

Geokimia volkano lumpur Pulau-Pulau Penyu, Sandakan Sabah

BABA MUSTA*, MOHD HARUN ABDULLAH & SANUDIN HJ. TAHIR

Sekolah Sains & Teknologi, Universiti Malaysia Sabah
88999 Kota Kinabalu, Sabah

*Emel: babamus@ums.edu.my

Abstrak— Pulau-Pulau Penyu di Perairan Sandakan, Sabah terdiri daripada Pulau Bakkungan Kechil, Pulau Selingaan dan Pulau Gulisaan. Aspek geologi yang berpotensi menarik pelancong ialah aktiviti dan kesan volkano lumpur yang terdapat di Pulau Bakkungan Kechil dan Pulau Selingaan. Cerapan geologi menunjukkan bahagian dasar pulau ini terbina daripada endapan karang poros yang cerah. Volkano lumpur yang menerobos karang membawa lumpur bersama batuan sedimen dan gas mencorakkan landskap Pulau Bakkungan Kechil. Terdapat singkapan kecil kesan volkano lumpur diperhatikan di Pulau Selingaan. Kesemua pulau terdiri daripada sedimen Resen yang melapisi permukaannya, kecuali sebahagian kecil di kawasan selatan yang mengandungi endapan karang masif. Hasil analisis geokimia sampel di Pulau Bakkungan Kechil menunjukkan komposisi SiO_2 yang tertinggi iaitu ber julat 50.27% - 94.90%; diikuti oleh Al_2O_3 yang ber julat 1.96% hingga 17.54%. Manakala, hasil analisis di Pulau Selingaan pula menunjukkan komposisi SiO_2 ber julat 10.29% - 64.80%; diikuti oleh CaO yang ber julat 2.21% hingga 44.69%. Komposisi kimia ini yang sesuai dengan kehadiran mineral kuarza, kaolinit montmorilonit dan muskovit sebagai mineral utama dalam lumpur. Mineral yang terdapat di kawasan sedimen pantai pula didominasi oleh aragonit dan sedikit kalsit. Logam-logam surih Th, Ba, Zr, Sr dan Cr adalah unsur surih tertinggi yang dikesan dalam lumpur.

Katakunci: Volkano lumpur, lumpur volkano, geokimia, Pulau-Pulau Penyu, Sabah.

Geochemistry of mud volcanoes in Penyu Islands, Sandakan, Sabah

Abstract— Penyu Islands or Turtles Islands are located off the coast of Sandakan, Sabah and comprises Pulau Bakkungan Kechil, Pulau Selingaan and Pulau Gulisaan. Most part of the islands are blanketed by recent sediments except for a small southern portion that is made of massive coral. Geologically, the base of the entire islands are formed by light-coloured porous coral bed. The existence of mud volcanic activity at Pulau Bakkungan Kechil and traces of mud volcano at Pulau Selingaan are among geological features with potential as tourism attraction. The mud volcano intruded the coral bed and carried along mud with sedimentary rocks and gasses, and was responsible in shaping the landscape of Pulau Bakkungan Kechil and part of Pulau Selingaan. Geochemistry analysis on samples from Pulau Bakkungan Kechil show high composition of SiO_2 followed by Al_2O_3 , ranging from 50.27% to 94.90% and from 1.96 to 17.54%, respectively. Meanwhile, samples from Pulau Selingaan show high SiO_2 content followed by CaO, respectively 10.29% to 64.80% and 2.21% to 44.69%. This chemical composition is in concurrence with the presence of quartz, kaolinite, montmorillonite and muscovite as major minerals. The beach sediment is dominated by aragonite and some calcite. Th, Ba, Zr, Sr dan Cr are among the highest recorded trace elements in the mud.

Keywords: Mud volcano, volcanic mud, geochemistry, Penyu Islands, Sabah.

PENGENALAN

Pulau Pulau Penyu di Sabah terletak pada latitud $4^{\circ}08.5'U$ - $4^{\circ}10.5'U$ dan longitud $118^{\circ}04'T$ - $118^{\circ}07'T$ (Rajah 1). Pulau-pulau Penyu (*Turtles Island*) yang terletak di perairan Laut Sulu di pantai timur Sabah terdiri daripada Pulau Bakkungan Kecil, Pulau Selingaan dan Pulau Gulisan. Ketiga-tiga pulau ini menjadi kawasan tarikan pelancong disebabkan kawasan ini menjadi tempat penetasan penyu; dan dikawalselia oleh Taman Taman Sabah, Kerajaan Negeri Sabah. Keindahan landskap semulajadi khususnya lumpur volkano yang masih aktif, kesan tinggalan aktiviti vulkanik dan pantai berpasir berpotensi untuk diperkenalkan bagi tujuan geologi pelancongan. Nilai warisan ini boleh dibuat penambahbaikan melalui maklumat sejarah geologi dan asal-usul pembentukan pulau dan kehadiran volkano lumpur.

Data berkaitan geokimia logam major dan logam surih yang belum pernah direkodkan juga penting sebagai kajian ilmiah yang memberikan maklumat saintifik. Objektif kertas kerja ini ialah untuk menerangkan keadaan geologi, kesan-kesan proses luluhawa yang mencorakkan landskap pulau dan kedudukan turus stratigrafi pulau-pulau ini. Mineralogi beberapa sampel tanah yang berasal daripada lumpur volkano dan sedimen yang melapisi bahan berkarbonat di Pulau ini juga akan dibincangkan.

BAHAN DAN KAEDAH

Kajian ini melibatkan kerjalapangan, persampelan dan analisis makmal. Cerapan morfologi Pulau diperhatikan semasa mengelilingi dan menghampiri Pulau menggunakan motorbot. Kedudukan volkano lumpur yang aktif di bahagian

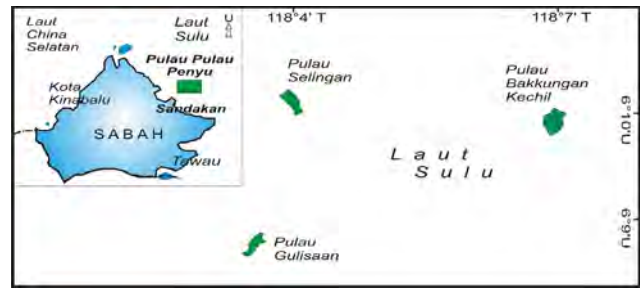
tengah Pulau Bakkungan Kechil merupakan puncak tertinggi jelas diperhatikan berdasarkan corak topografi yang berbentuk seakan kon. Sampel tanah dan sedimen dicerap di sekitar pantai dan bahagian tengah Pulau Bakkungan Kechil. Kajian profil lulu-hawa telah dijalankan pada lubang-lubang perigi atau telaga yang digunakan untuk sumber air juga dapat dijalankan di Pulau ini, di mana Pulau ini adalah satu-satunya mempunyai perigi dan mempunyai penempatan. Cerapan dalam perigi menunjukkan lapisan tanah mencapai ketebalan 1.50 m dan didasari bahan-bahan karbonat atau longgokan batu karang. Semakin menghampiri puncak volcano didapati bahan induk beransur-ansur menjadi tanah yang lebih halus dan berlempung kesan lumpur yang dikeluarkan bersama gas. Pulau Gulisaan tidak menunjukkan kehadiran volcano lumpur yang aktif. Walau bagaimanapun, masih terdapat kesan aktiviti yang ditunjukkan oleh sedimen lumpur yang terdapat di antara longgokan karang.

Pengambilan sampel tanah telah dijalankan di Pulau Bakkungan Kechil dan Pulau Gulisaan. Sampel tanah mewakili sampel yang berasal daripada aktiviti volcano manakala sampel sedimen yang mewakili endapan sedimen hasil penguraian longgokan karbonat dan juga bahagian yang telah bercampur dengan tanah yang diangkut dari topografi tinggi atau kedudukan volcano lumpur. Sampel sampel tanah dan sedimen diambil pada kedalaman 0 – 15 cm menggunakan skop plastik dan dimasukkan dalam bekas plastik yang diikat ketat untuk tujuan analisis sifat kimia.

Nilai kepekatan logam-logam major dan logam-logam surih ditentukan dengan menggunakan kaedah Pendarflour Sinar-X (XRF) model PW1480X-ray digital dan kawalan menggunakan Microcomputer Digital Software X44. Logam-logam major SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , K_2O , CaO , Na_2O , MnO dan P_2O_5 ditentukan menggunakan pelet lakur manakala logam-logam surih As, Ba, Co, Cr, Cu, Nb, Ni, Pb, Rb, Sr, Th U, V, Zr, dan Zn ditentukan menggunakan pelet tekan. Graf kalibrasi menggunakan piawaian antarabangsa untuk kedua-dua kaedah analisis. Pembelauan Sinar-X (XRD) digunakan untuk mengenalpasti mineral yang terkandung dalam volcano lumpur, tanah dan bahan berkarbonat secara pukal. Analisis XRD menggunakan peralatan Diffraktometer D5000 Siemens dan Kristalloflex 710 dan perisian Diffrac/AT.

PEMBENTUKAN LANDSKAP PULAU

Corak morfologi atau landskap di permukaan bumi dikawal oleh proses-proses endogen dan proses-proses eksogen. Proses endogen yang berkaitan dengan landskap pulau-pulau Penyu ialah aktiviti tektonisme yang melibatkan proses pengangkatan kerak bumi. Sabah mengalami beberapa proses pengangkatan seiring dengan pembukaan Laut Cina Selatan, Laut Sulawesi dan Laut Sulu sejak usia Miosen Awal (Hutchison, 2005) dan membentuk jalur gunung-pergunungan khususnya di kawasan barat Sabah. Kawasan kajian yang terletak di perairan Sulu juga mengalami episod pengangkatan dan dipercayai mempengaruhi proses awal pembentukan pulau-pulau di sekitarnya. Proses eksogen



Rajah 1: Kedudukan kawasan kajian di Pulau Pulau Penyu, Perairan Laut Sulu, Sandakan, Sabah.

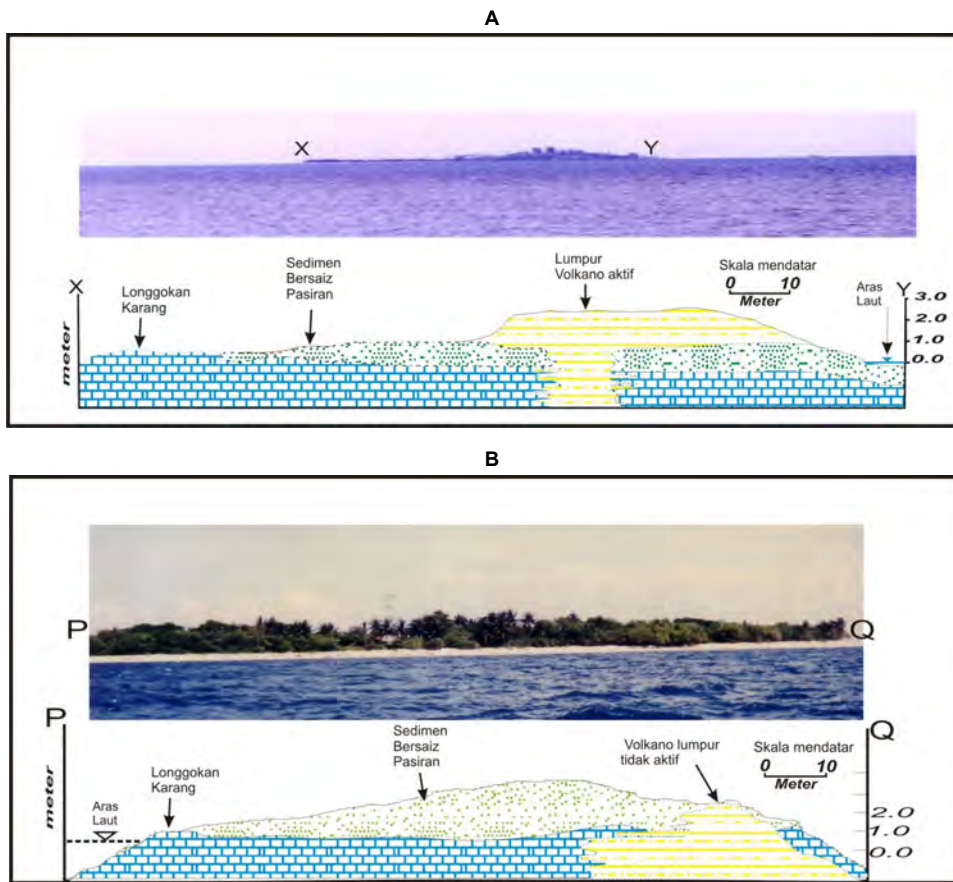
Juta Tahun (J.T)	Usia	Litologi	Penerangan
0	KUAT-ERNARI	vi	vi : Endapan lumpur volcano
5	NEOGEN	Pliosen	Sd : Formasi Sandakan
10		Atas	
15		Tengah	
20	Miosen	V	V : Fasies volcanik
25		Bawah	Mel : Melange (F. Garinono)
30	PALEOGEN	Oligosen	Mel
35		Atas	
40		Bawah	

Rajah 2: Jujukan stratigrafi Pulau Pulau Penyu, yang dikorelasikan dengan kawasan yang berhampiran di Sandakan, Sabah.

yang mencorakkan bentuk pesisir pantai pulau dan profil tanah yang terdapat di tengah pulau ialah proses hakisan dan lulu-hawa. Menurut Philips (2004) empat komponen penting dalam pembentukan lanskap muka bumi ialah jenis proses-proses lulu-hawa, hasil-hasil lulu-hawa, tindakan perataan permukaan dan pengaruh topografi dengan proses perataan permukaan. Pembentukan landskap Pulau Bakkungan Kechil dan Pulau Gulisaan dibincangkan berdasarkan proses-proses geologi dan proses-proses lulu-hawa.

Geologi

Aktiviti geologi terutamanya tektonisme ini berlaku di sebahagian besar kawasan Timur Sabah dan mencorakkan kawasan tanah besar di sekitar Sandakan, Sabah. Singkapan melange atau blok blok besar yang bercampur dengan matriks lumpuran adalah petunjuk kepada aktiviti ini (Sanudin & Baba, 2007). Singkapan batuan di daratan sekitar Sandakan ini juga dikenali sebagai Formasi Ayer, Formasi Garinono, Formasi Kuamut dan sebahagian Formasi Chert Spilit (Sanudin & Baba, 2007). Bahan matriks bersaiz lumpuran yang kaya dengan bahan organik dari dasar pulau dipercayai menjana gas-gas terutama metana yang secukupnya untuk menolak bahan-sedimen yang terletak di bahagian atas. Sekiranya dihubungkan dengan melange di sekitar Sandakan, sumber matriks lumpuran ini mungkin dipunyai oleh Formasi Garinono yang terdiri daripada batu lumpur, syal dan juga batu pasir. Stratigrafi Pulau-Pulau Penyu yang



Rajah 3: Corak morfologi dan keratan rentas (A) Pulau Bakkungan Kechil dan (B) Pulau Selingaan.

dikorelasikan dengan stratigrafi kawasan berhampiran iaitu Sandakan ditunjukkan dalam Rajah 2. Corak morfologi Pulau dan keratan rentas hasil cerapan lapangan ditunjukkan dalam Rajah 3.

Pembentukan Pulau Bakkungan Kechil, Pulau Selingaan dan Pulau Gulisaan berkaitan dengan tekanan yang lebih kuat oleh gas-gas menyebabkan berlakunya diapir lumpuran atau volkano lumpur yang hampir dengan permukaan lautan. Batuan sedimen dan bahan-bahan sedimen yang terangkat dan yang muncul di permukaan lautan menyediakan dasar yang sesuai untuk pertumbuhan karang khususnya di kawasan beriklim tropika kerana cahaya, suhu, arus lautan dan nutrien yang mencukupi (Wilson *et al.*, 1999). Proses pengangkatan seterusnya menghasilkan endapan atau longgokan batu karang yang masif dan timbul menjadi pulau-pulau. Endapan karbonat yang berbentuk terumbu karang masih kukuh di dasar ketiga-tiga pulau dan ada yang tersingkap di sekeliling pantai Pulau Selingaan. Tekanan yang berterusan di Pulau Bakkungan Kechil menyebabkan longgokan karang mengalami retakan dan membolehkan lumpur bersama gas meletup keluar ke permukaan. Cabang volkano lumpur yang tersingkap di permukaan bumi menunjukkan beberapa laluan sedimen bersaiz lumpuran hasil pembentukan retakan (Rajah 4). Kesan aliran lumpur yang telah mengalami pepadatan di Pulau Selingaan dan dikelilingi oleh bahan berkarbonat menunjukkan aliran lumpur pernah berlakunya dan kini sudah tidak aktif serta mengaami proses pepadatan dan penyimenan (Rajah

5). Longgokan sedimen resen yang dimendapkan di atas permukaan pulau dan menindih longgokan karang adalah hasil daripada proses luluhawa, proses pengangkutan dan tindakan ombak yang berterusan (Rajah 6). Sedimen resen ini mempunyai pelbagai saiz daripada saiz pasir halus hingga pasir kasar dan longgokan ini berasal daripada endapan karbonat dan pasir (Mazlan *et al.*, 1990).

Proses Luluhawa

Proses luluhawa memecahkan atau merubah batuan kepada tanah atau fragmen yang lebih kecil di permukaan yang terdedah. Gabungan tindakan luluhawa seperti proses tindakan air hujan dan ombak, tindakan mekanik kesan bahan angkutan ombak, tindakan tumbuhan yang terdapat di permukaan pulau, tindakan agen kimia yang merubah pH dan tindakan organisma terhadap batuan atau jasad karbonat yang terdedah mencorakkan landskap Pulau Pulau Penyus. Sebahagian besar pulau-pulau ini dilapisi oleh sedimen berpasir hasil proses pemendapan dan penguraian oleh agen luluhawa. Topografi pulau-pulau ini secara umumnya berbentuk seakan kon yang landai di bahagian tepi dan semakin tinggi kebahagian dalam.

Bahan berkarbonat mudah mengalami penguraian kesan tindakan oleh air hujan yang biasanya sedikit berasid. Kehadiran mineral dalam tanah sedimen yang tinggi kandungan unsur-unsur aluminium dan ferum juga menggalakkan pembentukan keasidan tanah, seterusnya berpotensi melarutkan longgokan karang. Batuan lain seperti

A



B



Rajah 4: Dua volkano lumpur yang aktif mengeluarkan gas-gas yang terdapat Pulau Bakkungan Kechil.



Rajah 5: (A) Kesan aktiviti volkano lumpur yang terdapat di Pulau Selingaan. (B) Bahan sedimen bersaiz pasir yang terdapat berhampiran dengan sedimen bersaiz lumpuran di Pulau Selingaan.



Rajah 6: (A) Endapan karang bersama batuan bersaiz lumpuran dan pasir di Pulau Selingaan. (B) Endapan karang di sekitar pantai di Pulau Bakkungan Kechil.

Jadual 1: Kandungan kepekatan logam-logam major dalam sampel volkano lumpur dan tanah dari Pulau Bakkungan Kechil.

Sampel Unsur	BK2	BK5	BK6a	BK6b	BK6c	BK7	BK8	BK9
SiO ₂ (%)	50.27	66.02	77.12	76.79	94.90	58.53	61.76	61.73
TiO ₂ (%)	0.58	0.68	0.53	0.50	0.16	0.73	0.76	0.76
Al ₂ O ₃ (%)	12.62	13.25	8.81	9.27	1.96	16.91	17.54	16.16
Fe ₂ O ₃ (%)	4.46	4.74	3.20	3.27	0.71	6.02	6.53	5.67
MnO (%)	0.07	0.05	0.10	0.10	0.03	0.09	0.05	0.05
MgO (%)	2.59	1.63	0.74	0.63	bdl	1.97	1.62	1.84
CaO (%)	8.76	0.93	0.40	0.28	0.08	0.90	0.42	0.54
Na ₂ O (%)	1.83	1.88	1.43	1.08	0.92	3.43	1.54	2.81
K ₂ O (%)	2.28	2.39	1.22	1.35	0.21	3.09	2.62	2.87
P ₂ O ₅ (%)	0.12	0.09	0.09	0.07	0.04	0.13	0.07	0.14
L.O.I (%)	16.41	8.34	6.36	6.65	1.00	8.21	7.09	7.45
Jumlah	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

*bdl – di bawah had pengesanan

Jadual 2: Kandungan kepekatan logam-logam major dalam sampel karbonat, sedimen lumpur dan tanah dari Pulau Selingaan.

Sampel Unsur	S7(cal)	S7(mud1)	S7(mud2)	S8	S15a	S15b
SiO ₂ (%)	10.29	64.59	64.80	47.04	42.73	39.28
TiO ₂ (%)	0.12	0.70	0.72	3.23	2.69	2.26
Al ₂ O ₃ (%)	2.36	14.27	13.98	12.08	10.84	9.42
Fe ₂ O ₃ (%)	1.30	5.27	5.27	9.23	7.85	10.62
MnO (%)	3.10	0.05	0.05	0.10	0.18	0.21
MgO (%)	1.63	2.81	3.00	5.09	4.65	8.39
CaO (%)	44.69	2.22	2.21	8.28	12.76	11.57
Na ₂ O (%)	0.00	2.54	2.48	5.56	5.77	2.51
K ₂ O (%)	0.30	1.91	1.90	0.44	0.26	1.43
P ₂ O ₅ (%)	0.05	0.17	0.15	0.87	0.79	0.83
L.O.I (%)	36.16	5.45	5.44	8.08	11.47	13.47
Jumlah	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

S(cal) – sampel batuan karbonat, S(mud) – sampel batu lumpur

batuan bersaiz lumpuran dan saiz pasiran di bahagian dalam Pulau Bakkungan Kechil juga boleh mengalami tindakbalas kimia dan menguraikan tanah tersebut. Komposisi kimia secara terperinci dapat menggambarkan asalan bahan volkano lumpur atau tanah tersebut.

GEOKIMIA LOGAM MAJOR DAN LOGAM SURIH

Hasil analisis kandungan logam-logam major di Pulau Bakkungan Kechil ditunjukkan dalam Jadual 1. Manakala, kandungan logam-logam major di dalam sampel daripada Pulau Selingaan dalam Jadual 2, dan kandungan kepekatan logam-logam surih dalam sampel dari Pulau Bakkungan Kechil ditunjukkan dalam Jadual 3. Hasil analisis dalam Jadual 1 menunjukkan komposisi SiO₂ yang tertinggi iaitu berjulat 50.27% - 94.90%; diikuti oleh Al₂O₃ yang berjulat 1.96% hingga 17.54%. Data ini membuktikan asalan bahan sedimen yang tinggi mineral lempung dan kuarza dalam lumpur volkano. Perbandingan dengan data lumpur volkano yang dianalisis di Pulau Tiga menunjukkan corak kandungan kepekatan SiO₂ dan Al₂O₃ yang hampir sama (Baba Musta dan Sanudin Hj. Tahir 1999). Unsur-unsur lain yang tinggi ialah CaO yang berjulat di antara 0.40% hingga 8.76%, Fe₂O₃ berjulat 0.71% hingga 6.53%. Kandungan CaO yang tinggi (sampel BK2) terdapat pada tanah berhampiran pantai yang dipengaruhi oleh penguraian bahan-bahan karbonat; manakala kandungan Fe₂O₃ menunjukkan pengumpulan

besi (III) kesan proses pengoksidaan. Kandungan bahan-bahan meruap (L.O.I) adalah tinggi dalam sampel BK2 yang menggambarkan kandungan dalam bahan berkarbonat yang tinggi.

Hasil analisis dalam Jadual 2 juga menunjukkan komposisi SiO₂ yang tertinggi dalam sampel namun lebih rendah berbanding sampel daripada Pulau Bakkungan Kechil iaitu berjulat 10.29% - 64.80%; diikuti oleh CaO yang berjulat 2.21% hingga 44.69%. Kandungan komposisi Al₂O₃ pula berjulat 2.36% - 14.27%. Data ini menunjukkan sampel S7(cal) dan juga bahan sedimen berkarbonat pada sampel S8, S15a dan S15b merupakan bahan karbonat, manakala S7(mud1) dan S7(mud2) adalah batu lumpur. Kandungan Fe₂O₃ menunjukkan pengumpulan besi (III) kesan proses pengoksidaan pada sampel sampel batu lumpur dan sedimen berkarbonat. Kandungan bahan-bahan meruap (L.O.I) yang tinggi juga ditunjukkan oleh sampel S7(cal) menggambarkan kandungan yang tinggi dalam bahan berkarbonat. Analisis endapan tanah berkarbonat di Pulau Mabul, Semporna (Baba Musta *et al.*, 2007) juga menunjukkan corak korelasi antara CaO dan LOI yang hampir sama dengan sampel longgokan karang daripada Pulau Selingaan

Beberapa logam-logam surih terpilih iaitu As, Ba, Co, Cr, Cu, Nb, Ni, Pb, Rb, Sr, Th, U, V, Zr, dan Zn dari sampel lumpur dan tanah di Pulau Bakkungan Kechil menunjukkan kepekatan yang ketara terhadap asalan sampel tersebut.

Jadual 3: Kandungan kepekatan logam-logam surih dalam lapan sampel lumpur dan tanah berkarbonat dari Pulau Bakkungan Kechil.

Sampel Unsur	BK1	BK2	BK3	BK4	BK5	BK6a	BK6c	BK8
As (ppm)	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	5	2	6
Ba (ppm)	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	287	20	620
Co (ppm)	14	bdl	bdl	bdl	bdl	16	30	32
Cr (ppm)	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	107	15	139
Cu (ppm)	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	36	10	22
Nb (ppm)	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	Bdl	bdl	0
Ni (ppm)	bdl	4.19	bdl	bdl	bdl	48	14	54
Pb (ppm)	5	6.22	17	13	16.81	23	16	23
Rb (ppm)	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	94	11	162
Sr (ppm)	2247	4020	4364	4209	4116	119	57	155
Th (ppm)	136	148	86	133	148	333	297	199
U (ppm)	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
V (ppm)	13	13.35	13	16	13	93	32	140
Zn (ppm)	bdl	0.18	1	bdl	88	64	68	114
Zr (ppm)	168	324.03	384	361	331	217	216	166

*bdl – di bawah had pengesanan

Sampel asalan lumpur volkano menunjukkan kehadiran As, Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Rb, Sr, Th, V, Zn dan Zr, manakala sampel asalan bahan berkarbonat hanya menunjukkan kehadiran Pb, Sr, Th, V, dan Zr, serta mempunyai kandungan Zn yang sangat rendah (Jadual 3). Kandungan Sr adalah tinggi iaitu berjutat 2247 ppm hingga 4364 ppm dalam sampel bahan berkarbonat, manakala Sr sampel lumpur hanya berjutat 57 – 155 ppm, diikuti oleh Zr yang berjutat 168 ppm hingga 384 ppm dalam bahan berkarbonat makalala dalam sampel lumpur nilainya berjutat 166 ppm- 217 ppm. Logam-logam surih yang lain yang tinggi dalam sampel lumpur ialah Th, Ba, Cr dengan kepekatan masing masing berjutat 148 – 333 ppm, 20 - 620 ppm, dan 15 – 620 ppm (Jadual 3).

Kandungan geokimia logam-logam major dan logam surih berkaitan dengan jenis mineral yang terdapat dalam sampel yang dianalisis. Jenis mineral yang dapat dikenalpasti dalam sampel daripada Pulau Bakkungan Kechil dan Pulau Selingaan ditunjukkan dalam Jadual 4. Sesuai dengan kandungan logam-logam major didapati sampel yang tinggi dengan mineral kuarza, kaolinit dan muskovit dan montmorilonit ialah sampel volkano lumpur, dan sedimen berlumpur. Mineral-mineral berkarbonat yang terdapat di kawasan sedimen pantai pula didominasi oleh aragonit dan sedikit kalsit.

KESIMPULAN

1. Pulau-Pulau Penyu di Perairan Sandakan, Sabah yang terbina secara geologi oleh aktiviti volkano lumpur mempunyai potensi menarik pelancong dan perlu dipromosikan untuk memperkenalkan geologi pelancongan di kawasan ini.

2. Geologi Pulau Bakkungan Kechil dan Pulau Selingaan menunjukkan bahagian dasar pulau ini terbina daripada endapan karang poros yang cerah, diterobosi oleh sedimen bersaiz lumpuran bersama gas-gas organik.

3. Hasil analisis di Pulau Bakkungan Kechil menunjukkan komposisi SiO₂ yang tertinggi iaitu berjutat

Jadual 4: Mineral yang dikesan dalam sampel lumpur, tanah dan bahan berkarbonat dari Pulau Bakkungan Kechil dan Pulau Selingaan menggunakan kaedah Pembelauan Sinar-X (XRD).

Sampel	Mineral
BK1	Aragonit, kalsit
BK2	Aragonit, kuarza, kaolinit, kalsit
BK4	Aragonit, kalsit
BK6b	Kuarza, kaolinit, muskovit
BK7	Kuarza, kaolinit, muskovit
BK9	Kuarza, kaolinit, muskovit
S2	Aragonit, kalsit
S7(mud)	Kuarza, kaolinit, muskovit
S8	Anortit, montmorilonit
S15b	Montmorilonit, Kaolinit, muskovit

50.27% - 94.90%; diikuti oleh Al₂O₃ yang berjutat 1.96% hingga 17.54%. Hasil analisis di Pulau Selingaan pula menunjukkan komposisi SiO₂ yang tertinggi dalam sampel namun lebih rendah berbanding sampel daripada Pulau Bakkungan Kechil iaitu berjutat 10.29% - 64.80%; diikuti oleh CaO yang berjutat 2.21%% hingga 44.69%.

4. Komposisi Al₂O₃ dan SiO₂ menunjukkan kehadiran dengan kehadiran mineral kuarza, kaolinit, montmorilonit dan muskovit sebagai mineral utama. Manakala kandungan CaO yang tinggi menunjukkan kehadiran aragonit dan sedikit kalsit. Logam-logam surih Th, Ba, Zr, Sr dan Cr adalah unsur surih tertinggi yang dikesan dalam lumpur.

PENGHARGAAN

Penyelidikan dibiayai oleh geran penyelidikan fundamental UMS Kod R2597-001-013. Ucapan penghargaan dan terima kasih kepada Pengarah Taman - Taman Sabah yang memberi kebenaran menjalankan kajian dan seterusnya membenarkan pengambilan sampel di Pulau Pulau Penyu, Sandakan. Analisis XRF untuk penentuan kandungan unsur major dalam dijalankan di Program Geologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi. Penghargaan kepada En. Jalaludin Majalip yang terlibat sama dalam pengambilan sampel dan kerjalapangan.

REFERENCES / RUJUKAN

- Baba Musta, Mohd Harun Abdullah & Bhavani Poopalan, 2007. Proses Luluhawa dan Pembentukan Landskap Pulau Mabul, Semporna Sabah. In: Mohd. Shafeea Leman, Che Aziz Ali & Ibrahim Komoo (eds.): Warisan Geologi Malaysia (Geological Heritage of Malaysia). LESTARI, UKM. Bangi, 119-132.
- Baba Musta & Sanudin Hj. Tahir., 1999. Kajian geokimia unsur-unsur dalam lumpur dan tanah di Pulau Tiga Sabah (Geochemistry of mud and soil of Pulau Tiga Sabah). *Borneo Science*, 5: 47-56.
- Hutchison, C.S., 2005. *Geology of North-West Borneo*. Elsevier. Amsterdam
- Philips, J. D. 2004. Weathering instability and landscape evolution. *Geomorphology*, 67: 255-272.
- Mazlan A. G, Lee, N., Tajuddin, M., & Sanudin Hj. Tahir., 1990. Some characteristics of nesting beaches and nesting clues of the Green Turtles (*Chelonia mydas*) on the Turtle Island Park, Sabah. *Sumber*, 6: 3-14
- Sanudin Hj. Tahir & Baba Musta, 2007. *Pengenalan Kepada Stratigrafi*. Penerbit UMS, Kota Kinabalu, Sabah.
- Wilson, M.E.J., Chambers, J.L.C., Evans, M.J., Moss, S.J. & Nas, D.S., 1999. Cenozoic Carbonates in Borneo: case studies in Northeast Kalimantan, *Journal of Asian Earth Sciences*, 17, 183-201.

Manuscript received 18 August 2010
Revised manuscript received 12 October 2010

