

ANALISIS KOMPOSISI UNSUR Fe TERHADAP NILAI SUSEPTIBILITAS MAGNETIK DI KOTA PADANG MENGGUNAKAN METODE X-RAY FLUORESCENCE (XRF)

Elsa feryani harifan¹⁾, Mahrizal²⁾ dan Fatni Mufit²⁾

¹⁾Mahasiswa Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang

²⁾Staf Pengajar Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang

Email : elsafisika@gmail.com

ABSTRACT

Many industrial processes such as steel and cement production produces shaped particles of dust and fly ash. The particles containing pollutants shaped magnetic minerals belonging to the type of iron sulfide minerals iron and titanium sulfide. These pollutants come from the burning of coal. Basically, before burning coal is not magnetic. In the combustion process produces pyrite which decompose and form pyrrhotite and sulfur gases. At temperatures above about 1350 K, pyrrhotite decomposes into iron and sulfur. Iron (Fe) is the most dangerous heavy metals contained in the topsoil. In this study measured the magnetic susceptibility values and elemental composition to analyze the elemental composition Fe of the magnetic susceptibility values. The sample in this study is the topsoil. Measurements of magnetic susceptibility values topsoil samples performed using magnetic susceptibility meter. Then the measurement of the elemental composition of ten samples using X-Ray Fluorescence (XRF) spectrometer. Measurement data plotted in the form of a graph to show the relationship of the value of the elemental composition of Fe magnetic susceptibility. Meanwhile, the results of magnetic susceptibility meter, magnetic susceptibility values can inform the type of magnetic minerals based on magnetic susceptibility values. The results of this study indicate that the intensity of the magnetic susceptibility is not only influenced by the composition of the elements Fe, but also influenced by other elements contained in topsoil samples, such as Al, Si, Ca, and Ti. Weight percentage of Fe and Ti derived from the main constituent mineral iron is ilmenite, are paramagnetic.

Keywords : Elemental composition of Fe, magnetic susceptibility, industrial emissions

PENDAHULUAN

Kota Padang merupakan kota yang sedang tumbuh menjadi kota besar. Kemajuan kota dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti berkembangnya transportasi, berkembangnya industri ataupun pertambangan, dan lain-lain. Perkembangan-perkembangan tersebut yang akan mempengaruhi polusi udara di Kota Padang. Pengaruh berkembangnya industri terhadap lingkungan seperti menghasilkan emisi industri yang mengakibatkan kualitas udara tidak sesuai dengan kualitas udara bersih. Jenis polusi udara yang akan terkena dampak akibat suatu rencana kegiatan meliputi semua parameter kualitas udara. Kualitas udara dipengaruhi oleh besar dan jenis sumber polusi, seperti kegiatan industri, kegiatan transportasi, kegiatan rumah tangga, dan kegiatan lain yang mempengaruhi kualitas udara[6].

Polusi udara adalah kehadiran satu atau lebih substansi fisik, kimia, atau biologi (unsur-unsur yang berbahaya) di atmosfer dalam jumlah yang dapat membahayakan kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan, serta mengganggu estetika dan kenyamanan (menurunkan kualitas lingkungan) ataupun merusak properti. Polusi udara dapat ditimbulkan oleh sumber-sumber alami maupun kegiatan manusia. Sumber alami merupakan sumber pencemar yang berasal dari proses alam tanpa campur tangan manusia seperti terjadinya kebakaran hutan diakibatkan suhu yang ekstrim. Selain itu, letusan gunung berapi, salah satu gas yang dihasilkannya adalah SO_x . Sedangkan kegiatan

manusia seperti : gas buang kendaraan bermotor, gas buang dari cerobong asap industri, pembakaran di rumah tangga, pekerjaan konstruksi bangunan dan lainnya.

Polusi udara yang berbahaya bagi kesehatan manusia adalah partikulat (debu) yang mengandung jelaga, hidrokarbon, sulfurdioksida dan nitrogen oksida. Partikulat berukuran besar dapat tertahan di bagian atas saluran pernapasan manusia, sedangkan partikulat berukuran kecil dan gas dapat mencapai paru-paru. Dari paru-paru, polutan diserap oleh sistem peredaran darah dan menyebar keseluruh tubuh.

Sumber polusi dari kegiatan industri di Kota Padang dapat berasal dari pabrik pengolah semen, karet, dan CPO (*crude palm oil*). Kota Padang terdiri dari 11 kecamatan yang diantaranya di daerah tersebut terdapat beberapa pabrik, seperti pabrik semen, karet, dan sawit. Kebanyakan proses industri menghasilkan partikel-partikel yang beterbangan di udara bergerak mengikuti aliran udara dan sebagian yang dekat dengan permukaan akan mengendap pada tumbuhan, bangunan, dan langsung jatuh ke tanah bagian permukaan yang disebut dengan topsoil.

Banyak proses industri seperti produksi baja dan semen menghasilkan partikel-partikel yang berbentuk debu dan abu terbang. Partikel tersebut mengandung polutan berbentuk mineral magnetik yang tergolong jenis mineral sulfida besi dan titanium sulfida besi. bahan magnetik udara. Partikel tersebut keluar dari cerobong asap, dan bergerak di udara hingga sejauh ratusan kilometer sebelum jatuh ke

permukaan, yang bergantung pada kondisi meteorologi. Jumlah bahan magnetik yang mengendap pada pohon-pohon bangunan berbanding terbalik dengan jarak dari sumbernya. Semakin jauh jarak sumber polusi maka semakin besar jumlah bahan magnetiknya [9].

Penyelidikan pengaruh emisi industri terhadap nilai suseptibilitas magnetik pernah dilakukan [8]. Sampel yang digunakan adalah debu metalurgi dan abu terbang dari pembangkit listrik batu bara dan besi di Upper Silesia serta topsoil di sekitar dekat tanaman di Ojcow, yang berjarak 25 km sebelah timur dari kawasan industri. Penelitian lain, mengkaraktisasi fraksi magnetik aerosol antropogenik udara [9]. Sampel yang digunakan adalah pelapukan kerak yang ada pada beberapa bangunan bersejarah di Inggris. Pengkaraktisian ini dilakukan untuk membedakan antara jenis emisi yang berbeda dan sumber partikel yang terkandung pada sampel dengan komposisi tertentu. Penyelidikan tersebut menunjukkan pembakaran listrik batubara dapat mencemari daerah kawasan industri dan sekitarnya.

Polutan hasil industri produksi baja dan semen diantaranya adalah besi dan belerang. Pada dasarnya, sebelum batubara dibakar (yang digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik pada industri) bukanlah magnetik. Pada proses pembakaran menghasilkan pirit (FeS_2) yang terurai dan membentuk pirhotit (Fe_7S_8) dan gas belerang. Pada suhu di atas sekitar 1350 K, pirhotit terurai menjadi besi dan belerang. Partikel besi dengan diameter sekitar 20 μm , kemudian mengoksidasi membentuk magnetite (Fe_3O_4). Magnetite merupakan mineral tergolong oksida besi. Partikulat mineral yang terhirup dapat menjadi risiko kesehatan, terutama dalam ukuran butir yang lebih kecil [5].

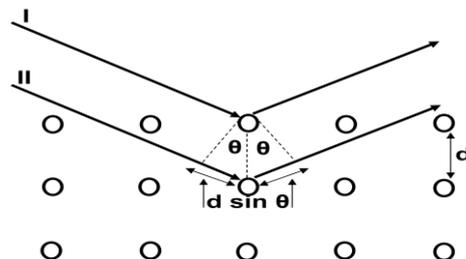
Bahaya partikel Fe pada tubuh manusia adalah apabila Fe melebihi dosis yang diperlukan oleh tubuh dapat menimbulkan masalah kesehatan, karena tubuh manusia tidak dapat mengsekresi Fe. Hal ini mengakibatkan tranfusi darah warna kulitnya menjadi hitam karena akumulasi Fe. Selain itu, dalam dosis besar Fe dapat merusak dinding usus sehingga menyebabkan kematian. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran komposisi unsur Fe, karena Fe merupakan logam berat paling berbahaya yang terkandung pada topsoil.

Unsur Fe termasuk salah satu logam transisi periode ke-4. Salah satu sifat unsur transisi adalah banyak senyawanya bersifat paramagnetik. Hal ini karena (ion logam blok-d) mengandung elektron yang tidak berpasangan, apabila didekatkan pada medan magnet luar maka garis medan magnet diperkuat, sehingga menghasilkan momen magnetik yang dapat diukur. Unsur-unsur transisi atau logam transisi didefinisikan sebagai unsur yang atomnya mengandung sub-kulit d yang belum terisi penuh (d^{10}). Atom logam transisi Cr, Mn, Fe, Co, dan Ni memiliki momen lebih besar yang timbul dari 3d berpasangan. Semua elemen ini telah mengisi 4s tetapi hanya sebagian diisi 3d [1].

Atom, ion atau molekul dapat bersifat magnetik sesuai dengan struktur elektronnya. Ada zat yang mempunyai beberapa elektron yang tidak berpasangan dan ada juga memiliki sekurang-kurangnya memiliki pasangan elektron. Adanya konfigurasi elektron yang demikian, dikelompokkan dua macam interaksi antara zat dan medan magnet, yaitu diamagnetik dan paramagnetik. Zat yang mempunyai semua elektronnya berpasangan, tidak menghasilkan momen magnet, zat ini tertolak oleh medan magnet yang disebut dengan zat diamagnetik. Sedangkan zat yang mempunyai satu atau lebih elektron yang tidak berpasangan, menghasilkan momen magnet, zat ini tertarik ke dalam bidang magnet, yang disebut zat paramagnetik. Semakin banyak elektron yang tidak berpasangan maka semakin besar momen magnetnya dan semakin besar pula sifat paramagnetiknya [1]. Seperti Fe, dengan konfigurasi elektron $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$, memiliki 26 elektron, kecuali 3d tidak terisi penuh (4 elektron yang tidak berpasangan).

Pengukuran komposisi unsur Fe dilakukan dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence (XRF) spectrometer*. XRF merupakan teknik analisis unsur yang membentuk suatu material tersebut dengan dasar interaksi sinar-X dengan material. Teknik ini digunakan untuk mengukur unsur-unsur, terutama yang terdapat dalam batuan atau mineral.

Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang sekitar 1 Angstrom [3]. Jadi untuk dapat menentukan panjang gelombangnya diperlukan kisi dengan jarak antar garis sekitar 1 Angstrom. Sketsa kisi antar atom dengan jarak antar tetangga terdekat d dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 1. Difraksi sinar-X melalui kisi [3]

Andaikan sinar-X datang dengan sudut θ terhadap deretan atom seperti yang terlihat pada Gambar 1 diatas, beda panjang lintasan antara sinar I dan II adalah :

$$2d \sin \theta \dots \dots \dots (1)$$

Interferensi terjadi apabila beda panjang lintasan tersebut sama dengan kelipatan bulat dari panjang gelombang sinar-X [3]. Interferensi maksimum terjadi bila :

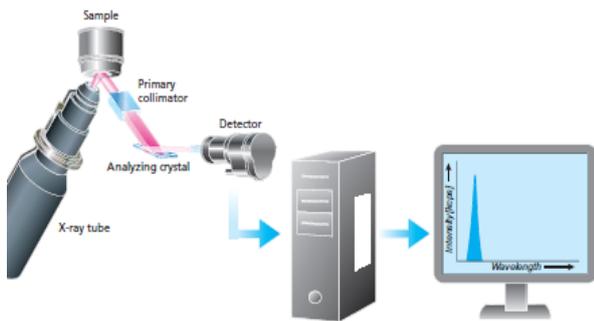
$$n \lambda = 2d \sin \theta \dots \dots \dots (2)$$

keterangan :
 λ = panjang gelombang
 d = jarak antar dua kisi
 θ = sudut sinar datang dengan bidang pantul
 n = orde pembiasan ($n=1,2,3,\dots$)

Persamaan (2) diatas disebut dengan persamaan Bragg (hukum Bragg). Jadi, pantulan sinar-X terjadi apabila memenuhi persamaan Bragg. Pantulan sinar-X itu disebut pantulan Bragg atau *Bragg's reflection*. Apabila jarak antar atom-atom Kristal diketahui, maka panjang gelombang sinar-X dapat dihitung.

Energi sinar-X sampel yang terukur dipakai sebagai dasar analisis kuantitatif [10]. Berdasarkan cara analisisnya metode XRF terdapat dua jenis *spectrometer*, yaitu *Wavelength-dispersive X-ray Fluorescence* (WDXRF) dan *Energy-dispersive X-ray Fluorescence* (EDXRF) [2].

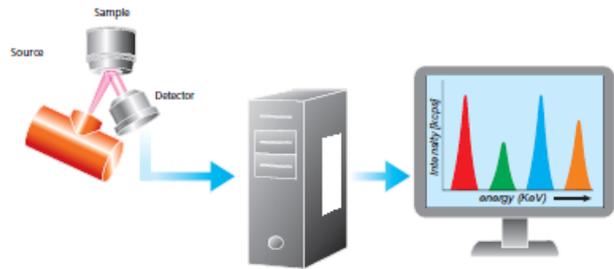
Pertama jenis *spectrometer* WDXRF. Pada WDXRF, dispersi sinar-X didapat dari difraksi menggunakan *analyzer* berupa kristal (grid). Panjang gelombang yang sesuai dengan hukum Bragg menjadi kisi kristal yang spesifik, yang akan terukur oleh detektor. Aplikasi WDXRF *spectrometer* cukup luas dan beragam. Kondisi pengukuran yang optimal setiap elemen dapat diprogram. WDXRF *spectrometer* sangat bagus untuk mengalisa elemen berat. Rentangan elemen WDXRF mulai dari Beryllium ke Uranium (Be ke U) [2].



Gambar 2. Prinsip Kerja WDXRF [2].

Prinsip kerja WDXRF diawali dengan radiasi sinar-X mengenai sampel dan mengemisikan radiasi ke segala arah. Radiasi dengan arah yang spesifik dapat mencapai colimator, maka pantulan sinar radiasi dari kristal kedetektor akan membentuk sudut θ . Sudut ini akan terbentuk jika panjang gelombang yang diradiasikan sesuai dengan sudut θ dan sudut 2θ dari kisi Kristal (sesuai hukum Bragg) oleh detektor.

Kedua, *Spectrometer* jenis EDXRF adalah teknik yang paling baik untuk menentukan elemen dengan bentuk energi sinar-X yang rendah. Kepekaan dan resolusi EDXRF kurang optimal untuk elemen cahaya. Range elemental dari EDXRF mulai dari Sodium ke Uranium (Na ke U). EDXRF *spectrometer* tidak menggunakan kristal, melainkan menggunakan software yang mengatur seluruh radiasi dari sampel ke detektor [2].



Gambar 3. Prinsip Kerja EDXRF [2].

Pada gambar 3, dapat dilihat prinsip kerja EDXRF, yaitu sinar-X yang mengenai sampel, radiasi emisinya langsung ditangkap oleh detektor. Foton-foton ditangkap detektor dan dikonversikan menjadi impuls elektrik. Amplitudo dari impuls elektrik tersebut sesuai dengan energi dari foton-foton yang diterima detektor. Lalu impuls menuju sebuah perangkat MCA (*Multi-Channel Analyzer*) yang akan memproses impuls. Impuls yang terbaca dalam memori komputer dalam bentuk *channel*, yang akan memberikan nilai terhadap sampel yang dianalisa.

Unsur Fe memiliki kaitan dengan suseptibilitas magnetik. Semakin tinggi konsentrasi Fe maka semakin tinggi suseptibilitas magnetiknya. Suseptibilitas magnetik pada dasarnya adalah pengukuran tentang bagaimana magnetisasi suatu bahan itu terjadi [4]. Suseptibilitas magnetik merupakan ukuran kuantitatif bahan untuk termagnetisasi pada saat ada medan magnet. Intensitas magnetisasi M adalah kuat medan magnetik yang diinduksikan oleh bahan magnetik karena adanya medan H [7]. Intensitas magnetisasi M memiliki hubungan dengan medan magnet H melalui suatu konstanta kesebandingan (χ), yang dikenal sebagai suseptibilitas magnetik :

$$M = \chi H \dots \dots \dots (3)$$

Kerentanan magnetik tersebut berbeda masing-masing sifat kemagnetannya. Sehingga terdapat mineral-mineral yang berbeda. Sifat kemagnetan ferromagnetik suseptibilitas magnetiknya positif yang kuat. Contoh mineral ferromagnetik adalah besi murni, nikel dan kobal. Sifat kemagnetan ferrimagnetik suseptibilitas magnetiknya positif yang kuat. Contoh mineral ferrimagnetik adalah beberapa oksida besi, seperti *magnetite* dan *maghemite*. Sifat kemagnetan antiferromagnetik adalah suseptibilitas magnetiknya positif yang sedang. Contoh mineral antiferromagnetik adalah beberapa oksida besi, seperti *hematite* dan *goethite*. sifat kemagnetan paramagnetik suseptibilitas magnetiknya positif yang lemah. Contoh mineral paramagnetik adalah berbagai Fe yang memuat mineral-mineral dan garam-garam seperti *biotite* dan *olivine*. Lalu sifat kemagnetan yang terakhir adalah diamagnetik, suseptibilitas magnetiknya negatif yang lemah. Contoh mineral diamagnetik adalah mineral yang tidak mengandung zat besi, seperti kuarsa dan kalsium karbonat [4].

Polusi memiliki kaitan dengan nilai suseptibilitas magnetik. Berdasarkan nilai suseptibilitas magnetik dapat ditentukan kategori tingkatan

polusinya. Ada 3 kategori tingkatan polusi, yaitu kategori polusi tercemar rendah, kategori polusi tercemar sedang, dan kategori polusi tercemar tinggi [5]. Kategori tingkatan polusi berdasarkan nilai suseptibilitas magnetik adalah :

1. Tingkat I dengan nilai suseptibilitas $< 150 \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$, termasuk kategori polusi yang tercemar rendah.
2. Tingkat II dengan nilai suseptibilitas antara $150-300 \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$, termasuk kategori polusi yang tercemar rendah.
3. Tingkat III dengan nilai suseptibilitas antara $300-450 \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ termasuk kategori polusi yang tercemar sedang.
4. Tingkat IV dengan nilai suseptibilitas antara $450-600 \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$, termasuk kategori polusi yang tercemar sedang.
5. Tingkat V dengan nilai suseptibilitas antara $600-1000 \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ termasuk kategori polusi yang tercemar tinggi.
6. Tingkat VI dengan nilai suseptibilitas $> 1000 \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$, termasuk kategori polusi yang tercemar tinggi.

Berdasarkan kategori tingkatan polusi di atas, semakin rendah nilai suseptibilitas magnetik maka semakin rendah tingkat pencemaran udara di daerah tersebut, sebaliknya semakin tinggi nilai suseptibilitas magnetik maka semakin tinggi pula tingkat pencemaran udara di daerah tersebut. Pencemaran yang diakibatkan oleh polutan hasil industri terdapat partikel Fe dengan konsentrasi tertentu, sehingga penelitian ini bertujuan untuk menganalisis komposisi unsur Fe terhadap nilai suseptibilitas magnetik di Kota Padang menggunakan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF).

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini jenis sampel adalah Topsoil yang diambil dibagian permukaan tanah di delapan kecamatan di kota Padang, yaitu : Kecamatan Koto Tengah, Kecamatan Kuranji, Kecamatan Padang Barat, Kecamatan Padang Selatan, Kecamatan Lubuk Begalung, Kecamatan Padang Timur, Kecamatan Padang Utara, dan Kecamatan Pauh. Sampel topsoil diambil menggunakan sendok lalu dimasukkan ke dalam plastik.

Semua sampel berjumlah 54 sampel, yaitu : 10 sampel di Kecamatan Koto Tengah, 5 sampel di Kecamatan Kuranji, 6 sampel di Kecamatan Padang Barat, 5 sampel di Kecamatan Padang Selatan, 4 sampel di Kecamatan Lubuk Begalung, 5 sampel di Kecamatan Padang Timur, 12 sampel di Kecamatan Padang Utara, dan 7 sampel di Kecamatan Pauh. Jumlah pengambilan sampel topsoil masing-masing kecamatan berbeda-beda. Bergantung pada luas daerah dan jumlah pabrik yang ada di kecamatan tersebut.

Persiapan sampel topsoil dimulai dengan mengeringkan topsoil karena pada penelitian ini sampel topsoil yang digunakan sebaiknya kering dan halus. Setelah kering, topsoil di ayak menggunakan ayakan untuk memperoleh bagian yang halus. Lalu

topsoil yang sudah halus dimasukan ke dalam wadah yang berbentuk tabung (holder) dengan ukuran diameternya yaitu 2,5 cm dan tingginya juga 2,5 cm. Masing-masing sampel dibedakan dengan sistem penamaan sampel, yaitu nama site (kecamatan), jenis sampel, urutan pengambilan sampel. Contoh : KTT01, yaitu Koto Tengah, Topsoil, pengambilan pertama. Lalu diukur massanya. Pengukuran massa sampel topsoil diawali dengan menimbang massa holder kosong. Tahap berikutnya adalah menimbang holder berisi sampel topsoil. Lalu, massa total diketahui setelah menghitung massa holder berisi sampel topsoil dikurangi dengan massa holder kosong. Sampel topsoil yang siap diukur dapat dilihat pada Gambar 4.



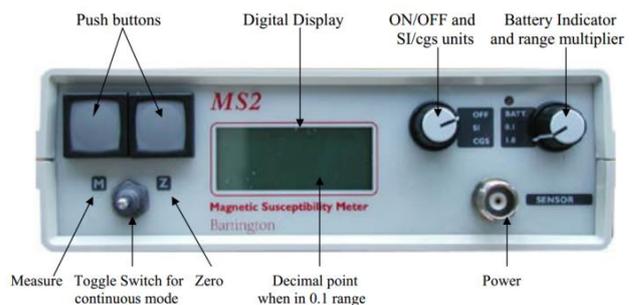
Gambar 4. Sampel topsoil yang siap untuk diukur

Instrument yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Magnetic Susceptibilitymeter* (*Bartington Susceptibilitymeter type MS2*) adalah alat untuk menentukan nilai suseptibilitas magnetik. *X-Ray Fluorescence Spectrometer* (*PANanalytical type Epsilon 3*) adalah alat untuk menentukan komposisi unsur pada sampel topsoil.



Gambar 5. *Magnetic Susceptibilitymeter* (*Bartington Susceptibilitymeter type MS2*)

Nilai suseptibilitas magnetik diperoleh menggunakan alat *Bartington Magnetic Susceptibility Meter* model MS2 yang dihubungkan dengan sensor MS2B yang mempunyai diameter internal 36 mm, dan frekuensi 465 Hz. Sensor *Bartington* menciptakan medan magnet yang lemah dari alternating current (AC) dengan medan lemah 80 A/m, mendeteksi magnet dari bahan, dan menghitung kerentanan magnetik lalu nilainya ditampilkan pada layar digital [4]. Berikut adalah tampilan panel MS2.



Gambar 6. Tampilan panel MS2 meter [4]



Gambar 7. X-Ray Fluorescence Spectrometer (PANanalytical type Epsilon 3)

Nilai suseptibilitas magnetik sampel topsoil diperoleh dengan melakukan pengukuran menggunakan *magnetic susceptibillitymeter* di laboratorium Geofisika, Jurusan Fisika Universitas Negeri Padang. Pengukuran nilai suseptibilitas magnetik dilakukan sebanyak tiga kali secara berulang dan didapat nilai suseptibilitas magnetik rata-rata untuk masing-masing pengukuran yangmana nilai suseptibilitas magnetik hasil pengukuran tersebut dikali dengan $10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$. Setelah didapat nilai suseptibilitas magnetiknya maka dipilih 10 sampel dari 54 total sampel. Setelah mengurutkan nilai suseptibilitas magnetik dari tertinggi hingga terendah maka diambil 4 sampel pada nilai suseptibilitas tertinggi, 3 sampel nilai suseptibilitas menengah, dan 3 sampel nilai suseptibilitas terendah. Lalu dilakukan pengukuran komposisi unsur terhadap 10 sampel tersebut. Pengukuran komposisi unsur menggunakan XRF *spectrometer* (jenis WDXRF *spectrometer*) dilakukan di laboratoium Instrument Kimia Universitas Negeri Padang. Hasil pengukuran XRF komposisi unsur berupa persentase unsur-unsur yang terkandung pada sampel toposil.

Setelah dilakukan pengukuran nilai suseptibilitas magnetik dan komposisi unsurnya, lalu dilakukan pengolahan data agar dapat diketahui penjelasan data dari hasil pengukuran. Hasil pengukuran nilai suseptibilitas magnetik diplot kedalam tabel data pengukuran. Hasil pengukuran XRF komposisi unsur Fe sampel toposil juga diplot kedalam tabel data pengukuran. Lalu kedua hasil pengukuran tersebut diplot kedalam grafik, yaitu hubungan komposisi unsur Fe terhadap nilai suseptibilitas magnetik pada sampel topsoil. Grafik tersebut diinterpretasikan hubungan komposisi unsur Fe terhadap nilai suseptibilitas magnetik. Selain unsur Fe, dipilih 3 unsur lain yang dominan. Ketiga unsur tersebut diplot kedalam tabel dan grafik, lalu dibandingkan dengan nilai suseptibilitas magnetik. Hal ini untuk mengetahui analisis komposisi unsur Fe terhadap nilai suseptibilitas magnetik yang juga dipengaruhi oleh unsur lain.

Kontribusi mineral terhadap suseptibilitas batuan dapat ditentukan berdasarkan nilai suseptibilitas batuan tersebut [11] :

- a. Jika sebuah batuan mengandung mineral paramagnetik sebagai mineral umum dan suseptibilitasnya lebih besar dari 5×10^{-3}

(SI), baik suseptibilitas maupun anisotropi batuan ditentukan oleh fraksi ferrimagnetik.

- b. Jika sebuah batuan mengandung mineral paramagnetik sebagai mineral umum dan suseptibilitasnya kurang dari 5×10^{-4} (SI), baik suseptibilitas maupun anisotropi batuan ditentukan oleh fraksi paramagnetik.
- c. Jika sebuah batuan mengandung mineral paramagnetik sebagai mineral umum dan suseptibilitas rata-rata dalam range 5×10^{-4} sampai 5×10^{-3} (SI), suseptibilitas dan anisotropi batuan ditentukan oleh fraksi paramagnetik dan ferrimagnetik.
- d. Jika hematite atau pyrrhotite memberikan kontribusi utama terhadap suseptibilitas rata-rata, kontribusinya terhadap anisotropi total akan selalu lebih tinggi sebab keduanya memiliki anisotropi intrinsik yang tinggi.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengukuran Suseptibilitas Magnetik

Hasil pengukuran nilai suseptibilitas magnetik pada 10 sampel topsoil menggunakan *Magnetic Susceptibillitymeter* (*Bartington Susceptibillitymeter type MS2*) disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Suseptibilitas Magnetik 10 Sampel Topsoil

No.	Nama Sampel	Kecamatan	Nilai Suseptibilitas Magnetik ($\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$)
1	PBT06	Padang Barat	4135.9
2	PBT05	Padang Barat	1681.3
3	PST04	Padang Selatan	1545.7
4	KTT09	Koto Tengah	1517.6
5	PBT01	Padang Barat	899.9
6	PUT02	Padang Utara	873.4
7	LBT04	Lubuk Begalung	865.4
8	KUT02	Kuranji	335.9
9	PAT07	Pauh	332.1
10	LBT01	Lubuk Begalung	322.8

Suseptibilitas magnetik rata-rata tertinggi dengan nilai $1155.5 (\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg})$, diperoleh di daerah Ulak Karang Selatan Kecamatan Padang Utara. Suseptibilitas magnetik rata-rata terendah dengan nilai $711 (\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg})$, diperoleh di daerah Gunung Pangilun Kecamatan Padang Utara.

2. Hasil Pengukuran XRF Komposisi Unsur Fe

Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan XRF *spectrometer* (*PANanalytical type Epsilon 3*), maka nilai komposisi unsur Fe pada 10 sampel topsoil dapat disajikan pada Tabel 2.

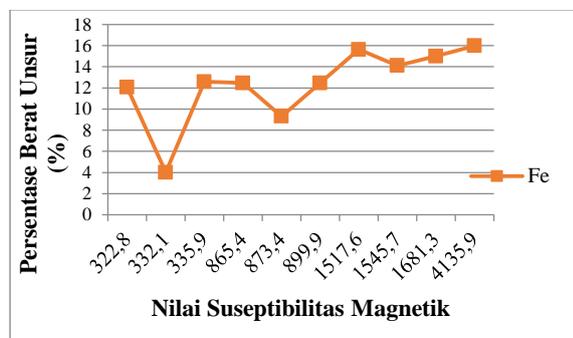
Tabel 2. Hasil Pengukuran Komposisi Unsur Fe pada Sampel topsoil

Nama Sampel	Komposisi unsur Fe (%)	Komposisi unsur lainnya (%)
PBT06	15.977	84.023
PBT05	14.990	85.010
PST04	14.113	85.887
KTT09	15.623	84.377
PBT01	12.466	87.534
PUT02	9.313	90.687
LBT04	12.466	87.534
KUT02	12.581	87.419
PAT07	4.012	95.988
LBT01	12.054	87.946

Seperti yang terlihat pada Tabel 2 di atas, selain unsur Fe juga terdapat unsur lainnya dengan persentase berat tertentu. Unsur yang dominan adalah unsur Silica (Si), Aluminium (Al), dan Calsium (Ca).

3. Kaitan Komposisi Unsur Fe Terhadap Nilai Suseptibilitas Magnetik

Data hasil pengukuran menggunakan *magnetic susceptibillitymeter* diperoleh nilai suseptibilitas magnetik yang bervariasi. Kerentanan magnetik dikendalikan oleh beberapa faktor, yaitu konsentrasi mineral, ukuran bulir, dan bentuk kristal. Selain itu, kerentanan magnetik juga tergantung pada komposisi mineral [4]. Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat hubungan komposisi unsur Fe terhadap nilai suseptibilitas magnetik dalam bentuk grafik pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Grafik Hubungan Komposisi Unsur Fe Terhadap Nilai Suseptibilitas Magnetik pada Sampel Topsoil di Kota Padang.

Berdasarkan hasil pengukuran komposisi unsur Fe sampel topsoil pada Tabel 2 dan hubungan komposisi unsur Fe terhadap nilai suseptibilitas magnetik pada Gambar 8, maka dapat dilihat bahwa persentase unsur Fe tertinggi terdapat pada nilai suseptibilitas 4135.9 ($\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$) dengan persentase berat adalah 15.977%, terdapat di lokasi Kecamatan Padang Barat. Urutan kedua tertinggi terdapat pada nilai suseptibilitas 1517.6 ($\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$) dengan persentase berat 15.623%, terdapat di lokasi Kecamatan Koto Tengah. Urutan ketiga tertinggi terdapat pada nilai suseptibilitas 1681.3 ($\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$) dengan persentase berat 14.990%, terdapat di lokasi

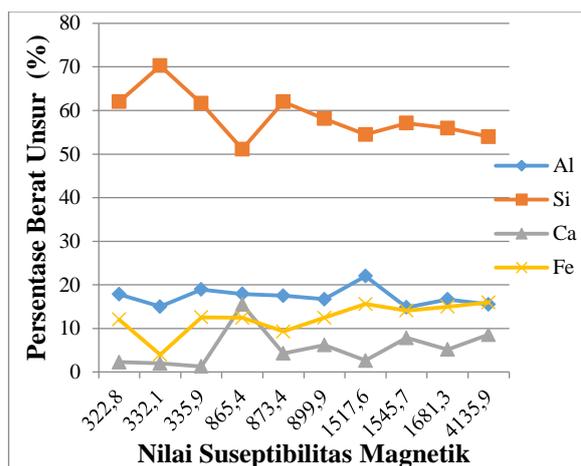
Kecamatan Padang Barat. Sedangkan persentase Fe terendah terdapat di lokasi Kecamatan Pauh dengan persentase berat 4.012%, nilai suseptibilitas magnetiknya adalah $332.1 (\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg})$.

Grafik hubungan komposisi unsur Fe terhadap nilai suseptibilitas magnetik pada sampel topsoil di Kota Padang, pada Gambar 8 diatas terlihat kandungan unsur Fe tertinggi bukanlah terdapat pada nilai suseptibilitas tertinggi. Sebaliknya, kandungan unsur Fe terendah bukanlah terdapat pada nilai suseptibilitas terendah. Tinggi rendahnya nilai suseptibilitas magnetik tidak hanya dipengaruhi oleh komposisi unsur Fe saja, tetapi juga dipengaruhi oleh unsur lain yang terkandung pada sampel topsoil. Unsur lain tersebut yang dominan adalah Al, Si, dan Ca.

Tabel 3. Persentase Berat Unsur Al, Si, dan Ca pada Sampel Topsoil

Nama Sampel	Persentase Berat Unsur Al (%)	Persentase Berat Unsur Si (%)	Persentase Berat Unsur Ca (%)
PBT06	15.548	53.994	8.582
PBT05	16.672	55.951	5.162
PST04	14.848	57.077	7.826
KTT09	22.009	54.474	2.639
PBT01	16.710	58.103	6.196
PUT02	17.527	62.014	4.300
LBT04	17.907	51.110	15.497
KUT02	18.935	61.617	1.287
PAT07	15.036	70.263	1.983
LBT01	17.836	61.991	2.266

Berdasarkan Tabel 3 dapat diplot grafik perbandingan unsur Al, Si, Ca, dan Fe terhadap nilai suseptibilitas magnetik.



Gambar 9. Grafik Perbandingan Komposisi Unsur Al, Si, Ca, dan Fe Terhadap Nilai Suseptibilitas Magnetik pada Sampel Topsoil di Kota Padang

Pada Gambar 9 di atas terlihat bahwa nilai suseptibilitas magnetik tidak hanya dipengaruhi oleh komposisi unsur Fe saja, namun juga dipengaruhi oleh komposisi unsur lain yang terkandung pada sampel topsoil. Dapat dilihat bahwa persentase terbanyak yang

terkandung pada sampel topsoil adalah unsur Si. Pada saat komposisi Fe tertinggi dengan persentase 15.977% diperoleh pada nilai suseptibilitas magnetik tertinggi yaitu 4135.9 ($\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$), juga terdapat komposisi Ca tertinggi dengan persentase 8.582%, sedangkan komposisi Al adalah 15.548% dan komposisi Si adalah 53.994%. Selanjutnya, kandungan Fe terendah dengan persentase berat 4.012% diperoleh pada nilai suseptibilitas magnetik 332.1 ($\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$). Pada saat komposisi Fe terendah terdapat komposisi Si tertinggi yaitu 70.263%. Namun, pada nilai suseptibilitas magnetik terendah yaitu 322.8 ($\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$), komposisi Fe adalah 12.054%, sedangkan komposisi Si adalah 61.991%. Komposisi Fe cukup berpengaruh terhadap nilai suseptibilitas magnetik di Kota Padang. Namun, nilai suseptibilitas magnetik juga dipengaruhi oleh unsur lainnya.

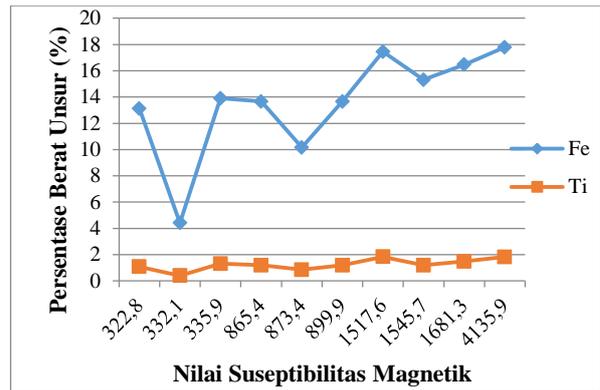
Mineral yang memiliki nilai suseptibilitas magnetik tertinggi adalah besi murni (Fe) dan sifat kemagnetan bahannya adalah ferromagnetik. Unsur Fe tersebut dapat mengalami penurunan kerentanan magnetik bila bersenyawa dengan Ti. Pada senyawa tersebut Ti mengurangi momen magnetik Fe dan mineral, sehingga kenaikan Fe tidak signifikan terhadap nilai suseptibilitas magnetik [4].

Dilihat dari Hasil pengukuran XRF *spectrometer*, selain Fe juga terdapat unsur logam transisi lain yang terkandung pada sampel topsoil yaitu unsur Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, dan Zn. Ti memiliki komposisi tertinggi dari ketujuh unsur logam transisi tersebut. Nilai komposisi unsur Ti dengan persentase berat yang bervariasi disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Persentase Berat Unsur Fe dan Ti Sampel Topsoil

Nama Sampel	Persentase Berat Unsur Fe (%)	Persentase Berat Unsur Ti (%)
PBT06	15.977	1.822
PBT05	14.990	1.479
PST04	14.113	1.195
KTT09	15.623	1.831
PBT01	12.466	1.192
PUT02	9.313	0.853
LBT04	12.466	1.192
KUT02	12.581	1.318
PAT07	4.012	0.405
LBT01	12.054	1.077

Berdasarkan Tabel 4, persentase berat unsur Fe dan Ti pada sampel topsoil diplot ke dalam bentuk grafik pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Hubungan Komposisi Unsur Fe dan Ti Terhadap Nilai Suseptibilitas Magnetik pada Sampel Topsoil di Kota Padang

Berdasarkan Gambar 9 di atas, pada saat nilai suseptibilitas magnetik tertinggi yaitu 4135.9 ($\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$), komposisi Fe adalah 15.977%, sedangkan komposisi Ti juga tinggi yaitu 1.822%. Selanjutnya, pada saat nilai suseptibilitas magnetik terendah yaitu 322.8 ($\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$), komposisi Fe adalah 12.054%, sedangkan komposisi Ti juga rendah yaitu 1.077%. Namun, pada komposisi Fe tertinggi urutan kedua dengan persentase 15.623%, nilai suseptibilitas magnetiknya adalah 1517.6 ($\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$), karena terdapat komposisi Ti dengan persentase tertinggi yaitu 1.831%. Jadi, terlihat bahwa Fe dapat mengalami penurunan kerentanan magnetik bila bersenyawa dengan Ti.

Persentase Fe dan Ti berasal dari mineral penyusun utama besi yaitu ilmenite (FeTiO_3), bersifat paramagnetik. Dimana kontribusi mineralnya terhadap suseptibilitas ditentukan oleh fraksi paramagnetik ferrimagnetik. Jika sebuah batuan mengandung mineral paramagnetik sebagai mineral umum dan suseptibilitas rata-rata dalam range 5×10^{-4} sampai 5×10^{-3} (SI), suseptibilitas dan anisotropi batuan ditentukan oleh fraksi paramagnetik dan ferrimagnetik [11].

Kontribusi utama Fe yang terkandung pada sampel topsoil diduga berasal dari hasil industri yang menggunakan pembakaran listrik batu bara. Seperti penyelidikan yang telah dilakukan menggunakan sampel debu metalurgi dan abu terbang dari pembangkit listrik batu bara serta topsoil. Hasil penelidikannya adalah meskipun berjarak sekitar 25 km sebelah timur dari sumber emisi polusi di Upper Silesia, tetapi hasil penyelidikan tersebut menunjukkan terjadinya pencemaran yang cukup luas. Jadi, pencemaran akibat hasil industri tidak hanya terjadi pada jarak beberapa kilometer saja, namun partikel dan abu terbang yang mengandung polutan tersebut beterbangan di udara bergerak mengikuti aliran udara [8].

Penelitian lain, mengkarakterisasi fraksi magnetik aerosol antropogenik udara. Sampel yang digunakan adalah pelapukan kerak yang ada pada beberapa bangunan bersejarah di Inggris. Data magnetik dan mikroskopis yang mereka peroleh konsisten dengan derivasi utama fraksi magnetik dari

proses pembakaran batubara. Hal ini didukung karena abu terbang yang berasal dari pembakaran menggunakan minyak memiliki kandungan Fe yang rendah dibandingkan pembakaran batubara. Biasanya, abu terbang yang berasal dari pembakaran menggunakan minyak memiliki kandungan Fe 0,5% dan pada abu terbang yang berasal dari pembakaran batubara memiliki kandungan Fe 11,5% [9].

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, pengukuran nilai susceptibilitas magnetik dan komposisi unsur sampel topsoil, maka diperoleh kesimpulan bahwa :

1. Polutan hasil industri di Kota Padang mengandung unsur Fe. Komposisi persentase unsur Fe tertinggi terdapat di lokasi Kecamatan Padang Barat pada nilai susceptibilitas magnetik $4135.9 \text{ (} \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg} \text{)}$ dengan persentase berat 15.977%. Persentase Fe terendah terdapat di lokasi Kecamatan Pauh pada nilai susceptibilitas magnetik $332.1 \text{ (} \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg} \text{)}$ dengan persentase berat 4.012%.
2. Hasil penelitian pada sampel topsoil di Kota Padang, hubungan komposisi unsur Fe terhadap nilai susceptibilitas magnetik masing-masing sampel secara umum adalah sebanding. Tinggi rendahnya nilai susceptibilitas magnetik tidak hanya dipengaruhi oleh komposisi unsur Fe saja, tetapi juga dipengaruhi oleh unsur lain yang terkandung pada sampel topsoil, seperti unsur Si, Al, Ca, dan Ti.
3. Fe dapat mengalami penurunan kerentanan magnetik bila bersenyawa dengan Ti. Persentase Fe dan Ti pada sampel Topsoil di Kota Padang berasal dari mineral penyusun utama besi yaitu ilmenite (FeTiO_3), bersifat paramagnetik.

Sampel yang akan dilakukan pengukuran nilai komposisi unsur Fe sebaiknya dipilih berdasarkan jenis mineral yang terkandung pada sampel. Agar bisa dilihat lebih jelas lagi kaitan komposisi unsur Fe terhadap nilai susceptibilitas magnetik tersebut. Lalu Pada pengukuran nilai susceptibilitas magnetik Low Field (χ_{lf}) pada sampel yang akan diuji komposisi unsur besinya sebaiknya dilakukan juga pengukuran menggunakan susceptibilitas High Field (χ_{hf}). Agar diketahui perbedaan mengenai kaitan komposisi unsur terhadap nilai susceptibilitas magnetik menggunakan Low Field (χ_{lf}) dan High Field (χ_{hf}).

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian dosen tahun 2012, yang didanai melalui Dana DIPA Jurusan Fisika FMIPA UNP dengan judul Monitoring Magnetik Terhadap Polusi di Kota Padang. Terima kasih kepada Catur Krisna Gobah atas bantuan teknis selama pengambilan sampel dan data.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Achmad, Hiskia. 2001. *Kimia Unsur dan Radio Kimia*. Bandung: PT. Citra Aditya Bakti.
- [2] Brouwer, P. 2006. *Theory of XRF*. PANalytical BV: The Netherlands.
- [3] Dadan Rosana, dkk. 2003. *Konsep Dasar Fisika Modern*. Yogyakarta. JICA IMSTEP.
- [4] Dearing, J. 1999. *Environmental Magnetic Susceptibility: Using the Bartington MS2 System*. British Library Cataloguing in Publication Data.
- [5] Evan, M. E., & F, Heller. 2003. *Environment Magnetism Principles and Application of Enviromagnetics*. California: Academic Presses.
- [6] Fitri, Gustina. 2009. *Tingkat Polusi Udara Dari Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Berdasarkan Volume Lalu Lintas*. Jurnal Reaksi (Journal of Science and Technology). Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe Vol. 7 No.16, (Desember 2009 ISSN 1693-248X46).
- [7] Hunt, Christoper. P. 1991. *Environmental Magnetism Workshop*. University of Minnesota.
- [8] Strzyszcz, Z., T. Magiera, and F. Heller. *The influence of industrial emissions on the magnetic susceptibility of soils in Upper Silesia*. *Studia Geophysica et Geodetica* 40, 276-286, 1996.
- [9] Schiavon, N., and L. P. Zhou. *Magnetic, chemical and microscopical characterization of urban soiling on historical monuments*. *Environmental Science and Technology* 30, 3624-3629, 1996.
- [10] Sukirno, dkk. 2009. *Analisis Unsur Fe, Ca, Ti, Ba, Ce, Zr Dan La Dalam Sedimen Laut Di Semenanjung Muria Dengan Metode Xrf*. Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan. GANENDRA, Vol. XII, No. 1, Januari 2009. (Januari 2009 ISSN 1410-6957).
- [11] Tarling, D. H., & Hrouda, F. 1993. *The Magnetic Anisotropy of Rocks*. London: Chapman and Hall.