkk, 1990). Semakin besar nilai suseptibilitas magnetik, maka mineral magnetik yang terkandung dari suatu bahan cenderung semakin banyak. Adapun golongan mineral berdasarkan bahan magnetiknya terdiri dari beberapa jenis diantaranya yaitu bahan diamagnetik yang memiliki nilai suseptibilitas negatif dan sangat kecil, bahan paramagnetik yang memiliki nilai suseptibilitas magnetik positif dan sangat kecil, bahan ferromagnetik yang memiliki nilai suseptibilitas magnetik positif dan sangat tinggi, serta bahan ferrimagnetik dengan nilai suseptibilitas magnetik positif dan bernilai tinggi namun tidak melebihi bahan ferromagnetik. Bahan ferrimagnetik memiliki nilai suseptibilitas magnetik yang bergantung dari tempat termagnetisasinya mineral magnetik dalam bulir magnetik atau biasa disebut domain mineral magnetik (Dearing, 1999). Domain mineral magnetik diklasifikasikan menjadi

empat jenis berdasarkan ukuran bulirnya yaitu *Single Domain* (SD) dengan ukuran bulir mineral magnetik kurang dari 0,1 μm , *Pseudo-single Domain* (PSD) dengan ukuran bulir mineral magnetiknya 1-10 μm , *Multi Domain* (MD) dengan ukuran bulir mineral magnetik lebih dari 10 μm , dan *Superparamagnetic* (SP) yang memiliki ukuran bulir magnetik kurang dari 0,03 μm . Selanjutnya, pengukuran SEM-EDX ditujukan untuk mengetahui karakteristik bulir mineral magnetik, serta mengetahui komposisi unsur yang terkandung. Adapun informasi yang diperoleh dari pengukuran SEM-EDX yaitu bentuk serta ukuran bulir mineral magnetik, dan komposisi unsur penyusun mineral magnetik (Agustine, 2016; Fitriani dkk, 2021).

Penelitian terkait analisis tingkat pencemaran lingkungan yang diukur melalui parameter suseptibilitas magnetik telah dilakukan oleh Jumianti dan Afdal (2020) pada zona industri di Kota Padang dengan hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa beberapa titik yang dekat dengan pabrik dan jalan raya memiliki nilai suseptibilitas magnetik yang lebih tinggi daripada area lainnya yaitu $(600-1000) \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$. Hal tersebut diduga karena tingginya kadar logam berat dan adanya emisi kendaraan bermotor pada daerah tersebut. Penelitian lain telah dilakukan oleh Tiwow dkk (2018) pada sampel pasir besi dengan hasil nilai suseptibilitas magnetik yang tinggi menunjukkan bahwa logam berat mempengaruhi nilai suseptibilitas magnetik. Selanjutnya hasil penelitian yang dilakukan oleh Yulius dan Afdal (2014) pada tanah permukaan di ruas jalan menunjukkan adanya korelasi yang kuat antara konsentrasi logam berat dan nilai suseptibilitas magnetik, yang artinya menunjukkan bahwa suseptibilitas magnetik dapat menjadi indikator keberadaan logam berat. Prakoso dkk (2016) juga telah melakukan penelitian terkait pencemaran tanah di sekitar jalan tol melalui nilai suseptibilitas magnetik. Berdasarkan hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa mineral magnetik yang terkandung cenderung berasal dari sisa pembakaran gas fosil.

BAHAN DAN METODE PENELITIAN

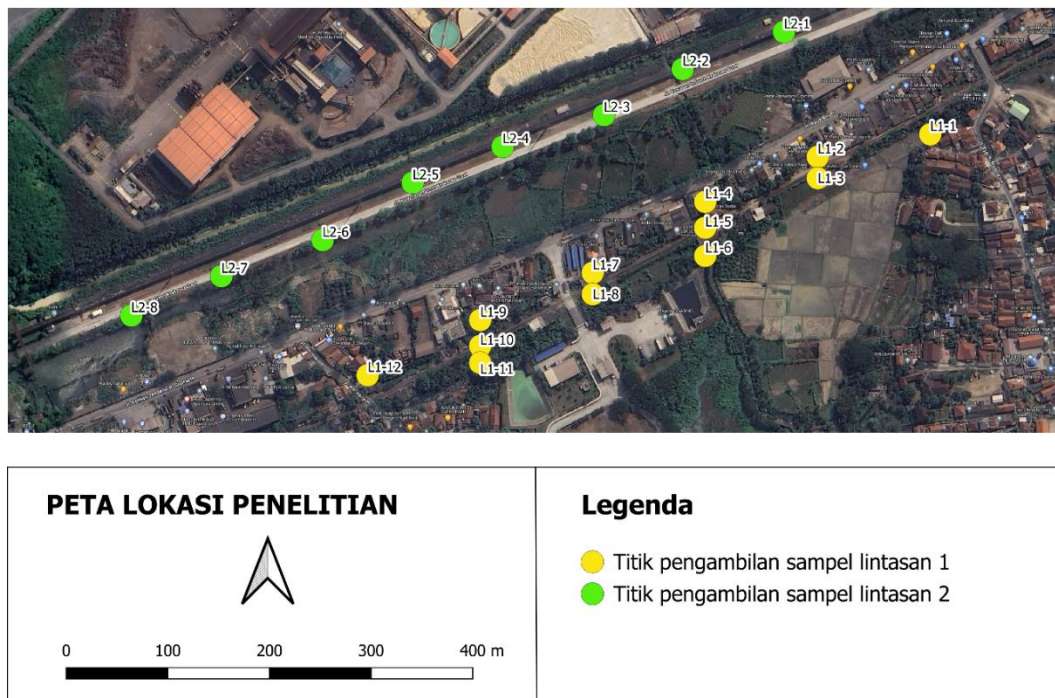
Pengambilan Sampel Tanah

Tahap pertama yang dilakukan pada penelitian yaitu pengambilan sampel tanah. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada dua lintasan sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 1. Tiap lintasan di desain memiliki jarak yang berbeda terhadap

kawasan perindustrian baja dengan tujuan untuk mengetahui variasi nilai suseptibilitasnya. Lintasan 1 berjarak 400 m dari kawasan perindustrian baja, sedangkan lintasan 2 berjarak 300 m dari kawasan perindustrian baja. Adapun kondisi topografi lintasan 2 cenderung lebih tinggi daripada lintasan 1.

Titik pengambilan sampel pada lintasan 1 yaitu berjumlah 12 titik dengan jarak antar titik sebesar 50 meter, sedangkan titik pada

lintasan 2 yaitu berjumlah 8 titik dengan jarak antar titik sebesar 100 meter. Sampel tanah yang diambil dari kedua lintasan tersebut terdiri dari tanah permukaan dan tanah bawah permukaan dengan kedalaman 15 cm yang dicuplik tiap 5 cm, sehingga diperoleh 4 sampel tanah pada tiap titik yaitu sampel tanah permukaan, sampel tanah dengan kedalaman 0-5 cm, 6-10 cm, dan 11-15 cm.



Gambar 1. Peta lokasi titik pengambilan sampel

Pengukuran Suseptibilitas Magnetik dan Pengukuran SEM-EDX

Pengukuran suseptibilitas magnetik tanah dilakukan menggunakan instrumen Bartington Susceptibility Meter MS2B. Bartington MS2B bekerja pada dua frekuensi yaitu *Low Frequency* (χ_{LF}) 470 Hz dan *High Frequency* (χ_{HF}) 4700 Hz. Perbedaan relatif antara dua frekuensi tersebut disebut *Frequency Dependent Susceptibility* (χ_{FD} (%)), yang mana parameter tersebut dapat digunakan untuk mengetahui sumber mineral magnetik yang terkandung pada sampel. Pengukuran ini dilakukan pada seluruh sampel lintasan 1 dan lintasan 2. Adapun tahapan yang dilakukan yaitu pertama sampel tanah dimasukkan kedalam sampel holder berbentuk silinder dengan diameter 1 *inch* lalu dihitung massa tanah yang tertampung didalamnya. Kemudian sampel tersebut diletakkan pada alat Bartington MS2B, dan diukur nilai suseptibilitas

magnetiknya pada frekuensi rendah dan frekuensi tinggi.

Pengukuran SEM-EDX dilakukan menggunakan instrumentasi TM 3000 *Tabletop Microscope* dan dilakukan pada tiga sampel berdasarkan nilai suseptibilitas magnetiknya. Prinsip kerja dari instrumen ini yaitu ketika permukaan suatu bahan disinari atau dikenakan berkas elektron, maka elektron tersebut akan memantulkan kembali berkas elektron sekunder ke segala arah. Berdasarkan pantulan tersebut maka akan diperoleh gambaran bentuk mineral dari batuan atau tanah tersebut.

Identifikasi pencemaran melalui parameter suseptibilitas magnetik telah dilakukan oleh Lu dan Bai (2006) pada salah satu perkotaan di China yang hasilnya menunjukkan bahwa pada tanah permukaan di lokasi penelitian terdapat peningkatan nilai suseptibilitas magnetik yang selaras dengan keberadaan mineral ferrimagnetik yang berasal dari sumber antropogenik. Penelitian lain telah

dilakukan oleh Magiera dkk (2015) yang menunjukkan bahwa peran kegiatan industri menyebabkan adanya peningkatan nilai suseptibilitas magnetik pada daerah penelitian. Identifikasi bentuk bulir mineral magnetik menggunakan SEM-EDX juga telah dilakukan oleh Shafaria dkk (2023) yang mana bulir mineral magnetik yang diperoleh pada material antropogenik yaitu berbentuk bulat atau *spherule*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Suseptibilitas Magnetik

Pengukuran nilai suseptibilitas magnetik dilakukan pada seluruh sampel tanah di lintasan 1 dan lintasan 2. Rentang nilai χ_{LF} yang diperoleh pada lintasan 1 yaitu 96,9-854,1 ($\times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$) dan rentang nilai $\chi_{FD}(\%)$ yang diperoleh yaitu 0,1-2,8 sebagaimana

yang disajikan pada Tabel 1, sedangkan rentang nilai χ_{LF} yang diperoleh pada lintasan 2 yaitu 194,7-3473,9 ($\times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$) dan rentang nilai $\chi_{FD}(\%)$ yang diperoleh yaitu 0,5-1,5 sebagaimana yang disajikan pada Tabel 2. Berdasarkan rentang nilai χ_{LF} yang diperoleh, terlihat bahwa rentang nilai χ_{LF} pada lintasan 2 cenderung lebih besar daripada lintasan 1. Adapun nilai χ_{LF} terkecil dari seluruh sampel diperoleh di lintasan 1 titik ketiga dengan kedalaman 0-5 cm yaitu bernilai $96,9 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$, sedangkan nilai χ_{LF} terbesar dari seluruh sampel diperoleh pada sampel tanah permukaan lintasan 2 titik keenam dengan nilai $3473,9 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$.

Tabel 1 Nilai χ_{LF} ($\times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$) dan $\chi_{FD}(\%)$ pada lintasan 1

No	Kode sampel	χ_{LF} ($\times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$)	χ_{FD} (%)	No	Kode sampel	χ_{LF} ($\times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$)	χ_{FD} (%)
1	L1-1A	646,3	0,8	24	L1-7B	357,0	0,7
2	L1-1B	516,0	0,7	25	L1-7C	371,0	0,5
3	L1-1C	603,0	0,5	26	L1-7D	504,0	0,5
4	L1-2A	622,3	0,8	27	L1-8A	309,8	0,8
5	L1-2B	472,0	0,9	28	L1-8B	253,0	1,0
6	L1-2C	602,0	0,7	29	L1-8C	259,0	1,1
7	L1-2D	568,0	0,7	30	L1-8D	285,0	0,8
8	L1-3A	406,5	1,1	31	L1-9A	584,8	0,2
9	L1-3B	96,6	1,8	32	L1-9B	333,0	0,4
10	L1-3C	216,0	0,7	33	L1-9C	478,0	0,5
11	L1-3D	371,0	1,0	34	L1-9D	483,0	0,7
12	L1-4A	564,6	0,7	35	L1-10A	388,9	2,8
13	L1-4B	724,0	0,7	36	L1-10B	240,0	1,0
14	L1-4C	756,0	0,7	37	L1-10C	277,0	1,4
15	L1-5A	854,1	0,9	38	L1-11A	277,2	1,0
16	L1-5B	618,0	1,0	39	L1-11B	380,0	1,3
17	L1-5C	509,0	0,5	40	L1-11C	347,0	1,4
18	L1-5D	542,0	0,8	41	L1-11D	295,0	1,2
19	L1-6A	510,1	0,8	42	L1-12A	466,5	0,3
20	L1-6B	488,0	0,7	43	L1-12B	226,0	0,1
21	L1-6C	478,0	0,4	44	L1-12C	552,0	0,3
22	L1-6D	445,0	0,4	45	L1-12D	558,0	0,6
23	L1-7A	547,3	0,6				

Keterangan: A = permukaan, B = kedalaman 0-5 cm, C = kedalaman 6-10 cm, D = kedalaman 11-15 cm

Tabel 2 Nilai χ_{LF} ($\times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$) dan $\chi_{FD}(\%)$ pada lintasan 2

No	Kode sampel	χ_{LF} ($\times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$)	χ_{FD} (%)	No	Kode sampel	χ_{LF} ($\times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$)	χ_{FD} (%)
1	L2-1A	431,6	1,0	16	L2-5B	555,2	1,3
2	L2-1B	510,4	1,1	17	L2-5C	609,1	1,3
3	L2-1C	377,1	0,7	18	L2-6A	3473,9	0,6
4	L2-1D	394,1	1,1	19	L2-6B	1906,0	0,7
5	L2-2A	455,4	0,8	20	L2-6C	2689,0	0,6
6	L2-2B	288,9	1,5	21	L2-6D	2869,0	0,6
7	L2-2C	194,7	1,0	22	L2-7A	2064,6	0,4
8	L2-3A	1558,4	0,8	23	L2-7B	1415,0	0,8
9	L2-3B	672,0	1,1	24	L2-7C	1722,0	0,7
10	L2-3C	830,1	1,0	25	L2-7D	2223,0	0,6
11	L2-3D	1225,0	0,7	26	L2-8A	1838,7	0,7

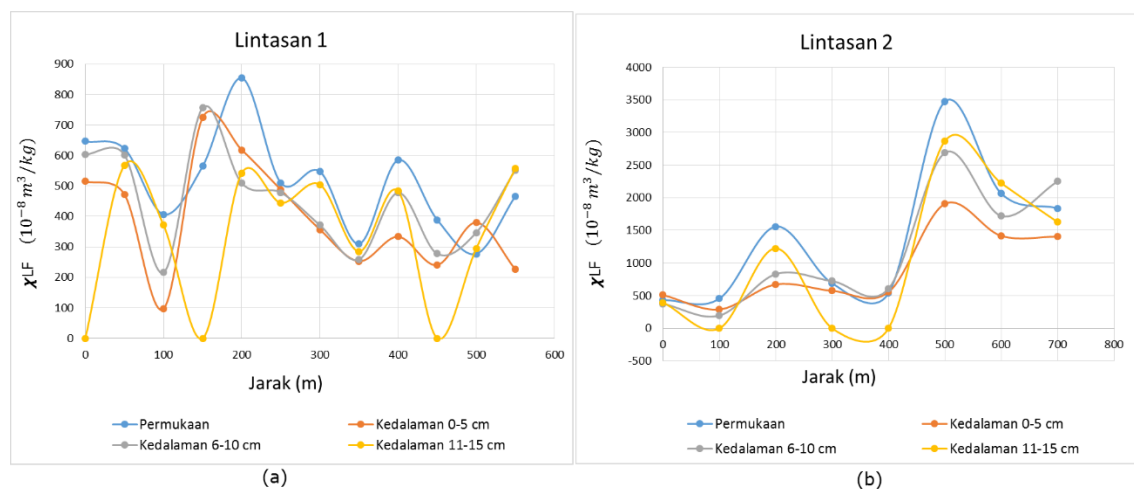
12	L2-4A	689,1	1,3	27	L2-8B	1404,0	1,5
13	L2-4B	574,5	1,1	28	L2-8C	2252,0	1,3
14	L2-4C	723,1	1,2	29	L2-8D	1626,0	1,0
15	L2-5A	539,3	1,3				

Keterangan: A = permukaan

, B = kedalaman 0-5 cm, C = kedalaman 6-10 cm, D = kedalaman 11-15 cm

Selain itu, untuk melihat kecenderungan nilai χ_{LF} pada lintasan 1 dan lintasan 2 dibuat juga grafik χ_{LF} terhadap jarak pada masing-masing kedalaman yang disajikan pada Gambar 2a dan Gambar 2b. Dari hasil tersebut terlihat bahwa pola grafik lintasan 2 cenderung lebih tinggi daripada pola grafik lintasan 1. Hal ini diasumsikan akibat adanya pengaruh jarak dari tiap lintasan terhadap perindustrian baja. Lintasan 1 memiliki jarak yang lebih jauh dengan daerah perindustrian baja sehingga

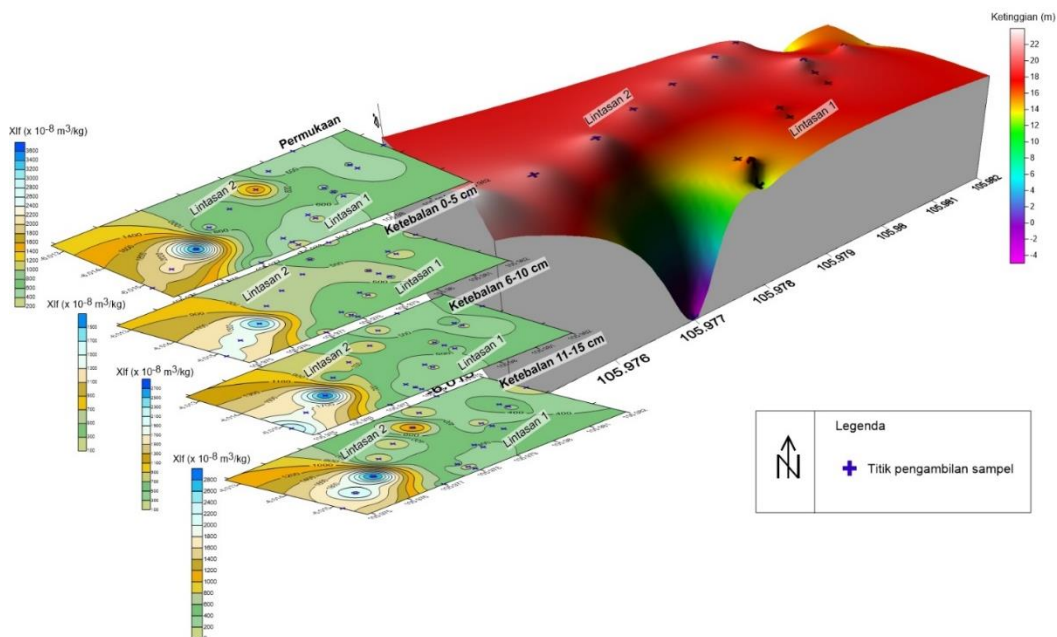
grafik yang terbentuk cenderung lebih rendah daripada lintasan 2. Selain itu kedalaman titik cuplik juga berpengaruh terhadap pencemaran tanah. Pada Gambar 2a maupun 2b terlihat bahwa semakin dalam titik cuplik, nilai χ_{LF} cenderung semakin kecil. Hal tersebut diduga bahwa polutan yang dihasilkan dari kegiatan perindustrian baja lebih banyak mengendap di tanah permukaan.



Gambar 2. (a) Grafik nilai χ_{LF} terhadap jarak pada tiap kedalaman di titik sampling lintasan 1
(b) Grafik sebaran nilai χ_{LF} terhadap jarak pada tiap kedalaman di titik sampling lintasan 2

Selain adanya pengaruh jarak dan kedalaman, besar elevasi titik pengambilan sampel juga berpengaruh terhadap variasi nilai suseptibilitas magnetik (Prakoso dkk, 2016). Berdasarkan Gambar 3 terlihat bahwa elevasi pada lintasan 2 cenderung lebih besar daripada elevasi lintasan 1, dan cenderung

memiliki nilai χ_{LF} yang lebih besar juga dibandingkan dengan nilai χ_{LF} pada lintasan 1. Hal ini diduga bahwa polutan cenderung lebih banyak mengendap pada permukaan dengan elevasi yang tinggi.

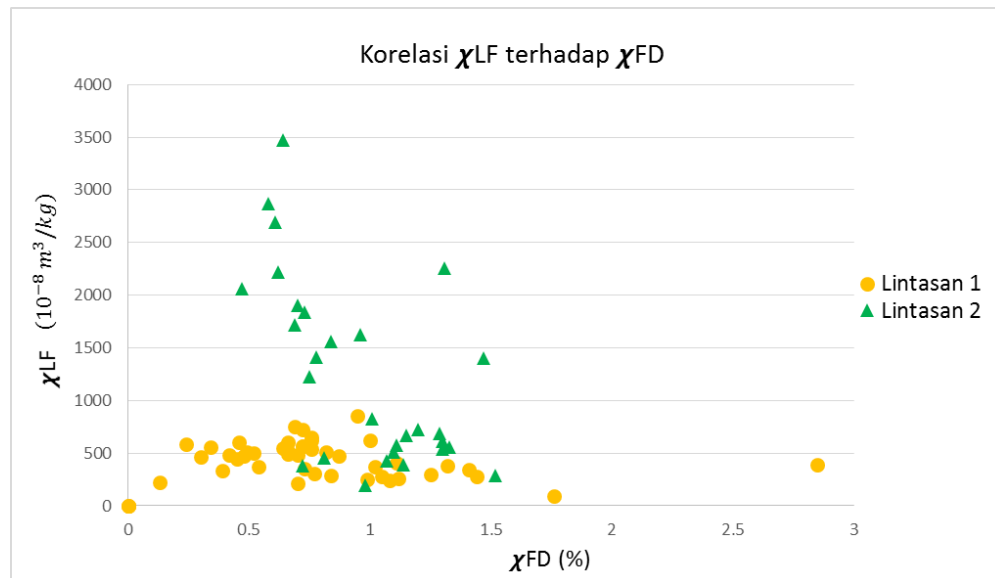


Gambar 3. Peta 3D elevasi lokasi penelitian yang digabungkan dengan peta sebaran suseptibilitas magnetik lintasan 1 dan lintasan 2 pada tiap kedalaman

Nilai χ_{LF} yang bervariasi pada tiap titik dapat menjadi salah satu parameter penentu golongan mineral yang terkandung pada tanah tersebut (Dearing, 1999). Untuk sampel tanah permukaan yang memiliki nilai χ_{LF} lebih dari $10 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ maka didalamnya didominasi oleh kandungan mineral ferrimagnetik, sedangkan pada sampel tanah permukaan yang didominasi oleh kandungan mineral paramagnetik nilai χ_{LF} yang diperoleh bernilai kurang dari $10 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan, nilai χ_{LF} pada seluruh sampel lintasan 1 dan lintasan 2 yaitu lebih dari $10 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, maka dari itu seluruh sampel mengandung unsur mineral ferromagnetik yang dominan. Menurut Bijaksana dan Huliselan (2010), sumber mineral magnetik dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan nilai χ_{FD} -nya. Mineral magnetik yang terkandung pada sampel tanah yang memiliki nilai χ_{FD} kurang dari 4% biasanya berasal dari sumber antropogenik atau akibat

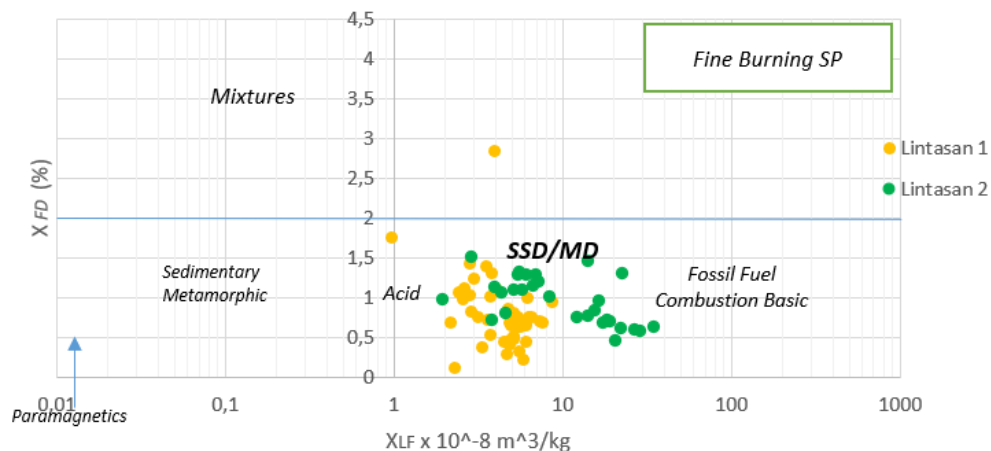
adanya aktivitas manusia yang menghasilkan polutan, sedangkan mineral magnetik yang terkandung pada sampel tanah yang memiliki nilai χ_{FD} lebih dari 10% yaitu berasal dari sumber pedogenik atau sumber mineral magnetik alami. Nilai χ_{FD} yang diperoleh pada seluruh sampel lintasan 1 maupun lintasan 2 yaitu bernilai kurang dari 4%, maka dari itu sumber mineral magnetik dari seluruh sampel tanah diduga berasal dari sumber antropogenik.

Adapun korelasi antara nilai χ_{LF} terhadap nilai $\chi_{FD}(\%)$ yang disajikan pada Gambar 4 menunjukkan adanya korelasi yang negatif baik pada lintasan 1 maupun pada lintasan 2, terutama lebih terlihat pada tren di lintasan 2. Menurut Lu dan Bai (2008) adanya korelasi negatif antara nilai χ_{LF} dan $\chi_{FD}(\%)$ menunjukkan bahwa sumber mineral magnetik yang terkandung yaitu berasal dari sumber antropogenik yang salah satunya akibat polutan industri.

Gambar 4. Grafik korelasi antara nilai χ_{LF} terhadap χ_{FD} (%)

Untuk mengetahui domain magnetik yang terkandung pada sampel dapat dilihat melalui diagram skematik antara χ_{FD} (%) terhadap χ_{LF} (Dearing, 1999). Pada diagram skematik yang disajikan di Gambar 5 terlihat bahwa sampel tanah pada lintasan 1 maupun lintasan 2 berada pada posisi *Stable Single Domain / Multi Domain* (SSD/MD). Menurut

Solomon (2017) bulir SSD dan MD pada umumnya berasal dari sumber antropogenik akibat pengaruh aktivitas manusia. Selain itu, menurut Lu dan Bai (2008) keberadaan bulir MD dapat berasal dari adanya kegiatan industri dan *fuel combustion*.

Gambar 5. Diagram skematik χ_{FD} (%) terhadap χ_{LF}

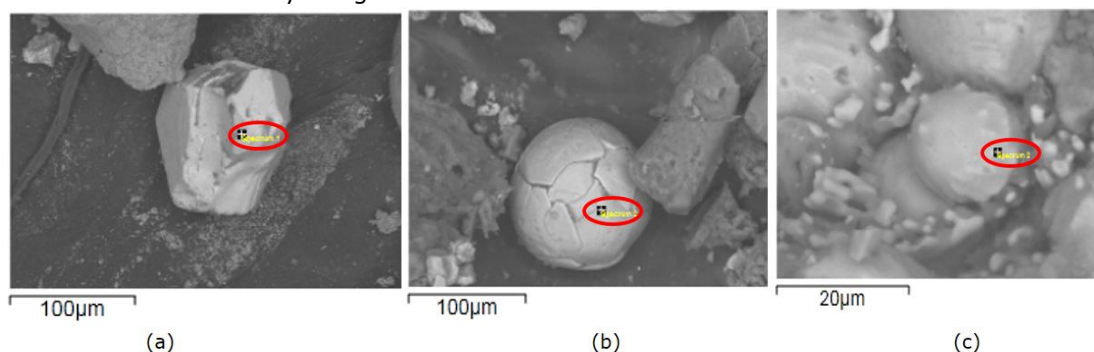
Analisis SEM-EDX

Pengukuran SEM-EDX dilakukan pada tiga sampel yaitu sampel pada lintasan 1 titik ketiga dengan kedalaman 0-5 cm dengan kode sampel L1-3B yang memiliki nilai χ_{LF} sebesar $96,6 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, lalu sampel pada tanah permukaan lintasan 1 titik kesebelas dengan kode sampel L1-11A yang memiliki nilai χ_{LF} sebesar $277,2 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, serta sampel tanah permukaan di lintasan 2 titik keenam dengan kode sampel L2-6 (Permukaan) yang memiliki nilai χ_{LF} $3473,9 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. Hasil pengukuran SEM-EDX yang disajikan pada Gambar 6a

menunjukkan bahwa sampel L1-3B memiliki bulir mineral magnetik berbentuk oktahedral yang diasumsikan berasal dari sumber pedogenik. Gambar 6b menunjukkan bahwa sampel L1-11A memiliki bulir mineral magnetik berbentuk bulat disertai retakan pada permukaannya sehingga diasumsikan mineralnya berasal dari sumber antropogenik. Sedangkan Gambar 6c menunjukkan bahwa sampel L2-6A memiliki bulir mineral magnetik berbentuk bulat dan cenderung halus sehingga diasumsikan mineralnya berasal dari sumber antropogenik. Hal tersebut sesuai dengan

penelitian yang telah dilakukan oleh Shafaria dkk (2023), Fitriani dkk (2021), Kirana dkk (2020), dan Agustine dkk (2013) bahwa mineral magnetik yang memiliki bulir bulat adalah mineral magnetik yang berasal dari sumber antropogenik yang merupakan salah satu faktor akibat adanya kegiatan manusia

yang menghasilkan polutan. Sedangkan mineral magnetik yang memiliki bulir berbentuk oktahedral adalah mineral magnetik yang berasal dari sumber pedogenik atau mineral yang terbentuk secara alami di alam.



Gambar 6. (a) Hasil pengukuran SEM-EDX pada sampel L1-3B yang menunjukkan bentuk bulir oktahedral (b) Hasil pengukuran SEM-EDX pada sampel L1-11A yang menunjukkan bentuk bulir bulat (c) Hasil pengukuran SEM-EDX pada sampel L2-6A yang menunjukkan bentuk bulir bulat. Titik yang dilingkari merupakan titik pada sampel yang dideteksi kandungan unsurnya

Dari pengukuran SEM-EDX, diperoleh juga persentase unsur yang terkandung pada mineral magnetik tanah. Unsur yang terkandung pada ketiga sampel cenderung banyak mengandung unsur Karbon (C), Oksigen (O), dan Besi (Fe), serta unsur

lainnya meliputi Aluminium (Al), Silikon (Si), Kalsium (Ca), Mangan (Mn), Titanium (Ti), Nikel (Ni) yang persentasenya lebih sedikit. Kadar unsur C, O dan Fe pada sampel L1-3B, L1-11A, dan L2-6A disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Kadar unsur C, O, dan Fe pada sampel L1-3B, L1-11A, dan L2-6A

Kode sampel	C (%)	O (%)	Fe (%)
L1-3 (0-5 cm)	19,2	64,7	7,4
L1-11 (Permukaan)	46,9	26,8	18,2
L2-6 (Permukaan)	8,1	52,2	26,3

Melimpahnya kandungan unsur C dan O pada ketiga titik tersebut diasumsikan akibat terdapatnya aktivitas pembakaran dari perindustrian baja yang menghasilkan emisi yang juga kaya akan unsur C dan O. Sedangkan melimpahnya kandungan unsur Fe diduga akibat adanya partikel besi dari perindustrian baja yang kemudian bertebangan lalu mengendap di tanah. Jumlah unsur Fe di ketiga titik tersebut pun memiliki nilai yang bervariasi, hal tersebut diasumsikan bahwa jumlah unsur Fe yang terkandung di titik yang lebih jauh dari kegiatan industri dan lebih dalam dari permukaan akan semakin sedikit, sedangkan pada titik yang lebih mendekati dengan kegiatan industri dan lebih dekat dengan permukaan maka kandungan unsur Fe akan semakin melimpah.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian yang telah dilakukan yaitu nilai suseptibilitas magnetik (χ_{LF}) yang diperoleh

pada lintasan 1 yaitu berada pada rentang $96,9-854,1(\times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg})$, sedangkan pada lintasan 2 diperoleh nilai χ_{LF} yaitu pada rentang $194,7-3473,9(\times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg})$. Hal tersebut menunjukkan bahwa lintasan yang semakin dekat dengan industri baja yaitu lintasan 2 memiliki nilai suseptibilitas magnetik yang cenderung lebih tinggi daripada lintasan 1, karena logam berat cenderung lebih banyak terakumulasi di lokasi yang dekat dengan industri baja. Hal ini dipengaruhi juga oleh kedalaman serta elevasi titik pengambilan sampel, dimana semakin tinggi elevasi dan semakin dekat dengan permukaan titik pengambilan sampel, nilai suseptibilitas yang dihasilkan cenderung semakin besar. Selanjutnya, nilai $\chi_{FD}(\%)$ yang diperoleh dari seluruh sampel yaitu bernilai kurang dari 4%, dan terdapat korelasi negatif antara nilai χ_{LF} terhadap nilai $\chi_{FD}(\%)$ yang menunjukkan bahwa sumber mineral magnetik yang terkandung yaitu berasal dari sumber antropogenik. Lalu, untuk bulir mineral magnetik yang diperoleh pada

sampel lintasan 1 memiliki berbentuk oktahedral yang diasumsikan mineral magnetiknya berasal dari sumber pedogenik. Selain itu ada juga bulir mineral magnetik yang berbentuk bulat yang disertai retakan dipermukannya yang diasumsikan mineral magnetiknya berasal dari sumber antropogenik. Sedangkan pada lintasan 2 bulir mineral magnetik cenderung memiliki bentuk bulat dan halus sehingga diduga mineral magnetik berasal dari sumber antropogenik, selain itu konsentrasi unsur Fe pada lintasan 2 lebih banyak daripada lintasan 1.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Padjadjaran atas dukungan serta bantuan selama penelitian dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustine, E. (2016). STUDI MORFOLOGI BULIR DAN MAPPING KONTAMINASI PADA TANAH VULKANIK UNTUK MENGENALI PENGARUH PESTISIDA MENGGUNAKAN SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM). *Spektra: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 1(1), 29-34.
- Agustine, E., Fitriani, D., Safiuddin, L. O., Tamuntuan, G., & Bijaksana, S. 2013. Magnetic susceptibility properties of pesticide contaminated volcanic soil. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1554, No. 1, pp. 230-233). American Institute of Physics
- Bijaksana, S., & Huliselan, E. K. 2010. Magnetic properties and heavy metal content of sanitary leachate sludge in two landfill sites near Bandung, Indonesia. *Environmental Earth Sciences*, 60, 409-419.
- Dearing, John A. 1999. *Environmental Magnetic Susceptibility Using the Bartington MS2 System (Second)*. British Library.
- Evans, M. E., & Heller, F. 2003. *Environmental magnetism: principles and applications of enviromagnetics* (Vol. 86). Academic press.
- Fitriani, D., Utami, W., Kirana, K. H., Agustine, E., & Zulaikah, S. 2021. Magnetic Signatures on River Sediments and Agricultural Soils as Proxy Indicators of Anthropogenic-derived Pollution (Case Study: Cikijing River, Rancaekek, West Java). *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 7(3), 381-387.
- Jumianti, N., & Afdal, A. 2020. Identifikasi Logam Berat Pencemaran Tanah Lapisan Atas Berdasarkan Nilai Suseptibilitas Magnetik pada Zona Penggunaan Lahan Berbeda di Kota Padang. *Jurnal Fisika Unand*, 9(4), 550-557.
- Kirana, K. H., Ghazali, M., Septiana, L. A. E. S., Fitriani, D., Agustine, E., Fajar, S. J., & Nugraha, M. G. 2020. Karakterisasi mineral magnetik sedimen sungai citarum hilir melalui analisa sifat magnetik, mineralogi serta morfologi magnetik. *POSITRON*, 10(2), 131-139.
- Lu, S. G., & Bai, S. Q. 2006. Study on the correlation of magnetic properties and heavy metals content in urban soils of Hangzhou City, China. *Journal of Applied Geophysics*, 60(1), 1-12.
- Lu, S. G., & Bai, S. Q. 2008. Magnetic characterization and magnetic mineralogy of the Hangzhou urban soils and its environmental implications. *Chinese journal of geophysics*, 51(3), 549-557.
- Magiera, T., Parzentny, H., Róg, L., Chybiorz, R., & Wawer, M. 2015. Spatial variation of soil magnetic susceptibility in relation to different emission sources in southern Poland. *Geoderma*, 255-256, 94-103. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.04.028>
- Prakoso, A. G., Darmasetiawan, R., Pratiwi, R. A., Widjatmoko, B., Kirana, K. H., & Fitriani, D. 2016. Sifat Magnetik Tanah Dan Daun Sebagai Indikator Pencemaran. In *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)* (Vol. 5, pp. SNF2016-ERE).
- Sari, G. P. 2019. Dampak Keberadaan Industri Baja Terhadap Kondisi Sosial Ekonomi Masyarakat Di Dusun Dimoro (Studi Kasus di Dusun Dimoro Desa Tambak Agung Kecamatan Puri Kabupaten Mojokerto). *Jurnal Swara Bhumi*, 3(3).
- Shafaria, M., Kirana, K. H., Fitriani, D., Agustine, E., Harja, A., & Endyana, C. 2023. Identification of Anthropogenic Materials in Lake Ciburuy Sediments Using Physico-Chemical Properties and Pollution Index. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 38(4), 117-134.
- Solomon, J., Ahmed., I Adamu, dan O Dimu. 2017. Identifying Anthropogenic Metallic Pollutants Using Frequency Dependent Magnetic Susceptibility Measurements in Abuja Metropolis. *Current Trend in Natural Sciences* 6 (11): 13-22
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. 1990. *Applied geophysics*. Cambridge university press.
- Tiow, V. A., Rampe, M. J., & Arsyad, M. 2018. Kajian suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi terhadap pasir besi Kabupaten Takalar. *Jurnal Sainsmat*, 7(2), 136-146.
- Yulianto, B., D. Suwarno., K. Amri., S. Oetari., A. Ridho. dan B. Widianarko. 2006. Penelitian Tingkat Pencemaran

Logam Berat Di Pantai Utara Jawa Tengah. Badan penelitian dan Pengembangan Jawa Tengah, 138 hlm

Yulius, U., & Afdal, A. 2014. Identifikasi Sebaran Logam Berat Pada Tanah Lapisan Atas Dan Hubungannya Dengan Suseptibilitas Magnetik Di Beberapa Ruas Jalan Disekitar Pelabuhan Teluk Bayur Padang. *Jurnal Fisika Unand*, 3(4), 198-204