

**ANALISIS KUMPULAN UNSUR PLATINUM  
(PGE), NIKEL (Ni) DAN KROMIUM (Cr) DI  
TAPAK PRASEJARAH BUKIT BUNUH,  
LENGGONG, PERAK UNTUK PEMBUKTIAN  
IMPAK METEORIT**

**ABDUL MUTALIB BIN ABDULLAH**

**UNIVERSITI SAINS MALAYSIA**

**2021**

**ANALISIS KUMPULAN UNSUR PLATINUM  
(PGE), NIKEL (Ni) DAN KROMIUM (Cr) DI  
TAPAK PRASEJARAH BUKIT BUNUH,  
LENGGONG, PERAK UNTUK PEMBUKTIAN  
IMPAK METEORIT**

oleh

**ABDUL MUTALIB BIN ABDULLAH**

**Tesis yang diserahkan untuk  
memenuhi keperluan  
Ijazah Sarjana Sastera**

**Ogos 2021**

## PENGHARGAAN

Dengan nama Allah Yang Maha Pemurah lagi Maha Penyayang, segala puji dan syukur dipanjatkan kepadaNya kerana tanpa rahmat dan kasih sayangNya maka kajian yang dimulakan sejak 2016 ini tidak akan dapat disiapkan dengan jayanya.

Setinggi-tinggi ucapan penghargaan saya tujukan kepada penyelia utama iaitu Prof. Dato' Mokhtar Saidin kerana memberikan tunjuk ajar dan bimbingan yang baik sepanjang proses penyelidikan ini. Tidak dilupakan juga kepada Prof Hamzah Mohamad yang turut memberikan idea dan nasihat yang sangat berguna.

Saya turut ingin merakamkan penghargaan atas kepercayaan USM menaja penyelidikan ini melalui geran jangka pendek penyelidikan bernombor: 304/PARKEO/6313239. Ribuan terima kasih juga diucapkan kepada rakan penyelidik Bukit Bunuh yang banyak membantu iaitu Shyeh, Syuhada, Asikin, Dr. Nisa, Amira, dan Azlin; staf teknikal yang terlibat dalam analisis makmal iaitu Sairul, Khairul, Fadly, Ikhwan, Fathin, Hamizah, Latiff dan Syahir. Selain itu, sekalung penghargaan juga untuk semua rakan staf PPAG dan sahabat terdekat yang menyokong secara langsung dan tidak langsung.

Buat isteri yang penyayang-Seri Mirianti Ishar, dan anak-anak-Nadim, Layla dan Adi Elhan. Semoga dorongan dan kesabaran anda dibalas dengan keberkatan hidup, ketenangan, dan kasih sayang. Akhir kata, tesis ini saya hadiahkan untuk ibu dan ayah-Fodzilah Hassan dan Allahyarham Abdullah Ahmad yang banyak berkorban. Hanya Allah mampu membalas jasmu.

## ISI KANDUNGAN

<b>PENGHARGAAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>ISI KANDUNGAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>SENARAI JADUAL .....</b>	<b>vi</b>
<b>SENARAI PETA.....</b>	<b>viii</b>
<b>SENARAI RAJAH .....</b>	<b>ix</b>
<b>SENARAI FOTO .....</b>	<b>xi</b>
<b>SENARAI SINGKATAN.....</b>	<b>xii</b>
<b>SENARAI LAMPIRAN.....</b>	<b>xiii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xvi</b>
<b>BAB 1    PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1    Pengenalan .....	1
1.2    Kawasan kajian.....	1
1.3    Isu dan masalah.....	5
1.4    Objektif kajian.....	6
1.5    Metodologi kajian.....	7
1.6    Skop kajian.....	8
1.7    Huraian bab.....	9
<b>BAB 2    KAJIAN LITERATUR.....</b>	<b>11</b>
2.1    Pengenalan.....	11
2.2    Bukti impak meteorit di Bukit Bunuh.....	11
2.2.1    Kaedah megaskopik.....	12
2.2.2    Kaedah makroskopik.....	17
2.2.3    Kaedah mikroskopik.....	18
2.3    Unsur siderofil dalam meteorit.....	21
2.4    Analisis siderofil di tapak impak meteorit dunia.....	24
2.5    Rumusan bab.....	29

<b>BAB 3</b>	<b>METODOLOGI KAJIAN.....</b>	<b>31</b>
3.1	Pendahuluan.....	31
3.2	Kajian literatur.....	31
3.3	Kerja lapangan.....	32
3.4	Kerja makmal.....	35
3.4.1	Pemotongan dan penyerbukan sampel.....	35
3.4.2	Analisis XRF (Pendarkilau Sinar-X/ <i>X-Ray Flourescence</i> )... ..	37
3.4.3	Pemekatan & pencernaan sampel dengan kaedah <i>nickel sulfide fire assay</i> /Nis-Fa.....	40
3.4.4	Analisis NAA (Pengaktifan Neutron/ <i>Neutron Activation</i> )....	42
3.4.5	Analisis ICP-MS ( <i>Inductive Coupled Plasma Mass Spectroscopy</i> )	43
3.5	Kaedah analisis PGE dalam sampel batuan.....	45
3.6	Rumusan bab.....	46
<b>BAB 4</b>	<b>PERSAMPELAN DAN ANALISIS MAKMAL.....</b>	<b>48</b>
4.1	Pendahuluan.....	48
4.2	Kerja lapangan.....	48
4.3	Analisis XRF.....	55
4.3.1	Analisis XRF: unsur major batuan dalam dan luar kawah impak BBH.....	57
4.3.2	Analisis XRF: unsur major batuan dalam kawah BBH dan purata nilai kerak bumi.....	63
4.3.3	Analisis XRF: unsur surih batuan dalam dan luar kawah impak BBH.....	64
4.4	Analisis ICP-MS dan NAA .....	72
4.5	Rumusan bab.....	78

<b>BAB 5</b>	<b>PERBINCANGAN DAN KESIMPULAN.....</b>	<b>79</b>
5.1	Pendahuluan.....	79
5.2	Kepekatan unsur PGE dalam kawah BBH & purata kerak bumi.....	79
5.3	Kandungan Ir dan nisbah Cr/Ir.....	80
5.4	Perbandingan nisbah Ni/Cr.....	82
5.5	Sumbangan BBH kepada tapak impak meteorit dunia.....	86
5.6	Penyelidikan masa hadapan.....	91
	<b>RUJUKAN.....</b>	<b>92</b>
	<b>LAMPIRAN</b>	

## SENARAI JADUAL

		<b>Halaman</b>
Jadual 2.1	Kriteria impak meteorit oleh PASSC.....	12
Jadual 2.2	Koordinat kawah impak BBH dan tonjolan tengah/ <i>rebound area</i> (selepas Rosli, 2017).....	17
Jadual 2.3	Perbandingan unsur PGE dalam meteorit chondrit dan batuan kerak bumi.....	23
Jadual 2.4	Senarai tapak impak dunia dengan bukti jumpaan dan analisis geokimia (diubahsuai daripada Goderis, 2013).....	24
Jadual 3.1	Fungsi bahan dalam proses NiS-Fa.....	41
Jadual 3.2	Had pengesanan unsur PGE, Au, dan Re di makmal ActLab, Kanada.....	46
Jadual 4.1	Jenis dan lokasi sampel batuan.....	50
Jadual 4.2	Analisis kejituan XRF unsur major menggunakan sampel piawai BCS No. 309 (Sillimanit) sampel kaca terlakur.....	55
Jadual 4.3	Analisis kejituan XRF untuk analisis unsur surih menggunakan sampel piawai TDB-1( <i>Diabase Rock</i> ) sampel pelet tertekan....	55
Jadual 4.4	Kepekatan unsur major luar kawah BBH (unit dalam %wt).....	57
Jadual 4.5	Kepekatan unsur major dalam kawah BBH (unit dalam %wt)...	59
Jadual 4.6	kepekatan unsur major kerak bumi oleh Shaw <i>et al.</i> (1986), Taylor & McLennan (1985), Condie (1993), dan Gao <i>et al.</i> (1998).....	63
Jadual 4.7	Kepekatan unsur surih batuan dalam kawah BBH ( unit dalam ppm).....	66
Jadual 4.8	Kepekatan unsur surih batuan luar kawah BBH (unit dalam ppm).....	68
Jadual 4.9	Hasil analisis kejituan ke atas alatan ICPMS (unit dalam ppb)..	74

Jadual 4.10	Hasil analisis kejituan ke atas alatan NAA (unit dalam ppb).....	75
Jadual 4.11	Kepekatan unsur PGE (Pt, Ir, Os, Pd, Rh dan Ru) dalam sampel BBH dan sampel di luar kawah menggunakan NAA & ICP-MS (unit dalam ppb).....	76
Jadual 5.1	Purata kepekatan unsur PGE dalam batuan di kawah BBH dan kerak bumi (nilai dalam ppb).....	79
Jadual 5.2	Perbandingan nisbah Ni/Cr antara batuan di dalam kawah dan di luar kawah BBH.....	85
Jadual 5.3	Perbandingan kepekatan PGE di BBH dengan tapak impak meteorit dunia.....	87



## SENARAI PETA

	<b>Halaman</b>
Peta 1.1 Lokasi tapak Bukit Bunuh (selepas Nur Asikin, 2013).....	2
Peta 2.1 Peta kontor hasil kaedah magnetik di kawasan Lenggong, Perak (selepas Saad <i>et al.</i> , 2014a).....	14
Peta 2.2 Peta kontor anomali Bouguer Lenggong, Perak (selepas Saad <i>et al.</i> , 2014b).....	15
Peta 2.3 Peta topografi 3D hasil kaedah 2D-resistiviti di Lenggong, Perak (selepas Nordiana <i>et. al.</i> , 2014).....	16
Peta 3.1 Lokasi kawah impak meteorit Bukit Bunuh (selepas Rosli, 2017).....	33
Peta 3.2 Taburan jenis batuan impak meteorit di Bukit Bunuh (selepas Nur Asikin, 2013).....	34
Peta 4.1 Lokasi penyampelan batuan.....	49

## SENARAI RAJAH

	<b>Halaman</b>
Rajah 1.1 Bukit Bunuh (bulatan merah) dalam kronologi prasejarah Malaysia.....	3
Rajah 1.2 Carta alir metodologi kajian.....	8
Rajah 2.1 Kedudukan unsur siderofil dan PGE dalam Jadual Berkala (Goldschmidt, 1937).....	23
Rajah 3.1 Carta alir proses penyerbukan sampel.....	36
Rajah 3.2 Penghasilan radiasi-x yang bermula dengan (1) pengujaan, (2) pergerakan elektron, (3) pengisian elektron untuk mencapai keseimbangan, dan (4) penghasilan tenaga (selepas Fischer, 2018).....	38
Rajah 3.3 Prinsip kerja XRF (selepas Fischer, 2018).....	39
Rajah 3.4 Ringkasan proses Nis-Fa (selepas Plessen, 1998).....	42
Rajah 3.5 Tindak balas dalam pengaktifan neutron atau NAA (selepas Glascock, 2003).....	43
Rajah 3.6 Komponen utama dalam ICP-MS (selepas Kashani, 2010).....	44
Rajah 4.1 Perbandingan kepekatan unsur major antara kuarza impak dan syis kuarza.....	60
Rajah 4.2 Perbandingan kepekatan unsur major antara granit impak dan granit biotit.....	61
Rajah 4.3 Perbandingan kepekatan unsur major antara batuan leburan impak, suevit & metasedimen (batuan dalam kawah) dengan kuarzit & sabak (batuan luar kawah).....	6.2
Rajah 4.4 Perbandingan peratus kepekatan antara unsur major batuan impak BBH dengan purata kepekatan unsur kerak bumi.....	64
Rajah 4.5 Perbandingan peratus kepekatan unsur surih antara kuarza impak dan syis kuarza.....	69

Rajah 4.6	Perbandingan peratus kepekatan unsur surih antara granit impak dan granit biotit.....	70
Rajah 4.7	Perbandingan kepekatan unsur surih antara batuan leburan impak, suevit & metasedimen dengan kuarzit & sabak (batuan luar kawah).....	71
Rajah 5.1	Perbandingan kepekatan PGE antara batuan BBH dan kerak bumi.....	80
Rajah 5.2	Kedudukan batuan BBH (S4) dalam julat kepekatan Ir batuan bumi dan meteorit (selepas Koeberl, 2014).....	81
Rajah 5.3	Taburan batuan BBH dalam graf kepekatan Cr melawan Ir (selepas Steven Goderis, 2013).....	82
Rajah 5.4	Perbandingan taburan kepekatan PGE batuan impak BBH dengan tapak impak meteorit impak dunia. (A) perbandingan bersama tapak meteorit chondrit, (B) perbandingan bersama tapak meteorit besi, (C) perbandingan bersama tapak meteorit achondrit.....	89

## SENARAI FOTO

		<b>Halaman</b>
Foto 2.1	Jumpai struktur kon pecah di BBH (selepas Nur Asikin, 2013)...	18
Foto 2.2	Mikrostruktur PDF pada mineral kuarza batuan suevit BBH (selepas Nur Asikin, 2013).....	19
Foto 2.3	Kehadiran mikrostruktur PF (anak panah) pada permukaan mineral zirkon BBH (selepas Nur Syuhada, 2016).....	20

## SENARAI SINGKATAN

BBH	Bukit Bunuh
PASSC	<i>Planetary and Space Science Centre</i>
PGE	Kumpulan Unsur Platinum atau <i>Platinum Group Element</i>
XRF	<i>X-Ray Flourescence</i>
ICPMS	<i>Inductive Couple Plasma Mass Spectroscopy</i>
NAA	<i>Neutron Activation Analysis</i>
NIS-FA	<i>Nickel Sulphide Fire Assay</i>
ppm	<i>part per million</i>
ppb	<i>part per billion</i>
bdl	<i>below detection limit</i>

## **SENARAI LAMPIRAN**

- Lampiran A Keputusan analisis XRF (unsur major & surih)
- Lampiran B Keputusan analisis ICPMS dan NAA
- Lampiran C Senarai penerbitan/pembentangan
- Lampiran D Sejarah penyelidikan utama di Bukit Bunuh (selepas Mokhtar, 2020)

**ANALISIS KUMPULAN UNSUR PLATINUM (PGE), NIKEL (Ni), DAN  
KROMIUM (Cr) DI TAPAK PRASEJARAH BUKIT BUNUH, LENGGONG,  
PERAK UNTUK PEMBUKTIAN IMPAK METEORIT**

**ABSTRAK**

Tapak prasejarah Bukit Bunuh (BBH) telah ditemui semasa survei paleosekitaran yang dijalankan oleh Pusat Penyelidikan Arkeologi Global USM pada tahun 2001. BBH terletak di longitud 100° 58' 05" Timur dan latitud 5° 04' 05" Utara. Tapak ini telah mendedahkan kejadian impak meteorit dan bukti bengkel alat batu Paleolitik melalui bukti megaskopi, makroskopi dan mikroskopi. Tujuan kajian ini adalah untuk mendapatkan bukti kejadian impak meteorit melalui kaedah geokimia dengan menganalisis kepekatan unsur siderofil seperti kumpulan unsur platinum (PGE), nikel (Ni), dan kromium (Cr) ke atas batuan BBH. Metod yang digunakan adalah *X-Ray Fluorescence* (XRF), *Neutron Activation Analysis* (NAA), dan *Inductive Couple Plasma-Mass Spectroscopy* (ICPMS). Analisis kepekatan unsur siderofil telah dibuat ke atas 20 sampel batuan dalam kawah yang terdiri daripada batuan leburan impak, seuvit, metasedimen impak, kuarza impak dan granit impak manakala enam (6) sampel batuan luar kawah pula terdiri daripada batuan sabak, batu kapur, granit biotit, syiz kuarza, kuarza merah dan kuarza kelabu. Hasil analisis telah membuktikan bahawa kepekatan PGE yang ketara di BBH berbanding kepekatan PGE kerak bumi. Hal Ini dapat dibuktikan melalui kepekatan iridium (Ir) sampel batuan dalam kawah BBH yang berkepekatan 0.3 ppb iaitu 10 kali ganda berbanding kepekatan Ir di kerak bumi (0.022

ppb). Oleh itu, hasil kajian ini jelas menunjukkan bahawa tapak BBH pernah ditimpa bencana impak meteorit. Selain PGE, analisis kepekatan Ni dan Cr turut menunjukkan ciri-ciri meteorit jenis achondrit. Secara keseluruhan, penemuan ini menyokong bukti kejadian impak meteorit pernah berlaku di tapak prasejarah BBH.



**ANALYSIS OF PLATINUM GROUP ELEMENTS (PGE), NICKEL (Ni) AND  
CHROMIUM (Cr) AT BUKIT BUNUH PREHISTORIC SITE, LENGGONG,  
PERAK FOR METEORITE IMPACT EVIDENCE**

**ABSTRACT**

Bukit Bunuh prehistoric site (BBH) was found in 2001 during a palaeo-environmental survey by Centre for Global Archaeological Research USM. BBH is situated at 100° 58' 05" East dan 5° 04' 05" North. BBH revealed the meteorite impact event and Paleolithic stone tools through the megascopic, macroscopic, and microscopic evidence. The purpose of this study is to determine the concentration of siderophile elements such Platinum Group /PGE (Os, Ir, Ru, Rh, Pt, Pd, and Re), Nickel (Ni), and Chromium (Cr) in BBH rocks. The methods used are X-Ray Fluorescence (XRF), Neutron Activation Analysis (NAA), and Inductive Couple Plasma-Mass Spectroscopy (ICPMS). 20 impact-related rocks from inside the crater such as impact melt, seuvite, metasediment impact, quartz impact, & granite impact and six (6) target rocks from outside the crater such as slate, limestone, granite biotite, syiz quartz, red quartz and grey quartz were analyzed. The results showed some significant concentration of PGEs compared to the continental crust concentration. For an example, concentration of iridium (Ir) inside the crater is 0.3 ppb, which is 10 times higher than the bulk continental crust value (0.022 ppb). Thus, the new evidence from this study confirmed that the impact meteorite was happened at BBH. Besides PGE, concentration of Cr and

Ni suggest that the type of meteorite is an achondrite. The findings strengthen the evidence of impact meteorite were happened at BBH prehistoric site.

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Pengenalan**

Kajian ini memberi fokus kepada analisis geokimia untuk menentukan kandungan unsur siderofil seperti PGE (kumpulan unsur platinum), Nikel (Ni), dan Kobalt (Co) di dalam sampel batuan dari tapak Bukit Bunuh (BBH), Lembah Lenggong, Perak di samping analisis kandungan unsur major dan surih. Tapak BBH telah dikaji sejak 2001 dan antara penemuan penting adalah tapak manusia prasejarah serta bukti impak meteorit yang berusia 1.83 juta tahun dahulu. Bab ini akan menghuraikan tujuan, metod dan skop kajian secara terperinci. Walau bagaimanapun, pengertian unsur siderofil, sejarah kajian serta isu dan masalah di BBH akan dibincang terlebih dahulu untuk mendapatkan gambaran lengkap tentang fokus tesis. Bahagian akhir bab akan merumuskan kepentingan kajian dan rumusan bab.

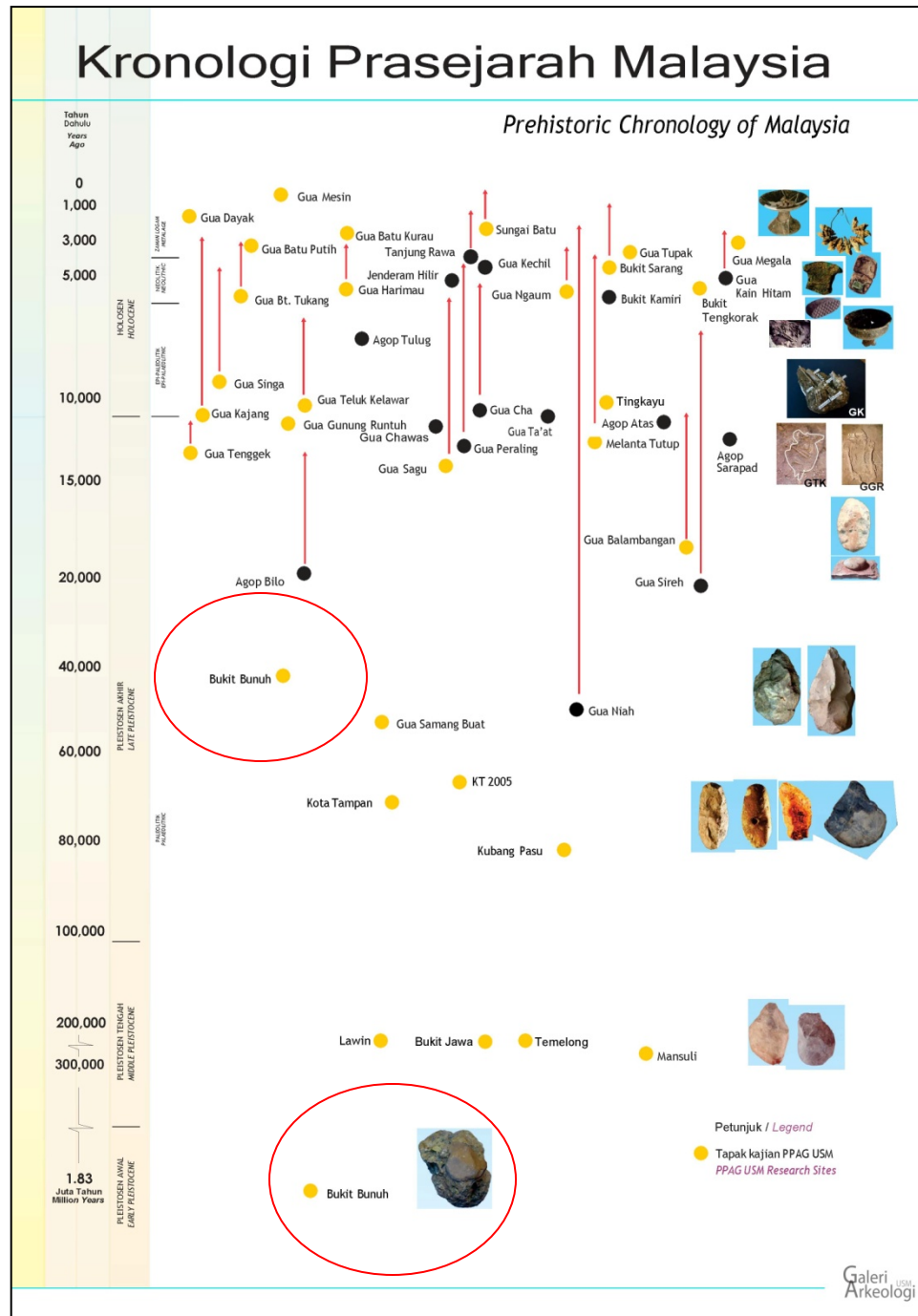
### **1.2 Kawasan kajian**

Bukit Bunuh (BBH) terletak dalam Lembah Lenggong di longitud  $100^{\circ} 58' 05''$  Timur dan latitud  $5^{\circ} 04' 05''$  Utara (Peta 1.1). Pelbagai kajian telah dijalankan di tapak ini sejak ia ditemui pada 2001 terutamanya dalam bidang arkeologi dan geologi. Secara umum, kajian arkeologi telah menemui bukti wujudnya aktiviti manusia awal pada 1.83 juta tahun dahulu (Mokhtar, 2012), 500,000 dan 100,000 tahun dahulu (Nor Khairunnisa, 2013), 40,000 tahun dahulu (Mokhtar, 2006) dan 30,000 tahun dahulu (Nor Khairunnisa, 2013). Kehadiran manusia awal pada 1.83 juta dahulu dibuktikan dengan

jumpaan beberapa alat batu dalam batuan seuvit iaitu batuan hasil impak meteorit. Selain itu, bukti arkeologi juga menunjukkan terdapat penggunaan bahan asas batuan impak meteorit dalam industri alat batu Paleolitik pada 500,000, 100,000, 40,000 dan 30,000 tahun dahulu (Nor Khairunnisa *et al.*, 2016) (Rajah 1.1).



Peta 1.1: Lokasi tapak Bukit Bunuh (selepas Nur Asikin, 2013)



Rajah 1.1: Bukit Bunuh (bulatan merah) dalam kronologi prasejarah Malaysia (selepas Galeri Arkeologi, 2020)

Kajian geofizik telah membuktikan wujudnya impak meteorit di BBH (Nawawi *et al.*, 2004; Samsudin *et al.* 2011; Samsudin, 2012; Saad *et al.*, 2013; N. Azwin *et al.*, 2014; Kiu, 2014; Nordiana *et al.*, 2014; Saad *et al.*, 2014a & 2014b & Rosli Saad, 2017) manakala kajian mineralogi pula telah menemukan bukti makroskopi dan mikroskopi pada batuan BBH yang boleh dikaitkan dengan impak meteorit (Hamzah, 2012a & 2012b; Wan Fuad *et al.*, 2012; Nur Asikin, 2013; Nur Syuhada, 2016; Nurul Amira, 2016; Nurazlin *et al.*, 2018 dan Anizan *et al.*, 2012). Berdasarkan rekod penyelidikan terdahulu, hanya satu sahaja kajian ke atas kandungan PGE di BBH telah dilakukan iaitu oleh Quek *et al.* (2015). Penyelidikan beliau menggunakan kaedah *Neutron Activation Analysis* (NAA) didapati tidak berjaya menemui sebarang unsur PGE.

Quek *et al.* (2015) dalam kajiannya telah menganalisis 12 batuan sampel yang terdiri daripada tiga batuan granit, dua batuan leburan impak, tiga batuan impak breksia, dan empat batuan mylonit yang diperolehi dari kawasan tapak impak BBH. Setiap sampel yang telah diserbukkan dihantar ke *Activation Lab*, Kanada untuk analisis kandungan PGE. Kaedah pemekatan sampel yang digunakan dalam kajian ini ialah *NiS-Fire Assay* sebelum dianalisis menggunakan NAA untuk mengukur kandungan PGE. Hasil analisis yang dibuat menunjukkan bahawa PGE gagal dikesan dalam setiap batuan BBH. Kesemua unsur PGE (Os, Ir, Ru, Rh, Pt, Pd, Re) menunjukkan nilai di bawah had pengesanan mesin. Berdasarkan hasil ini, Quek *et al.* (2015) merumuskan bahawa batuan impak di BBH tidak mempunyai data PGE yang mencukupi untuk membuktikan kejadian impak meteorit. Beliau berpendapat nilai PGE tidak dapat dikesan kerana (i) meteoroid yang menghentam BBH mungkin daripada jenis achondrit (kurang kandungan PGE), dan (ii) berlaku sudut jatuhnya meteoroid yang menyerong (impak oblik atau sudut

kurang dari 45°) yang mengakibatkan unsur PGE terserak jauh daripada pusat jatuhan. Lokasi BBH dipilih sebagai kawasan kajian kerana mempunyai bukti kejadian impak meteorit berdasarkan penyelidikan terdahulu dan kajian geokimia ini dapat mengukuhkan pembuktian sedia ada.

### **1.3 Isu dan masalah**

Sejarah kajian di BBH mendedahkan hanya Quek et al., (2015) sahaja yang telah menjalankan kajian PGE dengan kaedah NAA namun gagal mengesan sebarang bukti kehadiran unsur tersebut. Beliau telah membuat kesimpulan bahawa meteorit yang menimpa BBH berkemungkinan daripada jenis achondrit berdasarkan kajian Goderis *et al.* (2013) yang menyatakan bahawa meteorit jenis ini mempunyai kepekatan PGE yang sangat rendah dan sukar dibuktikan melalui analisis kimia. Apatah lagi, fragmen meteorit sukar ditemui kerana sebahagian besarnya telah terlebur dan meruap sewaktu hentaman berlaku (Norton, 2002).

Terdapat beberapa kelemahan yang dikenal pasti dalam kajian beliau. Salah satunya adalah kuantiti sampel yang dianalisis agak sedikit dan tidak mewakili pelbagai jenis batuan BBH. Bilangan sampel yang sedikit mengurangkan kebarangkalian untuk menemui unsur PGE dalam keseluruhan batuan.

Selain itu, didapati kaedah NAA yang digunakan mempunyai had pengesanan yang berbeza untuk setiap unsur iaitu Os (2.0 ppb), Ir (0.1 ppb), Pt (5.0 ppb), Pd (2.0 ppb), Re (5.0 ppb), dan Au (0.5 ppb). Had pengesanan yang tinggi untuk Os, Pt, Pd, dan Re boleh mengakibatkan unsur-unsur ini gagal dikesan sekiranya wujud dalam batuan dengan kuantiti yang kurang daripada kepekatan 1.0 ppb. Selain daripada kuantiti yang

sedikit, taburan PGE yang tidak sekata atau tidak homogenus dalam batuan impak menyukarkan pengkaji mendapatkan nilai yang tepat.

Sehingga kini, pembuktian impak meteorit melalui kehadiran unsur siderofil dan PGE kurang meyakinkan kerana tidak dapat dibuktikan secara kuantitatif. Selain itu, pengelasan jenis batuan BBH sebelum ini dibuat hanya berdasarkan pengelasan mineralogi dan pengelasan geokimia dapat mengukuhkan klasifikasi yang dibuat. Teori meteorit achondrit menimpa BBH yang dibuat oleh Quek (2015) juga tidak cukup kukuh kerana tidak bersandarkan kepada sebarang data analisis kimia kuantitatif.

Secara keseluruhan, kegagalan mengesan unsur ini memberi kesan tidak langsung kepada data arkeologi untuk mengukuhkan pembuktian berlakunya peristiwa kejadian impak meteorit di BBH pada zaman Paleolitik.

#### **1.4 Objektif kajian**

Berdasarkan isu dan masalah kajian yang telah dibincangkan, beberapa objektif kajian telah dirangka untuk mengatasinya. Secara amnya, tujuan utama kajian ini adalah untuk membuktikan kejadian impak meteorit di BBH melalui kaedah geokimia berdasarkan kewujudan unsur surih siderofil. Secara khususnya, tujuan kajian adalah:

- a) Menentukan kejadian impak meteorit di BBH berdasarkan kandungan unsur PGE secara kualitatif dan kuantitatif,
- b) Menentukan jenis batuan (samaada batuan leburan impak atau batuan biasa) di BBH berdasarkan kandungan Ir dan kandungan nisbah Cr/Ir, dan

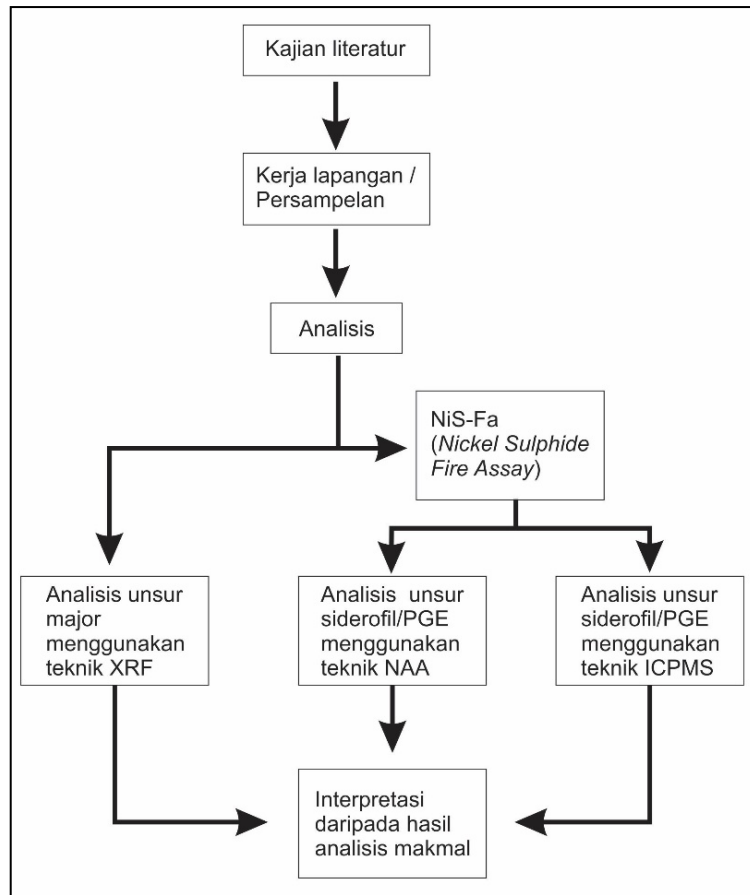


- c) Mengenal pasti jenis meteorit di BBH berdasarkan nisbah kandungan Ni/Cr, serta membuat perbandingan dengan beberapa tapak impak meteorit dunia berdasarkan kandungan unsur PGE.

## **1.5 Metodologi kajian**

Proses kajian dimulakan dengan kajian dan sorotan literatur sebelum diteruskan dengan persampelan di lapangan. Sampel yang diperolehi dari tapak kajian akan dibawa ke makmal untuk proses analisis. Beberapa teknik analisis telah dikenal pasti untuk kajian ini iaitu teknik *Neutron Activation Analysis* (NAA), *Inductive Couple Plasma Mass Spectroscopy* (ICP-MS) dan *X-Ray Fluorescence* (XRF). Teknik NAA dan ICPMS digunakan untuk memenuhi objektif 1.5a dan 1.5b. Teknik XRF pula digunakan untuk mengesan unsur Ni dan Cr dan memenuhi objektif 1.5c.

Carta alir pada Rajah 1.2 menerangkan metodologi kajian secara ringkas dan perbincangan terperinci berkaitan metod akan dihuraikan dalam Bab 3.



Rajah 1.2: Carta alir metodologi kajian

## 1.6 Skop kajian

Skop kajian ini melibatkan analisis geokimia unsur major dan unsur surih menggunakan kaedah *X-Ray Fluorescence* (XRF), *Inductive Couple Plasma Mass Spectroscopy* (ICPMS) dan *Neutron Activation Analysis* (NAA) untuk mendapatkan nilai kepekatan unsur siderofil (PGE, Co, Ni) dan Cr dalam batuan BBH. Data unsur kimia dalam batuan hasilan impak (impaktit) ini dapat menyokong kajian geofizik, mineralogi, dan makroskopi yang telah dibuat dalam pembuktian kejadian impak meteorit.

## 1.7 Huraian bab

Tesis ini akan dibahagikan kepada lima bab iaitu (1) Pendahuluan, (2) Kajian literatur, (3) Metodologi kajian, (4) Persampelan dan analisis makmal serta (5) Perbincangan dan kesimpulan.

Bab 1 membincangkan secara umum tentang latar belakang tapak impak meteorit BBH melalui kajian arkeologi, geofizik dan mineralogi. Selain itu, bab ini juga membincangkan unsur siderofil dan kepentingannya kepada kajian, isu dan masalah kajian, objektif, metodologi dan skop kajian.

Bab 2 pula akan membincangkan kriteria impak meteorit seperti yang telah ditetapkan oleh PASSC (*Planetary and Space Science Centre*) dan sejarah penyelidikan BBH yang melibatkan kajian megaskopik, makroskopik dan mikroskopik. Hasil analisis unsur siderofil di tapak impak meteorit dunia juga turut dibincangkan dalam bab ini.

Bab 3 akan membincangkan metodologi kajian seperti bacaan literatur untuk mendapatkan panduan kaedah analisis yang jelas, kerja lapangan yang melibatkan proses persampelan dan analisis makmal yang bermula di peringkat penyediaan sampel, pemekatan sampel, hinggalah analisis dengan menggunakan teknik XRF, ICPMS dan NAA.

Bab 4 pula akan membincangkan hasil persampelan yang telah dibuat, huraian data analisis XRF unsur major dan unsur surih batuan, analisis NAA dan ICPMS unsur PGE, Ni, Co, & Cr serta perbandingan dengan nilai kepekatan batuan luar kawah dan data kelimpahan kerak bumi.

Bab 5 iaitu bab akhir akan membincangkan analisis kuantitatif dan kualitatif kepekatan PGE, kepekatan Ir, nisbah Cr/Ir dan nisbah Ni/Cr yang diperolehi daripada batuan BBH. Interpretasi kajian dibuat berdasarkan hasil analisis ini dan seterusnya dirumuskan di bahagian kesimpulan. Selain itu, potensi penyelidikan masa hadapan dan sumbangan kajian kepada tapak BBH turut dibincangkan.

## **BAB 2**

### **KAJIAN LITERATUR**

#### **2.1 Pengenalan**

Bidang geologi memberikan istilah metamorfisme kejutan kepada setiap kawasan di muka bumi yang ditimpa meteorit. Hasil kejutan meteorit ini menyebabkan permukaan bumi yang ditimpanya mengalami perubahan daripada pelbagai segi bergantung kepada kekuatan impak khususnya daripada aspek tekanan dan suhu (Norton, 2002). PASSC (*Planetary and Space Science Centre*), University of New Brunswick, Kanada bertanggungjawab sepenuhnya kepada setiap bukti meteorit di peringkat dunia. Selain bukti penemuan batuan meteorit, PASSC (2020) menyenaraikan tiga klasifikasi utama sesebuah kawasan telah ditimpa bencana meteorit iaitu secara megaskopik (pandangan satelit), makroskopik (pandangan mata kasar) dan mikroskopik (pandangan melalui mikroskop). Oleh itu, bab ini akan membincangkan kesemua aspek tersebut dan kaitannya dengan BBH serta peranan kajian geokimia terhadap unsur siderofil untuk melengkapkan interpretasi terhadap bukti jumpaan impak meteorit.

#### **2.2 Bukti impak meteorit di Bukit Bunuh**

PASSC (2020) telah menggariskan beberapa kriteria wajib sesuatu kawasan itu boleh didakwa sebagai tapak impak meteorit. Antaranya adalah bukti kehadiran struktur kon pecah iaitu struktur makroskopi berbentuk kon pada batuan, kehadiran PDFs (*Planar Deformation Features*) iaitu garis halus selari pada permukaan mineral, dan kehadiran mineral polimorf yang hanya terhasil akibat tekanan tinggi seperti stishovit

dan coesit. Kriteria lain seperti bukti geofizik (morfometri), kehadiran batuan leburan impak dan batuan pseudotakalit menjadi kriteria sokongan kepada kriteria wajib tetapi tidak semestinya wujud di tapak impak. Jadual 2.1 memberikan gambaran keseluruhan berkaitan kriteria-kriteria ini.

Jadual 2.1: Kriteria impak meteorit oleh PASSC

<b>Bil</b>	<b>Kriteria</b>	<b>Kaedah</b>
1*	Kehadiran struktur kon pecah ( <i>shatter cone</i> )	Makroskopi
2*	bukti PDFs ( <i>Planar deformation features</i> ) dalam mineral	Mikroskopi
3*	Kehadiran mineral polimorf bertekanan tinggi	Mikroskopi + XRD/lain-lain
4	Morfometri (bukti geofizik- bentuk dan saiz kawah)	Megaskopi
5	Kehadiran batuan leburan impak/suevit	Makroskopi/ Mikroskopi
6	Kehadiran batuan pseudotakalit dan breksia	Makroskopi/ Mikroskopi

\* kriteria yang wajib dipenuhi dalam penentuan tapak impak meteorit

Kajian megaskopik, makroskopik dan mikroskopik ini telah dimulakan di BBH sejak 2001 dan telah berjaya menemui beberapa bukti penting untuk mengesahkan BBH sebagai tapak impak meteorit mengikut kriteria PASSC.

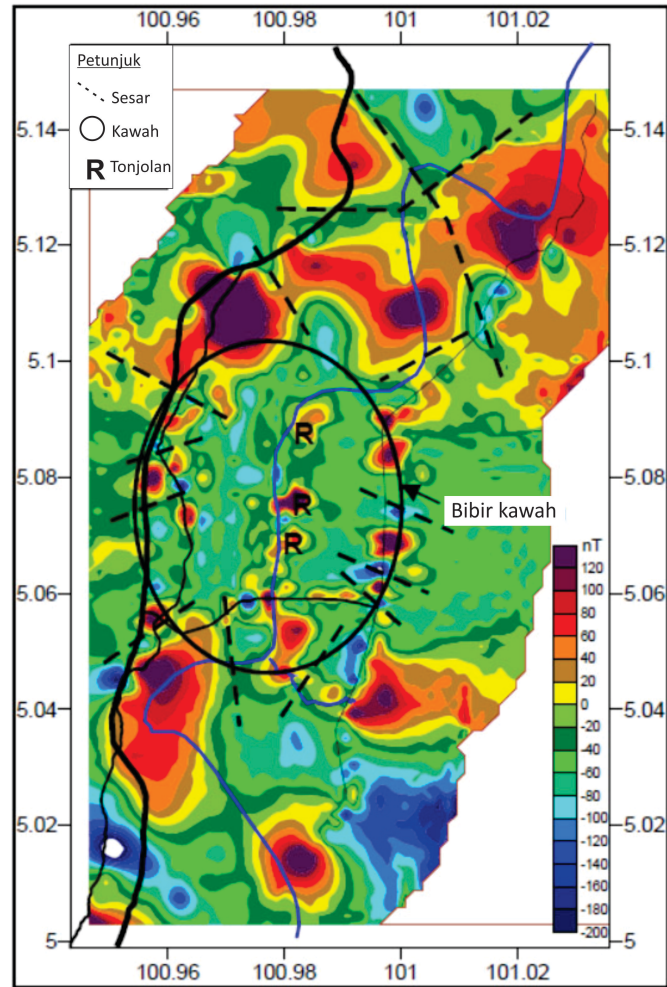
### 2.2.1 Kaedah megaskopik

Megaskopi merupakan teknik analisis yang meliputi kawasan yang luas. Kaedah ini juga dikenali sebagai morfometri yang digunakan khusus untuk mengesan struktur

atau bentuk kawah impak dengan menggunakan interpretasi penginderaan jauh, foto udara, LIDAR (*Light & Radar*), teknik geofizik dan lain-lain.

Sebanyak empat kaedah geofizik telah digunakan untuk mengkaji kewujudan kawah hentaman di kawasan BBH iaitu magnetik, graviti, pembiasan seismik (*siesmis refraction*), pengimejan resistiviti 2-D (*2-D resistivity imaging*) dan geoteknikal (penggerudian) (Rosli, 2017). Kaedah ini dapat menentukan lokasi kawah, diameter dan jenis kawah (kawah ringkas atau kawah kompleks). Morfologi kawah ringkas adalah berbentuk seperti mangkuk dengan pusat impak yang lebih dalam manakala kawah jenis kompleks mempunyai tonjolan tengah dengan pusat impak menonjol ke permukaan (*rebound area*) (Rosli, 2017).

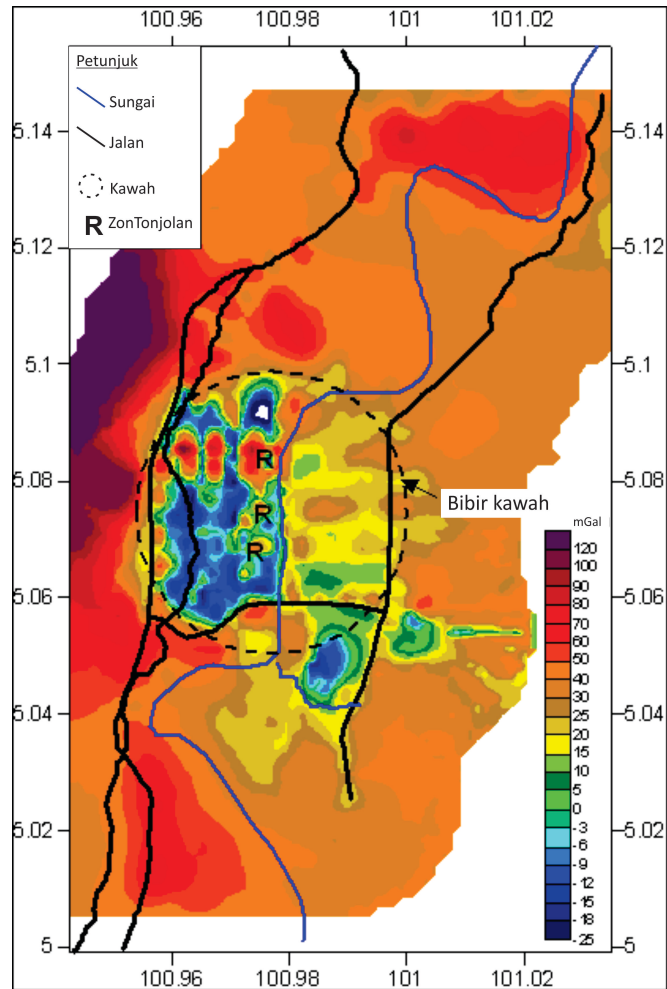
Hasil analisis kaedah graviti dan magnetik menunjukkan kawasan BBH dan sekitarnya boleh dibahagikan kepada dua zon iaitu zon magnetik beranomali tinggi dan zon magnetik beranomali rendah. Anomali yang tinggi boleh dikaitkan dengan kehadiran batuan dasar yang cetek di permukaan manakala anomali rendah pula menunjukkan kehadiran proses sedimentasi, limpahan tanah (*overburden*) atau retakan batuan dasar (*fractured*) (Saad *et al.*, 2014a). Kawasan di dalam kawah biasanya mempunyai bacaan anomali yang lebih rendah berbanding kawasan di luar kawah manakala bacaan anomali yang lebih tinggi di tengah kawah boleh dikaitkan dengan kawah jenis kompleks (Fauzi *et al.*, 2016). Kiu (2014) telah merekonstruksi lokasi kawah impak meteorit BBH dan mencadangkan kawah BBH adalah jenis kawah kompleks berdasarkan kehadiran tonjolan tengah (*rebound area*) (Peta 2.1).



Peta 2.1: Peta kontor hasil kaedah magnetik di kawasan Lenggong, Perak (selepas Saad *et al.*, 2014a)

Peta kontor anomali Bouguer BBH juga didapati konsisten dengan peta magnetik yang dihasilkan oleh Kiu (2014). Bacaan Bouguer anomali rendah muncul di satu kawasan dan dikelilingi bacaan Bouguer anomali tinggi (garis bulatan putus) yang diinterpretasi sebagai bibir kawah (Peta 2.2). Terdapat beberapa titik bacaan Bouguer tinggi di tengah bacaan rendah Bouguer yang mencadangkan tonjolan tengah (Rosli, 2017).

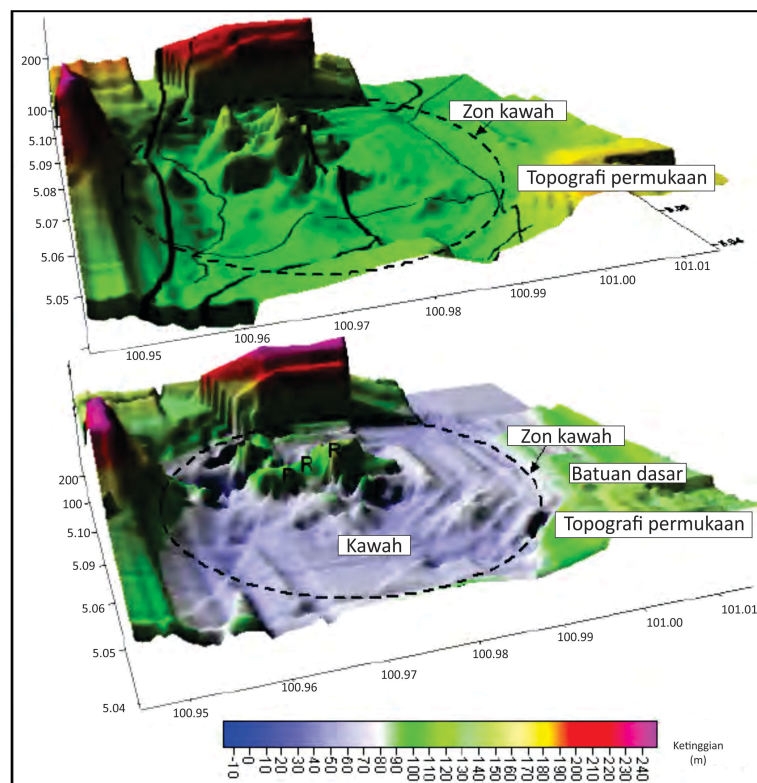




Peta 2.2: Peta kontor anomali Bouguer Lenggong, Perak (selepas Saad *et al.*, 2014b)

Kajian 2D-resistiviti tomografi (*Electric Resistivity Tomography/ERT*) telah dijalankan di bahagian barat Sungai Perak dengan lima garis survei dibuat sepanjang kira-kira 16km<sup>2</sup> merentasi BBH. Hasil 2D-ERT menunjukkan terdapat dua zon asas iaitu kawasan resistiviti rendah dengan bacaan 10-800Ω-m dan kawasan resistiviti tinggi dengan bacaan melebihi 2000Ω-m. Zon resistiviti rendah dikenalpasti sebagai lapisan aluvium manakala zon resistiviti tinggi pula adalah batuan granit (Nordiana *et al.*, 2014).

Analisis pembiasan seismik (*seismik refraction*) mendapati kawasan BBH dan sekitarnya terdiri daripada dua lapisan utama. Lapisan pertama didominasi oleh aluvium yang bercampur dengan batuan dengan nilai pembiasan 400-1,100 m/s manakala lapisan kedua dengan pembiasan 2,100-4,400 m/s pada kedalaman 5-50m diinterpretasi sebagai batuan dasar (Rosli, 2017). Peta 2.3 menunjukkan topografi batuan dasar dan permukaan bumi di kawasan kajian dengan bukti tonjolan tengah (R) di kawasan kawah impak.



Peta 2.3: Peta topografi 3D hasil kaedah 2D-resistiviti di Lenggong, Perak (selepas Nordiana *et al.*, 2014)

Kesimpulannya, kajian geofizik telah merumuskan bahawa kawah impak BBH adalah jenis kawah kompleks dengan tonjolan tengah (*rebound area*) yang berdiameter enam km (Rosli, 2017). Koordinat tapak impak ini dinyatakan dalam Jadual 2.2.

Jadual 2.2: Koordinat kawah impak BBH dan tonjolan tengah/*rebound area* (selepas Rosli, 2017)

Lokasi	Koordinat	
	Timur	Utara
Tonjolaan tengah, R1	100.9853	5.089308
Tonjolaan tengah, R2	100.9811	5.076065
Tonjolaan tengah, R3	100.9827	5.068166
Bibir kawah (Utara)	100.9818	5.101389
Bibir kawah (Selatan)	100.9614	5.072813
Bibir kawah (Timur)	100.9802	5.045631
Bibir kawah (Barat)	101.0009	5.072580

### 2.2.2 Kaedah makroskopik

Kaedah ini merupakan teknik pembuktian impak berdasarkan jumpaan di lapangan dan boleh dilihat dengan pandangan mata kasar seperti jumpaan struktur kon pecah (*shatter cone*) dan batuan impaktit (Norton, 2002).

Jumpaan pelbagai jenis material batuan seperti rijang, flin, akik dan suevit di BBH adalah disebabkan oleh kesan impak meteorit (Mokhtar, 2006). Berdasarkan penelitian makroskopi dan mikroskopi, Hamzah (2012a) telah mengelaskan batuan BBH kepada enam jenis iaitu i) batuan leburan impak, ii) batuan suevit, iii) batuan polimik litik breksia, iv) batuan metasedimen impak, v) batuan granit impak dan vi) batuan kuarza impak.

Antara penemuan makroskopi yang paling penting adalah penemuan struktur kon pecah (*shatter cone*) di empat lokasi berbeza di BBH iaitu pada batuan granit, kuarza

dan suevit (Foto 2.1). Selain itu, struktur pseudotakalit (struktur yang terhasil pada batuan akibat halaju mengejut) turut ditemui sebagai bukti tambahan kejadian impak meteorit (Nur Asikin, 2013).



Foto 2.1: Jumpaan struktur kon pecah di BBH (selepas Nur Asikin, 2013)

### 2.2.3 Kaedah mikroskopik

Kaedah ini melibatkan pembuktian impak berdasarkan analisis di makmal terhadap sampel lapangan yang diperolehi. Analisis ini tidak terhad kepada alatan mikroskopi seperti mikroskop mineral dan SEM (*Scanning Electron Microscope*), malah turut melibatkan alatan XRD (*X-Ray Diffraction*), XRF (*X-Ray Fluorescence*) dan lain-lain.

Nur Asikin (2013) telah berjaya menemui struktur PDF (*Planar Deformation Features*) pada mineral kuarza batuan BBH (Foto 2.2). Jumpaan struktur ini menandakan batuan BBH pernah menerima tekanan impak sekurang-kurangnya 35 Giga paskal dan menjadi bukti paling diperlukan dalam kriteria PASSC.

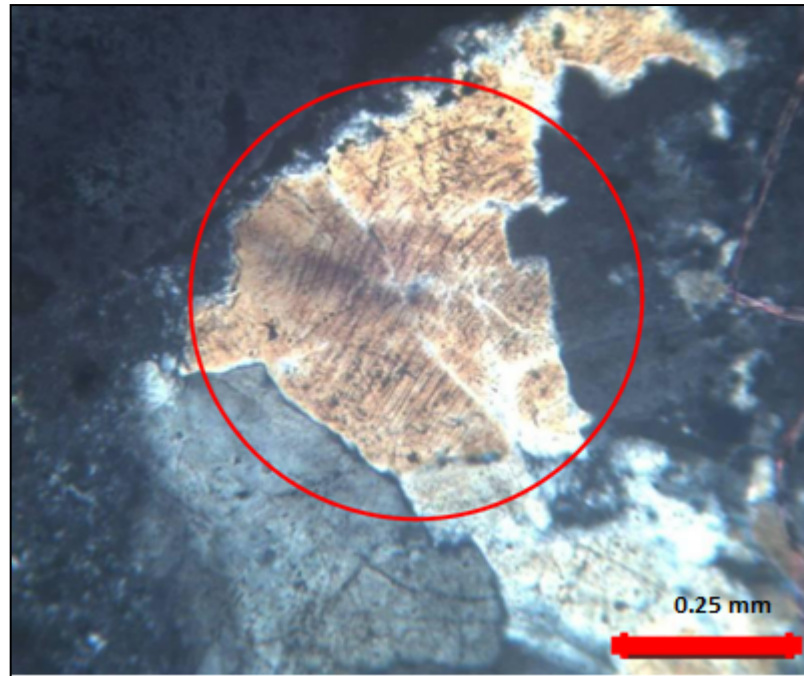


Foto 2.2: Mikrostruktur PDF pada mineral kuarza batuan suevit BBH (selepas Nur Asikin, 2013)

Kajian yang telah dilakukan oleh Nurul Amira (2016) berkaitan metasedimen impak di BBH telah menemui beberapa ciri atau stuktur hasil impak seperti i) regmaglypts, ii) kulit luar batuan yang melepuh dan berongga dan iii) mineral berkaca dengan bentuk anhedral. Menurut Svetsov (2003), regmaglypts terhasil akibat hakisan pergolakan jisim udara panas semasa jatuhnya meteorit manakala kulit luar batuan yang melepuh serta struktur berongga terjadi akibat proses peleburan dan penyejukan mengejut semasa kejadian impak.

Kajian untuk mengenal pasti mineral berat di BBH telah dijalankan oleh Nurazlin (2018). Proses penyampelan dibuat sebanyak tiga fasa dan sejumlah 61 sampel dianalisis menggunakan alatan XRD. Hasil analisis telah mengesahkan kehadiran

mineral polimorf yang hanya wujud akibat tekanan tinggi (impak meteorit) seperti stishovit, coesit, akimotoit, ringwoodit, reidit dan wadleyit.

Nur Syuhada (2016) telah menemui mineral zirkon dalam batuan BBH dengan beberapa ciri yang menjadi bukti kesan impak meteorit seperti kehadiran mikrostruktur PF (*Planar Features*), PDF (*Planar Deformation Features*), mineral reidit dan tekstur granular (Foto 2.3).

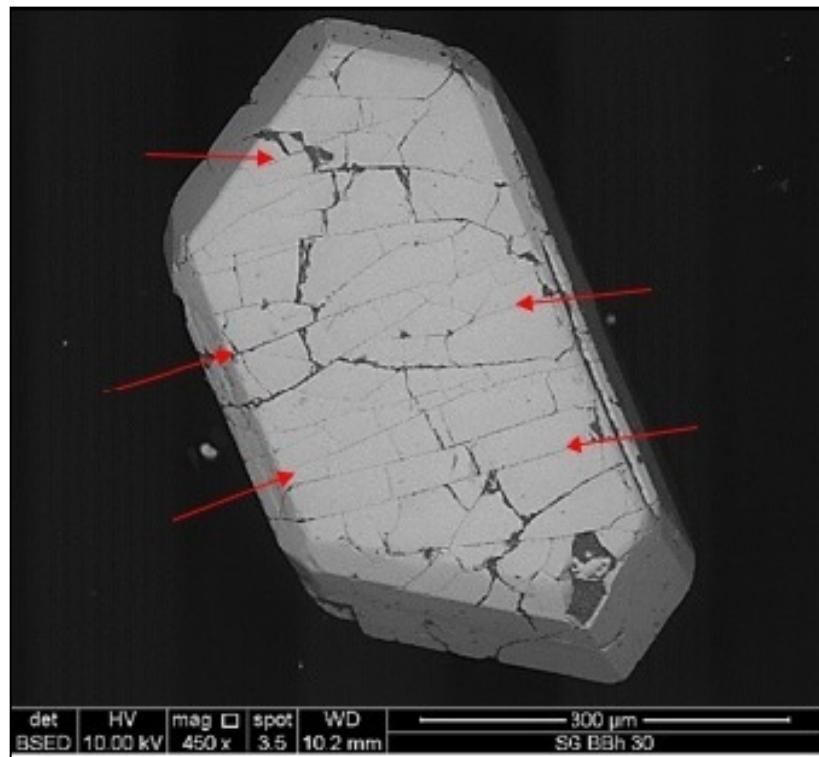


Foto 2.3: Kehadiran mikrostruktur PF (anak panah) pada permukaan mineral zirkon BBH (selepas Nur Syuhada, 2016)

### 2.3 Unsur siderofil dalam meteorit

Pembuktian impak meteorit secara langsung adalah melalui penemuan fragmen atau serpihan meteorit seperti yang ditemui di tapak Morasko (Poland), Henbury (Australia), Chicxulub (Mexico) dan Morokweng (Afrika Selatan) (Goderis *et al.*, 2013). Walau bagaimanapun, kebarangkalian untuk menemui fragmen meteorit adalah tipis kerana sebahagian besarnya akan melebur sewaktu kejadian impak. Hal ini kerana, hentaman meteorit ke atas permukaan bumi menghasilkan suhu melebihi 3000°C dengan tekanan sekurang-kurangnya 100 GPa akan mengakibatkan sebahagian besar meteorit dan batuan bumi melebur (Norton, 2002).

Oleh itu, saintis memberikan tumpuan kajian bukti impak meteorit dengan kaedah secara tidak langsung iaitu melalui penentuan kandungan unsur surih meteorit yang terdapat dalam batuan leburan impak. Secara umumnya, unsur surih adalah kandungan kimia yang terdapat di dalam batuan dengan kadar yang sangat sedikit berbeza dengan unsur major sebagai kandungan utama. Unsur surih dalam batuan meteorit ini berpadu dengan batuan kerak bumi sebelum berlakunya penyejukan dan membentuk batuan baru yang dipanggil batuan leburan impak. Kandungan unsur surih dalam meteorit adalah berbeza dan unik jika dibandingkan dengan kandungan unsur permukaan bumi. Pengesanan unsur surih meteorit yang terdapat dalam batuan leburan impak dapat memberikan bukti yang meyakinkan untuk mendakwa kejadian impak meteorit pernah berlaku di sesuatu kawasan (Koeberl, 2014). Walau bagaimanapun, hanya unsur yang mempunyai jurang kepekatan yang tinggi (kepekatan tinggi dalam meteorit vs kepekatan rendah dalam kerak bumi) sahaja yang dapat memberikan data yang bermakna.

Berdasarkan kajian terdahulu, unsur surih jenis siderofil sahaja yang mempunyai ciri-ciri ini.

Siderofil berasal dari perkataan *sideron* (logam) dan *phileo* (cinta). Hal ini bermaksud unsur ini cenderung untuk larut dan sebatu dalam larutan logam sama ada dalam bentuk cecair atau leburan (Goldschmidt, 1937). Siderofil terdiri daripada 14 unsur namun hanya lapan unsur siderofil sahaja yang dapat memberikan data yang bermakna kerana mempunyai jurang kepekatan yang tinggi (kepekatan tinggi dalam meteorit tetapi rendah dalam batuan kerak bumi). Unsur tersebut dikenali sebagai Kumpulan Unsur Platinum atau PGE (Ru, Rh, Pd, Os, Ir & Pt), Nikel (Ni), dan Kobalt (Co) (Morgan *et al.*, 1975; Palme *et al.*, 1978 dan Wolf *et al.*, 1980).

Unsur PGE terdiri daripada unsur logam iaitu Rutenium (Ru, no. atom 44), Rodium (Rh, no. atom 45), Paladium (Pd, no. atom 46), Osmium (Os, no. atom 76), Iridium (Ir, no. atom 77) dan Platinum (Pt, no. atom 78). Kumpulan logam ini mempunyai sifat fizikal yang sama iaitu berwarna perak kecerahan atau kebiruan. PGE mempunyai nilai komersial yang tinggi dan banyak digunakan dalam bidang elektronik, petrokimia, implan perubatan, barangan perhiasan dan perdagangan (Zientek *et al.*, 2010). Permintaan yang tinggi mengakibatkan harga unsur PGE di pasaran sangat tinggi apatah lagi sumber galiannya juga terhad.

PGE paling sesuai dijadikan asas dalam analisis impak meteorit berdasarkan perbezaan kepekatan PGE dalam meteorit dan kerak bumi seperti yang dinyatakan dalam Jadual 2.3. Jadual ini jelas menunjukkan bahawa jurang perbezaan kepekatan sehingga 1000 kali ganda antara batuan meteorit dan kerak bumi bagi setiap unsur PGE yang dikaji. Walau bagaimanapun, terdapat juga meteorit seperti achondrit yang



mempunyai kepekatan PGE yang rendah dan sukar untuk ditentukan (Goderis *et al.*, 2013).

Jadual 2.3: Perbandingan unsur PGE dalam meteorit chondrit dan batuan kerak bumi

Unsur	Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt	Rujukan
meteorit chondrit	900	130	700	490	700	1800	Anders & Grevesse (1989)
batuan kerak bumi	0.210	0.38	0.520	0.031	0.022	0.510	Taylor & Mc Lennan (1985)

\* unit dalam ppb

Selain PGE, Nikel (Ni, no. atom 28) dan Kobalt (Co, no. atom 27) ialah unsur dalam kumpulan siderofil yang turut menyumbang data penting dalam menyokong analisis PGE dalam penentuan impak meteorit. Unsur Kromium (Cr, no. atom 24) pula bukanlah unsur dalam kumpulan siderofil namun turut memainkan peranan penting dalam pengelasan jenis meteorit. Cr berada dalam kumpulan transisi logam seperti yang ditunjukkan dalam Jadual Berkala (Rajah 2.1).

Petunjuk

- unsur siderophile
- kumpulan unsur platinum (PGE)

1 1A H Hydrogen 1.008	2 2A Li Lithium 6.94	3 3A Be Beryllium 9.0121831	4 4A B Boron 10.81	5 5A C Carbon 12.011	6 6A N Nitrogen 14.007	7 7A O Oxygen 15.999	8 8A F Fluorine 18.99840323	9 9A Ne Neon 20.1797	10 10A Na Sodium 22.98976928	11 11A Mg Magnesium 24.305	12 12A Al Aluminium 26.9815385	13 13A Si Silicon 28.0855	14 14A P Phosphorus 30.973761998	15 15A S Sulfur 32.06	16 16A Cl Chlorine 35.45	17 17A Ar Argon 39.948	18 18A K Potassium 39.0983	19 19A Ca Calcium 40.078	20 20A Sc Scandium 44.955908	21 3 Ti Titanium 47.887	22 4 V Vanadium 50.9415	23 5 Cr Chromium 51.9961	24 6 Mn Manganese 54.938044	25 7 Fe Iron 55.845	26 8 Co Cobalt 58.933194	27 9 Ni Nikel 58.6934	28 10 Cu Copper 63.546	29 11 Zn Zinc 65.38	30 12 Ga Gallium 69.723	31 13 Ge Germanium 72.630	32 14 As Arsenic 74.921595	33 15 Se Selenium 78.971	34 16 Br Bromine 79.904	35 17 Kr Krypton 83.798	36 18 Rb Rubidium 85.4678	37 19 Sr Strontium 87.62	38 20 Y Yttrium 88.90584	39 3 Zr Zirconium 91.224	40 4 Nb Niobium 92.90637	41 5 Mo Molybdenum 95.94	42 6 Tc Technetium 98	43 7 Ru Ruthenium 101.07	44 8 Rh Rhodium 102.90550	45 9 Pd Palladium 106.42	46 10 Ag Silver 107.8682	47 11 Cd Cadmium 112.414	48 12 In Indium 114.818	49 13 Sn Tin 118.710	50 14 Sb Antimony 121.760	51 15 Te Tellurium 127.60	52 16 I Iodine 126.90447	53 17 Xe Xenon 131.29	54 18 Cs Caesium 132.90545196	55 19 Ba Barium 137.327	56 20 La Lanthanoids 138.9047	57 3 Hf Hafnium 178.49	58 4 Ta Tantalum 180.94788	59 5 W Tungsten 183.84	60 6 Re Rhenium 186.207	61 7 Os Osmium 190.23	62 8 Ir Iridium 192.222	63 9 Pt Platinum 195.084	64 10 Au Gold 196.966569	65 11 Hg Mercury 200.59	66 12 Tl Thallium 204.38	67 13 Pb Lead 207.2	68 14 Bi Bismuth 208.98040	69 15 Po Polonium (209)	70 16 At Astatine (210)	71 17 Rn Radon (222)	72 18 Fr Francium (223)	73 19 Ra Radium (226)	74 20 Ac Actinoids (227)	75 3 Rf Rutherfordium (261)	76 4 Db Dubnium (261)	77 5 Sg Seaborgium (266)	78 6 Bh Bohrium (264)	79 7 Hs Hassium (277)	80 8 Mt Meitnerium (276)	81 9 Ds Darmstadtium (285)	82 10 Rg Roentgenium (282)	83 11 Cn Copernicium (285)	84 12 Nh Nihonium (286)	85 13 Fl Flerovium (289)	86 14 Mc Moscovium (288)	87 15 Lv Livermorium (293)	88 16 Ts Tennessine (294)	89 17 Og Oganesson (284)	89 1 La Lanthanum 138.9047	90 2 Ce Cerium 140.12	91 3 Pr Praseodymium 140.90766	92 4 Nd Neodymium 144.242	93 5 Pm Promethium (145)	94 6 Sm Samarium 150.36	95 7 Eu Europium 151.964	96 8 Gd Gadolinium 157.25	97 9 Tb Terbium 158.92535	98 10 Dy Dysprosium 162.500	99 11 Ho Holmium 164.93033	100 12 Er Erbium 167.259	101 13 Tm Thulium 168.93422	102 14 Yb Ytterbium 173.045	103 15 Lu Lutetium 174.967	104 1 Ac Actinium (227)	105 2 Th Thorium 232.0377	106 3 Pa Protactinium 231.03688	107 4 U Uranium 238.02891	108 5 Np Neptunium (237)	109 6 Pu Plutonium (244)	110 7 Am Americium (243)	111 8 Cm Curium (247)	112 9 Bk Berkelium (247)	113 10 Cf Californium (251)	114 11 Es Einsteinium (252)	115 12 Fm Fermium (257)	116 13 Md Mendelevium (258)	117 14 No Nobelium (259)	118 15 Lr Lawrencium (260)
-----------------------------------	----------------------------------	---	--------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	----------------------------------	---	----------------------------------	--	--	--	---------------------------------------	--	-----------------------------------	--------------------------------------	------------------------------------	--	--------------------------------------	--	-------------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	---	---------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	---------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------------	--	--------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	---	-------------------------------------	---	------------------------------------	--	------------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------	--	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------	---	-----------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------	--	--	--	-------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--	---------------------------------------	--------------------------------------	--	-----------------------------------	--	---------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	---	--	--------------------------------------	---	---	--	-------------------------------------	---------------------------------------	---	---------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------	---	---	-------------------------------------	---	--------------------------------------	--

Rajah 2.1: Kedudukan unsur siderofil dan PGE dalam Jadual Berkala (Goldschmidt,1937)

## 2.4 Analisis siderofil di tapak impak meteorit dunia

Sehingga kini, sebanyak 190 tapak telah diiktiraf sebagai tapak impak meteorit dunia (PASSC, 2020). Hanya 45 tapak daripada 190 tapak yang diiktiraf ini telah dijalankan analisis geokimia dan telah berjaya membuktikan kehadiran unsur siderofil untuk mengesahkan kejadian impak meteorit (Koeberl, 2014). Analisis unsur siderofil adalah sangat penting sekiranya tiada bukti jumpaan pecahan meteorit ditemui.

Jadual 2.4 menunjukkan senarai sebahagian tapak impak meteorit dunia dan hasil analisis geokimia yang telah dijalankan. Pelbagai kaedah dijalankan bagi mengumpul bukti geokimia batuan antaranya adalah penggunaan NAA (*Neutron Activation Analysis*), ICPMS (*Inductive Couple Plasma Mass Spectroscopy*) dan analisis isotop. Kebanyakan analisis yang dijalankan adalah analisis kuantitatif unsur siderofil (PGE, Ni, Co, Cr) manakala analisis perbandingan isotop (kualitatif) pula dapat memberikan maklumat berkaitan jenis meteorit yang terlibat.

Jadual 2.4: Senarai tapak impak dunia dengan bukti jumpaan dan analisis geokimia (diubahsuai daripada Goderis *et. al.*, 2013)

Tapak Impak	Usia (Ma)	Jenis meteorit	Diameter Kawah (km)	Sub-Klasifikasi	Jumpaan/ analisis	Rujukan
Morasko, Poland	<0.01	Besi	0.10	IIIC	M	Koblitz (2000)
Kaalijarvi, Estonia	0.004±0.001		0.11	IA	M	Buchwald (1975), Koblitz (2000)
Wabar, Arab Saudi	0.006±0.002		0.12	IIIA	M,S	Morgan <i>et al.</i> (1975), Mittlefehldt <i>et al.</i> (1992b)
Henbury, Australia	<0.005		0.16	IIIA	M,S	Taylor (1967), Koblitz (2000)
Odessa, USA	<0.05		0.17	IA	M	Buchwald (1975), Koblitz (2000)