

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

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Oleh :

ELSA FERYANI HARIFAN

NIM. 12765

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2014**

PERSETUJUAN SKRIPSI

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

Nama : Elsa Feryani Harifan
NIM : 12765
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 5 Agustus 2014

Disetujui Oleh :

Pembimbing I,



Drs. Mahrizal, M.Si
NIP. 19510512 197603 1 005

Pembimbing II,



Fatni Mufit, S.Pd, M.Si
NIP. 19731023 200012 2 002

PENGESAHAN

Dinyatakan Lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi

Program Studi Fisika Jurusan Fisika

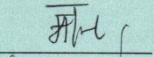
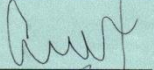
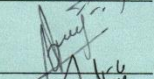
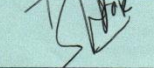
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Padang

Judul : Analisis Komposisi Unsur Fe Terhadap Nilai Suseptibilitas
Magnetik di Kota Padang Menggunakan Metode X-Ray
Fluorescence (XRF)
Nama : Elsa Feryani Harifan
NIM : 12765
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 5 Agustus 2014

Tim Penguji

Nama		Tanda Tangan
1. Ketua	: Drs. Mahrizal, M.Si	1. 
2. Sekretaris	: Fatni Mufit, S.Pd, M.Si	2. 
3. Anggota	: Drs. H. Asrul, M.A	3. 
4. Anggota	: Dr. Hamdi, M.Si	4. 
5. Anggota	: Nofi Yendri Sudiar, S.Si, M.Si	5. 

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim.

Padang, 5 Agustus 2014

Saya yang menyatakan,



Elsa Feryani Harifan

ABSTRAK

Elsa Feryani Harifan : Analisis Komposisi Unsur Fe Terhadap Nilai Suseptibilitas Magnetik Di Kota Padang Menggunakan Metode *X-Ray Fluorescence* (XRF)

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. Pada dasarnya, sebelum dibakar batubara 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. Besi (Fe) merupakan logam berat paling berbahaya yang terkandung pada topsoil. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran nilai suseptibilitas magnetik dan komposisi unsur untuk menganalisis komposisi unsur Fe terhadap nilai suseptibilitas magnetik,

Sampel pada penelitian ini adalah topsoil. Pengukuran nilai suseptibilitas magnetik sampel topsoil dilakukan dengan menggunakan *magnetic susceptibilitymeter*. Lalu dilakukan pengukuran komposisi unsur sebanyak sepuluh sampel dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) *spectrometer*. Data hasil pengukuran diplot ke dalam bentuk grafik untuk menunjukkan hubungan komposisi unsur Fe terhadap nilai suseptibilitas magnetik. Sedangkan, dari hasil pengukuran *magnetic susceptibilitymeter*, nilai suseptibilitas magnetik dapat menginformasikan jenis mineral magnetik berdasarkan nilai kerentanan magnetiknya.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tinggi rendahnya nilai suseptibilitas magnetik tidak hanya dipengaruhi oleh komposisi unsur Fe saja, tetapi juga dipengaruhi oleh unsur lain yang terkandung pada sampel topsoil, seperti Al, Si, Ca, dan Ti. Persentase berat Fe dan Ti berasal dari mineral penyusun utama besi yaitu ilmenite (FeTiO_3), bersifat paramagnetik.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT atas karunia dan rahmat yang dilimpahkan sebagai peneguh hati, petunjuk untuk segala solusi hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Komposisi Unsur Fe Terhadap Nilai Suseptibilitas Magnetik Di Kota Padang Menggunakan Metode *X-Ray Flourescence* (XRF)”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana sains pada Program Studi Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

Kelancaran kegiatan penelitian dan penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, arahan dan dorongan serta nasehat dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, dengan kerendahan hati dan ketulusan penulis mengucapkan terimakasih kepada yang terhormat:

1. Bapak Drs. Mahrizal, M.Si., sebagai pembimbing I yang telah banyak meluangkan waktu, pikiran, saran dan tenaga serta kesabaran untuk membimbing penulis dalam kegiatan penelitian dan penulisan skripsi ini.
2. Ibu Fatni Mufit, S.Pd., M.Si., sebagai pembimbing II yang telah banyak memberikan bantuan, bimbingan dan saran serta kesabaran sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Drs. H. Asrul, M.A., Bapak, Dr. Hamdi, M.Si., dan Bapak Nofi Yendri Sudiar, M.Si., selaku penguji pada skripsi ini.
4. Ibu Dr. Ratnawulan, M.Si, sebagai penasehat akademik yang telah banyak memberikan masukan dan motivasi kepada penulis.
5. Bapak dan Ibu dosen jurusan Fisika.

6. Kedua orang tua dan saudara atas motivasi, pengertian, pengorbanan, kepercayaan, serta doa tulus yang mengalir untuk penulis, sehingga penulis sampai pada tahap penyelesaian.
7. Semua pihak yang telah membantu penulis untuk mewujudkan dan menyelesaikan studi yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Skripsi ini masih banyak terdapat kesalahan dan kelemahan. Untuk itu diharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap mudah-mudahan skripsi ini berguna bagi pembaca. Semoga semua bantuan, kritik dan saran yang telah diberikan menjadikan masukan positif bagi kita.

Padang, Juli 2014

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Batasan Masalah.....	4
D. Tujuan Penelitian	5
E. Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN TEORI	
A. Polutan Pada Polusi Udara	6
B. Keadaan Geografi Kota Padang	6
C. Kemagnetan Bahan.....	8
1. Diamagnetik	8
2. Paramagnetik	9
3. Ferromagnetik.....	10
D. Mineral Magnetik	11
1. <i>Magnetite</i>	11
2. <i>Hematite</i>	12

3. <i>Ilmenite</i>	12
E. Diagram Ternary.....	12
F. Sifat Magnetik Unsur	15
1. Logam Transisi	16
2. Unsur Fe (Besi).....	17
G. Suseptibilitas Magnetik	18
H. Suseptibilitas Magnetik sebagai Indikator Polusi Udara.....	21
I. Sinar-X.....	22
J. <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	24
1. Prinsip Kerja XRF	24
2. Jenis-Jenis XRF	26
3. Kelebihan dan Kekurangan XRF.....	29
K. Kerangka Berpikir Penelitian	29
 BAB III METODE PENELITIAN	
A. Jenis Penelitian	31
B. Tempat dan Waktu Penelitian	31
C. Variabel Penelitian	31
D. Deskripsi Sampel.....	31
E. Instrumen Penelitian	34
1. <i>Magnetic Susceptibilitymeter</i>	34
2. <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) <i>spectrometer</i>	37
F. Rancangan Penelitian	37
G. Teknik Pengumpulan Data	39

1. Pengukuran Nilai Suseptibilitas Magnetik	39
2. Pengukuran Komposisi Unsur Fe	40
H. Teknik Analisa Data	40
 BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
A. Hasil Penelitian.....	43
1. Hasil Pengukuran Suseptibilitas Magnetik	43
2. Hasil Pengukuran Komposisi Unsur Fe (Besi)	51
B. Pembahasan	60
 BAB V PENUTUP	
A. Kesimpulan.....	66
B. Saran	67
DAFTAR PUSTAKA	68

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Jenis Mineral dan Temperatur Curie.....	11
2. Beberapa Harga Momen Magnetik Menurut Perhitungan dan Eksperimen.....	15
3. Beberapa Sifat Fisika Logam Besi.....	18
4. Sifat Magnetik dan Suseptibilitas Magnetik	19
5. Mineral-Mineral dan Nilai Suseptibilitas Magnetik	20
6. Perbedaan EDXRF dan WDXRF <i>Spectrometer</i>	28
7. Koordinat Geografis Sampel Topsoil	32
8. Bentuk Tabel Hasil Pengukuran Nilai Suseptibilitas Magnetik.....	40
9. Bentuk Tabel Hasil Pengukuran Komposisi Unsur Fe	40
10. Jumlah Sampel Topsoil pada Setiap Kecamatan di Kota Padang.....	43
11. Hasil Pengukuran Suseptibilitas Magnetik Sampel Topsoil Site Kecamatan Koto Tengah	44
12. Hasil Pengukuran Suseptibilitas Magnetik Sampel Topsoil Site Kecamatan Kuranji	45
13. Hasil Pengukuran Suseptibilitas Magnetik Sampel Topsoil Site Kecamatan Pauh.....	46
14. Hasil Pengukuran Suseptibilitas Magnetik Sampel Topsoil Site Kecamatan Padang barat.....	47
15. Hasil Pengukuran Suseptibilitas Magnetik Sampel Topsoil Site Kecamatan Padang Selatan	48

16.	Hasil Pengukuran Suseptibilitas Magnetik Sampel Topsoil Site Kecamatan Lubuk Begalung.....	48
17.	Hasil Pengukuran Suseptibilitas Magnetik Sampel Topsoil Site Kecamatan Padang Timur.....	49
18.	Hasil Pengukuran Suseptibilitas Magnetik Sampel Topsoil Site Kecamatan Padang Utara.....	50
19.	Nama Sampel Pengukuran Komposisi Unsur Fe	52
20.	Hasil Pengukuran Komposisi Unsur pada Sampel Topsoil PBT06.....	52
21.	Hasil Pengukuran Komposisi Unsur pada Sampel Topsoil PBT05.....	53
22.	Hasil Pengukuran Komposisi Unsur pada Sampel Topsoil PST04	53
23.	Hasil Pengukuran Komposisi Unsur pada Sampel Topsoil KTT09	54
24.	Hasil Pengukuran Komposisi Unsur pada Sampel Topsoil PBT01.....	55
25.	Hasil Pengukuran Komposisi Unsur pada Sampel Topsoil PUT02.....	55
26.	Hasil Pengukuran Komposisi Unsur pada Sampel Topsoil LBT04.....	56
27.	Hasil Pengukuran Komposisi Unsur pada Sampel Topsoil KUT02.....	57
28.	Hasil Pengukuran Komposisi Unsur pada Sampel Topsoil PAT07.....	57
29.	Hasil Pengukuran Komposisi Unsur pada Sampel Topsoil LBT01.....	58
30.	Hasil Pengukuran Komposisi Unsur Fe pada Sampel Topsoil	59
31.	Persentase Berat Unsur Al, Si, dan Ca pada Sampel Topsoil	59
32.	Persentase Berat Unsur Fe dan Ti pada Sampel Topsoil	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. a) Grafik magnetisasi (M) terhadap medan magnet (H) yang diberikan dan ($\chi < 0$). (b) Suseptibilitas (χ) tidak tergantung pada temperatur (T) untuk bahan diamagnetik	9
2. (a) Grafik magnetisasi (M) terhadap medan magnet (H) yang diberikan dan ($\chi > 0$). (b) Suseptibilitas (χ) tergantung pada temperatur (T) untuk bahan paramagnetik	10
3. Diagram <i>Ternary</i> untuk $\text{TiO}_2\text{-FeO-Fe}_2\text{O}_3$	14
4. Tabel periodik dan unsur logam transisi periode keempat	17
5. Difraksi sinar-X melalui kisi kristal	23
6. Prinsip kerja WDXRF	27
7. Prinsip kerja EDXRF	28
8. Kerangka berpikir	30
9. Peta lokasi pengambilan sampel topsoil	34
10. Tampilan panel MS2 Meter	35
11. <i>Magnetik Susceptibilitymeter (Bartington Susceptibilitymeter type MS2)</i>	35
12. <i>X-Ray Fluorescence Spectrometer (PANalitical type Epsilon 3)</i>	37
13. Sampel topsoil yang siap untuk diukur	38
14. Neraca elektrik digital	39

15.	Grafik hubungan komposisi unsur Fe terhadap nilai suseptibilitas magnetik.....	61
16.	Grafik hubungan komposisi unsur Al, Si, Ca, dan Fe terhadap nilai suseptibilitas magnetik.....	62
17.	Grafik hubungan komposisi unsur Fe dan Ti terhadap nilai suseptibilitas magnetik.....	64

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Komposisi unsur pada sampel topsoil PBT06	70
2. Komposisi unsur pada sampel topsoil PBT05	71
3. Komposisi unsur pada sampel topsoil PST04.....	72
4. Komposisi unsur pada sampel topsoil KTT09.....	73
5. Komposisi unsur pada sampel topsoil PBT01	74
6. Komposisi unsur pada sampel topsoil PUT02	75
7. Komposisi unsur pada sampel topsoil LBT04	76
8. Komposisi unsur pada sampel topsoil KUT02	77
9. Komposisi unsur pada sampel topsoil PAT07	78
10. Komposisi unsur pada sampel topsoil LBT01	79

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

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.

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 diserat 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 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 (Evan dan Heller, 2003).

Penyelidikan pengaruh emisi industri terhadap nilai suseptibilitas magnetik yang diantaranya dilakukan oleh Strzyszcz dan Heller (1996). 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 oleh Schiavon dan Zhou (1996), mengkarakterisasi fraksi magnetik aerosol antropogenik udara. Sampel yang digunakan adalah pelapukan kerak yang ada pada beberapa bangunan bersejarah di Inggris. Pengkarakterisasian 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 (Evan dan Heller, 2003).

Bahaya partikel besi 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 besi, karena besi merupakan logam berat paling berbahaya yang terkandung pada topsoil. Pengukuran komposisi unsur besi dilakukan menggunakan *X-Ray Fluorescence (XRF) Spectrometer*. Selain mengukur komposisi besi (Fe) juga dilakukan pengukuran nilai suseptibilitas magnetiknya. Faktor yang mempengaruhi kerentanan magnetik adalah komposisi mineral, konsentrasi mineral, ukuran bulir, dan bentuk kristal (Dearing, 1991). Keempat faktor tersebut merupakan karakterisasi mineral magnetik. Dengan demikian, dilakukan analisis komposisi unsur Fe terhadap nilai suseptibilitas magnetik di Kota Padang.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka dapat dirumuskan masalah dari penelitian ini yaitu bagaimana analisis komposisi unsur Fe terhadap nilai suseptibilitas magnetik di kota Padang dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence (XRF)*.

C. Batasan Masalah

Mengingat luasnya permasalahan di atas dan adanya keterbatasan penulis maka perlu adanya batasan masalah sebagai berikut :

1. Identifikasi yang dilakukan pada sampel topsoil adalah penentuan nilai suseptibilitas magnetik dan komposisi unsur Fe yang terkandung.
2. Lokasi pengambilan sampel topsoil pada delapan kecamatan yang terdapat di Kota Padang, yaitu : Kecamatan Koto Tangah, Kecamatan Kuranji, Kecamatan Padang Barat, Kecamatan Padang Selatan, Kecamatan Lubuk

Begalung, Kecamatan Padang Timur, Kecamatan Padang Utara, dan Kecamatan Pauh.

D. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis komposisi unsur Fe terhadap nilai suseptibilitas magnetik di Kota Padang menggunakan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF).

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yaitu :

1. Dapat memberikan informasi bagi pemerintah dan masyarakat daerah setempat tentang polusi udara akibat polutan hasil industri dan sebagai pedoman untuk menindak lanjuti masalah ini.
2. Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di jurusan Fisika FMIPA UNP.

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Polutan Pada Polusi Udara

Polusi udara diartikan sebagai adanya bahan-bahan atau zat-zat asing di dalam udara yang menyebabkan perubahan susunan atau komposisi udara dari keadaan normalnya. Menurut Fitri Gustina (2009), 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 memperuhi kualitas udara.

Pencemar udara dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu pencemar primer dan pencemar sekunder. Pencemar primer adalah substansi pencemar yang ditimbulkan langsung dari pencemaran udara. Contoh pencemar primer adalah karbon monoksida, karena merupakan hasil pembakaran. Sedangkan pencemar sekunder adalah substansi pencemar yang ditimbulkan dari hasil proses fisik dan kimia di atmosfer, atau pencemar yang terbentuk dari hasil reaksi pencemar-pencemar primer di atmosfer. Contoh pencemar sekunder adalah pembentukan ozon dalam smog fotokimia.

B. Keadaan Geografi Kota Padang

Geografi merupakan ilmu yang mempelajari tentang lokasi serta persamaan dan perbedaan (variasi) keruangan atas fenomena fisik dan manusia di atas permukaan bumi. Secara geografi, kota Padang terletak di pesisir pantai barat

pulau Sumatera, dengan garis pantai sepanjang 84 km. Luas keseluruhan Kota Padang adalah 694,96 km². Lebih dari 60% dari luas tersebut sekitar $\pm 434,63$ km² merupakan daerah perbukitan yang ditutupi hutan lindung. Sementara selebihnya merupakan daerah efektif perkotaan. Sedangkan keadaan topografi kota Padang bervariasi, 49,48% luas wilayah daratan Kota Padang berada pada wilayah kemiringan lebih dari 40% dan 23,57% berada pada wilayah kemiringan landai.

Ketinggian daratan kota Padang sangat bervariasi, yaitu antara 0 m sampai 1.853 m di atas permukaan laut. Ketinggiannya berada antara 0–>1.000 meter dpl (di atas permukaan laut) membujur dari barat ke timur. Di bagian paling barat adalah wilayah pesisir dengan ketinggian 0 meter dpl dan di bagian timur adalah wilayah pegunungan Bukit Barisan dengan ketinggian >1.000 meter dpl. Ketinggian antara 0–25 meter dpl luas wilayah nya $\pm 22\%$ dari total wilayah daratan sedangkan wilayah ketinggian >1.000 meter dpl luasnya $\pm 17\%$.

Hampir seluruh dataran (ketinggian 0-25 mdpl) dengan luas hampir 22% dari total luas Kota Padang, merupakan daerah bangunan yang berdiri (*build-up area*). Relatif di bagian selatan dan timur yang masih terbentang luas daerah belum dibangun. Pada umumnya di bagian selatan, khusus di Kecamatan Bungus teluk kabung, masih merupakan daerah pertanian. Sedangkan di bagian timur di dominasi oleh kawasan hutan yang berada pada daerah perbukitan dengan kemiringan yang cukup curam. Wilayah timur tersebut terdiri dari beberapa kecamatan yaitu mulai utara ke selatan berturut-turut dari Kecamatan Koto Tangah, Pauh, Kuranji, dan Lubuk kilangan.

C. Kemagnetan Bahan

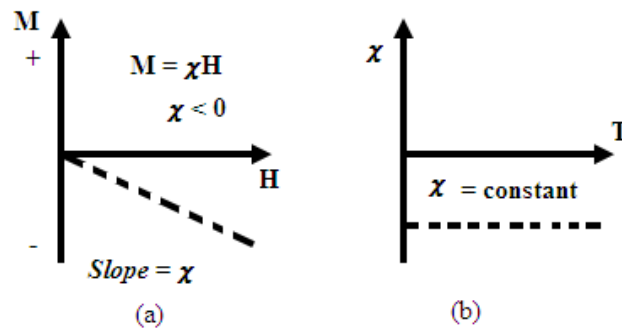
Semua bahan mempunyai sifat kemagnetan, tetapi sifat kemagnetan bahan tersebut berbeda antara bahan satu dengan bahan yang lain. Sifat magnetik suatu bahan dibedakan menjadi tiga kelompok, yaitu : diamagnetik, paramagnetik, dan ferromagnetik.

1. Diamagnetik

Menurut Evan dan Heller (2003), diamagnetik merupakan sifat dasar suatu bahan yang dimiliki oleh semua bahan, yang merupakan bersifat lemah. Sifat diamagnetik ditimbulkan oleh gerak orbital elektron karena atom mempunyai elektron orbital, bergerak mengelilingi inti membawa muatan sehingga elektron mengalami gaya Lorentz yang menyamping ketika bergerak melalui medan magnet tersebut. Respon diamagnetik merupakan terapan dari medan magnet menghasilkan induksi magnetik yang kecil dan berlawanan arah dengan medan listrik (Butler, 1998). Bahan yang atom-atomnya tidak memiliki momen magnetik akan memperlihatkan sifat diamagnetik. Sedangkan bahan yang atom-atomnya memiliki momen magnetik, sifat diamagnetiknya ditutupi oleh efek medan magnet pada momen magnetik. Menurut Evan dan Heller (2003), atom pada sifat diamagnetik ini momen magnetiknya adalah nol.

Nilai suseptibilitas bahan magnetik bernilai negatif dan rendah, yaitu sekitar 10^{-6} dalam satuan cgs dan sekitar -0.8×10^{-7} dalam SI (Butler, 1998). Pada bahan diamagnetik, suseptibilitas magnetiknya tidak dipengaruhi

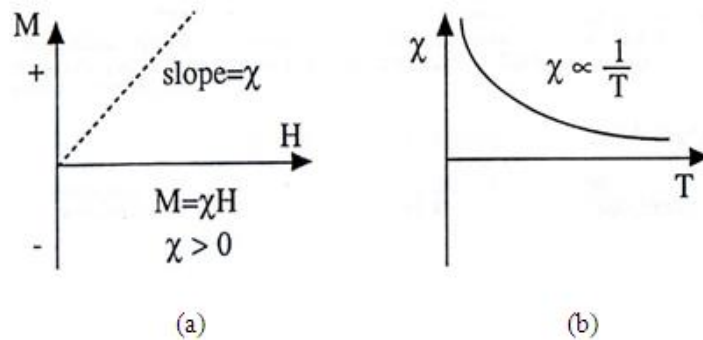
temperature (lihat Gambar 1). Contoh mineral diamagnetik adalah kuarsa, perak, emas, tembaga, dan seng.



Gambar 1. a) Grafik magnetisasi (M) terhadap medan magnet (H) yang diberikan dan ($\chi < 0$). (b) Suseptibilitas (χ) tidak tergantung pada temperatur (T) untuk bahan diamagnetik (Hunt, 1991).

2. Paramagnetik

Menurut Butler (1998), paramagnetik adalah bahan yang atom-atomnya memiliki momen magnet tetapi tidak ada interaksi antara atom yang berdekatan atau berinteraksi sangat lemah, dan induksi magnetik yang dihasilkan sejajar dengan medan listrik. Contoh dari mineral paramagnetik adalah aluminium, dan magnesium. Nilai suseptibilitas magnetiknya positif dan rendah, yaitu $\chi \approx 10^{-3}$ sampai 10^{-5} dalam SI. Pada temperatur kamar, nilai suseptibilitas magnetiknya adalah 4.4×10^{-4} dalam cgs dan 3.5 dalam SI (Butler, 1998 : 17). Pada Gambar 2 dapat dilihat grafik magnetisasi terhadap medan magnet (Gambar a) dan suseptibilitas magnetiknya dipengaruhi oleh temperatur (Gambar b). Menurut Oktova dan Okimustava (2009), bahan paramagnetik merupakan bahan-bahan yang memiliki kerentanan magnetik positif dan sangat kecil.



Gambar 2. (a) Grafik magnetisasi (M) terhadap medan magnet (H) yang diberikan dan ($\chi > 0$). (b) Suseptibilitas (χ) tergantung pada temperatur (T) untuk bahan paramagnetik (Hunt, 1991).

3. Ferromagnetik

Ferromagnetik adalah bahan yang atom – atomnya memiliki momen magnet dan interaksi antara atom yang berdekatan sangat kuat. Bahan ferromagnetik mula-mula memiliki magnetisasi nol pada daerah yang bebas medan magnetik, bila mendapat pengaruh medan magnetik yang lemah saja akan memperoleh magnetisasi yang besar. Jika diperbesar medan magnetnya, akan makin besar pula magnetisasinya. Eksperimen menunjukkan bila medan magnetik diiadakan, magnetisasi bahan tidak kembali menjadi nol. Jadi bahan ferromagnetik itu dapat mempunyai magnetisasi walaupun tidak ada medan, sehingga bahan dikatakan memiliki magnetisasi spontan. Bahan ferromagnetik dan suhu dengan magnetisasi maksimum disebut saturasi magnetisasi (Butler, 1998:18).

Nilai suseptibilitas magnetik bagian ferromagnetik adalah positif dan besar, yaitu $\chi \approx 50$ sampai 10000. Ferromagnetik berubah menjadi paramagnetik pada suhu di atas temperatur Curie (Istiyono Edi, 2009). Temperatur Curie merupakan temperatur yang menunjukkan perubahan dari

paramagnetik menjadi ferromagnetik, dimana mineral magnetik pada batuan tersebut memiliki arah magnetisasi remanen (magnetisasi sementara).

D. Mineral Magnetik

Mineral magnetik sebenarnya selalu ada secara alamiah pada batuan, tanah, atau endapan sedimen, meskipun secara kuantitatif kelimpahannya cukup kecil yaitu sekitar 0.1 % dari massa total batuan atau endapan (Bijaksana dan Estevanus, 2007). Pada Tabel 1, jenis-jenis mineral magnetik beserta formula, magnetisasi, dan temperatur Curiannya masing-masing.

Tabel 1. Jenis Mineral dan Temperatur Curie

Mineral	Formula	M_s (kA/m)	T_c ($^{\circ}\text{C}$)
<i>Magnetite</i>	Fe_3O_4	480	580
<i>Hematite</i>	$\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$	~ 2.5	675
<i>Maghemite</i>	$\gamma - \text{Fe}_2\text{O}_3$	380	590-675
<i>Goethite</i>	$\alpha - \text{FeOOH}$	~ 2	120
<i>Pyrrhotite</i>	Fe_7S_8	~ 80	320
<i>Greigite</i>	Fe_3S_4	~ 125	~ 330

(Sumber : Evan dan Heller, 2003)

1. *Magnetite*

Magnetite memiliki komposisi Fe_3O_4 , merupakan deret *titanomagnetite* ($\text{Fe}_{3-x}\text{Ti}_x\text{O}_4$) dengan indeks pada $x = 0$. *Magnetite* bersifat ferrimagnetik dengan temperatur Curie 580°C (lihat Tabel 1) dan magnetisasi $90 \text{ Am}^2/\text{kg}$ sampai $93 \text{ Am}^2/\text{kg}$ (Evans dan Heller, 2003). Warnanya mengkilat dengan permukaan kebiru-biruan. Sehingga magnetite (Fe_3O_4) muncul sebagai salah satu anggota akhir dari seluruh spektrum, ujung yang lain diwakili oleh *Ulvi mineral* $\sim \text{spinel}$.

2. Hematite

Hematite memiliki komposisi Fe_2O_3 , merupakan deret *titanomagnetik* ($\text{Fe}_{2-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$) yang nilai indeksnya pada $x = 0$. *Hematite* bersifat ferromagnetik dengan spontanitas magnetik $2.5 \text{ Am}^2/\text{kg}$ dan temperatur *Curie* 675°C (Evan dan Heller, 2003). Secara umum, *hematite* berbentuk massif, massanya berisi butir-butiran, permukaanya berwarna-warni dan warna batuan merah kecoklat-coklatan. *Hematite* mempunyai lapisan merah gelap, inilah yang membedakan *hematite* dengan *magnetite* dan meleleh bila dipanaskan dalam larutan asam hidroklorik dan berubah menjadi *magnetite*. Berdasarkan hal tersebut ditemukan bahwa besi dapat diganti dengan titanium menimbulkan padatan kedua solusi seri, *titanohematites* (Evan dan Heller, 2003).

3. Ilmenite

Ilmenite memiliki komposisi FeTiO_3 . *Ilmenite* merupakan paramagnetik pada temperatur diatas 60°K , dan jika dibawah 60°K *ilmenite* merupakan antiferromagnetik. Biasanya *ilmenite* berwarna kehitam-hitaman, kadang putih keabu-abuan. Menurut Dearing (1999), nilai suseptibilitas magnetik *ilmenite* berkisar $1.7-2 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$.

E. Diagram Ternary

Diagram Ternary merupakan hubungan tiga jenis oksida besi yang merupakan komposisi dari oksida FeTi . Pada diagram Ternary, ion Fe^{2+} berlaku ke kiri, ion Fe^{3+} ke kanan, yang menunjukkan bahwa tingkat oksidasi meningkat dari kiri ke kanan. Oksida FeTi membentuk tiga isomorfik seri (kondisi kesamaan

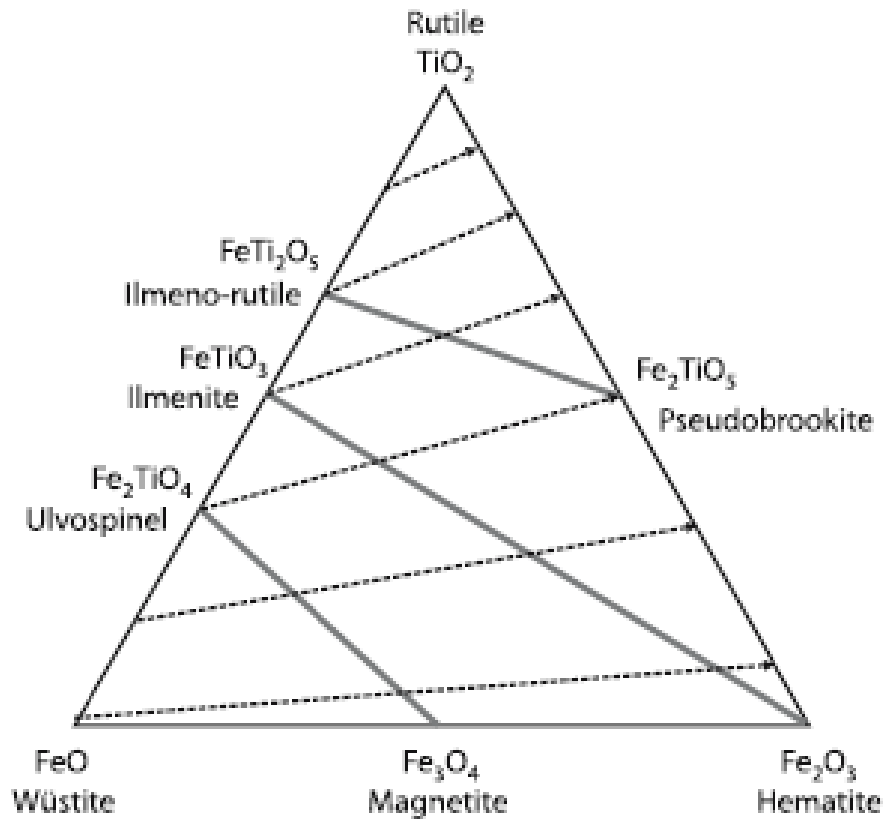
penafsiran pada perilaku yang sama) : *titanomagnetites*, *titanohematites*, dan *pseudobrookites* (paramagnetik). Pada umumnya, mineral dalam keadaan oksidasi lebih tinggi pada rumus teoritis, maka mereka bergeser ke kanan sepanjang garis putus-putus dari diagram.

Titanomagnetites adalah istilah *magnetite* padat (Fe_3O_4) - *ulvospinel* (Fe_2TiO_4). Rumus kimia *titanomagnetites* adalah $\text{Fe}_{3-x}\text{Ti}_x\text{O}_4$, mengkristal dalam sistem kubik dan strukturnya adalah *spinel*. Sel dasar berisi 32 O^{2-} anion dan 24 kation : 16 Fe^{3+} dan Fe^{2+} pada *magnetite*, 16 Fe^{2+} dan 8 Ti^{4+} pada *ulvospinel*. Kation didistribusikan dalam dua sub - kisi, yaitu A dan B, yang masing-masing memiliki 8 dan 16 kation per sel dasar. Dalam setiap sub-kisi momen magnetik elektron digabungkan paralel dengan kation, tetapi dua sub-kisi saling antiparalel. Akibatnya, *magnetite* adalah ferrimagnetik, karena sub-kisi B (8 Fe^{3+} kation + 8 Fe^{2+} kation) berlaku di sub-kisi A (8 Fe^{3+} kation), sedangkan *ulvospinel* adalah antiferromagnetik, karena kedua sub-kisi A dan B mengandung 8 Fe^{2+} kation.

Titanomaghemites adalah oksida yang ditandai dengan banyak kation, tetapi rumus kimianya adalah *titanohematites*. *Maghemite* ($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$) memiliki sifat magnetik yang mirip. *Titanomaghemites* yang metastabil, pada suhu tinggi mengalami ireversibel transformasi menjadi *titanohematites*, dengan penurunan drastis pada nilai-nilai mereka sifat magnetik.

Titanohematites adalah istilah dari hematit padat ($\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$) - *ilmenite* (FeTiO_3). Rumus kimia *titanohematites* adalah $\text{Fe}_{2-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$. *Titanohematites* mengkristal dalam sistem rhombohedral dan strukturnya adalah korundum. Pada gambar di atas, garis putus-putus menunjukkan derajat oksidasi meningkat. Pada

Fe^{2+} kation *ilmenite* adalah antiparalel dan maka pada suhu yang sangat rendah bersifat antiferromagnetik (Lanza, 2006).



Gambar 3. Diagram Ternary untuk TiO_2 - FeO - Fe_2O_3 (Lanza, 2006).

F. Sifat Magnetik Unsur

Menurut Achmad Hiskia (2001), 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, Hiskia mengelompokkan 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. Pada Tabel 2, dapat dilihat perbandingan momen magnetik menurut perhitungan dan eksperimen.

Tabel 2. Beberapa Harga Momen Magnetik Menurut Perhitungan dan Eksperimen

Ion	Jumlah elektron tidak berpasangan	Momen (BM) menurut perhitungan	Momen (BM) menurut hasil eksperimen
V^{4+}	1	1,73	1,7-1,8
Cu^{2+}	1	1,73	1,27-2,2
V^{3+}	2	2,83	2,6-2,8
Ni^{2+}	2	2,83	2,8-4,0
Cr^{+5}	3	3,87	~3,8
Co^{2+}	3	3,87	4,1-5,2
Fe^{2+}	4	4,90	5,1-5,5
Co^{3+}	4	4,90	~5,4
Mn^{2+}	5	5,92	~5,9
Fe^{3+}	5	5,92	~5,9

(Achmad Hiskia, 2001:149)

Momen magnetik dinyatakan dengan Bohr magneton (satu Bohr magneton = 9273 erg/gauss). Nilai momen magnetik dinyatakan dengan :

$$\mu = \sqrt{n(n + 2)}$$

dimana, μ adalah momen magnetik dalam bohr magneton dan n adalah jumlah elektron yang tidak berpasangan. Semakin banyak elektron yang tidak

berpasangan maka semakin besar momen magnetnya dan semakin besar pula sifat paramagnetiknya.

1. Logam Transisi

Salah satu sifat unsur transisi adalah banyak senyawanya bersifat paramagnetik. Sifat paramagnetik tersebut terdapat pada logam transisi periode ke-4 (lihat Gambar 4), 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. Menurut Achmad Hiskia (2001), unsur-unsur transisi atau logam transisi didefinisikan sebagai unsur yang atomnya mengandung sub-kulit *d* yang belum terisi penuh (d^{10}). Meskipun tembaga dan seng orbital *d* terisi penuh tetapi ion Cu^{2+} yang konfigurasi elektronnya $[\text{Ar}]3d^9$, tembaga dimasukkan juga kedalam unsur transisi.

Atom-atom dari unsur yang hanya memiliki satu elektron yang tidak berpasangan atau tidak ada elektron tidak berpasangan akan memiliki momen magnetik kecil atau tidak ada. 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. Senyawa logam juga memiliki momen besar karena elektron 4s dihapus pertama dalam ikatan ionik. Seperti besi, $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$, memiliki 26 elektron, kecuali 3d tidak diisi.

Golongan →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Periode ↓	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	1 H																	2 He	
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
4	19 K	20 Ca		21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr		39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	*	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	**	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Uuu	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo
* Lantanida			57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb			
** Aktinida			89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No			
Seri Kimia dari Tabel Periodik																			
Logam alkali			Alkali tanah		Lantanida			Aktinida		Logam transisi									
Logam			Metaloid		Non-logam			Halogen		Gas mulia									

Gambar 4. Tabel periode dan unsur logam transisi periode 4.

2. Unsur Besi (Fe)

Menurut Evan dan Heller (2003), besi merupakan unsur yang paling berlimpah keempat dalam kerak bumi. Pertama, oksigen (47 %), silikon (28 %), dan aluminium (8 %), lalu urutan keempat adalah besi (5 %). Bijih besi yang digunakan untuk produksi besi dan baja bergantung pada kandungan kadar fosfornya. Maka, bijih besi dapat dikelompokkan menjadi 2, yaitu bijih berkadar fosfor rendah, seperti : *hematite* merah (Fe_2O_3), *magnetit* (Fe_3O_4) dan bijih berkadar fosfor tinggi, seperti : *hematite* coklat, *siderite* (FeCO_3). Beberapa sifat fisika pada logam besi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Beberapa Sifat Fisika Logam Besi

Lambang	Fe
Nomor atom	26
Massa atom relatif	55,847
Konfigurasi elektron	3d ⁶ 4s ²
Jari-jari atom (nm)	0,116
Jari-jari ion M ³⁺ (nm)	0,064
Keelektronegatifan	1,67
Energi ionisasi pertama (kJ mol ⁻¹)	768
Kerapatan (g cm ⁻³)	7,87
Titik leleh (°C)	1535
Titik didih (°C)	2735
Bilangan oksidasi	2,3,6

(Achmad Hiskia, 1992:144).

G. Suseptibilitas Magnetik

Suseptibilitas pada dasarnya adalah pengukuran tentang bagaimana magnetisasi suatu bahan itu terjadi (Dearing, 1999). Suseptibilitas magnetik merupakan ukuran kuantitatif bahan untuk termagnetisasi pada saat ada medan magnet. Menurut Hunt (1991), Intensitas magnetisasi M adalah kuat medan magnetik yang diinduksikan oleh bahan magnetik karena adanya medan H . Intensitas magnetisasi M memiliki hubungan dengan medan magnet H melalui suatu konstanta kesebandingan (χ), yang dikenal sebagai suseptibilitas magnetik. Hubungan ditunjukkan oleh persamaan :

$$M = \chi H$$

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 (Dearing, 1999). Kerentanan magnetik tersebut berbeda masing-masing sifat kemagnetannya. Sehingga terdapat minera-mineral yang berbeda pula. Pada Tabel 4 dapat dilihat contoh mineral masing-masing sifat kemagnetannya. Namun, nilai suseptibilitas magnetik dari mineral-mineral tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 4. Sifat Magnetik dan Suseptibilitas Magnetik

Sifat Kemagnetan	Suseptibilitas Magnetik	Contoh Mineral
Ferromagnetik	Suseptibilitas positif yang kuat	Besi murni, nikel dan kobal
Ferrimagnetik	Suseptibilitas positif yang kuat	Beberapa oksida besi, seperti <i>Magnetite</i> dan <i>maghemite</i>
Antiferromagnetik	Suseptibilitas positif yang sedang	Beberapa oksida besi, seperti <i>hematite</i> dan <i>goethite</i>
Paramagnetik	Suseptibilitas positif yang lemah	Berbagai Fe yang memuat mineral-mineral dan garam-garam seperti <i>biotite</i> dan <i>olivine</i>
Diamagnetik	Suseptibilitas negatif yang lemah	Berbagai Fe yang memuat mineral-mineral dan garam-garam seperti <i>biotite</i> dan <i>olivine</i>

Tabel 5. Mineral-Mineral dan Nilai Suseptibilitas Magnetik

No.	Mineral/Material	Formula	Besi (%)	Suseptibilitas Magnetik Spesifik Massa ($10^{-6} \text{m}^3/\text{kg}$)
1.	Logam Ferromagnetik			
	Besi	αFe	100	276000
	Kobalt	Co		204000
	Nikel	Ni		68850
2.	Ferrimagnetik			
	<i>Magnetite</i>	Fe_3O_4	72	
	(0.012-0.069 μm)			513-1116
				500-1000
	(0.09-2000 μm)			596 ± 77
	(1-250 μm)			440-716
				390-580
	<i>Maghemite</i>	$\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$	70	410, 440
				286-371
	<i>Titanomagnetite</i>	$\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Fe}_2\text{TiO}_4$		169-290
	<i>Titanohematite</i>	$\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-FeTiO}_3$		281-315
	<i>Pyrrhotite</i>	Fe_7S_8		50, 53
	<i>Gerigite</i>	Fe_3S_4		
3	Golongan Antiferromagnetik			
	<i>Hematite</i>	$\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$	70	1.19-1.69
				0.58-0.78
				0.49-0.65
				0.27, 0.31, 0.6, <0.63
	<i>Goethite</i>	αFeOOH	63	0.35, 0.38, 0.7, <1.26
4	Paramagnetik (20°C)			
	<i>Ilmenite</i>	FeTiO_3	37	1.7, 2
	<i>Ulvospinel</i>	Fe_2TiO_4		
	<i>Olicine</i>	$4[(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4]$	<55	0.01-1.3
	<i>Siderite</i>	FeCO_3	48	1.0

No.	Mineral/Material	Formula	Besi (%)	Suseptibilitas Magnetik Spesifik Massa ($10^{-6} \text{m}^3/\text{kg}$)
	<i>Biotite</i>	Mg,Fe,Al silicate	31	0.05-0.95
	<i>Pyroxene</i>	(Mg,Fe) ₂ Si ₂ O ₆	<12	0.04-0.94
	<i>Chamosite</i>	oxidised chlorite		0.9
	<i>Nontronite</i>	Fe-rich clay		0.863
	<i>Amphibole</i>	Mg,Fe,Al silicate		0.16-0.69
	<i>Epidote</i>	Ca,Fe,Al silicate	31	0.25-0.31
	<i>Pyrite</i>	FeS ₂	47	0.3
	<i>Lepidocrocite</i>	γFeOOH	63	0.5-0.75, 0.69
	<i>Prochlorite</i>	mica-like mineral		0.157
	<i>Vermiculite</i>	complex silicate		0.152
	<i>Illite</i>	$\text{KAl}_4(\text{Si},\text{Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4$		0.15
	<i>Bentonite</i>	complex silicate		0.058
	<i>Smectite</i>	complex silicate		0.05, 0.027
	<i>Chalcopyrite</i>	CuFeS ₂	30	0.03
	<i>Attapulgite</i>	complex silicate		0.02
	<i>Dolomite</i>	CaMg(CO ₃) ₂		0.011
5	Diamagnetik			
	<i>Calcite</i>	CaCO ₃		-0.0048
	<i>Alkali-feldspar</i>	Ca,Na,K,Al silicate		-0.005
	Plastik			-0.005
	<i>Quartz</i>	SiO ₂		-0.0058
	Bahan Organik			-0.009
	Air	H ₂ O		-0.009
	<i>Halite</i>	NaCl		-0.009
	<i>Kaolinite</i>	Al ₄ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₈		-0.0019

(Sumber : Dearing, 1999)

H. Suseptibilitas Magnetik sebagai Indikator Polusi

Polusi memiliki kaitan dengan nilai suseptibilitas magnetik. Berdasarkan nilai suseptibilitas magnetik dapat ditentukan kategori tingkatan polusinya. Menurut Evan dan Heller (2003), ada 3 kategori tingkatan polusi, yaitu kategori polusi tercemar rendah, kategori polusi tercemar sedang, dan kategori polusi

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

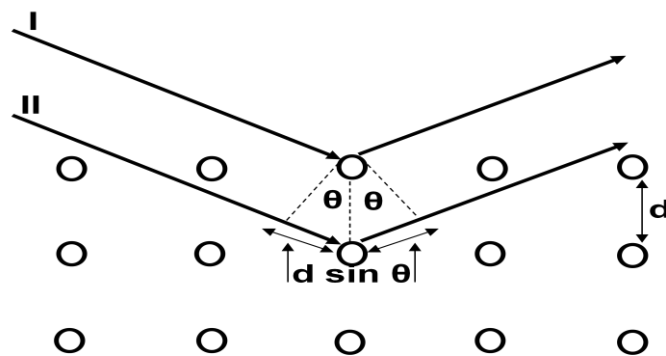
Berdasarkan kategori tingkatan polusi di atas, semakin rendah nilai suseptibilitas magnetik maka semakin rendah tingkat pencemaran udara di daerah tersebut, sebaliknya semakin tinggi nilai suseptibilitas magnetik maka semakin tinggi pula tingkat pencemaran udara di daerah tersebut.

I. Sinar-X

Sinar-X ditemukan oleh Roentgen pada tahun 1895 pada saat ketika sedang bekerja menggunakan tabung-tabung Geiger. Suatu garam barium yang dekat dengan tabung tersebut berfosforisensi (pencahayan yang terjadi saat setelah material fosfor dikenai radiasi). Roentgen berkesimpulan bahwa fosforisensi

disebabkan oleh suatu sinar tak tampak yang dipancarkan oleh anoda tabung Geiger. Sifat-sifat sinar tak tampak inilah yang kemudian dinamakan sinar-X (Dadan, 2003).

Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang sekitar 1 Angstrom. 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 5. Difraksi sinar-X melalui kisi kristal (Dadan, 2003).

Andaikan sinar-X datang dengan sudut θ terhadap deretan atom seperti yang terlihat pada Gambar 5 di atas, beda panjang lintasan antara sinar I dan II adalah :

$$2d \sin \theta$$

Menurut Dadan (2003), interferensi terjadi apabila beda panjang lintasan tersebut sama dengan kelipatan bulat dari panjang gelombang sinar-X. Interferensi maksimum terjadi bila :

$$n \lambda = 2d \sin \theta$$

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 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.

J. X-Ray Fluorescence (XRF)

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. Sampel pengukuran biasanya berupa serbuk hasil penggilingan atau pengepressan menjadi bentuk film. Alat ini terdiri dari tabung pembangkit sinar-X yang mampu mengeluarkan elektron dari semua jenis unsur yang sedang diteliti.

1. Prinsip kerja XRF

Prinsip kerja XRF *spectrometer* adalah sinar-X primer yang berasal dari sumber pengekstasi ditembakkan terhadap sampel (pada alat ini menggunakan sinar-X dari tabung pembangkit sinar-X untuk mengeluarkan elektron dari kulit bagian dalam). Pancaran radiasi sinar-X akan berinteraksi dengan sampel dalam proses efek fotolistrik. Proses interaksi tersebut akan

menghasilkan sinar-X sekunder (sinar-X baru) dari sampel, yang ditangkap oleh detektor kemudian dianalisis. Jika energi sinar tersebut lebih tinggi dari energi ikatan elektron dalam kulit K, L atau M dari atom target maka akan menyebabkan elektron tersebut keluar dari orbitnya sehingga terjadi kekosongan elektron. Lalu kekosongan elektron ini diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar dengan diikuti adanya pelepasan energi yang berupa sinar-X. Sinar-X tersebut mempunyai spektrum sinambung dan spektrum berenergi tertentu sesuai dengan perpindahan elektron yang terjadi dalam atom yang bersangkutan. Energi sinar-X sampel yang terukur dipakai sebagai dasar analisis kuantitatif (Sukirno dkk, 2009).

Cara analisis pada *XRF spectrometer* berdasarkan pengukuran intensitas sinar-X suatu unsur di dalam sampel, yaitu sinar-X yang dihasilkan oleh elektron dari kulit bagian dalam suatu atom pada sampel analit tersebut dengan panjang gelombang karakteristik dari setiap atom di dalam sampel. Setiap atom, intensitas dari sinar-X karakteristik sebanding dengan jumlah (konsentrasi) atom dari dalam sampel. Intensitas sinar-X karakteristik untuk setiap unsur ditentukan dengan cara merotasikan kristal dan detektor pada sudut θ yang dibutuhkan untuk mendifraksikan panjang gelombang karakteristik tersebut. Intensitas sinar-X karakteristik dari setiap sampel yang diukur dapat dibandingkan dengan intensitas unsur pada standar yang diketahui konsentrasinya. Dengan demikian, konsentrasi unsur dalam sampel bisa ditentukan.

2. Jenis-jenis XRF

Berdasarkan cara analisisnya, metode XRF terdapat dua jenis *spectrometer*, yaitu *Wavelength-dispersive X-ray Fluorescence* (WDXRF) dan *Energy-dispersive X-ray Fluorescence* (EDXRF).

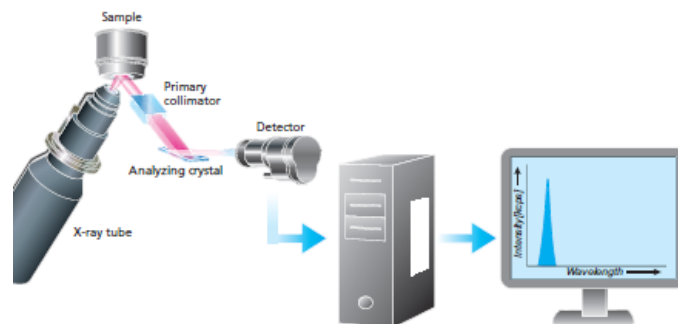
a. *Wavelength-dispersive X-ray Fluorescence* (WDXRF)

Pada WDXRF, dispersi sinar-X didapat dari difraksi dengan menggunakan *analyzer* berupa kristal yang berperan sebagai grid. Kisi kristal yang spesifik memilih panjang gelombang yang sesuai dengan hukum Bragg, yang akan terukur oleh detektor (Brouwer, 2010).

Menurut Brouwer (2010), pada WDXRF *spectrometer* ini aplikasinya luas dan beragam. Kondisi pengukuran yang optimal dari tiap elemen dapat diprogram. WDXRF *spectrometer* sangat bagus untuk menganalisa elemen berat. Rentangan elemen WDXRF mulai dari Beryllium ke Uranium (Be ke U). *Spectrometer* ini memiliki sensitivitas yang sangat tinggi dan limit deteksi yang sangat rendah.

Prinsip kerja WDXRF diawali dengan radiasi sinar-X mengenai sampel dan mengemisikan radiasi ke segala arah (lihat Gambar 6). Radiasi dengan arah yang spesifik dapat mencapai colimator. Sehingga refleksi 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). Maka hanya panjang gelombang yang sesuai akan terukur oleh detektor. Sudut refleksi spesifik bergantung pada panjang gelombang, untuk pengukuran elemen

yang berbeda, maka perlu dilakukan pengaturan posisi colimator, kristal serta detektor (Gosseau,2009).



Gambar 6. Prinsip Kerja WDXRF (Brouwer, 2010).

b. *Energy-dispersive X-ray Fluorescence (EDXRF)*

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* bekerja tanpa menggunakan kristal, namun menggunakan software yang mengatur seluruh radiasi dari sampel kedetektor (Brouwer, 2010). Pada gambar 6, dapat dilihat prinsip kerja EDXRF, yaitu sinar-X yang mengenai sampel, radiasi emisinya akan langsung ditangkap oleh detektor. Detektor menangkap foton-foton tersebut dan dikonversikan menjadi impuls elektrik. Amplitudo dari impuls elektrik tersebut bersesuaian dengan energi dari foton-foton yang diterima detektor. Impuls kemudian menuju sebuah perangkat yang dinamakan MCA (*Multi-Channel Analyzer*) yang akan memproses impuls

tersebut. Sehingga impuls akan terbaca dalam memori komputer sebagai channel. *Channel* tersebut yang akan memberikan nilai terhadap sampel yang dianalisa.



Gambar 7. Prinsip Kerja EDXRF (Brouwer, 2010).

Tabel 6. Perbedaan EDXRF dan WDXRF *spectrometer*

	EDXRF	WDXRF
Berbagai unsur	Na..U(Sodium..Uranium)	Be..U(Beryllium..Uranium)
Batas deteksi	Kurang optimal untuk elemen cahaya Baik untuk elemen berat	Baik untuk Be dan semua elemen yang lebih berat
Kepekaan	Kurang optimal untuk elemen cahaya Baik untuk elemen berat	Masuk akal untuk unsur cahaya Baik untuk elemen berat
Resolusi	Kurang optimal untuk elemen cahaya Baik untuk elemen berat	Baik untuk elemen cahaya Kurang optimal untuk elemen berat
Biaya	Relatif murah	Relatif mahal
Konsumsi daya	5..1000 w	200..4000 w
Pengukuran	Serentak	Sequential / simultan
Perpindahan Kritis	Tidak	Kristal, goniometer

(Sumber: Brouwer, 2010)

3. Kelebihan dan kekurangan XRF

Berikut adalah beberapa kelebihan dari XRF :

- Cukup mudah, murah dan analisisnya cepat.
- Jangkauan elemen hasil analisa akurat.
- Membutuhkan sedikit sampel pada tahap preparasinya (untuk *Trace* elemen).
- Dapat digunakan untuk analisa elemen mayor (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P) maupun *trace* elemen (>1 ppm; Ba, Ce, Co, Cr, Cu, Ga, La, Nb, Ni, Rb, Sc, Sr, Rh, U, V, Y, Zr, Zn).

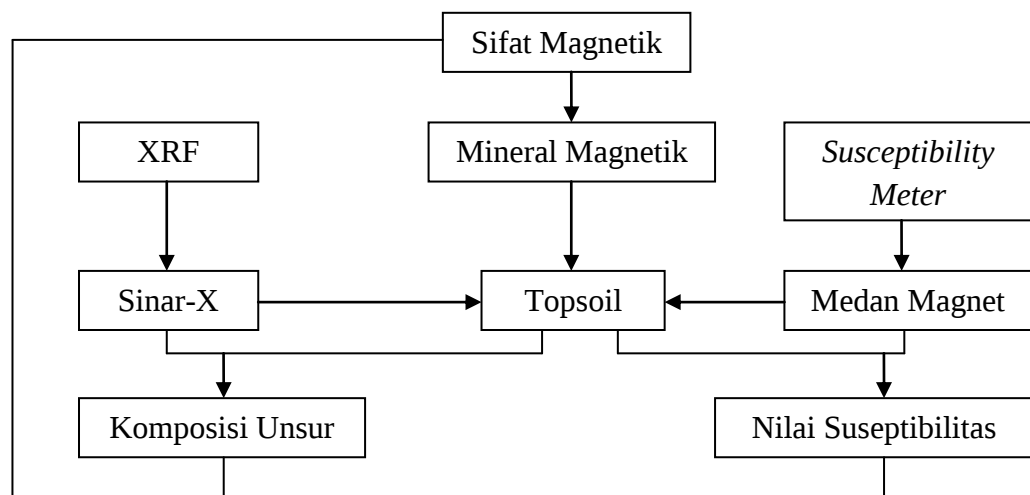
Beberapa kekurangan dari XRF :

- Tidak cocok untuk analisa element yang ringan seperti H dan He.
- Analisa sampel cair membutuhkan Volume gas helium yang cukup besar.
- Preparasi sampel biasanya membutuhkan waktu yang cukup lama dan membutuhkan perlakuan yang banyak.

K. Kerangka Berpikir Penelitian

Kebanyakan hasil proses industri menghasilkan partikel-partikel yang bertebangan di udara dalam bentuk debu dan abu terbang. Partikel-partikel tersebut sebagian bergerak di udara mengikuti aliran udara dan sebagian yang dekat dengan permukaan akan mengendap pada tumbuhan, menempel pada bangunan, dan ada yang langsung jatuh ke tanah permukaan (topsoil). Topsoil diambil dan dijadikan untuk sampel penelitian. Sampel topsoil dilakukan

pengukuran sifat magnetik menggunakan *magnetic suseptibilitimeter* untuk memperoleh nilai suseptibilitas magnetik masing-masing sampel. Diketahui sampel topsoil mengandung mineral magnetik. Partikel-partikel pada topsoil mengandung polutan berbentuk mineral magnetik yang tergolong jenis mineral sulfida besi dan titanium sulfida besi. Selain mineral magnetik, topsoil juga mengandung mineral-mineral lain dengan komposisi tertentu. Lalu dilakukan pengukuran komposisi unsur menggunakan *XRF spectrometer*. Setelah diperoleh nilai komposisi unsur, dilakukan analisis komposisi unsur Fe terhadap nilai suseptibilitas magnetik.



Gambar 8. Kerangka Berfikir Penelitian.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pengukuran nilai suseptibilitas 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 suseptibilitas magnetik $4135.9 \text{ (} \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg} \text{)}$ dengan persentase berat 15.977%. Sedangkan persentase Fe terendah terdapat di lokasi Kecamatan Pauh pada nilai suseptibilitas 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 suseptibilitas magnetik masing-masing sampel tidaklah sebanding. Tinggi rendahnya nilai suseptibilitas 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.

B. Saran

1. 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 suseptibilitas magnetik tersebut.
2. Pada pengukuran nilai suseptibilitas magnetik Low Field (χ_{lf}) pada sampel yang akan diuji komposisi unsur besinya sebaiknya dilakukan juga pengukuran menggunakan suseptibilitas High Field (χ_{hf}). Agar diketahui perbedaan mengenai kaitan komposisi unsur terhadap nilai suseptibilitas magnetik menggunakan Low Field (χ_{lf}) dan High Field (χ_{hf}).

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, Hiskia. 1992. *Struktur Atom Struktur Molekul Sistem Periodik*. Bandung: PT. Citra Aditya Bakti.
- Achmad, Hiskia. 2001. *Kimia Unsur dan Radio Kimia*. Bandung: PT. Citra Aditya Bakti.
- Bijaksana, S., & Estevanis K. H. (2007). *Identifikasi Mineral Magnetik pada Lindi (Leachate)*. Jurnal geofisika Jurusan Fisika, Universitas Sriwijaya.
- Brouwer, P. 2006. *Theory of XRF*. PANalytical BV: The Netherlands.
- Butler, R. F. 1998. *Paleomagnetism Magnetic Domains to Geologic Teranes*. Boston: Blackwell Scientific Publications.
- Dadan Rosana, dkk. 2003. *Konsep Dasar Fisika Modern*. Yogyakarta. JICA IMSTEP.
- Dearing, J. 1999. *Environmental Magnetic Susceptibility: Using the Bartington MS2 System*. British Library Cataloguing in Publication Data.
- Dunlop, D., & O. Ozdemir. 1997. *Rock Magnetism*. USA: Fundamentals and frontiers. Cambridge Universitas Press.
- Evan, M. E., & F. Heller. 2003. *Environment Magnetism Principles and Application of Enviromagnetics*. California: Academic Presses.
- 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).
- Hunt, Christoper. P. 1991. *Environmental Magnetism Workshop*. University of Minnesota.
- Istiyono, Edi. 2009. *Analisis Sifat Magnetik Bahan Yang Mengalami Proses Annealing Dan Quenching*. Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta (16 Mei 2009 F311).
- Lanza, R & Antonio, M. 2006. *The Earth's Magnetism An Introduction for Geologists*. Jerman : Verlag Berlin Heidelberg
- McMurry, J. E., & Fay, C. F. 2012. *Chemisstry 6th Edition*. USA: Pearson Prentice Hall.

- Oktova, R., & Okimustava. 2009. *Penentuan Suhu Curie Besi Dengan Metode Kawat Berarus Listrik*. Seminar Fisika dan Aplikasinya 2009 (Surabaya, 3 Nopember 2009).
- Strzyszcz, Z., T. Magiera, and F. Heller. 1996. The influence of industrial emissions on the magnetic susceptibility of soils in Upper Silesia. *Studia Geophysica et Geodetica* 40, 276-286.
- Schiavon, N., and L. P. Zhou. 1996. Magnetic, chemical and microscopical characterization of urban soiling on historical monuments. *Environmental Science and Technology* 30, 3624-3629.
- 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).
- Tarling, D. H., & Hrouda, F. 1993. *The Magnetic Anisotropy of Rocks*. London: Chapman and Hall.