

Komposisi Isotop Radiogenik Pb Longgokan Emas Orogeni Buffalo Reef, Pahang, Malaysia: Implikasi terhadap Genesis Bijih

(Radiogenic Pb Isotope Composition of the Buffalo Reef Orogenic Gold Deposit Pahang, Malaysia: Implications for Ore Genesis)

MAZLINFALINA MOHD ZIN^{1,*}, MOHD BASRIL ISWADI BASORI¹, HABIBAH JAMIL¹ & NASIRUDIN YUSOFF²

¹Jabatan Sains Bumi dan Alam Sekitar, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia

²Pejabat Dekan, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia

Diserahkan: 19 Mei 2024/Diterima: 11 Julai 2024

ABSTRAK

Longgokan emas Buffalo Reef di Jalur Tengah Semenanjung Malaysia merupakan longgokan jenis orogeni yang berkongsi banyak cirian geologi dengan longgokan emas orogeni lain di rantau ini. Batuan perumah di Buffalo Reef didominasi oleh batuan sedimen iaitu syal, syal berkarbon, batu lodak, batu lumpur, batuan metamorf gred rendah (sabak) dan batuan vulkanik. Komposisi isotop Pb bagi sulfida di dalam telerang kuarza dan batuan perumah daripada longgokan emas Buffalo Reef dilaporkan dalam kajian ini sebagai salah satu kaedah untuk menentukan sumber larutan pembentuk bijih, julat sempadan usia (*modal age*) dan sekitaran tektonik. Hasil kajian ini kemudiannya disepadukan dengan gambaran keseluruhan sekitaran geodinamik serantau, untuk lebih memahami tentang genesis longgokan emas orogeni di rantau ini. Empat mineral stibnit di dalam telerang kuarza memberikan julat nisbah $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ daripada 18.5953 hingga 18.6318, nisbah $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ antara 15.6564 dan 15.6910 dan nisbah $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ sekitar 38.6378 hingga 38.7503. Sementara itu, nisbah untuk $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ dan $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ bagi satu mineral stibnit daripada batuan perumah ialah 18.6215, 15.6242 dan 38.6132. Secara keseluruhannya, nilai data isotop Pb yang terkandung oleh mineral stibnit di dalam telerang kuarza adalah agak kecil dan menunjukkan persamaan dengan nilai isotop Pb yang terkandung oleh mineral stibnit di dalam batuan perumah. Hasil kajian menunjukkan bahawa sumber utama Pb dalam larutan hidroterma pemineralan di Buffalo Reef berasal daripada percampuran Pb kerak atas dengan Pb daripada sumber igneus/mantel yang terbentuk di sekitaran tektonik subduksi-perlanggaran yang membentuk jalur orogeni. Perbandingan data isotop Pb dalam longgokan emas Buffalo Reef dengan beberapa longgokan emas orogeni di Semenanjung Malaysia menunjukkan nilai isotop Pb dan sekitaran tektonik yang konsisten dan seragam serta semuanya berada dalam julat umur modal 0-200 juta tahun. Penemuan ini selaras dengan kejadian longgokan emas orogeni di Buffalo Reef dan longgokan emas orogeni lain di rantau ini yang terbentuk terutamanya di sepanjang sempadan kerak menumpu bagi jalur orogeni perlanggaran.

Kata kunci: Buffalo Reef; emas orogeni; genesis; isotop Pb; Semenanjung Malaysia

ABSTRACT

The Buffalo Reef gold deposit in the Central Belt of Peninsular Malaysia is an orogenic deposit type that shares many geologic features with other orogenic gold deposits in this region. The host rocks in the Buffalo Reef are dominated by sedimentary rocks, which are shale, carbonaceous shale, siltstone, mudstone, low-grade metamorphic rock (slate), and volcanic rocks. The Pb isotope compositions of sulfides in quartz veins and host rocks from the Buffalo Reef deposit are reported in this study as an attempt to constrain the source of the ore-forming fluids, modal age and tectonic setting. These results are then integrated with an overview of the regional geodynamic setting to advance understanding of the genesis of the orogenic gold deposits in this region. Four stibnite minerals in quartz veins yield $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios ranging from 18.5953 to 18.6318, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios between 15.6564 and 15.6910, and $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios around 38.6378 to 38.7503. Meanwhile, the $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, and $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios for one stibnite mineral from the host rock are 18.6215, 15.6242, and 38.6132, respectively. Overall, the isotopic Pb data values contained by the stibnite mineral in quartz veins are relatively small and exhibit consistency with the isotopic Pb values contained by the stibnite mineral in the host rock. The results suggest that the primary source of Pb in the hydrothermal mineralizing solution at Buffalo Reef originates from the mixing of Pb from the upper crust with Pb from igneous/mantle sources formed in the vicinity of subduction-collision tectonic settings that form orogenic belts. Comparison of Pb isotopic data in the Buffalo Reef

deposit with several orogenic gold deposits in Peninsular Malaysia shows a consistent and uniform pattern of Pb isotopic values and tectonic settings, all falling within the modal ages range of 0-200 million years. These findings are consistent with the formation of the orogenic gold deposit at Buffalo Reef and other orogenic gold deposits in the region that form primarily along convergent plate margins of the collisional orogenic belt.

Keywords: Buffalo Reef; genesis; Pb isotope; Peninsular Malaysia; orogenic gold

PENGENALAN

Longgokan emas orogeni merupakan salah satu daripada jenis longgokan mineral bijih yang menghasilkan pengeluaran emas terbesar di dunia iaitu sebanyak 30% (Frimmel 2008; Groves et al. 1998). Antara nama lain yang diguna pakai sebelum ini dan mempunyai maksud yang sama dengan longgokan emas orogeni adalah longgokan emas mesoterma, contohnya di Jalur Tengah, Semenanjung Malaysia (Ariffin 2012), emas jenis 'greenstone', contohnya di Dharwar Craton, India (Biswajit et al. 2018), emas jenis Lod Arkean, contohnya di Golden Mile, Kalgoorlie, Australia (Groves et al. 1998) dan emas yang bersekutu dengan zon ricih, contohnya di Renabie Mine, Ontario Utara, Kanada (Poulsen, Robert & Card 1992).

Pemineran emas berlaku di Jalur Barat, Jalur Tengah dan Jalur Timur, Semenanjung Malaysia. Namun, pemineran emas di Jalur Barat tidak bernilai ekonomi berbanding di Jalur Tengah dan Jalur Timur. Umumnya, terdapat tiga jenis longgokan emas yang terjadi di Jalur Tengah iaitu longgokan emas orogeni (seperti di Penjom dan Buffalo Reef), longgokan emas bersama skarn (Mengapur) dan longgokan emas bersama sulfida masif (Tasik Chini dan Ulu Sokor) (Basori et al. 2016; Wan Fuad & Heru Sigit 2002; Yusoff, Abdul Aziz & Roselee 2022) dengan perlombongan emas utama hanya diperoleh daripada longgokan emas yang berasosiasi dengan telerg kuarza (orogeni).

Walaupun kejadian longgokan emas orogeni di Jalur Tengah telah dikelaskan sebagai emas yang terbentuk secara orogeni akibat pengaruh struktur dan tektonik rantau yang berlaku di Semenanjung Malaysia (Ariffin & Hewson 2007; Gunn 1994), perbincangan mengenai model genesis pemineran emas bagi rantau Semenanjung Malaysia masih lagi diperbahaskan. Oleh itu, kajian mengenai isotop radiogenik plumbum mineral stibnit di dalam telerg kuarza dan batuan perumah longgokan Buffalo Reef telah dilakukan dalam kajian ini untuk menentukan punca dan asalan Pb di dalam larutan hidroterma, usia modal perlonggokan bijih dan sekitaran tektonik. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat mencadangkan model genesis bagi longgokan emas yang terjadi di kawasan Buffalo Reef dan seterusnya bagi longgokan emas jenis sama yang terdapat di rantau Semenanjung Malaysia.

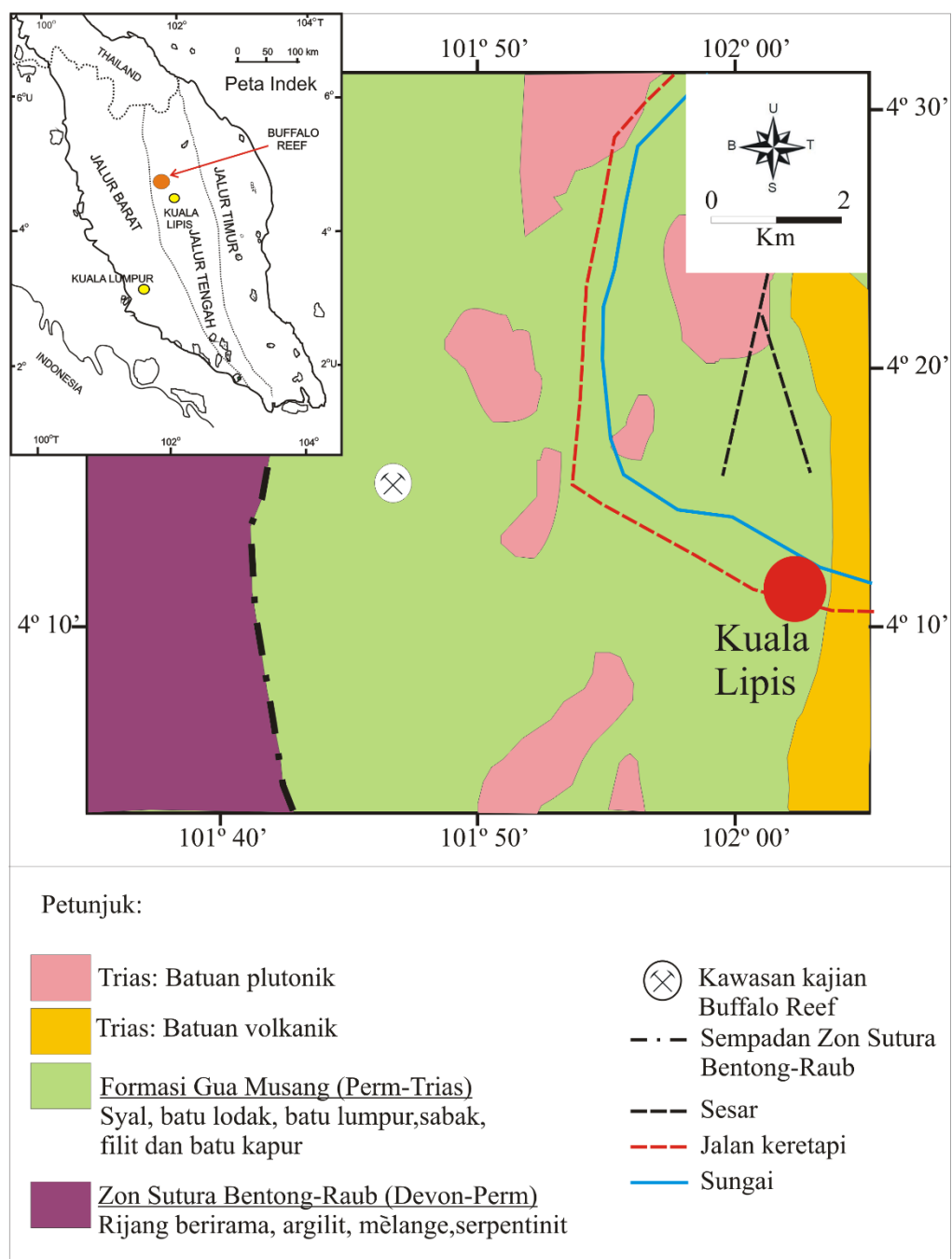
LATAR BELAKANG GEOLOGI

Longgokan emas Buffalo Reef terletak di barat laut Pahang, Jalur Tengah Semenanjung Malaysia iaitu pada sebelah timur Zon Sutura Bentong-Raub (ZSBR) (Rajah 1). ZSBR iaitu sempadan yang memisahkan antara Jalur Barat dengan Jalur Tengah, Semenanjung Malaysia merupakan tinggalan lembangan lautan kuno Paleo-Tethys (berusia Devon-Trias) yang terangkat ke permukaan bumi selepas terjadinya perlanggaran antara Blok Sibumasu dengan Blok Malaya-Timur yang membentuk Semenanjung Malaysia (Hutchison 1975; Metcalfe 2000; Tjia 1989). Jujukan batuan yang membentuk ZSBR terdiri daripada rijang berirama, argilit, melange dan serpentinit (Metcalfe 2000, 2013a, 2013b; Rajah 1).

Umumnya, geologi am barat laut Pahang dibentuk oleh Formasi Gua Musang yang merupakan kesinambungan daripada singkapan jujukan batuan berusia Permo-Trias yang dipetakan di kawasan Gua Musang oleh Yin (1965). Namun, pada masa sekarang, jujukan batuan berusia Permo-Trias ini didapati tersebar dengan lebih meluas iaitu di keseluruhan bahagian utara Jalur Tengah, Semenanjung Malaysia, tetapi dengan nama formasi yang berbeza seperti Formasi Aring, Formasi Telong dan Marmar Nilam (Mohamed et al. 2016).

Menurut Mohamed et al. (2016), jujukan batuan yang membentuk Formasi Gua Musang dan formasi yang setara terdiri daripada tiga fasies yang utama iaitu: (i) fasies argilit; (ii) fasies kapur; dan (iii) fasies vulkanik/piroklastik. Fasies argilit merupakan unit yang tersebar meluas dan berfosil. Fasies ini membentuk selang-lapis atau kekanta dan boleh terdiri daripada litologi syal, syal berkarbon, batu lodak, batu lumpur, sabak dan filit. Biasanya, fasies kapur membentuk topografi karst dan mogot seperti perbukitan curam dan gua. Fasies ini terdiri daripada batu kapur atau marmar dengan memperlihatkan struktur perlapisan dan kekanta apabila wujud bersama fasies argilit dan vulkanik. Fasies vulkanik/piroklastik wujud secara berselang-lapis dan aliran dengan fasies argilit dan kapur. Fasies ini boleh terdiri daripada tuff, lapilli, breksia vulkanik dan aglomerat.

Di bahagian utara kawasan Buffalo Reef terdapat beberapa rejahan jasad igneus membentuk stok perbukitan kecil (Rajah 1). Rejahan granit ini berkemungkinan terjadi semasa Trias Akhir iaitu selaras dengan hasil kajian terkini yang menyatakan granitoid yang terdapat di Jalur Tengah, Semenanjung Malaysia mempunyai usia Trias Akhir yang berjalat dari 232 hingga 222 Juta tahun (Ng et al. 2015).



Sumber: Diubah suai daripada Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia (2014)

RAJAH 1. Geologi am kawasan Buffalo Reef, Pahang dan sekitarnya

GEOLOGI DAN PEMINERALAN DI KAWASAN KAJIAN

Secara umumnya, geologi kawasan longgokan emas Buffalo Reef didominasi oleh batuan sedimen (syal, syal berkarbon, batu lodak, batu lumpur), batuan metamorf gred rendah (sabak) dan batuan vulkanik yang telah mengalami canggaan kuat yang pelbagai. Selain itu, struktur geologi utama yang dikenal pasti wujud akibat canggaan di kawasan kajian terdiri daripada peralipisan batuan, sesar normal dan songsang, zon ricih, perlipatan, kekar dan telerang kuarza (Mohd Zin 2023).

Pemineralan emas dan mineral sulfida di Buffalo Reef terjadi di dalam telerang kuarza dan batuan dinding yang terubah di sekitarnya. Perubahan batuan dinding yang berlaku adalah daripada jenis pensilifikasian dan pengargilitan-penserisitan. Pemineralan emas di sini memperlihatkan kawalan struktur seperti pembentukan generasi telerang kuarza di dalam zon sesar dan zon ricih, selain daripada struktur geologi utama seperti peralipisan batuan, perlipatan dan sistem kekar (Mohd Zin 2023).

BAHAN DAN KAEDAH KAJIAN

Kajian isotop plumbum dilakukan ke atas lima sampel mineral stibnit yang diperoleh dengan memisahkan mineral ini daripada empat sampel telerang kuarza dan satu batuan perumah di Buffalo Reef sebelum dihantar untuk analisis. Lima sampel ini telah digerudi dengan menggunakan *dentist drill* untuk mengeluarkan serbuk sulfida seberat 5 mg di Makmal Mineral Ekonomi, UKM. Serbuk sulfida ini kemudiannya ditimbang dan diletak ke dalam bekas plastik 3 mL sebelum dihantar untuk analisis. Teknik analisis menggunakan peralatan VG54R spektrometer jisim pengionan terma (TIMS) di *Pacific Centre for Isotopic and Geochemical Research*, University of British Columbia, Kanada.

Kesemua hasil analisis telah dinormalkan dengan menggunakan faktor pembahagian sebanyak 0.08%/amu berdasarkan kepada pelbagai piawai analisis NIST NBS 981 dan komposisi isotop seperti yang telah diguna pakai oleh Thirwall (2000). Nilai pengukuran piawai bagi NIST NBS 981 yang diguna pakai adalah seperti berikut: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.3$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.6$ dan $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37.5$ ($\pm 2\sigma$). Pemilihan teknik analisis TIMS dibuat kerana kadar pengeluaran ion yang stabil serta boleh mencapai komposisi isotop Pb yang jitu apabila dua atau tiga *spike* ditambah semasa analisis dilakukan (Galer 1998; Powell, Woodhead & Hergt 1998).

HASIL

Hasil kajian menunjukkan komposisi isotop Pb mineral stibnit di dalam telerang kuarza mempunyai nisbah $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ daripada 18.5953 hingga 18.6318, nisbah $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ antara 15.6564 hingga 15.6910 dan nisbah $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ sekitar 38.6378 hingga 38.7503 (Jadual 1).

Sementara itu, nisbah $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ dan $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ bagi mineral stibnit daripada batuan perumah pula adalah sebanyak 18.6215, 15.6242 dan 38.6132 (Jadual 1). Secara keseluruhannya, didapati nilai data isotop Pb yang dikandungi oleh mineral stibnit di dalam telerang adalah berjulat kecil dan mempunyai keseragaman dengan nilai isotop Pb yang dikandungi oleh mineral stibnit di dalam batuan perumah.

PERBINCANGAN

PUNCA DAN ASALAN PB DI BUFFALO REEF

Data isotop Pb bagi mineral stibnit di dalam telerang kuarza dan batuan perumah dari Buffalo Reef seperti ditunjukkan dalam Jadual 1 telah diplot dalam Rajah 2. Pemplotan data sepanjang lengkung pertumbuhan Pb kerak atas dan mantel oleh Doe dan Zartman (1979) serta lengkung pertumbuhan Pb orogeni/arka matang oleh Stacey dan Kramers (1975) mendapati nilai isotop Pb bagi mineral stibnit di dalam telerang kuarza dan batuan perumah di Buffalo Reef mempunyai julat kecil dengan pola hampir sekata dan terkumpul dalam julat sempadan usia yang sama iaitu 0-200 juta tahun (Resen-Jura Awal) (Rajah 2).

Selain itu, data isotop Pb ini juga dibandingkan dengan model plumbotektonik oleh Zartman dan Doe (1981) iaitu plot graf $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ melawan $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (gambarajah uranogenik) dan plot graf $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ melawan $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (gambarajah torogenik) (Rajah 3(A), 3(B) dan 4) yang mana menunjukkan kesemua data isotop Pb dari kawasan Buffalo Reef adalah sekata dengan membentuk satu garis lurus yang terletak dalam kawasan antara lengkung kerak atas dan lengkung orogeni/arka matang. Data isotop Pb mineral stibnit daripada batuan perumah yang jatuh di atas lengkung orogeni jelas menunjukkan sifatnya yang kurang radiogenik berbanding komposisi isotop Pb mineral stibnit di dalam telerang kuarza yang jatuh berhampiran dengan lengkung kerak atas yang kaya dengan kandungan uranium dan torium.

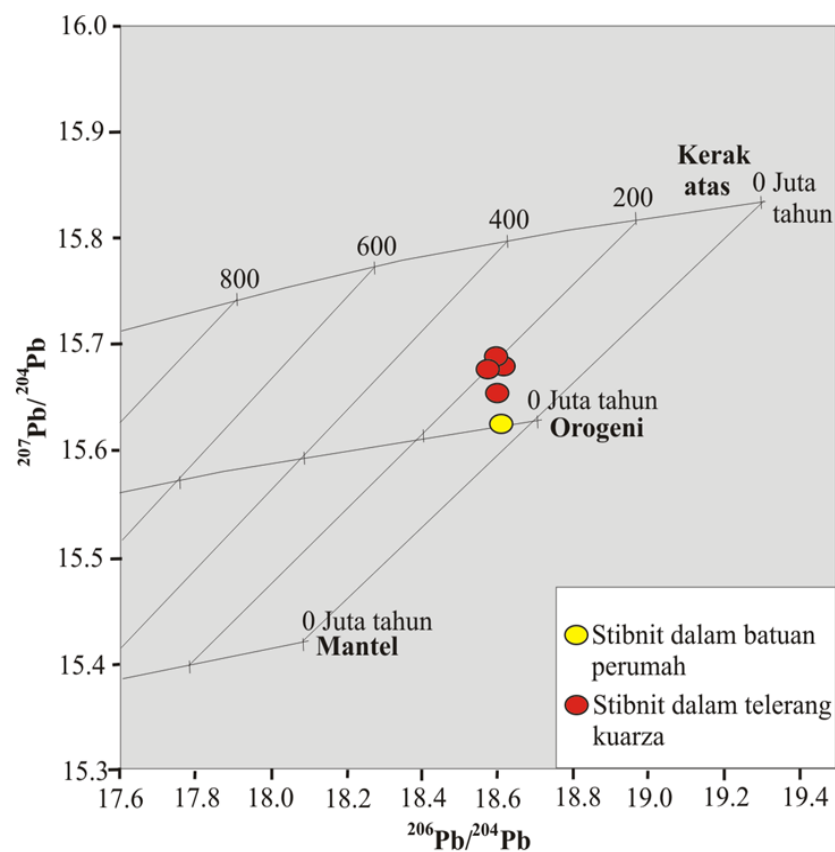
Selanjutnya, pemplotan data juga dilakukan dalam Rajah 5 yang merupakan graf pengelasan genetik isotop Pb berdasarkan nilai $\Delta\gamma$ dan $\Delta\beta$ yang diperoleh melalui pengiraan tertentu menggunakan persamaan seperti dicadangkan oleh Zhu (1998). Didapati nilai $\Delta\gamma$ dan $\Delta\beta$ bagi isotop Pb untuk mineral stibnit di dalam telerang kuarza dan batuan perumah di Buffalo Reef adalah berjulat kecil dan konsisten serta terkumpul dalam kawasan magmatism yang ditafsirkan telah berlakunya percampuran antara punca Pb dari kerak atas dengan Pb dari igneus/mantel di dalam larutan hidroterma di kawasan Buffalo Reef.

Hasil ini mencadangkan punca Pb yang sama bagi sumber larutan pembentuk bijih di dalam telerang kuarza dan batuan perumah bagi longgokan emas Buffalo Reef. Punca Pb berkemungkinan berasal daripada perleburan

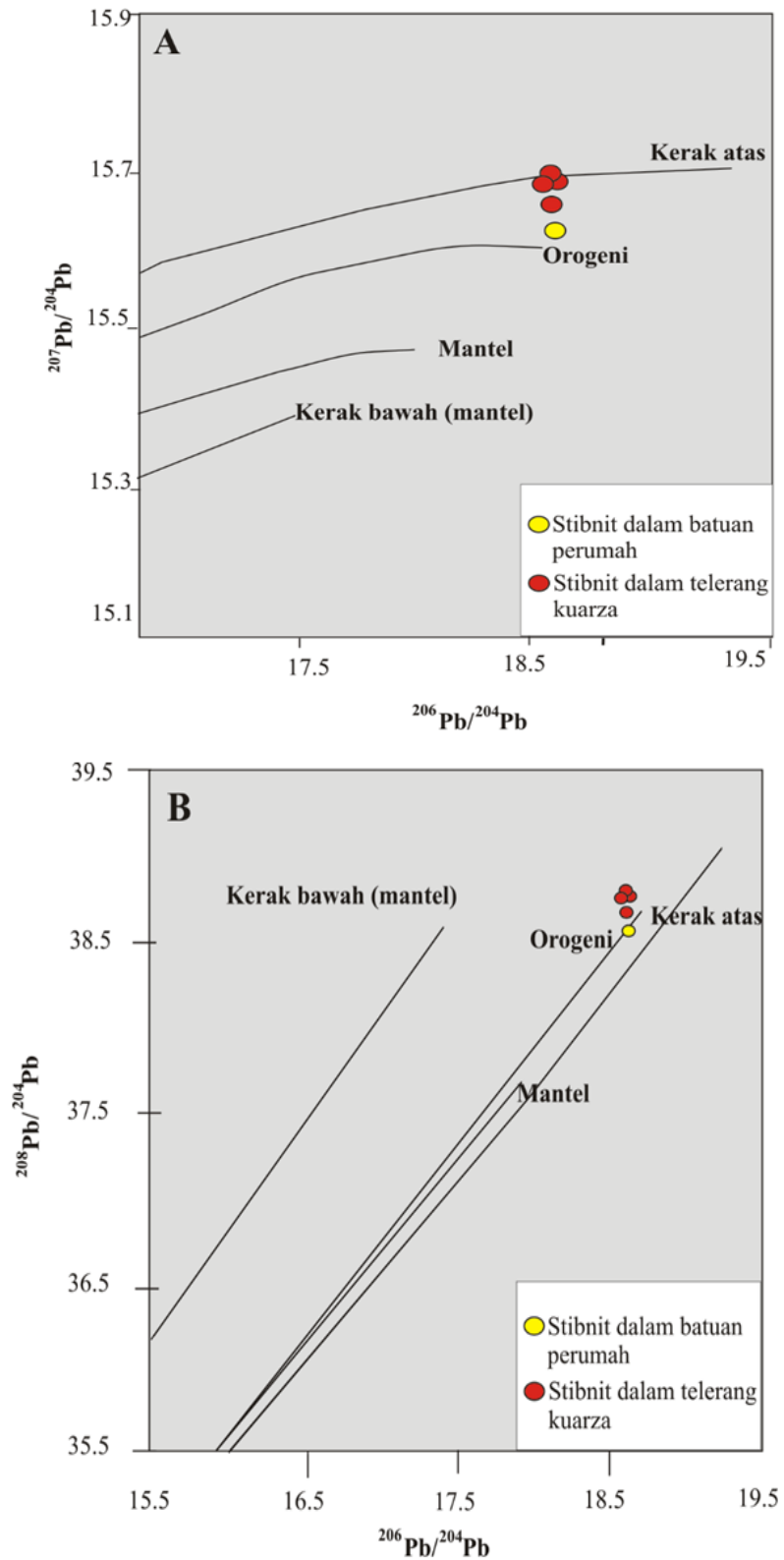
JADUAL 1. Data isotop radiogenik plumbum bagi mineral sulfida yang dianalisis dengan menggunakan teknik TIMS dari kawasan Buffalo Reef

Kawasan Buffalo Reef	Nama sampel	Mineral	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\Delta\beta^*$	$\Delta\gamma^*$
1. Telerang	B10	Stibnit	18.6068	15.6910	38.7274	23.5486	33.5575
2. Telerang	B10	Stibnit	18.5953	15.6797	38.6378	22.8115	21.1663
3. Telerang	B20	Stibnit	18.6068	15.6564	38.6544	21.2916	31.6093
4. Telerang	B20	Stibnit	18.6318	15.6825	38.7503	22.9941	34.1687
5. Batuan perumah	B30	Stibnit	18.6215	15.6242	38.6132	19.1911	30.5097

*melalui pengiraan menurut Zhu (1998)

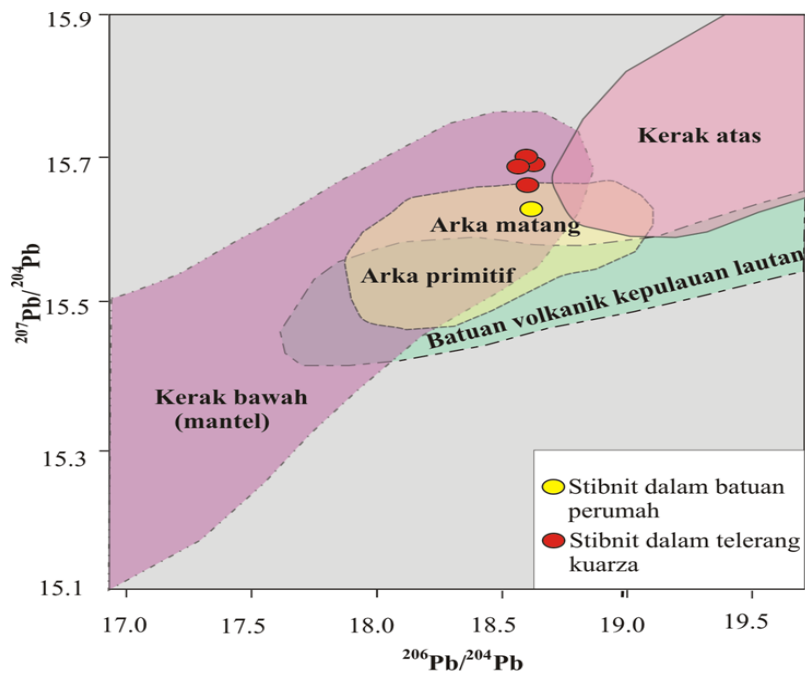


RAJAH 2. Gambarajah menunjukkan nisbah komposisi isotop Pb daripada stibnit di Buffalo Reef. Plot data sepanjang lengkung pertumbuhan Pb kerak atas dan mantel dari Doe dan Zartman (1979) dan orogeni/arka matang dari Stacey dan Kramers (1975)



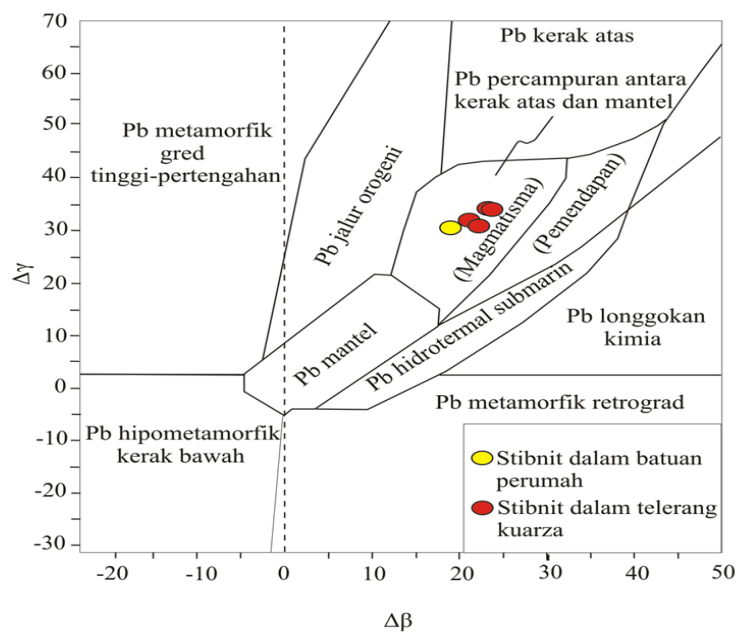
Sumber: Ubah suai daripada Zartman dan Doe (1981)

RAJAH 3. (A) Plot data isotop Pb dari kawasan Buffalo Reef dalam gambar rajah uranogenik $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ melawan $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ pembahagian tektonik plumbotektonik (B) Plot data isotop Pb dari kawasan Buffalo Reef dalam gambar rajah torogenik $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ melawan $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$



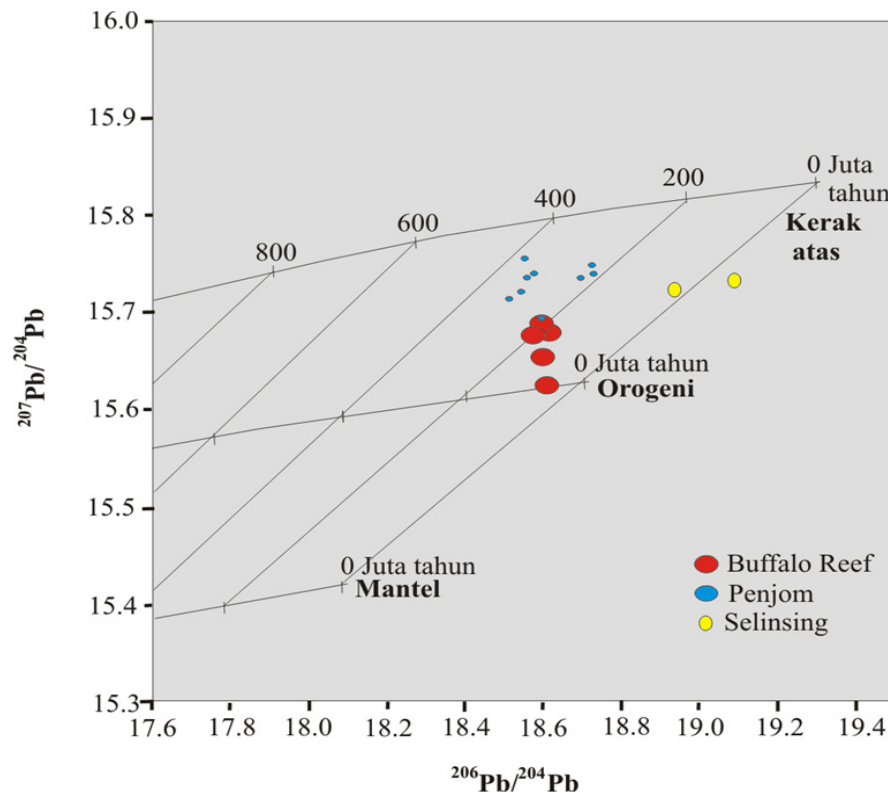
Sumber: Ubah suai daripada Zartman dan Doe (1981)

RAJAH 4. Data isotop $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ melawan $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ dari kawasan Buffalo Reef yang diplot ke dalam model gambar rajah uranogenik pembahagian tektonik plumbotektonik



Sumber: Ubah suai daripada Zhu (1998)

RAJAH 5. Graf pengelasan genetik Pb isotop dengan $\Delta\gamma$ melawan $\Delta\beta$ memberikan punca Pb melalui persamaan: $\Delta\gamma = (\gamma - \gamma_M) \times 1000 / \gamma_M$ dan $\Delta\beta = (\beta - \beta_M) \times 1000 / \beta_M$. (γ : sampel $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$; γ_M : mantel $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37.47$; β : sampel $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$; β_M : mantel $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.33$)



Penerangan: Penjom, Endut et al. (2015) dan Selinsing, Makoundi et al. (2014)

RAJAH 6. Gambarajah menunjukkan perbandingan data isotop Pb $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ melawan $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ dari Buffalo Reef dengan longgokan emas orogeni di Semenanjung Malaysia

kerak atas yang mengalami sedikit percampuran dengan punca Pb igneus/mantel. Merujuk kepada evolusi tektonik Semenanjung Malaysia, punca Pb ini berkemungkinan terhasil semasa proses subduksi-perlanggaran-percantuman antara dua kerak utama pembentuk Semenanjung Malaysia iaitu Blok Sibumasu dan Blok Malaya-Timur masa Perm-Trias yang disusuli oleh kejadian perejahan igneus dan metamorfisme (Metcalf 2013b).

PERBANDINGAN DENGAN BEBERAPA LONGGOKAN EMAS OROGENI DI ZON SUTURA BENTONG-RAUB

Perbandingan data isotop Pb longgokan emas di Buffalo Reef dengan data isotop Pb bagi dua longgokan emas yang terjadi berhampiran Zon Sutura Bentong-Raub, Semenanjung Malaysia iaitu Penjom dan Selinsing ditunjukkan dalam Rajah 6. Didapati longgokan emas Penjom jatuh dalam julat sempadan usia 200-400 juta tahun (Jura Awal-Devon Tengah) (Endut et al. 2015) yang mana ia tidak selaras dengan usia K-Ar serisit-muskovit (batuan tonalit) yang memberikan nilai 194-197 juta tahun bagi longgokan Penjom (Flindell 2003), dengan punca asalan

Pb berada di antara lengkung kerak atas dan orogeni. Sebaliknya bagi longgokan emas Selinsing dan Buffalo Reef pula, kedua-duanya jatuh dalam sempadan julat usia 0-200 juta tahun (Resen-Jura Awal) dan kedua-dua longgokan emas orogeni ini menunjukkan punca asalan Pb yang sama dengan longgokan emas Penjom iaitu berada di antara lengkung kerak atas dan orogeni.

Keputusan ini jelas menunjukkan bahawa punca Pb bagi ketiga-tiga longgokan emas ini adalah homogen dan mempunyai asalan yang sama iaitu percampuran di antara punca Pb kerak atas dan orogeni/arka matang (Rajah 6). Oleh itu, sama seperti pembentukan longgokan emas orogeni di seluruh dunia, kejadian longgokan emas orogeni Semenanjung Malaysia jelas menunjukkan pembentukannya juga terjadi di sekitaran tektonik menumpu yang membentuk jaluran orogeni (Bierlein, Groves & Cawood 2009; Goldfarb, Groves & Gardoll 2001; Goldfarb et al. 2005; Phillips & Powell 2009). Namun, perbezaan sempadan julat usia yang ditunjukkan pula berkemungkinan disebabkan oleh proses genesis secara tempatan yang telah berlaku dan berperanan mengawal kejadian longgokan emas di sini.

KESIMPULAN

Secara kesimpulannya didapati bahawa punca utama kepada Pb di dalam larutan hidroterma sumber pemineralan di Buffalo Reef adalah berasal daripada percampuran antara Pb dari kerak atas dengan Pb dari igneus/mantel yang terbentuk di kawasan sekitaran tektonik subduksi-perlanggaran yang membentuk jalur orogeni. Perbandingan data isotop Pb di kawasan Buffalo Reef dengan beberapa longgokan emas orogeni di Semenanjung Malaysia menunjukkan pola nilai isotop Pb dan sekitaran tektonik yang hampir sama dan seragam dan ia jatuh dalam sempadan julat usia 0-200 juta tahun. Keputusan ini adalah selaras dengan pembentukan longgokan emas orogeni Buffalo Reef dan lain-lain longgokan emas jenis sama yang tertabur secara meluas berhampiran dengan jalur orogeni utama iaitu Zon Sutura Bentong-Raub di Semenanjung Malaysia.

PENGHARGAAN

Hasil penyelidikan ini merupakan sebahagian daripada hasil penyelidikan bagi Geran Penyelidikan Fundamental dengan kod FRGS/1/2022/WAB07/UKM/02/1 dan Geran Penyelidikan Universiti dengan kod GUP-2016-069. Penulis mengucapkan terima kasih kepada En. Zaidi Harun dan kakitangan di Monument Mining Limited. Penghargaan juga diberikan kepada Universiti Kebangsaan Malaysia terutamanya kakitangan Program Geologi dan Jabatan Sains Bumi dan Alam Sekitar.

RUJUKAN

- Ariffin, K.S. & Hewson, N.J. 2007. Gold-related sulfide mineralization and ore genesis of the Penjom gold deposit, Pahang, Malaysia. *Resource Geology* 57(2): 149-169.
- Ariffin, K.S. 2012. Mesothermal Lode Gold Deposit Central Belt Peninsular Malaysia. Dlm. *Earth Sciences*, disunting oleh Imran Ahmad Dar. IntechOpen.
- Basori, M.B.I., Khin Zaw, Meffre, S. & Large, R.R. 2016. Geochemistry, geochronology and tectonic setting of early Permian (~290 Ma) volcanic-hosted massive sulphide deposits of the Tasik Chini district, Peninsular Malaysia. *International Geology Review* 58: 929-948.
- Bierlein, F.P., Groves, D.I. & Cawood, P.A. 2009. Metallogeny of accretionary orogens – the connection between lithospheric processes and metal endowment. *Ore Geology Reviews* 36: 282-292.
- Biswajit, M., Kamal, L.P., Pranjit, H. & Sakthi, S.C. 2018. Nature and source of the ore-forming fluids associated with orogenic gold deposits in the Dharwar Craton. *Geoscience Frontiers* 9(3): 715-726.
- Doe, B.R. & Zartman, R.E. 1979. Plumbotectonics, the Phanerozoic. Dlm. *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, disunting oleh Barnes, H. New York-Chichester-Brisbane-Tokyo: Wiley-Interscience Publications.
- Endut, Z., Ng, T.H., Aziz, J.H.A. & Teh, G.H. 2015. Structural analysis and vein episode of the Penjom Gold Deposit, Malaysia: Implications for gold mineralisation and tectonic history in the Central Belt of Malaysia. *Ore Geology Reviews* 69: 157-173.
- Flindell, P. 2003. Avocet Mining – Exploration and Development Across Central and Southeast Asia, Australia Institute of Geoscientists (AIG), Mineral Exploration Discussion Group (SMEDG), 10 Oct, Sydney. hlm. 8.
- Frimmel, H.E. 2008. Earth's continental crustal gold endowment. *Earth and Planetary Science Letters* 267: 45-55.
- Galer, S.J.G. 1998. Practical application of lead triple spiking for correction of instrumental mass discrimination. *Chemical Geology* 157: 255-274.
- Goldfarb, R.J., Groves, D.I. & Gardoll, S. 2001. Orogenic gold and geologic time: A global synthesis. *Ore Geology Reviews* 18(1-2): 1-75.
- Goldfarb, R.J., Baker, T., Dube, B., Groves, D.I., Hart, C.J. & Gosselin, P. 2005. Distribution, character and genesis of gold deposits in metamorphic terranes. Dlm. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, disunting oleh Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J. & Richards, J.P. hlm. 407-450.
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S.G. & Robert, F. 1998. Orogenic gold deposits – A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews* 13: 7-27.
- Gunn, A.G. 1994. Gold Sub Programme Final Report: Summary, conclusions and recommendations. *Geological Survey of Malaysia and British Geological Survey*.
- Hutchison, C.S. 1975. Ophiolite in Southeast Asia. *Geological Society of America Bulletin* 86: 797-806.
- Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia. 2014. *Peta Geologi Semenanjung Malaysia Edisi ke-9*, skala 1:750 000.
- Makoundi, C., Zaw, K., Large, R.R., Meffe, S., Lai, C.K. & Hoe, T.G. 2014. Geology, geochemistry and metallogenesis of the Selinsing gold deposit, central Malaysia. *Gondwana Research* 26(1): 241-261.
- Metcalfé, I. 2013a. Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and palaeogeographic evolution of eastern Tethys. *Journal of Asian Earth Sciences* 66: 1-33.
- Metcalfé, I. 2013b. Tectonic evolution of the Malay Peninsula. *Journal of Asian Earth Sciences* 76: 195-213.

- Metcalf, I. 2000. The Bentong-Raub suture zone. *Journal of Asian Earth Sciences* 18: 691-712.
- Mohamed, K.R., JoeHarry, M.N.A., Leman, M.S. & Ali, C.A. 2016. The Gua Musang Group: A newly proposed stratigraphic unit for the Permo-Triassic sequence of Northern Central Belt, Peninsular Malaysia. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia* 62: 131-142.
- Mohd Zin, M. 2023. Genesis Longgokan Emas Buffalo Reef, Pahang, Malaysia. Tesis Sarjana, Universiti Kebangsaan Malaysia. hlm. 130 (tidak diterbitkan).
- Ng, S.W.P., Whitehouse, M.J., Searle, M.P., Robb, L.J., Ghani, A.A., Chung, S.L., Oliver, G.J.H., Gardiner, N.J. & Roselee, M.H. 2015. Petrogenesis of Malaysia granitoids in the Southeast Asian tin belt: Part 2. U-Pb zircon geochronology and tectonic model. *Geological Society of American Bulletin* 127(9-10): 1238-1258.
- Phillips, G.N. & Powell, R. 2009. Formation of gold deposits: Review and evaluation of the continuum model. *Earth-Science Reviews* 94: 1-21.
- Poulsen, K.H., Robert, F. & Card, K.D. 1992. Transpressive tectonics and the Archean gold deposits of Superior Province, Canadian Shield. Dlm. *Basement Tectonics 8. Proceedings of the International Conferences on Basement Tectonics*, vol 2., disunting oleh Bartholomew, M.J., Hyndman, D.W., Mogk, D.W. & Mason, R. Dordrecht: Springer.
- Powell, R., Woodhead, J. & Hergt, J. 1998. Uncertainties on lead isotope analyses: Deconvolution in the double-spike method. *Chemical Geology* 148: 95-104.
- Stacy, J.S. & Kramers, J.D. 1975. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two stage model. *Earth and Planetary Science Letters* 26: 207-221.
- Thirwall, M.F. 2000. Inter-laboratory and other errors in Pb isotopes analyses investigated using a ^{207}Pb - ^{204}Pb double spike. *Chemical Geology* 163: 299-322.
- Tjia, H.D. 1989. The Bentong Suture. *Proceedings of the Regional Conference on Mineral and Hydrocarbon Resources of SE Asia*. hlm. 73-85.
- Wan Fuad Wan Hassan & Heru Sigit Purwanto. 2002. Type deposits of primary gold mineralisation in the Central Belt of Peninsular Malaysia. *Geological Society of Malaysia Annual Geological Conference*. hlm. 111-116.
- Yin, E.H. 1965. Provisional Draft Report on the Geology and Mineral Resources of the Gua Musang Area, Sheet 45, South Kelantan. *Geological Survey of Malaysia*. hlm. 49 (unpublished).
- Yusoff, A.F., Abdul Aziz, J.H. & Roselee, M.H. 2022. Mineralogy and geochemistry of gold mineralization at southern part of Ulu Sokor gold deposit, Kelantan, Malaysia. *Sains Malaysiana* 51(12): 3865-3877.
- Zartman, R.E. & Doe, B.R. 1981. Plumbotectonics-The model. *Tectonophysics* 75: 135-162.
- Zhu, B. 1998. The theory and application of the isotopic systematic in geoscience concurrent discussion of the continental crust and mantle evolvement in China. Beijing: Science Publishing House. hlm. 1-330 (in Chinese).

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: farlinzin@gmail.com