

PEMETAAN DAERAH PENCEMARAN ANTROPOGENIK BERBASIS SUSEPTIBILITAS MAGNETIK

Estevanus Kristian Huliselan

Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan,
Universitas Pattimura, Ambon, 97233

*) email: ekhuliselan@yahoo.com

Abstrak

Aplikasi metode kemagnetan lingkungan berdasarkan studi suseptibilitas magnetik (χ) telah berhasil digunakan dalam beberapa dekade terakhir untuk mengukur dan menggolongkan derajat pencemaran antropogenik pada lingkungan yang berbeda-beda. Selain itu, pada beberapa tahun terakhir sejumlah penelitian telah berhasil mengaitkan antara suseptibilitas magnetik frekuensi rendah (χ_{LF}) dan logam berat pada berbagai bahan yang berbeda-beda. Selanjutnya, χ_{LF} kemudian digunakan sebagai metode yang potensial untuk membedakan sampel yang terpolusi dan tidak terpolusi. Plot antara χ_{LF} versus suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi (χ_{FD}) juga efektif untuk menentukan darimana sumber mineral magnetik berasal. Pada plot χ_{LF} and χ_{FD} , sampel-sampel yang terpolusi dan tidak terpolusi menunjukkan distribusi yang berbeda, sehingga dapat digunakan untuk menduga daerah tercemar atau tidak tercemar. Dapat disimpulkan bahwa pengukuran χ_{LF} and χ_{FD} sebagai metode yang tepat dan efektif digunakan untuk menentukan suatu daerah tercemar atau tidak tercemar. Metode ini juga dapat dijadikan sebagai metode alternatif analisis kimia.

Abstract

The applicability of environmental magnetism methods based on the study of magnetic susceptibility (χ) have been successfully used over several decades to characterize and quantify the degree of anthropogenic pollution of different environmental systems. Moreover, in recent years, there have been a number of studies linking low frequency magnetic susceptibility (χ_{LF}) and heavy metal content in different kinds of material. Furthermore, the χ_{LF} technique can be used as a potential method to discriminate polluted and unpolluted samples. The plots of χ_{LF} versus frequency-dependent magnetic susceptibility (χ_{FD}) have been shown to be effective as discriminating tool for sources of magnetic minerals. The polluted and unpolluted samples display disparate distribution patterns of χ_{LF} and χ_{FD} . Furthermore, the pollution area can be roughly inferred. We conclude that measurement of χ_{LF} and χ_{FD} can serve as a convenient and effective method for detection of polluted and unpolluted areas. This method is promising as an alternative to conventional chemical analysis.

Keywords: *environmental magnetism, pollution area, anthropogenic, heavy metals, magnetic susceptibility.*

1. Pendahuluan

Dalam beberapa dekade terakhir ini, banyak penelitian tentang pemanfaatan mineral magnetik dan sifat-sifatnya sebagai salah satu bahan yang dapat memberikan informasi berbagai sumber pencemaran [1-7]. Konsep digunakannya mineral magnetik dan sifat-sifatnya sebagai parameter *proxy* dalam kajian masalah-masalah lingkungan bermula dari makalah yang dipublikasikan pada jurnal science pada tahun 1980 [8]. Kajian ini merupakan bagian dari metoda yang selama ini dikenal dengan nama kemagnetan batuan (*rock magnetism*). Pada awalnya metode ini hanya digunakan sebagai *tools* dalam kajian berbagai masalah kebumihan diantaranya: paleomagnetisme dan paleoclimate. Selanjutnya, metode ini dikembangkan untuk kajian masalah lingkungan dan kemudian dikenal dengan

nama kemagnetan lingkungan (*environmental magnetism*).

Dalam beberapa tahun terakhir kajian ini banyak digunakan sebagai indikator proxy pencemar atau polutan lingkungan khususnya pada masalah logam berat. Penggunaan metode magnetik sebagai proxy kandungan logam berat berdasarkan anggapan bahwa keberadaan suatu mineral magnetik dan kelimpahannya dapat mencerminkan keadaan atau kondisi lingkungan [9]. Kelimpahan polutan di lingkungan yang bersifat antropogenik baik berasal dari pembangkit listrik, hasil pembakaran bahan bakar, aktifitas industri, aktifitas jalan raya, limbah, dan lain-lain menghasilkan kelimpahan mineral magnetik di lingkungan [10].

Kelimpahan mineral magnetik di lingkungan ternyata memiliki hubungan yang erat dengan proses-proses pencemaran dan kelimpahannya

kemudian dipakai untuk mengestimasi status pencemaran [11]. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa logam berat dan mineral magnetik saling berhubungan [3,12-16]. Selanjutnya banyak peneliti mulai menggunakan kajian magnetik untuk mengidentifikasi lokasi pencemaran, monitoring kualitas lingkungan dan penentuan berbagai sumber pencemaran [17] meskipun pada material dan lingkungan yang berbeda. Di lain pihak, metoda ini juga dapat dikombinasikan dengan metoda lain dan umumnya adalah metode kimia dalam interpretasi masalah pencemaran. Keunggulan metoda ini adalah relatif murah dan cepat [3,18-22].

Pentingnya peranan metode ini dalam kajian lingkungan bertolak dari berbagai masalah pencemaran yang terjadi pada berbagai negara terlebih khususnya pada negara-negara berkembang. Selama ini, analisa pencemaran pada umumnya menggunakan metoda Kimia, namun metoda ini mahal dan membutuhkan waktu analisa yang lama sehingga dianggap menjadi salah satu kendala dalam analisa dampak lingkungan. Untuk menghindari masalah ini, pada makalah ini akan dipaparkan peranan χ_{LF} yang selama ini dipakai sebagai *tools* dalam analisa berbagai masalah pencemaran sehingga diharapkan dapat memberikan gambaran dan dorongan bagi pengembangan metode ini untuk dipakai sebagai metoda alternatif dalam analisis dan pemetaan berbagai daerah pencemaran antropogenik.

2. Suseptibilitas Magnetik

Parameter-parameter magnetic yang sering dipakai sebagai *proxy* indikator logam berat umumnya menggunakan χ . Parameter ini merupakan suatu parameter yang paling umum digunakan sebagai indikator sifat magnetik suatu bahan. Selain itu, χ merupakan ukuran mudah tidaknya suatu bahan untuk dimagnetisasi. Parameter ini pada umumnya sangat bergantung pada konsentrasi mineral magnetik, bentuk dan ukuran bulir serta jenis mineral magnetik [23].

Parameter suseptibilitas meliputi dua parameter yaitu magnetic susceptibility yang berbasis volum (κ) dan berbasis massa (χ).

Suseptibilitas magnetik volum [23] didefinisikan sebagai :

$$\kappa = M/H \quad (1)$$

dimana, M adalah magnetisasi yang dihasilkan sampel dan H adalah medan yang diberikan; kedua parameter ini memiliki satuan yang sama yaitu Am^{-1} sehingga κ tidak berdimensi (diekspresikan dalam SI units). Parameter suseptibilitas magnetic lain adalah suseptibilitas magnetic massa (χ) [23] didefinisikan sebagai :

$$\chi = \kappa/\rho \text{ (m}^3 \text{ kg}^{-1}\text{)} \quad (2)$$

dimana ρ adalah *bulk density* dan merupakan massa sampel (kg)/ volume sampel (m^3).

Dalam pengukuran κ faktor yang sangat mempengaruhi hasil pengukuran adalah volume sampel, karena pengukuran ini tidak mempedulikan seberapa besar massa sampel yang akan diukur, namun hanya mempedulikan seberapa besar volum sampel yang akan diukur. Sedangkan, pengukuran χ harus memperhitungkan seberapa besar massa sampel yang akan diukur. Selain itu, pengukuran κ dapat dilakukan pada frekuensi rendah yang dikenal dengan nama *low frequency magnetic susceptibility* (κ_{LF}) dan frekuensi tinggi yang dikenal dengan nama *high frequency magnetic susceptibility* (κ_{HF}). Parameter χ_{LF} atau κ_{LF} menjadi indikator konsentrasi mineral magnetik dalam sampel. Parameter ini dikontrol oleh mineral-mineral ferrimagnetik seperti magnetite dan maghemite [3].

Selain parameter κ dan χ , parameter suseptibilitas magnetik lain yaitu *frequency dependent magnetic susceptibility* (κ_{FD} atau χ_{FD}). Parameter ini menggambarkan seberapa besar persentasi kehilangan suseptibilitas pada sampel [3] yang didefinisikan sebagai:

$$\begin{aligned} \kappa_{FD}\% &= [(\kappa_{LF}- \kappa_{HF})/\kappa_{LF}] \times 100 \text{ (volum)} \\ \text{atau} \\ \chi_{FD}\% &= [(\chi_{LF}- \chi_{HF})/\chi_{LF}] \times 100 \text{ (massa)} \quad (3) \end{aligned}$$

Parameter κ_{FD} atau χ_{FD} umumnya digunakan untuk mendeteksi persentasi ultrafine ($<0.03 \mu\text{m}$) superparamagnetic (SP) mineral yang dihasilkan oleh bakteri atau proses kimia mineral authigenic dan/atau pedogenik yang terjadi dalam tanah. Rendahnya persentasi κ_{FD} atau χ_{FD} diakibatkan oleh rendahnya persentasi mineral ultrafine SP pada sampel sehingga mengakibatkan identiknya hasil pengukuran *low* dan *high frequency magnetic susceptibility*. Nilai $\chi_{FD}<2\%$ mengindikasikan mineral-mineral yang terkandung dalam sample bukan SP, $4<\chi_{FD}<6$ untuk campuran SP dan *single domain* (SD) sedangkan $6<\chi_{FD}<12$ untuk SP [3].

3. Metodologi

Pada umumnya sampel yang digunakan untuk mengekspresikan kondisi pencemaran dapat berupa debu, tanah, sedimen, dan lumpur. Untuk sampel debu, tanah dan sedimen biasanya langsung dipersiapkan untuk menjalani proses pengukuran. Sedangkan sampel berupa lumpur sebelum pengukuran harus menjalani proses *centrifuge* dengan alat *centrifuge* berkecepatan minimal 3600 rpm selama 1 jam untuk memperoleh endapan. Proses *centrifuge* dimaksudkan untuk memisahkan cairan dan endapan. Selanjutnya sampel dimasukan kedalam holder sampel dengan volume 10 ml dan menjalani proses pengukuran. Pengukuran suseptibilitas magnetik (volum, κ , dan massa, χ) biasanya menggunakan Bartington MS2

Susceptibility Meter (Bartington Instrument Ltd., Oxford, United Kingdom) yang bekerja pada dua frekuensi (470 Hz and 4.7 kHz). Pengukuran dilakukan dengan menggunakan dua frekuensi yaitu *mass-specific low* dan *high frequencies magnetic susceptibility* (χ_{LF} and χ_{HF}). Pengukuran ini dimaksudkan untuk menghasilkan *frequency dependent magnetic susceptibility*, χ_{FD} (%), yang didefinisikan : $100\% \times (\chi_{LF} - \chi_{HF})/\chi_{LF}$ [3].

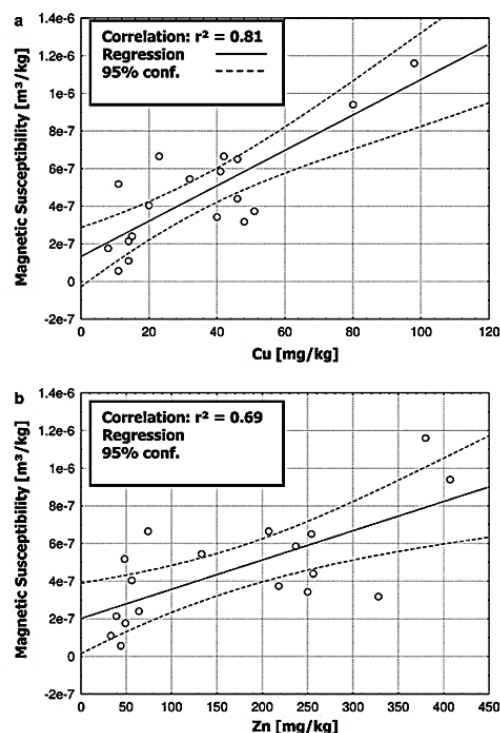
4. Penerapan Suseptibilitas Magnetik pada Beberapa Studi Pencemaran

Sumber kontaminan dan mineral magnetik di lingkungan sangat banyak dan beragam. Sebagai contoh, mineral magnetik dan logam berat pada lumpur *leachate* (lindi) berasal dari sumber yang begitu kompleks yaitu sampah selain tanah sekitar tempat pembuangan akhir (TPA) [3,4]. Semua sumber-sumber kontaminan ini dapat menyumbangkan mineral magnetik dan logam berat yang menyebabkan pencemaran lingkungan. Selama ini, pendugaan status pencemaran pada umumnya masih bertolak dari seberapa besar kandungan logam berat pada sampel yang dianalisa. Para era sekarang ini, analisa logam berat pada kasus pencemaran juga dapat diperkuat dengan analisa karakteristik magnetik polutan.

Sejumlah kasus pada daerah tercemar menunjukkan bahwa makin tinggi kandungan logam berat, makin tinggi pula nilai χ khususnya χ_{LF} . Hal ini ditunjukkan pada tanah area perkotaan Hangzhou China, misalnya pada daerah yang terkontaminasi harga χ_{LF} lebih tinggi dibandingkan dengan yang tidak terkontaminasi [13]. Kondisi ini menjadi indikator bahwa keberadaan logam berat dapat diduga berdasarkan nilai parameter magnetik khususnya χ_{LF} . Namun, timbul pertanyaan apakah χ_{LF} dapat digunakan sebagai indikator status terkontaminasi ini? Pertanyaan ini dapat dibuktikan dengan melakukan korelasi antara χ_{LF} dengan konsentrasi logam berat.

Studi mengenai korelasi antara χ_{LF} dengan logam berat telah banyak dilakukan. Pada beberapa kasus tampak bahwa parameter ini sangat sensitif. Sebagai contoh, pada sedimen dasar laut, sejumlah logam berat seperti Cr, Cu, Zn dan Pb berkorelasi dengan χ_{LF} [24], logam berat Cu dan Zn berkorelasi dengan χ_{LF} pada sedimen sungai (Gambar 1) [25].

Peneliti lain juga mendapatkan korelasi yang sama pada kasus pencemaran sedimen danau mendapatkan logam berat Cr dan Pb juga berkorelasi dengan χ_{LF} [10]. Pada kasus pencemaran logam berat yang berasal dari debu juga menunjukkan bahwa Zn, Cu, Cr dan Fe juga berkorelasi dengan χ_{LF} [26]. Hal yang sama juga terjadi pada logam berat Fe dan Pb dari partikel emisi [27].



Gambar 1. Korelasi Cu (a) dan Zn (b) dengan suseptibilitas magnetik [25]

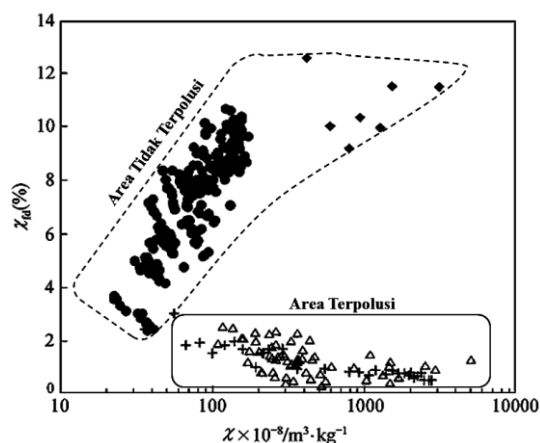
Karakteristik yang ditunjukkan oleh χ_{LF} dan logam berat menjadi hal yang menarik untuk dikaji yaitu bagaimana proses-proses yang menyebabkan kedua parameter yang berbeda ini dapat berasosiasi. Sejumlah peneliti telah menunjukkan bahwa proses asosiasi ini terjadi melalui proses substitusi spinel [3,15]. Faktor lain juga yang ikut menentukan adalah proses akumulasi mineral magnetik dengan logam berat [3]. Berkorelasinya logam berat dengan χ_{LF} menunjukkan bahwa parameter magnetik dapat dipakai sebagai indikator *proxy* kandungan logam berat.

5. Pemetaan Daerah Pencemaran Berdasarkan Data Suseptibilitas Magnetik

Studi daerah pencemaran khususnya pencemaran antropogenik telah lama dan banyak dilakukan. Pada umumnya, studi ini menggunakan analisis kimia dalam pemetaan suatu daerah tercemar. Pemetaan ini bisa dilakukan baik secara horizontal maupun vertikal. Sebagai metode baru dengan parameter sifat kemagnetan seperti χ_{LF} juga dapat dilakukan pemetaan untuk membedakan dan menentukan status suatu daerah apakah tercemar atau tidak tercemar baik secara vertical ataupun horizontal pada suatu area.

Penggunaan χ_{LF} didasarkan pada berbagai studi yang menunjukkan hubungan yang signifikan antara konsentrasi logam berat dengan χ_{LF} [3,4]. Berdasarkan kondisi ini, maka penggunaan χ_{LF}

telah digunakan untuk memetakan beberapa daerah tercemar. Studi pemetaan dilakukan pada sampel *quaternary loess* dan tanah yang terpolusi (Gambar 2)[28]. Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa untuk sampel yang bersifat alamiah seperti *quaternary loess* dan tanah yang tidak terpolusi menunjukkan perilaku χ_{LF} yang berbeda dengan sampel yang terpolusi. Dengan menggunakan plot antara χ_{LF} vs χ_{FD} , perilaku sampel akan membentuk pola tertentu pada plot tersebut.



Gambar 2. χ_{LF} versus χ_{FD} sampel tanah dari daerah terpolusi dan tidak terpolusi. ● *Quaternary loess*; ◆ tanah tidak terpolusi dari batuan vulkanik; △ tanah terpolusi; + sampel sintesis terpolusi (*diedit*) [28].

Untuk sampel alamiah, χ_{FD} makin bertambah dengan tingginya χ_{LF} . Hal ini disebabkan karena tingginya produksi ultrafine SP dari mineral-mineral ferimagnetik yang menyebabkan tingginya derajat pedogenesis. Proses ini hanya mungkin terjadi secara alamiah pada tanah atau proses pelapukan batuan. Sedangkan untuk sampel yang terpolusi χ_{FD} makin menurun dengan tingginya χ_{LF} . Kondisi ini terjadi karena sampel lebih didominasi oleh mineral-mineral magnetic yang berukuran besar seperti multi domain (MD) yang banyak dihasilkan dari proses-proses pencemaran [28].

Selain itu, pemetaan daerah pencemaran antropogenik juga dilakukan berdasarkan data yang diperoleh dari sampel tanah lapisan atas pada daerah yang dekat dan jauh dari jalan raya yang berasal dari Bucharest, Romania. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa tingginya konsentrasi logam berat seiring dengan tingginya nilai χ_{LF} pada sampel. Pada sampel yang dekat jalan raya memiliki konsentrasi logam berat Pb, Cu dan Zn dan χ_{LF} yang tinggi dibandingkan dengan sampel tanah yang berlokasi jauh dari jalan raya. Disisi lain, setelah dilakukan pemetaan daerah tercemar pada kasus ini dengan menggunakan plot antara χ_{LF} vs $\chi_{LF} - \chi_{HF}$ menunjukkan bahwa untuk sampel yang berasal dari daerah yang terpolusi (dekat jalan raya) berperilaku berbeda dengan sampel yang berasal

dari daerah yang tidak terpolusi, dimana pada daerah terpolusi $\chi_{LF} - \chi_{HF}$ akan memiliki nilai yang rendah seiring dengan naiknya nilai χ_{LF} [29].

Pemetaan daerah tercemar juga dilakukan pada sampel yang berasal dari aktifitas antropogenik berupa cairan sampah (*leachate*) dan tanah pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Jelekong dan Sarimukti, Bandung. Penelitian ini dilakukan pada sampel *leachate* (lindi) dan tanah bagian atas pada kedua daerah tersebut. Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa perilaku sampel (baik konsentrasi logam berat dan χ_{LF}) lindi yang berasal dari Jelekong berbeda dengan lindi yang berasal dari Sarimukti. Hal yang sama juga terjadi pada tanah, dimana tanah yang berasal dari TPA Jelekong berbeda dengan tanah yang berasal dari TPA Sarimukti. Untuk konsentrasi logam berat dan χ_{LF} , lindi yang berasal dari TPA Jelekong memiliki konsentrasi logam berat (Al, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Hg, Pb) dan χ_{LF} relative lebih tinggi dibandingkan dengan lindi yang berasal dari TPA Sarimukti. Hal yang sama juga terjadi pada tanah Jelekong memiliki konsentrasi logam berat dan χ_{LF} relative lebih tinggi dibandingkan dengan tanah Sarimukti [3].

Perilaku sampel lindi dan tanah pada kedua TPA ini dapat diperjelas dengan melakukan pemetaan menggunakan plot antara χ_{LF} vs χ_{FD} sehingga tampak perilaku sampel akan membentuk pola tertentu pada plot tersebut. Untuk sampel lindi dari TPA Jelekong dan Sarimukti, χ_{FD} makin menurun dengan tingginya χ_{LF} . Kondisi ini terjadi karena sampel lebih didominasi oleh mineral-mineral magnetic yang berukuran MD yang banyak dihasilkan dari proses-proses pencemaran. Sedangkan untuk sampel tanah kedua TPA, χ_{FD} makin tinggi dengan tingginya χ_{LF} . Hal ini disebabkan karena tingginya konsentrasi ultrafine SP dari mineral-mineral ferimagnetik yang menyebabkan tingginya derajat pedogenesis karena mineral-mineral ini hanya terjadi dari proses-proses secara alamiah pada tanah atau proses pelapukan batuan dan bukan berasal dari aktifitas pencemaran [3].

6. Kesimpulan

Kajian pencemaran lingkungan dengan metode magnetik batuan khususnya parameter χ_{FD} adalah suatu terobosan baru bagi ilmu pengetahuan dalam memberikan nuansa sains baru terkait kajian lingkungan. Adanya korelasi antara χ_{FD} dengan logam berat serta sensitifnya plot antara χ_{LF} vs χ_{FD} dan χ_{LF} vs $\chi_{LF} - \chi_{HF}$ dalam membedakan sampel dari daerah tercemar dan tidak tercemar mengindikasikan bahwa pengukuran magnetik khususnya χ_{LF} dapat dipakai sebagai metode alternatif dalam pemetaan masalah-masalah pencemaran antropogenik pada berbagai sumber dan lingkungan yang berbeda.

Ucapan Terimakasih

Terima kasih disampaikan kepada Noke Kesaulya dan Yeanchon H. Dulanlebit yang telah membantu dalam diskusi selama proses penulisan makalah ini.

Daftar Acuan

- [1] S.G. Lu, Y.W. Zheng, and S.Q. Bai, A HRTEM/EDX approach to identification of the source of dust particles on urban tree leaves, *Atmos Environ.* 42 (2008), p. 6431–6441.
- [2] C. S. Horng, C. A. Huh., K. H. Chen., P. R. Huang., K. H. Hsiung, and H. L. Lin, Air pollution history elucidated from anthropogenic spherules and their magnetic signatures in marine sediments offshore of Southwestern Taiwan, *J Mar Syst.* 76 (2009), p. 468–478.
- [3] S. Bijaksana, and E. K. Huliselan, Magnetic properties and heavy metal content of sanitary leachate sludge in two landfill sites near Bandung, Indonesia, *Environ Earth Sci.* 60 (2010), p. 409–419.
- [4] E. K. Huliselan, S. Bijaksana., W. Srigutomo, and E. Kardena, 2010. Scanning electron microscopy and magnetic characterization of iron oxides in solid waste landfill leachate, *J Hazard Mater.* 179 (2010) p.701–708.
- [5] N. K. Meena, S. Maiti, and A. Shrivastava, Discrimination between anthropogenic (pollution) and lithogenic magnetic fraction in urban soils (Delhi, India) using environmental magnetism, *J Appl Geophys.* 73(2011), p.121–129.
- [6] Z. Zhu, Z. Han, X. Bi., and W. Yang, The relationship between magnetic parameters and heavy metal contents of indoor dust in e-waste recycling impacted area, Southeast China. *Sci Total Environ.* 433 (2012), p.302–308.
- [7] M. A. E. Chaparro, J. M. Lavornia., M. A.E. Chaparro, and A. M. Sinito, Biomonitor of urban air pollution: Magnetic studies and SEM observations of corticolous foliose and microfoliose lichens and their suitability for magnetic monitoring, *Environ Pollut.* 172 (2013), p.61-69.
- [8] Thompson, R., Bloemendal, J., Dearing, J., Oldfield, F., Rummery, J., Stober, J., and Turner, G., 1980, Environmental applications of magnetic measurements, *Science.* 207 (1980), p.481–486.
- [9] E. K. Huliselan, dan S. Bijaksana, Identifikasi mineral magnetik pada lindi (Leachate), *Jurnal Geofisika.* 2 (2007), p.8-13.
- [10] T. Yang, Q. Liu, L. Chan, and Z. Liu, Magnetic signature of heavy metals pollution of sediments: case study from the East Lake in Wuhan, China, *Environ Geol.* 52 (2007), p.1639-1650.
- [11] M.A.E. Chaparro, A.M. Sinito, V. Ramasamy, C. Marinelli, M.A.E. Chaparro, S. Mullainathan, and S. Murugesan, Magnetic measurements and pollutants of sediments from Cauvery and Palaru River, India, *Environ Geol.* 56 (2008), p.425-437.
- [12] A. Schmidt, Yarnold, R., Hill, M., and Ashmore, M, Magnetic susceptibility as proxy for heavy metal pollution: a site study, *J Geochem Explor.* 85 (2005), p.109-117.
- [13] S.G. Lu, and S.Q. Bai, Study on the correlation of magnetic properties and heavy metals content in urban soils of Hangzhou City, China, *J Appl Geophys.* 60 (2006), p.1-12.
- [14] X-S. Wang, and Y. Qin, Use of multivariate statistical analysis to determine the relationship between the magnetic properties of urban topsoil and its metal, S, and Br content, *Environ Geol.* 51 (2006), p.509-516.
- [15] S. G. Lu, S.Q. Bai, and Q.F. Xue, Magnetic properties as indicators of heavy metals pollution in urban topsoils: a case study from the city of Luoyang, China, *Geophys J Int.* 171 (2007), p.568-580.
- [16] N. Jordanova, D. Jordanova, and T. Tsacheva, Application of magnetometry for delineation of anthropogenic pollution in areas covered by various soil types, *Geoderma.* 144 (2008), p.557-571.
- [17] W. Zhang, L. Yu, M. Lu, S.M. Hutchinson, and H. Feng, Magnetic approach to normalizing heavy metal concentrations for particle size effects in intertidal sediments in the Yangtze Estuary, China, *Environ Pollut.* 147 (2007), p.238-244.
- [18] W. Kim, S-J. Doh, Y-H. Park, and S-T. Yun, Two-year magnetic monitoring in conjunction with geochemical and electron microscopic data of roadside dust in Seoul, Korea, *Atmos Environ.* 41 (2007), p.7627-7641.
- [19] T. El-Hasan, The detection of roadside pollution of rapidly growing city in arid region using the magnetic proxies, *Environ Geol.* 54 (2008), p.23-29.
- [20] A.P. Sharma, and B.D. Tripathi, Magnetic mapping of fly-ash pollution and heavy metals

- from soil samples around a point source in a dry tropical environment, *Environ Monit Assess.* 138 (2008), p.31-39.
- [21] G. Wang, D-S. Xia, X.M. Liu, F.H. Chen, Y. Yu, L.P. Yang, J.H. Chen, and A.F. Zhou, Spatial and temporal variation in magnetic properties of street dust in Lanzhou City, China, *Chin Sci Bull.* 53 (2008), p.1913-1923.
- [22] D.S. Xia, F.H. Chen, J. Bloemendal, X.M. Liu, Y. Yu, and L.P. Yang, Magnetic properties of urban dustfall in Lanzhou, China, and its environmental implications, *Atmos Environ.* 42 (2008), p.2198-2207.
- [23] B. A. Maher, The magnetic properties of Quaternary aeolian dusts and sediments, and their palaeoclimatic significance, *Aeolian Research.* 3 (2011), p. 87–144.
- [24] L.S. Chan, C.H. Yeung, W.W-S. Yim, and O.L. Or, Correlation between magnetic susceptibility and distribution of heavy metals in contaminated sea-floor sediments of Hong Kong Harbour, *Environ Geol.* 36 (1998), p.77-86.
- [25] M. Knab, V. Hoffmann, E. Petrovský, A. Kapička, N. Jordanova, and E. Appel, Surveying the anthropogenic impact of the Moldau river sediments and nearby soils using magnetic susceptibility, *Environ Geol.* 49 (2006), p.527-535.
- [26] S.L. Ng, L.S. Chan, K.C. Lam, and W.K. Chan, Heavy metal contents and magnetic properties of playground dust in Hong Kong, *Environ Monit Assess.* 89 (2003), p.221–232.
- [27] S.G. Lu, S.Q. Bai, J.B. Cai, and C. Xu, Magnetic properties and heavy metal contents of automobile emission particulates, *J Zhejiang Univ SCI.* 6(B) (2005), p.731-735.
- [28] L. Wang, D. Liu, and H. Lu, Magnetic susceptibility properties of polluted soils, *Chin Sci Bull.* 45 (2000), p.1723-1726.
- [29] C. G. Panaiotu, C. Necula, C. E. Panaiotu, and V. Axente, A magnetic investigation of heavy metals pollution in Bucharest, Sustainability for humanity & environment in the extended connection field science-economy-policy, Scientific reunion of the special program of Alexander von Humboldt Foundation concerning the reconstruction of the South Eastern Europe, Editura Politehnica, Timisoara (2005), p. 83-86.