# IDENTIFIKASI MINERAL MAGNETIK MENGGUNAKAN METODA *X-RAY DIFRACTION* (XRD) TERHADAP POLUSI DI KOTA PADANG

**SKRIPSI**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Sains*


**CATUR KRISNA GOBAH**

**12784/2009**

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

**2015**

PERSETUJUAN SKRIPSI

| | | |
|---|---|---|
| Judul | : | **Identifikasi Mineral Magnetik Menggunakan Metoda *X-Ray Difraction* (XRD) Terhadap Polusi Di Kota Padang** |
| Nama | : | Catur Krisna Gobah |
| NIM | : | 12784 |
| Program Studi | : | Fisika |
| Jurusan | : | Fisika |
| Fakultas | : | Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam |

Padang, 30 Juli 2015

Disetujui oleh :

| Pembimbing I | Pembimbing II |
|---|---|
| Drs. Mahrizal, M.Si. | Harman Amir S.Si, M.Si. |
| NIP. 19510512 197603 1 005 | NIP. 19701003 199903 1 003 |

PENGESAHAN LULUSAN UJIAN SKRIPSI

Nama : Catur Krisna Gobah

NIM : 12784

Program Studi : Fisika

Jurusan Fisika : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

dengan judul

IDENTIFIKASI MINERAL MAGNETIK MENGGUNAKAN METODA *X-RAY DIFRACTION* (XRD) TERHADAP POLUSI DI KOTA PADANG

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan tim penguji Skripsi
Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, 5 Agustus 2015

Tim Penguji

| | Nama | Tanda Tangan |
|---|---|---|
| Ketua | : Drs. Mahrizal, M.Si. | |
| Sekretaris | : Harman Amir, S.Si, M.Si. | |
| Anggota | : Drs. H. Asrul, M.A. | |
| Anggota | : Syafriani, S.Si, M.Si, Ph.D. | |
| Anggota | : Dra. Hidayati, M.Si. | |

# ABSTRAK

**Catur Krisna Gobah : Identifikasi Mineral Magnetik Menggunakan Metoda *X-Ray Diffraction* (XRD) Terhadap Polusi Di Kota Padang.**

Banyak proses industri seperti produksi baja dan semen menghasilkan material partikulat debu dan abu terbang (*fly ash*). Partikel tersebut mengandung polutan berbentuk mineral magnetik yang tergolong jenis mineral sulfida besi dan titanium sulfida besi. Proses industri itu sendiri menggunakan batubara sebagai sumber energi dalam kegiatannya. 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. Partikel besi yang dihasilkan akan berubah dan kemudian teroksidasi menjadi *magnetite* ($Fe_3O_4$). Pada penelitian ini dilakukan pengukuran nilai suseptibilitas magnetik dan Jenis Mineral Magnetik Pada Polusi.

Sampel pada penelitian ini adalah topsoil. Pengukuran nilai suseptibilitas magnetik sampel topsoil dilakukan dengan menggunakan *magnetic susceptibilitymeter*. Lalu dilakukan identifikasi mineral magnetik sebanyak sepuluh sampel dengan menggunakan *X-Ray Diffractometer* (XRD). Data hasil pengukuran diplot ke dalam bentuk grafik untuk mengetahui jenis mineral magnetik pada sampel. Sedangkan dari hasil pengukuran *magnetic susceptibilitymeter* nilai suseptibilitas magnetik dapat menginformasikan tingkatan polusinya berdasarkan nilai kerentanan magnetiknya.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa mineral magnetik yang terkandung pada polusi dikota Padang sebagian besar adalah *magnetite* ($Fe_3O_4$) memang ada yang mengandung mineral magnetik lain yaitu *hematite* ($Fe_2O_3$) tetapi hanya satu sampel yang mengandung mineral magnetik tersebut yaitu pada sampel KTT 06 yang mana sampel ini diambil didaerah Lubuk Buaya Kecamatan Koto Tangah.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT atas karunia dan rahmat yang dilimpahkan sebagai peneguh hati, petunjuk untuk segala solusi hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Identifikasi Mineral Magnetik Menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) Terhadap Polusi Di Kota Padang". 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. Drs. Mahrizal, M.Si. sebagai pembimbing I yang telah banyak meluangkan waktu, fikiran, saran dan tenaga serta kesabaran untuk membimbing penulis dalam kegiatan penelitian dan penulisan skripsi ini.
2. Harman Amir, M.Si. sebagai pembimbing II yang telah banyak memberikan bantuan, bimbingan dan saran serta kesabaran sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Drs. H. Asrul, M.A, Dra. Hidayati, M.Si, dan Syafriani, M.Si, Ph.D. selaku penguji pada skripsi ini.

4. Dra. Hidayati, M.Si. sebagai penasehat akademik yang telah banyak memberikan masukan dan motivasi kepada penulis.
5. Kedua orang tua dan saudara atas motivasi, pengertian, pengorbanan, kepercayaan, serta doa tulus yang mengalir untuk penulis, sehingga penulis sampai pada tahap penyelesaian.
6. 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 2015

Penulis

## DAFTAR ISI


ABSTRAK ..... i
KATA PENGANTAR ..... ii
DAFTAR ISI ..... iv
DAFTAR TABEL ..... vi
DAFTAR GAMBAR ..... viii
DAFTAR LAMPIRAN ..... x
BAB I PENDAHULUAN
A. Latar Belakang Masalah ..... 1
B. Rumusan Masalah ..... 4
C. Batasan Masalah ..... 4
D. Pertanyaan Penelitian ..... 4
E. Tujuan Penelitian ..... 4
F. Manfaat Penelitian ..... 5
BAB II KAJIAN TEORI
A. Pencemaran ..... 6
B. Kemagnetan Bahan ..... 10
1. Diamagnetik ..... 11
2. Paramagnetik ..... 12
3. Ferromagnetik ..... 13
C. Mineral Magnetik ..... 14
1. *Magnetite* ..... 14
2. *Hematite* ..... 15
3. *Ilmenite* ..... 15
D. Diagram Ternary ..... 15
E. Suseptibilitas Magnetik ..... 17
F. Mineral Magnetik sebagai Indikator Polusi ..... 21
G. *X-Ray Diffractometer* (XRD) ..... 22
H. Kerangka Berpikir Penelitian ..... 29

BAB III METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian ..... 31
B. Tempat dan Waktu Penelitian ..... 31
C. Deskripsi Sampel ..... 31
D. Instrumen Penelitian ..... 33
1. *Magnetic Susceptibilitymeter* ..... 33
2. *X-Ray Diffractometer* (XRD) ..... 35
E. Rancangan Penelitian ..... 36
1. Pengambilan Sampel ..... 36
2. Prosedur Persiapan Sampel ..... 37
3. Penimbangan Massa Sampel ..... 37
F. Teknik Pengumpulan Data ..... 38
1. Pengukuran Nilai Suseptibilitas Magnetik ..... 38
2. Identifikasi Jenis Mineral Magnetik ..... 39
G. Teknik Analisa Data ..... 40

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian ..... 42
1. Hasil Pengukuran Suseptibilitas Magnetik ..... 42
2. Hasil Pengukuran Dengan XRD ..... 50
B. Pembahasan ..... 69

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan ..... 81
B. Saran ..... 82

DAFTAR PUSTAKA ..... 83

## DAFTAR TABEL

Tabel Halaman


1. Jenis Mineral dan Temperatur Curie ..... 11
2. Sifat Magnetik dan Suseptibilitas Magnetik ..... 15
3. Mineral-Mineral dan Nilai Suseptibilitas Magnetik ..... 16
4. Tingkatan Polusi Berdasakan Nilai Susseptibilitas ..... 36
5. Jumlah Sampel Topsoil pada Setiap Kecamatan di Kota Padang ..... 38
6. Hasil Pengukuran Suseptibiltas Magnetik Sampel Topsoil Site Kecamatan Koto Tangah ..... 39
7. Hasil Pengukuran Suseptibilitas Magnetik Sampel Topsoil Site Kecamatan Kuranji ..... 40
8. Hasil Pengukuran Suseptibilitas Magnetik Sampel Topsoil Site Kecamatan Pauh ..... 41
9. Hasil Pengukuran Suseptibilitas Magnetik Sampel Topsoil Site Kecamatan Padang barat ..... 42
10. Hasil Pengukuran Suseptibilitas Magnetik Sampel Topsoil Site Kecamatan Padang Selatan ..... 43
11. Hasil Pengukuran Suseptibilitas Magnetik Sampel Topsoil Site Kecamatan Lubuk Begalung ..... 43
12. Hasil Pengukuran Suseptibilitas Magnetik Sampel Topsoil Site Kecamatan Padang Timur ..... 44
13. Hasil Pengukuran Suseptibilitas Magnetik Sampel Topsoil Site Kecamatan Padang Utara ..... 45
14. Nama sampel pengukuran dengan XRD ..... 47
15. Hasil pengukuran XRD sampel KUT 02 ..... 48
16. Hasil pengukuran XRD sampel KTT 06 ..... 50
17. Hasil pengukuran XRD sampel LBT 02 ..... 51
18. Hasil pengukuran XRD sampel PUT 12 ..... 53
19. Hasil pengukuran XRD sampel PUT 09 ..... 55
20. Hasil pengukuran XRD sampel PTT 03 ..... 57
21. Hasil pengukuran XRD sampel PAT 05 ..... 58
22. Hasil pengukuran XRD sampel PST 04 ..... 60
23. Hasil pengukuran XRD sampel PBT 05 ..... 62
24. Hasil pengukuran XRD sampel PBT 06 ..... 64

## DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman


1. a) Grafik magnetisasi (M) terhadap medan magnet (H) yang diberikan dan ($\chi$<0). (b) Suseptibilitas ($\chi$) tidak tergantung pada temperatur (T) untuk bahan diamagnetik ..... 8
2. (a) Grafik magnetisasi (M) terhadap medan megnet (H) yang diberikan dan ($\chi$>0). (b) Suseptibilitas ($\chi$) tergantung pada temperatur (T) untuk bahan paramagnetik ..... 9
3. Diagram *Ternary* untuk $TiO_2$-FeO-$Fe_2O_3$ ..... 14
4. Skema Tabung sinar-X ..... 20
5. Skema Difraksi Bidang Kisi ..... 23
6. Kerangka Berfikir Penelitian ..... 27
7. Peta lokasi pengambilan sampel topsoil ..... 29
8. Tampilan panel MS2 Meter ..... 30
9. *Magnetik Susceptibilitymeter (Bartington Susceptibilitymeter type MS2)* ..... 30
10. Geometri *X-Ray Diffraction* ..... 32
11. Sampel topsoil yang siap untuk diukur ..... 34
12. Neraca elektrik digital ..... 35
13. Plot grafik data pada sampel KUT 02 setelah diolah dengan *software hight score plus* ..... 49
14. Plot grafik data pada sampel KTT 06 setelah diolah dengan *software hight score plus* ..... 50
15. Plot grafik data pada sampel LBT 06 setelah diolah dengan *software hight score plus* ..... 52
16. Plot grafik data pada sampel PUT 12 setelah diolah dengan *software hight score plus* ..... 54
17. Plot grafik data pada sampel PUT 09 setelah diolah dengan *software hight score plus* ..... 56
18. Plot grafik data pada sampel PTT 03 setelah diolah dengan *software hight score plus* ..... 58
19. Plot grafik data pada sampel PAT 05 setelah diolah dengan *software hight score plus* ..... 59
20. Plot grafik data pada sampel PST 04 setelah diolah dengan *software hight score plus* ..... 61

21. Plot grafik data pada sampel PBT 05 setelah diolah dengan *software hight score plus* ..... 63
22. Plot grafik data pada sampel PBT 06 setelah diolah dengan *software hight score plus* ..... 65

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Halaman


1. Data Koordinat Pengambilan Sampel ..... 85
2. Peta Titik Pengambilan Sampel ..... 87
3 Kategori Polusi Pada Setiap Titik Lokasi Pengambilan ..... 95
4. Kandungan Mineral Beserta Rumus Kimia Mineral Kandungan ..... 97

# BAB I
# PENDAHULUAN

## A. Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan salah satu negara yang sedang berkembang, hal ini di tandai dari kemajuan kota-kota besarnya. Kemajuan kota yang dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti berkembangnya transportasi, berkembangnya industri atau pertambangan, dan lain-lain. 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 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.

Banyak proses industri seperti produksi baja dan semen menghasilkan partikel-partikel yang berbentuk debu dan abu terbang (*fly ash).* Partikel tersebut mengandung polutan berbentuk mineral magnetik. Proses industri menggunakan pembakaran batubara sebagai sumber energi. Pada dasarnya batubara tersebut

bukanlah mineral magnetik. Batubara tersebut menggandung *pyrite* ($FeS_2$). *Pyrite* ($FeS_2$) tersebut akan berubah menjadi *pyrrhotite* ( $Fe_7S_8$) dan gas sulfur pada saat batubara dibakar. Pada suhu di atas sekitar 1350 K, *pyrrhotite* ($Fe_7S_8$) akan terurai menjadi sulfur dan besi. Partikel besi yang dihasilkan kemudian akan teroksidasi menjadi mineral magnetik *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). Flanders (1999) dalam Evans (2003) mengkalkulasikan pada U.S *power station*, pemabakaran batubara sebanyak 830 juta ton mengahasilkan mineral *magnetite* ± 1,5 ng/$cm^2$/hari (±5 mg/$m^2$/tahun).

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.

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. Data dari Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Daerah (Bapeldalda) Padang ada sebelas pabrik besar yang bergerak di pengolahan bahan baku,yang mempengaruhi pencemaran udara di Kota Padang. Pabrik pengolahan karet, sawit dan semen. Dari sebelas pabrik itu, yang paling berpotensial ada enam pabrik. Satu pabrik pengolahan semen dan lima pabrik karet. Penggerak roda industri itu membuat udara tak bersih. Jika lebih diperinci lima pabrik karet tersebut hanya mencemari lingkungan sebatas bau tak sedap. Sementara itu pabrik pengolahan semen berdampak sangat besar. 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 tanah langsung jatuh ke tanah permukaan yang disebut dengan topsoil.

Mineral magnetik merupakan polutan yang dapat membahayakan manusia dan lingkungan apabila tingkatannya sudah termasuk tinggi. Tingkatan polusi tersebut bisa diketahui melalui metoda suseptibilitas magnetik sedangkan jenis dari mineral magnetik yang terkandung dalam polutan dapat diketahui menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD). Pada penelitian ini akan dilakukan pengukuran nilai medan magnetik dan nilai intensitas untuk mengetahui Jenis mineral magnetik sehingga penelitian ini diberi judul “Identifikasi Mineral

Magnetik Menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) Terhadap Polusi Di Kota Padang".

## B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah di uraikan, maka dapat dirumuskan masalah dari penelitian ini yaitu bagaimana mengidentifikasi mineral magnetik yang terkandung dalam polusi yang diperoleh dari beberapa titik lokasi di kota Padang menggunakan metode X-Ray Difraction (XRD).

## C. Batasan Masalah

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

1. Lokasi pengambilan sampel yaitu di beberapa titik lokasi dalam kecamatan-kecamatan yang terdapat di Kota Padang.
2. Sampel topsoil Kota Padang dibagi menjadi 3 golongan yaitu suseptibilitas tinggi, suseptibilitas sedang, dan suseptibilitas rendah.

## D. Pertanyaan Penelitian

Adapun pertanyaan dalam penelitian ini adalah bagaimana mendapatkan identifikasi mineral magnetik yang terkandung dalam polusi yang diperoleh dari beberapa titik lokasi di kota Padang dengan menggunakan metode X-Ray Difraction (XRD)?

## E. Tujuan Penelitian

Adapun penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menentukan tingkat polusi akibat kegiatan industri di Kota Padang.

2. Mengidentifikasi mineral magnetik yang terkandung pada topsoil dibeberapa titik lokasi di kota Padang.

## F. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yaitu :

1. Dapat memberikan informasi bagi pemerintah dan masyarakat daerah setempat tentang polusi dan sebagai pedoman untuk menindak lanjuti masalah ini.
2. Aplikasi ilmu Fisika khususnya pada bidang Geofisika, dan ilmu pengetahuan pada umumnya.
3. Sebagai acuan/referensi bagi peneliti lain dalam melakukan penelitian lanjutan yang relevan.
4. Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di jurusan Fisika FMIPA UNP.

# BAB II

# TINJAUAN PUSTAKA

## A. Pencemaran

Manusia melakukan berbagai kegiatan untuk memenuhi kebutuhan hidupnya untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia mengembangkan pertanian, membuat pabrik pengolah hasil pertanian, bidang industri, sarana transportasi, dan lain – lain. Berbagai kegiatan untuk memenuhi kebutuhan hidup tersebut, pada akhirnya akan dihasilkan zat sisa berupa limbah. Hal ini terjadi karena setiap aktivitas yang dilakukan manusia pada dasarnya mengubah energi dari saut bentuk ke bentuk lainnya. Setiap proses tersebut tidak sepenuhnya mampu dirubah, melainkan akan membentuk zat sisa yang disebut entropi yang berupa limbah atau sampah.

Contoh sederhana sebuah entropi adalah ketika manusia makan, yang mana makan tersebut mengubah makanan menjadi energi tetapi tidak sepenuhnya makanan yang dimakan tersebut dirubah menjadi energi, melainkan ada sisa berupa kotoran atau tinja. Begitu pula dengan kegiatan industri, tidak semua bahan mentah mampu diubah menjadi produk industri melainkan akan menghasilkan limbah atau sampah. Limbah yang dihasilkan dibuang ke bagian alam baik itu atmosfer, litosfer, maupun hidrosfer dan akan menurunkan kualitas lingkungan jika tidak dikelola dengan baik.

Pencemaran adalah masuknya atau tercampurnya unsur-unsur berbahaya ke alam biosfer baik itu atmosfer, litosfer, maupun hidrosfer yang dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan lingkungan dan gangguan pada

kesehatan manusia serta menurunkan kualitas lingkungan. Gangguan fisik seperti panas dan gangguan pada kesehatan manusia yaitu timbulnya penyakit leukemia, kanker dan alergi. (Satriyo. 2008:862). Menurut Undang – Undang Lingkungan Hidup No 32 tahun 2009 adalah masuk atau dimasukannya makhluk hidup, zat, energi, atau komponen lain kedalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia, sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan.

## B. Jenis – Jenis Pencemaran

Sisa buangan hasil kegiatan manusia ada yang dibuang ke udara, kepermukaan tanah, dan wilayah –wilayah perairan. Karena itu pencemaran dibagi menjadi 3 jenis, yaitu :

1. Pencemaran air

Manusia membutuhkan air dalam kegiatan sehari – hari. Semakin bertambah populasi manusia semakin bertambah pula skebutuhan manusia akan air. Pada sisi lain, keberadaan air dilihat dari jumlah dan kualitasnya semakin menurun. Bahkan, banyak daerah perkotaan dan pedesaan mengalami krisis air bersih.

Semua limbah yang dihasilkan manusia masuk kedaerah aliran sungai dan air tanah. Akibatnya air mengalami perubahan dari kualitas normalnya yang biasa disebut dengan pencemaran. Dengan demikian, pencemaran air merupakan pencemaran tubuh – tubuh air seperti sungai, danau, air tanah, dan laut disebabkan oleh kegiatan manusia yang dapat membahayakan organisme yang hidup pada tubuh air tersebut.

Air yang telah tercemar memiliki gejala dan ciri tertentu, yaitu :

a. Adanya perubahan warna, rasa, dan bau

Air yang bersih dengan mudah dapat dilihat dari keadaan fisiknya, yaitu tidak berwarna, berbau, dan berasa. Limbah industri dan sumber lainnya seringkali berupa bahan organik dan anorganik yang dapat larut dalam air yang menjadikan air tersebut berwarna, berasa, dan berbau.

b. Adanya endapan dan bahan terlarut

Limbah dari kegiatan industri dapat pula berupa limbah yang tidak larut dalam air. Limbah tersebut kemudian mengendap didasar air bersama bahan terlarut lainnya. Endapan tersebut dapat menghambat sinar matahari yang sangat dibutuhkan oleh mikroorganisme dalam air dalam melakukan fotosintesis.

c. Adanya mikroba patogen

Mikroorganisme berperan dalam menguraikan zat – zat pencemar yang dibuang kedalam air. Diantara mikroorganisme tersebut dimungkinkan adanya mikroba patogen, yaitu mikroba pembawa penyakit.

2. Pencemaran udara

Udara terdiri atas sejumlah unsur dengan susunan atau komposisi tertentu. Unsur – unsur tersebut diantaranya adalah Nitrogen ( 78,09% ), Oksigen (21,94%), Argon ( 0,93%), Karbon dioksida (0.032%), dan lain – lain. Unsur pembentuk udara sudah memiliki ketetapan jika ada zat asing berbeda dengan penyusun udara maka dikatakan bahwa udara tersebut tercemar.

Pencemaran udara adalah masuk atau dimasukannya zat asing keudara sehingga menyebabkan perubahan susunan (komposisi) udara dari keadaan normalnya. Zat asing yang ada akan mengganggu kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya.

3. Pencemaran tanah

Pencemaran tanah terjadi jika ada bahan – bahan asing, baik organik maupun anorganik yang menyebabkan menurunnya kualitas tanah. Akibatnya tanah tidak bisa memberikan daya dukung bagi kehidupan manusia. Sebelum adanyan perkembangan teknologi dan industri manusia hanya membuang limbah organik yang mudah terurai oleh mikroorganisme.

Sampah anorganik sulit untuk diurai oleh mikroorganisme sehingga memerlukan waktu yang sangat lama untuk menyatu dengan alam. Sebagai gambaran, menurut Miller (1975) sampah plastik akan hancur selama 240 tahun jika ditimbun didalam tanah, sampah kaleng yan terbuat dari timah atau besi memerlukan waktu selama 100 tahun sedangkan kaleng yang terbuat dari alumnium 500 tahun, sampah gelas 1 juta tahun.

## C. Sumber Pencemaran

Pencemaran yang biasa disebut polusi dihasilkan dari aktivitas di lingkungan, baik dari dari aktivitas manusia maupun aktivitas alami dari makhluk hidup dan tak hidup lainnya, dilihat dari penyebabnya polusi terdiri dua faktor yaitu :

1. Faktor internal, merupakan polusi yang dihasilkan dari aktivitas alami alam seperti letusan gunung yang mengeluarkan abu vulkanik dan sisa

pembuangan hewan biasanya faktor internal ini akan ternetralisir sendiri oleh lingkungan.

2. Faktor eksternal, merupakan polusi yang dihasilkan dari aktivitas dan kegiatan manusia seperti asap kendaraan bermotor, asap pabrik, reaktor nuklir, dan lain-lain.

Dari kedua faktor tersebut faktor yang paling membahayakan dan merusak lingkungan adalah faktor eksternal. Faktor eksternal ini perlu mendapatkan perhatian secara seksama karena menimbulkan dampak negatif pada makhluk hidup dan berbagai penyakit seperti :

a. Penyakit Silikosis

Penyakit ini disebabkan oleh debu silika ($SiO_2$) yang mencemari udara lalu terhirup melalui udara dan masuk ke paru-paru kemudian mengendap. Debu silika ini banyak terdapat besi dan baja, keramik, pengecoran beton, bengkel yang mengerjakan besi.

b. Penyakit Asbestosis

Penyakit ini disebabkan oleh debu atau serat asbes yang mencemari udara. Asbes merupakan campuran berbagaimacam silikat namun yang paling utama adalah magnesium silikat. Penyakit ini ditandai sesak nafas dan batuk berdahak yang mana dahak mengandung partikel asbes.(Wisnu:2004).

## D. Kemagnetan Bahan

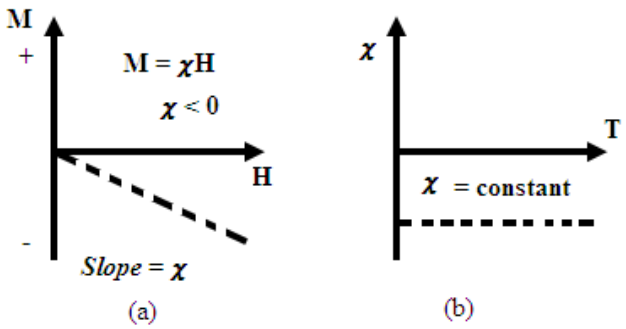
Semua bahan mempunyai sifat kemagnetan, tetapi sifat kemagnetan bahan tersebut berbeda antara bahan satu dengan bahan yang lain. Sifat

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 dimagnetik. 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.

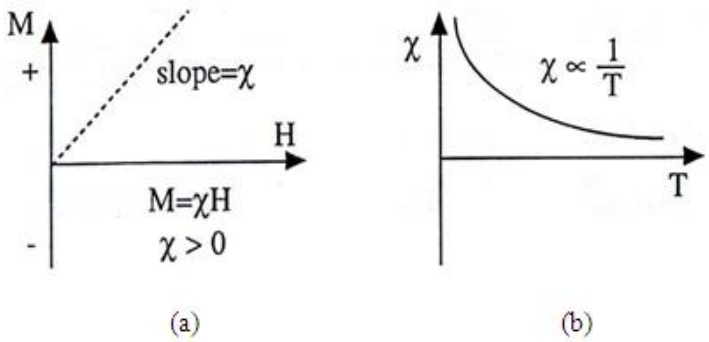
Nilai suseptibilitas bahan magnetik bernilai negatif dan rendah, yaitu sekitar $10^{-6}$ dalam satuan cgs dan sekitar $-0.8 \times 10^{-7}$ dalam SI (Butler, 1998). Pada bahan diamagnetik, suseptibilitas magnetiknya tidak dipengaruhi temperature (lihat Gambar 1). Contoh mineral diamagnetik adalah kuarsa, perak, emas, tembaga, dan seng.




Gambar 1. a) Grafik magnetisasi (M) terhadap medan magnet (H) yang diberikan dan ($\chi$<0). (b) Suseptibilitas ($\chi$) 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 x $10^{-4}$ 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 megnet (H) yang diberikan dan ($\chi$>0). (b) Suseptibilitas ($\chi$) 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 ditiadakan, 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).

## E. 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 Curienya masing-masing.

Tabel 1. Jenis Mineral dan Temperatur Curie

| Mineral | Formula | *Ms* (kA/m) | *Tc* ($^0$C) |
|---|---|---|---|
| *Magnetite* | $Fe_3O_4$ | 480 | 580 |
| *Hematite* | $\alpha - Fe_2O_3$ | ~2.5 | 675 |
| *Maghemite* | $\gamma - Fe_2O_3$ | 380 | 590-675 |
| *Goethite* | $\alpha$ – FeOOH | ~2 | 120 |
| *Pyrhotite* | $Fe_7S_8$ | ~80 | 320 |
| *Greigite* | $Fe_3S_4$ | ~125 | ~330 |

(Sumber : Evan dan Heller, 2003 )

1. *Magnetite*

*Magnetite* memiliki komposisi $Fe_3O_4$, merupakan deret *titanomagnetite* ($Fe_{3-x}Ti_xO_4$) dengan indeks pada x = 0. *Magnetite* bersifat ferrimagnetik dengan temperatur Curie 580$^o$C (lihat Tabel 1) dan magnetisasi 90 $Am^2/kg$ sampai 93 $Am^2/kg$ (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 ~ spinel.*

2. *Hematite*

*Hematite* memiliki komposisi $Fe_2O_3$, merupakan deret *titanomagnetik* ($Fe_{2-x}Ti_xO_3$) yang nilai indeksnya pada x = 0. *Hematite* bersifat ferromagnetik dengan spontanitas magnetik 2.5 $Am^2/kg$ dan temperatur *Curie* 675$^oC$ (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 *hemetite* dengan *magnetite* dan meleleh bila dipanaskan dalam larutan asam hidrolik dan berubah menjadi *magnetite*. Berdasarkan hal tersebut ditemukan bahwa besi dapat diganti dengan titanium menimbulkan padat kedua solusi seri, *titanohematites* (Evan dan Heller, 2003).

3. *Ilminite*

*Ilminite* memiliki komposisi $FeTiO_3$. *Ilmenite* merupakan paramagnetik pada temperatur diatas 60$^oK$, dan jika dibawah 60$^oK$ *ilmenite* merupakan antiferromagnetik. Biasanya *ilmenite* berwarna kehitam-hitaman, kadang putih keabu-abuan. Menurut Dearing (1999), nilai suseptibilitas magnetik *ilmenite* berkisar 1.7-2 $x10^{-6}m^3/kg$.

## F. Diagram Ternary

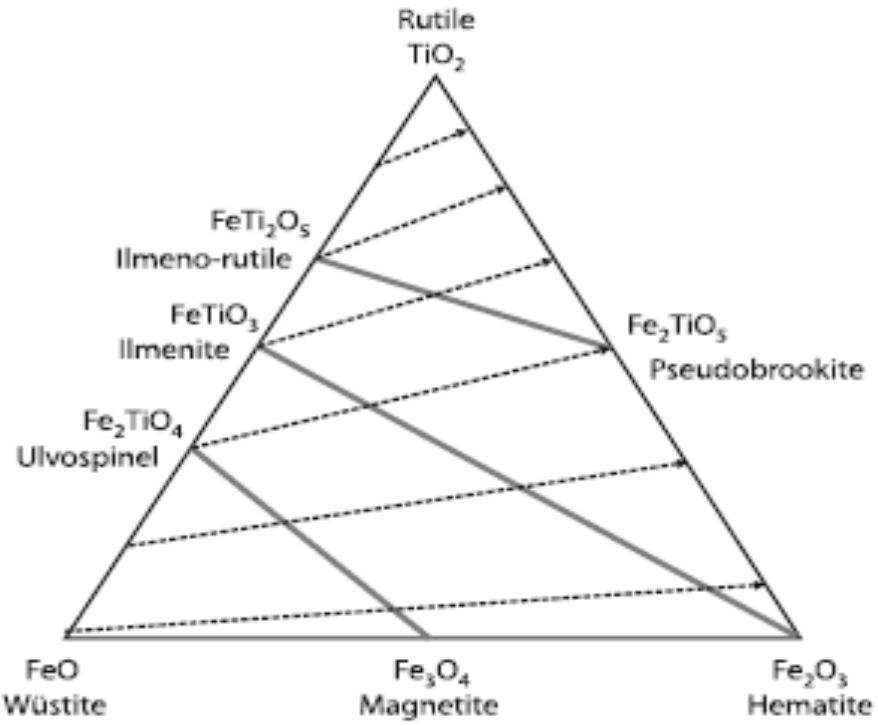
Diagram Ternary merupakan hubungan tiga jenis oksida besi yang merupakan komposisi dari oksida FeTi. Pada diagram Ternary, ion $Fe^{2+}$

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 $Fe_{3-x}Ti_xO_4$, mengkristal dalam sistem kubik dan strukturnya adalah *spinel* . Sel dasar berisi 32 $O^{2-}$ anion dan 24 kation : 16 $Fe_3^{+}$ dan $Fe_2^{+8}$ 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* ($\gamma Fe_2O_3$) 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 ($\alpha Fe_2O_3$) - *ilmenite* ($FeTiO_3$). Rumus kimia titanohematites adalah $Fe_{2-x}Ti_xO_3$. Titanohematites mengkristal dalam sistem rhombohedral dan strukturnya adalah korundum. Pada $Fe^{2+}$ kation *ilmenite* adalah antiparalel dan maka pada suhu yang sangat rendah bersifat antiferromagnetik (Lanza, 2006). Bentuk diagram tenary dapat dilihat pada Gambar 3.




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

## G. Suseptibilitas Magnetik

Suseptibilitas pada dasarnya adalah pengukuran tentang bagaimana magnetisasi suatu bahan itu terjadi (Dearing, 1999). Suseptibiltas 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 yang dikenal sebagai suseptibilitas magnetik ($\chi$). Hubungan ditunjukkan oleh persamaan :

$$\boldsymbol{M = \chi H} \qquad (1)$$

Dengan :

$M$ = Magnetisasi (Ampere/m)

$\chi$ = Suseptibilitas Magnetik

$H$ = Medan Magnet (Tesla)

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 2 dapat dilihat contoh mineral masing-masing sifat kemagnetannya. Namun, nilai suseptibilitas magnetik dari mineral-mineral tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. 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 *Magnetite* dan *maghemite* |
| Antiferromagnetik | Suseptibilitas positif yang sedang | Beberapa oksida besi, seperti *hematite* dan *goethite* |
| Paramagnetik | Suseptibilitas positif yang lemah | Berbagai Fe yang memuat mineral-mineral dan garam-garam seprti *biotite* dan *olivine* |
| Diamagnetik | Suseptibilitas negatif yang lemah | Berbagai Fe yang memuat mineral-mineral dan garam-garam seprti *biotite* dan *olivine* |

(Sumber : Dearing, 1999)

Tabel 3. Mineral-Mineral dan Nilai Suseptibilitas Magnetik

| No. | Mineral/Material | Formula | Besi (%) | Suseptibilitas Magnetik Spesifik Massa ($10^{-6}m^3/kg$) |
|---|---|---|---|---|
| 1. | **Logam Ferromagnetik** | | | |
| | Besi | Fe | 100 | 276000 |
| | Kobalt | Co | | 204000 |
| | Nikel | Ni | | 68850 |
| 2. | **Ferrimagnetik** | | | |
| | *Magnetite* | $Fe_3O_4$ | 72 | |
| | (0.012-0.069 µm) | | | 513-1116 |
| | | | | 500-1000 |
| | (0.09-2000 µm) | | | 596 ± 77 |

| No. | Mineral/Material | Formula | Besi (%) | Suseptibilitas Magnetik Spesifik Massa ($10^{-6}m^3/kg$) |
|---|---|---|---|---|
| | (1-250 µm) | | | 440-716 |
| | | | | 390-580 |
| | *Maghemite* | $\gamma Fe_2O_3$ | 70 | 410, 440 |
| | | | | 286-371 |
| | *Titanomagnetite* | $Fe_3O_4$-$Fe_2TiO_4$ | | 169-290 |
| | *Titanohematite* | $Fe_2O_3$-$FeTiO_3$ | | 281-315 |
| | *Pyrrthotite* | $Fe_7S_8$ | | 50, 53 |
| | *Gerigite* | $Fe_3S_4$ | | |
| 3 | **Antiferromagnetik** | | | |
| | *Hematite* | $\alpha Fe_2O_3$ | 70 | 1.19-1.69 |
| | | | | 0.58-0.78 |
| | | | | 0.49-0.65 |
| | | | | 0.27, 0.31, 0.6, <0.63 |
| | *Geothite* | αFeOOH | 63 | 0.35, 0.38, 0.7, <1.26 |
| 4 | **Paramagnetik ($20^0$C)** | | | |
| | *Ilmenite* | $FeTiO_3$ | 37 | 1.7, 2 |
| | *Ulvospinel* | $Fe_2TiO_4$ | | |
| | *Olicine* | $4[(Mg,Fe)_2SiO_4]$ | <55 | 0.01-1.3 |
| | *Siderite* | $FeCO_3$ | 48 | 1.0 |
| | *Biotite* | Mg,Fe,Al silicate | 31 | 0.05-0.95 |
| | *Pyroxene* | $(Mg,Fe)_2Si_2O_6$ | <12 | 0.04-0.94 |
| | *Chamosite* | oxidised chlorite | | 0.9 |
| | *Nontronite* | Fe-rich clay | | 0.863 |
| | *Amphibole* | Mg,Fe,Al silicate | | 0.16-0.69 |
| | *Epidote* | Ca,Fe,Al silicate | 31 | 0.25-0.31 |
| | *Pyrite* | $FeS_2$ | 47 | 0.3 |
| | *Lepidocrocite* | γFeOOH | 63 | 0.5-0.75, 0.69 |
| | *Procholorite* | mica-like mineral | | 0.157 |
| | *Vermiculite* | complex silicate | | 0.152 |
| | *Illite* | $K1Al_4(Si,Al)_8O_2O(OH)_4$ | | 0.15 |
| | *Bentonite* | complex silicate | | 0.058 |

| No. | Mineral/Material | Formula | Besi (%) | Suseptibilitas Magnetik Spesifik Massa ($10^{-6}m^3/kg$) |
|---|---|---|---|---|
| | *Smectite* | complex silicate | | 0.05, 0.027 |
| | *Chalcopyrite* | $CuFeS_2$ | 30 | 0.03 |
| | *Attapulgite* | complex silicate | | 0.02 |
| | *Dolomite* | $CaMg(CO_3)_2$ | | 0.011 |
| 5 | **Diamagnetik** | | | |
| | *Calcite* | $CaCO_3$ | | -0.0048 |
| | *Alkali-feldspar* | Ca,Na,K,Al silicate | | -0.005 |
| | Plastik | | | -0.005 |
| | *Quartz* | $SiO_2$ | | -0.0058 |
| | Bahan Organik | | | -0.009 |
| | Air | $H_2O$ | | -0.009 |
| | *Halite* | NaCl | | -0.009 |
| | *Kaolinite* | $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$ | | -0.0019 |

(Sumber : Dearing, 1999)

## H. Suseptibilitas Magnetik sebagai Indikator Polusi

Metode kemagnetan batuan saat ini sudah banyak di kembangkan secara luas untuk mencari masalah lingkungan. Prinsip yang mendasarinya adalah adanya asumsi bahwa kehadiran dan kelimpahan mineral magnetik mungkin mencerminkan kondisi lingkungannya (Fitriani dan Huliselan, 2010).

Jenis mineral magnetik yang pernah ditemukan sebagai polutan adalah *magnetite* ($Fe_3O_4$). Kajian mineral magnetik dapat dijadikan sebagai indikator pencemaran lingkungan salah satunya dilihat pada sampel lindi yang diidentifikasi jenis mineral magnetiknya.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Mahrizal (2013) Monitoring Magnetik Terhadap Polusi Di Kota Padang, mengatakan bahwa nilai suseptibilitas magnetik yang paling besar yaitu pada pabrik-pabrik yang kebanyakan berlokasi di kecamatan Lubuk Kilangan. Hal ini mungkin disebabkan karena di kawasan Lubuk Kilangan terdapat pabrik P.T Semen Padang. Partikel oksida besi sebenarya tidak lebih dari fraksi yang kecil dari total debu, tetapi ada bukti (*evidence*) bahwa partikel tersebut sangat berisiko terhadap kesehatan, terutama yang ukurannya lebih kecil. Secara nyata berdasarkan fakta bahwa partikel besi merupakan *tracer* yang sangat baik untuk mengetahui total *particulate content* dalam atmosfer dan konsentrasinya yang berhubungan dengan logam berat yang secara potensial berbahaya untuk tumbuhan, binatang, dan manusia.

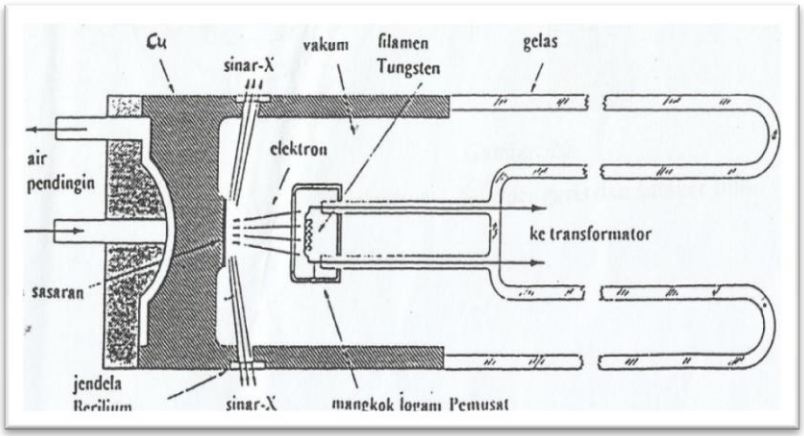
## I. *X-Ray Diffraction* (XRD)

Sinar-X ditemukan pada tahun 1895 oleh Wilhelm Conrad Rontgen di Universitas Wurtzburg Jerman, karena asalnya tidak diketahui waktu itu maka dinamakan sinar-X. Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang 1 Amstrong ($10^{-10}$ m). Panjang gelombang ini kira-kira sama dengan jarak antar atom dalam kristal. Oleh karena itu, sinar-X dapat didifraksi oleh atom-atom dalam material berbentuk kristal. Dengan mengamati pola difraksi sinar-X yang dihasilkan suatu material maka struktur kristal material tersebut dapat diketahui (Abdullah dan Khairurrijal, 2010).

Ada dua cara utama untuk memproduksi sinar-X. Cara pertama adalah dengan memberikan percepatan kepada partikel bermuatan listrik. Partikel

yang bermuatan listrik yang dipercepat akan memancarkan gelombang elektromagnetik. Peristiwa ini disebut *bremmstrahlung*. Panjang gelombang yang dipancarkan dalam peristiwa ini bermacam-macam, tetapi ada panjang gelombang minimum (frekuensi maksimum) yang dapat dihasilkan. Nilai ini bergantung pada energi partikel yang dipercepat (Abdullah dan Khairurrijal, 2010).

Disamping melalui proses *bremmstrahlung* cara yang kedua untuk menghasilkan sinar-X adalah melalui transisi elektron antar kulit atom logam masa menengah. Atom-atom dengan nomor atom sekitar 28-30 seperti tembaga memiliki tingkat-tingkat energi elektron sedemikian sehingga beda energi antar tingkat berdekatan sama dengan energi foton sinar-X. Sifat tingkat energi yang demikian menjadikan material logam dari unsur tersebut dimanfaatkan untuk menghasilkan sinar-X (Abdullah dan Khairurrijal, 2010). Skema tabung sinar-X dapat dilihat pada Gambar 4.




Gambar 4. Skema Tabung Sinar-X (Amilius, Sudjono, dan Rusnaeni, 1999)

Tabung sinar-x terdiri dari sumber elektron, katoda, anoda (logam sasaran) dan tabung vakum. Sumber elektron yang biasanya dipakai adalah

filamen logam yang dipanaskan, biasanya logam Tungsten. Filamen atau katoda yang berperan sebagai sumber elektron memiliki tegangan biasanya 30-50 kV terhadap anoda (logam sasaran). Anoda atau logam sasaran merupakan sasaran yang akan ditembak oleh elektron yang dipercepat. Umumnya logam sasaran yang dipakai adalah Cu, Cr, Fe, Co, Mo dan Ag. Katoda dan anoda ini ditempatkan pada tabung yang vakum bertujuan untuk meghindari halangan pada gerakan elektron agar perjalanan katoda ke anoda tidak terganggu (Amilius, Sudjono, dan Rusnaeni, 1999).

Katoda dalam tabung sinar-X dihubungkan dengan kutub negatif suatu sumber listrik tegangan tinggi, kemudian dipanaskan pada suatu filamen agar lebih mudah memancarkan elektron. Sedangkan anoda yang terbuat dari logam berat dihubungkan dengan kutub positif sumber listrik tegangan tinggi. Anoda didinginkan dengan air untuk menyalurkan kelebihan kalor yang timbul karena benturan berkas elektron dengan permukaan anoda tersebut. Beda potensial yang tinggi berfungsi untuk mempercepat elektron-elektron disepanjang tabung yang dipancarkan dari katoda. Sehingga setelah sampai di anoda elektron-elektron tersebut memiliki energi kinetik yang sangat besar, dan apabila menumbuk logam target (kutub anoda) pada ujung tabung maka anoda akan memancarkan sinar. Sinar yang dipancarkan ini disebut sinar-X.

Peristiwa dalam tabung sinar-X dapat menghasilkan spektrum sinar-X. Dimana elektron yang terjadi oleh filamen ditolak oleh katoda dipercepat menuju anoda dengan kecepatan yang tinggi. Energi kinetik elektron ini sebagian besar diubah menjadi panas, sedangkan sebagian lagi menjadi sinar-

X yang terpencar kesegala arah. Radiasi yang terjadi terdiri dari berbagai panjang gelombang dengan intensitas yang berbeda. Jadi terjadi spektrum yang disebut spektrum kontinu sinar-X atau sinar-X putih. Variasi intensitas ini tergantung pada tegangan tinggi yang diterapkan pada katoda (Amilius, Sudjono, dan Rusnaeni, 1999).

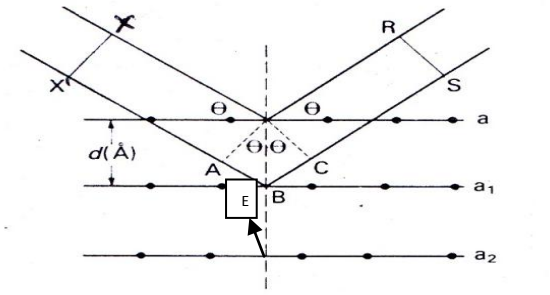
Jika tegangan tinggi dinaikkan, maka intensitas semua panjang gelombang naik dan batas panjang gelombang pendek bergeser kenilai lebih rendah. Sampai suatu tegangan tinggi tertentu, yang karekteristik logam sasaran dan bentuk spektrumnya adalah kontinu. Spektrum ini disebabkan oleh perlambatan tiba-tiba elektron yang menumbuk logam sasaran. Sebagian elektron langsung melepaskan seluruh energinya menjadi foton sinar-X, sebagian lagi menyerahkan sebagian energinya dalam tumbukan dengan atom-atom di dalam logam sasaran, dengan jumlah tumbukan yang berbeda-beda, sehingga menyebabkan panjang gelombang yang berbeda-beda dengan intensitas yang berbeda juga. Makin tinggi tegangan tinggi katoda, makin tinggi energi kinetik elektron dan makin tinggi energi sinar-X atau jumlah foton per detik dan energi rata-rata per foton. Sinar-X digunakan dari dulu untuk identifikassi mineral dengan melihat pola difraksi karena masing masing material akan menujukan pola difraksi yang berbeda.

Analisis mengenai pola difraksi dimulai tahun 1936, beberapa ahli seperti Hanawalt, Rind dan Frevel, bersama-sama mengumpulkan bebagai pola difraksi dari bahan-bahan yang senyawa kimianya telah diketahui. Pola difraksi berkas diperoleh dari difraksi berkas sinar-X oleh bidang hkl pada

suatu kristal. Perbedaan orientasi bidang hkl akan menghasilkan pola puncak-puncak yang terletak pada suatu sudut difraksi tertentu. Berdasarkan perbedaan pola difraksi yang diperoleh dapat mengidentifikasi jenis mineral magnetik pada suatu bahan (Santosa A, 2008).

Difraksi sinar-X (*X-ray diffraction*) merupakan salah satu metoda karakterisasi material sering digunakan hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Metode ini menggunakan sebuah sinar-X yang terdifraksi seperti sinar yang direfleksikan dari setiap bidang, dibentuk oleh atom-atom kristal dari material. Pola difraksi yang terbentuk dengan berbagai sudut timbul menyatakan karakteristik dari sampel. Susunan ini diidentifikasi dengan membandingkannya dengan sebuah *database* internasional.

Setiap unsur atau senyawa memiliki pola difraksi tertentu untuk dapat diidentifikasi menggunakan teknik difraksi sinar-X. Pola difraksi yang dihasilkan berisi data intensitas dan sudut difraksinya. Jarak antar bidang dapat dihitungan dengan hukum Bragg. Skema proses difraksi dapat dilihat pada Gambar 5.




Gambar 5. Skema Difraksi Bidang Kisi (Hardy dan Tucker, 1991)

Gambar 5 menunujukan adanya sinar-X yang datang pada sebuah permukaan kristal dengan setiap lapisan atom-atom terpisah sejauh $d$ masing-masing dengan jarak yang sama. Panjang jarak antar sektor $XX'$ dan $RS$ untuk setiap sinar tampak dibedakan dengan nilai yang diketahui dan dijadikan sebagai kelipatan ($n$) dari panjang gelombang ($\lambda$), sehingga jarak tempuh dari sinar datang yang saling menguatkan yang karena fasanya sama adalah :

$$\delta = n\lambda \tag{2}$$

Atom $E$ yang terdapat pada kristal akan menghamburkan seberkas sinar-X yang datang menumbuk suatu material kristal. Sinar datang berikutnya akan dihamburkan oleh atom $E$. Proses penghamburan sinar ini harus menempuh jarak sepanjang $DE + EC'$, sehingga panjang jarak tempuh sinar datang ini dapat dirumuskan menjadi:

$$\delta = AB + CB = 2\,BC \tag{3}$$

Menggunakan perumusan trigonometri dasar didapatkan bahwa:

$$B\,C = B\,E \sin\theta \tag{4}$$

Dimana $BE = d$, sehingga persamaan (2) menjadi

$$A\,B + B\,C = 2\,d\,sin\,\theta \tag{5}$$

Dari persamaan (1) telah diketahui bahwa jarak tempuh sinar datang adalah $\delta = n\,\lambda$, maka persamaan (1) dapat dikonversikan dengan persamaan (5) sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$n\,\lambda = 2\,d\sin\theta \qquad (6)$$

Atau didapatkan persamaan

$$d = \frac{\lambda}{2\sin\theta} \qquad (7)$$

Persamaan 6 ini dikenal sebagai Hukum Bragg, yang merupakan persyaratan yang harus dipenuhi agar berkas sinar-X yang dihamburkan tersebut merupakan berkas difraksi.

Seberkas sinar-X yang dijatuhkan pada sampel (kristal) berdasarkan persamaan Bragg memperlihatkan bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar atom dalam kristal. Bidang kristal yang terdapat pada dalam sampel akan membuat intensitas pembiasan yang dihasilkan akan semakin kuat, sehingga puncak-puncak pada pola *X-ray diffraction* akan semakin jelas dan setiap puncak akan mewakili satu bidang kristal tertentu.

Salah satu metode untuk mengamati difraksi sinar-X oleh kristal yang sering digunakan saat ini adalah metode *powder diffraction.* Metode ini menggunakan sampel dalam bentuk serbuk untuk mengidentifiasi kristal. Pada metode *powder diffraction,* detektor dirotasi pada berbagai sudut. Intensitas sebagai fungsi sudut yang dibentuk oleh detektor dan sinar-X dapat diukur dan sudut yang dihasilkan sama dengan $2\theta$. Detektor yang berada pada sudut yang tidak memenuhi hukum Bragg tidak ada cacahan yang diukur pada sampel, sebaliknya detektor akan mengukur jika berada pada posisi sudut yang memenuhi hukum Bragg sehinggga akan dideteksi cacahan tinggi

dengan bentuk profil intesitas (Abdullah dan Khairurrijal, 2010). Hasil yang dikeluarkan dari *diffractometer* disebut dengan difraktogram berupa deretan puncak-puncak difraksi dengan intensitas relatif bervariasi sepanjang nilai $2\theta$ tertentu. Puncak-puncak yang teridentifikasi mewakili setiap bidang kristal tertentu.

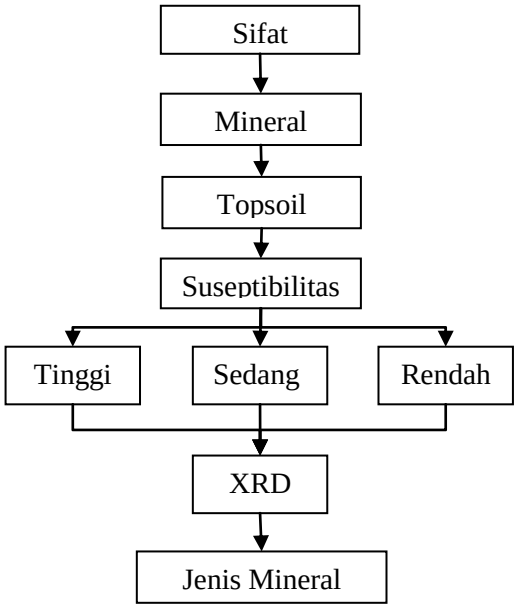
$$I_{\mathrm{r}} = \frac{I}{Imax}\ x\ 100\% \qquad (8)$$

Dimana $I_{\mathrm{r}}$ adalah intensitas relatif, $I$ adalah nilai intensitas pada sudut difraksi tertentu dan *Imax* adalah nilai intensitas yang paling signifikan. Nilai puncak intensitas relatif yaitu nilai intensitas yang dihasilkan dari perbandingan intensitas terukur dengan intensitas maksimum, sudut difraksi $2\theta$ dan jarak antar bidang ($d_{\mathrm{hkl}}$) yang diperoleh, dibandingkan dengan kurva standar dari mineral magnetik. Jenis mineral magnetik akan dapat diketahui secara jelas dengan melihat puncak-puncak intensitas dari data hasil pegukuran yang bersesuaian dengan puncak-puncak intensitas dari kurva standar mineral magnetik.

## J. Kerangka Berpikir Penelitian

Semua bahan mempunyai sifat kemagnetan, tetapi sifat kemagnetan bahan tersebut berbeda antara bahan satu dengan bahan yang lain. Dilihat dari sifat kemagnetan bahan terdapat 2 golongan mineral, yaitu golongan mineral magnetik dan golongan mineral non magnetik. Hasil proses industri menghasilkan pertikel-partikel mineral magnetik 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 untuk menentukan tingkat polusi sampel. Lalu dilakukan Penentuan jenis mineral magnetik menggunakan *X-Ray Diffraction*. maka akan diidentifikasi jenis mineral magnetik yang terkandung pada *topsoil* tersebut




Gambar 6. Kerangka Berpikir Penelitian.

# BAB V

# PENUTUP

## A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pengukuran nilai suseptibilitas magnetik dan jenis mineral magnetik sampel *topsoil,* maka diperoleh kesimpulan bahwa :

1. Polutan hasil industri di Kota Padang umumnya tergolong tercemar tinggi, karena sebanyak 54 *topsoil* dari 54 titik pengambilan terdapat 45 buah sampel termasuk golongan tercemar tinggi yang secara persentase 83,33% dari total banyak sampel *topsoil* dan selebihnya sebanyak 16,67% termasuk golongan tercemar sedang lalu 0% untuk golongan tercemar rendah.
2. Hasil identifikasi dari mineral magnetik didapati 6 dari 10 buah sampel topsoil berdasarkan analisa data software *Hight Score plus* menunjukkan bahwa setiap sampel memiliki kandungan jenis mineral yang sama yaitu *magnetite* ($Fe_3O_4$) dan tidak seberapa sampel yang mengandung *hematite* ($Fe_2O_3$). Data dengan nilai suseptibilitas tinggi belum bisa dipastikan mengandung mineral magnetik. Mineral penyusun suatu material mempengaruhi nilai suseptibilitas suatu material tersebut karena masing – masing mineral mempenyai sifat kemagnetan yang kuat seperti ferromagnetik contoh bisa dilihat pada sampel PBT 06 yang memiliki nilai suseptibilitas 4135,9 x $10^{-8}m^3kg^{-1}$ memiliki kandungan mineral besi nikel (Fe,Ni) yang mana mineral tersebut mempunyai sifat ferromagnetik.

3. Hasil identifikasi mineral didapati mineral non magnetik berupa silika ($SiO_2$) yang mana jika silika ini terhirup dan terakumulasi didalam paru-paru maka akan berdampak penyakit silikosis bagi manusia.

## B. Saran

1. Sampel yang diukur mengunakan XRD harusnya lebih banyak sehingga data yang diperoleh lebih teliti dan akan terlihat kaitan nilai suseptibilitas dengan jenis mineral yang terkandung pada sampel.
2. Pengukuran sampel topsoil dengan XRD sebaiknya didukung oleh data dari metoda pengukuran yang lainnya seperti ARM (*Anisotrophy Remanent Magnetic*) dan IRM (*Isothermal Remanent Magnetic*) untuk menguatkan hasil identifikasi mineral serta metoda XRF (*X-Ray Fluoresence*) untuk melihat hubumgan dengan unsur yang terkandung pada mineral.
3. Kecamatan tempat diambilnya sampel belum keseluruhan dari kecamatan yang ada dikota Padang, seharusnya diambil keseluruhan dari kecamatan yang ada dikota Padang sehingga sampel tidak hanya mewakili dari golongan tingkat pencemaran, tetapi juga mewakili dari tiap-tiap kecamatan.

## DAFTAR PUSTAKA


Abdullah, M. Khairurrijal. 2010. *Karakterisasi Nanomaterial Teori Penerapan dan Pengolahan Data.* Bandung : Rezki Putra.

Amilius, Z, Sudjono,H. K, Rusnaeni,N. 1999. Aplikasi *X-Ray Diffraction* dan *Scanning Electron Microscope* untuk Analisis Bahan. Bandung: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia PUSLITBANG Fisika Terapan.

Bijaksana, Satria dan E K Huliselan. (2007). *Identifikasi Mineral Magnetik Pada Lindi.* Jurnal Geofisika Vol.2 tahun 2007.

Butler, R. F. 1992. *Paleomagnetism Magnetic Domains to Geologic Teranes.* Boston: Blackwell Scientific Publications.

Dearing, J. 1999. *Environmental Magnetic Susceptibility: Using the Bartington MS2 System.* British Library Cataloguing in Publication Data.

Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Sumatera Barat. (2012). *Peta Geologi Kota Padang*. Padang.

Evans, M. E dan F Heller. (2003). *Environment Magnetism Prinsiples and Aplication of Environmagnetics*. Academic Press: California.

Fitiani, D. dan Huliselan, E.K. 2010. Magnetic Properties as a Proxy Indicator of Environmental Pollution. *Jurnal JTM*, Vol. XVI No. 3.

Hunt, C. P. 1991. *Handbook From The Environmrntal Magnetism Workshop.* Minneapolis: 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.*

Lanza, R & Antonio, M. 2006. *The Earth's Magnetism An Introduction for Geologists*. Jerman : Verlag Berlin Heidelberg.

Mahrizal. 2013. *Monitoring Magnetik Terhadap Polusi di Kota Padang*. FMIPA. Universitas Negeri Padang. Padang.

Oktova, R., & Okimustava. 2009. *Penentuan Suhu Curie Besi Dengan Metode Kawat Berarus Listrik.* Seminar Fisika dan Aplikasinya 2009 (Surabaya, 3 Nopember 2009).

Santosa, A. 2008. *Analisis Struktur Kristal dan Komposisi Fasa Lapisan Tungsten Carbide/Coblat (WC-Co) yang dibuat dengan Menggunakan Metode HVOF.* Universitas Indonesia.

Satriyo, Saputra. 2008. *Studi Kondisi Kimiawi Penyebaran Pb, Debu, Dan Kebisingan Di Kota Jakarta.* Jurnal kajian ilmiah lembaga penelitian Ubhara Jaya vol. 9 No.2 tahun 2008.

Wisnu, Arya Wardhana. (2004). *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Indopress: Yogyakarta.

Wisnu Arya Wardhana. (2004). *Polutan radioaktif dan batubara*. http://www.energi.lipi.go.id