

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

N Garnetsya D Rusli¹, Hamdi² dan Fatni Mufit²

¹Mahasiswa Prodi Fisika, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Padang

²Staf Pengajar Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Padang

email: ruslinurul30@yahoo.com

ABSTRACT

Identification of magnetic susceptibility value and element composition of this research is done by guano sample from Bau-Bau caves in East Borneo. This cave topography is far from human activity and there is no volcano around it. This topography conditions will effects to the transportation process of magnetic mineral into caves area. Magnetic mineral characterization such as magnetic susceptibility and element composition could show the enviromental changes in the cave at the time of guano deposition process. This research aims to determine the elemental composition of the basic constituent asociation of magnetic mineral to the magnetic susceptibility values of guano samples. Determination of magnetic susceptibility value done by using Susceptibility Meter, whereas to determine the element composition we use the X-ray Fluorescences (XRF). Data analisis is done by using the plotting of data from elemental composition of the fourth group in the transition graph. Thus it making visible the relation between the value of the magnetic susceptibility with the basic elements magnetic up the composition of magnetic minerals in perticular Fe, then we could seen the composition of Fe proportional to the magnetic susceptibility value. Fe composition will appears in high presentation on the time of susceptibility value is high and will appears in low presentation when the susceptibility values is low. An the other hand, element composition of the fourth group in the transition except Fe with magnetic susceptibility value is not really appears.

Kata Kunci : Guano, Gua Bau-Bau, Mineral Magnetik, Suseptibilitas Magnetik, X-Ray Fluorescen (XRF)

PENDAHULUAN

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. Sedimen klastik adalah sedimen yang terbawa dari lingkungan luar ke dalam gua, contohnya adalah guano. Deposit guano menumpuk dan mengendap di lantai gua, deposit ini bertambah beberapa meter setelah ratusan tahun^[1].

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)^[2]. Fresh guano terdiri dari 3 macam, yaitu guano kelelawar pemakan buah, guano kelelawar pemakan serangga dan guano dari kotoran burung^[3]. Sisa pencernaan kelelawar atau burung lain sebagai pembentuk endapan guano tersusun atas nitrogen (N), karbon (C), fosfat (PO_4) dan urea ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$). Mineral sisa pencernaan kelelawar dan kalsit bukan merupakan mineral magnetik, namun setelah terendap bertahun-tahun dan dilakukan penelitian sifat magnetik ditemukan mineral magnetik.

Mineral magnetik memiliki unsur-unsur dasar penyusunnya yaitu unsur golongan transisi golongan keempat (Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu dan Zn). Semua unsur transisi merupakan unsur-unsur logam yang bersifat lunak, mengkilap, penghantar listrik dan panas yang baik serta memiliki sifat magnetik^[4]. Unsur dasar penyusun mineral magnetik ini akan mempengaruhi sifat magnetik dari suatu bahan.

Semua bahan mempunyai sifat kemagnetan, hanya saja kemagnetan suatu bahan berbeda antara yang satu dengan yang lainnya^[5].

Sifat magnetik dari suatu bahan dapat diketahui dengan melakukan pengukuran nilai suseptibilitas magnetik. Nilai suseptibilitas magnetik ini akan dipengaruhi oleh mineral didalamnya terutama Fe. Dimana Fe merupakan mineral yang memiliki nilai suseptibilitas magnetik tertinggi dan memiliki sifat kemagnetan bahan yaitu ferromagnetik^[6]. Sehingga pada saat komposisi Fe yang terdapat pada suatu bahan tinggi, maka nilai suseptibilitas magnetik yang didapatkan juga memiliki nilai yang tinggi.

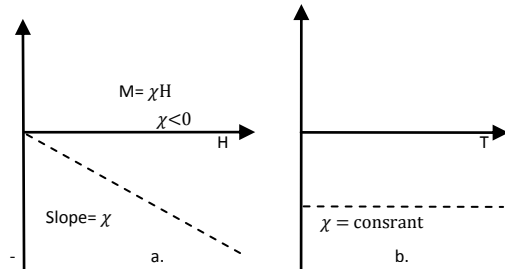
Kemagnetan Bahan

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.

a. Diamagnetik

Sifat diamagnetik dimiliki oleh semua bahan, meskipun sifat ini sangat lemah^[5]. Semua benda memiliki sifat diamagnetik disebabkan karena adanya interaksi medan magnet yang terjadi dan pergerakan elektron mengelilingi inti. Suseptibilitas magnetik (χ) untuk bahan diamagnetik tidak bergantung pada temperatur^[7]. Diamagnetik

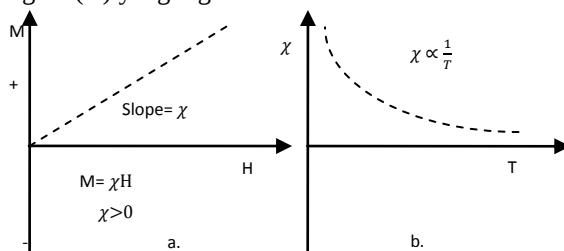
memiliki suseptibilitas magnetik (χ) kecil dan negatif ($\chi \approx -10^{-6}$). Respon diamagnetik terhadap medan magnet yang dilewatkan padanya akan menghasilkan induksi magnetik yang kecil dan melawan arah medan magnet yang digunakan^[7]. Magnetisasinya sebanding dengan medan magnet (H) yang digunakan. 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^[5]

b. Paramagnetik

Paramagnetik mempunyai suseptibilitas magnetik (χ) tergantung pada temperatur^[7]. 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^[7].

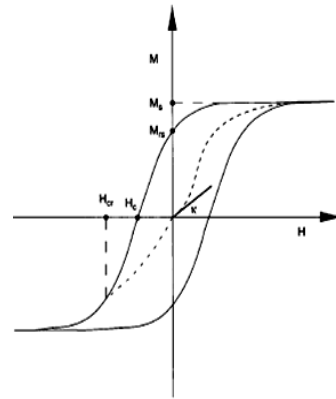


Gambar 2.a) Grafik Magnetisasi (M) Terhadap Medan Magnet (H) yang Diberikan dan ($\chi > 0$)
b) Suseptibilitas (χ) Tergantung pada Temperatur (T) pada Bahan Paramagnetik^[5]

c. 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*^[7]. Meskipun medan magnetnya dihilangkan, bahan ini masih menyimpan remanen magnetik^[8]. Karakteristik seperti inilah yang membuat bahan ferromagnetik mempunyai kemampuan merekam medan magnet purba.



Gambar 3. Kurva Histeresis^[9]

Gambar 3 memperlihatkan apabila sebuah bahan diberikan medan magnet, maka akan diperoleh magnetisasi saturasi (M_s) yaitu magnetisasi menjadi konstan walaupun medan magnet ditambahkan terus menerus sedangkan jika medan magnet dikurangi hingga mencapai nol, didapatkan bahwa magnetisasinya berada pada saturasi remanen (M_{Rs}) dan tidak kembali ke nol. Jika diberikan medan magnet pada arah yang berlawanan, maka pada titik tertentu diperoleh induksi magnetiknya menjadi nol. Medan pada titik ini disebut koersivitas (H_c) yaitu gaya yang dimiliki oleh bulir-bulir mineral yang terdapat di dalam bahan untuk mempertahankan momen-momen magnetiknya dari pengaruh medan luar. Karakteristik yang lain adalah koersivitas remanen (H_{oR}), yang terjadi jika medan diberikan dan kemudian dihilangkan sehingga saturasi remanen akan berkurang menjadi nol.

Suseptibilitas Magnetik

Suseptibilitas magnetik merupakan ukuran mudah atau tidaknya suatu bahan termagnetisasi. Formula umum hubungan antara medan magnet yang dikenakan pada sampel, magnetisasi yang diperoleh sampel dan suseptibilitas magnetik dirumuskan sebagai berikut:

$$M = \chi \cdot H$$

Dimana H adalah medan magnet yang dikenakan pada bahan (vektor), M adalah magnetisasi yang diterima bahan (vektor) dan χ adalah suseptibilitas magnetik (tensor). Besarnya harga suseptibilitas magnetik suatu sampel dari material alam selalu berubah pada setiap arah pengukuran^[10].

Nilai suseptibilitas magnetik didapat dengan melakukan pengukuran menggunakan *susceptibility*

meter (Gambar 4). Pengukuran ini menggunakan menggunakan dua cara yaitu suseptibilitas *low field* (χ_{lf}) dan *high field* (χ_{hf}). Nilai suseptibilitas *high field* (χ_{hf}) selalu lebih rendah dari nilai suseptibilitas magnetik *low field* (χ_{lf})^[6].



Gambar 4. Bartington Susceptibility Meter Tipe MS2

Suseptibilitas dapat menentukan sifat kemagnetan dan jenis mineral magnetik yang terkandung di dalam bahan. Hubungan antara nilai suseptibilitas magnetik dengan sifat kemagnetan dan jenis mineral magnetik yang sesuai dengan hasil pengukuran suseptibilitas magnetik dapat dilihat pada Tabel 1^[6].

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>

X-Ray Fluorescence (XRF)

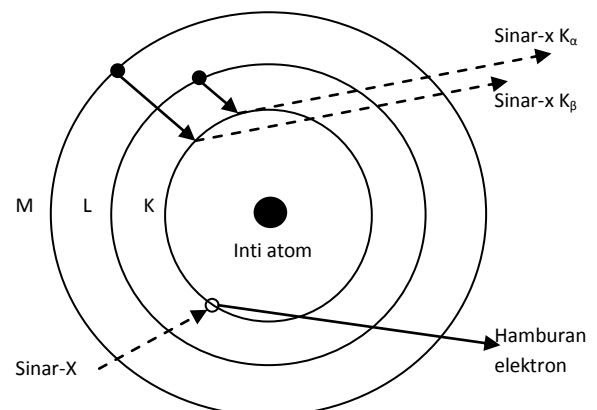
X-Ray Fluorescence (XRF) merupakan salah satu metode untuk menentukan komposisi kimiawi dari semua macam mineral. Mineral yang dimaksud dapat berupa tanah, cairan, bubuk, bahan saringan atau bentuk lainnya. XRF kadang-kadang juga bisa digunakan untuk menentukan ketebalan dan komposisi dari lapisan atau pembuntalan^[9]. Pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan

instrumen buatan PANalitical dengan tipe Epsilon 3 (Gambar 5).



Gambar 5. X-Ray Fluorescence (XRF) Merek PANalitical Tipe Epsilon 3

Identifikasi dengan XRF menggunakan teknik difraksi sinar-x. Pembentukan difraksi sinar-x pada XRF menggunakan prinsip pembentukan sinar-x yaitu transisi elektron. 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.

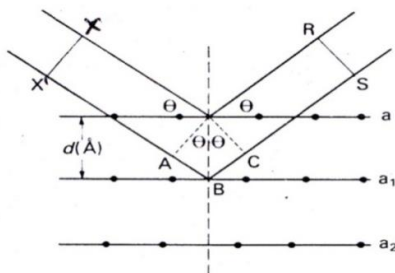


Gambar 6. Proses Pembentukan Sinar-X Baru pada Transisi Elektron

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^[12]. Transisi elektron yang terjadi pada saat penembakan sinar-x akan menghasilkan pancaran foton-foton yang berbeda. Foton K α 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 β .

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^[11]. Interferensi konstruktif dapat terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Skema Difraksi Bidang Kisi^[13]

Terlihat pada Gambar 7, 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. Sehingga didapatkan persamaan Bragg sebagai berikut:

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

keterangan :

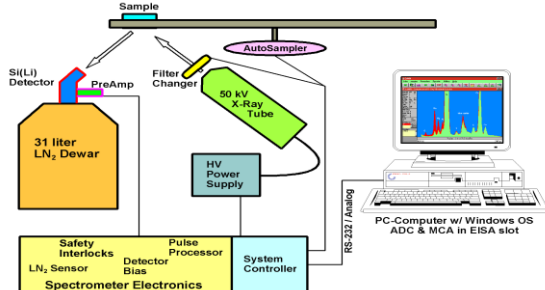
λ = panjang gelombang

d = jarak antar dua kisi

θ = sudut sinar datang dengan bidang pantul

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

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. 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 didalamnya. 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.



Gambar 8. Skema Cara Kerja X-Ray Fluorescence (XRF)

METODA PENELITIAN

Jenis penelitian yang dilakukan untuk menyelesaikan penelitian ini adalah penelitian dasar. Penelitian dasar bertujuan untuk meningkatkan pengetahuan ilmiah dalam menemukan bidang penelitian baru tanpa suatu tujuan praktis tertentu. Hasil penelitian tidak hanya sampai pada pengumpulan dan penyusunan data tetapi mencakup analisa dan interpretasi tentang arti data tersebut. Pada penelitian ini penulis menggunakan data primer yang didapatkan dari hasil pengukuran menggunakan *Susceptibility Meter* dan *X-Ray Fluorescence (XRF)*.

Sampel diambil di Gua Bau-Bau Kalimantan Timur. Lokasi pengambilan sampel guano secara geografis ditentukan dengan menggunakan GPS (*Global Positioning System*). Sampel guano diambil di Gua Bau-Bau Kalimantan Timur dimana posisi gua ini berada pada koordinat N00°54'58.7" dan E117°13'09.1" dengan elevasi 99 meter seperti yang terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Peta Lokasi Pengambilan Sampel Guano di Gua Bau-Bau Kalimantan Timur

Preparasi sampel dan pengambilan data nilai suseptibilitas magnetik menggunakan *Susceptibility Meter* dilakukan di Laboratorium Geofisika, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Padang. Penentuan komposisi unsur dasar penyusun mineral magnetik menggunakan *X-Ray Fluorescence* tipe *Epsilon 3* dilakukan di Laboratorium Instrumentasi, Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Padang.

Prosedur Penelitian

Prosedur yang pertama kali dilakukan dalam penelitian ini adalah pengambilan sampel. Prosedur pengambilan sampel guano dari Gua Bau-Bau Kalimantan Timur dilakukan dengan beberapa tahap. Tahap pertama menentukan titik pengambilan sampel yang akan diambil. Pengambilan sampel dilakukan secara vertikal bertujuan untuk memudahkan menghitung kedalaman sampel yang

diinginkan dalam gua. Tahap selanjutnya mengukur kedalaman dari permukaan tanah sampai dengan kedalaman yang diinginkan menggunakan meteran. Pengambilan dimulai dari permukaan tanah dengan menggunakan pisau agar memudahkan dalam pengambilan sampel seperti yang terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Kegiatan Pengambilan Sampel

Sampel diambil antara lapisan pertama dan lapisan selanjutnya berjarak 5 cm. Kemudian sampel yang telah diambil diberi nama berdasarkan lokasi pengambilan sampel dilanjutkan dengan nomor holder dan kedalaman sampel tersebut. Contoh dari penamaan sampel adalah BA10505 yang artinya sampel guano dari Gua Bau-Bau nomor holder 105 kedalaman 0-5 cm.

Tahap kedua dalam penelitian ini adalah pengukuran. Penelitian ini dilakukan dua cara pengumpulan data, yaitu nilai suseptibilitas magnetik dan komposisi unsur dasar penyusun mineral magnetik. Pengukuran komposisi unsur dasar penyusun mineral magnetik menggunakan sampel berupa bubuk. Sehingga sebelum melakukan pengukuran komposisi unsur sampel dikeringkan terlebih dahulu kemudian sampel digerus hingga halus.

Teknik Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pengukuran dimulai dengan pengukuran nilai suseptibilitas magnetik yang dilakukan secara berulang sebanyak tiga kali untuk masing-masing sampel. Kemudian ditentukan nilai rata-rata dari pengukuran berulang ini. Pengukuran dilakukan dengan dua cara yaitu pengukuran *low field* (χ_{lf}) dan *high field* (χ_{hf}). Nilai rata-rata dari kedua pengukuran ini diplot ke dalam tabel.

Pengukuran dilanjutkan dengan melakukan pengukuran komposisi unsur dasar penyusun mineral magnetik sampel menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF). Komposisi yang didapat pada pengukuran ini berupa persentase dari unsur-unsur yang terkandung pada guano. Setelah itu komposisi unsur yang didapat, diplot ke dalam dua tabel yaitu tabel komposisi seluruh unsur yang didapat dalam pengukuran dan tabel komposisi unsur transisi periode keempat.

Setelah dilakukan pengukuran terhadap sampel baik itu pengukuran nilai suseptibilitas magnetik ataupun pengukuran komposisi unsur, dilakukan pengolahan data agar dapat diketahui penjelasan data dari hasil pengukuran. Data komposisi unsur transisi golongan keempat diplot dalam bentuk kurva untuk mengetahui perbandingan dari unsur-unsur tersebut. Kaitan nilai suseptibilitas magnetik dengan komposisi unsur dasar penyusun mineral magnetik diketahui dengan melihat bagaimana komposisi unsur transisi golongan keempat yang didapatkan saat nilai suseptibilitas magnetik tertinggi pada sampel guano ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Penelitian

a. Suseptibilitas Magnetik

Data hasil pengukuran dengan menggunakan *susceptibility meter* terhadap guano dari Gua Bau-Bau didapatkan data nilai suseptibilitas magnetik seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran Nilai Suseptibilitas Magnetik Guano Gua Bau-Bau

No	Nama	χ Rata-rata ($\times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$)	
		χ_{lf}	χ_{hf}
1	BA201520	32,8	30,1
2	BA654550	26,9	27,0
3	BA938590	16,1	16,3

Nilai suseptibilitas magnetik pada Tabel 2 ini adalah nilai rata-rata dari pengukuran *Low Field Susceptibility* (χ_{lf}) dan *High Field Susceptibility* (χ_{hf}).

b. X-Ray Fluorescence (XRF)

Setelah dilakukan pengukuran nilai suseptibilitas magnetik guano dari Gua Bau-Bau ini dilakukan pengukuran komposisi unsur guano ini. Data hasil pengukuran komposisi unsur untuk kedalaman 15-20 cm dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Komposisi Unsur Guano Gua Bau-Bau Kedalaman 15-20 cm

No.	Unsur	Persentase	No.	Unsur	Persentase
1	Al	13,203%	14	Ga	0,004%
2	Si	36,085%	15	As	0,002%
3	P	20,653%	16	Br	0,002%
4	K	5,327%	17	Rb	0,022%
5	Ca	0,926%	18	Sr	0,060%
6	Ti	1,756%	19	Y	0,004%
7	V	0,040%	20	Zr	0,058%
8	Cr	0,080%	21	Ag	0,500%
9	Mn	0,043%	22	Eu	0,062%
10	Fe	20,662%	23	Yb	0,000%
11	Ni	0,000%	24	Os	0,000%

No.	Unsur	Persentase	No.	Unsur	Persentase
12	Cu	0,412%	25	Pb	0,020%
13	Zn	0,077%			

Komposisi unsur terbanyak pada guano Gua Bau-Bau titik A kedalaman 15-20 cm adalah unsur Si dengan persentase 36.085%. Sedangkan untuk komposisi unsur transisi golongan keempat dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Komposisi Unsur Transisi Golongan Keempat Guano Gua Bau-Bau Kedalaman 15-20 cm

No.	Unsur	Persentase
1	Fe	20,662%
2	Ti	1,756%
3	Cu	0,412%
4	Cr	0,080%
5	Zn	0,077%
6	Mn	0,043%
7	V	0,040%
8	Ni	0,000%

Terlihat dari Tabel 4 diatas bahwa Fe merupakan unsur transisi golongan keempat yang memiliki komposisi tertinggi dibandingkan unsur lainnya. Fe memiliki persentase sebesar 20,662% kemudian dilanjutkan dengan Ti yang memiliki nilai yang sangat rendah dibandingkan Fe yaitu 1,756%.

Unsur-unsur yang ada pada sampel guano Gua Bau-Bau kedalaman 45-50 cm memiliki komposisi unsur yang terlihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Data Hasil Pengukuran Komposisi Unsur Guano Gua Bau-Bau Kedalaman 45-50 cm

No.	Unsur	Persentase	No.	Unsur	Persentase
1	Al	17,495%	14	Ga	0,005%
2	Si	37,927%	15	As	0,004%
3	P	18,498%	16	Br	0,002%
4	K	4,272%	17	Rb	0,022%
5	Ca	0,990%	18	Sr	0,116%
6	Ti	0,169%	19	Y	0,004%
7	V	0,059%	20	Zr	0,063%
8	Cr	0,095%	21	Ag	0,410%
9	Mn	0,019%	22	Eu	0,049%
10	Fe	17,878%	23	Yb	0,000%
11	Ni	0,003%	24	Os	0,000%
12	Cu	0,327%	25	Ir	0,000%
13	Zn	0,049%	26	Pb	0,018%

Tabel 5 terlihat bahwa Si merupakan unsur yang memiliki persentase tertinggi dibandingkan dengan unsur lainnya yaitu 37.927%. Sedangkan untuk unsur transisi golongan keempat komposisi terbanyak adalah Fe. Fe memiliki persentase yang sangat tinggi jika dibandingkan dengan unsur-unsur transisi golongan keempat lainnya yang dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Komposisi Unsur Transisi Golongan Keempat Guano Gua Bau-Bau Kedalaman 45-50 cm

No.	Unsur	Persentase
1	Fe	17,878%
2	Ti	0,169%
3	Cu	0,327%
4	Cr	0,095%
5	V	0,059%
6	Zn	0,049%
7	Mn	0,019%
8	Ni	0,003%

Komposisi unsur guano pada kedalaman 85-90 cm pada titik A dapat terlihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Data Hasil Pengukuran Komposisi Unsur Guano Gua Bau-Bau Kedalaman 85-90 cm

No.	Unsur	Persentase	No.	Unsur	Persentase
1	Al	20,956%	13	Zn	0,100%
2	Si	30,156%	14	Ga	0,004%
3	P	25,425%	15	As	0,002%
4	K	3,524%	16	Rb	0,018%
5	Ca	0,910%	17	Sr	0,109%
6	Ti	0,135%	18	Y	0,007%
7	V	0,046%	19	Zr	0,054%
8	Cr	0,100%	20	Ag	0,418%
9	Mn	0,078%	21	Eu	0,078%
10	Fe	16,313%	22	Os	0,000%
11	Ni	0,000%	23	Ir	0,000%
12	Cu	0,341%	24	Pb	0,014%

Tabel 7 menunjukkan bahwa komposisi tertinggi adalah 30.156% yang merupakan komposisi dari Si. Sedangkan untuk komposisi unsur transisi golongan keempat kedalaman 85-90 cm dapat dilihat pada Tabel 8.

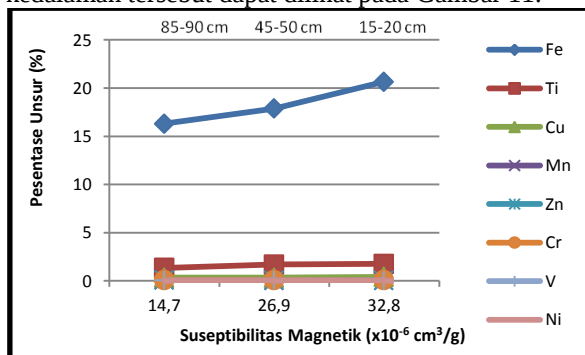
Tabel 8. Komposisi Unsur Transisi Golongan Keempat Guano Gua Bau-Bau Kedalaman 85-90 cm

No.	Unsur	Persentase
1	Fe	16,313%
2	Cu	0,341%
3	Ti	0,135%
4	Cr	0,100%
5	Zn	0,100%
6	Mn	0,078%
7	V	0,046%
8	Ni	0,000%

2. Pembahasan

Kaitan komposisi unsur dasar penyusun mineral magnetik dengan nilai suseptibilitas magnetik, dapat diketahui dengan melihat persentase yang didapat pada ketiga nilai suseptibilitas magnetik. Persentase

unsur transisi golongan keempat untuk ketiga kedalaman tersebut dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Perbandingan Nilai Suseptibilitas Magnetik dengan Komposisi Unsur Transisi Golongan Keempat pada Sampel Guano Gua Bau-Bau

Gambar 11 diatas menunjukkan bahwa Fe merupakan unsur yang memiliki persentase tertinggi dibandingkan unsur lainnya. Komposisi Fe pada ketiga kedalaman ini antara lain, 20,662% untuk kedalaman 15-20 cm, 17,878% untuk kedalaman 45-50 cm dan 16,313% untuk 85-90 cm. Setelah Fe, komposisi terbanyak berikutnya dari unsur transisi golongan keempat adalah Ti dan dilanjutkan dengan unsur-unsur lain yang memiliki komposisi yang sangat rendah.

Gua Bau-Bau tempat pengambilan sampel berada di Taman Nasional Kutai sehingga jauh dari polusi kendaraan bermotor ataupun asap pabrik. Selain itu di sekitar gua ini juga tidak terdapat gunung berapi aktif. Diperkirakan kondisi topografi inilah yang menyebabkan rendahnya transportasi mineral magnetik kedalam gua, sehingga kandungan mineral magnetik guano pada gua ini juga rendah. Kandungan mineral magnetik yang ada pada guano ini akan menyebabkan nilai suseptibilitas magnetik bernilai rendah pula. Dimana nilai suseptibilitas magnetik guano dari Gua Bau-Bau ini adalah $32,8 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$, $26,9 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$ dan $14,7 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$. Jika dibandingkan dengan nilai suseptibilitas sampel guano dari Gua Batu Payung dan Gua Solek, nilai suseptibilitas magnetik guano dari Gua Bau-Bau tergolong rendah. Dimana nilai rata-rata *Low Field Susceptibility* Gua Batu Payung menunjukkan nilai tertinggi yaitu $687,4 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$, sedangkan nilai tertinggi untuk Gua Solek adalah $807,4 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$ [2]. Nilai suseptibilitas magnetik yang tinggi dari kedua gua ini diperkirakan karena keberadaan gua yang berdekatan dengan aktifitas manusia dan keberadaan gunung api disekitarnya.

Mineral yang memiliki nilai suseptibilitas magnetik tertinggi adalah besi murni (Fe) dan memiliki sifat kemagnetan bahan yaitu ferromagnetik [6]. Hal inilah yang menyebabkan komposisi Fe pada guano sangat mempengaruhi nilai suseptibilitas magnetik guano tersebut. Gambar

8 terlihat bahwa Fe sebagai unsur dasar penyusun mineral magnetik memiliki persentase yang paling tinggi dibandingkan unsur transisi golongan keempat lainnya. Kaitan komposisi unsur dasar penyusun mineral magnetik terhadap nilai suseptibilitas terlihat pada sampel guano dari Gua Bau-Bau ini, dimana komposisi unsur dasar penyusun mineral magnetik sebanding dengan nilai suseptibilitas magnetik. Komposisi Fe menunjukkan persentase yang tinggi pada saat nilai suseptibilitas magnetik tinggi dan menunjukkan persentase yang rendah pada saat nilai suseptibilitas magnetik rendah.

Fe akan mengalami penurunan kerentanan magnetiknya apabila disubstitusikan Titanium (Ti) [6]. Substitusi Ti kurang begitu berpengaruh terhadap kerentanan magnetik guano dari Gua Bau-Bau. Hal itu disebabkan karena komposisi Ti pada sampel guano Gua Bau-Bau sangat rendah jika dibandingkan dengan komposisi Fe. Begitu juga dengan komposisi unsur transisi golongan keempat lainnya, memiliki nilai yang sangat rendah jika dibandingkan dengan komposisi Fe. Komposisi unsur transisi golongan keempat selain Fe kurang berpengaruh terhadap kerentanan magnetik guano yang akan berkaitan langsung terhadap nilai suseptibilitas magnetik.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian pada sampel guano Gua Bau-Bau dapat diambil kesimpulannya, yaitu: terlihatnya kaitan komposisi Fe terhadap nilai suseptibilitas magnetik dari guano Gua Bau-Bau ini. Dimana komposisi Fe sebanding dengan nilai suseptibilitas magnetiknya. Saat komposisi Fe tinggi maka nilai suseptibilitas magnetik yang didapat juga menunjukkan nilai yang tinggi begitu sebaliknya. Sedangkan hasil perbandingan nilai suseptibilitas magnetik dengan komposisi unsur transisi golongan keempat selain Fe tidak begitu terlihat kaitan pada keduanya. Hal tersebut disebabkan karena komposisi unsur transisi golongan keempat selain Fe sangat rendah.

Berdasarkan hasil penelitian yang dicapai dan pembahasan yang telah dilakukan dapat dikemukakan beberapa saran. Pertama, pengukuran nilai suseptibilitas magnetik terhadap sampel sebaiknya dilakukan dengan banyak pengulangan agar diperoleh data nilai suseptibilitas magnetik rata-rata yang lebih akurat. Kedua, pemilihan sampel yang akan diukur komposisi unsurnya sebaiknya dari beberapa sampel yang memiliki perbedaan nilai suseptibilitas magnetik yang besar, agar kaitan komposisi unsur dasar penyusun mineral magnetik dengan nilai suseptibilitas terlihat jelas. Ketiga, untuk menentukan kaitan komposisi unsur dasar penyusun mineral magnetik dengan nilai suseptibilitas

magnetik sampel, sebaiknya menggunakan sampel lebih dari 3. Hal ini dilakukan karena perbandingan dengan menggunakan sampel sedikit tidak menunjukkan kaitan yang begitu jelas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. Hamdi, M.Si., Ibu Erni, S.Si., M.Si., dan Mr. Christopher M. Wursters yang telah mengambil sampel guano di Gua Bau-Bau Kalimantan Timur.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Bird, M. 2007. *Paleoenvironments of Insular Southeast Asia During the Last Glacial Period. A Savanna Corridor in Sundaland*. Quaternary Science Reviews 24, 2228-42.
- [2] Rifai, H. 2010 *Konsistensi Sifat Magnetik Guano dari Dua Gua Kelelawar di Kabupaten 50 Kota, Sumatera Barat*. Padang: Universitas Negeri Padang.
- [3] Hutchison, G. E., 1950. *Survey of Contemporary Knowledge of Biogeochemistry*. New York: Bulletin of the American Museum of Natural History.
- [4] McMurry, J. E., & Fay, C. F. 2012. *Chemistry 6th Edition*. USA: Pearson Prentice Hall.
- [5] Hunt, C. P. 1991. *Handbook From the Environmental magnetism Workshop*. Minneapolis: University of Minnesota.
- [6] Dearing, J. 1999. *Environmental Magnetic Susceptibility: Using the Bartington MS2 System*. British Library Cataloguing in Publication Data.
- [7] Butler, R. F. 1998. *Paleomagnetism Magnetic Domains to Geologic Timescales*. Boston: Blackwell Scientific Publications.
- [8] Dunlop, D., & O. Ozdemir. 1997. *Rock Magnetism. USA: Fundamentals and frontiers*. Cambridge University Press.
- [9] Evans, M. E., & F. Heller. 2003. *Environmental Magnetism Principles and Application of Environmental Magnetism*. California: Academic Presses.
- [10] Tarling, D. H & Hrouda, F. 1993. *The Magnetic Anisotropy of Rocks*. London: Chapman and Hall.
- [11] Brouwer, P. 2006. *Theory of XRF*. PANalytical BV: The Netherlands.
- [12] Beiser, A. 1999. *Konsep Fisika Modern*. Terjemahan: The Houw Liong Ph.D. Jakarta: Erlangga.
- [13] Hardy, R dan Tucker, M. 1991. *Techniques in Sedimentology*. Oxford Blackwell Scientific Publication: London Edinburgh Boston.