

**KAJIAN TERHADAP MINERAL POLIMORF
SEBAGAI BUKTI IMPAK METEORIT DAN
KAITANNYA DENGAN BAHAN ASAS INDUSTRI
LITIK DI BUKIT BUNUH, LENGGONG, PERAK,
MALAYSIA**

NURAZLIN BT ABDULLAH

**UNIVERSITI SAINS MALAYSIA
2017**

**KAJIAN TERHADAP MINERAL POLIMORF
SEBAGAI BUKTI IMPAK METEORIT DAN
KAITANNYA DENGAN BAHAN ASAS INDUSTRI
LITIK DI BUKIT BUNUH, LENGGONG, PERAK,
MALAYSIA.**

oleh

NURAZLIN BT ABDULLAH

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

JULAI 2017

PENGHARGAAN

Syukur Alhamdulillah dengan limpah rahmat dan kesyukuran yang tidak terhingga ke hadrat Ilahi kerana dengan izin dan kekuasaanNya dapat saya menyempurnakan penulisan tesis ini. Setinggi-tinggi penghargaan dan jutaan terima kasih dirakamkan kepada Prof. Dato' Dr. Mokhtar Saidin, Pengarah Pusat Penyelidikan Arkeologi Global (PPAG), Universiti Sains Malaysia dan selaku penyelia saya atas segala nasihat, dorongan, bantuan dan keprihatinan semasa menyempurnakan tesis ini. Pada kesempatan ini juga saya ingin merakamkan ribuan terima kasih kepada Prof. Hamzah Mohamad yang sedia memberi bimbingan dan tunjuk ajar semasa menganalisis data kajian untuk tesis ini. Sanjungan budi juga kepada semua pensyarah-pensyarah, pegawai dan staf serta rakan-rakan saya di Pusat Penyelidikan Arkeologi Global atas sokongan dan dorongan dalam menyiapkan tesis ini.

Kajian ini telah disokong daripada segi kewangan terutamanya oleh Geran Penyelidikan Universiti, USM dan biasiswa Mybrain oleh Kementerian Pengajian Tinggi yang telah banyak memudahkan kajian ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Jabatan Warisan Malaysia atas keizinan bagi memasuki kawasan kajian Bukit Bunuh.

Pada masa yang sama, penghargaan dan terima kasih yang tidak terhingga ditujukan kepada keluarga tercinta. Akhir sekali, saya ingin tujukan ucapan terima kasih kepada semua yang terlibat secara langsung atau tidak langsung dalam menghasilkan disertasi ini dan diharapkan disertasi ini dapat memberikan maklumat yang berguna.

KANDUNGAN

PENGHARGAAN	ii
KANDUNGAN	iii
SENARAI JADUAL	vii
SENARAI RAJAH	viii
SENARAI PLET	xi
ABSTRAK	xii
ABSTRACT	xiii
BAB 1 TAPAK PALEOLITIK DAN IMPAK METEORIT BUKIT BUNUH	1
1.1 Pengenalan	1
1.2 Mineral Polimorf	1
1.3 Kedudukan Lokasi Kawasan Kajian	2
1.4 Kajian Geoarkeologi Terdahulu di Bukit Bunuh	3
1.4.1 Kajian Geologi	3
1.4.2 Kajian Arkeologi	7
1.5 Isu dan Masalah	12
1.6 Objektif Kajian	15
1.7 Kaedah Kajian	15
1.7.1 Kajian Lapangan	16
1.7.2 Kajian Makmal	17
1.7.2(a) Pemisahan Cecair Berat	17
1.7.2(b) Pembelauan Sinar-X (XRD)	17
1.7.2(c) Pendaflor Sinar-X (XRF)	18
1.7.2(d) Instrumentasi Pengaktifan Neutron (INAA)	18

	1.7.2(e) Kekuatan Mampatan Sepaksi (UCS)	19
1.8	Skop Kajian	20
BAB 2	MINERAL-MINERAL POLIMORF DAN BAHAN ASAS DALAM INDUSTRI LITIK	22
2.1	Pengenalan	22
2.2	Mineral-Mineral Polimorf Tekanan Tinggi	22
	2.2.1 Cirian Mineral Polimorf di Bukit Bunuh	25
	2.2.1(a) Koesit, SiO_2	26
	2.2.1(b) Stishovit, SiO_2	28
	2.2.1(c) Akimotoit, $(\text{Mg},\text{Fe}^{2+})\text{SiO}_3$	30
	2.2.1(d) Ringwoodit, $(\text{Mg},\text{Fe}^{2+})_2\text{SiO}_4$	31
	2.2.1(e) Wadsleyit, $(\text{Mg},\text{Fe}^{2+})_2(\text{SiO}_4)$	33
	2.2.1(f) Reidit, ZrSiO_4	33
2.3	Bahan Asas Industri Litik	46
2.4	Rumusan Bab	52
BAB 3	BAHAN DAN KAEDAH	55
3.1	Pengenalan	55
3.2	Pemilihan Sampel Mineral Berat	55
3.3	Kerja lapangan	61
	3.3.1 Persampelan Sampel	61
	3.3.2 Fasa Persampelan dan Lokality Sampel	69
3.4	Analisis Makmal	75

3.4.1	Pemisahan Cecair Berat	75
3.4.2	Pembelauan Sinar-X (XRD)	77
3.4.3	Spektrometri Pendarflour Sinar-X (XRF)	79
3.4.4	Instrumentasi Analisis Pengaktifan Neutron (NAA)	80
3.4.5	Kekuatan Mampatan Sepaksi (UCS)	81
3.5	Rumusan Bab	81
BAB 4	HASIL DAN PERBINCANGAN: KEHADIRAN MINERAL POLIMORF DAN IMPLIKASINYA	84
4.1	Pengenalan	84
4.2	Analisis Pemisahan Cecair Berat	84
4.3	Analisis Pembelauan Sinar-X (XRD)	86
4.4	Analisis Spektrometri Pendarflour Sinar-X (XRF)	109
4.5	Analisis Instrumentasi Analisis Pengaktifan Neutron (INAA)	116
4.6	Ujian Mampatan Kekuatan Batuan Sepaksi (UCS)	117
4.7	Rumusan Bab	118
BAB 5	BUKTI IMPAK METEORIT DI BUKIT BUNUH: MINERAL POLIMORF DAN KAITANNYA DENGAN BAHAN ASAS INDUSTRI LITIK	120
5.1	Bukit Bunuh Sebagai Kawasan Impak Meteorit	120
5.2	Kehadiran Mineral Polimorf Di Kawasan Sekitar Bukit Bunuh	123
5.3	Perkaitan Kehadiran Mineral Polimorf Dengan Sifat Bahan Asas Alat Batu Masyarakat Paleolitik Bukit Bunuh	124
5.5	Kajian Lanjutan	128
RUJUKAN		130

LAMPIRAN

1	Senarai Mineral Polimorf dan Lokalitinya.	152
2	Senarai Impak Meteorit Dunia.	163
3	Prosedur Analisis Pemisahan Cecair Berat.	191
4	Ukuran Ketepatan Analisis XRD.	192
5	Prosedur Analisis XRD.	193
6	Ukuran Kejituan Analisis XRF.	194
7	Prosedur Analisis XRF.	195
8	Jumlah Purata Unsur.	196
9	Analisis XRF terhadap asid borik sebagai piawaian bagi tiub x-ray Rhodium.	198
10	Laporan makmal Ujian UCS.	199
	GLOSARI	201
	SENARAI PENERBITAN DAN SENARAI PERSIDANGAN	207

SENARAI JADUAL

		Halaman
Jadual 2.1	Cirian Mineral Polimorf di Bukit Bunuh.	36
Jadual 2.2	Bahan asas di tapak kebudayaan Paleolitik Asia Tenggara (Brumm dan Moore, 2012; Nor Khairunnisa, 2013; Nur Asikin, 2013).	48
Jadual 3.1	Fasa-fasa pengambilan sampel.	70
Jadual 4.1	Keputusan analisis XRD bagi sampel MBBH.	86
Jadual 4.2	Keputusan analisis XRD bagi sampel MBBH.	87
Jadual 4.3	Keputusan analisis XRD bagi sampel MBBH.	88
Jadual 4.4	Keputusan analisis XRD bagi sampel Sg.BBh.	94
Jadual 4.5	Keputusan analisis XRD bagi sampel Sg.BBh.	95
Jadual 4.6	Keputusan analisis XRD bagi sampel Sg.BBh.	96
Jadual 4.7	Keputusan analisis XRD bagi sampel Sg.BBh.	96
Jadual 4.8	Keputusan analisis XRD bagi sampel Sg. MBBh.	101
Jadual 4.9	Pengiraan faktor pra-kepekatan (berdasarkan purata 51 sampel konsentrasi bagi pelbagai jenis batuan).	109
Jadual 4.10	Perbandingan antara nilai kelimpahan unsur dalam kerak bumi dengan nilai cerapan yang diperolehi.	110
Jadual 4.11	Pengiraan faktor pra-kepekatan.	115
Jadual 4.12	Perbandingan antara nilai kelimpahan unsur dalam kerak bumi dengan nilai cerapan yang diperolehi.	115
Jadual 4.13	Keputusan Ujian Kekuatan Mampatan	118
Jadual 5.1	Nilai kekerasan dan ketumpatan mineral polimorf yang terdapat di Bukit Bunuh.	127

SENARAI RAJAH

		Halaman
Rajah 1.1	Lokasi Bukit Bunuh, Lenggong, Malaysia.	3
Rajah 1.2	Kapak genggam dalam suevit (Mokhtar, 2012).	4
Rajah 1.3	Peta menunjukkan Garis Movius. Idea yang diterima adalah bifas Acheulean hanya berlaku di belakang Garis Movius, di Afrika dan barat Eurasia sahaja dan tidak muncul ke sempadan pemisah timur dan tenggara. Namun, artifak batu yang menyerupai bifas Acheulean telah ditemui dari hominin bukan moden dalam (1) Lembangan Bose, selatan China, (2) Ngebung 2 di Sangiran Jawa, (3) Wolo Sege dan (4) Liang Bua di Pulau Flores, timur Indonesia (Brumm dan Moore, 2012).	9
Rajah 1.4	Carta aliran metod kajian.	16
Rajah 2.1	Diagram fasa silika bagi pembentukan mineral polimorf stishovit dan koesit (Akhavan, 2014).	27
Rajah 2.2	Diagram fasa mineral polimorf $MgSiO_3$ bagi pembentukan mineral akimotoit. Trajektori A-D menunjukkan pembentukan mineral akimotoit dalam rim telorag, kaca piroksen dalam rim telorag, kaca piroksen dalam tengah telorag dan agregat framboidal serta akimotoit dendritik di tengah telorag (Imae dan Ikeda, 2010).	30
Rajah 2.3	Diagram fasa olivin bagi pembentukan mineral polimorf ringwoodit dan wadsleyit. Garis lurus menunjukkan kawasan fasa stabil bagi olivin, wadsleyit, ringwoodit dan perovskit + oksida manakala garis putus-putus menunjukkan anggaran peningkatan suhu apabila kedalaman mantel semakin bertambah dan pada zon benam (subduction zone) (Helffrich dan Wood, 2001).	32
Rajah 2.4	Diagram fasa zirkon bagi pembentukan mineral polimorf reidit (Morozova, 2015).	34
Rajah 3.1	Empat jenis dulang untuk pemisahan mineral berat: (a) dulang sax (b) dulang Batêa; (c) dulang piawai emas dan (d) dulang Freiburger (Stendal dan Theobald, 1994).	59
Rajah 3.2	Peta lokaliti sampel Fasa pertama MBBH menggunakan perisian <i>Google Earth</i> .	72
Rajah 3.3	Peta lokaliti sampel Fasa kedua Sg.BBh menggunakan perisian <i>Google Earth</i> .	73

Rajah 3.4	Peta lokaliti sampel Fasa ketiga Sg. MBBh menggunakan perisian <i>Google Earth</i> .	73
Rajah 3.5	Lokaliti semua sampel pada peta saliran yang telah disurih (Selepas Rosli <i>et al.</i> , 2014).	74
Rajah 3.6	Ilustrasi radas pemisahan cecair berat menggunakan Bromoform.	76
Rajah 3.7	Apparatus analisis pemisahan cecair berat yang dijalankan di makmal.	76
Rajah 4.1	Pola XRD menunjukkan kehadiran mineral koesit dan stishovit bagi sampel MBBH 1.	89
Rajah 4.2	Pola XRD menunjukkan kehadiran mineral koesit dan stishovit bagi sampel MBBH 7.	90
Rajah 4.3	Pola XRD menunjukkan kehadiran mineral koesit bagi sampel MBBH 18.	91
Rajah 4.4	Pola XRD menunjukkan kehadiran mineral koesit bagi sampel MBBH 22.	92
Rajah 4.5	Pola XRD menunjukkan kehadiran mineral koesit bagi sampel MBBH 29.	93
Rajah 4.6	Pola XRD menunjukkan kehadiran mineral koesit bagi sampel Sg. BBh 21.	97
Rajah 4.7	Pola XRD menunjukkan kehadiran mineral stishovit bagi sampel Sg. BBh 9.	98
Rajah 4.8	Pola XRD menunjukkan kehadiran mineral ringwoodit dan reidit dalam sampel Sg. BBh 22.	99
Rajah 4.9	Pola XRD menunjukkan kehadiran mineral polimorf akimotoit dalam sampel Sg. MBBh 9.	102
Rajah 4.10	Pola XRD menunjukkan kehadiran mineral polimorf akimotoit dan koesit bagi sampel Sg. MBBh 22.	103
Rajah 4.11	Pola XRD menunjukkan kehadiran mineral polimorf koesit bagi sampel Sg. MBBh 24.	104
Rajah 4.12	Pola XRD menunjukkan kehadiran mineral polimorf stishovit bagi sampel Sg. MBBh 30.	105

Rajah 4.13	Pola XRD menunjukkan kehadiran mineral polimorf akimotoit, koesit dan stishovit bagi sampel Sg. MBBh 34.	106
Rajah 4.14	Pola XRD menunjukkan kehadiran mineral polimorf stishovit dan wadsleyit dalam sampel Sg. MBBh 39.	107
Rajah 4.15	Peta taburan kehadiran mineral polimorf di Bukit Bunuh dan sekitarnya.	108
Rajah 4.16	Graf Elemen/Nombor Atom melawan Nilai Kepekatan (Konsentrasi).	111
Rajah 4.17	Taburan jumpaan unsur Ir di kawasan Bukit Bunuh dan sekitarnya selepas (Rosli , 2014).	114
Rajah 4.18	Graf Elemen/Nombor Atom melawan Nilai Kepekatan (Konsentrasi).	116

SENARAI PLET

		Halaman
Plet 3.1	Kaedah mendulang menggunakan dulang piawai lapangan emas.	62
Plet 3.2	Antara peralatan yang digunakan sewaktu mendulang.	63
Plet 3.3	Sedimen sungai diisi dalam dulang piawai lapangan emas sebelum proses mendulang.	63
Plet 3.4	Proses mendulang dilakukan dengan teliti.	64
Plet 3.5	Hasil dulangan yang diperolehi.	64
Plet 3.6	Pengambilan sedimen pada sungai besar yang kering di Bukit Bunuh, Lenggong. (5° 4'7.37"N, 100°58'27.38"E)	65
Plet 3.7	Pengambilan sedimen pada aliran sungai kuno di Bukit Bunuh, Lenggong. (5° 4'0.66"N, 100°58'8.40"E)	66
Plet 3.8	Pengambilan sedimen pada sungai yang tidak boleh mendulang kerana air sungai keruh. (5°4'19.95"N, 100°59'26.07"E)	66
Plet 3.9	Pengambilan sedimen pada aliran air di Bukit Bunuh, Lenggong. (5° 4'12.60"N, 100°59'26.40"E)	67
Plet 3.10	Pengambilan sedimen pada sungai cetek. (5° 4'23.19"N, 100°59'11.45"E)	67
Plet 3.11	Pemandangan di atas tebing pasir di Sungai Perak, Lenggong. (5°4'24.46"N, 100°58'39.65"E)	68
Plet 3.12	Proses mendulang sampel yang dilakukan di tebing pasir Sungai Perak, Lenggong.	68
Plet 3.13	Proses mendulang dilakukan di kawasan sungai yang mengalir dan jernih. (5° 5'52.10"N, 101° 0'59.50"E)	69
Plet 3.14	Keadaan di dalam Bukit Bunuh yang mana sungai menjadi kering dan menjadi aliran air sahaja.	71
Plet 3.15	Bacaan latitud dan longitud pada GPS, model GARMIN, COLORADO 400t.	72
Plet 4.1	Hasil mineral berat yang diperolehi sebelum dihaluskan untuk analisis makmal.	85
Plet 4.2	Sampel dimasukkan dalam piring petri untuk dikeringkan di dalam ketuhar.	85

**KAJIAN TERHADAP MINERAL POLIMORF SEBAGAI BUKTI IMPAK
METEORIT DAN KAITANNYA DENGAN BAHAN ASAS INDUSTRI LITIK DI
BUKIT BUNUH, LENGGONG, PERAK, MALAYSIA.**

ABSTRAK

Bukit Bunuh adalah kawasan impak meteorit berdasarkan kajian dan penyelidikan yang telah dilakukan dalam bidang geologi dan geofizik. Kajian ilmiah ini dilakukan bagi mengenal pasti kehadiran mineral polimorf tekanan tinggi dan mengukuhkan bukti bahawa Bukit Bunuh adalah kawasan impak meteorit. Kawasan kajian meliputi kawasan Bukit Bunuh, Lenggong, Perak. Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan kaedah mendulang serta beberapa sampel batuan di lapangan. Jumlah sampel yang dipungut di lapangan adalah 95 sampe dan empat jenis batuan. Kajian makmal yang dilakukan adalah kaedah pemisahan cecair berat, XRD, XRF dan INAA bagi menganalisis sampel dulangan dan ujian UCS bagi kekuatan batuan. Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan kehadiran mineral-mineral polimorf di dalam sampel yang telah diambil dari Bukit Bunuh dan sekitarnya berdasarkan keputusan XRD. Mineral polimorf yang paling banyak ditemui adalah mineral koesit berdasarkan jumpaan pada sembilan sampel, manakala mineral stishovit dengan lima sampel, mineral akimotoit dalam tiga sampel dan mineral polimorf ringwoodit, reidit dan wadsleyit dengan masing-masing satu sampel. Unsur Ir juga ditemui dengan kelimpahan yang lebih tinggi daripada nilai kelimpahan kerak bumi berdasarkan analisis XRF. Ini telah memberikan bukti kukuh bahawa Bukit Bunuh adalah kawasan impak meteorit. Ujian mampatan kekuatan sepaksi ke atas batuan juga telah menunjukkan batuan kuarzit mempunyai kekuatan mampatan yang tertinggi diikuti oleh batuan suevit, leburan impak dan kuarza. Selain itu, dengan penemuan mineral-mineral polimorf tekanan tinggi ini telah membuktikan bahawa batuan yang terdapat di Bukit Bunuh adalah bahan asas yang baik kerana mempunyai kekuatan dan ketahanan berbanding batuan jenis lain. Interpretasi teknologi industri litik di Bukit Bunuh mendedahkan terdapatnya teknologi pembuatan yang efisien dan efektif bersesuaian dengan bahan asasnya.

**RESEARCH ON POLYMORPH MINERALS AS EVIDENCE OF METEORITE
IMPACT AND ITS RELATIONSHIP WITH RAW MATERIAL IN LITHIC
INDUSTRY AT BUKIT BUNUH, LENGGONG, PERAK, MALAYSIA.**

ABSTRACT

Bukit Bunuh is a meteorite impact crater based on studies and research that have been done in geology and geophysics. This scientific research was conducted to identify the presence of polymorph minerals and strengthen the evidence of Bukit Bunuh as a meteorite impact site. The samples were collected by using panning method and covering the Bukit Bunuh, Lenggong, Perak and its vicinity with four types of rock samples. There are total 95 samples from panning and these samples were analysed by using heavy liquids separations, XRD, XRF and INAA and UCS test for rocks strength. As a result, the analysis indicates the presence of polymorph minerals in the samples taken from Bukit Bunuh and surrounding based on XRD results. The most abundant polymorph minerals that have been identified is coesite based on nine samples, while stishovite with five samples, mineral akimotoite in three samples and polymorph minerals ringwoodite, reidite and wadsleyite with one sample each. Based on XRF analysis, Ir elements also have been found in abundance which is higher than the abundance of Ir in earth's crust. These have provided strong evidence that Bukit Bunuh is a meteorite impact area. Uniaxial compressive strength test also shows that quartzite had the highest compressive strength and being followed by suevite, impact melt rock and quartz. In addition, with the identified of polymorph minerals has proven that rocks at Bukit Bunuh are a good raw materials with strength and durability compared to the other types of rocks. Interpretation of lithic industry technology in Bukit Bunuh revealed persistent manufacturing technology that expeditiously and productively in accordance with its raw materials.

BAB 1

TAPAK PALEOLITIK DAN IMPAK METEORIT BUKIT BUNUH

1.1 PENGENALAN

Kajian geoarkeologi di Bukit Bunuh, Lenggong, Perak oleh Pusat Penyelidikan Arkeologi Global (PPAG), Universiti Sains Malaysia sejak tahun 2008 telah mendedahkan bukti Paleolitik dan impak meteorit. Sehubungan itu, kajian ini memberi tumpuan kepada kewujudan mineral polimorf di Bukit Bunuh untuk melengkapkan lagi bukti impak meteorit dan kesannya kepada bahan asas industri alat batu Paleolitik. Bab ini membincangkan objektif, kaedah, isu dan masalah serta skop kajian. Bab ini juga membincangkan definisi mineral polimorf, lokasi kajian dan kajian geoarkeologi terdahulu di Bukit Bunuh.

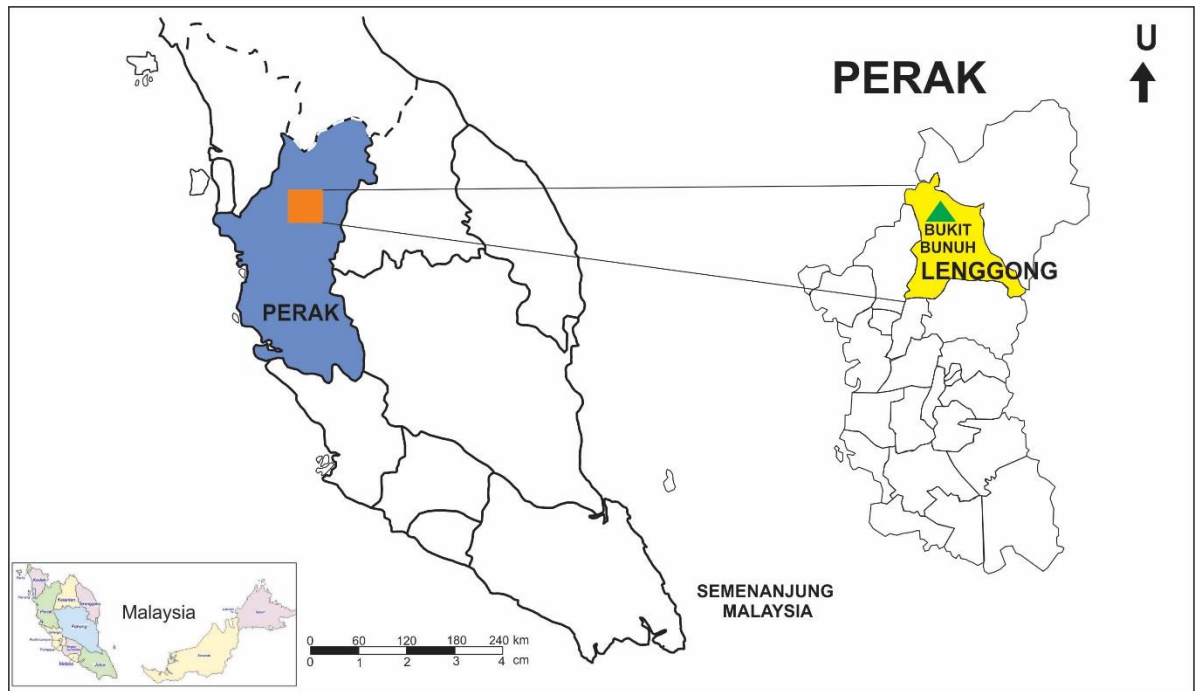
1.2 MINERAL POLIMORF

Mineral polimorf adalah dua atau lebih mineral yang mempunyai komposisi kimia sama tetapi berbeza susunan atom dan struktur kristal. Sebagai contoh, berlian dan grafit yang mana merupakan dua mineral yang berbeza tetapi mempunyai komposisi yang sama walaupun pembentukan mereka adalah jelas. Meteorit kejutan merupakan sumber terpenting bagi kehadiran mineral tekanan tinggi (polimorf) selain batuan kawah impak, inklusi berlian dan zenolit mantel. Mineral polimorf ini terbentuk sebagai butiran bersaiz submikron dalam kebanyakan kes.

Oleh itu, teknik seni seperti mikroskop transmisi elektron (TEM) dan pembelauan sinar X-ray (XRD) dapat mengenal pasti butiran kristalin halus ini. Banyak fasa-fasa tekanan tinggi semula jadi silikat dan oksida telah dikenal pasti sejak 15 tahun yang lalu. Tekstur, kristalografi dan cirian kimia sesuatu mineral tekanan tinggi semula jadi telah membekalkan kita bukan sahaja petunjuk bagi memahami badan induk peristiwa impak meteorit tetapi juga pandangan kepada struktur dan dinamik kedalaman bumi (Miyahara dan Tomioka, 2012). Perubahan struktur kristal mineral polimorf tekanan tinggi juga bergantung kepada keadaan persekitaran seperti suhu dan tekanan.

1.3 KEDUDUKAN LOKASI KAWASAN KAJIAN

Kawasan kajian meliputi kawasan Bukit Bunuh dan sekitarnya. Bukit Bunuh berada dalam kawasan prasejarah yang popular di Malaysia iaitu Lembah Lenggong yang terletak di bahagian hulu negeri Perak, Semenanjung Malaysia pada kedudukan garis lintang $100^{\circ}58.5'$ Timur dan garis bujur $5^{\circ}4.5'$ Utara (Rajah 1.1). Bukit Bunuh juga terletak di antara dua banjaran utama iaitu Banjaran Titiwangsa dan Banjaran Bintang serta kira-kira 10km ke selatan dari Pekan Lenggong. Pekan yang terbesar di kawasan kajian adalah Lenggong dan bandar yang berhampiran adalah Kuala Kangsar.



Rajah 1.1: Lokasi Bukit Bunuh, Lenggong, Malaysia.

1.4 KAJIAN GEOARKEOLOGI TERDAHULU DI BUKIT BUNUH

Kajian terdahulu menyentuh kepada kajian-kajian geologi dan arkeologi yang telah dilakukan oleh pengkaji sebelum ini di Bukit Bunuh. Perkembangan kajian geologi yang terperinci dan terkini telah membuktikan bahawa Bukit Bunuh adalah kawasan hentaman meteorit. Selain itu, dengan evolusi kajian arkeologi di Lembah Lenggong telah melayakkan Bukit Bunuh tersenarai sebagai salah satu tapak warisan dunia UNESCO pada 30 Julai 2012 melalui kronologi dan kepentingannya kepada negara dan dunia.

1.4.1 Kajian Geologi

Pada tahun 2001, tapak Bukit Bunuh mula ditemui semasa kajian pemetaan paleoalam di Lembah Lenggong kerana sebelum itu kawasan tersebut adalah

kawasan ladang getah dan sebarang batuan atau artifak belum pernah ditemui. Selepas penemuan tersebut, kajian terus dipergiatkan di Bukit Bunuh sehinggalah pada tahun 2008, alat pebel iaitu kapak genggam ditemui tertanam atau terbenam di dalam batuan suevit yang terbentuk akibat hentaman meteorit (Rajah 1.2). Sampel batuan suevit tersebut telah dihantar ke makmal pentarikhan di Jepun yang memberikan pentarikhan 1.83 juta tahun. Justeru, memberi interpretasi bahawa kapak genggam tersebut mungkin lebih tua daripada batuan suevit. Ini menunjukkan satu perkaitan hubungan antara geologi dan arkeologi di Bukit Bunuh. Selepas itu, penyelidikan dalam kajian geologi terus dirancang secara sistematik dan saintifik bagi membuktikan Bukit Bunuh adalah kawasan impak meteorit oleh pakar-pakar arkeogeologi (Mokhtar, 2012). Hasil daripada pelbagai penyelidikan yang telah dilakukan menunjukkan bahawa Bukit Bunuh adalah kawasan impak meteorit.



Rajah 1.2: Kapak genggam dalam suevit (Mokhtar, 2012).

Berdasarkan pemahaman geologi am dan kajian terdahulu, stratigrafi Lembah Lenggong termasuk kawasan Bukit Bunuh diwakili oleh jujukan batuan metasedimen iaitu batuan Formasi Kroh di dalam Kumpulan Baling sebagai formasi batuan yang paling tua. Kebanyakan batu kapur di Lembah Lenggong telah menjadi batuan batuan marmar akibat metamorfisme. Selain batu kapur, Formasi Kroh juga terdiri daripada batuan kuarzit dan selang lapisan arenit/argilit yang dipetakan sebagai usia Devon dan diinterpretasi sebagai endapan laut cetek walaupun tiada jumpaan fosil dalam formasi ini. Batu kapur dan batuan metasedimen lain telah direjah oleh batuan granit semasa zaman Trias dan menyebabkan Formasi Kroh di Lenggong menjadi struktur sisa kubah (*roof pendant*) yang berada di atas batuan Granit Bintang. Granit Bintang ini dicirikan sebagai granit adamelit porfiritik yang berbutir kasar dan granit berbutir sederhana dengan biotit sebagai mineral mafik. Selain itu, terdapat endapan Kuarter yang terbahagi kepada dua iaitu enapan aluvium dan debu vulkanik yang berada di atas enapan aluvium serta dikenali sebagai Debu Toba yang berusia 75,000 tahun dahulu (Jones, 1970; Kamal *et al.*, 2012).

Kajian petrografi telah dilakukan oleh Hamzah *et al.* (2012a), bagi mengkaji kepelbagaian batuan yang terdedah di Bukit Bunuh dan sekitarnya. Unit batuan metasedimen Formasi Kroh, Granit Banjaran Bintang, endapan Lawin dan enapan aluvium yang mana kini telah membentuk menjadi satu siri batuan impak yang baru dikenali sebagai impaktit. Impaktit adalah batuan yang terbentuk atau terubah akibat impak daripada meteorit. Hasil kajian mendapati kawasan Bukit Bunuh dan sekitarnya mempunyai batuan seperti batuan leburan impak, suevit, breksia litik polimik, batuan metasedimen impak, granit impak dan kuarza impak.

Kajian morfologi kawah juga telah dilakukan menerusi pelbagai kaedah geofizik di Bukit Bunuh bagi melihat pembentukan struktur lembangan yang dipercayai akibat impak meteorit. Antaranya, melalui bukti penggerudian teras (Zakaria *et al.*, 2012), graviti (Abdul Rahim *et al.*, 2012), survei bunyi vertikal kerintangan elektrik (VES) (Umar *et al.*, 2012), pembiasan seismik (Rosli *et al.*, 2012a), pengimejan elektrik 2D (Rosli *et al.*, 2012b). Hasilnya, kajian-kajian geofizik ini telah membuktikan kewujudan morfologi kawah meteorit melalui anomali yang diperolehi berdasarkan analisis graviti, magnetik, kerintangan 2D dan pembiasan seismik menunjukkan terdapat dua zon utama yang berbeza (Rosli, 2016) dan kawasan Bukit Bunuh merupakan kawah kompleks dengan struktur tonjolan pusat (*central uplift*).

Selain itu, pembuktian melalui bukti kesan leburan ataupun metamorfisme kejutan juga telah dilakukan dalam batuan impaktit di Bukit Bunuh. Berdasarkan kajian mikroskopik, didapati terdapat butiran anhedral dalam matrik kaca dalam batuan suevit di Bukit Bunuh. Kehadiran mineral kaca ataupun bahan kriptokristalin dalam impaktit dan kehadiran unsur nadir adalah dipercayai daripada unsur luar bumi (Hamzah *et al.*, 2012b).

Jumpa-an-jumpa-an ini telah membuktikan terdapatnya kesan peleburan semula di Bukit Bunuh. Bukti metamorfisme kejutan juga dapat dilihat melalui jumpaan kon pecah, struktur PDF, PF serta maskelinit dalam batuan suevit, leburan impak dan granit impak hasil daripada sampel penggerudian (Anizan *et al.*, 2012). Nor Khairunnisa *et al.* (2016) turut menemui lamela berselang seli pada mineral kuarza dalam batuan suevit dan Nur Asikin (2013; 89 dan 99) juga telah menemui struktur sama yang juga dikenali sebagai PDF pada pecahan kon pecah batuan granit serta

pada mineral kuarza dalam batuan suevit. Nur Asikin (2013; 350) telah menemui semua pembuktian berdasarkan kriteria yang telah disenaraikan oleh PASSC (*Planetary and Space Science Centre*) iaitu bukti kehadiran (i) makrostruktur kon pecah pada singkapan dan pecahan batuan (ii) mikrostruktur PDF dalam batuan suevit pada mineral kuarza (iii) mineral koesit dan stishovit dalam batuan breksia polimiktik litik (iv) morfologi kawah impak jenis kompleks (v) batuan leburan impak (vi) struktur pseudotakalit dan suevit.

Bukti permineralan daripada kajian mineral berat sedimen sungai juga telah menjumpai kehadiran mineral polimorf tekanan tinggi kuarza iaitu koesit dan stishovit. Kehadiran dua mineral ini adalah indikator berlakunya hentaman meteorit (Wan Fuad *et al.*, 2012) kerana mineral-mineral ini hanya terbentuk secara semula jadi apabila batuan yang kaya silika mengalami penghabluran semula semasa proses metamorfisme kejutan iaitu pada suhu dan tekanan yang tinggi hasil daripada hentaman meteorit atau letupan nuklear.

Daripada penerangan di atas, jelaslah bahawa Bukit Bunuh adalah kawasan impak meteorit berdasarkan pelbagai penyelidikan yang telah dilakukan.

1.4.2 Kajian Arkeologi

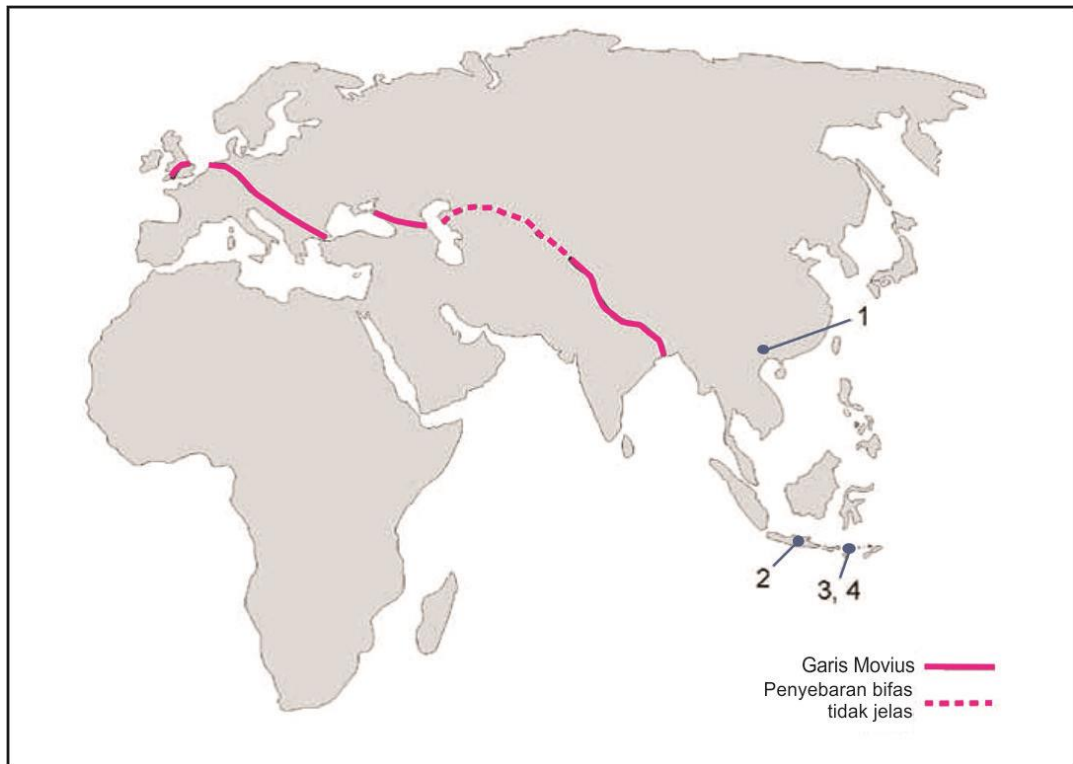
Sejak tahun 1987, arkeologi di Malaysia mula berkembang pesat dalam penyelidikan prasejarah yang mana pada ketika itu diterajui oleh Pusat Arkeologi Malaysia (*Centre for Archaeology Research Malaysia, CARM*), Universiti Sains Malaysia. Tapak pertama pada ketika itu adalah Kota Tampan, yang memberi data interpretasi

mengenai bengkel pembuatan alat batu yang *in situ* serta mendedahkan teknologi litik dan pengkelasannya, paleoalam dan pentarikan yang sentiasa menjadi persoalan sebelum itu (Zuraina, 1991; Zuraina, 2003). Kemudian, kajian mula berkembang di sekitar Lembah Lenggong dengan jumpaan tapak-tapak lain seperti Bukit Jawa, Kampung Temelong dan Lawin sehinggalah jumpaan tapak terbaru iaitu Bukit Bunuh. Kesemua tapak ini adalah tapak terbuka yang diekskavasi. Hasil ekskavasi juga mendedahkan tapak-tapak ini mempunyai asas kriteria yang sama dalam stratigrafi, fungsi tapak, teknologi litik, pengelasan litik dan paleoalam. Namun, tapak Bukit Bunuh menunjukkan jumpaan yang berbeza iaitu dari segi bahan asasnya dan jumpaan kapak genggam.

Tapak Bukit Bunuh juga merupakan tapak yang terbesar dan tertua berbanding tapak Paleolitik lain di Lembah Lenggong serta di Asia Tenggara. Penemuan alat batu kapak genggam (*handaxe*) dalam batuan suevit yang bertarikh 1.83 juta tahun dahulu telah membuktikan kewujudan manusia terawal di Asia (Mokhtar, 2010). Berdasarkan bukti ini juga menunjukkan Bukit Bunuh telah mengalami bencana hentaman meteorit yang mana terbentuknya batuan baru iaitu batuan suevit. Batuan suevit adalah batuan asal yang telah mengalami proses penghabluran semula akibat proses metamorfisme kejutan (Mokhtar, 2011).

Penemuan alat batu di dalam suevit tersebut juga telah mencadangkan bahawa terdapat masyarakat Paleolitik yang hidup sebelum 1.83 juta tahun dahulu. Selain itu, kapak genggam di dalam batuan suevit mendedahkan bahawa masyarakat Paleolitik di Bukit Bunuh mempunyai pemikiran kreatif dan maju dalam menghasilkan alat batu mereka dan merupakan artifak yang tertua di dunia kerana kapak genggam

tertua di Afrika hanya berusia 1.5 juta tahun dahulu sekaligus berlawanan dengan teori Garis Movius (*Movius Line*) (Rajah 1.3) yang menyatakan bahawa kawasan Asia Tenggara hanya mempunyai ‘*Chopping and Chopping Tool*’ dan tidak mempunyai kapak genggam (Mokhtar, 2006; Nor Khairunnisa *et al.*, 2016).



Rajah 1.3: Peta menunjukkan Garis Movius. Idea yang diterima adalah bifas Acheulean hanya berlaku di belakang Garis Movius, di Afrika dan barat Eurasia sahaja dan tidak muncul ke sempadan pemisah timur dan tenggara. Namun, artifak batu yang menyerupai bifas Acheulean telah ditemui dari hominin bukan moden dalam (1) Lembangan Bose, selatan China, (2) Ngebung 2 di Sangiran Jawa, (3) Wolo Sege dan (4) Liang Bua di Pulau Flores, timur Indonesia (Brumm dan Moore, 2012).

Survei dan pemetaan geologi di Bukit Bunuh mendapati taburan kepelbagaian bahan asas berbanding tapak Paleolitik lain di Lembah Lenggong yang hanya didominasi oleh kuarza dan kuarzit sahaja. Bahan asas di Bukit Bunuh terdiri daripada batuan rijang, flin, akik dan suevit selain kelikir sungai serta kobel-kobel suevit (Mokhtar,

2006). Berdasarkan interpretasi awal, bongkah-bongkah suevit ini dianggap batuan vulkanik kerana bersifat breksia dengan cirian berklasta yang bersudut bersama matrik yang halus. Namun, kajian terperinci dalam petrografi mendapati batuan ini bukan batuan vulkanik tetapi sejenis batuan kesan daripada impak meteorit dengan bukti kehadiran lamela berselang seli pada mineral kuarza akibat daripada proses metamorfisme kejutan (*shock metamorphism*).

Tapak ekskavasi Bukit Bunuh 2008-2010 mendedahkan bukti data kebudayaan Pleistosen Pertengahan berdasarkan pentarikan kronometrik dan hubungan dengan bahan asas yang dijumpai antara 270,000 - 550,000 tahun dahulu. Tapak ini mempunyai usia yang berbeza dengan tapak Bukit Bunuh 2001-2003 (40,000 tahun dahulu) dan Bukit Bunuh 2007 (1.83 juta tahun dahulu). Ekskavasi yang dilakukan mendedahkan jumpaan artifak batu yang mempunyai usia berbeza berdasarkan pentarikan pandar kilau rangsangan optik (OSL) iaitu pada petak bagi Fasa I (Bukit Bunuh 2008) telah didiami sekitar 270,000-320,000 tahun dahulu dan Fasa II (Bukit Bunuh 2010) sekitar 490,000-550,000 tahun dahulu. Antara artifak yang ditemui bagi kedua-dua fasa ini adalah peralatan membuat batu (batu pelandas, batu teras dan batu pemukul), alat batu (alat pebel, alat repehan dan alat ketulan) dan puingan yang dicirikan sebagai hasil buangan. Tapak ini juga berfungsi sebagai sebuah bengkel pembuatan alat batu yang *in situ*. Bahan asas yang digunakan adalah suevit, metasedimen kerijangan, kuarza dan kuarzit iaitu batuan yang telah mengalami penghabluran semula akibat hentaman meteorit yang berlaku (Nor Khairunnisa, 2013; 128-129).

Tapak Bukit Bunuh 2001-2003 yang dijumpai sekitar tahun 2000 telah menyumbang data terkini kepada Paleolitik Malaysia yang mana jumpaan tapak ini turut memberi interpretasi baru terhadap Paleolitik di Asia Tenggara. Ini kerana tapak Bukit Bunuh adalah tapak bengkel membuat alat-alat batu Paleolitik *in situ* yang tidak diganggu dengan usia sekitar 40, 000 tahun (zaman Paleolitik Pleistosen Akhir), berdasarkan pentarikhkan mutlak yang diperolehi melalui kaedah OSL iaitu hasil ekskavasi pada tahun 2003. Ekskavasi pada masa itu juga mendedahkan beberapa artifak seperti batu pelandas, batu pemukul, batu teras, kapak genggam, alat repehan dan sisa kerja. Asosiasi artifak batu ini sangat jelas seperti batu pelandas yang di kelilingi oleh batu teras, batu pemukul, alat pebel, alat repehan dan puingan. Masyarakat Paleolitik ketika itu menggunakan bahan asas daripada kuarzit, kuarza, rijang, flin dan breksia impak. Jumpaan tapak yang *in situ* ini juga menambahkan kefahaman kepada teknologi Paleolitik (Mokhtar, 2004).

Bukit Bunuh di bahagian Barat Daya pula mendedahkan pentarikan tapak yang muda pada lapisan keenam yang berusia $29,500 \pm 1,000$ tahun dahulu berdasarkan pentarikan OSL yang menunjukkan lapisan tanah sungai kuno dan lapisan kebudayaan adalah berada pada lapisan tersebut. Ini menunjukkan Bukit Bunuh masih digunakan sebagai Kompleks Paleolitik sekitar 30, 000 tahun dahulu. Walau bagaimanapun, kebanyakan bahan asas yang digunakan adalah kuarza berbanding dengan tapak Bukit Bunuh 2001-2003 dan Bukit Bunuh 2008-2010 yang menggunakan bahan asas daripada pelbagai jenis batuan (Nor Khairunnisa, 2013; 166).

Secara amnya, Bukit Bunuh merupakan satu Kompleks Paleolitik dengan wujudnya perbezaan penggunaan jenis bahan asas dalam masa yang berbeza. Kebudayaan Paleolitik di Kompleks Bukit Bunuh adalah dijangka berterusan secara langsung iaitu lebih dari 1.83 juta tahun, 500,000 tahun, 270,000 tahun dahulu, 40,000 tahun dahulu dan 30,000 tahun dahulu (Nor Khairunnisa *et al.*, 2016).

Selain itu, tapak Bukit Bunuh juga mendedahkan satu-satunya bukti di dunia, masyarakat Paleolitik yang menggunakan bahan asas daripada batuan impak meteorit di dalam industri alat batu mereka dan sehingga kini tidak ada lagi rekod yang menunjukkan penggunaan batuan hasil impak meteorit sebagai alat batu masyarakat Paleolitik di seluruh dunia kecuali tektit (Nur Asikin, 2013; 348 dan Nor Khairunnisa *et al.*, 2016). Tambahan lagi, keistimewaan kekerasan batuan (skala Mohs 7.5 hingga 9) tersebut telah membezakan tapak Bukit Bunuh dengan tapak-tapak Paleolitik yang lain di Asia Tenggara, kebanyakan menggunakan bahan asas seperti kuarza, kuarzit, basalt, rijang, obsidian dan lain-lain yang mana mempunyai purata kekerasan Mohs di antara 5 hingga 7 sahaja.

1.5 ISU DAN MASALAH

Walaupun banyak kajian telah dilakukan dalam pembuktian Bukit Bunuh sebagai kawasan hentaman meteorit, kajian bagi pembuktian kehadiran mineral polimorf tekanan tinggi ini juga masih tidak banyak dilakukan. Oleh itu, kajian ilmiah ini dilakukan bagi menyelesaikan isu dan masalah yang dihadapi ini.

The Planetary and Space Science Centre (PASSC), yang berpangkalan di Universiti, New Brunswick, Kanada telah menyenaraikan enam kriteria utama bagi pembuktian sesuatu kawasan tersebut diiktiraf sebagai kawasan hentaman meteorit (<http://www.passc.net/EarthImpactDatabase/>). PASSC adalah sebuah pusat yang mempunyai empat fungsi utama iaitu penyelidikan planet, databes impak bumi, planet serantau serta kelajuan tinggi impak dan balistik serantau. Melalui pengendalian laman web databes impak bumi, segala maklumat dan data terkini mengenai data impak meteorit dunia dapat diketahui kerana data-data ini sentiasa dikemaskini sejak 25 tahun yang lalu serta membekalkan maklumat mengenai imej, penerbitan dan abstrak dari seluruh dunia yang memberikan maklumat mengenai struktur impak yang telah diiktiraf kepada komuniti saintifik dan ruang peminat. Enam kriteria yang telah disenaraikan sekiranya bentuk geologi itu membentuk struktur impak akibat daripada halaju tinggi impak meteorit atau komet adalah seperti berikut (bukti pembuktian ini terbahagi kepada tiga iaitu megaskopik (pemerhatian menyeluruh seperti skala satelit); makroskopik (boleh dilihat jelas dengan mata kasar); mikroskopik (memerlukan mikroskop):-

1. Kehadiran struktur kon pecah (*shatter cone*) secara *in situ* (bukti makroskopik).
2. Kehadiran fitur lamela berselang seli (*Planar Deformation Features*, PDF) dalam mineral-mineral pada litologi *in situ* (bukti mikroskopik).
3. Kehadiran mineral polimorf tekanan tinggi dalam litologi *in situ* (bukti mikroskopik, bukti XRD dan lain-lain).
4. Morfometri. Bentuk struktur kawah seperti di Bulan atau Marikh (bukti megaskopik: penderiaan jauh, foto udara dan geofizik).

5. Kehadiran singkapan atau rejahan leburan impak dan breksia leburan impak yang terbentuk hasil daripada halaju tinggi impak (bukti makroskopik).
6. Pseudotakalit dan breksia.

Justeru, kajian ilmiah ini berfokuskan kepada pembuktian yang ketiga iaitu kehadiran mineral polimorf tekanan tinggi yang *in situ* melalui sampel mineral berat yang diperolehi dari sedimen sungai di sekitar Bukit Bunuh dengan kaedah XRD. Kajian pembuktian melalui makroskopik telah dilakukan oleh Nur Asikin (2013; 106-109) melalui kajian petrografi yang telah mengenal pasti kehadiran diapletik kuarza yang berkemungkinan bersama koesit, salah satu mineral polimorf kuarza. Beliau juga menemui kehadiran mineral koesit dan stishovit daripada data XRD pada batuan breksia polimiktik litik. Bagaimanapun, kehadiran mineral polimorf adalah sedikit. Kesimpulannya, terdapat tiga isu dan masalah yang cuba diselesaikan bagi mengukuhkan Bukit Bunuh sebagai kawasan impak meteorit iaitu:

- i. Menenal pasti kehadiran mineral polimorf melalui mineral berat dari sedimen sungai memandangkan untuk mengekstrak mineral ini dari batuan adalah sukar.
- ii. Mengukuhkan dan melengkapkan data dalam pembuktian bahawa Bukit Bunuh adalah kawasan impak meteorit dengan kehadiran mineral polimorf yang menjadi indikator bagi impak meteorit.
- iii. Mengkaji perkaitan kehadiran mineral polimorf kepada bahan asas Paleolitik di Bukit Bunuh.

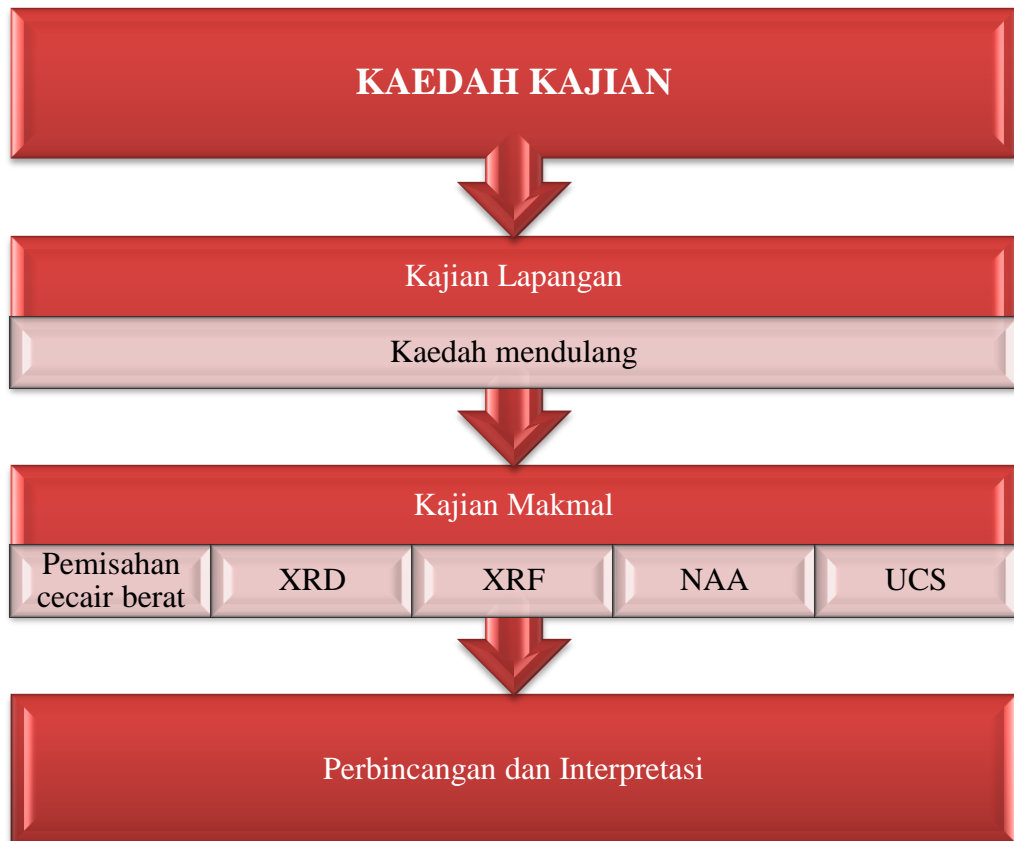
1.6 OBJEKTIF KAJIAN

Berdasarkan isu dan masalah yang dibincangkan di atas, maka kajian ini akan melengkapkan lagi data Bukit Bunuh berdasarkan beberapa tujuan seperti yang tercatat di bawah:-

- i. Untuk mengenal pasti kehadiran mineral polimorf yang terdapat di kawasan kajian bagi mengukuhkan bukti bahawa kawasan Bukit Bunuh adalah kawasan impak meteorit.
- ii. Untuk menentukan ciri-ciri mineral polimorf impak meteorit yang terdapat di Bukit Bunuh setelah kehadiran mineral polimorf dikenal pasti.
- iii. Untuk menghubungkan antara kehadiran mineral polimorf dengan sifat bahan asas alat batu masyarakat Paleolitik di Bukit Bunuh.

1.7 KAEDAH KAJIAN

Kajian ini melibatkan kajian lapangan, kajian makmal dan seterusnya perbincangan serta interpretasi dalam pembuktian kehadiran mineral polimorf tekanan tinggi dan perkaitannya dengan bahan asas masyarakat Paleolitik di Bukit Bunuh, Lenggong (Rajah 1.4).



Rajah 1.4: Carta aliran kaedah kajian.

1.7.1 Kajian Lapangan

Kajian lapangan merupakan kerja lapangan yang telah dilakukan bagi mengambil sedimen sungai di sekitar kawasan Bukit Bunuh. Pengambilan sampel menggunakan kaedah mendulang. Persampelan secara mendulang dilakukan bagi mengambil sedimen sungai kerana mineral berat merupakan bahan atau sampel untuk dianalisis yang mana sebanyak 95 sampel telah diambil di lapangan. Proses pengambilan sampel terbahagi kepada tiga fasa. Fasa pertama meliputi kawasan di luar Bukit Bunuh. Fasa kedua pula tertumpu di dalam kawasan Bukit Bunuh dan Fasa ketiga meliputi kawasan Bukit Bunuh dan di luarnya untuk melengkapkan sampel. Sampel batuan kuarza, kuarzit, leburan impak dan suevit juga telah diambil di lapangan bagi melakukan ujian kekuatan mampatan sepaksi batuan.

1.7.2 Kajian Makmal

Kajian makmal dilakukan bagi menganalisis sampel yang diperolehi selepas kajian lapangan untuk pembuktian secara saintifik dalam mengesan kehadiran mineral polimorf tekanan tinggi. Antara kajian makmal yang dilakukan adalah pemisahan cecair berat, XRD, XRF dan INAA serta UCS.

1.7.2 (a) Pemisahan Cecair Berat

Pemisahan cecair berat adalah pemisahan sejenis mineral tunggal atau sekumpulan mineral yang dilakukan dengan menggunakan cecair yang mempunyai spesifik graviti. Analisis ini dilakukan bagi memisahkan mineral berat dan mineral ringan yang mana mineral berat termendap di bawah manakala mineral ringan akan terapung dan dibuang. Bromoform yang berketumpatan 2.8 g/cm^3 digunakan dalam analisis ini. Bromoform merupakan bahan kimia beracun dan analisis ini dilakukan di dalam kebuk wasap. Hasil yang diperolehi adalah mineral yang berketumpatan lebih daripada 2.8 g/cm^3 dan seterusnya dilakukan analisis XRD, XRF dan INAA.

1.7.2 (b) Pembelauan Sinar-X (XRD)

Analisis XRD (*X-ray Diffraction*) dapat mengenal pasti kehadiran mineral-mineral yang berhablur sangat halus yang terdapat dalam sesuatu bahan melalui struktur kekisi mineral. Analisis ini juga telah digunakan secara meluas bagi mengesan kehadiran mineral-mineral polimorf tekanan tinggi di tapak-tapak meteorit dunia dan juga pada meteorit. Kaedah ini lebih mudah berbanding pengenalanpastian di bawah

mikroskop kerana setiap hablur mineral mempunyai piawaian komposisi kimianya tersendiri yang mana telah ditetapkan dalam mesin XRD, D8 Advance Bruker dengan penjana voltan 40kv dan penjana arus 40 mA yang disambung terus ke perisian di komputer semasa analisis di Makmal Pencirian Bahan Bumi, PPAG, USM.

1.6.2 (c) Pendaflor Sinar-X (XRF)

Analisis XRF (*X-ray fluorescence*) dilakukan bagi mengetahui kandungan unsur yang terkandung dalam sesuatu bahan. Unsur ini terbahagi kepada unsur major, unsur minor, unsur surih dan unsur nadir bumi. Kajian ini memfokuskan kepada kehadiran unsur surih dan unsur nadir bumi (REE). Ini bagi melihat kehadiran unsur mana yang lebih tinggi dan bagi membandingkan dengan kelimpahan unsur surih kerak bumi. Analisis ini dilakukan di Makmal Pencirian Bahan Bumi, PPAG, USM dengan menggunakan mesin PAN Analytical model AXIOS Max yang menggunakan kuasa maksimum 4000 watt. Analisis XRF adalah satu kaedah yang lengkap kerana lebih tepat, jitu dan cepat dalam mengenal pasti kandungan unsur-unsur kimia sesuatu bahan berbanding dengan kaedah ICP dan AAS yang memerlukan penyediaan sampel terperinci dan mengambil masa yang lama.

1.7.2 (d) Instrumentasi Pengaktifan Neutron (INAA)

Teknik pengaktifan neutron adalah kaedah analisis secara terperinci ke atas sampel-sampel dengan kaedah instrumentasi menggunakan pengesan gama beresolusi tinggi. Kelebihannya adalah disebabkan kepekaannya, kebolehubahsuaian (*adaptability*)

terhadap jenis-jenis sampel dan kebolehan memberikan maklumat unsur yang banyak secara serentak. Analisis ini dilakukan di Makmal Kimia Analisis di bawah Bahagian Teknologi Pengurusan Sisa dan Alam Sekitar, Agensi Nuklear Malaysia. Makmal ini menggunakan kemudahan penyinaran neutron yang disediakan oleh Reaktor TRIGA MARK II untuk pengaktifan sampel. Sumber neutron untuk fluks di dalam reaktor pula adalah kira-kira $1.2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$, di mana ianya digunakan dalam menjalankan aktiviti INAA (*Instrumental Neutron Activation Analysis*). Pengukuran keaktifan sesuatu radionuklid dilakukan menggunakan spektrometri gama berserta pengesan germanium tulen hiper (HPGe). Makmal ini dilengkapi dengan tujuh pengesan pelbagai kecekapan di mana salah satu daripada alatan tersebut dipasang dengan penggantian sampel secara automatik untuk pusingan pengiraan jam.

1.7.2 (e) Kekuatan Mampatan Sepaksi (UCS)

Ujian UCS (*Uniaxial Compressive Strength*) dilakukan terhadap batuan bagi melihat kekuatan sesuatu bahan dapat bertahan sebelum gagal. Sampel yang diambil adalah batuan kuarza, kuarzit, leburan impak dan suevit yang mewakili bahan asas bagi alat batu di Bukit Bunuh, Lenggong. Ujian ini dilakukan di Makmal Unit Ujian, Pusat Pengajian Perumahan, Bangunan dan Perancangan (HBPTU), USM dengan menggunakan Mesin Ujian Mampatan GOTECH 3000kN dengan kelembapan relatif 49% RH dan pada suhu 25%. Analisis ini adalah menggunakan rujukan piawai (kaedah ujian) *Malaysian Standard Part 2:1991: Method of Testing Hardened Concrete- Section 3: Method for Determination of Compressive Strength of Concrete Cubes* dan *Malaysian Standard EN 12390-3:2012: Testing Hardened Concrete- Part 3: Compressive Strength of Test Specimens*.

1.8 SKOP KAJIAN

Skop kajian ilmiah ini meliputi kepada penggunaan sampel mineral berat. Dalam kajian mencari sumber mineral batuan, kajian mineral berat ini berkepentingan sama seperti kajian metalurgi, proses geokimia, mineralogi, geologi dan petrografi (Fersman, 1939). Oleh itu, sampel mineral berat ini dipilih sebagai sampel analisis dalam kajian ini kerana turut mewakili batuan asal yang terdapat di kawasan kajian. Batuan asal ini juga telah terurai kerana mengalami pelbagai proses seperti luluhawa dan pengangkutan. Ini kerana sedimen seperti pasir, hasil daripada proses luluhawa batuan selalunya tidak kekal di tempat yang sama tetapi diangkut oleh agen air, udara dan agen lain. Sepanjang proses pengangkutan, sedimen ini diasingkan berdasarkan saiz butiran dan spesifik graviti. Pengambilan sampel mineral berat di sekitar Bukit Bunuh dapat menggambarkan mineral-mineral yang terdapat dalam batuan asal.

Selain itu, bagi mengekstrak mineral polimorf adalah sukar kerana batuan tersebut bersifat keras dan memerlukan kajian makmal yang terperinci seperti analisis menggunakan asid hidroklorik (HCL) dan hidrofluorik (HF). Mineral polimorf seperti stishovit tidak bertindak balas apabila dikenakan HF (Chao, *et al.*, 1962). Tambahan lagi, kebanyakan mineral polimorf ini adalah tidak berwarna. Jadi, hanya pengenalpastian melalui XRD sahaja diyakini kerana sifat habit pertumbuhan atau pengkristalan mineral bersama kuarza dan sifat kimia mereka yang sama agak mengelirukan untuk pengenalpastian dalam petrografi ataupun dalam SEM-EDX (Mange dan Wright, 2007).

Kajian ini berfokus kepada penelitian terhadap mineral polimorf yang menjadi pelengkap kepada kedudukan impak meteorit di Bukit Bunuh dan kaitannya dengan

bahan asas dalam industri Paleolitik di tapak ini. Maka, bab berikutnya membincangkan perincian mengenai mineral-mineral polimorf dan bahan asas di tapak Paleolitik Asia Tenggara (Bab 2), bahan dan kaedah yang meliputi kajian lapangan serta kajian makmal yang dilakukan (Bab 3), hasil analisis kajian makmal (Bab 4) dan akhirnya dalam Bab 5 mendedahkan hasil yang menjawab tujuan kajian ini iaitu implikasi kehadiran mineral polimorf.

BAB 2

MINERAL-MINERAL POLIMORF DAN BAHAN ASAS DALAM INDUSTRI LITIK

2.1 PENGENALAN

Bab ini membicarakan mengenai mineral-mineral polimorf yang telah ditemui di kawasan-kawasan dampak meteorit dan dalam meteorit yang telah menghentam bumi. Pengenalan kepada mineral-mineral polimorf tekanan tinggi ataupun mineral polimorf memfokuskan kepada ciri-ciri atau sifat mineral serta lokasi jumpaan mineral-mineral tersebut. Seterusnya, bab ini juga membicarakan mengenai pemilihan bahan asas dalam industri litik di Asia Tenggara.

2.2 MINERAL-MINERAL POLIMORF TEKANAN TINGGI

Mineral adalah satu komposisi kimia yang terbentuk secara semula jadi (Wenk dan Bulakh, 2004). Mineral dikelaskan kepada dua sifat yang berbeza iaitu melalui komposisi kimia dan struktur kristal. Setiap mineral mempunyai susunan atom tiga dimensi yang tersendiri. Geometri tetap ini akan mempengaruhi sifat fizikal seperti belahan dan kekerasan mineral tersebut. Kekerasan mineral ditafsirkan sebagai kerintangan mineral tersebut untuk mencalar. Kekerasan dikelaskan berdasarkan Friedrich Mohs, yang mencadangkan panduan relatif skala kekerasan pada tahun 1922: (1) Talkum (2) Gypsum, (3) Kalsit, (4) Fluorit, (5) Apatit, (6) Orthoklas, (7) Kuarza, (8) Topaz, (9) Korundum dan (10) Berlian. Setiap mineral yang di bawah skala boleh dicalar oleh mineral di skala atasnya. Kekerasan merupakan kaedah

diagnostik yang penting dalam bidang pengenalan mineral-mineral (Rapp, 2009; Klein dan Philopotts, 2013). Hampir semua mineral terbentuk akibat proses kimia bukan organik secara semula jadi yang mana bukan dihasilkan di makmal. Kekerasan dan spesifik graviti merupakan antara ciri pengelasan dan mengenal pasti mineral.

Spesifik graviti adalah nilai bagi menerangkan nisbah antara jisim bahan dan jisim yang bersamaan dengan isipadu air pada suhu 4°C. Spesifik graviti sesuatu mineral adalah berdasarkan berat atomik yang terdiri dari semua elemen dan cara bagaimana atom-atom tersebut terikat bersama iaitu kepadatan susunan atom atau ion sesuatu mineral tersebut. Contohnya, dua mineral yang mempunyai komposisi kimia sama seperti grafit dan berlian, tetapi nilai spesifik graviti yang berbeza iaitu berlian $G=3.51$ dan grafit $G=2.23$, ini menunjukkan berlian mempunyai struktur kepadatan yang lebih tinggi berbanding grafit.

Mineral polimorf tekanan tinggi adalah mineral berhablur yang terbentuk akibat daripada tekanan kejutan seperti halaju yang dibekalkan oleh gelombang kejutan daripada impak meteorit. Maksud polimorf adalah mineral yang mempunyai komposisi kimia sama tetapi berbeza struktur kristal. Proses polimorfisme merupakan kebolehan komposisi kimia tertentu yang mengubah bentuk mineral apabila berlaku perubahan suhu dan tekanan atau kedua-duanya (Rafferty, 2012). Sebagai contoh mineral polimorf koesit dan stishovit tergolong di dalam kumpulan silika polimorf tekanan tinggi kerana terbentuk akibat mampatan kejutan dan terbentuk sebagai fasa metastabil dalam batuan bukan kristalin yang mengalami tekanan antara 30 dan 60 GPa atau 12 dan 45 GPa (Stöffler dan Langenhorst, 1994).

Kebiasaannya, mineral tersebut terbentuk akibat impak dan ianya tidak boleh wujud secara semula jadi di bumi.

Hentaman meteorit adalah sumber secara semula jadi dan paling penting dalam pembentukan mineral tekanan tinggi. Selain itu, banyak kajian eksperimen tekanan tinggi di makmal telah menemui pelbagai mineral polimorf daripada elemen-elemen silikat dan oksida. Mineral tekanan tinggi yang terbentuk secara semula jadi ini terbentuk dalam saiz sub-mikron. Pengenalan mineral-mineral ini dapat dikenal pasti melalui teknik seni seperti *Transmission Electron Microscopy* (TEM) dan *X-ray Diffraction* (XRD) bagi mengesan kehadiran butiran kristal yang halus.

Tekstur, kristalografi dan cirian kimia sesuatu mineral tekanan tinggi semula jadi membekalkan kita bukan sahaja petunjuk bagi memahami peristiwa impak meteorit tetapi juga maklumat mengenai struktur dan dinamik kedalaman bumi (Tomioka, 2011; Miyahara dan Tomioka, 2012). Hasilnya, pelbagai mineral-mineral silikat dan oksida fasa tekanan tinggi dapat ditemui secara semula jadi sejak tahun 1990-an. Berdasarkan Databes Mineral Tekanan Tinggi (Tomioka, 2011) terdapat lebih kurang 20 mineral polimorf telah dikenal pasti yang mana hanya stabil dalam keadaan tekanan mantel bumi dan disahkan oleh *International Mineralogy Association* (Lampiran 1).