

**KAITAN KOMPOSISI UNSUR DASAR PENYUSUN MINERAL
MAGNETIK DENGAN NILAI SUSEPTIBILITAS
MAGNETIK GUANO DARI GUA BAU-BAU
KALIMANTAN TIMUR**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Oleh :

N GARNETSYA D RUSLI

NIM. 12788

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

PERSETUJUAN SKRIPSI

**KAITAN KOMPOSISI UNSUR DASAR PENYUSUN MINERAL
MAGNETIK DENGAN NILAI SUSEPTIBILITAS MAGNETIK
GUANO DARI GUA BAU-BAU KALIMANTAN TIMUR**

Nama : N Garnetsya D Rusli
NIM : 12788
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 16 Januari 2014

Disetujui oleh:

Pembimbing I,


Handwritten signature of Dr. Hamdi, M.Si.

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

Pembimbing II,


Handwritten signature of Fatni Mufit, S.Pd., M.Si.

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

PENGESAHAN SKRIPSI

Dinyatakan Lulus setelah Dipertahankan di Depan Tim Penguji Skripsi
Program Studi Fisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang

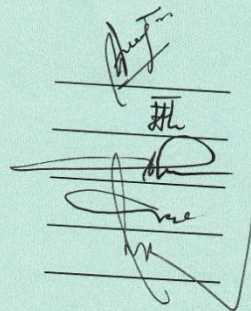
Judul : Kaitan Komposisi Unsur Dasar Penyusun Mineral
Magnetik dengan Nilai Suseptibilitas Magnetik Guano
dari Gua Bau-Bau Kalimantan Timur
Nama : N Garnetsya D Rusli
NIM : 12788
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 23 Januari 2014

Tim Penguji

	Nama
Ketua	: Dr. Hamdi, M.Si.
Sekretaris	: Fatni Mufit, S.Pd., M.Si.
Anggota	: Drs. Akmam, M.Si. Drs. Mahrizal, M.Si. Harman Amir, S.Si., M.Si.

Tanda Tangan



Handwritten signatures of the examination team members, corresponding to the names listed in the 'Tim Penguji' section.

SURAT PERNYATAAN

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

Padang, Januari 2014

Yang menyatakan,



N Garnetsya D Rusli

ABSTRAK

N Garnetsya D Rusli : Kaitan Komposisi Unsur Dasar Penyusun Mineral Magnetik Dengan Nilai Suseptibilitas Magnetik Guano Dari Gua Bau-Bau Kalimantan Timur

Pengidentifikasian nilai suseptibilitas magnetik dan komposisi unsur pada penelitian ini dilakukan untuk sampel guano dari Gua Bau-bau Kalimantan Timur. Topografi yang berada jauh dari aktifitas manusia dan tidak terdapat gunung api aktif disekitarnya. Berdasarkan kondisi topografi daerah gua ini akan mempengaruhi proses transportasi mineral magnetik ke dalam lingkungan gua. Karakterisasi mineral magnetik seperti suseptibilitas magnetik dan komposisi unsur dapat menggambarkan perubahan lingkungan dalam gua saat terjadinya proses pengendapan guano. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kaitan komposisi unsur dasar penyusun mineral magnetik terhadap nilai suseptibilitas magnetik sampel guano ini.

Penentuan nilai suseptibilitas magnetik masing-masing kedalaman dilakukan dengan menggunakan *susceptibility meter*. Sedangkan penentuan komposisi unsur mineral magnetik digunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF). Sampel guano yang digunakan berasal dari dua titik pengambilan sampel dengan jarak ± 20 meter pada gua yang sama. Kedua titik tersebut dinamai titik A dan titik B, dari kedua titik ini diambil 3 sampel untuk mewakili kedalaman atas, tengah dan bawah. Analisa data dari kedua pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan plotting data dan perbandingan dalam bentuk grafik. Perbandingan tersebut akan menunjukkan kaitan komposisi unsur transisi golongan keempat (Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu dan Zn) dengan nilai suseptibilitas magnetik.

Hasil perbandingan nilai suseptibilitas magnetik dengan komposisi unsur menunjukkan adanya kaitan antara nilai suseptibilitas magnetik dengan komposisi unsur dasar penyusun mineral magnetik. Sampel yang berasal dari titik A dan titik B memperlihatkan kaitan komposisi unsur transisi golongan keempat khususnya Fe terhadap nilai suseptibilitas magnetik. Nilai suseptibilitas magnetik yang didapat pada masing-masing titik tergolong nilai yang rendah. Kedua titik ini secara keseluruhan menunjukkan bahwa komposisi Fe sebanding dengan nilai suseptibilitas magnetik. Namun kaitan komposisi unsur transisi golongan keempat selain Fe dengan nilai suseptibilitas magnetik tidak begitu tampak karena kandungan unsurnya sangat rendah.

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang maha memiliki ilmu dan maha luas ilmu-Nya berkat rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Kaitan Komposisi Unsur Dasar Penyusun Mineral Magnetik dengan Nilai Suseptibilitas Magnetik Guano dari Gua Bau-Bau Kalimantan Timur.” 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 dan dorongan dari berbagai pihak baik secara moril maupun secara materil. Oleh sebab itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Hamdi, M.Si., sebagai pembimbing I yang telah banyak meluangkan waktu, pikiran, saran dan tenaga serta kesabarannya untuk membimbing penulis dalam kegiatan penelitian dan penulisan skripsi ini.
2. Ibu Fatni Mufit, S.Pd., M.Si., sebagai pembimbing II yang telah banyak memberikan bantuan, bimbingan dan saran serta kesabarannya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Drs. Akmam, M.Si., sebagai Ketua Jurusan Fisika FMIPA UNP dan penguji pada skripsi ini.
4. Bapak Drs. Mahrizal, M.Si., dan Bapak Harman Amir, S.Si. M.Si., selaku penguji pada skripsi ini.

5. Bapak Zulhendri Kamus, S.Pd, M.Si, sebagai penasehat akademik yang telah banyak memberikan masukan dan motivasi kepada penulis.
6. Ibu Dra. Yurnetti, M. Pd sebagai Sekretaris Jurusan Fisika FMIPA UNP.
7. Ibu Dra. Hidayati, M.Si., sebagai Ketua Program Studi Fisika FMIPA UNP.
8. 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 semua. Semoga semua bantuan, kritik dan saran yang telah diberikan menjadikan masukan positif bagi kita.

Padang, Januari 2014

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. Batasan Masalah.....	5
C. Rumusan Masalah	5
D. Tujuan Penelitian	5
E. Kontribusi Penelitian.....	6
BAB II KAJIAN TEORI	
A. Guano.....	7
1. Jenis-jenis Guano.....	7
2. Kandungan Mineral Magnetik Guano	8
B. Kemagnetan Bahan	9
1. Diamagnetik	9
2. Paramagnetik.....	10
3. Ferromagnetik.....	11
C. Unsur-unsur Dasar Penyusun Mineral Magnetik	13
D. Mineral Magnetik	15
1. <i>Magnetite</i>	16
2. <i>Hematite</i>	17
3. <i>Maghemite</i>	17
4. <i>Ilmenite</i>	18
5. <i>Greigite</i>	18
6. <i>Geothite</i>	18
E. Suseptibilitas Magnetik	19

F. Sinar-X.....	22
G. <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	27
H. Topografi Daerah Gua Bau-bau Kalimantan Timur.....	30
I. Kerangka Berfikir	31
 BAB III METODE PENELITIAN	
A. Jenis Penelitian	32
B. Tempat dan Waktu Penelitian	32
C. Instrumen Penelitian	34
1. <i>Magnetic Susceptibilitymeter</i>	34
2. <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	35
D. Prosedur Penelitian.....	36
1. Pengukuran Nilai Suseptibilitas Magnetik	37
2. Pengukuran Komposisi Unsur	38
E. Teknik Pengolahan dan Interpretasi Data	39
 BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
A. Hasil Penelitian.....	41
1. Suseptibilitas Magneti.....	41
2. <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	47
B. Pembahasan	54
 BAB V PENUTUP	
A. Kesimpulan.....	60
B. Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	62

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Hubungan Nilai Suseptibilitas Magnetik dengan Sifat Kemagnetan dan Contoh Mineral.....	20
2. Mineral-mineral dan Suseptibilitas Magnetik.....	21
3. Perbedaan Pengukuran Menggunakan Metoda EDXRF dan WDXRF	28
4. Data hasil pengukutan nilai suseptibilitas magnetik guano Gua Bau-bau titik A.....	42
5. Data hasil pengukutan nilai suseptibilitas magnetik guano Gua Bau-bau titik B.....	44
6. Data hasil pengukutan komposisi unsur guano Gua Bau-bau titik A tedalaman 15-20 cm.....	48
7. Komposisi unsur transisi golongan keempat guano Gua Bau-bau titik A kedalaman 15-20 cm	48
8. Data hasil pengukutan komposisi unsur guano Gua Bau-bau titik A tedalaman 45-50 cm.....	49
9. Komposisi unsur transisi golongan keempat guano Gua Bau-bau titik A kedalaman 45-50 cm.....	50
10. Data hasil pengukutan komposisi unsur guano Gua Bau-bau titik A tedalaman 85-90 cm.....	50
11. Komposisi unsur transisi golongan keempat guano Gua Bau-bau titik A kedalaman 85-90 cm.....	51
12. Data hasil pengukutan komposisi unsur guano Gua Bau-bau titik B tedalaman 15-20 cm.....	51
13. Komposisi unsur transisi golongan keempat guano Gua Bau-bau titik B kedalaman 15-20 cm	52
14. Data hasil pengukutan komposisi unsur guano Gua Bau-bau titik B tedalaman 45-50 cm.....	52
15. Komposisi unsur transisi golongan keempat guano Gua Bau-bau titik B kedalaman 45-50 cm.....	53
16. Data hasil pengukutan komposisi unsur guano Gua Bau-bau titik B tedalaman 85-90 cm.....	53

17.	Komposisi unsur transisi golongan keempat guano Gua Bau-bau titik B kedalaman 85-90 cm	54
-----	--	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. a) Grafik magnetisasi (M) terhadap medan magnet (H) yang diberikan dan ($\chi < 0$). (b) Suseptibilitas (χ) tidak tergantung pada temperatur (T) untuk bahan diamagnetik.....	10
2. (a) Grafik magnetisasi (M) terhadap medan magnet (H) yang diberikan dan ($\chi > 0$). (b) Suseptibilitas (χ) tergantung pada temperatur (T) untuk bahan paramagnetik.....	11
3. Kurva Histerisis.....	12
4. Periodik dan unsur transisi golongan keempat.....	13
5. Diagram <i>ternary</i> $\text{TiO}_2\text{-FeO-Fe}_2\text{O}_3$	16
6. Proses perlepasan elektron dari kulit dalam dan digantikan oleh elektron dari lapisan luar dan pemancaran sinar-X dari perpindahan itu.....	24
7. (a) Proses penerusan sinar-X melalui kisi Kristal untuk menghasilkan sinar-X yang koheren. (b) Proses hamburan sinar-X pada permukaan kristal	26
8. Skema cara kerja <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	29
9. Kerangka berfikir penelitian	31
10. Peta lokasi pengambilan sampel guano di Gua Bau-Bau Kalimantan Timur	33
11. Skema titik pengambilan sampel (A dan B) pada Gua Bau-bau.....	33
12. <i>Bartington Susceptibilitymeter type MS2</i>	34
13. <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) merek <i>PANalytical type Epsilon 3</i>	35
14. Grafik nilai suseptibilitas magnetik guano Gua Bau-bau Kalimantan Timur titik A dengan menggunakan suseptibilitas <i>Low Field</i> (χ_{lf}) dan suseptibilitas <i>Hight Field</i> (χ_{hf})	43
15. Grafik nilai suseptibilitas magnetik guano Gua Bau-bau Kalimantan Timur titik B dengan menggunakan suseptibilitas <i>Low Field</i> (χ_{lf}) dan suseptibilitas <i>Hight Field</i> (χ_{hf})	46
16. Grafik perbandingan nilai suseptibilitas magnetik dengan komposisi unsur transisi golongan keempat yang terkandung pada sampel guano Gua Bau-bau titik A	55

17. Grafik perbandingan nilai suseptibilitas magnetik dengan komposisi unsur transisi golongan keempat yang terkandung pada sampel guano Gua Bau-bau titik B	56
--	----

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Nilai suseptibilitas magnetik guano Gua Bau-bau titik A.....	64
2. Nilai suseptibilitas magnetik guano Gua Bau-bau titik B.....	66
3. Komposisi unsur guano Gua Bau-bau titik A kedalaman 15-20 cm.....	68
4. Komposisi unsur guano Gua Bau-bau titik A kedalaman 45-50 cm.....	70
5. Komposisi unsur guano Gua Bau-bau titik A kedalaman 85-90 cm.....	72
6. Komposisi unsur guano Gua Bau-bau titik B kedalaman 15-20 cm.....	74
7. Komposisi unsur guano Gua Bau-bau titik B kedalaman 45-50 cm.....	76
8. Komposisi unsur guano Gua Bau-bau titik B kedalaman 85-90 cm.....	78

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Sedimen gua (*Speleothems*) merupakan endapan yang terbentuk dari tetesan atau rembesan air tanah pada batuan induk atau *host-rock*, dimana air tersebut masuk ke dalam gua melalui atap atau dinding gua. Sedimen gua terdiri atas dua jenis yaitu sedimen kimia dan sedimen klastik. Sedimen kimia adalah sedimen yang terbentuk di dalam gua, seperti stalagtit dan stalagmit, sedangkan sedimen klastik adalah sedimen yang terbawa dari lingkungan luar ke dalam gua. Salah satu contoh sedimen klastik adalah guano. Deposit guano menumpuk dan mengendap di lantai gua, deposit ini akan bertambah beberapa meter setelah ratusan tahun (Bird, 2007).

Guano merupakan endapan sedimen gua yang berasal dari gua yang terletak pada kawasan karst. Kawasan karst biasanya mengandung mineral penyusun utama yaitu *kalsit* (CaCO_3) (Haryono dan Adji, 2004). Selain itu guano merupakan sisa proses pencernaan kelelawar atau burung lain yang tersusun atas Nitrogen (N), Karbon (C), Fosfat (PO_4) dan Urea ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) dari sisa pencernaan. Kelelawar pemakan serangga akan menghasilkan sisa pencernaan yang didominasi oleh serangga yang belum tercerna. Tubuh serangga yang belum tercerna ini tersusun atas zat *chitin* ($\text{C}_{18}\text{H}_{26}\text{N}_2\text{O}_{10}$) yang kemudian terendap di lantai gua. Rumusan kimia *chitin* dan *kalsit* bukan mineral magnetik, namun setelah guano terendap selama bertahun-tahun dan dilakukan penelitian sifat magnetiknya ternyata di dalam guano ditemukan mineral magnetik.

Rifai, dkk (2010) mengidentifikasi sifat magnetik dengan melakukan pengukuran nilai suseptibilitas magnetik pada guano di Gua Rantai dan Gua Solek, Kabupaten 50 Kota. Kedua gua yang diidentifikasi ini berada pada daerah yang dekat dengan gunung api aktif. Nilai suseptibilitas magnetik sampel dari kedua gua ini menunjukkan nilai suseptibilitas yang bervariasi pada setiap kedalaman. Variasi nilai suseptibilitas magnetik pada dua gua yang berada di daerah berdekatan ini tidak menunjukkan pola nilai suseptibilitas magnetik yang sama.

Pola nilai suseptibilitas magnetik yang tidak sama pada dua gua yang berada di daerah berdekatan ini sangat menarik untuk diteliti. Pola nilai suseptibilitas magnetik yang dihasilkan pada dua gua yang berdekatan harusnya menunjukkan pola yang sama. Pola yang sama ini seharusnya juga ditunjukkan pada dua titik di gua yang sama. Pola nilai suseptibilitas magnetik dapat digunakan untuk mengetahui sama atau tidaknya proses pembentukan endapan pada masing-masing kedalaman pada dua titik tersebut. Selain itu pola nilai suseptibilitas magnetik juga dapat digunakan untuk mengetahui pencatatan perubahan lingkungan dalam gua. Pencatatan perubahan lingkungan dalam gua dapat diketahui dengan mengidentifikasi aspek lain seperti umur endapan dan mineral yang terkandung di dalam guano.

Pengidentifikasian mineral magnetik dan pola nilai suseptibilitas magnetik pada penelitian ini dilakukan untuk dua titik sampel di gua yang sama. Sampel diambil dari Gua Bau-bau Kalimantan Timur dan jarak antara kedua titik ± 20 meter. Gua Bau-bau ini berada di Taman Nasional Kutai yang jauh dari polusi kendaraan bermotor ataupun asap pabrik. Selain berada jauh dari polusi, di sekitar gua tidak terdapat gunung api aktif. Gua ini memiliki kondisi topografi yang sangat berbeda dengan kondisi topografi gua pada penelitian sebelumnya. Kondisi topografi yang berbeda ini akan mempengaruhi proses transportasi mineral magnetik ke dalam Gua Bau-bau tersebut.

Penentuan karakteristik mineral magnetik yang terkandung pada guano dapat menggunakan dua metode, yaitu metode magnetik (kemagnetan batuan) dan non-magnetik. Metoda magnetik meliputi Suseptibilitas Magnetik (χ), *Natural Remanent Magnetization* (NRM), *Isothermal Remanent Magnetization* (IRM) dan *Anhyseretic Remanent Magnetization* (ARM). Sedangkan pengukuran non-magnetik dilakukan dengan *X-ray Diffraction* (XRD), *X-Ray Fluorescences* (XRF) dan *Scanning Elektron Microscopy* (SEM). Pada penelitian ini, metoda magnetik yang digunakan untuk mengetahui konsentrasi mineral magnetik adalah Suseptibilitas Magnetik (χ) dan metoda non-magnetik yang digunakan adalah *X-Ray Fluorescences* (XRF).

Pengukuran dengan menggunakan metoda magnetik adalah dengan cara mengukur Suseptibilitas Magnetik (χ). Pengukuran suseptibilitas magnetik dilakukan untuk mendapatkan nilai suseptibilitas magnetik. Suseptibilitas magnetik adalah kerentanan magnetik yang terlihat pada respon bahan terhadap medan magnetik yang diberikan. Proses pengukuran nilai suseptibilitas magnetik dilakukan dengan memberikan medan magnetik terhadap sampel, hingga sampel memberikan respon. Apabila sampel diberikan medan magnetik ke arah tertentu, maka sampel akan memberikan respon tertentu pula yang selalu berbeda dengan arah lainnya.

Selanjutnya, komposisi unsur seperti unsur dasar penyusun mineral magnetik dan lain-lain ditentukan menggunakan *X-Ray Fluorescences* (XRF). Pengukuran dengan XRF menggunakan prinsip pembentukan sinar-X yaitu transisi elektron. Dimana elektron dari kulit bagian dalam akan terlepas jika ditembakkan sinar-X kepadanya. Kemudian kulit bagian luar akan berpisah untuk menggantikan bagian kulit yang terlepas. Bagian kulit yang berpisah ini akan menghasilkan sinar-X dengan panjang gelombang tertentu. Panjang gelombang yang dihasilkan inilah yang akan menentukan unsur yang terkandung di dalam guano.

Nilai suseptibilitas magnetik (χ) memiliki nilai yang bervariasi yang dipengaruhi oleh komposisi unsur yang terkandung di dalam guano. Unsur yang sangat mempengaruhi nilai suseptibilitas magnetik guano adalah unsur dasar penyusun mineral magnetik. Unsur dasar penyusun mineral magnetik adalah unsur transisi golongan keempat. Sehingga dengan diketahuinya nilai suseptibilitas magnetik dan komposisi unsur, dapat diketahui pula kaitan antara komposisi unsur dasar penyusun mineral magnetik dengan nilai suseptibilitas magnetik pada guano dari Gua Bau-bau Kalimantan Timur.

B. Batasan Masalah

Mengingat luasnya cakupan penelitian, agar penelitian lebih terfokus dibuat batasan masalah sebagai berikut:

1. Identifikasi yang dilakukan pada sampel guano dari Gua Bau-bau Kalimantan Timur adalah penentuan nilai suseptibilitas magnetik dan komposisi unsur dasar penyusun mineral magnetik yang terkandung.
2. Identifikasi kaitan komposisi unsur dasar penyusun mineral magnetik dengan nilai suseptibilitas magnetik guano hanya pada unsur transisi golongan keempat.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat dirumuskan permasalahan, yaitu “Apakah ada kaitan komposisi unsur dasar penyusun mineral magnetik terhadap nilai suseptibilitas magnetik guano dari Gua Bau-Bau Kalimantan Timur?”

D. Tujuan Penelitian

Berdasarkan pertanyaan penelitian yang telah dikemukakan, maka tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui kaitan komposisi unsur-unsur dasar penyusun mineral magnetik dengan nilai suseptibilitas magnetik guano di Gua Bau-Bau Kalimantan Timur.

E. Kontribusi Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan kita terutama penulis, adapun kontribusi dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kaitan komposisi unsur dasar penyusun mineral magnetik dengan nilai suseptibilitas magnetik pada guano yang dapat digunakan sebagai salah satu aspek untuk mengetahui pencatatan perubahan lingkungan dalam gua.
2. Pengembangan riset yang berhubungan dengan kajian sifat magnetik guano yang dapat digunakan sebagai dasar penelitian bagi peneliti selanjutnya untuk mengembangkan penelitian ini.
3. Sebagai aplikasi ilmu fisika khususnya di bidang Geofisika dan ilmu pengetahuan pada umumnya.

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Guano

Guano berasal dari bahasa Quicha dari masyarakat Inka di sekitar pesisir Peru. Guano adalah kotoran kelelawar ataupun burung-burung lainnya. Bangsa Inka mengumpulkan guano dari pesisir Peru untuk penyuburan tanah. Mereka memberikan penghargaan tinggi pada guano, membatasi akses atasnya dan menjatuhkan hukuman pada pihak yang mengganggu produsennya hingga mati. Guano merupakan tumpukan dari kotoran burung yang telah membantu yang terdapat pada gua-gua tertentu. Sedangkan pada gua Bau-bau Kalimantan Timur yang dijadikan sebagai tempat pengambilan sampel didominasi oleh kotoran burung kelelawar.

1. Jenis-Jenis Guano

Fresh guano terdiri dari 3 macam, yaitu guano kelelawar pemakan buah, guano kelelawar pemakan serangga dan guano dari kotoran burung (Hutchison, 1950).

a. Guano kelelawar pemakan buah (*fruit bat guano*)

Guano kelelawar pemakan buah berwarna gelap, bentuk tipis dan berlapis. Biasanya menumpuk, terdiri atas selulosa dan mineral yang melimpah pada guano yang telah berbentuk tanah liat. Mineral ini kemungkinan berasal dari debu yang menempel pada buah yang dimakan oleh kelelawar atau burung lainnya sehingga pada kotoran burung terdapat mineral.

b. Guano kelelawar pemakan serangga (*insectivorous bat guano*)

Guano dari kelelawar pemakan serangga berwarna gelap, terdiri dari butiran-butiran kecil dari agregat, mengandung bahan organik 53-60% dari massanya. Fosfat (PO_4) dari guano ini sekitar 25-57% dari massanya dan juga memiliki pH yang tergolong asam.

c. Guano burung

Guano kotoran burung ini memiliki warna yang terang, seperti putih, kuning, orange dan coklat. Guano ini berbentuk spiral dan mengandung lebih dari 60% bahan organik. Guano ini terdiri dari Kalsit (CaCO_3), Ammonium Sulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), Kuarsa (SiO_2) dan tanah liat ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_3\cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

2. Kandungan mineral magnetik guano

Kandungan mineral magnetik guano dapat dilihat dari nilai suseptibilitas magnetik guano tersebut. Nilai suseptibilitas magnetik guano dalam suatu gua memiliki nilai yang bervariasi. Variasi nilai suseptibilitas magnetik disebabkan oleh mekanisme perpindahan mineral magnetik ke guano.

Guano mengandung mineral magnetik yang berasal dari lingkungan luar gua ke dalam gua yang bias berasal dari makanan kelelawar. Salah satu makanan kelelawar adalah serangga. Serangga-serangga yang dimakan kelelawar tidak dapat dicerna seluruhnya sehingga pada guano terdapat sisa-sisa serangga yang tidak tercerna. Tubuh serangga tersusun atas zat *chitin* ($\text{C}_{18}\text{H}_{26}\text{N}_2\text{O}_{10}$) yang tidak larut dalam air, asam organik encer, alkali encer dan pekat, alkohol dan pelarut organik lainnya, tetapi larut dalam asam-asam mineral yang pekat. Zat *chitin* dari serangga

yang belum tercerna tersebut menumpuk pada guano dan menyerap ion logam yang ada pada sedimen gua. Di samping zat chitin, guano juga mengandung material debu yang berasal dari debu yang menempel pada serangga atau buah yang dikonsumsi oleh kelelawar. Material debu tersebut mengandung mineral magnetik yang besar sehingga dapat dijadikan *proxy* perubahan lingkungan (Hirano, 1976). Debu ini juga dapat berasal dari lingkungan di luar gua seperti debu aktivitas vulkanik. Debu tersebut terdistribusi ke dalam gua melalui media angin sehingga akan berpengaruh pada kandungan mineral magnetik pada guano.

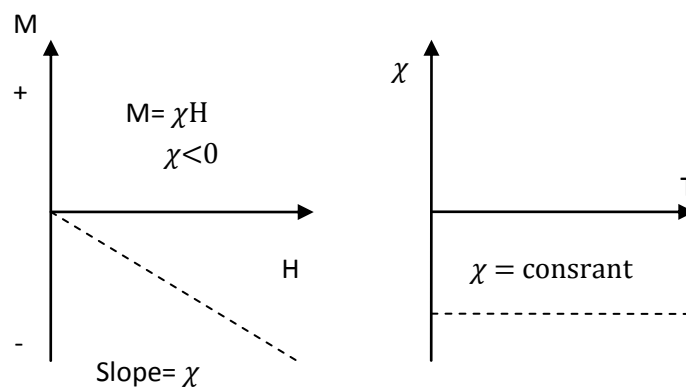
B. Kemagnetan Bahan

Semua bahan mempunyai sifat kemagnetan, hanya saja kemagnetan suatu bahan berbeda antara yang satu dengan yang lainnya (Hunt, 1991). Cara yang terbaik untuk membedakan tipe mineral penyusun suatu bahan adalah dengan melihat respon bahan tersebut terhadap medan magnetik. Berbagai bahan di alam terdiri dari bermacam-macam mineral magnetik yang dapat dikelompokkan ke dalam diamagnetik, paramagnetik dan ferromagnetik.

1. Diamagnetik

Sifat diamagnetik dimiliki oleh semua bahan, meskipun sifat ini sangat lemah (Hunt, 1991). Semua benda memiliki sifat diamagnetik disebabkan karena adanya interaksi medan magnet yang terjadi dan pergerakan elektron mengelilingi inti. Elektron yang bergerak mengelilingi inti membawa muatan sehingga elektron mengalami Gaya Lorentz yang menyamping ketika bergerak melalui medan magnet tersebut. Suseptibilitas magnetik (χ) untuk bahan diamagnetik tidak bergantung pada temperatur (Butler, 1998). Diamagnetik memiliki suseptibilitas magnetik (χ) kecil dan

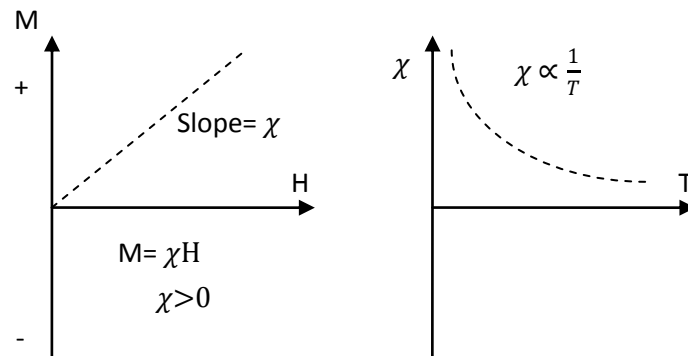
negatif ($\chi \approx -10^{-6}$). Respon diamagnetik terhadap medan magnet yang dilewatkan padanya akan menghasilkan induksi magnetik yang kecil dan melawan arah medan magnet yang digunakan (Butler, 1998). Magnetisasinya sebanding dengan medan magnet (H) yang digunakan. Magnetisasi tersebut akan berkurang atau nol jika medan magnet (H) dihilangkan, hal ini dapat dilihat pada Gambar 1. Contoh bahan yang bersifat diamagnetik adalah Quartz (SiO_2).



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

2. Paramagnetik

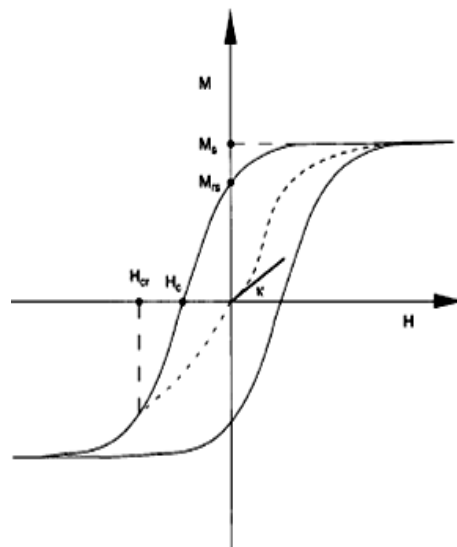
Paramagnetik mempunyai suseptibilitas magnetik (χ) tergantung pada temperatur (Butler, 1998). Paramagnetik memiliki suseptibilitas magnetik (χ) kecil dan positif ($\chi \approx 10^{-3}$ sampai 10^{-5}). Sifat material ini dapat memperoleh magnetisasi hanya dari induksi medan magnet eksternal. Magnetisasinya memiliki arah yang sama dengan medan magnet induksi. Paramagnetik menghasilkan induksi magnetik yang sejajar dengan medan magnet (H) yang digunakan (Butler, 1998).



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

3. Ferromagnetik

Bahan ferromagnetik memiliki nilai suseptibilitas magnetik (χ) positif dan besar ($\chi \approx 50$ sampai 10000). 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* (Buttler, 1998). Meskipun medan magnetnya dihilangkan, bahan ini masih menyimpan remanen magnetik (Dunlop dan Ozdemir, 1997). Karakteristik seperti inilah yang membuat bahan ferromagnetik mempunyai kemampuan merekam medan magnet purba.



Gambar 3. Kurva Histerisis (Evan dan Heller, 2003)

Gambar 3 memperlihatkan apabila sebuah bahan diberikan medan magnet, maka akan diperoleh magnetiksasi saturasi (M_s) yaitu magnetiksasi menjadi konstan walaupun medan magnet ditambahkan terus menerus sedangkan jika medan magnet dikurangi hingga mencapai nol, didapatkan bahwa magnetiksasinya 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 (H_{oR}), yang terjadi jika medan diberikan dan kemudian dihilangkan sehingga saturasi remanen akan berkurang menjadi nol.

C. Unsur-unsur Dasar Penyusun Mineral Magnetik

Unsur-unsur di alam lebih banyak berupa senyawa dibandingkan dalam keadaan bebas yang bersesuaian dengan bentuk unturnya. Unsur yang mengandung mineral magnetik berasal dari unsur transisi periode keempat. Semua unsur transisi merupakan unsur-unsur logam yang bersifat lunak, mengkilap, dan penghantar listrik, panas yang baik serta memiliki sifat megnetik (Mc. Murry dan Fay, 2012).

Unsur transisi ini terdapat di antara unsur-unsur golongan alkali tanah dan unsur-unsur golongan boron, yaitu unsur-unsur periode keempat di dalam sistem periodik seperti Gambar 4. Unsur taransi golongan keempat ini terdiri atas Skadium (Sc), Titanium (Ti), Vanadium (V), Kromium (Cr), Mangan (Mn), Besi (Fe), Kobalt (Co), Nikel (Ni), Tembaga (Cu) dan Seng (Zn). Skadium dan seng mempunyai sifat yang berbeda dari unsur-unsur transisi deret pertama lainnya dari Ti hingga Cu.

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

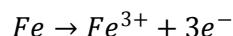
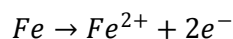
Seri Kimia dari Tabel Periodik

Logam alkali	Alkali tanah	Lantanida	Aktinida	Logam transisi
Logam	Metaloid	Non-logam	Halogen	Gas mulia

Gambar 4. Tabel periodik dan unsur transisi golongan keempat

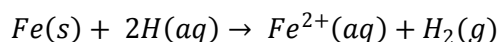
Menurut Achmad (2001), bilangan oksida yang umum adalah +2 dan +3 atau keduanya. Salah satu unsur yang memiliki bilangan oksida ini adalah Fe.

Terbentuknya Fe^{2+} dan Fe^{3+} untuk mendapatkan kestabilan dengan melepaskan elektron. Proses pelepasan elektron pada Fe sebagai berikut:



Konfigurasi Fe^{3+} lebih stabil daripada Fe^{2+} jika ditinjau dari konfigurasi elektronnya. Konfigurasi elektron Fe dalam keadaan Fe^{3+} adalah $[\text{Ar}]3d^5$, sedangkan untuk Fe^{2+} konfigurasi elektronnya adalah $[\text{Ar}]3d^6$. Kestabilan Fe^{3+} terjadi karena orbital d terisi setengah penuh.

Besi (Fe) yang merupakan unsur yang melimpah di kerak bumi yaitu sekitar 6,2% massa kerak bumi dan jarang ditemukan dalam keadaan bebas. Umumnya besi (Fe) ditemukan dalam bentuk mineral (biji besi), seperti *hematite* (Fe_2O_3), *siderite* (FeCO_3) dan *magnetite* (Fe_3O_4). Besi yang bereaksi dengan asam klorida akan menghasilkan gas hidrogen dengan reaksi sebagai berikut:

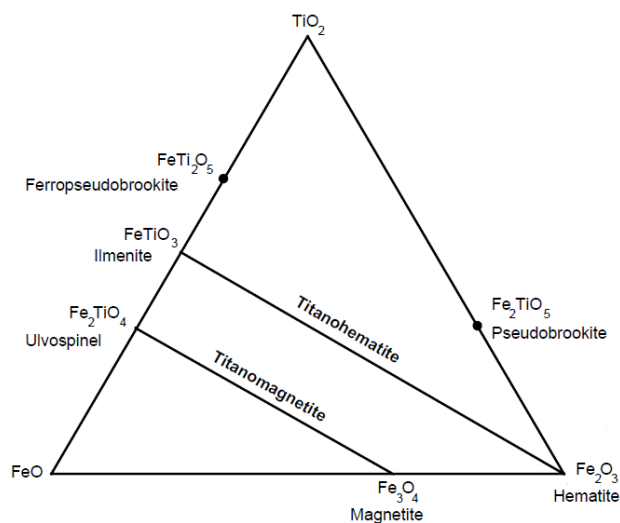


Reaksi tersebut menunjukkan proses terjadinya gas hidrogen dan oksidasi Fe menjadi ion Fe^{2+} . Salah satu proses oksidasi Fe menjadi ion Fe^{3+} di alam karena adanya reaksi Fe terhadap larutan asam sulfat pekat. Contoh senyawa Fe^{2+} di alam antara lain FeO , $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, FeCl_2 dan FeS . Apabila terdapat oksigen yang cukup dalam larutan Fe^{2+} , maka ion Fe^{2+} ini akan mudah teroksidasi menjadi ion Fe^{3+} . Sedangkan untuk senyawa Fe^{3+} di alam dapat berupa Fe_2O_3 dan FeCl_3 .

D. Mineral Magnetik

Umumnya mineral-mineral yang terdapat di alam ini dapat dieksplorasi dan dimanfaatkan oleh manusia. Sehingga mineral-mineral yang ada di muka bumi ini menjadi sumber alam yang sangat bermanfaat bagi manusia. Mineral merupakan bahan padatan anorganik yang terbentuk melalui reaksi-reaksi kimia dan secara alamiah. Mineral merupakan penyusun utama batuan oleh karena itu, mineral terdapat dalam berbagai jenis batuan. Mineral ini memiliki 3 sifat bahan magnetik yaitu diamagnetik, paramagnetik dan ferromagnetik. Dari ketiga sifat bahan magnetik ini istilah mineral magnetik biasanya hanya untuk mineral yang tergolong ferromagnetik (Bijaksana, 2002).

Beberapa mineral magnetik yang tergolong ke dalam keluarga oksida titanium besi yaitu *magnetite* (Fe_3O_4), *hematite* ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dan *maghemite* ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Mineral-mineral magnetik dari keluarga sulfida besi adalah *greigite* (Fe_3S_4) dan *pyrrhotite* (Fe_7S_8), sedangkan yang tergolong dalam hidroksida besi adalah *goethite* ($\alpha\text{-FeOOH}$). Keluarga oksida titanium besi merupakan mineral magnetik bumi yang penting karena dianggap sebagai mineral-mineral magnetik yang paling dominan. Keluarga oksida ini bisa digambarkan melalui diagram segitiga (*ternary diagram*) $\text{TiO}_2\text{-FeO-Fe}_2\text{O}_3$ seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. 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 oksidasi Fe^{3+} . Keluarga oksida titanium besi mempunyai kecenderungan mengikuti deret-deret tertentu dalam bentuk deret *titanomagnetite* dan deret *titanohematite* (Butler, 1998).

1. *Magnetite* (Fe_3O_4)

Magnetite merupakan salah satu mineral magnetik yang sangat penting di bumi, terdapat pada batuan beku, sedimen dan metamorf. *Magnetite* juga merupakan mineral magnetik yang terkuat karena merekam NRM yang stabil (Butler, 1998). *Magnetite* merupakan mineral berbentuk kubus, berwarna hitam gelap dengan permukaan kebiru-biruan. Batuannya

keras dan sangat berat, tidak terbelah, tidak tembus cahaya dan menunjukkan kilauan logam. *Magnetite* bersifat ferimagnetik dengan temperatur *Curie* 580°C dan magnetiksasi $90 \text{ Am}^2/\text{kg}$ sampai dengan $93 \text{ Am}^2/\text{kg}$. *Magnetite* dapat dilihat pada bekas daerah yang bertemperatur tinggi dan pada tekstur peninggalan batuan beku. Jenis *magnetite* yang dapat dilihat dari butirannya adalah oksida besi (Butler, 1998).

2. Hematite ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$)

Mineral ini tersebar luas di alam khususnya pada tanah dan sedimen, digunakan untuk kepentingan lingkungan. Mineral *hematite* bersifat ferromagnetik dengan magnetiksasi $2.5 \text{ Am}^2/\text{kg}$ dan temperatur *Curie* 675°C (Evan, 2003). *Hematite* juga tidak tembus cahaya, mempunyai lapisan merah gelap yang membuatnya mudah dibedakan dengan *magnetite* dan meleleh bila dipanaskan dalam larutan asam hidrolik dan berubah menjadi *magnetite*. Secara umum, *hematite* berbentuk massif, massanya berisi butir-butiran, permukaanya berwarna-warni dan warna batuan merah kecoklat-coklatan.

3. Maghemite ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$)

Formula kimianya sering diidentikkan dengan *hematite*. Hal ini disebabkan karena kedua jenis mineral itu mirip dan terletak di posisi yang sama pada diagram *ternary*, akan tetapi mereka tidak memiliki bentuk magnetik atau susunan kristal yang sama. *Maghemite* merupakan mineral yang teroksidasi penuh dari *magnetite*, mempunyai struktur kristal kubus dan banyak terdapat di tanah. Temperatur Curiannya sekitar 645°C dan

magnetiksasi spontan berkurang dari 480 kA/m ke 380 kA/m yang merupakan mineral tak stabil (Evans dan Heller, 2003). Untuk membedakannya *hematite* ditulis dengan $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ sedangkan *maghemite* $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$.

4. *Ilmenite* (FeTiO_2)

Ilmenite adalah mineral magnetik yang bersifat anisotrop yaitu mineral yang mempunyai sifat fisik yang berbeda-beda jika dilihat pada semua keadaan. *Ilmenite* tersebar dalam banyak batuan dan pasir, kristalnya mempunyai bentuk yang sama dengan *hematite* yaitu berbentuk heksagonal.

5. *Greigite* (Fe_3S_4)

Greigite (Fe_3S_4) adalah sulfida besi yang ekuivalen dengan *magnetite*, memiliki struktur mineral kubus bersifat ferrimagnetik kuat serta memiliki magnetiksasi spontan ~ 125 kA/m dan titik *Curie* sebesar $\sim 330^\circ\text{C}$. *Greigite* banyak terjadi dalam sedimen *lacustrine* dan *marine*. Titik *Curie* *greigite* ini sama dengan besi sulfida yang lain seperti *pyrrhotite*.

6. *Goethite* ($\alpha\text{-FeOOH}$)

Mineral magnetik yang signifikan dari *iron oxyhydroxide* adalah *goethite* ($\alpha\text{-FeOOH}$) dengan magnetiksasi spontan jauh lebih kecil dari *magnetite* yaitu sekitar 2 kA/m dan temperatur *Curie* 120°C . *Goethite* memiliki struktur mineral heksagonal dan bersifat antiferromagnetik serta banyak ditemukan pada tanah dan sedimen.

E. Suseptibilitas Magnetik

Parameter yang paling umum digunakan sebagai indikator sifat magnetik bahan adalah suseptibilitas magnetik atau kerentanan magnetik yang terlihat pada respon bahan terhadap medan magnetik yang diberikan. Suseptibilitas magnetik merupakan ukuran mudah tidaknya suatu bahan untuk termagnetisasi. Formulasi umum hubungan antara medan yang dikenakan pada sampel, magnetisasi yang diperoleh sampel dan suseptibilitas magnetik dirumuskan sebagai berikut:

$$M = \chi \cdot H$$

Dimana H adalah medan yang dikenakan pada bahan (merupakan vektor), M adalah magnetisasi yang diterima bahan (merupakan vektor) dan χ adalah suseptibilitas magnetik yang merupakan tensor. Untuk material alam, besarnya harga suseptibilitas suatu sampel, selalu berubah pada setiap arah pengukuran (Tarling dan Hrouda, 1993). Dalam kasus ini jika sampel diberikan medan magnetik ke arah tertentu, maka sampel akan memberikan respon tertentu pula yang selalu berbeda dengan arah lainnya.

Perbedaan harga suseptibilitas magnetik dalam setiap arah yang berbeda menunjukkan adanya sifat anisotropi magnetik. Anisotropi tergantung pada anisotropi bulir secara individual dan derajat penjajaran. Anisotropi dari partikel secara individual merupakan kontribusi dari dua komponen yaitu *shape anisotropy* dan *magnetocrystallin anisotropy* (Tarling and Hrouda, 1993).

Pengukuran menggunakan *susceptibility meter* mempunyai dua cara pengukuran yaitu dengan *high field susceptibility* dan *low field susceptibility*. Pengukuran χ_{lf} menggunakan frekuensi 0,46 kHz dan pengukuran χ_{hf} menggunakan frekuensi 46 kHz. Dearing (1999), menyatakan bahwa nilai suseptibilitas magnetik pada *high field* selalu

lebih rendah dari nilai suseptibilitas magnetik pada *low field*. Hal ini disebabkan oleh kandungan partikel superparamagnetik pada guano. Sampel dengan partikel superparamagnetik dapat menurunkan nilai pengukuran pada *high field*, sampel tanpa partikel superparamagnetik akan menunjukkan nilai suseptibilitas yang identik pada pengukuran kedua frekuensi (Dearing, 1999).

Suseptibilitas dapat menentukan sifat kemagnetan dan jenis mineral magnetik yang terkandung di dalam bahan. Hubungan nilai suseptibilitas magnetik dengan sifat kemagnetan dan jenis mineral magnetik yang sesuai dengan hasil pengukuran suseptibilitas magnetik dapat dilihat pada Tabel 1 (Dearing, 1999).

Tabel 1. Hubungan nilai suseptibilitas magnetik dengan sifat kemagnetan dan contoh mineral

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

Nilai suseptibilitas magnetik dari masing-masing mineral berbeda dan memiliki nilai bervariasi yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Mineral-mineral dan suseptibilitas magnetik

No.	Mineral/Material	Formula	Besi (%)	Suseptibilitas Magnetik Spesifik Massa ($10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$)
1.	Logam			

No.	Mineral/Material	Formula	Besi (%)	Suseptibilitas Magnetik Spesifik Massa ($10^{-6}\text{m}^3/\text{kg}$)
	Ferromagnetik			
	Besi	αFe	100	276000
	Kobalt	Co		204000
	Nikel	Ni		68850
2.	Ferrimagnetik			
	<i>Magnetite</i>	Fe_3O_4	72	
	(0.012-0.069 μm)			513-1116
				500-1000
	(0.09-2000 μm)			596 ± 77
	(1-250 μm)			440-716
				390-580
	<i>Maghemite</i>	$\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$	70	410, 440
				286-371
	<i>Titanomagnetite</i>	$\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Fe}_2\text{TiO}_4$		169-290
	<i>Titanohematite</i>	$\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-FeTiO}_3$		281-315
	<i>Pyrrhotite</i>	Fe_7S_8		50, 53
	<i>Gerigite</i>	Fe_3S_4		
3	Golongan Antiferromagnetik			
	<i>Hematite</i>	$\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$	70	1.19-1.69
				0.58-0.78
				0.49-0.65
				0.27, 0.31, 0.6, <0.63
	<i>Goethite</i>	αFeOOH	63	0.35, 0.38, 0.7, <1.26
4	Paramagnetik (20°C)			
	<i>Ilmenite</i>	FeTiO_3	37	1.7, 2
	<i>Ulvospinel</i>	Fe_2TiO_4		
	<i>Olicine</i>	$4[(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4]$	<55	0.01-1.3
	<i>Siderite</i>	FeCO_3	48	1.0
	<i>Biotite</i>	Mg,Fe,Al silicate	31	0.05-0.95
	<i>Pyroxene</i>	$(\text{Mg,Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_6$	<12	0.04-0.94
	<i>Chamosite</i>	oxidised chlorite		0.9
	<i>Nontronite</i>	Fe-rich clay		0.863
	<i>Amphibole</i>	Mg,Fe,Al silicate		0.16-0.69
	<i>Epidote</i>	Ca,Fe,Al silicate	31	0.25-0.31
	<i>Pyrite</i>	FeS_2	47	0.3
	<i>Lepidocrocite</i>	γFeOOH	63	0.5-0.75, 0.69
	<i>Prochlorite</i>	mica-like mineral		0.157

No.	Mineral/Material	Formula	Besi (%)	Suseptibilitas Magnetik Spesifik Massa ($10^{-6} \text{m}^3/\text{kg}$)
	<i>Vermiculite</i>	complex silicate		0.152
	<i>Illite</i>	$\text{KAl}_4(\text{Si}, \text{Al})_8\text{O}_2\text{O}(\text{OH})_4$		0.15
	<i>Bentonite</i>	complex silicate		0.058
	<i>Smectite</i>	complex silicate		0.05, 0.027
	<i>Chalcopyrite</i>	CuFeS_2	30	0.03
	<i>Attapulgate</i>	complex silicate		0.02
	<i>Dolomite</i>	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$		0.011
5	Diamagnetik			
	<i>Calcite</i>	CaCO_3		-0.0048
	<i>Alkali-feldspar</i>	Ca, Na, K, Al silicate		-0.005
	Plastik			-0.005
	<i>Quartz</i>	SiO_2		-0.0058
	Bahan Organik			-0.009
	Air	H_2O		-0.009
	<i>Halite</i>	NaCl		-0.009
	<i>Kaolinite</i>	$\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$		-0.0019

(Sumber : Dearing, 1999)

F. Sinar-X

Sinar-X ditemukan oleh Wilhelm Konrad Roentgen pada tahun 1895. Roentgen mendapatkan bahwa kertas berlapis barium *platinocyanide* akan berkilau saat tabung sinar katode yang ditutupi papan hitam dihidupkan di dekat kertas tersebut. Kilauan yang dipancarkan inilah yang dikatakan sinar-X, dinamakan X karena sifat dari sinar ini belum diketahui. Sinar-X merupakan sinar yang memiliki panjang gelombang yang hampir sama dengan jarak antara atom-atom dalam kristal. Hal ini menyebabkan kristal dapat digunakan untuk mendifraksi sinar-X dengan kisi Kristal (Beiser, 1998).

Cara untuk mempetoleh sinar-X antara lain:

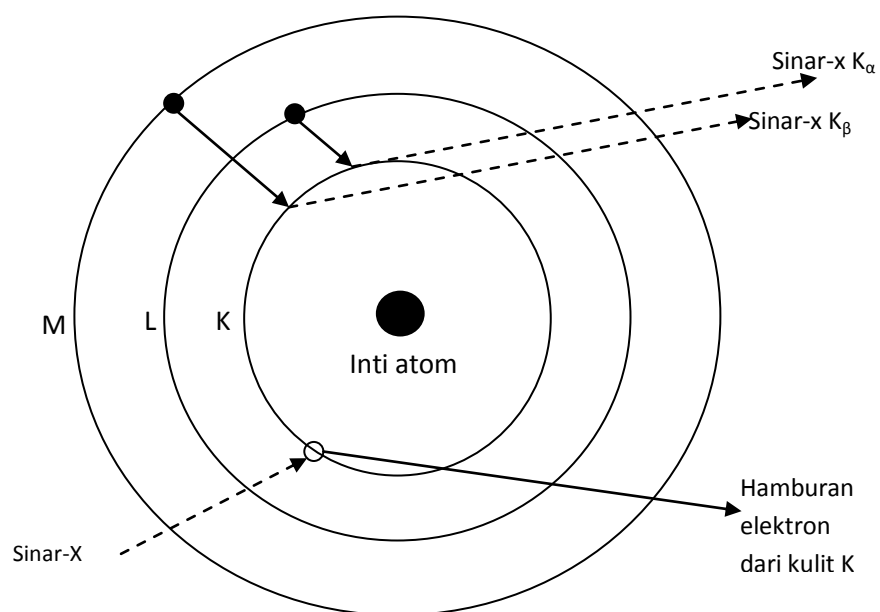
a. Peristiwa *bremstahlung*

Peristiwa *bremstahlung* terjadi karena adanya perlintasan partikel elektron bermuatan listrik yang bergerak dengan kecepatan tinggi di dekat

inti atom. Perlintasan ini menyebabkan adanya gaya tarik elektrostatis inti atom yang kuat sehingga terjadi pembelokan elektron yang sangat tajam. Peristiwa itu akan menyebabkan elektron kehilangan energi dengan memancarkan radiasi elektromagnetik. Panjang gelombang yang dihasilkan bergantung pada energi partikel yang dipercepat (Abdullah dan Khairurrijal, 2010).

b. Transisi elektron

Transisi elektron antar kulit pada atom dengan massa menengah merupakan cara kedua untuk menghasilkan sinar-X. Sinar-X dihasilkan dari tembakan berkas elektron terhadap suatu unsur di anoda yang menghasilkan panjang gelombang yang diketahui. Peristiwa penghasilan sinar-X ini terjadi pada tabung sinar-X. Sinar-X dari tabung sinar-X digunakan untuk melepaskan elektron pada kulit dalam untuk menghasilkan sinar-X baru. Sinar-X baru ini berasal dari perpindahan elektron bagian kulit luar untuk menggantikan elektron kulit dalam yang terlepas terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Proses perlepasan elektron dari kulit dalam dan digantikan oleh elektron dari lapisan luar dan pemancaran sinar-X dari perpindahan itu

Transisi yang menyangkut elektron pada sebuah atom menimbulkan spektrum sinar-X diskrit. Transisi ini mengakibatkan tersangkutnya 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 lubang pada kulit K (Beiser, 1987). Deret K dari garis dalam spektrum sinar-X pada sebuah unsur ditimbulkan oleh transisi dari tingkat L, M, N dan kulit selanjutnya ke tingkat K. Transisi elektron yang terjadi pada saat penembakan sinar-X akan menghasilkan pancaran foton-foton yang berbeda. Foton $K\alpha$ dipancarkan pada saat elektron L melakukan transisi ke keadaan K untuk mengisi kekosongan. Begitu juga pada saat terjadinya transisi dari elektron M ke kulit K akan menghasilkan foton $K\beta$.

Sinar-X yang dihasilkan dari perpindahan elektron dilewatkan melalui suatu kolimator seperti terlihat pada Gambar 7 a untuk menghasilkan berkas sinar yang koheren. Sinar-X tersebut kemudian didifraksikan oleh sebuah kisi Kristal dimana nilai d -nya sudah diketahui untuk mengetahui nilai sudut dari sinar-X dimana nilai dari panjang gelombangnya juga telah diketahui dapat menggunakan persamaan Bragg. Persamaan Bragg ini sebagai berikut:

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

keterangan :

λ = panjang gelombang

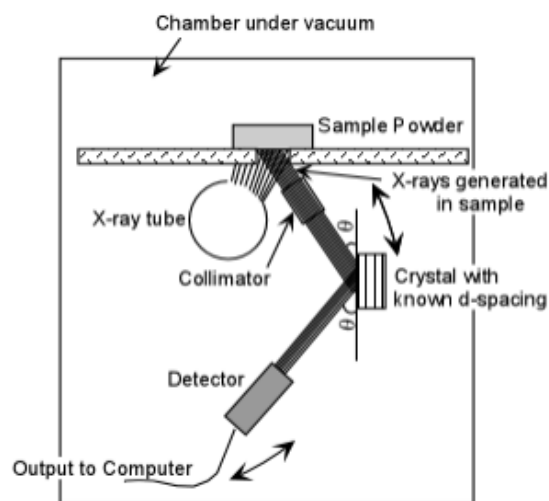
d = jarak antar dua kisi

θ = sudut sinar datang dengan bidang pantul

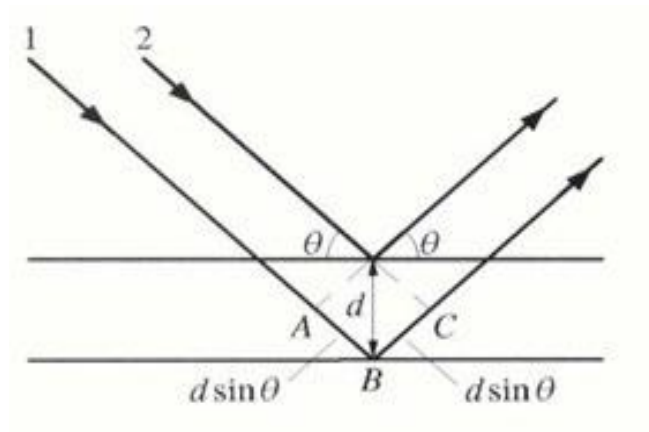
n = orde pembiasan ($n=1,2,3,\dots$)

Agar sinar-X yang didifraksikan hanyalah sinar-X dengan panjang gelombang tertentu saja. Kristal dan detektor dapat diatur-aturl hingga mendapatkan panjang gelombang yang diinginkan.

Berkas sinar-X monokromatik yang jatuh pada sebuah kristal akan dihamburkan ke segala arah, tetapi karena keteraturan letak atom-atom, pada arah tertentu gelombang hambur itu akan berinterferensi (Beiser, 1987). Interferensi konstruktif dapat terlihat pada Gambar 17 b.



(a)



(b)

Gambar 7. (a) Proses penerusan sinar-X melalui kisi Kristal untuk menghasilkan sinar-X yang koheren. (b) Proses hamburan sinar-X pada permukaan kristal

Terlihat pada Gambar 7 b, 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 A ke titik B dan jarak dari titik B ke titik C.

G. *X-Ray Fluorescence (XRF)*

X-Ray Fluorescence (XRF) merupakan salah satu metode untuk menentukan komposisi kimiawi dari semua macam mineral. Mineral yang dimaksud dapat berupa tanah, cairan, bubuk, bahan saringan atau bentuk lainnya. XRF kadang-kadang juga bisa digunakan untuk menentukan ketebalan dan komposisi dari lapisan atau pembuntalan (Brouwer, 2006).

Metode XRF ini adalah metoda yang cepat, akurat dan tidak merusak. Metode ini hanya membutuhkan sedikit dari peparasi sampel. Aplikasinya sangat luas dan dapat berupa logam, semen, minyak, polimer, plastik, bahan makanan, dan hal-hal yang berhubungan dengan pertambangan, mineralogi dan geologi. Selain itu, aplikasi yang dapat diukur adalah analisis yang berhubungan dengan lingkungan seperti air dan mineral-mineral logam. Untuk teknik riset dan farmasi metoda XRF sangat berguna.

Sistem spektrometer dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu:

a. *Energy Dispersive System* (EDXRF)

Spektrometer EDXRF memiliki detektor yang mampu mengukur energi yang berbeda dari radiasi karakteristik yang datang secara langsung dari sampel. Detektor ini dapat memisahkan radiasi dari sampel menjadi unsur-unsur yang terdapat di dalam sampel, pemisahan ini disebut dispersi (Verma, 2007). Range elemental dari EDXRF mulai dari Sodium ke Uranium (Na ke U) yaitu pada range 1-4 eV. EDXRF adalah teknik yang paling baik untuk menentukan elemen dengan bentuk energi sinar-X yang rendah.

b. *Wavelength Dispersive System* (WDXRF)

Spektrometer WDXRF menggunakan analisis kristal untuk membubarkan energi yang berbeda. Semua radiasi yang berasal dari sampel yang jatuh ke kristal tersebut. Kristal ini berperan sebagai pendifraksi energi yang berbeda dalam arah yang berbeda pula. Prinsipnya hampir sama dengan prisma yang menyebarkan warna yang berbeda pada arah yang berbeda (Verma, 2007). Range elemental dari WDXRF lebih luas dibandingkan dengan range pada EDXRF yaitu mulai dari Beryllium ke Uranium (Be ke U). Unsur dengan nomor atom tinggi memiliki batas deteksi yang lebih baik dibandingkan dengan unsur yang memiliki nomor atom yang lebih kecil.

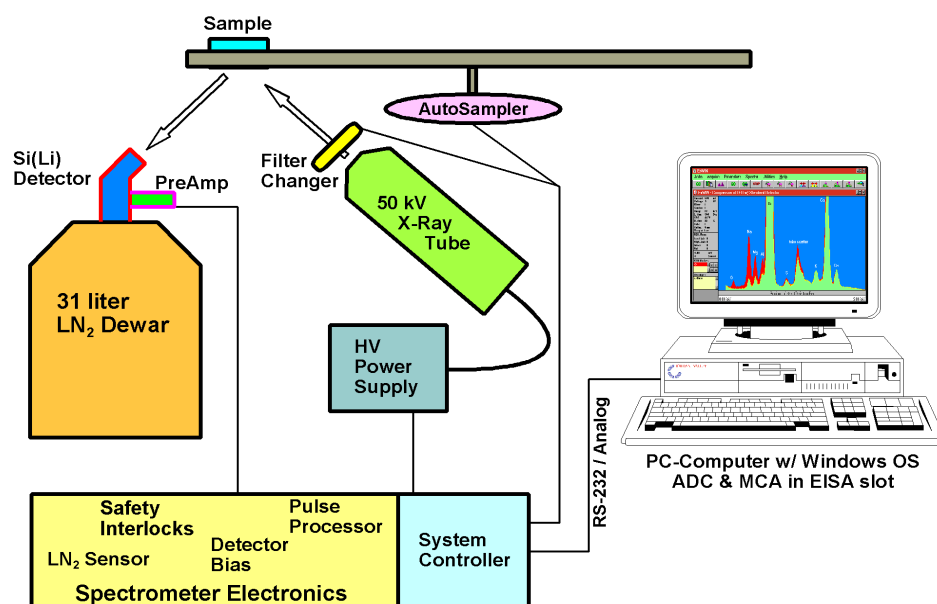
Table 3. Perbedaan pengukuran menggunakan metoda EDXRF dan WDXRF

	EDXRF	WDXRF
Berbagai unsur	Na..U(Sodium..Uranium)	Be..U(Beryllium..Uranium)

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

(Sumber: Brouwer, 2006)

Identifikasi dengan XRF menggunakan teknik difraksi sinar-X. Peralatan yang terdapat pada XRF antara lain tabung pembangkit sinar-X seperti terlihat pada gambar 8. Sinar-X yang digunakan haruslah memiliki energi yang sangat tinggi.

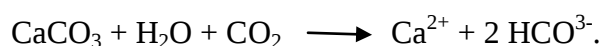


Gambar 8. Skema cara kerja *X-Ray Fluorescence* (XRF)

Sinar-X dari tabung pembangkit sinar-X ditembakkan untuk mengeluarkan elektron dari kulit bagian terdalam. Pelepasan elektron dari kulit terdalam ini akan menghasilkan sinar-X baru dari sampel yang dianalisa. Setiap atom di dalam sampel, karakteristik dari intensitas sinar-X yang dihasilkan sebanding dengan konsentrasi atom di dalamnya. Karakteristik dari intensitas sinar-X yang dihasilkan dari setiap unsur dibandingkan dengan suatu standar yang diketahui konsentrasinya. Perbandingan tersebutlah yang digunakan untuk mengetahui konsentrasi unsur di dalam sampel.

H. Topografi Daerah Gua Bau-Bau Kalimantan Timur

Gua Bau-Bau terletak di Kecamatan Bengalon, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur. Secara topografi daerah ini berada pada Taman Nasional Kutai sehingga daerah gua ini jauh dari pencemaran polusi kendaraan bermotor. Selain itu, disekitar gua tidak terdapat gunung berapi aktif. Gua ini berada pada kawasan karst, dimana karst terbentuk dari pelarutan batuan seperti pelarutan batu gamping. Proses pelarutan batu gamping diawali oleh larutnya CO_2 di dalam air membentuk H_2CO_3 . Larutan H_2CO_3 tidak stabil terurai menjadi H^+ dan HCO_3^{2-} . Ion H^+ inilah yang selanjutnya menguraikan CaCO_3 menjadi Ca^{2+} dan HCO_3^{2-} . Secara ringkas proses pelarutan dirumuskan dengan reaksi sebagai berikut.

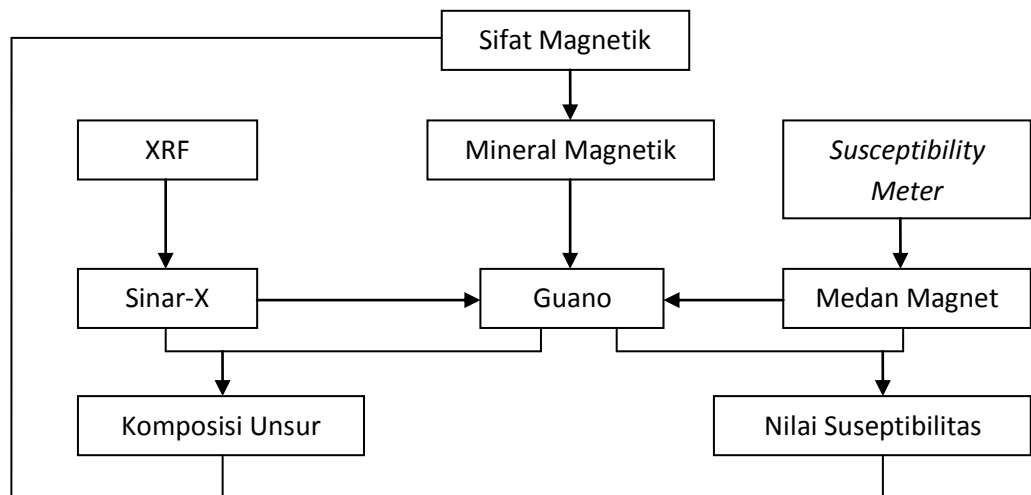


Terbentuknya kawasan karst pada daerah sekitar Gua Bau-bau dipengaruhi oleh dua faktor yaitu faktor pengontrol dan faktor pendorong. Faktor pengontrol menentukan dapat tidaknya proses karstifikasi berlangsung seperti, batuan yang mudah larut, kompak, tebal dan mempunyai banyak rekahan, curah hujan yang cukup, serta batuan

yang terekspos di ketinggian. Sedangkan faktor pendorong menentukan kecepatan dan kesempurnaan proses pelarutan batuan di kawasan karst seperti temperatur dan penutupan hutan (Haryono dan Adji, 2004).

I. Kerangka Berfikir

Guano merupakan endapan gua yang berada di daerah karst dengan mineral penyusun utama adalah *kalsit* (CaCO_3). Selain itu guano merupakan endapan sisa pencernaan kelelawar yang didominasi oleh tubuh serangga yang mengandung zat *chitin* ($\text{C}_{18}\text{H}_{26}\text{N}_2\text{O}_{10}$). Mineral *kalsit* dan *chitin* bukanlah mineral magnetik, namun setelah terendap bertahun-tahun dan dilakukan pengukuran sifat magnetik dengan *susceptibility meter*, ternyata guano ini mengandung mineral magnetik. Selain mineral magnetik, juga terkandung mineral-mineral yang lain dengan komposisi tertentu. Komposisi unsur yang terkandung di dalam guano dapat diidentifikasi dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF). Kaitan antara komposisi unsur dasar penyusun mineral magnetik dengan nilai suseptibilitas magnetik diketahui dengan melihat hubungan antara nilai suseptibilitas magnetik dengan komposisi unsur dasar mineral magnetik.



Gambar 9. Kerangka Berfikir Penelitian

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pada sampel guano Gua Bau-bau titik A dan titik B dapat diambil kesimpulannya, yaitu: Hasil perbandingan nilai suseptibilitas magnetik dengan komposisi unsur dasar penyusun mineral magnetik, menunjukkan kaitan komposisi Fe terhadap nilai suseptibilitas magnetik dari guano titik A dan titik B. Dimana secara keseluruhan komposisi Fe sebanding dengan nilai suseptibilitas magnetik guano untuk kedua titik. Namun untuk masing-masing kedalaman pada titik B tidak terlihat kaitan komposisi Fe dengan nilai suseptibilitas magnetiknya. Sedangkan hasil perbandingan nilai suseptibilitas magnetik dengan komposisi unsur transisi golongan keempat selain Fe, kaitan antara komposisi unsur dan nilai suseptibilitas magnetik kurang begitu terlihat. Komposisi unsur transisi golongan keempat selain Fe sangat rendah jika dibandingkan dengan komposisi Fe yang terdapat pada sampel guano di kedua titik.

B. Saran

1. Pengukuran nilai suseptibilitas magnetik terhadap sampel sebaiknya dilakukan dengan banyak pengulangan agar diperoleh data nilai suseptibilitas magnetik rata-rata yang lebih akurat.
2. Pemilihan sampel yang akan diukur komposisi unsurnya sebaiknya sampel-sampel yang memiliki perbedaan nilai suseptibilitas magnetik