

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

Tauhida Amalia Sari¹⁾, Hamdi²⁾, Fatni Mufit²⁾

¹⁾ Mahasiswa Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang

²⁾ Staf Pengajar Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang
tauhida.amalia@yahoo.com

ABSTRACT

Change of environment of a cave can be seen from the presence of magnetic minerals in guano. In this research the magnetic minerals identified a Guano in Bau-Bau caves, East Kalimantan. This research aim to look the morphology, elemental composition, the kind of magnetic minerals, and how magnetic minerals transport into the cave. Magnetic minerals in guano identified by using Scanning Electron Microscope (SEM) that completed with Energy Dispersive Spectroscopy (EDS). The result showed the morphology of magnetic minerals of the guano is oval and have some cracks, in addition to the grain size of magnetic minerals is multidomain, guano elements are Fe, O, Ti, Si, C, N, and Br. To determine the kind of magnetic minerals using Proust's Law. The results of calculation the kind of magnetic minerals that can form Hematite (Fe_2O_3), Magnetite (Fe_3O_4), Ilmenite (FeTiO_3) and Rutile (TiO_2). This indicates the magnetic grains estimated come from the external environment and during the rainy, transportation into the cave.

Keywords: Change of environment, magnetic minerals, guano, SEM

PENDAHULUAN

Gua memiliki sebuah ekosistem yang terbuka dimana semua komponen saling berkaitan antara lingkungan dalam maupun lingkungan luar gua^[1]. 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^[2]. Salah satu objek di dalam gua yang dapat menjadi pembawa jejak perubahan lingkungan adalah mineral magnetik dari sedimen gua. Salah satu contoh sedimen gua adalah guano.

Guano berasal dari kotoran kelelawar atau burung yang mengandung mineral Karbon (C), kaya Nitrogen (N), dan mengandung Fosfat (PO_4) serta urea dari sisa pencernaan yang menumpuk dan mengendap di lantai gua^[3]. Guano sangat sensitif dalam merekam perubahan lingkungan dimasa lampau^[4]. Hal ini dapat diketahui dengan melakukan beberapa penelitian terhadap guano. Seperti meneliti terhadap sifat kimia isotop Karbon (C) dan isotop Hidrogen (H) yang terkandung pada guano di Grand Canyon Amerika Serikat^[4]. Selain itu, meneliti sifat magnetik pada guano di Gua Rantai dan Gua Solek Kabupaten 50 Kota, Sumatera Barat^[2].

Secara alami mineral magnetik banyak berasal dari batuan beku yang terkikis karena proses erosi, kemudian masuk ke sungai dan terbawa sampai ke danau dan laut. Seiring dengan perubahan keadaan seperti sedimentasi karena erosi

akan mengalami pengendapan dan menyumbangkan mineral magnetik di alam^[5].

Dalam penelitian ini akan diidentifikasi mineral magnetik pada guano di Gua Bau-Bau Kalimantan Timur. Gua Bau-Bau terletak pada kawasan karst, di Kecamatan Bengalon Timur, Kabupaten Kutai Timur. Gua yang terletak pada kawasan karst biasanya mengandung mineral utama yaitu Kalsit (CaCO_3). Kalsit (CaCO_3) termasuk ke dalam bahan diamagnetik, dimana sifat bahan memiliki respon yang sangat kecil jika diberikan medan magnet terhadap bahan tersebut. Disamping itu *fresh guano* juga tidak merupakan mineral magnetik, namun di dalam guano ternyata terdapat kandungan mineral magnetik^[2]. Gua Bau-Bau berada jauh dari pemukiman penduduk dan tidak ada keberadaan gunung berapi disekitar Gua Bau-Bau. 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.

Keberadaan mineral magnetik pada guano di Gua Bau-Bau Kalimantan Timur diidentifikasi dengan cara melihat morfologi dan komposisi unsur yang terkandung di dalam guano. Hal ini dilakukan karena mineral magnetik memiliki morfologi yang beragam bergantung pada sumbernya^[6].

Morfologi tersebut terdiri dari bentuk dan ukuran bulir. Bentuk bulir mineral magnetik umumnya berbentuk bulat yang menandakan bahwa mineral-mineral magnetik berasal dari proses-proses antropogenik. Apabila berbentuk lonjong dan

memiliki rekahan dapat dikategorikan mineral magnetik yang mengalami erosi^[5]. Sedangkan untuk ukuran bulir magnetik dari suatu bahan dapat ditentukan berdasarkan jenis domain, seperti *single-domain* (SD), *multidomain* (MD), dan *pseudo-single domain* (PSD).

Single-domain adalah domain tunggal yang mempunyai ukuran bulir kecil dari 0.1 μm yang momen magnetiknya searah^[7]. Stabilitas magnetisasi pada bulir *single-domain* jauh lebih baik dibandingkan dengan bulir *multidomain*. Bulir *multidomain* memiliki ukuran besar dari 10 μm ^[7], sedangkan stabilisasinya sangat mudah dipengaruhi oleh medan luar. Untuk *pseudo-single domain* (PSD) merupakan bulir-bulir yang berukuran transisi yakni bulir berukuran 0.1 μm – 10 μm .

Morfologi pada guano dapat diamati menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). SEM adalah instrumen yang sangat handal dalam melihat bentuk permukaan dalam ukuran mikro. SEM menggunakan hamburan elektron dalam membentuk bayangan. Bayangan yang terbentuk pada SEM memiliki resolusi yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena panjang gelombang de Broglie pada SEM lebih pendek dibanding panjang gelombang pada mikroskop optik. Panjang gelombang de Broglie adalah

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (1)$$

p adalah momentum elektron. Momentum elektron ditentukan dari energi kinetik melalui hubungan

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

pada SEM, berkas elektron keluar karena terjadi tegangan yang mengakibatkan proses pemanasan lalu dipercepat pada potensial tinggi V . Akibat percepatan tersebut, akhirnya elektron memiliki energi kinetik.

$$K = eV \quad (3)$$

menggunakan persamaan (2) dan (3) dapat ditulis momentum elektron sebagai

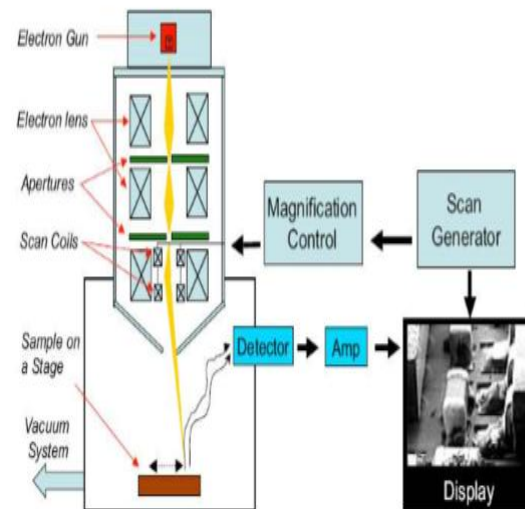
$$p = \sqrt{2meV} \quad (4)$$

dengan demikian panjang de Broglie yang dimiliki elektron adalah

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV}} \quad (5)$$

Bahan yang akan diukur dengan menggunakan SEM adalah bahan yang harus dapat berinteraksi dengan elektron. Suatu bahan dapat berinteraksi dengan elektron apabila bahan tersebut bersifat konduktor. Untuk bahan yang tidak bersifat konduktor, bahan tersebut harus dilapisi terlebih dahulu dengan bahan konduktor^[8].

Cara Kerja SEM adalah ketika *electron gun* menghasilkan *electron beam* dari filamen. filamen akan berfungsi sebagai katoda. Pada filamen tersebut akan terjadi tegangan yang mengakibatkan proses pemanasan. Katoda kemudian menarik elektron ke anoda. Kemudian *electron lens* akan memfokuskan elektron menuju kesuatu titik pada permukaan sampel. Selanjutnya, sinar elektron yang terfokuskan akan menscan seluruh permukaan sampel yang diarahkan oleh koil pemindai. 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 ke dalam monitor CRT. Seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Cara Kerja SEM

Komposisi unsur dapat diamati dengan menggunakan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS). EDS telah terangkai langsung pada SEM. 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. Sehingga EDS dapat mengetahui unsur apa saja yang terkandung pada sampel dan disertai dengan persentase berat pada

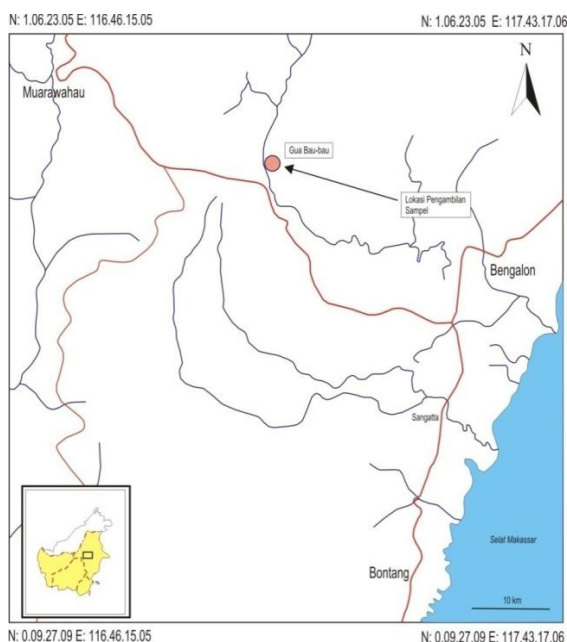
unsur tersebut. Detektor EDS tidak dapat mendeteksi unsur-unsur dengan nomor atom kurang dari 4, yaitu H, He, dan Li).

Dengan mengetahui komposisi unsur dapat ditentukan jenis mineral magnetik apa saja yang terkandung di dalam guano yang dibantu dengan perhitungan menurut Hukum Perbandingan Tetap (Hukum Proust).

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini merupakan jenis penelitian dasar, yaitu penelitian yang 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. Penelitian ini menggunakan data primer berupa data yang diperoleh dari pengukuran SEM yang dilengkapi dengan EDS.

Lokasi pengambilan sampel pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2. Posisi geografis keberadaan Gua Bau-Bau ditentukan dengan menggunakan GPS (*Global Positioning System*). Dari GPS dipetakan lokasi pengambilan sampel. Gua Bau-Bau terletak pada koordinat N 00°54'58.7" dan E 117°13'09.1" dengan elevasi 99 meter.



Gambar 2. Peta lokasi Pengambilan Sampel Guano di Gua Bau-Bau Kalimantan Timur

Dalam penelitian ini ada beberapa proses preparasi yang dilakukan. Proses preparasi sampel dilakukan di Laboratorium Fisika FMIPA UNP. Proses preparasi sampel yang dilakukan diantaranya adalah proses ekstraksi. Proses ekstraksi sampel dengan metode *Methanol Soap Bath* ^[9] yaitu sampel

guano diekstraksi dengan sabun deterjen yang bertujuan untuk memisahkan mineral magnetik dengan mineral non magnetik. Busa sabun akan mengikat kotoran berupa tanah, dan mengapung hingga mineral non magnetik terbawa kepermukaan bersama busa sabun. Untuk memutus ikatan busa sabun dengan mineral magnetik yang ikut mengapung ditambahkan sedikit larutan methanol (CH_3OH). Setelah dilakukan proses pemisahan ini, kemudian mineral magnetik diekstraksi dengan menggunakan sebuah magnet kuat yang dilapisi plastik terlebih dahulu agar semua mineral magnetik yang memiliki sifat magnetik kuat dan lemah dapat ditarik seluruhnya. Dari hasil ekstraksi diperoleh sampel guano berupa serbuk, kemudian dikeringkan. Sampel guano yang sudah berupa serbuk mineral magnetik selanjutnya akan dipreparasi untuk dilakukan analisa lebih lanjut menggunakan SEM type *Phenom Pro X* di Laboratorium Biologi FMIPA UNP, yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. SEM type *Phenom Pro X*

Analisa morfologi dan komposisi unsur dilakukan dengan menggunakan SEM yang dilengkapi dengan EDS. Proses preparasi diawali dengan mengambil mineral magnetik yang telah diekstrak dari guano kemudian ditempelkan pada *specimen holder*, selanjutnya dibersihkan dengan *hand blower*, dan *specimen holder* tersebut dimasukkan ke dalam sampel holder.

Sampel guano yang telah di preparasi dimasukkan ke dalam SEM dan otomatis akan terkunci serta menandakan proses *scanning* berlangsung. Proses *scanning* berarti berkas elektron menyapu permukaan *specimen* titik demi titik dengan sapuan membentuk baris demi baris^[8] dan nantinya pantulan elektron dari tumbukan dengan sampel akan ditangkap atau dideteksi oleh detektor *secondary electron* dan *backscattered electron* yang kemudian dapat menampilkan gambar struktur mikro pada monitor.

Teknik analisa hasil SEM pada penelitian ini menunjukkan bagaimana bentuk permukaan sampel

guano dan informasi ukuran bulir magnetik. Struktur permukaan yang dihasilkan disesuaikan dengan bentuk bulir mineral magnetik, sedangkan informasi ukuran bulir magnetik disesuaikan dengan jenis domainnya apakah termasuk pada kelompok *single-domain*, *multidomain*, atau *pseudo-single domain*.

Sedangkan analisa EDS dihasilkan dari karakteristik sinar-X, yaitu dengan menembakkan sinar-X pada bagian bulir yang ingin diketahui komposisinya. Setelah ditembakkan pada posisi tertentu maka akan muncul puncak-puncak tertentu yang menjadi perwakilan setiap unsur yang terdapat pada guano.

Hasil EDS pada penelitian ini adalah berupa gambar garis spektrum dan komposisi unsur berupa persentase berat. Persentase berat kemudian digunakan untuk menentukan mineral apa saja yang terkandung di dalam satu bulir magnetik guano yang diperoleh. Analisis kimia berupa persen berat dalam hal logam atau oksida menunjukkan unsur apa saja yang hadir dan dalam jumlah berapa saja, tapi itu tidak memberi informasi langsung tentang bagaimana unsur-unsur terjadi dalam struktur mineral. Untuk itu dibutuhkan sebuah analisis kuantitatif persentase berat yang harus menambahkan hingga mendekati 100%^[10]. Hal yang dilakukan adalah menghitung persentase berat oksida yang sesuai dengan Hukum Perbandingan Tetap (Hukum Proust), dimana kita perlu membandingkan jumlah atom dengan atom relatif masing-masing unsurnya. Salah satu contoh perhitungan menggunakan Hukum Proust adalah pada CO₂.

Terdapat perbandingan yang tetap dari CO₂ adalah C : O = 3 : 8. Jika karbon yang direaksikan 9 maka massa oksigen yang dibutuhkan adalah $\frac{3}{8} \times 9 = 3.375$. Maka massa CO₂ yang dihasilkan = $9 + 3.375 = 12.375$ g. Massa pereaksi yang tersisa adalah oksigen yakni $30 - 3.375 = 26.625$ g. Sisa dari reaksi ini bisa jadi merupakan oksigen dari senyawa lain.

HASIL DAN PEMBAHASAN

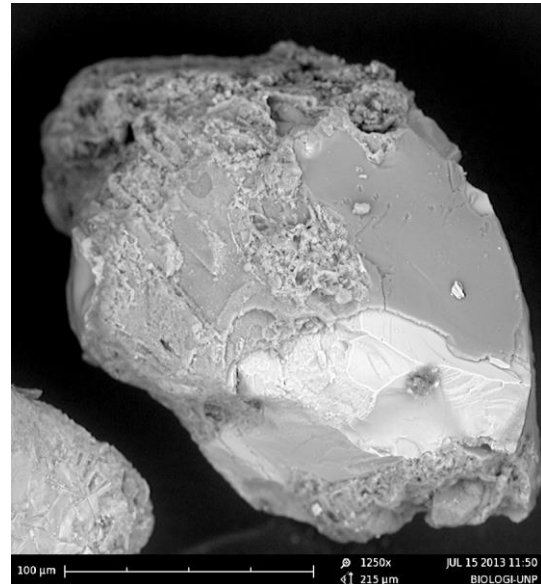
1. Hasil

Hasil pengukuran dengan menggunakan SEM pada sampel guano yang telah diekstraksi. Pada penelitian ini difokuskan kepada 2 sampel guano.

a. Bulir Magnetik Guano I

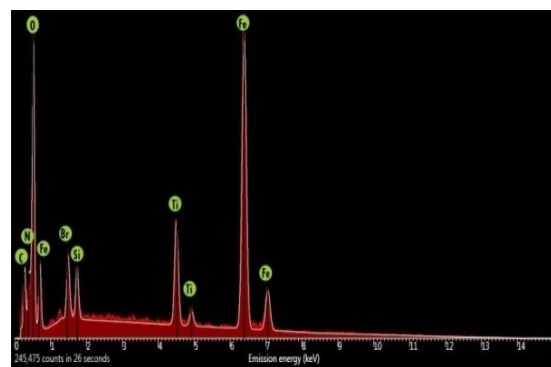
Pada Gambar 4 diperlihatkan morfologi Guano I dari Gua Bau-Bau dengan perbesaran 1250x. Hasil SEM guano ini terlihat bentuk bulir yang tidak rata, yang masih ditutupi oleh unsur-unsur non magnetik. Bulir berbentuk lonjong dan banyak rekahan pada permukaan. Bagian atas bulir berwarna gelap dan pada bagian bawah bulir berwarna cerah, ini menandakan terdapatnya kandungan besi yang

tinggi^[8]. Bulir magnetik pada Gambar 4 berada pada posisi 100 µm. Ukuran bulir sebenarnya adalah 115 µm, dan bulir ini termasuk pada kelompok *multidomain*.



Gambar 4. Hasil SEM dari Sampel Guano I

Untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang terkandung dalam hasil SEM pada bulir ini dapat dilihat dari hasil EDS berikut.



Gambar 5. Hasil EDS Guano I

Gambar 5 memperlihatkan hasil EDS berupa garis spektrum pada bulir Guano I Gua Bau-Bau yang terdiri atas 7 unsur, yaitu Karbon (C), Nitrogen (N), Oksigen (O), Besi (Fe), Brom (Br), Silika (Si), dan Titanium (Ti). Dari hasil analisa komposisi unsur dengan EDS, ketujuh unsur memiliki persentase berat yang berbeda dalam 100% berat campuran, seperti yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Unsur dari Guano I

Unsur	% Berat
Oksigen (O)	44.4
Besi (Fe)	35.0
Brom (Br)	6.7
Titanium (Ti)	5.8
Nitrogen (N)	3.9
Silika (Si)	2.5
Karbon (C)	1.7

Untuk memprediksi unsur-unsur yang dapat membentuk senyawa ditentukan dengan menggunakan Hukum Perbandingan Tetap (Hukum Proust). Senyawa yang terbentuk berupa oksida yang terjadi akibat unsur-unsur tersebut berikatan dengan Oksigen (O).

1. Fe_2O_3

$$\begin{aligned}\text{Fe} : \text{O} &= (2 \times \text{Ar Fe}) : (3 \times \text{Ar O}) \\ &= (2 \times 56) : (3 \times 16) \\ &= (112) : (48) \\ &= 7 : 3\end{aligned}$$

$$\frac{3}{7} \times 35\% = 15\%$$

Pembentukan senyawa Fe_2O_3 dalam % berat Fe 35% memerlukan Oksigen sebanyak 15%, sehingga dalam komposisi unsur di atas terdapat Fe_2O_3 sebanyak $35\% + 15\% = 50\%$.

2. TiO_2

$$\begin{aligned}\text{Ti} : \text{O} &= (1 \times \text{Ar Ti}) : (2 \times \text{Ar O}) \\ &= (1 \times 48) : (2 \times 16) \\ &= (48) : (32) \\ &= 3 : 2\end{aligned}$$

$$\frac{2}{3} \times 5.8\% = 3.9\%$$

Pembentukan senyawa TiO_2 dalam % berat Ti 5.8% memerlukan ikatan Oksigen (O) sebanyak 3.9%, sehingga dalam komposisi unsur di atas terdapat TiO_2 sebanyak $5.8\% + 3.9\% = 9.7\%$.

3. SiO_2

$$\begin{aligned}\text{Si} : \text{O} &= (1 \times \text{Ar Si}) : (2 \times \text{Ar O}) \\ &= (1 \times 28) : (2 \times 16) \\ &= (28) : (32) \\ &= 7 : 8\end{aligned}$$

$$\frac{8}{7} \times 2.5\% = 2.9\%$$

Pembentukan senyawa SiO_2 dalam % berat Si 2.5% memerlukan ikatan Oksigen (O) sebanyak 2.9%, sehingga dalam komposisi unsur di atas terdapat SiO_2 sebanyak $2.5\% + 2.9\% = 5.4\%$.

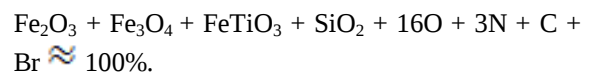
Total persen berat yang terbentuk dari beberapa senyawa di atas adalah $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{SiO}_2 = 65.1\%$ + dengan sisa Oksigen (O) 22.6% + Nitrogen (N) 3.9% + Karbon (C) 1.7% + Brom (Br) 6.7% = 100%. Jadi, perhitungan yang dilakukan berdasarkan persentase berat oksida dari masing-masing unsur diperoleh beberapa senyawa seperti Fe_2O_3 sebanyak 50%, TiO_2 sebanyak 9.7%, dan SiO_2 sebanyak 5.4%. Berdasarkan beberapa senyawa tersebut terdapatnya kandungan mineral magnetik seperti *Hematite* (Fe_2O_3) dan *Rutile* (TiO_2).

Hal di atas merupakan tinjauan dari sisi ikatan kimia unsur dengan oksigen, berikut ini adalah beberapa senyawa yang terdapat dalam bulir guano jika bulir dilihat secara keseluruhan.

Tabel 2. Komposisi Unsur

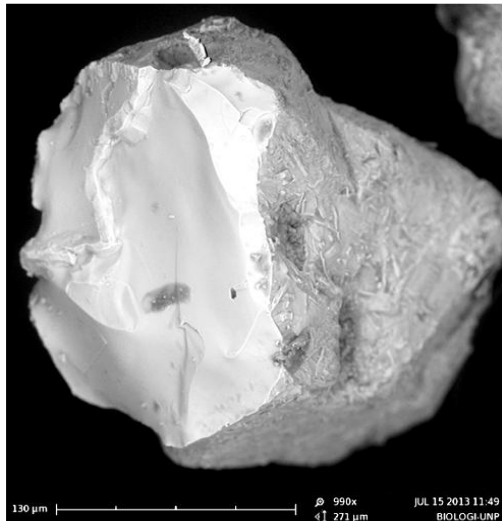
Unsur	% Berat	Ar	Atom Proportion	Atomic Ratios
Oksigen (O)	44.4	16	2.8	28
Besi (Fe)	35.0	56	0.6	6
Brom (Br)	6.7	80	0.08	1
Titanium (Ti)	5.8	48	0.1	1
Nitrogen (N)	3.9	14	0.3	3
Silika (Si)	2.5	28	0.09	1
Karbon (C)	1.7	12	0.1	1

Komposisi mineral yang dapat terjadi di dalam satu sampel guano adalah sebagai berikut



Berdasarkan beberapa senyawa tersebut terdapatnya kandungan mineral magnetik seperti *Hematite* (Fe_2O_3) dan *Rutile* (TiO_2). Apabila unsur dipandang secara keseluruhan kemungkinan dapat terbentuk senyawa seperti *Hematite* (Fe_2O_3), *Magnetite* (Fe_3O_4), *Ilmenite* (FeTiO_3), dan *Quartz* (SiO_2) serta beberapa unsur seperti Karbon (C), Nitrogen (N) dan Brom (Br).

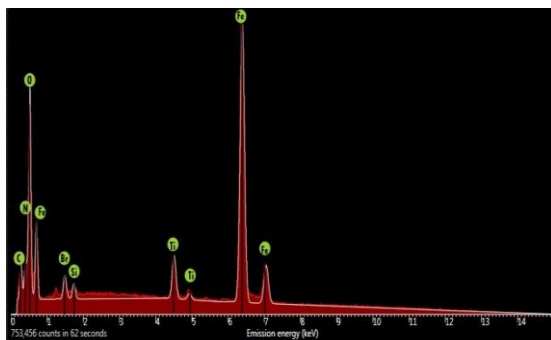
b. Bulir Magnetik Guano II



Gambar 6. Hasil SEM dari Sampel Guano II

Gambar 6 memperlihatkan morfologi guano II dari Gua Bau-Bau perbesaran 990x. Hasil SEM guano BA1520 (I) terlihat bentuk bulir yang tidak rata, namun bagian yang berwarna cerah mengindikasikan bahwa terdapat kandungan besi yang tinggi^[8]. Mineral ini berada pada posisi 130 µm. Ukuran bulir sebenarnya adalah 141 µm, dan bulir ini termasuk pada kelompok *multidomain*. Bulir magnetik yang lebih berbentuk lonjong dan memiliki rekahan.

Untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang terkandung dalam hasil SEM pada bulir ini dapat dilihat dari hasil EDS berikut.



Gambar 7. Hasil EDS Guano II

Gambar 7 memperlihatkan hasil EDS berupa garis spektrum pada bulir Guano II Gua Bau-Bau yang terdiri dari 7 unsur yang terkandung di dalamnya, yaitu unsur Karbon (C), Nitrogen (N), Oksigen (O), Besi (Fe), Brom (Br), Silika (Si), dan Titanium (Ti). Dari hasil analisa komposisi unsur dengan EDS ketujuh unsur memiliki persentase berat yang berbeda dalam 100% berat campuran, seperti yang terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi Unsur dari Guano II

Unsur	% Berat
Besi (Fe)	46.8
Oksigen (O)	40.1
Brom (Br)	4.1
Titanium (Ti)	3.5
Nitrogen (N)	3.1
Karbon (C)	1.3
Silika (Si)	1.1

Untuk memprediksi unsur-unsur yang dapat membentuk senyawa ditentukan dengan menggunakan Hukum Perbandingan Tetap (Hukum Proust). Senyawa yang terbentuk berupa oksida yang terjadi akibat unsur-unsur tersebut berikatan dengan Oksigen (O). Cara perhitungan ikatan kimia yang terjadi adalah sebagai berikut.

1. Fe_2O_3

$$\begin{aligned}
 \text{Fe} : \text{O} &= (2 \times \text{Ar Fe}) : (3 \times \text{Ar O}) \\
 &= (2 \times 56) : (3 \times 16) \\
 &= (112) : (48) \\
 &= 7 : 3
 \end{aligned}$$

$$\frac{3}{7} \times 46.8\% = 20.06\%$$

Pembentukan senyawa Fe_2O_3 dalam % berat Fe 46.8% memerlukan Oksigen sebanyak 20.06%, sehingga dalam komposisi unsur di atas terdapat Fe_2O_3 sebanyak $46.8\% + 20.06\% = 66.86\%$.

2. TiO_2

$$\begin{aligned}
 \text{Ti} : \text{O} &= (1 \times \text{Ar Ti}) : (2 \times \text{Ar O}) \\
 &= (1 \times 48) : (2 \times 16) \\
 &= (48) : (32) \\
 &= 3 : 2
 \end{aligned}$$

$$\frac{2}{3} \times 3.5\% = 2.3\%$$

Pembentukan senyawa TiO_2 dalam % berat Ti 3.5% memerlukan ikatan Oksigen (O) sebanyak 2.3%, sehingga dalam komposisi unsur di atas terdapat TiO_2 sebanyak $3.5\% + 2.3\% = 5.8\%$.

3. SiO_2

$$\begin{aligned}
 \text{Si} : \text{O} &= (1 \times \text{Ar Si}) : (2 \times \text{Ar O}) \\
 &= (1 \times 28) : (2 \times 16) \\
 &= (28) : (32) \\
 &= 7 : 8
 \end{aligned}$$

$$\frac{8}{7} \times 1.1\% = 1.26\%$$

Jadi, untuk pembentukan senyawa SiO_2 dalam % berat Si 1.1% memerlukan ikatan Oksigen (O) sebanyak 1.25%, sehingga dalam komposisi unsur di atas terdapat SiO_2 sebanyak $1.1\% + 1.26\% = 2.36\%$.

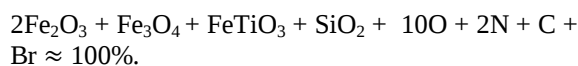
Total persen berat yang terbentuk dari beberapa senyawa di atas adalah $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{SiO}_2 = 75.02\% +$ dengan sisa Oksigen (O) $15.94\% +$ Nitrogen (N) $3.1\% +$ Karbon (C) $1.3\% +$ Brom (Br) $4.1\% = 99.46\%$. Perhitungan dilakukan berdasarkan persentase berat oksida dari masing-masing unsur sehingga diperoleh beberapa senyawa seperti Fe_2O_3 sebanyak 66.86%, TiO_2 sebanyak 5.8%, dan SiO_2 sebanyak 2.36%. Hasil ini menunjukkan bahwa terdapatnya kandungan mineral magnetik seperti *Hematite* (Fe_2O_3) dan *Rutile* (TiO_2).

Hal di atas merupakan tinjauan dari sisi ikatan kimia unsur dengan oksigen, berikut ini adalah beberapa senyawa yang terdapat dalam bulir Guano jika bulir dilihat secara keseluruhan.

Tabel 4. Komposisi Unsur dari Guano II

Unsur	% Berat	Ar	Atom Proportion	Atomic Ratios
Besi (Fe)	46.8	56	0.8	8
Oksigen (O)	40.1	16	2.5	25
Brom (Br)	4.1	80	0.05	1
Titanium (Ti)	3.5	48	0.07	1
Nitrogen (N)	3.1	14	0.22	2
Karbon (C)	1.3	12	0.1	1
Silika (Si)	1.1	28	0.03	1

Komposisi mineral yang dapat terjadi di dalam satu sampel guano adalah sebagai berikut



Apabila unsur dipandang secara keseluruhan kemungkinan dapat terbentuk senyawa seperti *Hematite* (Fe_2O_3), *Magnetite* (Fe_3O_4), *Ilmenite* (FeTiO_3), dan *Quartz* (SiO_2) serta beberapa unsur seperti Karbon (C), Nitrogen (N) dan Brom (Br).

2. Pembahasan

Berdasarkan hasil analisa di atas morfologi mineral magnetik yang diperoleh diduga berasal dari proses transportasi yang terjadi pada musim hujan. Bulir magnetik pada sampel guano lebih berbentuk lonjong dan memiliki banyak rekahan. Hal ini

menandakan mineral magnetik guano di Gua Bau-Bau pernah mengalami kondisi erosi. Kondisi yang menunjukkan bahwa mineral magnetik pada guano di Gua Bau-Bau telah mengalami akumulasi yang cukup lama. Bentuk Bulir yang demikian memiliki ciri yang sama dari beberapa penelitian^[5].

Halus atau kasar bulir magnetik dalam guano dapat dijadikan sebagai petunjuk untuk menentukan dari mana mineral itu berasal^[9]. Perpindahan mineral magnetik jenis oksida besi dapat terjadi karena angin dan aliran air^[11]. Bentuk bulir magnetik yang halus dan memiliki ukuran bulir yang kecil pada guano menandakan bahwa mineral magnetik terdistribusi ke dalam gua melalui perantara angin. Bentuk bulir yang kasar dan memiliki ukuran bulir yang cukup besar pada guano dapat dikatakan bahwa mineral magnetik berasal dari lingkungan luar dan selama musim hujan, tertransportasi ke dalam gua dan telah tersimpan dalam waktu yang lama^[12].

Ukuran bulir magnetik pada guano di Gua Bau-Bau tergolong ke dalam kelompok *multidomain*, yaitu bulir yang berukuran besar. Bulir-bulir magnetik yang berukuran besar diduga disebabkan oleh air yang mengalir atau menetes dari dinding-dinding gua. Hal ini menggambarkan mineral magnetik berasal dari lingkungan luar yang pernah terjadi selama musim hujan.

Sedangkan, hasil analisis EDS menunjukkan bahwa unsur-unsur yang terdapat pada sampel guano di Gua Bau-Bau Kalimantan Timur adalah Oksigen (O), Besi (Fe), Titanium (Ti), Silika (Si), Karbon (C), Nitrogen (N), dan Brom (Br). Berdasarkan perhitungan menggunakan Hukum Perbandingan Tetap (Hukum Proust), persen berat oksida-oksida yang terbentuk menunjukkan bulir magnetik pada guano di Gua Bau-Bau didominasi *Hematite* (Fe_2O_3) dan *Rutile* (TiO_2), sedangkan analisis bulir magnetik jika dipandang keseluruhan bulir magnetik pada guano di Gua Bau-Bau adalah *Hematite* (Fe_2O_3), *Magnetite* (Fe_3O_4), *Ilmenite* (FeTiO_3) dan *Rutile* (TiO_2). Variasi jenis mineral magnetik yang didapatkan disebabkan oleh bervariasinya perubahan lingkungan yang memicu terjadinya mekanisme transportasi mineral magnetik dari lingkungan luar ke dalam gua seperti oleh air, angin dan atau binatang gua tersebut^[2].

KESIMPULAN

1. Hasil pengamatan SEM terhadap hasil ekstraksi dari Guano Gua Bau-Bau Kalimantan Timur, memberikan informasi tentang morfologi guano yang memiliki bentuk yang bervariasi. Sedangkan, ukuran bulir magnetik pada guano termasuk dalam kelompok *multidomain* (MD).
2. Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan SEM yang dilengkapi dengan EDS terhadap hasil ekstraksi mineral magnetik guano, memberikan informasi mengenai komposisi

unsur. Hasil analisa menunjukkan beberapa unsur pada guano adalah Fe, O, Ti, Si, C, N dan Br. 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).

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.

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 dan Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pihak Jurusan Biologi FMIPA UNP yang telah mengizinkan Penulis untuk melakukan penelitian menggunakan SEM di Laboratorium FMIPA UNP.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rahmadi, Cahyo. 2007. *Ekosistem Karst dan Gua: Gudangnya Keanekaragaman Hayati yang Unik*. Pelatihan Kader Lingkungan. Gunung Kidul, Wonosari, 21 November 2007.
- [2] Rifai, H, T. Olintika, M. Novrilita, E. Rahman. 2010. *Konsentrasi Sifat Magnetik Guano dari Gua Kelelawar di Kabupaten 50 kota, Sumatera Barat*. Prosiding Seminar dan Rapat Tahunan BKS-PTN, Pekanbaru. 10 sampai dengan 11 Mei 2010. ISBN. 978-979-1222-94-5.
- [3] Bird, M, I. Boobyer, EM. Bryant, C. Lewis, AH.Paz, V dan Stephenus, WE. 2007. *A Long Record Of Environmental Change From Bat Guano Deposits In Makangit Cave, Palawan, Philippines: Earth and Environmental Science transactions of the Royal of Edinburgh*, 98, 59.69, 2007.
- [4] Wurster, C, M. McFarlane., L.I. Wassenaar.,K.A. Hobson., N.B. Athfield.,M.I. Bird. 2008. *Stable carbon and hydrogen from bat guano in the Grand Canyon, USA, reveal Younger Dryas and 8.2 ka event*. Scotland : University of St. Andrews.
- [5] Huliselan, K,S. 2009. *Sifat-Sifat Magnetik Sebagai Indikator Proxy Kandungan Logam Berat Pada Lumpur Lindi*. Disertasi. 91 Hal. Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia, Agustus 2009.
- [6] Huliselan,K,S. Bijaksana. S. 2007. *Identifikasi Mineral Magnetik pada Lindi (Leachate)*. Bandung: Jurnal Geofisika.
- [7] Butler, R. F. 1998. *Paleomagnetism Magnetic Domains to Geologic Timescales*. Boston: Blackwell Scientific Publications.
- [8] Handayani, A., Sumaryo, dan A. Sitompul. 2007. *Pengamatan Strukturmikro dengan Mikroskop Optik Dan Scanning Electron Microscope (SEM – EDAX)*. Pusdiklat. Jakarta. 21 sampai dengan 31 Mei 2007.
- [9] Rifai, H, E. Rahman, M. Irvan. 2011. *Ekstraksi Magnetik pada Methanol-Soap Bathed Muds*. Palembang: Jurnal Penelitian Sains 14 1(B).
- [10] Wiley, John. dan Sons, INC. 1997. *Manual Of Mineralogy*. Kanada: United States of America.
- [11] Evans, M., dan F. Heller. 2003. *Environment Magnetism Principles and Application of Environmagnetics*. Academic Press: California.
- [12] Hamdi, Irvan. M, Erni, dan Wursters C, M. 2012. *Identifikasi Mineral Magnetik pada Permukaan Guano dari Goa Kelelawar Sumatera Barat*. Prosiding Seminar Nasional Fisika 2012, Palembang 4 Juli 2012.