

## **TAPAK PALEOLITIK BUKIT BUNUH, LENGGONG, PERAK: ISU DAN MASALAH DALAM PENTARIKHAN**

*(BUKIT BUNUH, LENGGONG, PERAK PALEOLITHIC SITE: ISSUES AND  
PROBLEMS IN DATING)*

**Nurul Syuhada Saad, Mokhtar Saidin, Nor Khairunnisa Talib  
& Shyeh Sahibul Karamah Masnan**

### **Abstrak**

---

Bukit Bunuh telah ditemui melalui projek khas pemetaan tapak-tapak arkeologi baru dan paleoalam di sekitar kawasan Lenggong pada tahun 2001. Bukit Bunuh merupakan tapak Paleolitik terbuka yang luasnya mencapai 3 km<sup>2</sup>. Pentarikhkan di Bukit Bunuh melibatkan dua kajian utama iaitu arkeologi dan geologi. Pentarikhkan ini dilakukan dengan menggunakan kaedah kronometrik seperti OSL, FT, ESR, K-Ar, U-Pb dan <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar. Pentarikhkan OSL dilakukan di dalam kajian arkeologi di Bukit Bunuh yang mana telah memberikan usia 490,000-500,000; 270,000-320,000; 40,000 dan 30,000 tahun dahulu. Teknik pentarikhkan ini dilakukan pada lapisan kebudayaan in-situ di dalam petak ekskavasi yang telah berlangsung pada tahun 2001, 2003, 2008 dan 2010. Namun menurut kajian julat usia untuk teknik pentarikhkan OSL adalah sekitar 450,000 tahun dahulu. Pentarikhkan untuk kajian geologi pula telah dilakukan terhadap batuan impaktit di Bukit Bunuh untuk menentukan usia impak meteorit yang telah berlaku di kawasan tersebut. Pentarikhkan melalui kaedah FT terhadap alat batu dalam batuan suevit memberikan tarikh sekitar 1.83 juta tahun dahulu. Namun begitu, beberapa kaedah lain yang digunakan seperti ESR, K-Ar, U-Pb dan <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar telah memberikan usia yang berbeza dan jauh lebih tua iaitu sekitar ~305 hingga 1.34 juta tahun dahulu yang mana menunjukkan usia batuan dasar di kawasan kajian seperti usia batuan granit Trias. Namun jumpaan alat batu dalam suevit telah mencadangkan bahawa usia impak meteorit yang berlaku di Bukit Bunuh tidak berkemungkinan lebih tua daripada zaman Kuaterner. Maka makalah ini, akan mengupas isu dan masalah yang berlaku dalam kajian pentarikhkan terutama bagi julat usia berkesan teknik pentarikhkan yang digunakan di samping kekangan yang dihadapi oleh teknik pentarikhkan tersebut. Pentarikhkan yang berjaya dilakukan akan mengisi rompong usia dan memberikan sumbangan dalam kronologi prasejarah di Kompleks Paleolitik Bukit Bunuh.

---

**Kata kunci:** Bukit Bunuh, Paleolitik, pentarikhkan, suevit, meteorit

### ***Abstract***

---

*Bukit Bunuh was discovered through a special project for mapping the new archaeological and paleoenvironmental sites around the Lenggong area in 2001. Bukit Bunuh is an open Paleolithic site with 3 km<sup>2</sup>. Dating at Bukit Bunuh involves two main studies which are archeology and geology. This dating is done using chronometric methods such as OSL, FT,*

ESR, K-Ar, U-Pb and  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ . OSL dating was done in an archaeological study at Bukit Bunuh which gave an age of 490,000-500,000; 270,000-320,000; 40,000 dan 30,000 years ago. This dating technique was performed on the in-situ cultural layer in the excavation trench that took place in 2001, 2003, 2008 and 2010. However, according to studies the age range for the OSL dating technique is around 450,000 years ago. Dating for geological studies has been done on the impact rocks in Bukit Bunuh to determine the age of the meteorite impact that has occurred in the area. Dating via the FT method of stone tools in suevite rocks gives a date of about 1.83 million years ago. However, some other methods used such as ESR, K-Ar, U-Pb and  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  have given a different age and much older which is around ~ 305 to 1.34 million years ago which shows the age of bedrock in the study area such as Triassic Granite rock. Yet the findings of stone tools in the suevite have suggested that the age of the meteorite impact that occurred at Bukit Bunuh is unlikely to be older than the Quaternary period. Therefore, this paper will examine the issues and problems that occur in the study of dating, especially for the effective age range of the dating technique used in addition to the constraints faced by the dating technique. The successful dating will fill the age gap and contribute to the prehistoric chronology of the Bukit Bunuh Paleolithic Complex.

---

**Keywords:** *Bukit Bunuh, Paleolithic, dating, suevite, meteorite*

## PENGENALAN

Bukit Bunuh terletak dalam daerah Lenggong, Perak merupakan salah satu tapak arkeogeologi yang menyumbang bukti baru kepada data arkeologi dan geologi di Malaysia. Tapak ini telah mendedahkan bukti tapak impak meteorit yang berusia Kuaterner dan tapak Paleolitik yang tertua di Asia Tenggara (Mokhtar 2010; Nor Khairunnisa et al. 2016). Oleh kerana keunikan dan keistimewaan ini, Bukit Bunuh telah disenaraikan sebagai salah satu tapak warisan dunia UNESCO Lenggong pada tanggal 30 Jun 2012 (Mokhtar 2012a). Bukit Bunuh telah ditemui oleh Professor Dato' Dr. Mokhtar Saidin pada tahun 2001 melalui projek khas pemetaan tapak-tapak arkeologi baru dan pemetaan paleoalam di sekitar kawasan Lenggong (Mokhtar 2006; Mokhtar & Jeffrey 2007). Berdasarkan kajian paleoalam, telah didapati bahawa kelikir di Bukit Bunuh bercampur dengan pebel dan kobel batuan suevit iaitu sejenis batuan yang terbentuk akibat daripada hentaman meteorit (Mokhtar & Jeffrey 2007; Mokhtar 2012a). Menurut Mokhtar (2010) Bukit Bunuh merupakan sebahagian daripada kawah impak meteorit yang berusia 1.83 juta tahun dahulu. Usia ini diperoleh dengan melakukan pentarikhan terhadap sampel suevit yang mana terdapat jumpaan kapak genggam di dalam batuan tersebut. Analisis pentarikhan ini telah dilakukan pada tahun 2008 dengan menggunakan teknik Jejak Belahan (*Fission Track*, FT) di Makmal Geokronologi Jepun (Japan Geochronology Lab) (Mokhtar 2010).

## Kajian Pentarikhan di Bukit Bunuh

Kajian arkeologi di Bukit Bunuh telah melibatkan survei, pemetaan dan ekskavasi. Ekskavasi ini telah dilakukan secara berperingkat iaitu bermula pada tahun 2001 dan 2003 dan diteruskan pada tahun 2008 sehingga 2010 (Rajah 1). Terdapat dua cara jumpaan artifak di Bukit Bunuh iaitu secara jumpaan permukaan yang terlibat survei yang bermula pada tahun 2001 dan secara *in-situ* yang melibatkan ekskavasi yang juga bermula pada tahun yang sama. Survei awal untuk melakukan pemetaan paleoalam di Bukit Bunuh telah menemukan ribuan artifak di permukaan kawasan kajian yang mana artifak-artifak ini berasosiasi dengan bongkah-bongkah yang telah dianggap sebagai batuan vulkanik pada mulanya. Hal ini telah memaksa ahli arkeologi supaya melakukan ekskavasi untuk mendapatkan maklumat atau data tapak secara *in-situ* (Mokhtar 2004).

Menurut Mokhtar (2004) ekskavasi pada tahun 2001 dan 2003 telah dijalankan di bahagian selatan Bukit Bunuh. Ekskavasi pada tahun 2001 telah dilakukan untuk menentukan terdapatnya lapisan kebudayaan *in-situ* di Bukit Bunuh. Terdapat tujuh petak bersaiz satu meter persegi telah di ekskavasi yang mana ekskavasi ini telah dibantu oleh pelajar minor arkeologi USM, sesi 2001

(Mokhtar 2004; Nur Asikin 2013). Ekskavasi pada tahun 2003 pula melibatkan 17 petak yang setiap satunya bersaiz satu meter persegi. Hasil ekskavasi telah mendedahkan bahawa Bukit Bunuh merupakan tapak terbuka yang *in-situ*. Tapak ini berfungsi sebagai bengkel pembuatan alat batu berdasarkan asosiasi jenis artifak yang telah ditemui seperti batu pelandas, batu pemukul, batu teras, alat repehan, alat pebel dan sisa kerja. Pentarikhan mutlak telah dilakukan pada salah satu lapisan kebudayaan petak D2 pada tapak ini dan telah memberi usia  $39,000 \pm 2,600$  (~40,000) tahun dahulu dengan menggunakan kaedah Pendarkilau Ransangan Optik (*Optically Stimulated Luminescence*, OSL) (Mokhtar 2004; 2006; Nur Asikin 2013; Nor Khairunnisa 2016).



Rajah 1. Ekskavasi yang telah dijalankan di Bukit Bunuh (selepas Mokhtar 2004; Nor Khairunnisa 2013; Nur Asikin 2013 dan Nurul Syuhada 2017).

Ekskavasi yang berikutnya pula telah dijalankan pada tahun 2008 sehingga 2010 di bahagian barat Bukit Bunuh. Ekskavasi ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara teknologi pembuatan alat batu dengan bahan mentah yang telah digunakan. Hasil ekskavasi ini juga telah mendedahkan bahawa tapak Bukit Bunuh berfungsi sebagai bengkel pembuatan alat batu berdasarkan asosiasi alat batu yang telah ditemui seperti batu pelandas, batu teras, batu pemukul, alat repehan, alat ketulan, alat pebel dan puangan. Teknik pentarikhan OSL telah digunakan untuk menentukan usia lapisan kebudayaan pada tapak ekskavasi ini. Pentarikhan ini dilakukan pada sampel tanah daripada petak ekskavasi yang mana telah dianalisis di Korea Basic Science Lab, Seoul, Korea Selatan dan memberi usia 270,000-320,000 dan 490,000-550,000 tahun dahulu (Nor Khairunnisa 2013; 2016).

Terdapat jumpaan sebuah lagi tapak pada teres pengendapan di bahagian barat daya Bukit Bunuh. Jumpaan tapak ini telah mendedahkan bukti penemuan artifak yang *in-situ*, tetapi masih belum di ekskavasi. Pentarikhan dengan kaedah OSL telah dilakukan pada lapisan kebudayaan teres pengendapan ini dan memberi usia 30,000 tahun dahulu (Nor Khairunnisa 2013). Ini menunjukkan bahawa tapak tersebut merupakan tapak Paleolitik Akhir yang kedua selepas tapak 40,000 tahun dahulu di Bukit Bunuh yang mana kehidupan masyarakat Paleolitiknya adalah pada persekitaran terbuka iaitu di sekitar sungai dan tasik (Nur Asikin 2013). Ekskavasi yang telah dijalankan di Bukit Bunuh bagi tahun 2001 dan 2003 serta pada tahun 2008 hingga 2010 menunjukkan jumpaan alat batu dan bahan mentah untuk industri pembuatan alat batu adalah daripada jenis yang sama. Artifak batu yang dijumpai terdiri daripada batu pelandas, batu teras, batu pemukul, alat repehan, alat ketulan, alat pebel dan puingan. Bahan mentah yang digunakan untuk pembuatan alat batu ini pula terdiri daripada metakuarza, metakuarzit, metasedimen kerijangan dan suevit. Hal ini menunjukkan kedua-dua tapak ini telah digunakan oleh manusia awal selepas berlakunya hentaman meteorit pada 1.83 juta tahun dahulu. Namun di tapak Bukit Bunuh 2001 dan 2003 bahan mentah tersebut boleh wujud sebagai pebel sungai kerana tapak ini telah ditafsirkan sebagai kawasan sungai kuno pada suatu masa dahulu (Mokhtar 2004 & 2006; Nor Khairunnisa 2013 & 2016; Nur Asikin 2013).

Kajian geologi di Lembah Lenggong bermula dengan kajian stratigrafi oleh Jones (1970) di kawasan Gerik dan Hulu Perak. Jones (1970) secara umumnya menyatakan kawasan Hulu Perak khususnya kawasan Lenggong terdiri daripada Formasi Kroh, Granit Bintang, Granit Titiwangsa dan enapan Kuaterner. Unit stratigrafi ini terdiri daripada batuan metamorf, igneus dan aluvium (Jones 1970). Kajian geologi di Bukit Bunuh telah dilakukan berdasarkan kriteria untuk menentukan sifat-sifat geologi bagi sesuatu struktur yang terbentuk akibat hentaman meteorit atau komet oleh Pusat Planetari dan Sains Angkasa (*Planetary and Space Science Centre*, PASSC), Universiti New Brunswick, Kanada. Kriteria-kriteria ini boleh dibahagikan kepada tiga kategori utama iaitu secara megaskopik (pandangan dari udara (*bird's eye*) / skala satelit), makroskopik (boleh dilihat dengan mata kasar) dan mikroskopik (perlu dilihat di bawah mikroskop). Terdapat enam kriteria utama yang telah disenaraikan oleh PASSC iaitu: (1) kehadiran kon pecah (*shatter cones*), (2) kehadiran PDF di dalam mineral pada litologi yang *in-situ*, (3) kehadiran mineral polimorf bertekanan tinggi, (4) kajian morfometri (kehadiran struktur kawah impak), (5) kehadiran batuan leburan impak dan suevit dan (6) kehadiran pseudotakilit dan breksia impak (Planetary and Space Science Centre 2016). Di samping itu juga telah dilakukan beberapa kajian pentarikhan untuk menentukan usia impak meteorit tersebut.

## TEKNIK PENTARIKHAN

Penentuan usia bagi sesuatu peristiwa geologi adalah sangat penting dalam bidang sains kaji Bumi dan arkeologi. Penentuan usia ini boleh dilakukan dengan beberapa teknik iaitu penentuan usia relatif oleh stratigrafi dan tipologi, penentuan usia mutlak oleh data sejarah dan penentuan usia oleh kaedah saintifik melalui kaedah numerikal dan kaedah relatif. Terdapat beberapa teknik pentarikhan yang digunakan seperti radiokarbon, K – Ar, siri Uranium, FT, Pendarkilau (*Luminescence*), ESR, Asid Amino, Hidrasi Obsidian, Arkeomagnetisme, Paleomagnetisme, Dendrokronologi, Fluorid dan tefrokronologi (Jadual 1).

Jadual 1. Beberapa kaedah pentarikhan yang digunakan di dalam bidang geologi dan arkeologi (selepas Nagatomo 2008 dan Nurul Syuhada 2017).

Kaedah	Sampel	Bahan arkeologi	Julat (tahun)
<b>Radiokarbon</b>	Karbon	Bahan organik	400-500×10 <sup>3</sup>
<b>K-Ar</b>	Batuan vulkanik	Lava	> 10×10 <sup>3</sup>
<b>Siri Uranium</b>	Io( <sup>230</sup> Th)	Stalagmit, tulang, gigi	10×10 <sup>3</sup> -300×10 <sup>3</sup>
<b>FT</b>	Mineral (zirkon, kaca)	Tefra, lava	> 10×10 <sup>3</sup>
<b>Luminescence</b>	Mineral (kuarza, feldspar)	Tembikar, tefra, batu yang dibakar, tanah ( <i>loess</i> ), aluvium	100-1×10 <sup>6</sup>
<b>ESR</b>	Mineral (kuarza, kalsit)	Tembikar, tefra, lava, batu yang dibakar, stalagmit,	1×10 <sup>3</sup> -10×10 <sup>6</sup>

		tulang, gigi	
<b>Asid Amino</b>	Asid amino	Cangkerang, tulang, terumbu karang	$5 \times 10^3$ - $500 \times 10^3$
<b>Hidrasi Obsidian</b>	Obsidian	Obsidian	$10 \times 10^3$ - $500 \times 10^3$
<b>Arkeomagnetisme</b>	Mineral magnetik	Relau ( <i>kiln</i> )	$< 3 \times 10^3$
<b>Paleomagnetisme</b>	Mineral magnetik	Tefra, aluvium	$10 \times 10^3$ - $5 \times 10^6$
<b>Dendrokronologi</b>	Kayu	Kayu	$< 10 \times 10^3$
<b>Fluorit</b>	Fluorit	Tulang	$1 \times 10^3$ - $1 \times 10^6$
<b>Tefrokronologi</b>	Mineral, kaca vulkanik	Tefra	$< 200 \times 10^6$
<b>U-Pb</b>	Mineral (zirkon, monazit)	Batu	$1 \times 10^6$ - $4.5 \times 10^9$

Selain daripada teknik pentarikan OSL terdapat lima teknik lain yang telah digunakan untuk pentarikan sampel-sampel batuan yang terdapat di Bukit Bunuh iaitu teknik FT, *Elektron Spin Resonance* (ESR), Kalium-Argon (K-Ar), Uranium-Plumbum (U-Pb) dan Argon-Argon ( $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ ) di mana melibatkan makmal *Hiruzen Institute for Geology and Chronology, Okayama, Japan* (ESR dan K-Ar), *Geochronology Japan Inc., Japan* (FT), *Oregon State University Lab, USA* ( $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ ) dan *Geochronology and Isotopic Geochemistry Lab, Canada* ( $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  dan U-Pb) (Mokhtar 2012b) (Jadual 2).

Jadual 2. Usia pentarikan bagi 19 sampel suevit dan satu sampel kuarza daripada Bukit Bunuh (selepas Mokhtar 2012b).

Sampel	Teknik	Makmal	Mineral	Pentarikan (juta tahun)
<b>BBh'11-Q1</b>	ESR	Hiruzen Institute for Geology and Chronology, Okayama, Japan	Kuarza	$1.34 \pm 0.06$
<b>BBh 1</b>	Fission Track	Geochronology Japan Inc., Japan	Zirkon	$1.74 \pm 1.28$ (D0204006)
<b>Bbh 2</b>	Fission Track	Geochronology Japan Inc., Japan	Zirkon	$1.83 \pm 0.61$ (D0806004)
<b>Bbh 2010</b>	K-Ar	Hiruzen Institute for Geology and Chronology, Okayama, Japan	Matrik	$13.1 \pm 2.8$
<b>MS-2</b>	$^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$	Oregon State University Lab, USA	Matrik	$28.8 \pm 1.9$
<b>MS-1</b>	$^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$	Oregon State University Lab, USA	Matrik	$33.4 \pm 2.0$
<b>S2 BBh</b>	K-Ar	Hiruzen Institute for Geology and Chronology, Okayama, Japan	Matrik	$41.2 \pm 2.6$
<b>SU09-2</b>	$^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$	Oregon State University Lab, USA	Matrik	$53.9 \pm 2.6$
<b>SM2</b>	K-Ar	Hiruzen Institute for Geology and Chronology, Okayama, Japan	Matrik	$54.7 \pm 3.3$
<b>SM-1</b>	K-Ar	Hiruzen Institute for Geology and Chronology, Okayama, Japan	Matrik	$55.8 \pm 1.4$
<b>SU09-1</b>	$^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$	Oregon State University Lab, USA	Matrik	$62.5 \pm 6.0$
<b>S1 BBh</b>	K-Ar	Hiruzen Institute for Geology and Chronology, Okayama, Japan	Matrik	$67.8 \pm 3.5$
<b>BBh'11-Q1</b>	K-Ar	Hiruzen Institute for Geology and Chronology, Okayama, Japan	Biotit	$73.3 \pm 1.6$
<b>SM3</b>	K-Ar	Hiruzen Institute for Geology and Chronology, Okayama, Japan	Matrik	$77.0 \pm 4.1$
<b>BBH 1</b>	Fission	Geochronology Japan Inc., Japan	Zirkon	$90.1 \pm 5.0$

	Track			(D0806003)
<b>BBH 10-4</b>	U-Pb	Geochronology and Isotopic Geochemistry Lab, Canada	Zirkon	204.9±2.1 (YK-116)
<b>BBH 10-5</b>	U-Pb	Geochronology and Isotopic Geochemistry Lab, Canada	Zirkon	212.6±3.7 (YK-117)
<b>BBH 10-1</b>	U-Pb	Geochronology and Isotopic Geochemistry Lab, Canada	Zirkon	213.6±3.0 (YK-113)
<b>BBH 10-7</b>	U-Pb	Geochronology and Isotopic Geochemistry Lab, Canada	Zirkon	220.9±3.5 (YK-119)
<b>BBH 10-4</b>	<sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar	Geochronology and Isotopic Geochemistry Lab, Canada	Serisit	305.3±3.0 (YK-116)

OSL adalah teknik pentarikhan yang mengeksploitasi sifat dosimetri (nilai penyerapan sinar radiasi) butiran mineral yang terdapat secara semula jadi dalam sedimen atau bahan buatan manusia. Tenaga ion radiasi yang dikeluarkan oleh radioisotop semula jadi diserap dan disimpan dalam kekisi kristal mineral tersebut seperti mineral kuarza atau feldspar. Ia mungkin dilepaskan dalam bentuk pendarkilau (*luminescence*) pada pemanasan atau pengujian dengan cahaya nampak atau inframerah. Jumlah pendarkilau bergantung kepada dos sinaran radiasi yang diserap dan dengan itu membolehkan nilai dos dikira. Dalam keadaan tertentu, dos yang diserap per tahun adalah stabil berkadar dengan masa dan dapat dianggar berdasarkan pengukuran spektrometri radiasi yang dipancarkan daripada objek yang dilakukan pentarikhan dan daripada tanah di sekitarnya. Oleh itu, pengiraan masa berkemungkinan boleh dilakukan terhadap dos terkumpul yang telah diserap. Masa yang dikira dengan cara ini adalah sama dengan usia objek yang dilakukan pentarikhan jika butiran mineral tersebut diset semula pada masa asalan objek. Faktor yang paling penting mengatur semula kekisi kristal butiran mineral di samping dengan menetapkan kepada nilai sifar pendarkilau yang diukur dan dos yang diserap, adalah suhu tinggi lebih daripada 450-500°C dan pendedahan kepada cahaya matahari. Ini secara praktikal bermaksud bahawa kaedah OSL ialah penentuan usia pemanasan terakhir atau pendedahan cahaya terakhir bagi butiran mineral, mengecilkan julat objek yang boleh dilakukan pentarikhan seperti seramik (atau bahan dengan kesan pembakaran yang serupa) atau sedimen yang mengandungi butiran yang terdedah kepada cahaya semasa atau sebelum pemendapan (Aitken 1997). Pentarikhan OSL di Bukit Bunuh melibatkan lapisan kebudayaan di tapak ekskavasi dan teres pengendapan yang *in situ*.

Jejak belahan (FT) adalah zon-zon yang mengalami kerosakan yang teruk akibat daripada laluan zarah yang mengion pada kadar yang tinggi pada pepejal penebat. Kaedah pentarikhan FT adalah berdasarkan kepada pembelahan spontan isotop <sup>238</sup>U, di mana isotop uranium ini berlaku secara semula jadi. Prinsip pembelahan spontan isotop <sup>238</sup>U ini adalah sama dengan prinsip pereputan radioaktif. Pada prinsipnya juga kaedah ini adalah mirip dengan kaedah pentarikhan isotopik yang lain iaitu berdasarkan kepada pereputan radioaktif semula jadi isotop induk kepada isotop anak yang lebih stabil. Walau bagaimanapun, dalam kaedah FT kadar pembelahan spontan oleh pereputan isotop <sup>238</sup>U yang akan diukur sebagai produk dengan menggantikan isotop anak. Ringkasannya, diberikan pembelahan spontan isotop <sup>238</sup>U berlaku pada kadar yang diketahui, usia mineral atau kaca akan dapat dihitung daripada jumlah uranium dan jumlah jejak pembelahan spontan yang terkandung dalam sampel tersebut. Zirkon, sfen, apatit dan kaca adalah bahan yang sesuai digunakan sebagai sampel pentarikhan untuk kaedah FT bagi kajian arkeologi serta kaedah FT ini juga sesuai untuk pentarikhan deposit Kuaterner (Westgate et al. 1997). Kajian pentarikhan FT telah dilakukan ke atas batuan suevit Bukit Bunuh yang mengandungi kapak genggam. Pentarikhan ini memberikan keputusan 1.74±1.28 juta tahun dahulu dan 1.83±0.61 juta tahun dahulu. Mokhtar (2010) mencadangkan oleh kerana pentarikhan pada 1.74±1.28 mempunyai ralat yang besar maka pentarikhan yang lebih sesuai ialah 1.83±0.61 juta tahun dahulu. Kajian pentarikhan ini merupakan yang pertama di Malaysia dan mendedahkan bukti impak meteorit di Malaysia dengan kaedah pentarikhan kronometrik (Mokhtar 2006). Ini secara tidak langsung juga memberitahu kita bahawa pentarikhan FT yang dilakukan ke atas sampel batuan suevit tersebut mengandungi mineral zirkon yang telah terlebur sepenuhnya sehingga memberikan usia sebenar pada waktu tersebut iaitu sekitar 1.83 juta tahun dahulu (Mokhtar 2007; Nur Asikin 2013).

ESR juga dikenali sebagai *Elektron Paramagnetic Resonance* (EPR) di mana kaedah ini boleh dimasukkan dalam kumpulan pendarkilau sebagai salah satu kaedah pentarikhan dengan menggunakan pengiraan cas terperangkap. Kaedah ini boleh dilakukan terhadap mineral seperti kuarza dan kalsit. Terdapat beberapa konsep ringkas bagi kaedah ini iaitu bermula dengan sinar radioaktif akan menolak keluar elektron yang bercas negatif daripada atom yang berada pada fasa tenaga paling rendah (jalur valensi). Elektron tersebut akan dipindahkan kepada satu fasa yang mempunyai tenaga yang lebih tinggi, yang dikenali sebagai jalur konduksi, lalu satu ruang kosong bercas positif terbentuk di mana berada berdekatan jalur valensi tersebut. Setelah didifusi, dalam satu jangka yang singkat sahaja kebanyakan elektron akan bergabung semula dengan ruang-ruang kosong ini dan mineral tersebut menjadi tidak bercas. Walau bagaimanapun, semua mineral yang terbentuk secara semula jadi mempunyai ketidaksempurnaan, seperti kecacatan pada kekisi mineral atau ruang antara atom yang mana dapat memerangkap elektron. Ketika elektron tersebut jatuh semula daripada jalur konduksi. Elektron yang terperangkap akan membentuk pusat paramagnetik tertentu yang dapat diukur oleh spektrometri ESR dengan menimbulkan ciri-ciri garis ESR. Pengukuran ESR tersebut tidak akan mempengaruhi populasi elektron yang terperangkap. Elektron yang terperangkap mungkin akan dibebaskan melalui dua proses iaitu pemanasan dan pendedahan kepada cahaya oleh proses pendarkilau (Grün 1997). Kaedah ini sering digunakan pada sedimen-sedimen daratan yang berusia Kuaterner dengan menggunakan cangkerang dan enamel gigi. Selain itu, material lain yang dapat ditentukan usia dengan teknik ESR ini ialah seramik, kuarza, feldspar, mineral silika, kaca, apatit, sedimen yang bersifat batu kapur serta karbonat organik atau mineral yang mengalami pemanasan, penyinaran dan tekanan. Pada dasarnya prinsip kerja kaedah ini sama dengan teknik pendarkilau di mana jumlah elektron yang terperangkap dapat menunjukkan atau menentukan umur sampel (Nik Hassan Shuhaimi Nik Abdul Rahman et al. 2012)

Kalium merupakan salah satu daripada unsur umum yang terdapat dalam pembentukan batuan. Ia mempunyai konfigurasi elektronik gas argon (Ar), elektron valensi tunggal dan tiga isotop semula jadi iaitu  $^{39}\text{K}$  (93.258%),  $^{40}\text{K}$  (0.012%) dan  $^{41}\text{K}$  (6.730%). Isotop  $^{39}\text{K}$  dan  $^{40}\text{K}$  adalah stabil (sama ada radioaktif atau terhasil daripada radioaktiviti) namun  $^{40}\text{K}$  adalah hasil daripada pereputan radioaktif  $^{40}\text{K}$ . Sebenarnya, hanya sekitar 10.5% daripada  $^{40}\text{K}$  yang akan mereput kepada  $^{40}\text{Ar}$  dan yang selebihnya akan mereput kepada isotop kalsium biasa,  $^{40}\text{Ca}$ . Dalam skema pereputan K-Ar, nukleus  $^{40}\text{K}$  akan berubah menjadi  $^{40}\text{Ar}$  dengan menangkap elektron orbit dan mengubah proton menjadi neutron. Jisim atom ( $Z$ =bilangan proton+neutron) nukleus tetap sama ( $Z=40$ ) tetapi bilangan proton, nombor atom (N), dikurangkan satu ( $N=18$ ). Satu hasil yang jelas daripada proses ini adalah kelimpahan  $^{40}\text{Ar}$  di dalam bumi dan di atmosfera meningkat berkadar dengan masa. Kaedah pentarikhan K-Ar merupakan salah satu daripada kaedah pentarikhan yang umum digunakan kerana ia mempunyai julat usia berkesan kurang daripada 100,000 tahun sehingga mencapai usia alam semesta, dan ini adalah satu-satunya skema pereputan yang dapat digunakan dengan kehadiran sedikit atau tanpa isotop anak permulaan,  $^{40}\text{Ar}$  di dalam sesuatu sampel. Hal ini kerana Ar merupakan gas lengai dan mudah untuk keluar daripada sesuatu sistem apabila dipanaskan. Oleh itu, prinsip bahan yang sesuai digunakan untuk pentarikhan K-Ar adalah daripada batuan igneus dan metamorf kerana jenis batuan ini terbentuk daripada magma atau mengalami perubahan akibat haba ketika proses pembentukan batuan tersebut (metamorfisme) (Walter 1997). Kaedah pentarikhan K-Ar juga dilakukan ke atas batuan impaktit di Bukit Bunuh iaitu pada sampel matrik dan mineral biotit. Hasil pentarikhan K-Ar menunjukkan rata-ratanya memberikan bacaan yang berlainan dan tidak pada skala masa yang sama iaitu sekitar zaman Kapur, Tertier dan Kuaterner. Ini mungkin disebabkan oleh jenis sampel batuan yang dipertarikhkan adalah batuan suevit. Batuan suevit dicirikan oleh matrik dan klasta yang melebur serta bercampur dengan yang tidak melebur sepenuhnya, maka bacaan bagi usia mineral tidak menggambarkan waktu impak meteorit tersebut berlaku (Nur Asikin 2013).

Kaedah pentarikhan Ar-Ar adalah berdasarkan kepada prinsip asas yang sama dengan kaedah pentarikhan K-Ar. Perbezaan utama adalah pada kaedah pengiraan K di mana dalam kaedah ini pengiraan K dan Ar adalah hampir serentak dalam pecahan sampel yang sama. Sebelum dianalisis, sampel ini perlu disinari dengan neutron bertenaga tinggi pada satu reaktor nuklear. Proses ini akan menukarkan  $^{39}\text{K}$  (satu isotop K yang stabil) di dalam sampel kepada  $^{39}\text{Ar}$ , iaitu satu isotop yang

tidak berlaku secara semula jadi dan hanya dihasilkan di dalam reaktor nuklear (Walter 1997). Kaedah pentarikhan ini telah digunakan dalam menentukan usia batuan impaktit pada mineral serisit dan matrik batuan tersebut. Hasil pentarikhan mendapati usia batuan yang menggunakan mineral serisit memberikan bacaan zaman Karbon ( $305.3 \pm 3.0$  juta tahun dahulu) manakala yang menggunakan matrik memberikan usia Kapur ( $62.5 \pm 6.0$  juta tahun dahulu) dan Tertier ( $28.8 \pm 1.9$  juta tahun dahulu,  $33.4 \pm 2.0$  juta tahun dahulu dan  $53.9 \pm 2.6$  juta tahun dahulu). Mineral serisit adalah mineral yang mudah melebur sekiranya dikenakan suhu, maka kemungkinan batuan yang mengandungi serisit ini tidak mengalami peleburan yang tinggi dan secara tidak langsung memberikan usia batuan asal kawasan tersebut iaitu batuan metasedimen Formasi Kroh yang berusia Ordovisi-Silur (Nur Asikin 2013).

Pentarikhan U-Pb adalah satu kaedah untuk menentukan usia geologi yang menggunakan pereputan radioaktif isotop Uranium ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  dan  $^{232}\text{Th}$ ) kepada isotop Plumbum ( $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$  dan  $^{208}\text{Pb}$ ) yang stabil. Teknik pentarikhan ini mempunyai kejituan mencapai 0.1% atau lebih baik (Bowring et al. 2006). Pengumpulan Pb dalam mineral dengan kehadiran unsur U berkadar dengan nilai pereputan radioaktif isotop induk U dan Th yang diketahui membentuk asas kepada kaedah pentarikhan ini. Terdapat tiga isotop radioaktif yang akan mereput kepada tiga isotop anak Pb yang stabil, seseorang dapat mengira tiga usia melalui cara ini di mana dua antaranya mempunyai unsur yang sama (U dan Pb) sebagai unsur untuk membentuk isotop induk dan anak. Isotop U ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  dan  $^{232}\text{Th}$ ) mempunyai separuh hayat masing-masing 4,468 ( $^{238}\text{U}$ ), 704 ( $^{235}\text{U}$ ) dan 1,400 ( $^{232}\text{Th}$ ) juta tahun. Antara sampel mineral yang boleh digunakan untuk pentarikhan U-Pb adalah zirkon, monazit, titanit, baddeleyit, perovskit, apatit, allanit, rutil, xenotim, uraninit, kalsit/aragonit, thorit dan piroklor (Parrish 2014). Kaedah pentarikhan ini telah digunakan pada batuan impaktit Bukit Bunuh dengan menggunakan zirkon sebagai mineral pentarikhan. Kajian pentarikhan U-Pb ke atas mineral zirkon daripada batuan kuarzit terimpak mendapati usia batuan ini adalah Trias iaitu sekitar  $213.6 \pm 3.0$  juta tahun dahulu. Ini mungkin menunjukkan bahawa berlaku peleburan separa pada mineral zirkon batuan kuarzit ini dijangkakan berasal daripada batuan Formasi Kroh yang berusia Ordovisi-Silur (Nur Asikin 2013).

Menurut Mokhtar (2012b) pentarikhan yang dilakukan di Bukit Bunuh menunjukkan usia antara 305 hingga 1.34 juta tahun dahulu. Ini menunjukkan mungkin terdapat satu fasa peleburan pada mineral tertentu berdasarkan kepada impak meteorit tersebut. Mineral yang melalui proses peleburan penuh akan menunjukkan usia pentarikhan yang tepat mengenai proses pembentukannya di mana secara tidak langsung akan menunjukkan usia hentaman meteorit impak tersebut. Sebagai contoh, berdasarkan kepada pentarikhan mineral zirkon yang menunjukkan usia antara 220 hingga 1.74 juta tahun dahulu, usia yang lebih muda iaitu 1.74 juta tahun dahulu mencadangkan bahawa zirkon berada pada fasa peleburan penuh yang mungkin menunjukkan usia hentaman meteorit impak tersebut dan bagi usia yang lebih tua iaitu 220 juta tahun pula sangat jelas menunjukkan bahawa zirkon tersebut separa melebur dan menunjukkan usia zirkon daripada granit Trias (Mokhtar 2012b). Kehadiran alat batu dalam suevit juga mencadangkan bahawa usia impak meteorit ini tidak berkemungkinan lebih tua daripada zaman Kuaterner. Oleh itu berdasarkan kepada pentarikhan yang terkini usia impak meteorit di Bukit Bunuh ialah antara 1.34-1.84 juta tahun dahulu (Mokhtar 2012b). Berdasarkan data pentarikhan yang telah dilakukan di Bukit Bunuh iaitu daripada 1.83 juta tahun dahulu sehingga 30,000 tahun dahulu menunjukkan bahawa terdapatnya kehidupan manusia awal sepanjang tempoh masa tersebut. Kehidupan masyarakat Paleolitik ini bermula daripada sebelum berlakunya impak meteorit iaitu 1.83 juta tahun dahulu, diikuti dengan 550,000 tahun dahulu, 270,000 tahun dahulu, 40,000 tahun dahulu serta 30,000 tahun dahulu. Ini menunjukkan terdapatnya bukti kronologi zaman Paleolitik yang agak lengkap iaitu daripada zaman Paleolitik Awal, Pertengahan dan Akhir di Bukit Bunuh. Bukit Bunuh juga merupakan satu-satunya tapak di dunia yang mendedahkan bukti masyarakat Paleolitiknya menggunakan batuan impaktit sebagai bahan mentah di dalam industri pembuatan alat batu. Sehingga kini tiada rekod yang menunjukkan penggunaan batuan impaktit sebagai alat batu bagi masyarakat Paleolitik kecuali tektit di seluruh dunia (Nor Khairunnisa 2013 & 2016; Nur Asikin 2013).



## JULAT USIA BERKESAN DAN KEKANGAN BAGI TEKNIK PENTARIKHAN

Usia penempatan manusia awal di Bukit Bunuh bermula pada 1.83 juta tahun dahulu, sehingga 30,000 tahun dahulu menunjukkan urutan kronologi yang lengkap namun mempunyai rompong usia yang besar. Hal ini mungkin kerana limitasi atau julat usia berkesan bagi setiap teknik yang digunakan serta kaedah persampelan yang telah dilakukan masih kurang jelas. Terdapat beberapa faktor lain yang perlu diberi penekanan seperti jenis sampel, julat usia sampel, sejarah pembentukan termal dan peringkat pembentukan termal bagi sampel yang hendak dilakukan pentarikhan tersebut (Willaims 1998).

Kesemua teknik pentarikhan yang telah dilakukan di Bukit Bunuh menunjukkan nilai usia yang masih dalam julat usia berkesan bagi teknik-teknik tersebut kecuali OSL dengan usia 490,000-500,000 yang mempunyai nilai usia yang lebih besar daripada julat usia berkesan teknik tersebut iaitu 0 hingga ~450,000 tahun dahulu (Jadual 3). Hal ini mungkin kerana signal OSL terhadap sampel tersebut tidak diset semula sepenuhnya kepada sifar semasa proses pemendapan atau kepekaan pendarkilau dalam mineral kuarza yang digunakan untuk analisis pentarikhan tersebut adalah sangat rendah (Aitken 1997).

Jadual 3. Julat usia berkesan bagi setiap teknik pentarikhan yang telah dilakukan di Bukit Bunuh

Bil.	Teknik pentarikhan	Usia yang telah diperolehi di Bukit Bunuh (tahun dahulu)	Julat usia berkesan (tahun dahulu)
1.	OSL	490,000-500,000 270,000-320,000 40,000 30,000	0 hingga 150, 000 tahun (dalam kes tertentu boleh mencapai 300, 000 atau lebih) (Bluszcz 2004) 0 hingga ~450, 000 (Pawler 2010)
2.	Ar-Ar	28.8±1.9 juta 33.4±2.0 juta 53.9±2.6 juta 62.5±6.0 juta 305.3±3.0 juta	Kurang daripada 100, 000 tahun hingga mencapai usia alam semesta (Walter 1997)
3.	K-Ar	13.1±2.8 juta 41.2±2.6 juta 54.7±3.3 juta 55.8±1.4 juta 67.8±3.5 juta 73.3±1.6 juta 77.0±4.1 juta	Kurang daripada 100, 000 tahun hingga mencapai usia alam semesta (Walter 1997) 10, 000 hingga 4.57 ribu juta (Earle 2019)
4.	ESR	1.34±0.06 juta	~ 10, 000 hingga 3 juta (Skinner 2021)
5.	FT	1.74±1.28 juta 1.83±0.61 juta 90.1±5.0 juta	umumnya 0.1 juta hingga 2000 juta (Garver 2009)
6.	U-Pb	204.9±2.1 juta 212.6±3.7 juta 213.6±3.0 juta 220.9±3.5 juta	1 juta sehingga 4.57 ribu juta (Earle 2019)

Kaedah persampelan juga merupakan salah satu faktor untuk mendapatkan nilai usia yang terbaik. Namun terdapat kekangan tertentu bagi kaedah pentarikhan ini yang menyebabkan nilai usia yang diperolehi lebih tua atau muda daripada usia sebenar sampel seperti nilai usia yang diperolehi oleh kajian pentarikhan di Bukit Bunuh. Bagi teknik pentarikhan OSL terdapat beberapa kekangan untuk melakukan pentarikhan menggunakan teknik ini seperti (i) perlu mengenal pasti hubungan antara tempat untuk pemilihan sampel dengan stratigrafi dan geomorfologi kawasan di mana pembentukan pasca deposit perlu dielakkan (ii) bagi proses perubahan diagenetik seperti

pembentukan tanah, aliran air bawah tanah, bioturbid, pembentukan lempung dan proses pengangkutan, penganggaran usia dalam sistem tertutup berkemungkinan adalah tidak sah (iii) pengaruh kandungan air di dalam sampel (Aitken 1997).

Prinsip asas bagi pentarikhan Ar-Ar dan K-Ar adalah sama. Oleh itu kekangan bagi kedua-dua kaedah ini juga mempunyai persamaan seperti pencemaran sampel oleh proses perubahan (*alteration*). Selain itu teknik pentarikhan Ar-Ar mempunyai beberapa kekangan yang lain seperti (i) piawai interkaliberasi, di mana bagi mengira usia dengan teknik  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ , parameter J (fluks penyinaran) mesti diketahui. Bagi menentukan nilai J, piawai usia yang diketahui mesti disinari dengan sampel usia yang tidak diketahui. Oleh kerana piawai primer ini tidak dapat ditentukan oleh  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ , ia mesti terlebih dahulu ditentukan melalui kaedah pentarikhan isotop yang lain. Kaedah yang paling umum digunakan untuk pentarikhan piawai primer adalah teknik K-Ar konvensional. Piawai primer tersebut mestilah terdiri daripada mineral yang homogen, melimpah dan mudah dilakukan pentarikhan dengan kaedah K-Ar dan  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ . Setelah usia yang tepat dan jitu dapat ditentukan untuk piawai primer, mineral lain dapat dilakukan pentarikhan relatif berdasarkan kepada kaedah  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  (ii) pereputan malar di mana isu lain yang mempengaruhi ketepatan dan kejitian teknik  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  adalah ketidaktentuan dalam pereputan malar untuk  $^{40}\text{K}$ . Ketidaktentuan ini disebabkan oleh skema pereputan bercabang  $^{40}\text{K}$  dan jangka separuh hayat  $^{40}\text{K}$  (1.25 bilion tahun) yang panjang (McDougall dan Harrison 1999; New Mexico Bureau of Geology & Mineral Resources (2021). Mungkin akibat daripada salah satu kekangan ini menyebabkan usia untuk teknik ini bagi tapak Bukit Bunuh tidak menunjukkan usia sebenar sampel.

Terdapat juga beberapa kekangan lain bagi kaedah pentarikhan K-Ar iaitu (i) sampel perlu dalam bentuk homogen supaya tidak terhasil isotop berganda seperti sampel batuan lava berbutir halus, obsidian dan butiran mineral asli (ii) masalah yang teruk boleh timbul dalam usaha untuk mengukur  $^{40}\text{Ar}$  yang berisi padu kecil yang telah dihasilkan oleh sampel yang berusia muda atau sampel dengan kandungan K yang rendah. Hal ini kerana semakin tua sesuatu sampel, semakin tinggi nilai  $^{40}\text{Ar}$  yang perlu diukur, semakin mudah proses pengukuran tersebut (iii) ralat dalam mengesan sejumlah kecil gas akan digandakan jika sampel tersebut mengandungi jumlah pencemaran gas argon atmosfera yang besar di mana gas atmosfera ini terdapat di dalam batuan vulkanik ketika penyerapan gas-gas atmosfera ke dalam magma sebelum dan semasa letusan berlaku, serta penyerapan oleh permukaan batuan semasa proses penghidratan dan perubahan berlaku (iv) batuan yang mengalami pencemaran fizikal seperti batuan piroklastik yang boleh memungut serpihan mulut kawah semasa letusan berlaku atau mineral detrital semasa pengendapan sekunder (Walter 1997). Pentarikhan K – Ar di Bukit Bunuh memberikan usia antara ~77 hingga ~13 juta tahun dahulu. Hal ini mungkin kerana sampel matrik dan biotit yang digunakan telah mengalami proses perubahan (*alteration*) sebelum berlakunya impak meteorit dan ketika impak meteorit berlaku, sampel ini tidak mengalami peleburan semula sepenuhnya lalu menyebabkan usia yang diperolehi tidak menunjukkan usia sebenar sampel tersebut.

Teknik ESR pula mempunyai dua kekangan major (i) ketepuan elektron iaitu apabila semua perangkap telah diisi, radiasi tambahan tidak dapat menyebabkan peningkatan jumlah elektron yang terperangkap tersebut (ii) kestabilan haba, mengawal julat usia atas bagi teknik pentarikhan ini (Grün 1997). Teknik ESR yang digunakan untuk pentarikhan sampel kuarza terimpak di Bukit Bunuh telah memberikan usia 1.34 juta tahun dahulu. Hal ini kerana kuarza tersebut telah mengalami perubahan usia daripada usia batuan dasar di kawasan kajian kepada usia yang lebih muda akibat daripada suhu dan tekanan oleh proses impak meteorit.

Bagi teknik FT pula kekangan utama yang dihadapi ialah kadar pemudaran jejak pembelahan tersebut. Apabila jejak pembelahan dikenakan suhu dalam satu tempoh masa tertentu, struktur ini menjadi putih semula, hal ini berkemungkinan berlaku melalui mekanisme penyebaran. Sejumlah parameter geologi boleh mempengaruhi kestabilan jejak nuklear terpendam dalam sesuatu pepejal, namun suhu merupakan parameter terpenting yang mempengaruhi kestabilan jejak ini. Apabila semakin tinggi suhu dikenakan, semakin pendek jejak tersebut lalu semakin muda usia yang diperolehi (Westgate 1997). Pentarikhan FT di Bukit Bunuh memberikan usia 1.83 juta dan 1.74 juta tahun dahulu di mana kaedah ini telah menggunakan sampel mineral zirkon. Mineral zirkon

tersebut telah mengalami peleburan sepenuhnya akibat daripada impak meteorit lalu usia sampel tersebut telah diset semula daripada sifar sehingga kini di mana proses ini menunjukkan usia impak meteorit tersebut. Bagi sampel dengan usia  $90.1 \pm 5.0$  juta tahun dahulu pula menunjukkan sampel zirkon tersebut separa melebur dan tidak menunjukkan usia sebenar.

Kekangan bagi teknik U-Pb pula adalah seperti (i) di dalam sistem U-Pb, satu tarikh yang telah dikira dengan menggunakan salah satu persamaan tidak semestinya menghasilkan usia mineral yang ditafsirkan sebagai paling tepat, sebahagiannya kerana sebilangan mineral mempunyai kecenderungan untuk kehilangan isotop Pb akibat daripada penyebaran isipadu dan atau penyebaran melalui kerosakan radiasi serta sebahagiannya kerana beberapa mineral aksesori boleh mempunyai komponen usia yang berganda semasa pembentukannya (contohnya, teras yang ditumbuhi oleh rim yang berusia lebih muda) (Parrish 2014). Pentarikan U-Pb di Bukit Bunuh menggunakan sampel mineral zirkon telah memberikan usia  $\sim 204$  hingga  $\sim 220$  juta tahun dahulu. Usia ini menunjukkan zirkon yang digunakan tidak mengalami sebarang perubahan selain daripada usia pembentukan batuan tersebut iaitu batuan dasar Granit Trias.

## KESIMPULAN

Kajian pentarikan di Bukit Bunuh menunjukkan julat usia yang diperolehi masih berada dalam julat usia berkesan bagi setiap teknik yang digunakan, kecuali bagi satu nilai usia teknik OSL yang memberikan usia yang lebih tua daripada julat usia berkesan teknik tersebut. Hal ini mungkin kerana faktor-faktor kekangan pada teknik tersebut lalu sampel yang digunakan tidak menunjukkan usia sebenar. Nilai usia pentarikan yang terbaik boleh diperolehi berdasarkan kepada jenis sampel yang digunakan dan julat usia berkesan bagi teknik pentarikan tersebut. Bagi teknik pentarikan yang telah dilakukan di Bukit Bunuh, teknik OSL dan ESR boleh digunakan untuk menentukan usia dalam kala Kuaterner di mana teknik ini mempunyai julat usia berkesan kurang daripada tiga juta tahun. Manakala untuk sampel seperti batuan impaktit di Bukit Bunuh teknik terbaik yang boleh digunakan ialah U-Pb di mana nilai usia untuk teknik ini boleh dibandingkan dengan usia untuk teknik pentarikan oleh Ar-Ar atau K-Ar kerana teknik-teknik ini mempunyai julat usia berkesan lebih daripada satu juta tahun. Di samping itu, teknik U-Pb juga mempunyai kejituan 0.1% atau lebih baik berbanding dengan teknik pentarikan yang lain.

## RUJUKAN

- Aitken, M.J. 1997. Luminescence dating. Dlm. Taylor R.E. & Aitken M.J. (Eds). *Chronometric Dating in Archaeology, Advances in Archaeology and Museum Science*, Vol. 2. New York: Springer Science + Business Media.
- Bluszcz, A. 2004. OSL dating in archaeology. Dlm. Scott E.M. et al. (eds.). *Impact of the Environment on Human Migration in Eurasia*, hlm. 137 – 149. Russia: Kluwer Academic Publishres.
- Bowring, S.A., Schoene, B., Cowley, J.L., Ramezani, J. & Condon, D. J. 2006. High-precision U-Pb zircon geochronology and the stratigraphic record: Progress and promise. *The Paleontological Society Papers* 12: 25-45.
- Earle, S. 2019. *Physical Geology* – 2<sup>nd</sup> Edition. Victoria, British Columbia: BCcampus.
- Garver, J.I. 2009. Dating, Fission Track. Dlm. Gornitz, V. (ed.). *Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environment*. Dordrecht: Springer.
- Grün, R. 1997. Electron Spin Resonance dating. Dlm. Taylor R.E. & Aitken M.J. (eds.). *Chronometric Dating in Archaeology, Advances in Archaeology and Museum Science*, Vol. 2. New York: Springer Science + Business Media.
- Jones, C.R. 1970. Geology and mineral resources of Grik Area, Upper Perak. *Geological Survey of Malaysia, Memoir* 11.
- McDougall, I., & Harrison, T.M. 1999. *Geochronology and thermochronology by the  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  method*, New York: Oxford University Press.
- Mokhtar Saidin. 2004. Bukit Bunuh, Lenggong, Perak, Malaysia: A new evidence of Late Pleistocene Culture in Malaysia and Southeast Asia. Dlm. Bacus, E.A., Glover, I.C. & Pigott,

- V.C. (eds.). *Uncovering Southeast Asia's Past: Selected Papers from the 10th International Conference of the European Association of Southeast Asia Archaeologist*, hlm. 60 – 64. London: NUS Press.
- Mokhtar Saidin. 2006. Bukit Bunuh, Lenggong, Perak: Sumbangannya Kepada Arkeologi dan Geologi Negara. *Jurnal Arkeologi Malaysia* 19: 1 – 14.
- Mokhtar Saidin. 2007. The Application of Fission Track (FT) and Optically Stimulated Luminescence (OSL) Dating in Bukit Bunuh, Lenggong, Perak. Dlm. Mokhtar Saidin & Chia, S. (eds.). *Archaeological Heritage of Malaysia*, hlm. 73 – 80.
- Mokhtar Saidin. 2010. Out of Malaysia: Putting Malaysia On The Map Of Human Development. Dlm. Dzulkifli Abdul Razak (ed). *Transforming Higher Education for a Sustainable Tomorrow: 2009 Laying the Foundation*, hlm. 81 – 90. Pulau Pinang: Universiti Sains Malaysia.
- Mokhtar Saidin. 2012a. History discovery of meteorite impact at Bukit Bunuh, Lenggong, Perak. Dlm. Hamzah Mohamad & Mokhtar Saidin (eds.). *Extended-Abstract International Conference on Archaeology of Meteorite Impact at Bukit Bunuh Area, Lenggong, Perak, Malaysia (ICBB)*, hlm. 1 – 2. Pulau Pinang: Pusat Penyelidikan Arkeologi Global, Universiti Sains Malaysia.
- Mokhtar Saidin. 2012b. Absolute date of Bukit Bunuh impactites. Dlm. Hamzah Mohamad & Mokhtar Saidin (eds.). *Extended-Abstract International Conference on Archaeology of Meteorite Impact at Bukit Bunuh Area, Lenggong, Perak, Malaysia (ICBB)*, hlm. 15 – 16. Pulau Pinang: Pusat Penyelidikan Arkeologi Global, Universiti Sains Malaysia.
- Mokhtar Saidin & Jeffrey Abdullah. 2007. Sungai Perak Kuno: Sumbangannya kepada zaman Paleolitik Malaysia. *Jurnal Arkeologi Malaysia* 20: 14 – 21.
- Nagatomo, T. 2008. *Scientific Dating in Archaeology*. Nara, Japan: Nara University of Education.
- New Mexico Bureau of Geology & Mineral Resources. 2021. *New Mexico Geochronology Research Laboratory K/Ar and 40Ar/39Ar Methods*. Retrieved from New Mexico Bureau of Geology & Mineral Resources: <https://geoinfo.nmt.edu/labs/argon/methods/home.html>, 26 June 2021.
- Nik Hassan Shuhaimi Nik Abdul Rahman, Asyaari Muhamad & Zuliskandar Ramli. 2012. Kaedah pentarikhan relatif dan pentarikhan mutlak dalam penyelidikan arkeologi. Dlm Nik Hassan Shuhaimi Nik Abdul Rahman, Asyaari Muhamad & Zuliskandar Ramli (pnyt.). *Isu-Isu Pentarikhan Tapak Warisan dan Artifak Budaya Alam Melayu*, hlm. 9 – 23. Bangi: Insitut Alam & Tamadun Melayu, UKM.
- Nor Khairunnisa Talib. 2013. Ekskavasi Tapak Bukit Bunuh, Lenggong, Perak: Sumbangan kepada pemahaman kebudayaan Paleolitik. Tesis Sarjana, Universiti Sains Malaysia.
- Nor Khairunnisa Talib, Mokhtar Saidin, & Jeffrey Abdullah. 2016. Batuan impak meteorit: Bukti penggunaan bahan mentah bagi masyarakat Paleolitik Pleistosen Pertengahan. *Jurnal Arkeologi Malaysia* 29(1): 43 – 54.
- Nur Asikin Rashidi. 2013. Pemilihan jenis batuan oleh masyarakat prasejarah di kawasan impak meteorit Bukit Bunuh, Lenggong, Perak dan sumbangannya kepada teknologi Paleolitik. Tesis Sarjana, Universiti Sains Malaysia.
- Nurul Syuhada Saad. 2017. Kajian Terhadap Mineral Zirkon di Kawasan Impak Meteorit dan Sumbangannya kepada Pentarikhan di Bukit Bunuh, Lenggong, Perak. Tesis Sarjana, Universiti Sains Malaysia.
- Parrish, R. 2014. Uranium – Lead dating. Dlm. Rink, J.W. & Thompson, J. (eds.) - *Encyclopedia of Scientific Dating Methods*. Netherlands: Springer.
- Pawley, S.M., Toms, P., Armitage, S.J. & Rose, J. 2010. Quartz luminescence dating of Anglian Stage (MIS 12) fluvial sediments: Comparison of SAR age estimates to the terrace chronology of the Middle Thames valley, UK. *Quaternary Geochronology* 5: 569–582.
- Skinner, A.R. 2021. Electron Spin Resonance dating. Dlm. Alderton, D. & Elias, S.A. (eds.). *Encyclopedia of Geology (Second Edition)*, hlm. 153 – 163. New York: Academic Press, Elsevier Ltd.
- Walter, R.C. 1997. Potassium – Argon/ Argon – Argon dating methods. Dlm. Taylor R.E. & Aitken M.J. (eds.). *Chronometric Dating in Archaeology, Advances in Archaeology and Museum Science*, Vol. 2. New York: Springer Science + Business Media.
- Westgate, J., Sandhu, A. & Shane, P. 1997. Fission-Track Dating. Dlm. Taylor R.E. & Aitken M.J. (eds.). *Chronometric Dating in Archaeology, Advances in Archaeology and Museum Science*, Vol. 2. New York: Springer Science + Business Media.

William, I.S. 1998. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe. Dlm. M.A. McKibben, W.C. Shanks III, & W.I. Ridley (eds.). *Applications of Microanalytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes, Reviews in Economic Geology* 7, hlm 1 – 35. New York: Society of Economic Geologists

Nurul Syuhada Saad,  
Pusat Penyelidikan Arkeologi Global,  
Universiti Sains Malaysia,  
11800 USM, Pulau Pinang  
Email: nurulsyuhadabintisaad@gmail.com

Mokhtar Saidin,  
Pusat Penyelidikan Arkeologi Global,  
Universiti Sains Malaysia,  
11800 USM, Pulau Pinang  
Email: mmokh@usm.my

Nor Khairunnisa Talib  
Pusat Penyelidikan Arkeologi Global,  
Universiti Sains Malaysia,  
11800 USM, Pulau Pinang  
Email: norkhairunnisa@usm.my

Shyeh Sahibul Karamah Masnan  
Pusat Penyelidikan Arkeologi Global,  
Universiti Sains Malaysia,  
11800 USM, Pulau Pinang  
Email: syehsa@driveattic.com

Received: 23 June 2022  
Accepted: 12 August 2022  
Published: 30 September 2022