

Suseptibilitas Magnetik dan Kandungan Logam Berat pada Tanah Lapisan Atas di Sekitar PLTU Ombilin

Ovi Yanti Oktavia, Afdal*

Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Andalas
Kampus Unand, Limau Manis, Padang 25163

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 01 November 2020
Direvisi: 23 November 2020
Diterima: 07 Desember 2020

Kata kunci:

logam berat
PLTU
suseptibilitas magnetik
tanah lapisan atas

Keywords:

heavy metal
coal Thermal Power Plant
magnetic susceptibility
topsoil

Penulis Korespondensi:

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

ABSTRAK

Penelitian untuk menentukan nilai suseptibilitas magnetik dan kandungan logam berat pada tanah lapisan atas di sekitar PLTU batubara Ombilin telah dilakukan. Sampel tanah lapisan atas diambil pada 39 titik pada kedalaman 20 cm dalam radius 1400 m. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai suseptibilitas magnetik berkisar antara $14,77 \times 10^{-8}$ sampai $887,12 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ dengan rata-rata $278,43 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. Dari nilai rata-rata suseptibilitas magnetik terlihat bahwa sebagian besar daerah di sekitar PLTU dikategorikan tercemar sedang dan beberapa titik tercemar rendah dan tinggi. Nilai tertinggi dari nilai suseptibilitas terdapat pada radius 400 m arah utara dan timur serta barat laut PLTU. Semakin jauh dari PLTU nilai suseptibilitas magnetik semakin rendah. Pengukuran kandungan logam berat menggunakan *X-Ray Fluorescence* dilakukan pada 7 sampel. Logam berat Fe, As dan Cr sudah melewati ambang batas untuk semua sampel uji. Nilai suseptibilitas magnetik dan konsentrasi logam berat memiliki korelasi cukup kuat dengan koefisien korelasi berturut-turut adalah 0,76; 0,86; 0,73; 0,95 dan 0,79 untuk logam Fe, Pb, Mn, Zn dan Cu. Korelasi untuk logam Ni, As dan Cr cukup lemah dengan koefisien korelasi berturut-turut 0,13; 0,32 dan 0,09.

Magnetic susceptibility and heavy metals in topsoil around the Ombilin coal power plant have been determined. Thirty-nine topsoil samples were collected at a depth of 20 cm at a radius of up to 1400 m. The results show that the magnetic susceptibility has a range value from $14.77 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ to $887.12 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ with an average of $278.43 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. The average value of magnetic susceptibility around the power plant is medium polluted, and several points are low and high polluted. The highest value of magnetic susceptibility was observed in the area with a radius smaller than 400 m to the north, east, and northwest of the power plant. The higher the distance from the power plant, the lower magnetic susceptibility. Heavy metal content measured using X-Ray fluorescence carried out to 7 selected samples. Heavy metals Fe, As, and Cr exceeded the threshold for all samples. The magnetic susceptibility and heavy metal values have a slightly strong relationship, which can be seen from correlation coefficients, namely, 0.76, 0.86, 0.73, 0.95, and 0.79 in Fe, Pb, Mn, Zn, and Cu, respectively. Finally, weak correlation is found for Ni, As, and Cr metals with the correlation coefficients of 0.13, 0.32 dan 0.09.

Copyright © 2020 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Tanah lapisan atas merupakan tempat tumbuhnya tanaman sebagai produsen utama dalam rantai makanan dan juga penerima berbagai polutan terutama logam berat yang menumpuk dalam waktu yang lama. Keberadaan logam berat ini dapat membuat pencemaran pada tanah lapisan atas. Logam berat merupakan bahan pencemar berbahaya, karena logam berat tidak dapat dihancurkan oleh organisme hidup di dalam tanah. Akitivitas manusia menyebabkan peningkatan konsentrasi logam berat di udara yang kemudian akan terdeposit pada bangunan, vegetasi dan permukaan tanah (Jordanova dkk., 2013; Yuliarti dkk., 2013). Aktivitas tersebut meliputi kegiatan industri seperti pembangkit listrik tenaga uap, kilang, pabrik baja, tambang terbuka, berbagai unit kokas dan briket dan emisi kendaraan serta limbah domestik (Rout dkk., 2014).

Industri Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) selain menjadi pemasok energi juga menyebabkan polusi tanah (Rind dkk., 2013). Kerusakan lingkungan disebabkan oleh emisi sejumlah SO_x, NO_x dan Suspended Particulate Matter (SPM) dan Respirable Suspended Particulate Matter (RSPM) yang menyebar pada radius tertentu menyebabkan masalah terkait dengan keberlangsungan hidup makhluk hidup di sekitarnya (Pokale, 2012).

Ozkul (2016) telah melakukan identifikasi kandungan logam berat pada tanah lapisan atas di sekitar PLTU Tuncbilek, Kutahya, Turki yang menggunakan batubara sebagai bahan bakarnya. Kandungan logam berat secara keseluruhan dalam tanah bervariasi dari 4,4-317,5 mg/kg. Berdasarkan perhitungan indeks geoakumulasi menunjukkan permukaan tanah sangat terkontaminasi oleh As, Hg, Cr dan Ni, terkontaminasi sedang oleh logam Pb dan Zn dan tidak terkontaminasi logam Cd dan Cu.

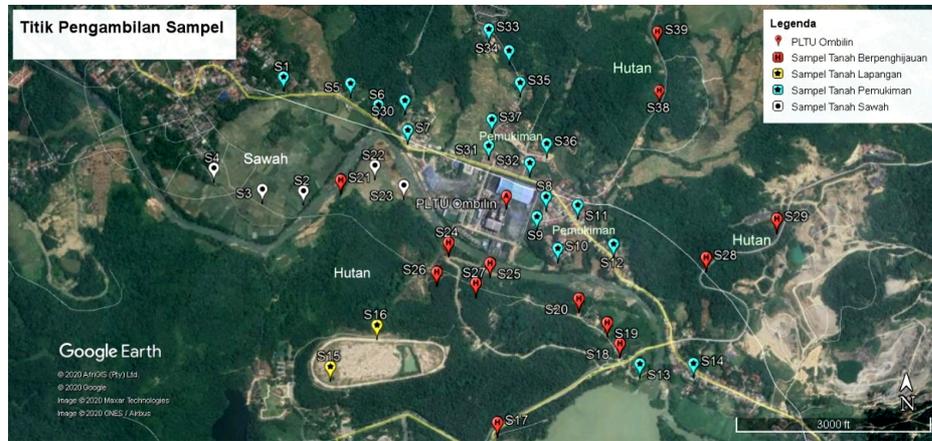
Kandungan logam berat pada tanah lapisan atas dapat diidentifikasi dengan pengukuran sampel tanah menggunakan metode spektrofotometri salah satunya dengan X-Ray Fluorescence (XRF). Namun, jika metode tersebut langsung dilakukan untuk meneliti banyak sampel maka akan membutuhkan biaya yang besar dan waktu penelitian yang cukup lama. Untuk mengatasi hal tersebut, dapat digunakan metode magnetik melalui pengukuran nilai suseptibilitas magnetik terlebih dahulu. Pengukuran magnetik tanah lapisan atas dapat diandalkan dalam menilai kontaminasi tanah akibat pengendapan polutan dari atmosfer (Kapicka dkk., 2011). Metode ini telah berhasil dilakukan oleh Maharani dan Budiman (2018) dengan melakukan analisis suseptibilitas magnetik dan kandungan logam berat pada tanah lapisan atas di beberapa ruas jalan di Kota Bukittinggi. Suseptibilitas magnetik dan konsentrasi total logam berat sampel memiliki korelasi positif yang kuat dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,932. Hal ini sebagaimana juga ditemukan oleh Orosun dkk., (2020) dimana korelasi suseptibilitas magnetik dan konsentrasi beberapa logam berat untuk Cu adalah 0,92; Fe 0,88; Cr 0,85; Zn 0,83; Cd 0,79; Mg 0,72; Mn 0,60 dan Pb 0,67. Nilai korelasi yang mendekati 1 ini menunjukkan bahwa suseptibilitas magnetik dapat digunakan untuk menilai polusi logam-logam berat dalam tanah.

Wahyuni dan Afdal (2018) mengidentifikasi hubungan kandungan logam berat dengan nilai suseptibilitas magnetik pada tanah lapisan atas di Kota Sawahlunto di beberapa lokasi yaitu Pusat kota, PLTU, area tambang batubara dan area pertanian. Hasil yang didapatkan menunjukkan PLTU ombilin memiliki suseptibilitas magnetik $0,3 \times 10^{-8} - 257,9 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ tergolong pencemaran rendah dan sedang. Penelitian kali ini melanjutkan penelitian sebelumnya khusus untuk daerah sekitar PLTU Ombilin karena titik pengambilan sampel pada penelitian sebelumnya masih sedikit. Selain itu, penelitian ini dilanjutkan karena menurut berita dari surat kabar elektronik bahwa abu mulai berjatuhan dan meresahkan sampai ke rumah warga dari bulan Februari 2019 (Indrawati, 2019). Ternyata terjadi kerusakan filter penyaring udara pada cerobong tempat keluarnya abu terbang. Perbaikannya akan selesai pada Desember 2019 (Subandi, 2019). Kerusakan yang terjadi ini dikhawatirkan meningkatkan kandungan logam berat pada tanah dari sebelumnya.

II. METODE

Sampel tanah permukaan sebagai objek penelitian diambil di sekitar PLTU Ombilin pada tanggal 24 April 2020 sampai 8 Mei 2020. Sampel diambil pada 40 titik yang tersebar di sekitar PLTU Ombilin (Gambar 1). Sampel tanah permukaan diambil hingga kedalaman 20 cm dari permukaan tanah dan dimasukkan ke dalam plastik *ziplock*. Sampel yang telah diambil dikeringkan di udara terbuka pada temperatur ruang dalam waktu 48-36 jam untuk mengurangi kadar uap air dalam sampel. Sampel yang telah kering digerus menggunakan lumpang dan alu, setelah itu diayak menggunakan ayakan 100 mesh lalu dimasukkan ke dalam sampel holder. Selanjutnya dilakukan pengukuran

suseptibilitas magnetik sampel menggunakan *Bartington Magnetic Susceptibility Meter* MS2 dengan sensor MS2B dengan 15 arah pengukuran untuk masing-masing sampel. Data suseptibilitas magnetik yang didapatkan dalam 15 arah diolah menggunakan program Matlab 2020a untuk memperoleh nilai suseptibilitas magnetik sampel dan dilanjutkan dengan membuat peta kontur suseptibilitas magnetik menggunakan *software Surfer*. Penentuan pengukuran logam berat pada sampel dilakukan terhadap tujuh sampel uji di Labotatorium Instrumentasi Kimia Jurusan Kimia universitas negeri padang menggunakan alat *X-ray fluorescence* Epsilon 3.



Gambar 1 Titik pengambilan sampel

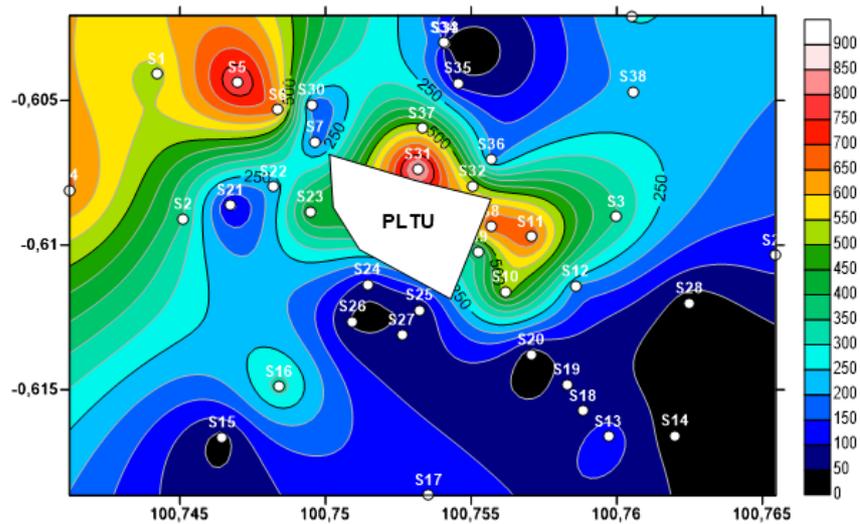
III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Sebaran Nilai Suseptibilitas Magnetik Tanah Lapisan Atas

Tabel 1 Nilai suseptibilitas magnetik sampel

Kode Sampel	Koordinat Lintang	Koordinat Bujur	Suseptibilitas Magnetik ($\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$)	Kode Sampel	Koordinat Lintang	Koordinat Bujur	Suseptibilitas Magnetik ($\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$)
S1	-0.6040889	100.744216	528.07	S21	-0.6086250	100.7467389	81.38
S2	-0.6091000	100.745113	354.15	S22	-0.6079778	100.7482194	219.77
S3	-0.6090278	100.759986	354.66	S23	-0.6088528	100.7494833	462.25
S4	-0.6081028	100.741213	663.39	S24	-0.6113639	100.7514389	72.84
S5	-0.6043667	100.746972	812.11	S25	-0.6122556	100.7532333	48.31
S6	-0.6053250	100.748372	674.15	S26	-0.6126417	100.7509361	39.37
S7	-0.6064361	100.749650	166.94	S27	-0.6131111	100.7526194	69.05
S8	-0.6093556	100.755669	698.79	S28	-0.6120139	100.7624889	19.11
S9	-0.6102333	100.755269	347.29	S29	-0.6103583	100.7654556	123.43
S10	-0.6116167	100.756175	527.43	S30	-0.6051528	100.7495306	158.51
S11	-0.6097194	100.757050	705.44	S31	-0.6073667	100.7531806	887.12
S12	-0.6114250	100.758583	191.10	S32	-0.6079611	100.7550472	542.37
S13	-0.6166278	100.759705	129.22	S33	-0.6030111	100.7541306	17.24
S14	-0.6165972	100.762002	21.25	S34	-0.6030028	100.7540611	166.94
S15	-0.6166528	100.746458	27.78	S35	-0.6043917	100.7545444	71.37
S16	-0.6149000	100.748413	330.58	S36	-0.6070389	100.7557000	183.97
S17	-0.6186528	100.753547	143.79	S37	-0.6059639	100.7533167	530.89
S18	-0.6157389	100.758838	64.21	S38	-0.6046889	100.7605611	209.37
S19	-0.6148361	100.758291	74.50	S39	-0.6020722	100.7605278	256.83
S20	-0.6137917	100.757061	14.77	SLD	-0.6020722	100.7605278	8.89

Hasil pengukuran suseptibilitas magnetik dan posisi pengambilan sampel tanah dapat dilihat pada Tabel 4.1. Nilai suseptibilitas magnetik yang terukur pada 39 sampel utama (S1-S39) berkisar antara $14,77 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ (S20) sampai $887,12 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ (S31) dengan rata-rata $278,43 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ dan sampel SLD dengan suseptibilitas magnetik $8,89 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. Nilai suseptibilitas magnetik rata-rata mengindikasikan, daerah dalam radius 1400 m di sekitar PLTU berada dalam kategori tercemar rendah karena nilai suseptibilitas magnetik kecil dari $300 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ (Evan dan Heller, 2003). Beberapa titik termasuk kategori tercemar sedang dengan suseptibilitas magnetik berada pada rentang $300 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ sampai $600 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ (S1,S2,S3,S9, S10,S16, S23, S32 dan S37) dan kategori tercemar tinggi dengan suseptibilitas magnetik lebih dari $600 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ sampai $1000 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ (S4, S5, S6, S8, S11 dan S31).



Gambar 2 Peta kontur nilai suseptibilitas magnetik

Berdasarkan nilai suseptibilitas magnetik dari masing-masing sampel dibuat peta kontur seperti yang terlihat pada Gambar 2. Hasil pemetaan menunjukkan daerah yang berada pada radius 400 meter sebelah utara sampai timur PLTU memiliki nilai suseptibilitas magnetik tertinggi. Secara keseluruhan, suseptibilitas magnetik mengalami penurunan terhadap pertambahan radius dari PLTU. Semakin jauh dari PLTU suseptibilitas magnetik tanah semakin kecil. Hal tersebut menunjukkan bahwa peningkatan suseptibilitas magnetik diduga berasal dari aktivitas PLTU meliputi pengangkutan, pengolahan, dan pembakaran batubara. Suseptibilitas arah barat dan barat laut mengalami peningkatan yang signifikan setelah mengalami penurunan. Hal ini dapat disebabkan karena daerah barat merupakan lahan sawah sehingga nilai suseptibilitas magnetik dapat dipengaruhi juga oleh pupuk yang diberikan pada lahan tersebut (Surtipanti dkk, 1995; Erfandi dkk, 2014). Pada arah barat laut diperkirakan disebabkan karena deposisi abu PLTU oleh arah angin dan juga keadaan tanah tandus sehingga polutan langsung terdeposisi ke tanah juga adanya kontaminasi dengan aktivitas kendaraan bermotor. Daerah bagian selatan dan barat daya PLTU memiliki nilai suseptibilitas yang relatif rendah karena daerah ini merupakan daerah perbukitan yang ditumbuhi banyak pepohonan hijau sehingga polutan logam berat dapat diserap oleh tumbuhan tersebut. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa penghijauan yang baik dapat mengurangi deposisi polusi ke tanah (Hendrasarie, 2007; Susilastri dkk., 2018).

3.2 Kandungan Logam Berat pada Sampel Tanah

Pengukuran kandungan logam berat dilakukan terhadap tujuh sampel dari nilai suseptibilitas tertinggi hingga terendah yaitu S31, S8, S2, S38, S29, S26 dan SLD. Unsur logam berat yang dianalisis pada penelitian ini adalah delapan unsur (Fe, Pb, Mn, Zn, Cu, As, Ni, Cr) yang diperkaya dari aktivitas PLTU (Sajwan dkk., 1999). Konsentrasi logam berat tersebut dapat dilihat pada Tabel 2. Konsentrasi logam Fe, As dan Cr pada semua sampel uji sudah melebihi nilai ambang batas maksimum. Konsentrasi logam Ni masih berada jauh di bawah ambang batas untuk semua sampel. Sampel SLD memiliki suseptibilitas terendah namun ada beberapa logam berat dengan konsentrasi melebihi ambang batas seperti Fe, Cu, As dan Cr. Hal ini bisa saja terjadi karena terdapat banyak

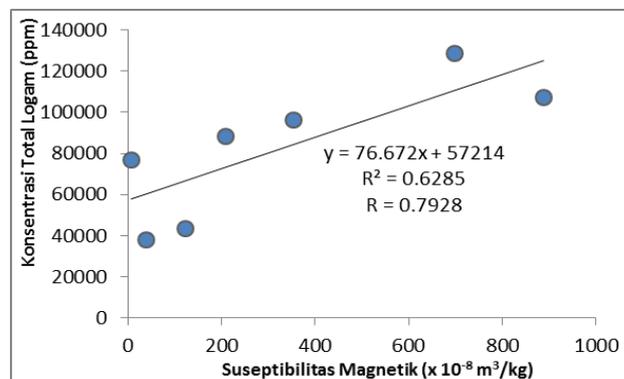
mineral non-magnetik alami lain penyusun tanah yang dapat menyebabkan rendahnya nilai suseptibilitas magnetik. Ketika kerentanan magnetik dan konsentrasi logam berat keduanya tinggi, sumber kemungkinan besar bersifat antropogenik, namun jika sebaliknya, maka sumber kemungkinan besar adalah alami yang menunjukkan adanya anomali geogenik dan pedogenik (Lu dkk., 2007). Dalam hal ini sampel yang diambil kedalaman 20-30 cm belum cukup akurat sebagai acuan tanah yang belum tercemar.

Tabel 2 Konsentrasi Logam Berat

Kode Sampel	S31	S8	S2	S38	S29	S26	SLD
Suseptibilitas Magnetik ($\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$)	887,12	698,79	354,15	209,37	123,43	39,37	8,89
Unsur Logam	Satuan (ppm)						
Fe	99840*	121010*	94880*	86280*	42330*	36960*	76010*
Pb	290*	220*	70	80	40	40	140
Mn	1720	4200*	620	1060	490	620	70
Zn	4060*	2490*	390*	370*	180	150	180
Cu	850*	220*	140*	160*	70	60	200*
jNi	70	10	40	50	70	50	70
As	70*	30*	20*	30*	20*	20*	90*
Cr	260*	150*	150*	170*	160*	140*	300*
Jumlah	107160	128330	96310	88200	43360	38040	77060

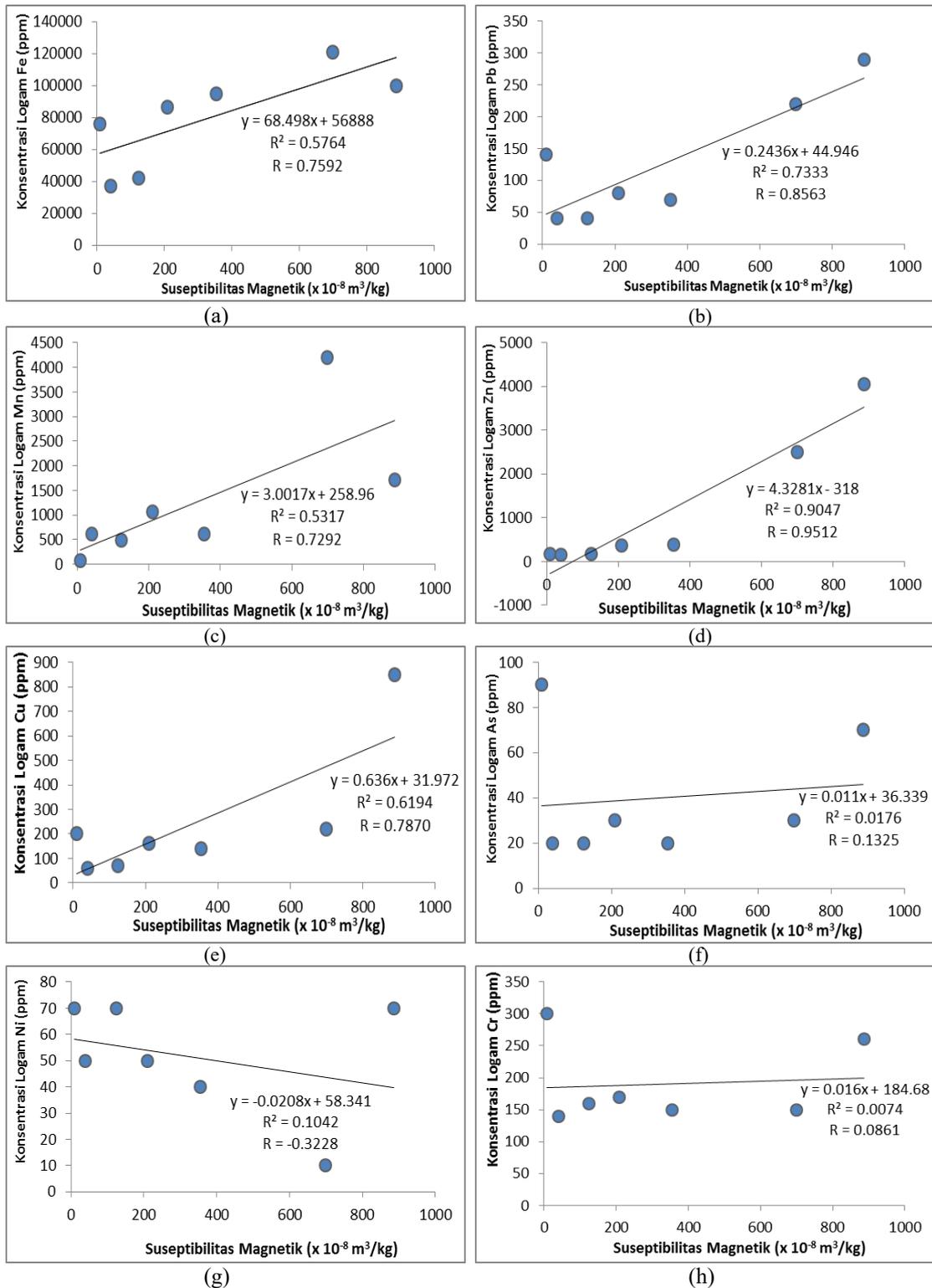
*Logam berat yang sudah melewati nilai ambang batas berdasarkan Erfandi dan Juarsah (2014).

Grafik hubungan antara suseptibilitas magnetik dan total konsentrasi logam berat dapat dilihat pada Gambar 3. Konsentrasi total logam berat dengan nilai suseptibilitas magnetik yang terukur memiliki koefisien korelasi sebesar 0,79. Hasil tersebut menunjukkan adanya keterkaitan peningkatan suseptibilitas magnetik dengan peningkatan konsentrasi total logam berat karena nilainya mendekati 1.



Gambar 3 Hubungan Konsentrasi Total Logam Berat dengan Nilai Suseptibilitas Magnetik

Hubungan nilai suseptibilitas magnetik dengan konsentrasi masing-masing logam berat dapat dilihat pada Gambar 4. Konsentrasi logam berat yang memiliki keterkaitan kuat dengan nilai suseptibilitas magnetik adalah logam Fe, Pb, Mn, Zn dan Cu dengan koefisien korelasi berturut-turut 0,7592; 0,8563; 0,7292; 0,9512 dan 0,7870. Berdasarkan nilai koefisien korelasi tersebut, persamaan regresi dari beberapa logam tersebut dapat dijadikan acuan untuk memperkirakan konsentrasi logam berat, namun untuk logam berat Ni, As dan Cr memiliki keterkaitan yang sangat lemah antara konsentrasi logam beratnya dengan nilai suseptibilitas magnetik. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai koefisien korelasi antara keduanya yang mendekati nol yaitu -0,3228; 0,1352 dan 0,0861. Dengan demikian, persamaan regresi untuk logam Ni, As dan Cr tidak dapat digunakan untuk memperkirakan konsentrasi logam berat berdasarkan suseptibilitas magnetiknya.



Gambar 4 Grafik hubungan konsentrasi logam berat (a) Fe (b) Pb (c) Mn (d) Zn (e) Cu (f) As (g) Ni (h) Cr dengan nilai suseptibilitas magnetik

IV. KESIMPULAN

Nilai suseptibilitas magnetik pada daerah penelitian berkisar antara $14,77 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ sampai $887,12 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ dengan rata-rata $278,43 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. Berdasarkan nilai tersebut, rata-rata daerah di sekitar PLTU Ombilin termasuk kategori tercemar sedang dan beberapa titik tercemar rendah dan tinggi. Dari hasil pemetaan nilai suseptibilitas magnetik diketahui bahwa penyebaran tertinggi berada di dekat PLTU sampai radius 400 m ke arah utara dan timur serta arah barat laut. Hal tersebut diduga karena aktivitas pengangkutan, pengolahan dan pembakaran batubara serta aktivitas kendaraan

bermotor namun, untuk arah selain itu suseptibilitas magnetiknya lebih rendah karena termasuk daerah bervegetasi. Suseptibilitas magnetik semakin rendah seiring pertambahan radius dari 400 m sampai 1400 m kecuali arah barat dan barat laut. Korelasi antara konsentrasi logam berat Fe, Pb, Mn, Zn, dan Cu dengan nilai suseptibilitas magnetik memiliki korelasi yang kuat sehingga dapat digunakan untuk menentukan logam berat dari nilai suseptibilitas magnetik. Logam Ni, As dan Cr korelasinya lemah untuk sehingga tidak dapat digunakan menentukan logam berat dari suseptibilitas magnetiknya. Berdasarkan hasil penelitian secara keseluruhan, daerah berpenghijauan baik memiliki nilai suseptibilitas magnetik yang kecil dan tingkat pencemaran yang kecil juga. Untuk itu direkomendasikan untuk melakukan penghijauan berkala di daerah yang berada di sekitar PLTU.

DAFTAR PUSTAKA

- Erfandi, D. dan Juarsah, I., *Konservasi Tanah Menghadapi Perubahan Iklim*, Badan Penelitian dan Pengembangan Tanah, Jakarta, 2014.
- Evan, M.E. dan Heller, F., 2003, *Environmental Magnetism Principles and Applications of Enviromagnetics*, Academic Press, California.
- Indrawati, N., 2019, Abu Limbah PLTU Ombilin Kembali Resahkan Warga, <http://padangmedia.com/abu-limbah-pltu-ombilin-kembali-resahkan-warga>, diakses 5 Juli 2020.
- Jordanova, D., Goddu, S.R., Kotsev, T. dan Jordanova, N., 2012, Industrial Contamination of Alluvial Soil Near Fe-Pb Mining Site Revealed by Magnetic and Geochemical Studies, *Geoderma*, **192**, 237-248 (2012).
- Kapicka, A., Kodesova, R., Petrovsky, E., Hulka, Z., Grison, H. dan Kaska, M., Experimental Study of Fly-Ash Migration by Using Magnetic Method, *Studia Geophysica et Geodetica*, **55**, 693-696 (2011).
- Maharani, I.S. dan Budiman, A., Analisis Suseptibilitas Magnetik dan Kandungan Logam Berat pada Tanah Lapisan Atas di Beberapa Ruas Jalan Kota Bukittinggi, *Jurnal Fisika Unand*, **7**, 144-150 (2018).
- Orosun, M.M., Oniku, S.A., Salawu, N.B., Hitler, L. dan Petter, A., Magnetic Susceptibility Measurement and Heavy Metal Pollution at An Automobile Station in Ilorin, North-Central Nigeria, *Environment Research Communication*, **2**, 1-9 (2020).
- Ozkul, C., Heavy metal contamination in soils around the Tunçbilek Thermal Power Plant (Kütahya, Turkey), *Environmental Monit Assess*, **188**, 1-12 (2016).
- Pokale, W.K., Effect of Thermal Power Plant on Enviroment, *Scientific Reviews and Chemical Communication*, **2**, 212-215 (2012).
- Rind, A.M., Mastoi, G.M. dan Hullio, A.A., Impact of Jamshoro Thermal Power Station on Soil of the Surrounding Area, *Indian Journal of Science and Technology*, *Indian Society for Education and Environmental*, **1**, 65-71 (2013).
- Rout, T.K., Masto, R.E., Padhy, P.K., George, J., Ram, L.C. dan Maity, S., Dust Fall and Element Flux in A Coal Mining Area, *Journal of Geochemical Exploration*, **144**, 443-455 (2014).
- Sajwan, K.S., Alva, A.K., dan Keefer, R.F., 1999, *Biogeochemistry of Trace Elements in Coal and Coal Combustion by Products*, Kluwer Academic/ Plenum Publishers, New York.
- Subandi, 2019, Perbaikan Menyeluruh Pembangkit PLTU Sijantang Rampung Desember, <http://hariansinggalang.co.id/perbaikan-menyeluruh-pembangkit-pltu-sijantang-rampung-desember>, diakses 5 Juli 2020.
- Surtipanti, S., Rasyid, H., Mellawati, J., Yumiarti, S. dan Suwirma, S., Studi Tentang Kandungan Logam Berat di Tanah Sawah, *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah PPNY-BATAN*, hal 374-378 (1995).
- Susilastri, Kasim, A., Dewata, I., Kajian Serapan Tanaman Penghijauan Terhadap Logam Berat Akibat Perbedaan Transportasi di Kota Padang, *Menara Ilmu*, **12**, 178-186 (2018).
- Wahyuni, E.S. dan Afdal, Identifikasi Hubungan Kandungan Logam Berat dengan Nilai Suseptibilitas Magnetik pada Tanah Lapisan Atas di Kota Sawahlunto, *Jurnal Fisika Unand*, **7**, 1-7 (2018).
- Yuliarti, W., Mahrizal dan Mufit, F., Penentuan Tingkat Polusi Udara Akibat Kendaraan Bermotor Menggunakan Metode Suseptibilitas Magnetik di Kota Padang, *Pillar of Physics*, **1**, 121-128 (2013).