

**IDENTIFIKASI KANDUNGAN UNSUR LOGAM BERAT
PADA SEDIMEN DANAU MANINJAU MNJ 18-41 B
SPESIMEN 148 mm DAN 376 mm
MENGUNAKAN X-RAY FLUORESCENCE**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains*



**Oleh:
FAJAR AKMAL
NIM. 16034007/2016**

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2021**

PERSETUJUAN SKRIPSI

**IDENTIFIKASI KANDUNGAN UNSUR LOGAM BERAT PADA
SEDIMEN DANAU MANINJAU MNJ 18-41 B SPESIMEN 148 mm
DAN 376 mm MENGGUNAKAN X-RAY FLUORESCENCE**

Nama : Fajar Akmal

NIM : 16034007

Program Studi : Fisika

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Juni 2021

Mengetahui:

Ketua Jurusan Fisika



Dr. Ratnawulan, M. Si
NIP. 19690120 1993032 002

Disetujui Oleh:

Pembimbing



Dr. Hamdi, M.Si.
NIP. 19651217 199203 1 003

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Fajar Akmal
NIM : 16034007
Prodi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam

IDENTIFIKASI KANDUNGAN UNSUR LOGAM BERAT PADA SEDIMEN DANAU MANINJAU MNJ 18-41 B SPESIMEN 148 mm DAN 376 mm MENGGUNAKAN X-RAY FLUORESCENCE

Dinyatakan Lulus Setelah Dipertahankan Di Depan Tim Penguji Skripsi Jurusan
Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, 04 Juni 2021

Tim Penguji

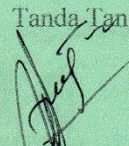
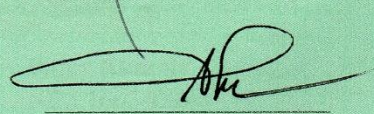
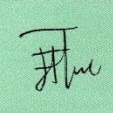
Nama

Tanda Tangan

Ketua : Dr. Hamdi, M.Si

Anggota : Drs. Akmam, M.Si

Anggota : Dr. Fatni Mufit, S.Pd, M.Si

SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Fajar Akmal
NIM/TM : 16034007/2016
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : FMIPA

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi saya dengan judul *"Identifikasi Kandungan Unsur Logam Berat Pada Sedimen Danau Maninjau MNJ 18-41 B Spesimen 148 mm dan 376 mm Menggunakan X-Ray Fluorescence"* adalah benar merupakan hasil karya saya dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain. Apabila suatu saat terbukti melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan hukum dan ketentuan yang berlaku, baik di Institusi UNP maupun dimasyarakat dan hukum Negara.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Saya yang menyatakan,



Fajar Akmal
NIM.16034007

**Identifikasi Kandungan Unsur Logam Berat Pada Sedimen Danau Maninjau
MNJ 18-41 B Spesimen 148 mm dan 376 mm
Menggunakan *X-Ray Fluorescence***

Fajar Akmal

ABSTRAK

Danau Maninjau memiliki sedimen dengan karakteristik lapisan yang berbeda berdasarkan perbedaan nilai suseptibilitas, tekstur maupun warnanya. Penyebab perbedaan ini salah satunya adalah kandungan unsur logam berat yang terdapat pada sedimen. Sedimen terbentuk dari pecahan mineral atau material yang mengalami proses transportasi dari berbagai sumber dan diendapkan oleh medium. Untuk itu dilakukan kajian hubungan logam berat terhadap variasi nilai suseptibilitas dan perbedaan warna pada permukaan sedimen. Oleh sebab itu tujuan penelitian ini mengidentifikasi kandungan unsur logam berat yang terdapat pada sedimen Danau Maninjau.

Sampel yang di analisis pada penelitian ini adalah MNJ 18-41B dengan panjang *core* 440 mm yang terfokus pada spesimen 148 mm dan 376 mm. Pemilihan spesimen berdasarkan nilai suseptibilitas magnetik yang didapatkan dari pengukuran suseptibilitas meter tipe MS2E. Spesimen 148 mm memiliki nilai suseptibilitas terendah $2,1 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, sedangkan spesimen 376 mm memiliki nilai suseptibilitas tertinggi $141 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. Kandungan unsur sedimen didapatkan dari hasil pengukuran *X-Ray Fluorescence*.

Dari hasil pengukuran unsur pembentuk mineral pada sedimen Danau Maninjau didominasi *Si*, *Fe*, *Rh*, *Zr* sedangkan unsur logam berat yang terkandung yaitu *Cr*, *Mn*, *Fe*, *Co*, *Ni*, *Cu*, *Zn*, *Sr*, *Pb* dan *Rh* dengan konsentrasi yang tertinggi *Fe* dan *Rh*. Rekam jejak erupsi vulkanik diidentifikasi berdasarkan kandungan unsur material vulkanik yang terdapat pada sampel. Unsur material vulkanik yang tersapat pada sampel yaitu *Al*, *Si*, *Ca*, *Fe*, *K*, *Mn*, *P*, *S*, dan *Ti*.

Kata kunci: Mineral magnetik, Logam berat, Suseptibilitas, Sedimen, Maninjau.

KATA PENGANTAR



Puji dan syukur diucapkan kehadirat Alloh SWT, yang telah melimpahkan rahmat, karunia dan hidayah-Nya, sehingga skripsi dengan judul “**Identifikasi Unsur Logam Berat Pada Sedimen Danau Maninjau MNJ 18-41B Spesimen 148 mm Dan 376 mm Menggunakan X-Ray Fluorescence**” dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi ini merupakan bagian dari Penelitian Kerjasama Perguruan Tinggi Luar Negeri Dasar (PDPT) atas nama Dr. Hamdi, M.Si., dengan judul *Fingerprinting Volcanic Eruption Activities From the Magnetic Properties of Sediments* yang didanai melalui PNPB Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LP2M) dengan nomor kontrak 1409/ UN35.13/ LT/ 2020, dan 1005/ UN35.13/ LT/ 2021 yang bekerja sama dengan Asst Prof. Caroline Bouvet de Maisonneuve, Ph.D dari *Earth Observatory of Singapore (EOS), Asian School of the Environment (ASE), Nanyang Technological University of Singapore (NTU)* dengan nomor kontrak NRF-NRFF2016-04 dengan judul “*Quarternary Sediment of Sumatra*”. Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi dalam mendapatkan gelar Sarjana Sains pada Jurusan Fisika FMIPA UNP.

Dalam menyelesaikan skripsi ini, tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak baik bantuan secara moril maupun materil. Oleh karena itu, diucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Hamdi, M.Si., selaku Pembimbing skripsi sekaligus Pembimbing Akademik yang telah meluangkan waktu, pikiran, saran, dan tenaga serta kesabarannya dalam membimbing skripsi ini.
2. Drs. Akmam, M.Si. dan Dr. Fatni Mufit, S.Pd., M.Si. sebagai dosen penguji skripsi yang telah meluangkan waktu untuk memberikan masukan, kritikan dan pandangan dalam menyempurnakan skripsi ini.
3. Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si., selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
4. Syafriani, M.Si., Ph.D., selaku Ketua Prodi Fisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
5. Staf Pengajar dan Karyawan Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
6. Seluruh Tim SUMATHEPRA (Marcus Phua, Steffen Eisele, Francesca Forni, Rizaldi Putra, Rizki Nurul Fajri, Pika Afriyeni, Amelia Sasmita, Ella Destari Ningsih, Muhammad Riyan Fadilah, Ihsan Junira Prasetyo, Shandiyano Putra, Ronal Febriansah, dan Helmita) yang telah melakukan penelitian bersama dan banyak membantu serta memberikan semangat dalam menyelesaikan skripsi.
7. Seluruh Tim Magnetik (Ardilla Nofri Yuwanda, Anisa Rahmi, Dwi Anisa Visgun, Riza Rahmayuni, Azmi Renaldi, Nadifa Salsabila Rifiana, Nurmala Dewi Siregar, Karin Yulfiarti, Ririn Febrianti, Nadya Fitra, Reza Sri Mardayani dan Fiska Afrianti) yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi.

8. Kedua orang tua dan semua keluarga yang selalu memberikan dukungan, semangat, motivasi dalam penyelesaian skripsi.
9. Rekan-rekan seperjuangan yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu dan telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Padang, Juni 2021

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTAK	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	5
C. Batasan Masalah	5
D. Rumusan Masalah	6
E. Tujuan Penelitian	6
F. Manfaat Penelitian	6
BAB II. KERANGKA TEORITIS	8
A. Danau Vulkanik.....	8
B. Danau Maninjau	9
C. Sedimen Danau.....	10
D. Logam berat.....	13
E. Mineral magnetik.....	17

F. XRF (<i>X-Ray Fluorescence Spectrometry</i>)	26
G. Afinitas magma	32
H. Batuan Ultrabasa	34
I. Penelitian Relevan	34
J. Kerangka Berfikir	36
BAB III. METODE PENELITIAN	38
A. Jenis penelitian.	38
B. Tempat dan waktu penelitian.....	38
C. Instrumentasi penelitian.....	39
D. Prosedur penelitian	44
E. Teknik Analisa Data	51
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	55
A. Hasil.....	55
B. Pembahasan	60
BAB V. PENUTUP.....	64
A. Kesimpulan.....	64
B. Saran	64
DAFTAR PUSTAKA.....	65
LAMPIRAN.....	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Peta Geologi Danau Maninjau	10
Gambar 2. Distribusi Fasies pada Lingkungan Danau.....	12
Gambar 3. Skema Penyebaran <i>Tephra</i>	13
Gambar 4. a) Grafik Magnetisasi (M) Terhadap Medan Magnet (H) yang Diberikan dan ($\chi < 0$) b) Suseptibilitas χ Tidak Tergantung pada Temperatur (T) untuk Bahan Diamagnetik	20
Gambar 5. a) Grafik Magnetisasi (M) Terhadap Medan Magnet (H) yang Diberikan dan ($\chi > 0$), b) Suseptibilitas χ Tergantung pada Temperatur (T) pada Bahan Paramagnetik.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 6. Kurva Histerisis	21
Gambar 7. Diagram Ternary TiO_2 - FeO - Fe_2O_3	23
Gambar 8. Skema efek fotolistrik pada XRF.....	28
Gambar 9. Proses hamburan sinar-X pada permukaan kristal	28
Gambar 10. Pelepasan elektron.....	30
Gambar 11. Transisi elektron antar kulit pada atom.....	30
Gambar 12. Skema kerja alat XRF	30
Gambar 13. Diagram SiO_2 vs K_2O	34
Gambar 14. Kerangka Berfikir Penelitian.....	37
Gambar 15. Peta Lokasi Pengambilan Sampel	38
Gambar 16. <i>X-ray Fluorescence</i> (XRF).....	40
Gambar 17. <i>Susceptibility</i> Meter MS2E	43

Gambar 18. Sampel sedimen sebelum dibelah.	45
Gambar 19. Proses pembelahan sampel menggunakan <i>core cutter</i>	46
Gambar 20. Proses pemissahan kedua bagian sampel.	46
Gambar 21. Proses pemerataan permukaan sampel.	46
Gambar 22. Sampel sedimen Danau Maninjau yang di ukur dengan XRF.	47
Gambar 23. Proses pengukuran sampel menggunakan XRF.	51
Gambar 24. Gambar contoh garfik hasil pengukuran XRF	53
Gambar 25. Diagram SiO_2 vs K_2O	53
Gambar 26. Konsentrasi Unsur MNJ 18-41 B Spesimen 148 mm dan 376 mm ..	58
Gambar 27. Perbandingan Konsentrasi Unsur Logam Berat.	58
Gambar 28. Konsentrasi Oksida pada Kedalaman 148 mm dan 376 mm	60

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Suseptibilitas Magnetik dari berbagai mineral.	22
Tabel 2.	Sifat Magnetik Beberapa Mineral	26
Tabel 3.	Bentuk Tabel Hasil Pengukuran Menggunakan XRF	52
Tabel 4.	Hasil pengukuran MNJ 18-41 B spesimen 148 mm dengan nilai suseptibilitas $2,1 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$	55
Tabel 5.	Hasil pengukuran MNJ 18-41 B spesimen 376 mm dengan nilai suseptibilitas $141 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$	56

BAB 1

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Provinsi Sumatera Barat memiliki tingkat aktivitas vulkanik yang tinggi ditandai banyaknya terdapat gunung api aktif diantaranya Gunung Talang, Gunung Marapi, Gunung Tandikek, Gunung Pasaman Barat, dan Gunung Talamau. Aktivitas gunung api tertinggi terdapat di Gunung Marapi yang berada di Kabupaten Agam dan Kabupaten Tanah Datar. Salah satu akibat aktivitas gunung api adalah terbentuknya danau vulkanik. Menurut Nichols (2009), danau vulkanik terbentuk akibat dari runtuhnya dinding kaldera (*caldera collapse*) dan letusan besar (erupsi eksplosif) yang dapat memindahkan material di dalam pusat erupsi dengan kuantitas yang besar. Di Sumatera Barat, salah satu danau yang terbentuk akibat aktivitas vulkanik gunung api adalah Danau Maninjau.

Danau Maninjau adalah danau yang terletak di Kabupaten Agam Sumatera Barat dengan tipe danau vulkanik. Danau Maninjau secara administrasi termasuk ke dalam wilayah Kecamatan Tanjung Raya Kabupaten Agam, Provinsi Sumatera Barat dengan jarak 105 km dari Kota Padang. Secara geografis wilayah ini terletak pada 0°19' LU dan 100° 12' BT dengan ketinggian 461,5 meter di atas permukaan laut (dpl) dan memiliki luas 9.950 Ha (Nontji, 2016). Bentuk Danau Maninjau memanjang dari utara ke selatan dengan panjang maksimum sekitar 17 km dan lebar sekitar 8 km.

Danau Maninjau diperkirakan terbentuk sekitar 60.000 tahun lalu, ketika gunung api Maninjau Purba meletus dengan dahsyat. Letusannya menyemburkan 220-250 km material vulkanik yang tersebar hingga 75 km dari pusat letusan.

Gunung api Maninjau yang berkembang di zona Sesar Besar Sumatera diperkirakan tiga kali meletus besar (Setyahadi, 2012). Material vulkanik mengendap diberbagai tempat seperti di lahan gambut, sungai-sungai dan laut. Terdapat delapan puluh delapan sungai yang bermuara ke danau sehingga banyaknya material yang terangkut salah satunya material vulkanik (Nontji, 2016). Hal inilah yang menyebabkan terdapatnya material vulkanik pada sedimen danau.

Sedimen adalah partikel hasil dari pelapukan batuan, material biologi, endapan kimia, debu, material sisa tumbuhan dan daun. Studi batuan sedimen bertujuan untuk mengetahui proses deposit sedimen yang meliputi *transport* sedimen dan proses deposisi sedimen baik secara horizontal maupun vertikal. Sedimen yang terdapat pada danau mengandung mineral-mineral yang berasal dari berbagai sumber. Mineral-mineral tersebut dapat berasal dari aliran sungai yang bermuara ke danau, deposisi debu vulkanik dari atmosfer, dan terbentuk secara alami (autigenik) (Nurseha, 2016). Berdasarkan proses terbentuknya danau Maninjau yang berasal dari proses vulkanik, sehingga memungkinkan adanya material vulkanik yang terakumulasi didasar danau tersebut.

Material vulkanik hasil letusan gunung api secara umum mengandung oksida yang terdiri dari beberapa unsur logam seperti Silika (*Si*), Aluminium (*Al*), Besi (*Fe*), Kalsium (*Ca*), Magnesium (*Mg*), Natrium (*Na*), Kalium (*K*), Belerang (*S*), dan beberapa unsur logam berat berbahaya seperti Timbal (*Pb*), Kadmium (*Cd*), dan Argon (*Ar*) (Wahyuni 2012). Unsur-unsur ini akan bersenyawa dengan unsur yang lain dan akan membentuk mineral-mineral pada sedimen danau. Mineral adalah senyawa alami yang terbentuk melalui proses geologis. Salah satu jenis mineral adalah mineral magnetik. Mineral magnetik merupakan kumpulan senyawa yang

memiliki sifat kemagnetan yang tinggi (Ningsih, 2020). Dalam studi lingkungan keberadaan mineral magnetik pada sedimen atau tanah berhubungan dengan unsur logam berat. Berdasarkan hal ini, sifat magnetik dapat digunakan sebagai indikator keberadaan unsur logam berat pada endapan atau sedimen (Zulaikah, 2015), karena logam berat mempengaruhi sifat mineral magnetik. Pada sedimen Danau Maninjau belum diketahui karakteristik mineral magnetik. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian karakteristik mineral melalui kandungan logam berat pada sampel.

Pengambilan sampel sedimen Danau Maninjau telah dilakukan pada tahun 2018 oleh *Team SUMATHEPRA*. Sampel sedimen diambil secara vertikal yang tersebar di beberapa titik di area Danau Maninjau. Pada penelitian ini sampel yang dianalisis yaitu MNJ 18-41 B (Maninjau tahun 2018 titik ke 41 B) dengan panjang sampel 440 mm yang terfokus pada dua spesimen yang memiliki nilai suseptibilitas tertinggi dan terendah.

Nilai suseptibilitas mempengaruhi warna pada sampel. Pada sampel MNJ 18-41 B memiliki warna terang dan gelap. Sampel dengan tingkat kehitaman mempunyai sifat magnetik yang tinggi dalam hal nilai suseptibilitas magnetik (Mufit, 2013). Nilai suseptibilitas dipengaruhi oleh unsur yang terkandung pada sampel terutama unsur *Fe* karena unsur *Fe* tergolong ferromagnetik. Semakin tinggi kadar *Fe* maka nilai suseptibilitas akan tinggi. Unsur *Fe* juga tergolong ke dalam logam berat.

Logam berat adalah logam yang mempunyai berat jenis lebih dari 5 gram/cm³ bernomor atom 22 sampai dengan 92 terletak pada periode 4 sampai 7 (Sukmaning, 2008). Martha (2018), unsur-unsur yang tergolong logam berat diantaranya Arsenik

(As), Tembaga (*Cu*), Terbiium (*Tb*), Aluminium (*Al*), Seng (*Zn*), Nikel (*Ni*), Raksa (*Hg*), Kadmium (*Cd*). Logam berat berasal dari berbagai sumber salah satunya dari material letusan gunung api. Penelitian logam berat pada sedimen Danau Maninjau telah dilakukan oleh Yusuf (2011), menentukan kandungan logam berat Besi (*Fe*), Tembaga (*Cu*), Timbal (*Pb*), dan Kadmium (*Cd*) dalam sedimen di sekitar keramba jaring apung di perairan Danau Maninjau. Kandungan logam diukur dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Hasil yang didapatkan kandungan *Fe* yang paling dominan yaitu berkisar diantara 772,77 – 946,78 mg/kg.

Batuan asal sedimen Danau Maninjau dapat diidentifikasi melalui kandungan oksida SiO_2 dan K_2O yang diplot kedalam diagram Total Alkali Silika (TAS). (Peccherillo, 1976) mengelompokkan batuan asal magma berdasarkan kandungan *Potassium* (K_2O) dan *Silica* (SiO_2) menjadi empat golongan yaitu golongan *Tholeiite*, golongan *Calc-Alkaline*, golongan *High K Calc-Alkaline* dan golongan *Shoshonite*. (Wahyudiono, 2017) menggunakan diagram TAS untuk menentukan karakteristik batuan asal gunung api Oligosen Akhir – Miosen di daerah Gunung Muro yang didapatkan hasil seri magma *Calc-Alkaline*. Untuk mendapatkan kandungan oksida SiO_2 dan K_2O dapat ditentukan menggunakan metoda *X-Ray Fluorescence*.

Metoda *X-Ray Fluorescence* (XRF) telah banyak digunakan oleh peneliti lain. (Ningsih, 2019) mengidentifikasi unsur-unsur pembentuk mineral magnetik pada lahan gambut di daerah Alahan Panjang Kab. Solok, Sumatera Barat. (Rusli & Hamdi, 2014) mengetahui kaitan komposisi unsur dasar penyusun mineral magnetik dengan nilai suseptibilitas pada Guano dari Bau-Bau Kalimantan Timur. (Sumari, 2020) menganalisis kandungan mineral pasir Pantai Bajul Mati Kabupaten

Malang. Pada penelitian ini metoda XRF digunakan untuk identifikasi kandungan unsur logam berat pada sedimen Danau Maninjau MNJ 18-41 B spesimen 148 mm dan 376 mm.

Kajian keberadaan mineral magnetik pada sedimen danau merupakan bagian dari penelitian tentang *Fingerprinting Volcanic Eruption Activities From the Magnetic Properties of Sediments*. Penelitian ini melihat komposisi unsur dan kandungan logam berat berat pada sedimen Danau Maninjau. Berdasarkan penelitian sebelumnya belum diketahui semua jenis unsur logam berat yang terkandung pada sedimen Danau Maninjau. Oleh karena itu perlu dilakukan Identifikasi unsur logam berat sedimen Danau Maninjau menggunakan *X-Ray Fluorescence*.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka identifikasi masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Belum diketahuinya kandungan unsur mineral pada sedimen Danau Maninjau.
2. Belum diketahui semua jenis unsur logam berat yang terkandung pada sedimen Danau Maninjau, penelitian yang sudah dilakukan hanya mengetahui beberapa jenis unsur logam berat saja.
3. Belum diketahui asal logam berat yang terkandung pada sedimen Danau Maninjau.

C. Batasan Masalah

Mengingat luasnya cakupan penelitian, batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sampel diambil satu titik yang berada pada koordinat $0^{\circ}18'20.20''$ LS– $100^{\circ}12'31.36''$ BT dengan kode sampel MNJ 18-41B.
2. Spesimen dianalisis pada dua titik yaitu spesimen yang memiliki nilai suseptibilitas rendah dan tinggi pada kedalaman 148 mm dan 376 mm.
3. Unsur yang dianalisis yaitu unsur pembentuk mineral magnetik, unsur logam berat, unsur abu vulkanik dan kandungan oksida pada sedimen Danau Maninjau.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat dirumuskan masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Apakah jenis logam berat yang terkandung pada sedimen Danau Maninjau MNJ 18-41 B spesimen 148 mm dan 376 mm.
2. Apakah dapat diketahui asal logam berat yang terkandung pada sedimen Danau Maninjau MNJ 18-41 B spesimen 148 mm dan 376 mm.

E. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui:

1. Mengetahui jenis logam berat yang terkandung pada sedimen Danau Maninjau MNJ 18-41 B spesimen 148 mm dan 376 mm.
2. Mengetahui asal logam berat yang terkandung pada sedimen Danau Maninjau MNJ 18-41 B spesimen 148 mm dan 376 mm.

F. Manfaat Penelitian

Dari penelitian yang dilakukan ini diharapkan dapat memberikan manfaat diantaranya:

1. Memberikan informasi mengenai unsur-unsur pembentuk mineral magnetik yang ada pada sedimen Danau Maninjau.
2. Memberikan informasi tentang unsur-unsur logam berat yang ada sedimen Danau Maninjau
3. Memberikan informasi tentang unsur-unsur abu vulkanik yang terdapat pada sedimen Danau Maninjau.
4. Merupakan salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi Strata-1 Program Studi Fisika di FMIPA, Universitas Negeri Padang serta pemahaman dan wawasan penulis mengenai penggunaan XRF.

BAB II

KERANGKA TEORITIS

A. Danau Vulkanik

Danau di Indonesia menurut pembentukannya terbagi menjadi beberapa jenis diantaranya adalah danau asal vulkanik, tektonik, paparan banjir, dan danau *oxbow*. Danau vulkanik terbentuk dari runtuhnya dinding kaldera (*caldera collapse*) dan letusan besar (erupsi eksplosif) yang dapat memindahkan material di dalam pusat erupsi dengan kuantitas yang besar (Nichols, 2009). Letusan gunung api terbentuk karena respon dari proses tektonik regional seperti subduksi (*subduction*) dan zona pemekaran (*rifting zone*). Pulau Sumatera memiliki sistem sesar utama berupa sistem sesar geser menganan (*strike slip dextral fault system*), pada kala kuartar (0,01-1,8 juta tahun yang lalu) sesar ini yang mengakibatkan adanya aktivitas vulkanisme di Sumatera dimana terobosan magma keluar di sepanjang sesar atau patahan. Terdapat empat endapan piroklastik utama yang berumur Pliosen sampai Kuartar (0,01-5,3 juta tahun yang lalu) yang diketahui di Pulau Sumatera yaitu Lampung *tuff* dan Ranau *tuff* selatan Sumatera, Padang *tuff* tengah Sumatera, dan Toba *tuff* utara Sumatera. Tiga dari deposit endapan tersebut dihasilkan dari erupsi besar yang membentuk kaldera dan saat ini menjadi danau-danau utama di Sumatera, yaitu Danau Ranau, Danau Maninjau, Danau Toba.

Proses pembentukan danau vulkanik terbagi menjadi tiga fase (Cohen, 2003) yaitu:

- 1) Kaldera gunung api runtuh karena erupsi yang besar, kaldera tersebut akan menggambarkan morfologi rekahan cincin dan menjadi pusat dari deposisi sedimen berikutnya.

- 2) Sedimen *subaerial*, longsor, dan *debris fans* terakumulasi didalam lantai dan tepi kaldera merupakan awal untuk pembentukan formasi danau, proses ini merupakan pengisian didalam kaldera.
- 3) Pengisian sedimen danau terbentuk saat vulkanisme kembali aktif dan erupsi, menghasilkan tingkat sedimentasi yang lebih tinggi. Saat proses pengisian sedimen dinding kaldera akan mengalami erosi, menyebabkan danau menjadi lebih luas serta tepian danau menjadi lebih dangkal, apabila erupsi terhenti, proses sedimentasi akan didominasi oleh endapan sedimen turbidit.

Secara umum danau kaldera terdiri dari *crater rim* yaitu dinding kawah sebagai penutup danau dan *crater sediments* yaitu endapan sedimen hasil rombakan batuan sekitar sebagai dasar danau.

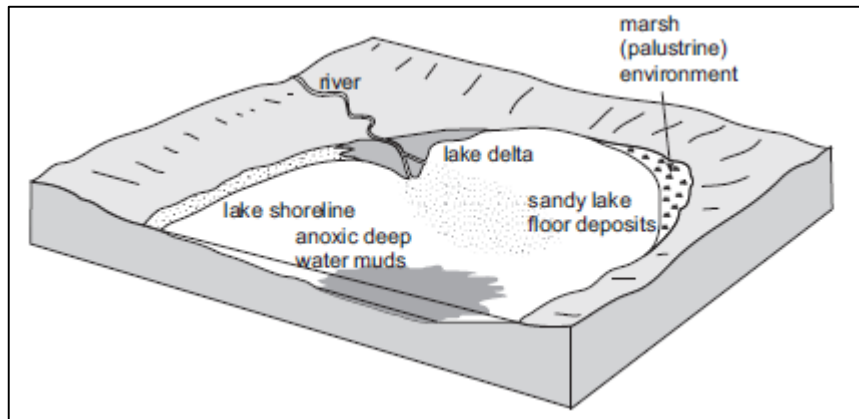
B. Danau Maninjau

Danau Maninjau terletak di Kecamatan Tanjung Raya, Kabupaten Agam, Provinsi Sumatera Barat dengan letak geografis 0°19'LU dan 100°12'BT. Danau ini terletak sekitar 140 km sebelah utara Kota Padang. Danau Maninjau tergolong tipe danau vulkanik berupa danau kaldera. Diperkirakan danau ini mulai terbentuk sekitar 60.000 tahun lalu, ketika gunung api Maninjau Purba meletus dengan dahsyat. Letusannya menyemburkan 220-250 km³ material vulkanik yang tersebar hingga 75 km dari pusat letusan. Gunung api Maninjau yang berkembang di zona sesar besar Sumatera diperkirakan tiga kali meletus besar. Masing-masing letusan membentuk kaldera yang

Sedimen merupakan pecahan mineral atau material organik yang mengalami proses transportasi dari berbagai sumber dan diendapkan oleh medium (Nurseha, 2016). Sedimen dapat berbentuk padat maupun lunak (*unconsolidated sediment*) (Haris, 2010). Sedimen terbentuk melalui proses sedimentasi. Sedimentasi merupakan suatu proses pengendapan padatan dalam cairan karena adanya gaya gravitasi (Roessiana, 2014). Sedimen yang terdapat pada danau mengandung mineral-mineral magnetik yang berbeda tergantung dari media yang diendapkan. Menurut Nurseha (2016) terdapat tiga sumber utama mineral dalam sedimen dalam danau, yaitu :

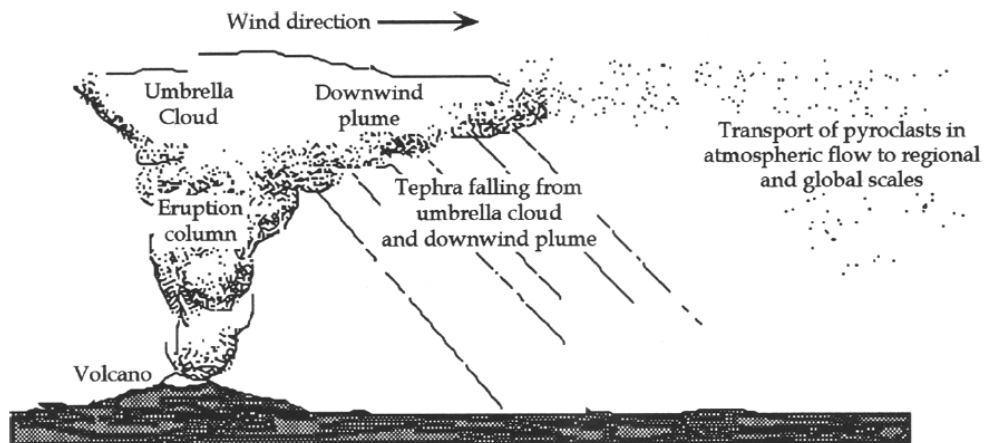
1. Mineral detrital dari tangkapan yang diangkut ke danau dari aliran sungai.
2. Deposisi debu dari atmosfer (abu vulkanik).
3. Mineral langsung dari danau (berhubungan mineral authigenik), pembentukan mineral authigenik mencerminkan proses biogeokimia yang terjadi di tampungan.

Menurut Nichols (2009) fasies lingkungan pengendapan pada danau terbagi atas dua yakni pengendapan klastik pada batas danau (*lake margin clastic deposit*) dan fasies danau dalam (*deep lake facies*). Pada bagian batas danau terjadi pengendapan sedimen klastik. Sedimen yang terendapkan di batas danau biasanya berasal dari sedimen yang mengalami proses transportasi dari aliran sungai dan mengendap di muara sungai pada danau. Pada bagian danau yang lebih dalam, pengendapan sedimen berlangsung dengan penyebaran sedimen suspensi dan transportasi oleh arus densitas. Endapan dari sedimen suspensi membentuk lapisan tipis atau laminasi lumpur (*mud*) yang juga akan bercampur dengan material lain didalam danau. Proses pengendapan sedimen pada danau dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Distribusi *Fasies* pada Lingkungan Danau (Nichols, 2009)

Pada Gambar 2 terlihat bahwa sedimen yang berada pada dasar danau merupakan akumulasi dari berbagai sumber, seperti berasal dari aliran sungai. Material yang berada pada dasar danau juga dapat berasal dari aktivitas vulkanik, seperti dari abu vulkanik yang dibawa oleh angin, kemudian terendapkan di dasar sungai. Material vulkanik atau tephra mengalami proses transportasi ke berbagai tempat seperti Gambar 3.



Gambar 3. Skema Penyebaran *Tephra* (Bursik, 2015)

Pada Gambar 3 dapat dilihat proses penyebaran *Tephra*. Material vulkanik yang berasal dari letusan gunung api mengandung unsur utama seperti Aluminium (Al),

Silika (*Si*), dan Besi (*Fe*) dan unsur lainnya seperti Magnesium (*Mg*), Natrium (*Na*), dan Titanium (*Ti*) (Wahyuni, 2012). Unsur-unsur inilah yang akan membentuk mineral pada sedimen danau.

D. Logam berat

Logam berat adalah logam yang mempunyai berat jenis lebih dari 5 gram/cm³ bernomor atom 22 sampai dengan 92 terletak pada periode 4 sampai 7 (Sukmaning, 2008). Martha (2018) unsur-unsur yang tergolong logam berat diantaranya *As, Cu, Tb, Al, Zn, Ni, Hg, Cd*. Logam berat berasal dari berbagai sumber salah satunya dari material letusan gunung api. Logam berat mempunyai sifat yang mudah mengikat bahan organik, mengendap di dasar perairan dan bersatu dengan sedimen sehingga kadar logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan dalam air (Harahap, 2007).

1. Ciri dan Sifat Logam Berat

Menurut Palar (2012), secara umum logam berat memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

- a. Memiliki kemampuan yang baik sebagai penghantar daya listrik (konduktor).
- b. Memiliki rapat massa yang tinggi.
- c. Dapat membentuk alloy dengan logam lainnya.
- d. Untuk logam yang padat dapat ditempa dan dibentuk.

2. Adapun menurut Sutamihardja (1982), logam berat memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

- a. Sulit didegradasi, sehingga mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan dan keberadaannya secara alami sulit terurai (dihilangkan).

- b. Dapat terakumulasi dalam organisme termasuk kerang dan ikan, dan akan membahayakan kesehatan manusia yang mengkonsumsi organisme tersebut.
- c. Mudah terakumulasi di sedimen, sehingga konsentrasinya selalu lebih tinggi dari konsentrasi logam dalam air. Disamping itu sedimen mudah tersuspensi karena pergerakan masa air yang akan melarutkan kembali logam yang dikandungnya ke dalam air, sehingga sedimen menjadi sumber pencemar potensial dalam skala waktu tertentu.

3. Jenis-jenis Logam Berat.

Berdasarkan sifat racunnya, logam berat dibagi menjadi empat golongan, yaitu sebagai berikut:

- a. Sangat beracun, dapat mengakibatkan kematian ataupun gangguan kesehatan yang pulih dalam waktu yang singkat, logam-logam tersebut antara lain: *Hg, Pb, Cd, Cr, As*.
- b. Moderat, yaitu mengakibatkan gangguan kesehatan baik yang pulih maupun tidak dalam waktu yang relatif lama, logam-logam tersebut antara lain: *Ba, Be, Cu, Au, Li, Mn, Se, Te, Co*, dan *Rb*.
- c. Kurang beracun, logam ini dalam jumlah besar menimbulkan gangguan kesehatan, logam-logam tersebut antara lain: *Al, Bi, Co, Fe, Ca, Mg, Ni, K, Ag, Ti*, dan *Zn*.
- d. Tidak beracun, yaitu tidak menimbulkan gangguan kesehatan. Logam-logam tersebut antara lain: *Na, Al, Sr*, dan *Ca*.

4. Berikut ini adalah beberapa jenis unsur logam berat

a. Timbal (*Pb*)

Timbal atau timah hitam memiliki nama ilmiah yaitu plumbum. Timbal mempunyai nomor atom 82 dengan berat atom 207,2 g/mol, merupakan logam lunak yang memiliki massa jenis 11,34 g/cm³. Timbal banyak digunakan sebagai pelarut di dalam cat, baterai dan bensin. Timbal merupakan racun sistemik yang dapat masuk ke dalam tubuh setiap hari melalui makanan, air, udara dan penghirupan asap tembakau. Efek dari keracunan timbal dapat menyebabkan kerusakan pada otak dan penyakit-penyakit yang berhubungan dengan otak.

b. Kadmium (*Cd*)

Kadmium (*Cd*) adalah logam berwarna putih perak, lunak, mengkilap tidak larut dalam basa, mudah bereaksi, serta menghasilkan kadmium oksida bila dipanaskan. Kadmium umumnya terdapat dalam kombinasi dengan klor atau belerang. Kadmium memiliki nomor atom 40 dengan berat atom 112,4 g/mol, bersifat lentur, tahan terhadap tekanan, serta dapat dimanfaatkan sebagai pencampur logam lain seperti Nikel (*Ni*), Emas (*Au*), Tembaga (*Cu*), dan Besi (*Fe*). Kadmium adalah logam berat yang dapat menyebabkan pencemaran dan berbahaya bagi manusia.

c. Tembaga (*Cu*)

Tembaga adalah logam yang mempunyai bentuk kristal kubik, secara fisik berwarna kuning dan apabila dilihat dengan menggunakan mikroskop, bijih Tembaga akan berwarna merah muda kecoklatan sampai keabuan. Dalam tabel periodik unsur-

unsur kimia Tembaga menempati posisi dengan nomor atom 29 dan mempunyai bobot atom 63,546 g/mol. Senyawa-senyawa Tembaga yang berasal dari senyawa Tembaga (I) Oksida (Cu_2O) yang berwarna merah, mudah dioksidasi menjadi senyawa Tembaga (II) (CuO) yang berwarna hitam. Tembaga umumnya berwarna biru, baik dalam bentuk hidrat, padat, maupun dalam larutan air.

d. Khromium (Cr)

Khromium (Cr) adalah metal kelabu yang keras. Khromium terdapat pada industri gelas, metal, fotografi, dan elektroplating. Dalam bidang industri, Khromium diperlukan dalam dua bentuk, yaitu Khromium murni dan aliasi besi-besi Khromium yang disebut ferokromium sedangkan logam Khromium murni belum ditemukan di alam. Sebagai logam berat, Khrom termasuk logam yang mempunyai daya racun tinggi. Daya racun yang dimiliki oleh Khrom ditentukan oleh valensi ionnya. Logam Cr^{6+} merupakan bentuk yang paling banyak dipelajari sifat racunnya dikarenakan Cr^{6+} merupakan toxic yang sangat kuat dan dapat mengakibatkan terjadinya keracunan akut dan keracunan kronis.

e. Merkuri (Hg)

Merkuri adalah logam berat berbentuk cair, berwarna putih perak, serta mudah menguap pada suhu ruangan. Merkuri memiliki nomor atom 80, berat atom 200,59 g/molHg dan memadat pada tekanan 7.640 Atm. Merkuri dapat larut dalam asam sulfat atau asam nitrit, tetapi tahan terhadap basa. Merkuri merupakan elemen alami sehingga mudah mencemari lingkungan. Merkuri banyak ditemukan di alam terdapat dalam bentuk gabungan dengan elemen lainnya, dan jarang ditemukan dalam bentuk elemen

terpisah. Komponen merkuri banyak tersebar di karang-karang, tanah, udara, air, dan organisme hidup melalui proses-proses fisik, kimia dan biologi yang kompleks.

f. Seng (*Zn*)

Seng adalah metal berkilauan (*bluish-white*), merupakan logam seperti perak yang banyak digunakan dalam industri baja. Seng banyak digunakan pada industri *alloy*, keramik, pigmen, karet, dan lain-lain. Toksisitas *Zn* pada hakekatnya rendah. Tubuh memerlukan *Zn* untuk proses metabolisme, tetapi dalam kadar tinggi dapat bersifat racun. Seng menyebabkan warna air menjadi opalescent, dan bila dimasak akan timbul endapan seperti pasir.

E. Mineral magnetik

1. Pengertian Mineral Magnetik

Mineral adalah senyawa alami yang terbentuk melalui proses geologis. Menurut Noor (2012) mineral merupakan bahan padat anorganik yang terdapat secara alamiah, yang terdiri dari unsur-unsur kimiawi dalam jumlah tertentu, dimana atom-atom di dalamnya tersusun mengikuti suatu pola yang sistematis. Beberapa batuan terbentuk dari berbagai jenis mineral yang ada. Mineral juga dapat ditemukan pada tanah ataupun pasir. Menurut Ibrahim (2012) mineral sebagai penyusun utama batuan memiliki karakteristik yang khas dari bentuk kristal dan susunan kimianya. Semakin kompleks susunan kimianya maka bentuk kristal yang dihasilkan dari konfigurasi atom-atom penyusunnya juga semakin rumit. Kandungan senyawa kimia suatu mineral sangat ditentukan oleh materi penyusunnya dan proses pembentukannya.

2. Macam-macam 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, 2002). Mineral magnetik ini memiliki sifat, jenis dan morfologi yang beragam yang bergantung pada sumbernya.

Dari segi kuantitas, kelimpahan mineral magnetik pada batuan dan tanah sangat kecil. Umumnya, kuantitas mineral magnetik hanya sekitar 0,1% dari massa total batuan atau tanah. Namun demikian, sifat magnetik batuan terkadang cukup rumit karena batuan atau tanah dapat mempunyai beberapa mineral magnetik secara sekaligus.

Secara umum, mineral magnetik dapat dikelompokkan menjadi diamagnetik, paramagnetik dan feromagnetik, termasuk ferimagnetik dan anti-feromagnetik. Namun demikian, istilah mineral magnetik, umumnya sering dikonotasikan dari kelompok oksida besi. Contoh mineral magnetik yang termasuk keluarga besi titanium oksida antara lain *magnetite* (Fe_3O_4), *hematite* atau karat (Fe_2O_3) dan *maghemite* (Fe_2O_3).

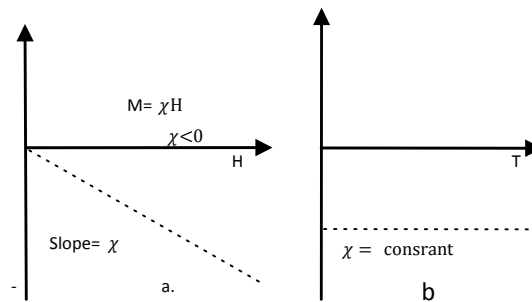
Contoh mineral magnetik besi dari kelompok sulfida besi, antara lain *pyrite* (FeS_2) dan *pyrrhotite* (Fe_7S_8), sementara yang tergolong hidroksida besi antara lain *goethite* ($\alpha FeOOH$). Mineral *goethite* ($FeOOH$) banyak terdapat di daerah lembab. Mineral ini juga dapat dihasilkan dari proses alterasi dari mineral *pyrite* (FeS_2) pada batu gamping. Mineral magnetik juga dapat dihasilkan dari proses aktivitas organisme biologi, contohnya adalah bakteri magnetotaktik. Proses aktivitas bakteri ini menghasilkan mineral *magnetite* berbentuk unik. *Magnetite* yang dihasilkan dari proses

aktivitas bakteri ini berperan penting dalam perolehan magnetisasi pada sedimen marin.

Berbagai bahan di alam terdiri dari bermacam-macam mineral magnetik yang dapat dikelompokkan ke dalam diamagnetik, paramagnetik dan ferromagnetik.

a) Diamagnetik

Sifat diamagnetik dimiliki oleh semua bahan, meskipun sifat ini sangat lemah. Semua benda memiliki sifat diamagnetik disebabkan karena adanya interaksi medan magnet yang terjadi dan pergerakan elektron mengelilingi inti. Suseptibilitas magnetik (χ) untuk bahan diamagnetik tidak bergantung pada temperatur. Diamagnetik memiliki suseptibilitas magnetik (χ) kecil dan negatif ($\chi \approx -10^{-6}$). Respon diamagnetik terhadap medan magnet yang dilewatkan padanya akan menghasilkan induksi magnetik yang kecil dan melawan arah medan magnet yang digunakan. Magnetisasinya sebanding dengan medan magnet (H) yang digunakan. Grafik magnetisasi dapat dilihat pada Gambar 4.

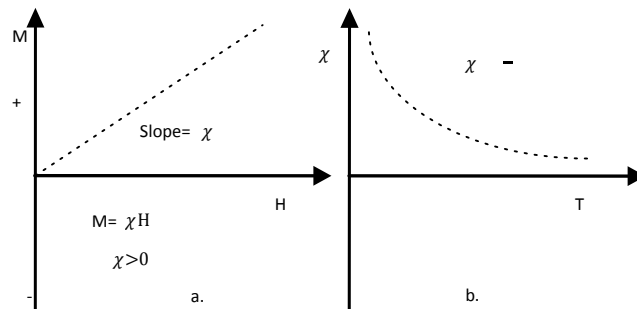


Gambar 4. a) Grafik Magnetisasi (M) Terhadap Medan Magnet (H) yang Diberikan dan ($\chi < 0$) b) Suseptibilitas χ Tidak Tergantung pada Temperatur (T) untuk Bahan Diamagnetik (Jiles, 1996).

Pada Gambar 4 dapat dilihat Magnetisasi tersebut akan berkurang atau nol jika medan magnet (H) dihilangkan. Contoh bahan yang bersifat diamagnetik adalah *Quartz* (SiO_2).

b) Paramagnetik

Paramagnetik mempunyai suseptibilitas magnetik (χ) tergantung pada temperatur. Paramagnetik memiliki suseptibilitas magnetik (χ) kecil dan positif ($\chi \approx 10^{-3}$ sampai 10^{-5}). Sifat material ini dapat memperoleh magnetisasi hanya dari induksi medan magnet eksternal. Garfik magnetisasi benda yang bersifat paramagnetik dapat dilihat pada Gambar 5.

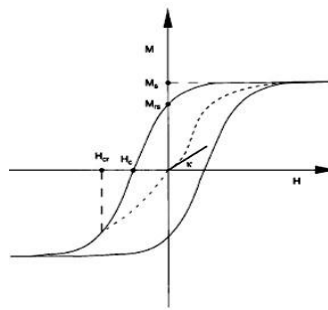


Gambar 5. a) Grafik Magnetisasi (M) Terhadap Medan Magnet (H) yang Diberikan dan ($\chi > 0$), b) Suseptibilitas χ Tergantung pada Temperatur (T) pada Bahan Paramagnetik (Jiles, 1996).

Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa magnetisasinya memiliki arah yang sama dengan medan magnet induksi. Paramagnetik menghasilkan induksi magnetik yang sejajar dengan medan magnet (H) yang digunakan.

c) Ferromagnetik

Bahan ferromagnetik memiliki nilai suseptibilitas magnetik (χ) positif dan besar ($\chi \approx 50$ sampai 10.000). Ferromagnetik merupakan kelompok bahan yang termagnetisasi secara spontan meskipun tidak diberikan medan magnetik. Bahan ferromagnetik akan kehilangan sifat menjadi paramagnetik apabila dipanaskan di atas temperature *Curie*. Meskipun medan magnetnya dihilangkan, bahan ini masih menyimpan remanen magnetik. Karakteristik seperti inilah yang membuat bahan ferromagnetik mempunyai kemampuan merekam medan magnet purba.



Gambar 6. Kurva Histerisis (Jiles, 1996).

Gambar 6 memperlihatkan apabila sebuah bahan diberikan medan magnet, maka akan diperoleh magnetisasi saturasi (M_s) yaitu magnetisasi menjadi konstan walaupun medan magnet ditambahkan terus menerus sedangkan jika medan magnet dikurangi hingga mencapai nol, didapatkan bahwa magnetisasinya berada pada saturasi remanen (M_{Rs}) dan tidak kembali ke nol. Jika diberikan medan magnet pada arah yang berlawanan, maka pada titik tertentu diperoleh induksi magnetiknya menjadi nol. Medan pada titik ini disebut koersivitas (H_c) yaitu gaya yang dimiliki oleh bulir-bulir mineral yang terdapat di dalam bahan untuk mempertahankan momen-momen magnetiknya dari pengaruh medan luar. Karakteristik yang lain adalah koersivitas

remanen, yang terjadi jika medan diberikan dan kemudian dihilangkan sehingga saturasi remanen akan berkurang menjadi nol.

Tabel 1. Suseptibilitas Magnetik dari berbagai mineral.

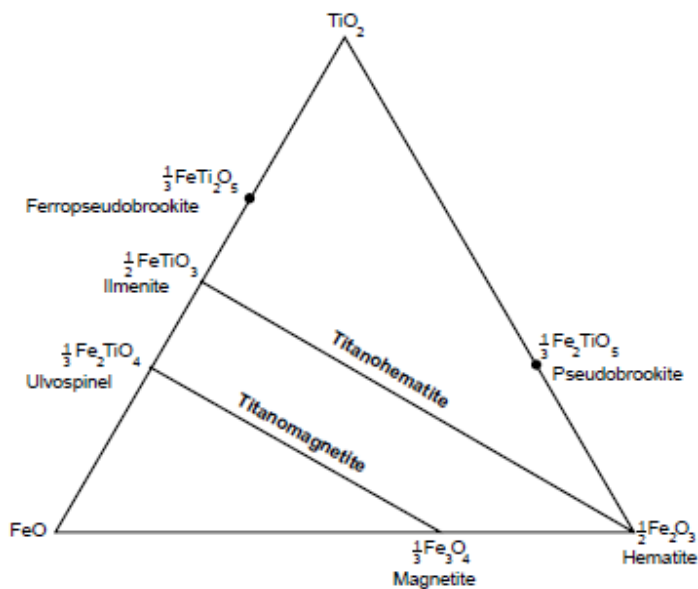
Tipe Mineral		Sifat Kemagnetan	Suseptibilitas Magnetik		
			Suseptibilitas Magnetik Volume ($\times 10^{-6}$ SI)	Massa ($\times 10^{-8}$ m ³ /kg)	
Mineral	Magnetik		1.000.000-5.700.000	20.000-110.000	
<i>Magnetite</i> (Fe_2O_4)		Ferrimagnetik			
<i>Hematite</i> (Fe_2O_3)		Antiferromagnetik	500-40.000	10-760	
<i>Maghemite</i> (Fe_2O_3)		Ferrimagnetik	2.000.000-2.500.000.	40.000-50.000	
<i>Ilmenite</i> ($\alpha FeTiO_3$)		Antiferromagnetik			
<i>Pyrite</i> (FeS_2)		Antiferromagnetik	2.200-3.800.000.	46-80.000	
<i>Pyrrhotite</i> (Fe_7S_8)		Ferimagnetik	35-5.000.	1-100	
<i>Geothite</i> ($\alpha FeOOH$)		Antiferromagnetik	1.100-12.000.	26-280	
Mineral Non Magnetik			-(13-17)	-(0,5-0,6)	
Kuarsa (SiO_2)	Kalsit		-(7,5-39)	-(0,3-1,4)	-
($CaCO_3$)	<i>Halite</i> ($NaCl$)		-(10-16)	(0,480,75)	
<i>Galena</i> (PbS)			-33	-0,44	

(Bijaksana, 2002).

Tabel 1 menunjukan nilai suseptibilitas magnetik untuk setiap bahan berbeda-beda, hal ini bergantung dengan jenis bahan. Suseptibilitas magnetik ini akan menentukan sifat magnetik pada setiap bahan. Nilai suseptibilitas pada batuan semakin besar

apabila dalam batuan semakin banyak dijumpai mineral-mineral yang bersifat magnetik. Berdasarkan harga suseptibilitas benda-benda magnetik dapat digolongkan menjadi diamagnetik, paramagnetik, ferromagnetik, antiferomagnetik, dan ferromagnetik.

Keluarga oksida titanium merupakan mineral magnetik bumi yang penting karena dianggap sebagai mineral magnetik yang paling dominan. Keluarga oksida ini digambarkan melalui diagram segitiga (*ternary diagram*) TiO_2 - FeO - Fe_2O_3 seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram Ternary TiO_2 - FeO - Fe_2O_3 (Butler, 1998).

Diagram di atas merupakan proses terbentuknya oksida besi-titanium serta komposisi kimia mineral oksida dengan sudut terdiri dari TiO_2 , FeO dan Fe_2O_3 . Posisi dari kiri ke kanan menunjukkan peningkatan rasio besi Fe^{3+} dan rasio besi Fe^{2+} . Posisi dari bawah ke atas mengindikasikan peningkatan konten Ti^{4+} terhadap besi. Pada puncak segitiga hanya ditemukan Ti^{4+} saja, pada ujung sebelah kiri terdapat *ferrous*

oxide (FeO) dengan bilangan oksidasi yaitu Fe^{2+} , sementara pada ujung sebelah kanan terdapat *ferric oxide* (Fe_2O_3) dengan bilangan oksida Fe^{3+} . Keluarga oksida titanium besi mempunyai kecenderungan mengikuti deret-deret tertentu dalam bentuk deret *titanomagnetite* dan deret *titanohematite* (Butler, 1998).

1. Kelompok Oksida Besi

Ada beberapa mineral magnetik yang merupakan kelompok oksida besi, diantaranya yaitu:

a. *Magnetite* (Fe_3O_4)

Magnetite merupakan salah satu mineral magnetik yang dapat dijumpai pada batuan beku, sedimen dan metamorf. *Magnetite* dapat merekam *NRM* yang stabil dan merupakan mineral magnetik yang kuat (Butler, 1998). *Magnetite* memiliki struktur berbentuk oktahedral, berwarna hitam gelap dengan permukaan kebiru-biruan. Batuannya sangat berat dan keras, tidak terbelah, tidak tembus cahaya dan menunjukkan kilauan logam. *Magnetite* bersifat ferrimagnetik dengan temperatur *Curie* 580 °C dan magnetisasi 90 Am²/kg sampai 93 Am²/kg. Jenis *Magnetite* dapat dilihat dari butiran yang berupa oksida besi (Butler, 1998).

b. *Hematite* (α - Fe_2O_3)

Hematite tersebar luas di sekitar alam terutama pada tanah dan sedimen. Termasuk dalam deret Mineral *Hematite* bersifat ferromagnetik dengan magnetisasi 2.5 Am²/kg dan temperatur *Curie* 675 °C (Evans, 2003). *Hematite* memiliki sifat tidak tembus cahaya, mempunyai struktur heksagonal, mempunyai lapisan merah gelap dan dapat meleleh apabila dipanaskan dalam larutan asam hidrolik. Pada umumnya

hematite berbentuk masif, massanya berisi butir-butiran, permukaannya berwarna-warni dan warna batuan merah kecoklatan.

c. *Maghemite* ($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$)

Mineral *Maghemite* diidentikan memiliki rumus kimia yang sama dengan *Hematite* karena kedua jenis mineral ini mirip dan terletak di posisi yang sama pada diagram *ternary*, tidak memiliki bentuk magnetik atau susunan kristal yang sama. *Maghemite* teroksidasi penuh dari *magnetite*, mempunyai struktur kristal kubus dan banyak ditemukan pada tanah (Evans, 2003). Temperatur *Curie* sekitar $\sim 600^\circ\text{C}$ dan magnetisasi saturasi sebesar $70\text{--}80 \text{ Am}^2/\text{kg}$ (Hunt, 1995).

d. *Ilmenite* (FeTiO_3)

Ilmenite merupakan mineral magnetik yang bersifat anisotropi dengan mempunyai sifat fisik yang berbeda-beda jika dilihat pada semua keadaan. *Ilmenite* pada umumnya tersebar banyak pada batuan dan pasir dan memiliki bentuk kristal yang sama dengan *Hematite* yaitu berbentuk heksagonal. Mineral ini bersifat antiferromagnetik dengan suhu currie sekitar 233°C (Hunt, 1995).

2. Kelompok Besi Sulfida

a. *Greigite* (Fe_3S_4)

Salah satu mineral yang termasuk kedalam kelompok besi sulfida adalah *Greigite* (Fe_3S_4). *Greigite* merupakan mineral sulfida besi yang ekuivalen dengan *magnetite*. Mineral ini memiliki struktur mineral kubus dan bersifat ferrimagnetik. *Greigite* umumnya ditemukan dalam sedimen *lacustrine* dan *marine* (Evans, 2003). *Greigite* mempunyai magnetisasi saturasi sebesar $\sim 25 \text{ Am}^2/\text{kg}$ dan suhu currie 333°C (Hunt, 1995).

b. *Pyrrhotite* (Fe_7S_8)

Pyrrhotite (Fe_7S_8) merupakan mineral yang bersifat ferrimagnetik memiliki temperatur *currie* sebesar $320^{\circ}C$ dan memiliki magnetisasi saturasi sebesar $20^{\circ}C$ (Hunt, 1995). Mineral ini merupakan perubahan komposisi dari *Greigite*.

3. Kelompok Besi Hidroksida

Salah satu mineral yang termasuk kedalam kelompok besi hidroksida adalah mineral *goethite* ($\alpha FeOOH$). Mineral *goethite* memiliki struktur mineral heksagonal dan bersifat antiferromagnetik. Mineral *goethite* pada umumnya banyak ditemukan pada tanah dan sedimen (Evans, 2003). *Goethite* atau *iron oxyhydroxide* memiliki magnetisasi saturasi sebesar $< 1 \text{ Am}^2/\text{kg}$ dan temperatur *Curie* $\sim 120^{\circ}C$ (Hunt, 1995).

Tabel 2. Sifat Magnetik Beberapa Mineral

Mineral	Formula	Sifat Kemagnetan	Tc' ($^{\circ}C$)	J _a ^b (Am^2/kg)
<i>Magnetite</i>	Fe_3O_4	Ferrimagnetik	575-585	90-92
<i>Hematite</i>	αFe_2O_3	Antiferromagnetik	675	0.4
<i>Maghemite</i>	γFe_2O_3	Ferrimagnetik	600	70-80
<i>Ilmenite</i>	$FeTiO_3$	Antiferromagnetik	233	-
<i>Greigite</i>	Fe_3S_4	Ferrimagnetik	333	25
<i>Pyrrhotite</i>	Fe_7S_8	Ferrimagnetik	320	20
<i>Goethite</i>	$\alpha FeOOH$	Antiferromagnetik	120	< 1

(Sumber: Hunt, 1995)

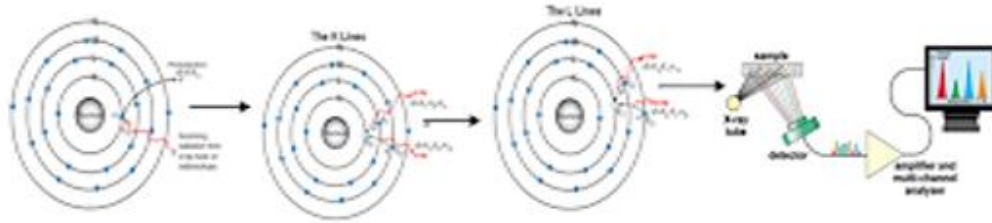
F. XRF (*X-Ray Fluorescence Spectrometry*)

X-Ray Fluorescence (XRF) adalah salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui komposisi secara kimia pada suatu mineral baik berupa bubuk, tanah, cairan maupun bentuk lainnya (Brouwer, 2006). Metode XRF merupakan metode yang cepat karena hanya membutuhkan sedikit dari preparasi sampel. Selain itu metode XRF

bersifat akurat dan tidak merusak. Aplikasi yang dapat diukur dapat berupa logam, semen, minyak, bahan makanan, farmasi, polimer dan analisis yang berhubungan dengan lingkungan. XRF merupakan teknik analisa *non-destruktif* yang digunakan untuk identifikasi serta penentuan konsentrasi elemen yang ada pada padatan, bubuk atau cair. XRF mampu mengukur elemen dari *Berilium (Be)* hingga *Uranium (U)* pada level *trace element*, bahkan dibawah level ppm. Secara umum, XRF spektrometer mengukur panjang gelombang komponen material secara individu dari emisi *flourosensi* yang dihasilkan sampel saat diradiasi dengan sinar-X. XRF bisa digunakan untuk padatan maupun cairan asalkan sesuai dengan standarnya.

XRF dengan menggunakan sinar X dan dipantulkan oleh bahan yang kita ukur. Metode XRF secara luas digunakan untuk menentukan komposisi unsur suatu material. Metode ini dipilih untuk aplikasi di lapangan dan industri untuk kontrol material. Tergantung pada penggunaannya, XRF dapat dihasilkan tidak hanya oleh sinar-X tetapi juga sumber eksitasi primer yang lain seperti partikel alfa, proton atau sumber elektron dengan energi yang tinggi.

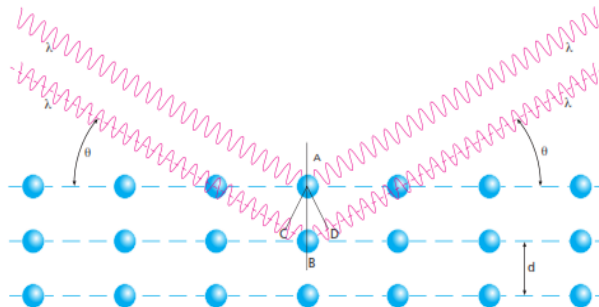
Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan karakteristik sinar-X yang terjadi dari peristiwa efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target (sampel) terkena berkas berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar-X). Bila energi sinar tersebut lebih tinggi dari pada energi ikat elektron dalam orbit K, L, atau M atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitnya. Dengan demikian atom target akan mengalami kekosongan elektron. Kekosongan elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti pelepasan energi yang berupa sinar-X.



Gambar 8. Skema efek fotolistrik pada XRF.

1. Elektron di kulit K terpelantak keluar dari atom akibat dari radiasi sinar X yang datang. Akibatnya, terjadi kekosongan elektron pada orbital.
2. Elektron dari kulit L atau M “turun” untuk mengisi kekosongan tersebut disertai oleh emisi sinar X yang khas dan meninggalkan vakansi lain di kulit L atau M.
3. Saat kekosongan terbentuk di kulit L, elektron dari kulit M atau N “turun” untuk mengisi kekosongan tersebut sambil melepaskan Sinar X.
4. Spektrometri XRF memanfaatkan sinar-X yang dipancarkan oleh bahan yang selanjutnya ditangkap detector untuk dianalisis kandungan unsur dalam bahan.

Identifikasi dengan metode XRF menggunakan teknik difraksi sinar-X.

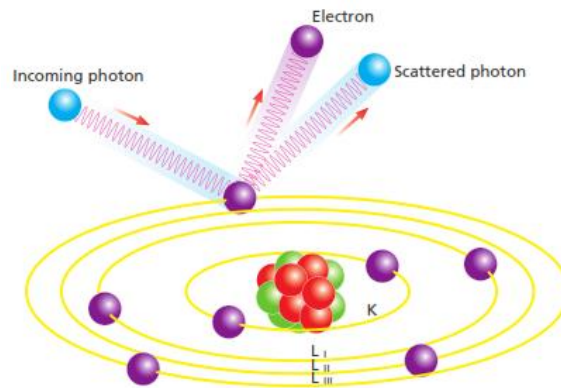


Gambar 9. Proses hamburan sinar-X pada permukaan kristal (Bouwer, 2006)

Gambar 9 memperlihatkan suatu berkas sinar-X dengan panjang gelombang λ jatuh pada kristal dengan sudut θ terhadap bidang Bragg yang memiliki jarak d . Beda jarak jalan sinar harus bernilai $n \lambda$. Perbedaan hamburan kedua sinar itu adalah $2d \sin \theta$ yang mana perbedaan didapat $d \sin \theta$ jarak dari titik C ke titik B dan jarak dari titik B ke titik D dengan menggunakan persamaan Bragg sebagai berikut:

$$n \lambda = 2d \sin \theta \quad (1)$$

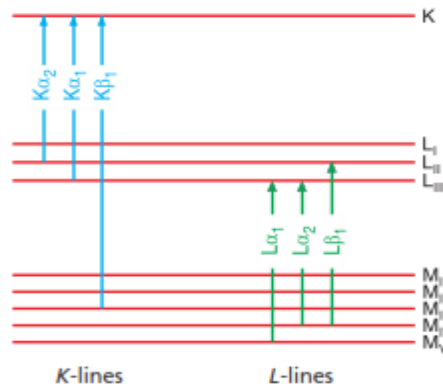
Berdasarkan Persamaan 1 dapat diketahui n adalah orde pembiasan, λ adalah panjang gelombang, d adalah jarak antara dua kisi dan θ adalah sudut sinar datang dengan bidang pantul. Agar sinar-X yang didifraksikan hanyalah sinar-X dengan panjang gelombang tertentu saja maka kristal dan detektor dapat diatur hingga mendapatkan panjang gelombang yang diinginkan. Berkas sinar monokromatik yang jatuh pada sebuah kristal akan dihamburkan ke segala arah, tetapi karena keteraturan letak atom-atom maka pada arah tertentu gelombang hambur tersebut akan berinterferensi (Beiser, 1999).



Gambar 10. Pelepasan elektron (Brouwer, 2006).

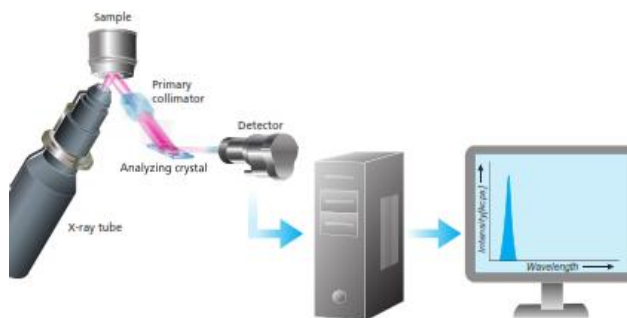
Gambar 10 menunjukkan bahwa transisi elektron pada suatu atom menimbulkan spektrum sinar-X diskrit. Transisi ini mengakibatkan terhambatnya

foton berenergi tinggi. Saat elektron berenergi tinggi menumbuk atom dan melepaskan sebuah elektron kulit K, sebagian besar dari eksitasinya dalam bentuk foton sinar-X. Hal ini terjadi apabila sebuah elektron pada kulit luar jatuh ke dalam kulit K (Beiser, 1987).



Gambar 11. Transisi elektron antar kulit pada atom (Brouwer, 2006).

Gambar 11 menunjukkan deret K dari garis dalam spektrum sinar-X pada sebuah unsur ditimbulkan oleh transisi dari tingkat L, M, sampai ke kulit K. Transisi elektron akan menghasilkan pancaran foton-foton yang berbeda. Foton K α akan dipancarkan pada saat elektron L melakukan transisi ke dalam kulit K. Begitu juga saat transisi elektron dari kulit M ke kulit K akan menghasilkan foton K β .



Gambar 12. Skema kerja alat XRF.

Pada Gambar 12 dapat dilihat skema kerja XRF diawali dengan sinar-X dari tabung pembangkit ditembakkan terhadap sampel dan mengemisikan radiasi ke segala arah. Radiasi dengan arah spesifik dapat mencapai *collimator*, maka pantulan sinar radiasi dari kristal ke detektor akan membentuk sudut θ . Sudut ini akan terbentuk panjang gelombang yang diradiasikan sesuai dengan sudut θ dan sudut 2θ dari kisi kristal oleh detektor. Karakteristik dari intensitas sinar-X yang dihasilkan dibandingkan dengan standar yang diketahui konsentrasinya. Sehingga perbandingan tersebut dapat digunakan untuk mengetahui konsentrasi unsur dalam sampel tersebut. Berdasarkan cara analisisnya, metode XRF memiliki dua jenis spektrometer yaitu:

a. *Energy Dispersive System (EDXRF)*

Spektrometer jenis EDXRF memiliki detektor yang dapat mengukur energi yang berbeda dari radiasi karakteristik yang datang secara langsung dari sampel. Detektor tersebut dapat memisahkan Radiasi dari sampel menjadi unsur-unsur yang terdapat di dalam sampel dan disebut sebagai dispersi. *Range elemental* dari EDXRF mulai dari Sodium sampai Uranium yaitu pada *range* 1-4 eV dan menghasilkan energi sinar-X yang rendah.

b. *Wavelength Dispersive System (WDXRF)*

Spektrometer ini menggunakan menggunakan analisis kristal untuk membubarkan energi yang berbeda. Kristal berperan sebagai pendifraksi energi yang berbeda dalam arah yang berbeda. Prinsip kerja spektrometer ini mirip dengan prisma yang dapat menyebarkan warna yang berbeda pada arah yang berbeda. WDXRF memiliki *range elemental* yang lebih luas dibandingkan dengan EDXRF yaitu mulai dari Berilium sampai Uranium. Unsur dengan nomor atom tinggi memiliki batas

deteksi yang lebih baik dibandingkan dengan unsur yang memiliki nomor atom yang lebih kecil.

G. Afinitas Magma

Afinitas merupakan kecenderungan suatu unsur atau senyawa untuk membentuk ikatan kimia dengan unsur atau senyawa lain. Jadi afinitas magma adalah perubahan komposisi-komposisi kimia magma yang disebabkan oleh faktor - faktor tertentu. Aktivitas afinitas magma berbeda - beda disetiap lingkungan yang dipengaruhi oleh:

- a) Perbedaan lingkungan tektonik.
- b) Kandungan unsur kimia pada batuan sampling.

Peccerillo dan Taylor (1976) mengelompokkan jenis magma berdasarkan kandungan *Potassium* (K_2O) dan *Silica* (SiO_2) menjadi empat golongan (Gambar 13) yaitu:

a) Golongan *Tholeiite*

Memiliki kandungan *potassium* yang sangat rendah. Berdasarkan kandungan silikanya golongan ini dapat dibedakan menjadi empat jenis dengan urutan: *Low K Tholeiite*, *Low K Basaltic Andesitic*, *Low K Andesite*, dan *Low K Dacite*. Semakin ke arah *low K Dacite*, kandungan silikanya semakin besar.

b) Golongan *Calc-Alkaline*

Memiliki kandungan *potasium* yang relatif lebih besar dari golongan *tholeiite*. Berdasarkan kandungan silikanya, golongan ini dapat dibedakan menjadi

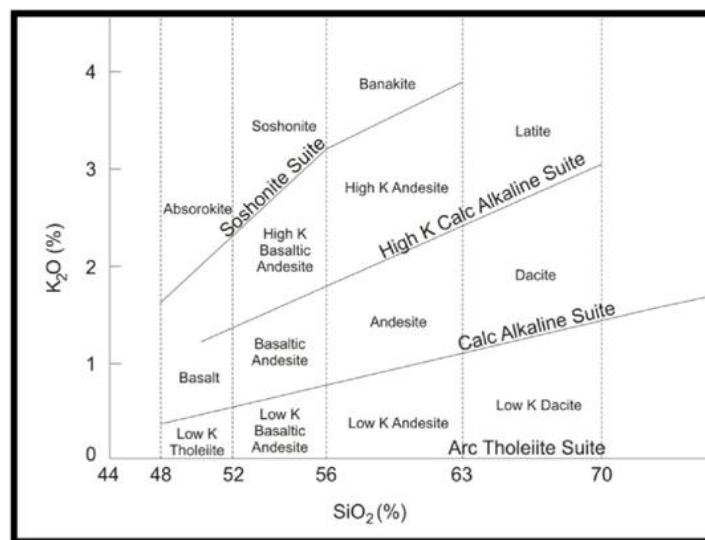
empat jenis dengan urutan: *Basalt*, *Basaltic Andesite*, *Andesite*, dan *Dacite*. Semakin ke arah *Dacite*, kandungan silikanya semakin besar.

c) Golongan *High K Calc-Alkaline*

Memiliki kandungan potassium yang tinggi. Berdasarkan kandungan silikanya, golongan ini dapat dibedakan menjadi tiga jenis dengan urutan: *High K Basaltic Andesite*, *High K Andesite*, dan *Latite*. Semakin ke arah *latite*, kandungan silikanya semakin besar.

d) Golongan *Shoshonite*

Memiliki kandungan potassium yang sangat tinggi. Berdasarkan kandungan silikanya, golongan ini dapat dibedakan menjadi tiga jenis dengan urutan: *absarokite*, *shoshonite*, dan *banakite*. Semakin ke arah *banakite*, kandungan silikanya semakin besar.



Gambar 13. Diagram SiO_2 vs K_2O .

H. Batuan Ultrabasa

Batuan ultrabasa adalah batuan beku yang kandungan silikanya rendah ($< 45\%$), kandungan $MgO > 18\%$, tinggi akan kandungan FeO , rendah akan kandungan kalium dan umumnya kandungan mineral mafiknya lebih dari 90% (Sudarningsih, 2008). Batuan ultrabasa umumnya terdapat sebagai *opiolit*. Kelompok batuan *peridotite* terdiri dari:

1. *Dunite* : terdiri dari *olivine*, dengan sedikit kandungan *enstatite pyroxene* dan *chromite*.
2. *Harzburgite* : terdiri dari *olivine*, *enstatite*, dan sedikit *chromite*.
3. *Lherzolite* : terdiri dari *olivine*, *enstatite*, *diopside*, serta sedikit *chromite* dan atau *pyrope garnet*.
4. *Pyroxenite* : terdiri dari *orthopyroxene* dan atau *clinopyroxene*, dengan sejumlah kecil kandungan *olivine*, *garnet*, dan *spinel*.

I. Penelitian Relevan

Putri (2017) telah menentukan kandungan logam berat dan suseptibilitas magnetik serta hubungan keduanya pada sedimen Sungai Batang Ombilin Kota Sawahlunto. Pengukuran suseptibilitas magnetik menggunakan *Bartington Magnetic Susceptibility Meter* dengan sensor MS2B. Hasil menunjukkan nilai suseptibilitas magnetik sedimen sungai di lokasi penelitian relatif tinggi yaitu berkisar antara $285,71 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg}$

sampai $2664,63 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg}$. Tingginya Nilai suseptibilitas magnetik disebabkan oleh tingginya kandungan Fe_2O_3 (5,11%). Konsentrasi rata-rata logam berat pada sedimen Sungai Batang Ombilin sudah melebihi ambang batas yang ditetapkan, yaitu *Cr* (143 ppm), *Mn* (1897 ppm), *Fe* (96181 ppm), *Ni* (24 ppm), *Cu* (145 ppm), *Zn* (343 ppm), *As* (38 ppm) dan *Pb* (53 ppm). Hal ini mengindikasikan tingginya tingkat pencemaran logam berat pada sedimen Sungai Batang Ombilin. Nilai suseptibilitas magnetik dan kandungan logam berat memiliki nilai korelasi yang cukup rendah dengan koefisien korelasi -0,46. Hal ini menandakan logam berat tidak berkontribusi besar terhadap nilai suseptibilitas magnetik, melainkan ada faktor lain yang berkontribusi seperti keadaan geologi, sedimentasi dan keberadaan mineral magnetik.

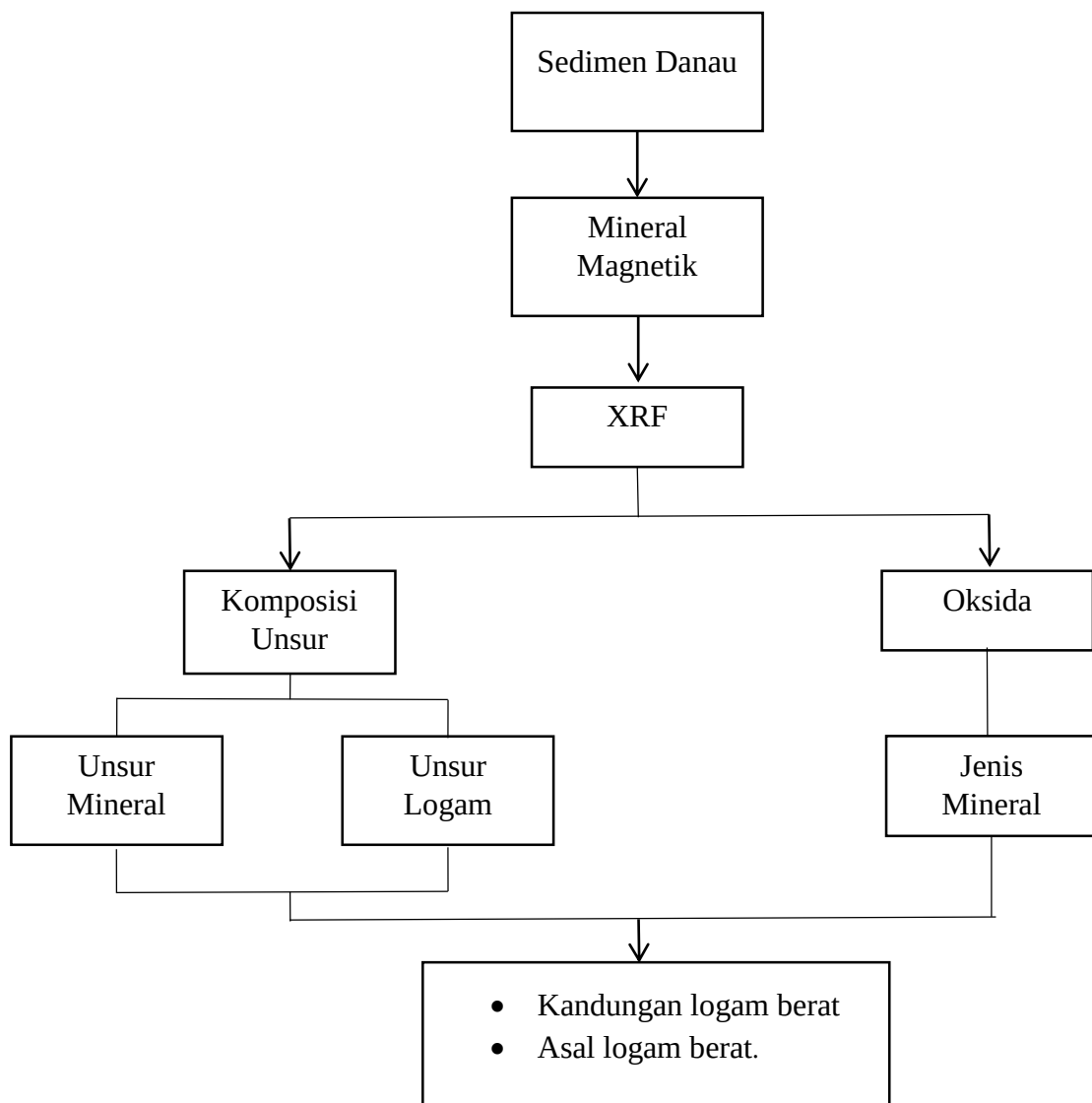
Maharani (2018) meidentifikasi pencemaran logam berat pada tanah lapisan atas dengan menggunakan metode suseptibilitas magnetik dan spektroskopi di ruas jalan raya Kota Bukittinggi. Penentuan jenis dan kandungan logam berat dilakukan pada lima sampel yaitu sampel B02, B01, S03, V10, dan V06. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sampel memiliki nilai suseptibilitas magnetik antara $297,9 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg}$ (B02) sampai $1604,2 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg}$ (V06). Hasil uji XRF menunjukkan bahwa sampel mengandung logam berat *Pb*, *Cu*, *Zn*, *Mn*, dan *Ni*. Suseptibilitas magnetik dan konsentrasi total logam berat sampel memiliki korelasi positif yang kuat dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,932. Begitu juga untuk hubungan antara suseptibilitas magnetik sampel dan konsentrasi masing-masing logam *Pb*, *Cu*, *Zn*, dan *Mn* dengan nilai koefisien korelasi berturut-turut yaitu 0,929, 0,967, 0,871, dan 0,994. Kandungan logam berat yang sudah melewati ambang batas pada tanah adalah *Pb*, *Cu* dan *Zn*.

Mariyanto (2019) melihat kandungan logam berat dan sifat magnetik sedimen permukaan di lingkungan vulkanik dan tropis dari Sungai Brantas, Provinsi Jawa Timur, Indonesia. Metode yang digunakan yaitu *Atomic Absorption Spectrometer* (AAS). Hasil yang didapatkan suseptibilitas magnetik massa spesifik dari sedimen permukaan. Sungai Brantas sangat tinggi bervariasi dari 844,0 hingga $7231,4 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ (rata-rata $3022,9 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$). Hal ini disebabkan letak Sungai Brantas yang berada di lingkungan vulkanik dan dipengaruhi oleh hasil vulkanik. Suseptibilitas magnetik memiliki korelasi positif yang kuat dengan kandungan logam berat unsur feromagnetik seperti *Fe* dan *Co*. Selain itu, kandungan *Fe* dan *Co* juga memiliki korelasi yang kuat dengan kandungan *Cr* dan *Mn*. Studi ini mendukung bahwa parameter magnetik seperti kerentanan magnetik berpotensi dapat digunakan sebagai indikator pencemaran logam berat di sungai-sungai dalam lingkungan vulkanik dan tropis.

J. Kerangka Berfikir

Pada dasarnya mineral magnetik secara alamiah pada batuan, tanah, atau endapan sedimen, meskipun secara kuantitatif kelimpahannya cukup kecil. Selain terjadi secara alamiah mineral magnetik dapat terbentuk dari adanya pengaruh abu vulkanik yang mungkin jatuh akibat terbawa angin atau terbawa oleh air dan jatuh pada berbagai tempat, salah satunya pada sedimen dasar danau. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sedimen Danau Maninjau. Sedimen danau mengandung berbagai mineral salah satunya mineral magnetik. Metode yang digunakan untuk mengetahui kandungan unsur yaitu XRF. Hasil dari pengukuran XRF didapatkan komposisi unsur

dan kandungan oksida pada sampel. Komposisi unsur sedimen yang didapatkan dari XRF tergolong dari unsur pembentuk mineral magnetik dan unsur logam berat. Sedangkan jenis mineral yang terkandung dapat dilihat dari oksida. Berdasarkan kandungan unsur dan jenis mineral yang dapat ditentukan karakteristik dari logam berat. Kerangka berfikir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Kerangka Berfikir Penelitian.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan uraian hasil dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Unsur pembentuk mineral pada sedimen Danau Maninjau pada sampel MNJ 18-41B spesimen 148 mm dan 376 mm didominasi oleh unsur *Si, Fe, Rh, Zr*. Unsur logam berat yang terdapat pada pada sampel adalah *Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, dan Pb*. Konsetrasi tertinggi unsur logam berat adalah unsur *Fe*. Selain unsur logam berat juga didapatkan unsur abu vulkanik yaitu *Al, Si, Ca, Fe, K, Mn, P, S, dan Ti*.
2. Unsur logam berat yang terdapat pada sampel MNJ 18-41B spesimen 148 mm dan 376 mm berasal dari batuan Ultrabasa

B. Saran

Hasil penelitian ini bisa dijadikan data pembanding dari metode lain. Sebaiknya dilakukan penelitian dengan metode yang lain seperti metoda XRD (*X-Ray Diffraction*) sehingga dapat dipastikan jenis mineral yang terkandung dan metoda SEM untuk mengetahui morfologi dari sampel. Untuk memastikan mineral magnetik itu berasal dari aktivitas vulkanik gunung api tertentu perlu dilakukan kajian lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- A. C. da Silva, M. J. Dekkers, C. Mabilie, and F. Boulvain. (2012) “*Magnetic susceptibility and its relationship with paleoenvironments, diagenesis and remagnetization: Examples from the Devonian carbonates of Belgium,*” *Stud. Geophys. Geod.*, vol. 56, no. 3, pp. 677–704, doi: 10.1007/s11200-011-9005-9.
- Beiser, A. (1999). *Konsep Fisika Modern*. Terjemahan: The Huow Liong. Jakarta: Erlanga
- Bijaksana, S. (2002). *Analisa Mineral Magnetik Dalam Masalah Lingkungan*. *Jurnal Geofisika*, 1, 19-27.
- Brouwer, P. (2006). *Theory of XRF*. Netherlands: PANalytical BV.
- Bursik, M. (1998). *Tephra dispersal*. *Geological Society, London, Special Publications*, 145(1), 115-144.
- Butler, R. F. (1998). *Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geologic Terranes*. Boston: Blackwell Scientific Publication.
- Cohen, A.S. (2003). *Paleolimnology: The History and Evolution of Lake System*. Oxford University Press, London. 500 pp.
- Evans, M & Heller, F. (2003). *Environmental Magnetism Principle and Application of Ennvironmagnetics*. California: Academic Press.
- Fajri, R. N., Putra, R., De Maisonneuve, C. B., Fauzi, A., & Rifai, H. (2019). *Analysis of magnetic properties rocks and soils around the Danau Diatas, West Sumatra*. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1185, No. 1, p. 012024). IOP Publishing.
- Hapsari, S. J., Latifah, R., & Muhaimin, M. (2019). *The Role of Black Tea and Pineapple Juice as Negative Oral Contrasts on Magnetic Resonance Cholangiopancreatography (Mrcp) Examination*. *Journal of Vocational Health Studies*, 2(3), 121-126.
- Harahap. (2007). *Pengaruh Pencemaran terhadap Pertumbuhan Kerang hijau (Pernaviridis) sebagai satu telaah Studi Baku Mutu Lingkungan Perairan Laut*. Jakarta: Bulletin Pen.
- Haris, V., & Rifai, H. (2010). *Kajian Sifat Magnetik Sedimen Teluk Katurai Pulau Siberut Kepulauan Mentawai*. *Jurnal Sainstek IAIN Batusangkar*, 2(2), 115-124.
- Hunt, C. P. (1995). *Magnetic Properties of Rocks and Minerals*. Minneaspolis: University of Minnesota.
- Ibrahim, B., & Ahmad, A. (2012). *Agrogeologi dan Mineralogi Tanah. Buku Ajar*. Makassar: Universitas Hasanuddin.

- Jiles. (1996). *Introduction to Magnetism and Magnetite Material*. New York, USA: Chapman and Hall.
- Kastowo. (1996). *Peta Geologi Lembar Padang, Sumatera, skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan dan Geologi, Bandung.
- Maharani, I. S., & Budiman, A. (2018). *Analisis Suseptibilitas Magnetik dan Kandungan Logam Berat pada Tanah Lapisan Atas di Beberapa Ruas Jalan Kota Bukittinggi*. Jurnal Fisika Unand, 7(2), 144-150.
- Mariyanto, M., Amir, M. F., Utama, W., Bijaksana, S., Pratama, A., Yunginger, R., & Sudarningsih, S. (2019). *Heavy metal contents and magnetic properties of surface sediments in volcanic and tropical environment from Brantas River, Jawa Timur Province, Indonesia*. Science of The Total Environment, 675, 632-641.
- Martha, Y., & Budiman, A. (2018). *Analisis Suseptibilitas Magnetik dan Kandungan Logam Berat pada Tanah Lapisan Atas di Sekitar Pabrik PT Semen Padang*. Jurnal Fisika Unand, 7(2), 172-178.
- Mufit, F. (2013). *Kaitan Sifat Magnetik Dengan Tingkat Kehitaman (Darkness) Pasir Besi di Pantai Masang Sumatera Barat*. EKSAKTA, 2.
- Nichols, G. (2009). *Sedimentology and Stratigraphy Second Edition*. Wiley-Blackwell. 419 pp.
- Ningsih, E. D., Putra, R., De La Maisonnette, C., Phua, M., Eisele, S., Forni, F., & Rifai, H. (2020). *Identification of magnetic mineral forming elements in peatland Alahan Panjang West Sumatra Indonesia, section DD REP B 693 using X-Ray Fluorescence*. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1481, No. 1, p. 012018). IOP Publishing.
- Nontji, Anugerah. (2016). *Danau-Danau Alami Nusantara*. LIPI.
- Noor, Djauhari. (2009). *Pengantar Geologi*. Bogor: Pakuan University Press.
- Nurseha, M. D. O., Sisinggih, D., & Zulaikah, S. (2016). *Studi Sebaran Mineral Sedimen di Waduk Wlingi Menggunakan SEM-EDAX, X-RD, X-RF dan Metode Magnetik*. Universitas Brawijaya.
- Palar, H. (2012). *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Peccerillo, A., & Taylor, S.R. (1976). *Geochemistry of Eocene Calc-Alkaline Volcanic Rocks From The Kostomonu Area Northern Turkey*. Contrib.Min, Petrol, 63-81.
- Putri, D., & Afdal, A. (2017). *Identifikasi Pencemaran Logam Berat dan Hubungannya dengan Suseptibilitas Magnetik pada Sedimen Sungai Batang Ombilin Kota Sawahlunto*. Jurnal Fisika Unand, 6(4), 341-347.
- Rifai, H., Erni, E., & Irvan, M. I. M. (2011). *Ekstraksi Magnetik pada Methanol-Soap Bathed Muds*. Jurnal Penelitian Sains, 14(1)

- Ramdani, B., & Budiman, A. (2015). *Penentuan Nilai Suseptibilitas Magnetik Guano Yang Berasal Dari Gua Baba Kecamatan Lubuk Kilangan Kota Padang*. Jurnal Fisika Unand, 4(1).
- Rochyatun, E., & Rozak, A. (2010). *Pemantauan kadar logam berat dalam sedimen di perairan teluk Jakarta*. Makara Journal of Science.
- Roessiana, D. L., Setiyadi, S., & Sandy, B. H. (2014). *Model Persamaan Faktor Koreksi pada Proses Sedimentasi dalam Keadaan Free Settling*. Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan, 6(2), 98-106.
- Rusli, N. G. D. & Hamdi (2014). *Kaitan Komposisi Unsur Dasar Penyusun Mineral Magnetik Dengan Nilai Suseptibilitas Magnetik Guano Dari Gua Bau-Bau Kalimantan Timur*. Pillar of Physics, 4(2).
- Setyahadi, (2012). *Danau-danau penanda jejak tektovulkanik*. (<http://sains.kompas.com/read/2012/04/23/09035935>).
- Siregar, P. M. (2010). *Penentuan Kadar Logam Fe, Zn, Cu, Pb dan N-Total Di Dalam Sedimen Yang Terdapat Di Sepanjang Pantai Pangambatan, Hutaginjang, Silima Lumbu Dan Tambun Sukkean Di Danau Toba* (Doctoral dissertation, Thesis. Medan. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sumatera Utara).
- Sudarningsih, S., & Fahrudin, F. (2008). *Penggunaan Metoda Difraksi Sinar X dalam Menganalisa Kandungan Mineral Pada Batuan Ultra Basa Kalimantan Selatan*. Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat, 5(2), 165-173.
- Suhariyono, G., & Menry, Y. (2005). *Analisis karakteristik unsur-unsur dalam tanah di berbagai lokasi dengan menggunakan XRF*. Prosiding PPI-PDIPTN, 197-206.
- Sumari, S., Prakasa, Y. F., Asrori, M. R., & Baharintasari, D. R. (2020). *Analisis Kandungan Mineral Pasir Pantai Bajul Mati Kabupaten Malang Menggunakan XRF dan XRD*. Fullerene Journal of Chemistry, 5(2), 58-62.
- Sukmaning, S A, (2008). *Pencemaran Logam Berat dalam Tanah dan Tanaman serta Upaya Mengurangnya*. UGM: Yogyakarta.
- Sutamihardja, R. T. M., Adnan, K., & Sanusi, H. S. (1982). *Perairan Teluk Jakarta ditinjau dari Tingkat Pencemarannya*. Bogor. Sekolah Pascasarjana. IPB.
- Sutrisno, S., & Hamdani, A. (2013). *Pengamatan pola stratifikasi di Danau Maninjau sebagai potensi tubo belerang*. Limnotek: perairan darat tropis di Indonesia, 20(2).
- Wahyudiono, J. (2017). *Karakteristik Petrologi dan Geokimia Batuan Gunungapi Berumur Oligosen Akhir-Miosen Di Daerah Gunung Muro, Kalimantan Tengah*. Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral, 18(2), 105-115.

- Wahyuni, E. T., Triyono, S., & Suherman, S. (2012). *Penentuan Komposisi Kimia Abu Vulkanik Dari Erupsi Gunung Merapi (Determination of Chemical Composition of Volcanic Ash From Merapi Mt. Eruption)*. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 19(2), 150-159.
- Widyasari, E. N., Tjahjanto, R. T., & Khunur, M. M. (2014). Pengaruh Laju Alir Udara pada Ozonisasi dalam Oksidasi Emas. *Jurnal Ilmu Kimia Universitas Brawijaya*, 1(2), pp-220.
- Yusuf, Y., Lukman, U., & Rahmi, F. (2015). *Analisis Sedimen Sekitar Keramba Jaring Apung di Perairan Danau Maninjau Terhadap Kandungan Logam Berat Fe, Cu, Pb dan Cd*. *Jurnal Riset Kimia*, 5(1), 94.
- Zulaikah, S. (2015). *Prospek dan Manfaat Kajian Kemagnetan Batuan pada Perubahan Iklim dan Lingkungan*. *Jurnal Fisika*, 5(1).