

**IDENTIFIKASI MINERAL MAGNETIK PADA GUANO DI GUA
BAU-BAU KALIMANTAN TIMUR MENGGUNAKAN
SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Oleh

TAUHIDA AMALIA SARI

NIM. 12771

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

PERSETUJUAN SKRIPSI

**IDENTIFIKASI MINERAL MAGNETIK PADA GUANO DI GUA
BAU-BAU KALIMANTAN TIMUR MENGGUNAKAN
SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)**

Nama : Tauhida Amalia Sari
NIM : 12771
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 09 Januari 2014

Disetujui oleh:

Pembimbing I,



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

Pembimbing II,



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

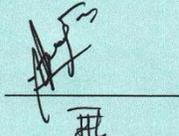
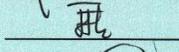
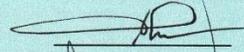
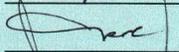
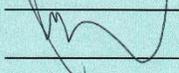
PENGESAHAN SKRIPSI

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

Judul : Identifikasi Mineral Magnetik pada Guano di Gua Bau-
Bau Kalimantan Timur Menggunakan *Scanning Electron
Microscope (SEM)*
Nama : Tauhida Amalia Sari
NIM : 12771
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 23 Januari 2014

Tim Penguji

Nama	Tanda Tangan
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.	

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,



Tauhida Amalia Sari

ABSTRAK

**Tauhida Amalia : Identifikasi Mineral Magnetik pada Guano di Gua
Sari Bau-Bau Kalimantan Timur Menggunakan
Scanning Electron Microscope (SEM)**

Perubahan lingkungan dari suatu gua dapat diketahui dari keberadaan mineral magnetik yang terkandung di dalam guano. Pada penelitian ini, dilakukan identifikasi mineral magnetik pada guano dari Gua Bau-Bau Kalimantan Timur yang terletak pada kawasan karst. Penelitian ini bertujuan untuk melihat morfologi, komposisi unsur dan jenis mineral magnetik pada guano di dua titik dengan kedalaman yang sama, sehingga dapat diketahui bagaimana bentuk transportasi mineral magnetik ke dalam gua tersebut.

Identifikasi mineral magnetik dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) yang diikuti dengan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS). Penelitian ini menggunakan 6 sampel yang diambil dari dua titik pada gua yang sama. Sampel guano terlebih dahulu diekstraksi dengan menggunakan metode *methanol soap bath*. Komposisi unsur yang didapatkan dianalisa dengan menggunakan Hukum Proust untuk menentukan jenis mineral-mineral magnetik yang terkandung pada guano.

Hasil analisa morfologi mineral magnetik dengan menggunakan SEM diketahui, bahwa pada guano di Gua Bau-Bau mineralnya berbentuk lonjong dan banyak terdapat rekahan, selain itu ukuran bulir mineral magnetik termasuk ke dalam kelompok *multidomain* yaitu berukuran $> 80 \mu\text{m}$. Hasil analisa EDS menunjukkan beberapa unsur dominan pada guano adalah Fe, O, Ti, Mg, Al dan Si. Analisa menggunakan Hukum Proust menunjukkan bahwa jenis mineral magnetik yang terbentuk pada Gua Bau-Bau adalah *Hematite* (Fe_2O_3), *Magnetite* (Fe_3O_4), *Ilmenite* (FeTiO_3) dan *Rutile* (TiO_2), dimana dari kedua titik pada kedalaman yang sama memiliki mineral magnetik yang sama. Bulir-bulir magnetik yang demikian diduga berasal dari lingkungan luar dan selama musim hujan, tertransportasi ke dalam gua.

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 “Identifikasi Mineral Magnetik pada Guano di Gua Bau-Bau Kalimantan Timur Menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM)”.

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 dosen penguji dan sekaligus sebagai Ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

4. Bapak Drs. Mahrizal, M.Si, dan Bapak Harman Amir, S.Si, M.Si., sebagai tim dosen penguji yang telah meluangkan waktu untuk memberikan arahan dan saran kepada penulis.
5. Ibu Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si. sebagai penasehat akademik yang telah banyak memberikan masukan dan motivasi kepada penulis.
6. Ibu Dra. Hidayati, M.Si. sebagai Ketua Prodi Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
7. Kepada seluruh staf pengajar Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang yang telah membekali ilmu dan pengetahuan kepada penulis selama perkuliahan.
8. Rekan-rekan yang telah melakukan penelitian bersama penulis yang banyak membantu dan memberikan semangat kepada penulis.
9. Khusus dan istimewa kepada kedua orang tua dan keluarga penulis yang selalu memberikan semangat dan disertai dengan doanya untuk penulis.

Skripsi ini masih terdapat kesalahan dan kekurangan. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan isi skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Padang, Januari 2014

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Batasan Masalah	4
C. Rumusan Masalah	5
D. Tujuan Penelitian	5
E. Kontribusi Penelitian	5
BAB II KAJIAN TEORI	
A. Kajian Teoritis	7
1. Guano	7
2. Sifat Kemagnetan Bahan	8
3. Mineral Magnetik	11
4. Morfologi Mineral Magnetik	14
5. Hukum Perbandingan Tetap (Hukum Proust)	16
6. <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	17
7. Metode Magnetik dalam Kajian Lingkungan	20
B. Daerah Gua Bau-Bau Kalimantan Timur	22
C. Penelitian Relevan	24
D. Kerangka Berfikir	24

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Jenis Penelitian	26
B. Tempat dan Waktu Penelitian	26
C. Instrumen Penelitian	27
D. Prosedur Penelitian	29
E. Teknik Pengolahan Data	32
F. Teknik Analisa Data	34

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian.....	37
B. Pembahasan	91

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan.....	97
B. Saran	98

DAFTAR PUSTAKA	99
----------------------	----

LAMPIRAN	102
----------------	-----

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
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.....	9
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.....	10
Gambar 3. Diagram <i>Ternary</i> yang menggambarkan komposisi mineral dalam keluarga oksida titanium besi	12
Gambar 4. Struktur Kristal <i>Magnetite</i>	13
Gambar 5. Struktur Kristal <i>Hematite</i>	13
Gambar 6. Cara Kerja SEM.....	19
Gambar 7. Kerangka Berfikir Penelitian	25
Gambar 8. Peta lokasi Pengambilan Sampel Guano di Gua Bau-Bau Kalimantan Timur	27
Gambar 9. SEM <i>type</i> Phenom Pro X.....	28
Gambar 10. Prosedur Persiapan Sampel.....	30
Gambar 11. Prosedur Pemilihan Sampel	31
Gambar 12. Diagram skema sederhana untuk menampilkan jalur elektron primer dan emisi <i>backscattered electron</i> dan elektron sekunder	34
Gambar 13. Contoh dari Keluaran EDS	35
Gambar 14. Hasil SEM Sampel Guano Gua Bau-Bau Titik A 15-20 cm Perbesaran 360x.....	38

Gambar 15. Hasil SEM dari Sampel Guano BA1520 (I) dengan Perbesaran 990x	39
Gambar 16. Hasil EDS Guano BA1520 (I)	40
Gambar 17. Hasil SEM dari Sampel Guano BA1520 (II) dengan Perbesaran 970x	41
Gambar 18. Hasil EDS Guano BA1520 (II)	42
Gambar 19. Hasil SEM dari Sampel Guano BA1520 (III) dengan Perbesaran 1250x	43
Gambar 20. Hasil EDS Guano BA1520 (III).....	44
Gambar 21. Hasil SEM dari Sampel Guano BA1520 (IV) dengan Perbesaran 1250x	46
Gambar 22. Hasil EDS Guano BA1520 (IV)	47
Gambar 23. Hasil SEM dari Sampel Guano BA1520 (V) dengan Perbesaran 1650x	48
Gambar 24. Hasil EDS Guano BA1520 (V).....	49
Gambar 25. Hasil SEM Sampel Guano Gua Bau-Bau Titik A 45-50 cm Perbesaran 360x	51
Gambar 26. Hasil SEM dari Sampel Guano BA4550 (I) dengan Perbesaran 870x	52
Gambar 27. Hasil EDS Guano BA4550 (I)	53
Gambar 28. Hasil SEM dari Sampel Guano BA4550 (II) dengan Perbesaran 610x	54
Gambar 29. Hasil EDS Guano BA4550 (II)	55
Gambar 30. Hasil SEM Sampel Guano Gua Bau-Bau Titik A 85-90 cm Perbesaran 245x	57
Gambar 31. Hasil SEM dari Sampel Guano BA8590 (I) dengan Perbesaran 810x	58

Gambar 32. Hasil EDS Guano BA8590 (I)	59
Gambar 33. Hasil SEM dari Sampel Guano BA8590 (II) dengan Perbesaran 640x	60
Gambar 34. Hasil EDS Guano BA8590 (II)	61
Gambar 35. Hasil SEM dari Sampel Guano BB1520 dengan Perbesaran 1000x..	62
Gambar 36. Hasil EDS Guano BB1520 (I)	63
Gambar 37. Hasil SEM Sampel Guano Gua Bau-Bau Titik B 45-50 cm Perbesaran 225x.....	65
Gambar 38. Hasil SEM dari Sampel Guano BB4550 (I) dengan Perbesaran 700x	66
Gambar 39. Hasil EDS Guano BB4550 (I)	67
Gambar 40. Hasil SEM dari Sampel Guano BB4550 (II) dengan Perbesaran 920x	68
Gambar 41. Hasil EDS Guano BB4550 (II)	69
Gambar 42. Hasil SEM dari Sampel Guano BB4550 (III) dengan Perbesaran 960x	71
Gambar 43. Hasil EDS Guano BB4550 (III).....	72
Gambar 44. Hasil SEM dari Sampel Guano BB4550 (IV) dengan Perbesaran 750x	73
Gambar 45. 8 Area EDS Guano BB4550 (IV)	74
Gambar 46. Hasil EDS Guano BB4550 Area 1 (IV).....	74
Gambar 47. Hasil EDS Guano BB4550 Area 2 (IV).....	76
Gambar 48. Hasil EDS Guano BB4550 Area 3 (IV).....	77
Gambar 49. Hasil EDS Guano BB4550 Area 4 (IV).....	79

Gambar 50. Hasil EDS Guano BB4550 Area 5 (IV).....	80
Gambar 51. Hasil EDS Guano BB4550 Area 6 (IV).....	81
Gambar 52. Hasil EDS Guano BB4550 Area 7 (IV).....	83
Gambar 53. Hasil EDS Guano BB4550 Area 8 (IV).....	84
Gambar 54. Hasil SEM Sampel Guano Gua Bau-Bau Titik B 85-90 cm Perbesaran 245x.....	86
Gambar 55. Hasil SEM dari Sampel Guano BB8590 (I) dengan perbesaran 480x	87
Gambar 56. Hasil EDS Guano BB8590 (I)	88
Gambar 57. Hasil SEM dari Sampel Guano BB8590 (II) dengan Perbesaran 640x	89
Gambar 58. Hasil EDS Guano BB8590 (II)	90

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Komposisi Unsur dari Guano BA1520 (I).....	40
Tabel 2. Komposisi Unsur dari Guano BA1520 (II).....	42
Tabel 3. Komposisi Unsur dari Guano BA1520 (III)	45
Tabel 4. Komposisi Unsur dari Guano BA1520 (IV)	48
Tabel 5. Komposisi Unsur dari Guano BA1520 (V)	49
Tabel 6. Komposisi Unsur dari Guano BA4550 (I).....	53
Tabel 7. Komposisi Unsur dari Guano BA4550 (II).....	55
Tabel 8. Komposisi Unsur dari Guano BA8590 (I).....	59
Tabel 9. Komposisi Unsur dari Guano BA8590 (II).....	61
Tabel 10. Komposisi Unsur dari Guano BB1520	64
Tabel 11. Komposisi Unsur dari Guano BB4550 (I)	67
Tabel 12. Komposisi Unsur dari Guano BB4550 (II).....	70
Tabel 13. Komposisi Unsur dari Guano BB4550 (III)	72
Tabel 14. Komposisi Unsur dari Guano BB4550 Area 1 (IV)	75
Tabel 15. Komposisi Unsur dari Guano BB4550 Area 2 (IV)	76
Tabel 16. Komposisi Unsur dari Guano BB4550 Area 3 (IV)	78

Tabel 17.	Komposisi Unsur dari Guano BB4550 Area 4 (IV)	79
Tabel 18.	Komposisi Unsur dari Guano BB4550 Area 5 (IV)	81
Tabel 19.	Komposisi Unsur dari Guano BB4550 Area 6 (IV)	82
Tabel 20.	Komposisi Unsur dari Guano BB4550 Area 7 (IV)	83
Tabel 21.	Komposisi Unsur dari Guano BB4550 Area 8 (IV)	85
Tabel 22.	Beberapa Senyawa yang Terbentuk pada Delapan Area Spot Guano BB4550 (IV)	86
Tabel 23.	Komposisi Unsur dari Guano BB8590 (I)	88
Tabel 24.	Komposisi Unsur dari Guano BB8590 (II).....	91
Tabel 25.	Kandungan Mineral Magnetik Guano Gua Bau-Bau Kedalaman 15-20 cm.....	93
Tabel 26.	Kandungan Mineral Magnetik Guano Gua Bau-Bau Kedalaman 45-50 cm.....	93
Tabel 27.	Kandungan Mineral Magnetik Guano Gua Bau-Bau Kedalaman 85-90 cm	94

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Sketsa Tempat Pengambilan Sampel Guano Gua Bau-Bau	102
Lampiran 2. Perhitungan Persentase Berat Unsur Guano BA1520 (I)	103
Lampiran 3. Perhitungan Persentase Berat Unsur Guano BA1520 (II)	106
Lampiran 4. Perhitungan Persentase Berat Unsur Guano BA1520 (III).....	109
Lampiran 5. Perhitungan Persentase Berat Unsur Guano BA1520 (IV).....	112
Lampiran 6. Perhitungan Persentase Berat Unsur Guano BA1520 (V).....	115
Lampiran 7. Perhitungan Persentase Berat Unsur Guano BA4550 (I)	119
Lampiran 8. Perhitungan Persentase Berat Unsur Guano BA4550 (II)	122
Lampiran 9. Perhitungan Persentase Berat Unsur Guano BA8590 (I)	126
Lampiran 10. Perhitungan Persentase Berat Unsur Guano BA8590 (II)	129
Lampiran 11. Perhitungan Persentase Berat Unsur Guano BB1520	132
Lampiran 12. Perhitungan Persentase Berat Unsur Guano BB4550 (I)	136
Lampiran 13. Perhitungan Persentase Berat Unsur Guano BB4550 (II)	140
Lampiran 14. Perhitungan Persentase Berat Unsur Guano BB4550 (III).....	143
Lampiran 15. Perhitungan Persentase Berat Unsur Guano BB4550 Area 1 (IV)..	146
Lampiran 16. Perhitungan Persentase Berat Unsur Guano BB4550 Area 2 (IV)..	149
Lampiran 17. Perhitungan Persentase Berat Unsur Guano BB4550 Area 3 (IV)..	152

Lampiran 18. Perhitungan Persentase Berat Unsur Guano BB4550 Area 4 (IV)..	156
Lampiran 19. Perhitungan Persentase Berat Unsur Guano BB4550 Area 5 (IV)..	159
Lampiran 20. Perhitungan Persentase Berat Unsur Guano BB4550 Area 6 (IV)..	162
Lampiran 21. Perhitungan Persentase Berat Unsur Guano BB4550 Area 7 (IV)..	165
Lampiran 22. Perhitungan Persentase Berat Unsur Guano BB4550 Area 8 (IV)..	169
Lampiran 23. Perhitungan Persentase Berat Unsur Guano BA8590 (I)	172
Lampiran 24. Perhitungan Persentase Berat Unsur Guano BA8590 (II)	176
Lampiran 25. Diagram <i>Ternary</i> dari Beberapa Mineral	180

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Gua memiliki sebuah ekosistem yang terbuka dimana semua komponen saling berkaitan antara lingkungan dalam maupun lingkungan luar gua (Rahmadi, 2007). Perubahan sedikit saja pada lingkungan di dalam gua ataupun luar gua, hal ini dapat mengganggu kehidupan di dalam gua. Perubahan lingkungan pada suatu gua dapat diketahui dari keberadaan mineral magnetik pada gua tersebut (Rifai, 2010). Beberapa penelitian menyebutkan bahwa variasi dari kandungan mineral magnetik dalam hal jenis mineral magnetik, ukuran dan bentuk bulir sangat berpengaruh terhadap kajian perubahan lingkungan (Rifai, 2011). Salah satu objek di dalam gua yang dapat menjadi pembawa jejak perubahan lingkungan adalah mineral magnetik dari sedimen gua.

Berdasarkan proses pembentukannya sedimen gua terdiri dari sedimen kimia dan sedimen klastik (White, 2007). Sedimen kimia adalah sedimen yang terbentuk di dalam gua seperti stalagtit dan stalagmit sedangkan, sedimen klastik adalah sedimen yang terbentuk dari lingkungan luar yang masuk ke dalam gua. Salah satu contoh sedimen gua yang terbentuk akibat sedimen yang terbawa dari lingkungan luar ke dalam gua adalah guano.

Guano berasal dari kotoran kelelawar atau burung yang mengandung mineral Karbon (C), kaya Nitrogen (N), dan mengandung Fosfat (PO₄) serta urea dari sisa

pencernaan yang menumpuk dan mengendap di lantai gua (Bird, 2007). Guano sangat sensitif dalam merekam perubahan lingkungan dimasa lampau (Wurster, dkk, 2008). Hal ini dapat diketahui dengan melakukan beberapa penelitian terhadap guano. Wurster, dkk (2008) meninjau sifat kimia isotop Karbon (C) dan isotop Hidrogen (H) yang terkandung pada guano di Grand Canyon Amerika Serikat. Nilai isotop diukur dengan menggunakan *Isotope Ratio Mass Spectrometry* (IRMS). Wurster, dkk (2008) memperoleh endapan guano sebagian besar terdiri dari zat *chitin* ($C_{18}H_{26}N_2O_{10}$). Hal ini diduga karena rasio isotop Karbon (C) dan isotop Hidrogen (H) pada guano serupa dengan rasio zat *chitin* yaitu 6 : 8. Diduga keberadaan zat *chitin* berasal dari tubuh serangga yang tidak tercerna oleh kelelawar, sehingga secara tidak langsung zat *chitin* mengendap di lantai gua.

Selain itu, Rifai, dkk (2010) mengidentifikasi sifat magnetik yang terdapat pada guano di Gua Rantai dan Gua Solek, Kabupaten 50 Kota. Sifat magnetik guano didapatkan dengan mengetahui konsentrasi mineral magnetik berdasarkan kedalaman yang sama pada sampel. Konsentrasi mineral magnetik guano diketahui berdasarkan nilai suseptibilitas. Hal ini dilakukan untuk melihat kekonsistenan pencatatan perubahan lingkungan pada guano di kedua gua. Bila terdapat dua gua pada posisi yang berdekatan dan mempunyai karakteristik yang sama, maka perubahan yang terjadi pada lingkungan akan tercatat dengan cara yang sama di dalam kedua gua tersebut. Sebaliknya, jika terdapat variasi yang terjadi pada lingkungan maka akan tercatat juga secara bervariasi di dalam gua. Lebih lanjut, Rifai, dkk (2010)

mendapatkan bahwa terjadinya variasi nilai suseptibilitas pada setiap kedalaman 2 cm di kedua gua, variasi nilai tersebut menandakan bahwa kedua gua memiliki karakteristik yang tidak sama. Perbedaan karakteristik ini dapat diduga datang dari perbedaan proses transportasi mineral magnetik dari lingkungan luar ke lingkungan dalam gua.

Guano yang diperoleh dari Gua Rantai dan Gua Solek terletak di dekat salah satu gunung berapi di Sumatera Barat. Keberadaan mineral magnetik pada guano diprediksi berasal dari aktivitas vulkanik yang terdistribusi ke lingkungan sekitar gua. Aktivitas vulkanik menghasilkan debu, maka debu vulkanik tersebut akan terdistribusi ke lingkungan sekitarnya melalui media angin, masuk dan tersedimentasi ke dalam gua (Rifai, dkk, 2010).

Kemudian dilakukan pengidentifikasian mineral magnetik guano yang terdapat pada pulau berbeda dan lingkungan yang berbeda, dimana guano yang diperoleh berasal dari Gua Bau-Bau Kalimantan Timur. Gua Bau-Bau terletak pada kawasan karst di Kecamatan Bengalon Timur, Kabupaten Kutai Timur. Di sekitar Gua Bau-Bau tidak terdapat gunung berapi. Gua yang terletak pada kawasan karst biasanya mengandung mineral utama yaitu Kalsit (CaCO_3) (Haryono dan Adji, 2004). Kalsit (CaCO_3) termasuk kedalam bahan diamagnetik, dimana sifat bahan memiliki respon yang sangat kecil jika diberikan medan magnet terhadap bahan tersebut. Disamping itu *fresh guano* (kotoran kelelewar yang baru) juga tidak merupakan mineral magnetik namun berdasarkan Rifai, dkk (2010), di dalam guano terdapat kandungan mineral magnetik. Oleh sebab itu, pada penelitian ini dilihat apakah terdapat mineral

magnetik pada guano di kawasan karst tersebut dan bagaimana kaitannya dengan transportasi mineral magnetik ke dalam gua.

Identifikasi keberadaan mineral magnetik guano dari Gua Bau-Bau dilakukan dengan cara melihat morfologi yang terbentuk. Hal ini dilakukan karena mineral magnetik memiliki morfologi yang beragam yang bergantung pada sumbernya (Huliselan dan Bijaksana, 2007). Sampel guano yang diambil pada Gua Bau-Bau adalah sampel guano dari dua titik pengambilan sampel dengan jarak ± 20 meter dan memiliki kedalaman yang sama. Walaupun sampel diambil dari dua titik pada gua yang sama belum tentu ada kesamaan morfologi mineral magnetik pada setiap titik sampelnya. Oleh karena itu, morfologi mineral magnetik yang diperoleh dari kedua titik sampel harus diketahui lebih jelas ada atau tidak perbedaan jenis mineral magnetik yang terbentuk pada gua yang sama.

Identifikasi mineral magnetik guano pada penelitian ini menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). SEM dilengkapi dengan *Energy Dispersion Spectroscopy* (EDS). Diharapkan dengan menganalisis menggunakan SEM dapat diketahui morfologi mineral magnetik yang meliputi bentuk, ukuran bulir dan komposisi unsur pada guano di dua titik dengan kedalaman yang sama dari Gua Bau-Bau Kalimantan Timur.

B. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini sebatas mengetahui morfologi dan komposisi unsur pada guano dari 3 variasi kedalaman untuk setiap titik sampel menggunakan SEM.
2. Penentuan jenis mineral magnetik pada guano didapatkan berdasarkan Hukum Proust.
3. Penelitian ini hanya sebatas mengetahui bagaimana jenis transportasi mineral magnetik berdasarkan identifikasi morfologi mineral magnetik.

C. Rumusan Masalah

1. Bagaimana morfologi guano pada kedalaman yang sama di Gua Bau-Bau Kalimantan Timur?
2. Bagaimana komposisi unsur dan jenis mineral magnetik guano pada kedalaman yang sama di Gua Bau-Bau Kalimantan Timur?
3. Bagaimana jenis transportasi mineral magnetik masuk ke dalam Gua Bau-Bau Kalimantan Timur?

D. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui morfologi guano pada kedalaman yang sama dari Gua Bau-Bau Kalimantan Timur.

2. Mengetahui komposisi unsur dan jenis mineral magnetik guano pada kedalaman yang sama dari Gua Bau-Bau Kalimantan Timur.
3. Mengetahui jenis transportasi mineral magnetik masuk ke dalam Gua Bau-Bau Kalimantan Timur.

E. Kontribusi Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yaitu :

1. Hasil pengukuran menggunakan SEM adalah morfologi dan komposisi unsur mineral magnetik. Informasi yang diperoleh dari penelitian ini dapat digunakan sebagai bahasan perubahan lingkungan yang terjadi di sekitar daerah Gua Bau-Bau Kalimantan Timur.
2. Bagi penulis merupakan salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi Sastra-1 (satu) Program Studi Fisika di FMIPA, Universitas Negeri Padang serta menambah pemahaman dan wawasan penulis mengenai penggunaan SEM.
3. Aplikasi dalam ilmu Fisika khususnya pada bidang kemagnetan sehingga dapat menambah pengetahuan dan wawasan peneliti dan pembaca.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Kajian Teoritis

1. Guano

Guano berasal dari bahasa Spanyol yaitu *Quechua* yang berarti kotoran. Berdasarkan asalnya, guano dibagi menjadi dua jenis yaitu guano burung laut (*sea-bird guano*) dan guano kelelawar (*bat guano*). *Sea-bird guano* adalah guano yang berasal dari kotoran burung laut, sedangkan *bat guano* adalah guano yang berasal dari kotoran kelelawar (Suwarno dan Idris, 2007). Guano mengandung mineral Karbon (C), kaya Nitrogen (N), Posfat (PO₄) dan urea dari sisa pencernaan yang menumpuk dan mengendap dilantai gua (Bird, 2007). Selain itu, guano juga mengandung Kalium (K), Magnesium (Mg), dan Belerang (S). Kadar unsur-unsur tersebut dalam guano bervariasi bergantung kepada keadaan iklim (Suwarno dan Idris, 2007).

Guano dapat mengandung mineral magnetik yang 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* (C₁₈H₂₆N₂O₁₀). Zat *chitin* bersifat tidak larut dalam air, asam organik, tetapi dapat larut dalam asam-asam mineral, dan memiliki kemampuan untuk mengikat ion-ion logam (Abun, dkk, 2006). Zat *chitin* pada serangga secara tidak langsung dikonsumsi oleh kelelawar, sehingga menumpuk pada guano yang dapat menyerap ion logam.

Di samping zat *chitin*, guano dapat mengandung material debu yang berasal dari debu yang menempel pada serangga atau buah yang dikonsumsi oleh kelelawar sebelumnya. Debu ini juga dapat berasal dari lingkungan di luar gua. Debu tersebut terdistribusi ke dalam gua melalui media angin atau hanyut bersama

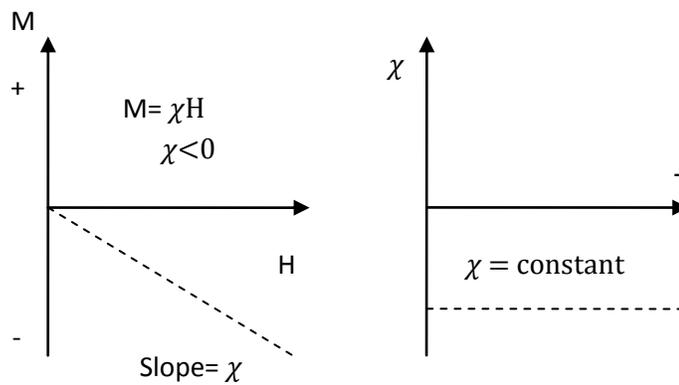
air, sehingga akan berpengaruh pada kandungan mineral magnetik pada guano (Rifai, 2010).

2. Sifat Kemagnetan Bahan

Bahan magnetik adalah suatu bahan yang memiliki sifat kemagnetan dalam komponen pembentuknya. Sifat magnetik suatu bahan sangat bergantung pada kandungan mineral magnetik, ukuran bulir, temperatur dan tekanan. Salah satu cara untuk menentukan mineral penyusun suatu bahan adalah dengan melihat respon bahan tersebut terhadap medan magnet. Berdasarkan perilaku molekulnya di dalam medan magnetik luar, bahan magnetik terdiri atas tiga kategori, yaitu: diamagnetik, paramagnetik, dan ferromagnetik.

b. Diamagnetik

Diamagnetik adalah sifat dasar yang ada disemua bahan walaupun sangat kecil sekali dipengaruhi oleh magnet (Hunt, 1991). Diamagnetik memiliki suseptibilitas magnetik (χ) kecil dan negatif ($\chi \approx -10^{-5}$) (Butler, 1998). Selain itu, suseptibilitas magnetik (χ) untuk bahan diamagnetik tidak bergantung pada temperatur (Hunt, 1991). Jika pada bahan diamagnetik dilewatkan medan magnet, maka bahan ini akan menghasilkan induksi magnetik yang kecil dan melawan arah medan magnet yang digunakan (Butler, 1998). Magnetisasi bahan diamagnetik 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), *Calcite* (CaCO_3), air (Hunt, 1991).



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

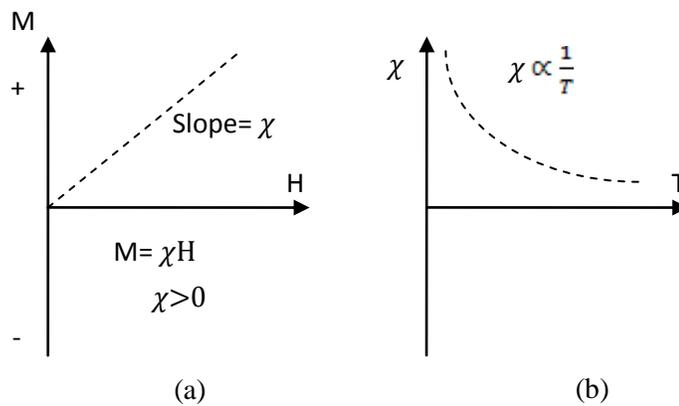
c. Paramagnetik

Bahan paramagnetik dapat dipengaruhi oleh magnet tetapi tidak dapat dibuat menjadi magnet. Bahan paramagnetik mempunyai suseptibilitas magnetik (χ) tergantung pada temperatur (Butler, 1998). Hal ini dinyatakan dengan Hukum Curie:

$$\chi = \frac{c}{T} \quad (1)$$

dimana T adalah temperatur mutlak dan c adalah konstanta *Curie*.

Sifat material paramagnetik yaitu dapat memperoleh magnetisasi hanya dari induksi medan magnet eksternal, magnetisasinya memiliki arah yang sama dengan medan magnet induksi, dapat dilihat pada Gambar 2. Hal ini menyebabkan nilai suseptibilitasnya menjadi positif ($\chi > 0$). Seperti bahan diamagnetik, magnetisasi paramagnetik nol jika medan luar dihilangkan. Contoh bahan paramagnetik adalah *siderite*, *pyrite* (Hunt, 1991).



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)

c. Ferromagnetik

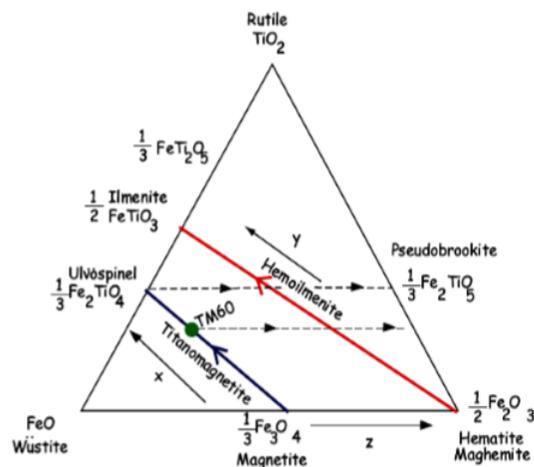
Bahan ferromagnetik sangat kuat dibandingkan dengan diamagnetik dan paramagnetik. Bahan ferromagnetik memiliki suseptibilitas magnetik (χ) positif dan besar ($\chi \approx 50$ sampai 10000). Bahan ferromagnetik akan berubah sifat menjadi paramagnetik apabila dipanaskan di atas temperatur *Curie* (Butler, 1998). Sifat magnet yang kuat dari bahan ini mampu menghasilkan magnetisasi meskipun medan magnet luar dihilangkan (Dunlop dan Ozdemir, 1997). Contoh bahan ferromagnetik adalah besi, nikel dan kobalt (Hunt, 1991).

3. Mineral Magnetik

Mineral termasuk salah satu penyusun dari batuan dan batuan memiliki sifat magnetik (Tauxe, 2007). Agar dapat diklasifikasikan sebagai mineral sejati, mineral tersebut haruslah berupa padatan dan memiliki struktur kristal. Mineral

magnetik alami utama dalam batuan banyak terdapat dari keluarga oksida titanium besi seperti *magnetite*, *hematite* dan *maghemite*, sulfida besi seperti *pyrite* dan *pyrrhotite*, dan hidroksida besi adalah *goethite* (Butler, 1998).

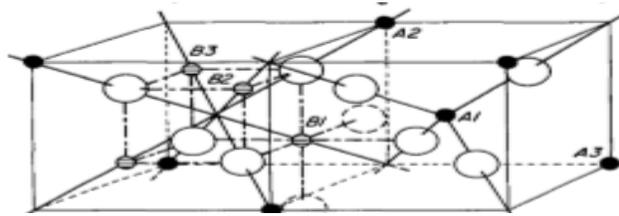
Keluarga oksida titanium besi merupakan mineral magnetik bumi yang paling penting karena dianggap sebagai mineral–mineral magnetik yang paling dominan terdapat di alam. Mineral anggota keluarga oksida titanium besi yang memiliki berbagai macam komposisi yang menggambarkan variasi *iron oxide*, tetapi hanya cenderung mengikuti dua deret yang betul-betul penting yaitu: *titanomagnetite* dan *hemoilmenite*. Pada deret *titanomagnetite* ditemukan sebagai mineral *ulvospinel* dan mineral *magnetite*, sedangkan pada deret *hemoilmenite* ditemukan mineral *ilmenite*, mineral *hematite* dan mineral *maghemite* (Tauxe, 2007). Pada puncak segitiga hanya ditemukan TiO_2 saja, pada ujung sebelah kiri terdapat *Wustite* (FeO), sementara pada ujung sebelah kanan terdapat *Hematite* / *Maghemite* (Fe_2O_3). Hal ini bisa diperhatikan dari diagram *ternary* yang memberikan gambaran mengenai tiga jenis mineral yang saling berhubungan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram *Ternary* yang menggambarkan komposisi mineral dalam keluarga oksida titanium besi (Sumber: Tauxe, 2007)

a. *Magnetite* (Fe_3O_4)

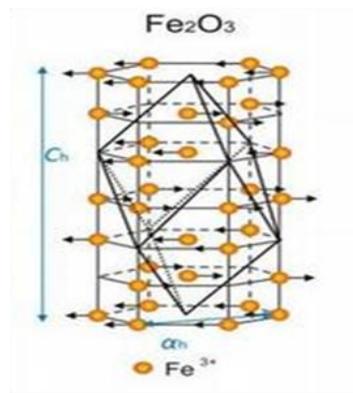
Magnetite adalah salah satu mineral magnetik yang sangat penting di bumi. Hal ini terjadi karena banyak terdapat pada batuan beku, batuan sedimen dan batuan metamorf (Dunlop dan Ozdemir, 1997). Jenis *magnetite* yang dapat dilihat dari butirannya adalah pada oksida besi (Butler, 1998). *Magnetite* (Fe_3O_4) merupakan inverse dari struktur (AB_2O_4). Atom oksigen berbentuk kisi berpusat muka dan berupa oktahedral atau tetrahedral. Untuk setiap unit sel tetrahedral A memiliki 4 inti dan 8 inti untuk setiap sel oktahedral pada bagian B (Tauxe, 2007). Seperti yang dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur Kristal *Magnetite*
(Sumber: Dunlop dan Ozdemir, 1997)

b. *Hematite* (α -Fe₂O₃)

Mineral *hematite* bersifat ferromagnetik (Evans dan Heller, 2003). *Hematite* secara umum banyak ditemukan dalam tanah dan juga sedimen yang merupakan pembawa magnetisasi utama sebagai informasi penting dalam studi lingkungan (Jelenska, 2008). Mineral ini memiliki struktur kristal heksagonal, seperti Gambar 5. *Hematite* mengkristal dalam struktur korundum dengan ion oksigen dalam kerangka heksagonal dengan momen magnetik ion Fe³⁺ (Hunt, 1991).



Gambar 5. Struktur Kristal *Hematite*
(Sumber: Dunlop dan Ozdemir, 1997)

c. *Maghemite* (γ -Fe₂O₃)

Maghemite merupakan mineral yang teroksidasi penuh dari *magnetite* (Jalenska, 2008). Ikatan kimia *maghemite* hampir sama dengan *hematite*, hal ini terlihat pada diagram *ternary* yang terletak pada posisi yang sama (Gambar 5), akan tetapi kedua mineral ini tidak memiliki susunan kristal yang sama (Evans dan Heller, 2003). *Maghemite* memiliki struktur kristal yang sama dengan *magnetite*.

4. Morfologi Mineral Magnetik

Morfologi sangat erat kaitannya dalam penentuan sifat mineral magnetik (Huliselan dan Bijaksana, 2007). Morfologi mencakup bentuk dan ukuran bulir dari mineral magnetik.

a. Bentuk Bulir Mineral Magnetik

Beberapa bentuk bulir magnetik yang diketahui adalah sebagai berikut:

1) Bentuk Bulir Bulat (*spherules*)

Bulir magnetik yang berbentuk bulat menandakan bahwa mineral-mineral magnetik berasal dari proses-proses antropogenik (Huliselan, 2009). Secara alamiah proses antropogenik terjadi pada temperatur tinggi dalam proses dan produksi material yang berhubungan dengan Fe. Pada proses-proses dengan temperatur tinggi ini biasanya akan menghasilkan mineral-mineral magnetik berbentuk bulat. Selain itu, bulir magnetik yang berbentuk bulat sering berasosiasi dengan unsur C, Al, Ca, Na, Si (Huliselan, 2009).

2) Bentuk Bulir Lonjong

Bulir magnetik yang berbentuk lonjong menandakan bahwa mineral magnetik belum terproduksi secara sempurna dan biasanya bulir memiliki banyak rekahan pada permukaannya. Bulir berbentuk seperti ini biasa ditemukan pada sedimen yang pada saat proses transportasi mineral mengalami erosi (Huliselan, 2009).

b. Ukuran Bulir Magnetik

Sifat dari mineral magnetik sangat dipengaruhi oleh ukuran bulir magnetik. Ukuran bulir magnetik dari suatu bahan akan mempengaruhi kestabilannya. Perilaku magnetik berdasarkan jenis domain dibagi menjadi tiga bagian yaitu *single-domain* (SD), *multidomain* (MD), *pseudo-single domain* (PSD) (Hunt, 1991).

1) *Single-domain* (SD)

Single-domain adalah domain tunggal yang mempunyai ukuran bulir kecil dari 0.1 μm yang momen magnetiknya searah (Butler, 1998). Stabilitas magnetisasi pada bulir *single-domain* jauh lebih baik dibandingkan dengan bulir *multidomain*. *Single-domain* ini biasanya disebut *hard magnetic* (Dunlop dan Ozdemir, 1997).

2) *Multidomain* (MD)

Soft Magnetik biasanya disebut juga untuk *multidomain*, karena sangat mudah dipengaruhi oleh medan luar (Dunlop dan Ozdemir, 1997). Bulir *multidomain* memiliki ukuran besar dari 10 μm (Butler, 1998). Struktur

bulirnya memiliki lebih dari satu domain dengan arah yang berbeda. Untuk *magnetite* memiliki ukuran bulir besar dari 20 μm bahkan sampai 100 μm (Hunt, 1991).

3) *Pseudo-Single Domain* (PSD)

Selain bulir-bulir *single-domain* dan *multidomain*, ada juga bulir-bulir yang berukuran transisi. Bulir-bulir ini disebut dengan bulir berdomain tunggal semu atau *pseudo-single domain* (PSD). Interval ukuran bulir PSD untuk *magnetite* adalah 0.1 – 20 μm (Hunt, 1991).

5. Hukum Perbandingan Tetap (Hukum Proust)

Salah satu sifat yang membedakan senyawa dengan campuran yaitu senyawa memiliki susunan yang tetap. Hal ini diungkapkan oleh Joseph Louis Proust sebagai hukum perbandingan tetap, berbunyi: “*Suatu senyawa selalu terdiri atas unsur-unsur yang sama dengan perbandingan massa yang tetap*” (S, Syukri, 1999).

Perbandingan massa unsur dalam senyawa dapat ditentukan dengan cara membandingkan jumlah atom dengan atom relatif masing-masing unsur. Misalnya H_2O perbandingan massa Hidrogen (H) dengan Oksigen (O) = 1 : 8. Perbandingan ini dapat diperoleh dengan cara berikut:

$$\begin{aligned} \text{Massa atom H} : \text{Massa atom O} &= (2 \times \text{Ar H}) : (1 \times \text{Ar O}) \\ &= (2 \times 1) : (1 \times 16) \\ &= 2 : 16 \text{ atau } 1 : 8 \end{aligned}$$

selain itu, terdapat perbandingan yang tetap dari CO₂ adalah C : O = 3 : 8. Jika karbon yang direaksikan 9 maka massa oksigen yang dibutuhkan adalah $\frac{3}{8} \times 9 = 24$. Maka massa CO₂ yang dihasilkan = $9 + 24 = 34$ g. Massa pereaksi yang tersisa adalah oksigen yakni $30 - 24 = 6$ g. Sisa dari reaksi ini bisa jadi merupakan oksigen dari senyawa lain.

6. *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Konsep awal yang melibatkan teori *Scanning Electron Microscope* pertama kali diperkenalkan di Jerman (1935) oleh M. Knoll. Konsep standar SEM modern dibangun oleh Von Ardenne pada tahun 1938 yang ditambahkan scan kumparan ke mikroskop elektron (Handayani, dkk, 2007).

SEM adalah instrumen yang sangat handal dalam melihat struktur permukaan material ataupun bahan dalam ukuran mikro. SEM menggunakan hamburan elektron dalam membentuk bayangan sehingga SEM memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada mikroskop optik. Hal ini disebabkan oleh panjang gelombang de Broglie yang dimiliki elektron lebih pendek daripada gelombang optik. Makin kecil panjang gelombang yang digunakan maka makin tinggi resolusi mikroskop, yang maksudnya adalah pada jarak yang sangat dekat tetap dapat menghasilkan perbesaran yang maksimal tanpa memecahkan gambar (Irvan, 2008). Besar panjang gelombang de Broglie elektron adalah

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (2)$$

dengan h konstanta Planck dan p adalah momentum elektron. Momentum elektron dapat ditentukan dari energi kinetik melalui hubungan

$$K = \frac{p^2}{2m} \quad (3)$$

dengan K energi kinetik elektron dan m adalah massanya. Dalam SEM, berkas elektron keluar dari filamen panas lalu dipercepat pada potensial tinggi V . Akibat percepatan tersebut, akhirnya elektron memiliki energi kinetik.

$$K = eV \quad (4)$$

menggunakan persamaan (3) dan (4) dapat ditulis momentum elektron sebagai

$$p = \sqrt{2meV} \quad (5)$$

dengan demikian panjang de Broglie yang dimiliki elektron adalah

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV}} \quad (6)$$

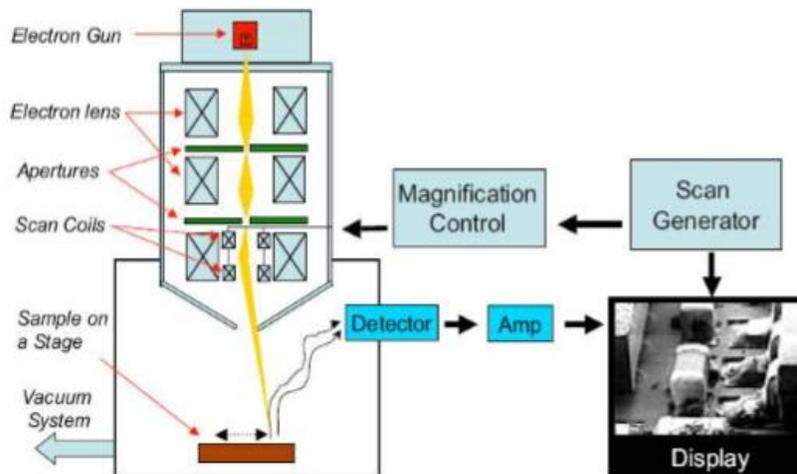
umumnya tegangan yang digunakan pada SEM adalah puluhan kiloVolt. Sebagai ilustrasi, misalkan SEM dioperasikan pada tegangan 20 kV maka panjang gelombang de Broglie elektron sekitar 9×10^{-12} m.

Bahan yang akan dikarakterisasi dengan teknik SEM tentulah bahan yang harus dapat berinteraksi dengan elektron. Suatu bahan dapat berinteraksi dengan elektron apabila bahan tersebut bersifat konduktor. Untuk bahan yang tidak bersifat konduktor, maka karakterisasi dengan teknik SEM dapat dilakukan bila

bahan tersebut dilapisi terlebih dahulu dengan bahan konduktor (Abdullah dan Khairurrijal, 2010).

Cara kerja dari SEM adalah sebagai berikut:

- (1) *Electron gun* menghasilkan *electron beam* dari filamen. Pada *Electron gun* digunakan *tungsten hairpin gun* dengan filamen berupa lilitan *tungsten* yang berfungsi sebagai katoda. Tegangan yang diberikan kepada lilitan mengakibatkan terjadinya pemanasan. Katoda kemudian membentuk gaya yang dapat menarik elektron ke anoda.
- (2) Lensa magnetik (*electron lens*) memfokuskan elektron menuju suatu titik pada permukaan sampel.
- (3) Sinar elektron yang terfokus memindai (*scan*) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.
- (4) Ketika elektron mengenai sampel, maka akan terjadi hamburan elektron menjadi elektron sekunder atau *backscattered electron* dari permukaan sampel dan akan dideteksi oleh *detector*, Sehingga signal dari *detector* dikuatkan oleh *amplifier* dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada monitor CRT. Seperti yang terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Cara Kerja SEM
(Sumber: Oktaviana, 2009)

SEM dilengkapi dengan *Energy Dispersion Spectroscopy* (EDS). EDS adalah sebuah teknis analisis yang digunakan untuk analisis komposisi unsur kimia pada sampel. Ada empat komponen utama dari setup EDS yaitu sumber sinar, detektor sinar-X, prosesor pulsa, dan analisa. Sebuah detektor digunakan untuk mengkonversi sinar-X kedalam bentuk sinyal, kemudian informasi ini dikirim ke prosesor pulsa yang berperan dalam mengukur sinyal, dan selanjutnya melewati ke sebuah *analyzer* untuk menampilkan data dan analisis.

Akurasi dari spektrum EDS dapat dipengaruhi oleh banyak faktor. Jendela di depan detektor dapat menyerap energi rendah sinar-X (EDS detektor tidak dapat mendeteksi unsur-unsur dengan umur atom kurang dari 4, yaitu H, He, dan Li). *Over-voltage* di EDS mengubah puncak ukuran dan meningkatkan *over-*

voltage pada SEM. Keakuratan spektrum juga dapat dipengaruhi oleh sifat sampel.

7. Metode Magnetik dalam Kajian Lingkungan

Metode magnetik banyak digunakan dalam membahas masalah lingkungan, seperti pada permasalahan *paleoclimate* dan polusi (Jelenska, 2008). Metode kemagnetan lingkungan lahir dari beberapa penelitian, seperti penelitian deposit danau di Inggris, dan loess di China (Jelenska, 2008). Dari penelitian ini diketahui, mineral magnetik tidak terlepas dari lingkungan dan keberadaannya tersebar luas di mana-mana, meskipun secara kuantitatif cukup kecil yaitu sekitar 0.1 % dari massa total batuan atau endapan (Huliselan dan Bijaksana, 2007).

Metode kemagnetan lingkungan juga melibatkan aplikasi dari sifat magnetik dari mineral alami di dalam mempelajari perubahan lingkungan, iklim, ulah tangan manusia pada lingkungan, dan juga sedimen (Jelenska, 2008). Secara alami mineral ini banyak berasal dari batuan beku yang terkikis karena proses erosi, kemudian masuk ke sungai dan terbawa sampai ke danau dan laut. Perubahan keadaan seperti sedimentasi karena erosi akan mengalami pengendapan dan menyumbangkan mineral magnetik di alam. Butir-butir mineral ini bila berada di lingkungan yang kering kemungkinan akan terbawa oleh angin kemudian terendapkan secara terus menerus. Selain itu, letusan gunung api yang menghasilkan debu juga langsung membawa mineral-mineral magnetik ini ke permukaan bumi (Evans dan Heller, 2003).

Sumber atau asal mineral magnetik dapat diprediksi melalui kajian tentang morfologi dan komposisi mineralnya. Morfologi mineral magnetik umumnya berbentuk bulat yang menandakan bahwa mineral-mineral magnetik berasal dari proses-proses antropogenik (sumber yang berasal oleh ulah tangan manusia). Apabila berbentuk lonjong dan memiliki rekahan dapat dikategorikan mineral magnetik yang mengalami erosi (Huliselan, 2009). Selain morfologi dan komposisi mineral, jenis domain magnetik juga sangat penting dalam studi mengenai pencemaran lingkungan. Berdasarkan domain magnetik, asal mineral-mineral magnetik dapat ditentukan. Selain itu, ukuran bulir masing-masing mineral sangat bervariasi bergantung dari sumbernya. Contohnya adalah domain mineral magnetik pencemaran umumnya berukuran besar seperti *pseudo-single domain* (PSD) dan *multidomain* (MD) (Huliselan dan Bijaksana, 2007).

Salah satu contoh proses transportasi mineral magnetik dalam kajian lingkungan adalah sedimen gua yaitu guano. Mineral magnetik yang terdapat pada guano salah satunya disebabkan karena kondisi lingkungan yang selalu berubah dari kondisi basah dan kering. Kondisi lingkungan yang berubah-ubah berperan penting dalam proses transportasi mineral magnetik dari lingkungan luar ke dalam gua. Mineral magnetik pada guano akan bervariasi akibat dari perubahan kondisi lingkungan. Perubahan ini akan menyebabkan perubahan parameter magnetik seperti suseptibilitas, ukuran bulir dan jenis mineral magnetik yang terkandung pada guano.

Rifai, dkk (2010) mengidentifikasi jenis transportasi dapat terjadi pada keadaan basah (hujan) dan kering (kemarau) melalui media angin, air dan binatang gua (kelelawar). Menurut Rifai (2010), transportasi mineral magnetik melalui media angin dapat berasal dari debu yang masuk dari lingkungan luar ke dalam gua seperti debu vulkanik. Sedangkan transportasi mineral magnetik melalui media air akibat terjadinya rembesan air ke lantai gua. Transportasi mineral magnetik ke dalam gua dapat juga melalui makanan kelelawar yaitu serangga.

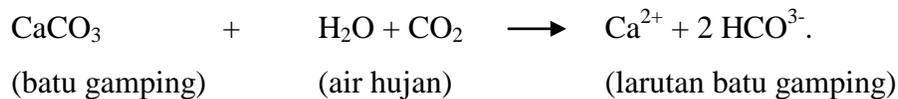
Keberadaan mineral magnetik walaupun sedikit sangat bermanfaat dalam kajian kemagnetan batuan dimana mineral magnetik merupakan komponen utama perekam arah dan intensitas medan magnetik bumi selama proses pembentukan endapan. Perubahan arah dan intensitas medan magnetik bumi terekam oleh mineral-mineral magnetik yang terkandung dalam material-material alam seperti lava, sedimen laut dan endapan gua.

B. Daerah Gua Bau-Bau Kalimantan Timur

Gua Bau-Bau terletak di Kecamatan Bengalon, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur. Secara topografi daerah ini termasuk dalam Kawasan Karst. Gua yang terletak pada kawasan karst biasanya mengandung mineral utama yaitu Kalsit (CaCO_3) (Haryono dan Adji, 2004). Kalsit (CaCO_3) termasuk kedalam bahan diamagnetik, dimana sifat bahan memiliki respon yang sangat kecil jika diberikan medan magnet terhadap bahan tersebut.

Fenomena Karst terutama terjadi pada daerah yang terbentuk dan tersusun dari endapan batuan karbonat (linestone) dengan mineral utama Kalsit (CaCO_3), Aragonit (CaCO_3) dan Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) (Haryono dan Adji, 2004). Karst terbentuk dari pelarutan batuan seperti pelarutan batu gamping oleh air tanah. Proses pelarutan tersebut umumnya disertai dengan proses-proses lain seperti rutuhan, transport dalam bentuk larutan melalui saluran bawah tanah, juga longsor dan amblesan dipermukaan.

Pelautan 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.



Gua Bau-Bau Kalimantan Timur terletak ± 30 m diatas permukaan Sungai Bengalon. Tidak terdapat keberadaan gunung berapi di sekitar lingkungan gua. Selain itu, disekeliling Gua Bau-Bau sangat jauh dari pemukiman penduduk, sehingga sangat penting sekali mengetahui dari mana transportasi mineral magnetik masuk ke lingkungan gua.

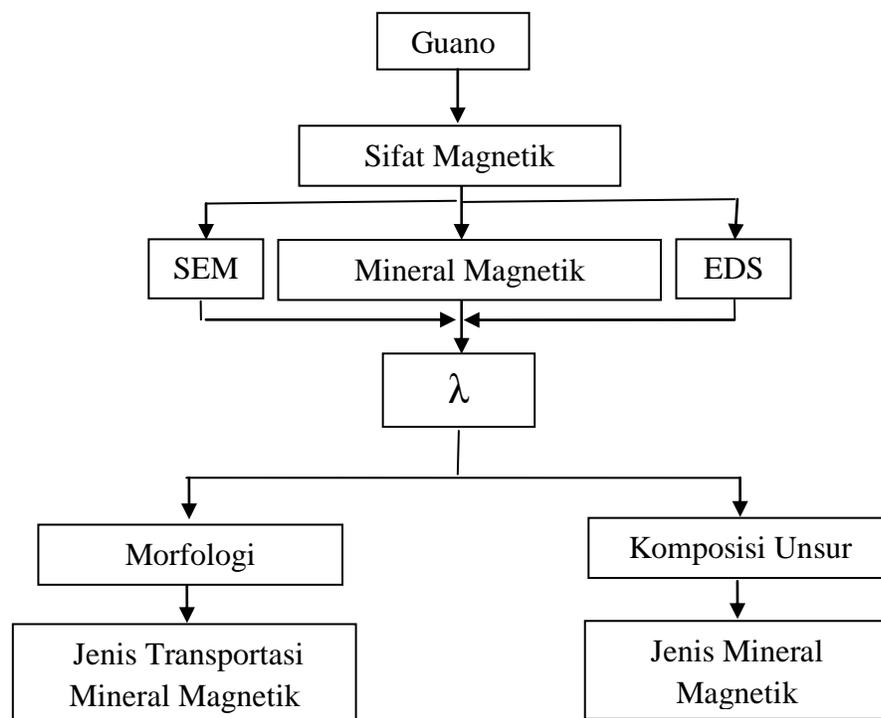
C. Penelitian Relevan

Penelitian tentang guano juga dilakukan oleh Rifai,dkk (2010) yang mengidentifikasi mineral magnetik guano di Gua Rantai dan Gua Solek, Kabupaten 50 Kota dengan cara mengetahui konsentrasi mineral magnetik berdasarkan kedalaman yang sama pada sampel. Pada kedua gua menunjukkan variasi sifat magnetik yang berbeda di setiap kedalaman yang sama. Hal ini disebabkan karena perubahan lingkungan yang memicu terjadinya mekanisme transportasi mineral magnetik dari lingkungan luar ke dalam gua.

Penelitian dengan menggunakan SEM telah pernah dilakukan oleh Irvan (2008) yang mengidentifikasi mineral magnetik pada Lumpur Sidoarjo, Jawa Timur. Irvan (2008) mendapatkan hasil *morphology* dan kandungan mineral magnetik pada Lumpur Sidoarjo, yang diperoleh dari indikasi bahwa, sebagian besar mineral tersebut terjadi pada lingkungan yang kurang oksigen (*anoxic*), sehingga mineral besi telah mengalami proses reduksi. Beberapa mineral magnetik tersebut berupa: mineral Fe-TiO, mineral sulfida besi, baik berupa intermediate mineral (*monoclinic pyrrhotite* dan *hexagonal pyrrhotite*) dan *pyrite*.

D. Kerangka Berfikir

Guano pada dasarnya bukanlah mineral magnetik namun, setelah diidentifikasi guano memiliki sifat magnetik. Identifikasi mineral magnetik pada guano di Gua Bau-Bau dapat diketahui menggunakan SEM. SEM dilengkapi dengan EDS. SEM memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada mikroskop optik. Hal ini disebabkan oleh panjang gelombang de Broglie yang dimiliki elektron lebih pendek daripada gelombang optik. Panjang gelombang akan memberikan informasi morfologi dan dengan bantuan EDS dapat diketahui komposisi unsur yang terdapat pada guano. Morfologi mineral magnetik dapat diketahui untuk menentukan jenis transportasi mineral magnetik guano di Gua Bau-Bau Kalimantan Timur, sedangkan komposisi unsur digunakan untuk memperhitungkan jenis mineral magnetik apa saja yang terkandung yang dibantu dengan Hukum Proust. Gambar 7 menunjukkan kerangka berfikir pada penelitian ini.



Gambar 7. Kerangka Berfikir Penelitian

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Hasil pengamatan *Scanning Electron Microscope* (SEM) terhadap hasil ekstraksi dari Guano Gua Bau-Bau Kalimantan Timur, memberikan informasi tentang morfologi guano yang memiliki variasi bentuk dan juga variasi ukuran bulir magnetik. Bentuk yang bervariasi ini menandakan bahwasanya terjadi perbedaan kondisi lingkungan tempat mineral magnetik ini terbentuk. Sedangkan, ukuran bulir magnetik pada guano termasuk dalam kelompok *multidomain* (MD), karena ukuran bulir yang didapatkan pada sampel lebih besar dari 80 μm .
2. Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan SEM yang dilengkapi dengan *Energy Dispersion Spectroscopy* (EDS) terhadap hasil ekstraksi mineral magnetik guano, memberikan informasi mengenai komposisi unsur. Hasil analisa menunjukkan beberapa unsur dominan pada guano adalah Fe, O, Ti, Mg, Al dan Si. Analisa unsur lebih lanjut digunakan Hukum Proust yang menunjukkan bahwa jenis mineral magnetik yang terbentuk pada Gua Bau-Bau adalah *Hematite* (Fe_2O_3), *Magnetite* (Fe_3O_4), *Ilmenite* (FeTiO_3) dan *Rutile* (TiO_2), dimana dari kedua titik pada kedalaman yang sama memiliki mineral magnetik yang sama.

3. Keberadaan mineral magnetik pada guano di Gua Bau-Bau memiliki bentuk bulir yang lebih kasar dan banyak rekahan. Ukuran bulir magnetik pada guano di Gua Bau-Bau tergolong ke dalam kelompok *multidomain*, yaitu bulir yang berukuran besar. Hal ini menggambarkan transportasi mineral magnetik berasal dari lingkungan luar yang pernah mengalami erosi selama musim hujan.

B. Saran

1. Agar mendapatkan informasi komposisi unsur yang lebih akurat, perlu dilakukan penembakan di beberapa area pada permukaan bulir magnetik. Hal ini dilakukan karena unsur tidak merata terdapat pada satu bulir magnetik.
2. Agar mendapatkan informasi ukuran bulir magnetik lebih lengkap perlu dilakukan pengukuran lanjutan menggunakan *Anhyseretic Remanent Magnetization* (ARM). Ukuran bulir dan jenis domain magnetik dapat dilihat dengan *King's Plot* dan *Lowrie and Fuller Test*.