

Pemetaan Gua dan Pembangunan Parameter Saintifik bagi Penilaian Gua Batu Kapur sebagai Tapak Geowarisan: Kajian Kes di Gua Bilah dan Gua Persit, Merapoh, Pahang

(Cave Mapping and Development of Scientific Parameters for the Evaluation of Limestone Caves as Geoheritage Sites: Case Study at Gua Bilah and Gua Persit, Merapoh, Pahang)

NORBERT SIMON^{1,*}, LAILA FADILAH ZULFIKRI², MOHD IDHAM MANSOR³, ZAHID AHMAD³ & AMMAR HAKIM SHAH SHAHABUDIN²

¹*Program Geologi, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Malaysia Sabah, Jalan UMS, 88400 Kota Kinabalu, Sabah, Malaysia*

²*Program Geologi, Jabatan Sains Bumi dan Alam Sekitar, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia*

³*Agensi Angkasa Malaysia, No. 13, Jalan Tun Ismail, 50480 Kuala Lumpur, Malaysia*

Diserahkan: 19 Jun 2025/Diterima: 28 Januari 2026

ABSTRAK

Tapak geologi, umpamanya batu kapur sering dilihat sebagai sumber ekonomi dari sudut pengkuarian. Namun begitu, sumber ini yang kaya dari segi nilai saintifik boleh menjana pendapatan untuk pelancongan dan menjadi tempat pembelajaran berkenaan sejarah dan proses bumi. Gua batu kapur bukan saja penting dari aspek geologi tetapi juga berfungsi sebagai habitat organisma tertentu dan juga akuifer, menjadikannya penting untuk dipelihara bagi tujuan pendidikan, penyelidikan dan pelancongan. Walau bagaimanapun, satu cabaran utama dalam menilai kepentingan geologi gua batu kapur adalah kurangnya set parameter yang jelas untuk pencirian saintifik geologi, yang sering menyebabkan pendekatan penilaian menjadi terlalu umum. Oleh itu, kajian ini membangunkan satu set parameter yang sesuai bagi mengenal pasti dan menilai nilai saintifik gua batu kapur berdasarkan pemetaan geologi. Set penilaian ini mengandungi 13 parameter yang merangkumi: kehadiran mineral, bilangan jenis batuan, fosil, struktur geologi, hidrogeologi, kepelbagaian speleotem, kepelbagaian speleogen, bilangan keunikan speleotem & speleogen, bilangan proses pembentukan speleotem, bentuk laluan gua, corak gua, bilangan ruang untuk dipelihara dan integriti. Parameter ini diuji di Gua Bilah dan Gua Persit, Merapoh, Pahang dan didapati parameter yang digunakan mampu mengenal pasti keistimewaan gua dari aspek saintifik geologi dan keunikan setiap gua.

Kata kunci: Geo kepelbagaian; geowarisan; kelestarian; pemeliharaan; speleo-kepelbagaian

ABSTRACT

Geological sites such as limestone are often regarded as resources for quarrying. However, these sites which are rich in scientific value can generate income for tourism and become a learning site about Earth's history and processes. Limestone caves, are scientifically important not only for their geological features but also as habitats for certain organisms and aquifers, making their preservation important for educational, research, and tourism purposes. A key challenge in assessing the geological significance of limestone caves is the absence of clear parameters for geological scientific characterisation, which can lead to overly generalised evaluation methods. To address this issue, this study developed a comprehensive set of parameters to identify and evaluate the scientific value of limestone caves through geological mapping. This evaluation set contains 13 parameters which covers: presence of minerals, number of rock types, fossils, geological structure, hydrogeology, diversity of speleothem, diversity of speleogen, number of unique speleothem & speleogen, number of speleothem formation processes, types of cave passages, cave patterns, number of chambers to be preserved, and integrity. These parameters were tested at Gua Bilah and Gua Persit in Merapoh, Pahang, and it was found that these parameters were capable of identifying the scientific significance and the uniqueness of each cave.

Keywords: Geodiversity; geoheritage; preservation; speleo-diversity; sustainability

PENDAHULUAN

Banyak tapak geologi menyimpan rekod sejarah silam mengenai evolusi atau proses geologi yang menghasilkan kepelbagaian landskap. Kebanyakan daripada tapak ini mempunyai kepentingan untuk kemajuan sains dan perlu dipelihara untuk pendidikan dan penyelidikan. Manakala sebahagian daripada tapak atau landskap ini pula mempunyai kepentingan untuk masyarakat, kerana nilainya yang tinggi daripada perspektif saintifik, rekreasi dan budaya (Komoo 2000). Pembangunan tapak geologi ini untuk menjadi geotapak adalah merupakan asas penting dalam pembangunan sesuatu geotaman, iaitu salah satu langkah UNESCO dalam memelihara kawasan yang mempunyai kepentingan geologi untuk menceritakan evolusi Bumi.

Antara tapak geologi yang mempunyai kepentingan saintifik adalah kars batu kapur. Kars batu kapur bukan sahaja menjadi tempat tumpuan pelancongan atau penggiat sukan lasak, tetapi juga sebagai habitat kepada pelbagai jenis organisma endemik dan juga sebagai takungan air (Bakalowicz 2015; Gao et al. 2023; Kiew & Rahman 2021; Quah, Grismer & Anuar 2021). Oleh itu, sebagai satu jasad geologi yang penting, kajian terperinci untuk melihat kepentingan aspek saintifik geologi kars batu kapur, khususnya gua batu kapur perlu dijalankan.

Tidak seperti penilaian kestabilan batu kapur yang mempunyai parameter yang jelas dan diketahui ramai (Goh et al. 2019, 2018), penilaian saintifik gua batu kapur lazimnya agak umum dan ini menjadi isu untuk menonjolkan keistimewaan geologi sumber ini kepada pihak berkepentingan. Pelbagai kaedah penilaian telah digunakan untuk melihat aspek saintifik gua batu kapur. Antara kaedah yang pernah diketengahkan oleh penulis terdahulu adalah seperti penilaian secara kualitatif dan kuantitatif (Sulaiman et al. 2021, 2020) yang menekankan konsep geo kepelbagaian, skop (berpotensi sebagai tapak paleontologi, geomorfologi) dan skala (besar, kecil). Kaedah SCAM (Structure of the Show Cave Assessment Model) yang dicadangkan oleh Antic, Tomic dan Markovic (2022) pula melihat aspek speleologi dan pelancongan yang mana ia sesuai untuk gua pameran. Antara yang diperhatikan adalah aspek geologi, arkeologi, fauna, morfometri gua, bilangan kubah/ruang yang boleh dimasuki, speleotem, air bawah tanah, landskap dan nilai perlindungan. Penilaian yang lebih komprehensif pernah diutarakan oleh Woo dan Kim (2018) yang mana komponen seperti dimensi, speleotem, fitur mikrotopografi, sedimen gua, mineral gua dan fitur geologi yang istimewa adalah antara perkara yang perlu diperhatikan.

Walaupun kajian terdahulu ini boleh digunakan untuk menilai kepentingan saintifik tapak geologi, terdapat beberapa perkara yang boleh ditambah baik seperti penambahan beberapa parameter dan juga rubrik penilaian yang khusus kepada aspek saintifik gua batu kapur. Oleh itu, sasaran kajian ini adalah untuk menentukan parameter yang sesuai dalam menilai aspek saintifik gua batu kapur dan bagi mencapai sasaran ini, dua objektif kajian telah

digariskan: (1) memetakan gua batu kapur berserta fitur di dalamnya, (2) mencadangkan rubrik penilaian aspek saintifik gua batu kapur sebagai tapak geowarisan dan (3) Menilai potensi Gua Bilah dan Gua Persit sebagai tapak geowarisan menggunakan rubrik penilaian yang dicadangkan. Ciri yang dicadangkan oleh Woo dan Kim (2018) dan Antic, Tomic dan Markovic (2022) menjadi rujukan asas kepada kaedah penilaian yang dicadangkan dalam kajian ini.

KAWASAN KAJIAN

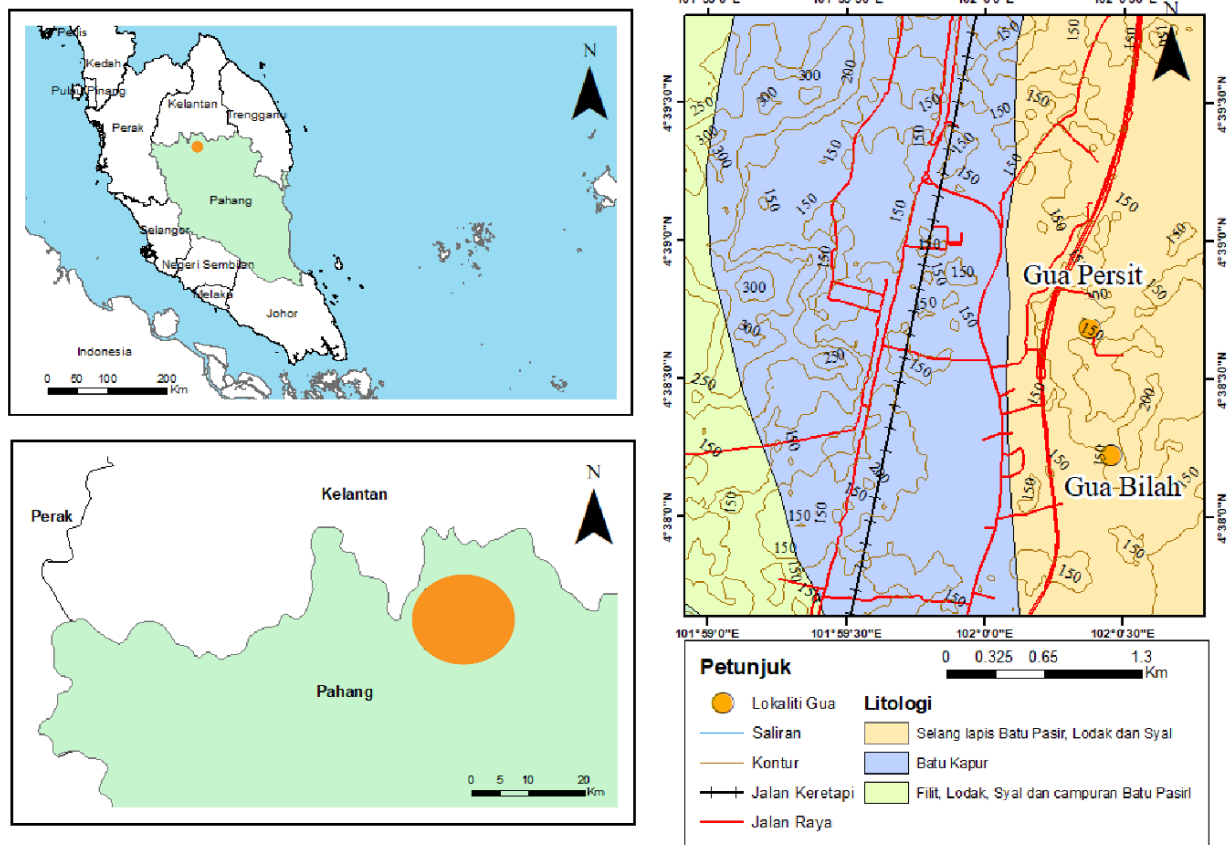
Merapoh ialah sebuah pekan di pedalaman Pahang yang merupakan sebahagian daripada Daerah Lipis (Rajah 1). Menurut Nordin (2024) terdapat sekitar 500 gua di Merapoh yang mampu menarik pelancong kerana keunikan alam semula jadinya. Dalam kajian ini, gua yang dipetakan adalah Gua Bilah dan Gua Persit.

Pada suatu ketika dahulu, kawasan kajian tergolong dalam Formasi Gua Musang. Berdasarkan penelitian Leman (1994), Formasi Gua Musang secara tempatan telah direjah oleh batuan granit dalam bentuk stok pelbagai dimensi. Beliau menjelaskan bahawa terdapat tiga litofasies yang telah dikenal pasti iaitu: Litofasies berkapur yang membentuk perbukitan mogot dengan lapisan yang hampir mendatar; litofasies argilit yang membentuk perbukitan berjasad timbul rendah di antara bukit-bukit batu kapur; dan litofasies vulkanik yang menutupi perbukitan berjasad timbul sederhana hingga tinggi. Menurut Hing dan Leong (1990), perbukitan batu kapur dalam Formasi Gua Musang adalah jenis dolomit.

Namun begitu, batu kapur Merapoh yang sebelum ini dikelaskan sebagai sebahagian daripada Formasi Gua Musang telah ditukar kepada Formasi Batu Kapur Merapoh oleh Mohamed et al. (2016). Ini kerana pembahagian fasies karbonat yang mengunjur dari selatan Kelantan ke Pahang yang tergolong dalam Formasi Gua Musang lebih baik dipisahkan berdasarkan kedudukan geografi (Rajah 1). Mohamed et al. (2016) juga mencadangkan agar Formasi Gua Musang dinaikkan kepada Kumpulan Gua Musang kerana memiliki cakupan yang lebih luas dan dikelilingi oleh formasi lain yang memiliki litofasies yang sama yang diendapkan pada zaman Perm-Trias.

BATU KAPUR

Menurut Gunn (2022), batuan karbonat mempunyai keluasan hampir 20.3 juta km² di permukaan bumi dan gabungan panjang gua dianggarkan boleh mencecah 10,000 km. Menurut Gunn lagi, 75 kawasan batu kapur telah diiktiraf sebagai Warisan Dunia, 67 geotaman UNESCO, 151 rizab biosfera dan 124 tapak RAMSAR. Kawasan batu kapur amat terkenal sebagai kawasan pelancongan dan perlindungan kerana kekayaan sumber geologi, biologi dan arkeologinya. Di Malaysia, banyak gua telah dijadikan sebagai tempat pelancongan dan penyelidikan seperti Gua Niah, Gua Mulu dan Gua Bukit Jernih.



(diubahsuai daripada peta geologi Jabatan Mineral & Geosains 2014)

RAJAH 1. Peta kawasan kajian dan kedudukan gua yang dikaji di Merapoh, Pahang

Keunikan gua selalu dikaitkan dengan kehadiran speleotem yang pelbagai. Namun begitu, terdapat banyak lagi keistimewaan yang boleh diketengahkan seperti bentuk laluan, corak gua, proses pembentukan, speleogen dan fosil yang dijumpai. Kajian ini akan mengupas setiap satu ciri ini dan bagaimana ia boleh digunakan sebagai parameter dalam penilaian aspek saintifik gua batu kapur.

Speleotem

Speleotem adalah mineral sekunder kalsit yang ditinggalkan hasil daripada penyejatan larutan yang tepu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{CaCO}_3$ (Dreybrodt 2012). Contoh speleotem adalah stalaktit, stalagmit, langsir dan batu alir. Penamaan ini adalah nama saintifik umum kerana penggunaannya juga merujuk kepada proses yang membentuknya dan dikelaskan berdasarkan kepada morfologi, kimia dan asalan (Hill & Forti 1997, 1995). Kajian berkenaan speleotem telah banyak dilakukan di luar negara dan tidak terhad kepada aspek estetik, tetapi juga untuk menerangkan iklim kuno dan usia (Fleitmann et al. 2008; Sundqvist, Baker & Holmgren 2005; Sundqvist, Holmgren & Lauritzen 2007) malah digunakan untuk mengenal pasti kebakaran kuno (Campbell et al. 2023).

Berdasarkan rekod inventori yang pernah dikeluarkan oleh Hill dan Forti (1997), terdapat sekitar 200 spesies

daripada 36 kumpulan speleotem. Spesies ini adalah terbitan daripada jenis speleotem yang sama, contohnya stalaktit adalah satu speleotem umum bagi fitur yang mengunjur ke bawah daripada bumbung gua (stalaktit terpesong, stalaktit berbentuk *turnip*). Berdasarkan kepada Hill dan Forti (1997, 1995), speleotem boleh dibahagikan kepada 7 kumpulan proses pembentukan: (1) secara titisan air; (2) dalam kolam; (3) secara sejatan; (4) secara aliran air; (5) dalam zon freatik; (6) tirisan air; dan (7) air terma. Speleotem boleh terbentuk daripada satu atau gabungan proses tersebut.

Speleogen

Speleogen merupakan istilah yang digunakan untuk fitur yang terbentuk akibat daripada hakisan dan pelarutan pada jasad batu kapur. Proses pembentukannya agak berbeza kerana fitur yang terbentuk merupakan fitur tinggalan hakisan dan pelarutan dan bukan pengendapan mineral sekunder seperti speleotem. Fitur yang terhasil tidak mempunyai bentuk yang khusus seperti speleotem (stalaktit dan stalagmit), tetapi lebih kepada lekukan pada batuan. Namun begitu, fitur ini juga diberikan nama khas yang menunjukkan kedudukan dan proses pembentukannya seperti *scallop* yang menunjukkan arah aliran air, lubang loceng, poket bumbung dan poket dinding.

Terdapat juga pelarutan yang membentuk karren iaitu fitur yang lebih kecil pada batu kapur seperti *rillenkarren* yang terhasil daripada aliran air hujan, *spitzkarren* iaitu bentuk menirus dan menajam dan *wandkarren* yang merujuk kepada dinding batuan yang dipenuhi dengan karren (Bertagni & Comporeale 2021).

Corak/Pola Gua

Corak gua merujuk kepada bentuk keseluruhan gua, laluan dan kubah yang terdapat dalam sesebuah gua. Menurut Palmer (2003), terdapat 6 corak dan struktur gua yang terbentuk hasil daripada pengaruh faktor geologi. Corak gua ini adalah selirat berkelok, selirat linear, *anastomotic*, jaringan, struktur span dan ramiform (bercabang). Menurut Palmer lagi, faktor yang mempengaruhi corak ini adalah seperti kehadiran dolina, sungai menghilang, penirisan air yang seragam, hipogen, satah pelapisan, kekar atau sesar, keporosan matrik atau gabungan antara faktor.

Bentuk bukaan laluan gua

Laluan dalam gua dipengaruhi oleh dua keadaan yang lazimnya bertindak ke atas gua dari awal pembentukannya (Palmer 2003). Keadaan yang dimaksudkan adalah keadaan freatik dan vados. Antara dua faktor ini, terdapat juga laluan yang dibentuk dalam keadaan epi-freatik. Selain itu, laluan dalam gua juga boleh dibentuk oleh kekar, sesar dan runtuh gua (Waltham & Fookes 2003; Waltham & Lu 2007).

GEOTAPAK

Geotapak adalah singkapan batuan atau landskap dengan nilai saintifik, estetik, rekreasi atau budaya yang tinggi, serta ciri geologi yang signifikan dan sensitif terhadap aktiviti manusia (Cleal et al. 1999; Komoo 2003; Wimbledon et al. 2000). Ia adalah merupakan tapak rujukan sains yang penting dalam memaparkan sejarah geologi. Tiada had saiz minimum untuk geotapak; keluasan boleh dari beberapa meter persegi hingga ribuan meter persegi (Ilies & Josan 2007). Fuertes-Gutierrez dan Fernandez-Martinez (2010) mengkategorikan geotapak kepada lima jenis berdasarkan saiz: titik, bahagian, kawasan, titik tinjau dan kawasan kompleks. Geotapak juga mewakili geo kepelbagaian yang merekodkan sejarah geologi setempat yang signifikan (Ali & Unjah 2011). Kawasan batu kapur berpotensi menjadi geotapak kerana sifatnya yang mudah larut membentuk pelbagai rupa bumi hasil daripada proses geologi yang telah bertindak ke atasnya untuk satu jangka waktu yang lama.

KAEDAH KAJIAN

Penghasilan peta gua ini adalah berdasarkan data yang telah dikumpul sewaktu kerja lapangan. Data yang diambil adalah seperti koordinat, jarak pergerakan, dimensi gua dan fitur geomorfologi gua. Peta gua ini dilukiskan semula menggunakan perisian *Adobe Illustrator* (Rajah 2) yang

dihasilkan menggunakan kaedah rintisan tertutup. Setiap fitur yang diletakkan di dalam peta tersebut dipaparkan dalam bentuk simbol (petunjuk peta) berdasarkan kepada simbol piawai gua yang dikeluarkan oleh *The International Union of Speleology (UIS)* dan juga simbol daripada artikel serta daripada kajian yang telah diterbitkan oleh para pengkaji yang lepas.

PARAMETER SAINTIFIK BAGI PENILAIAN POTENSI GUA SEBAGAI TAPAK GEOWARISAN

Terdapat beberapa kaedah yang telah dicadangkan dalam kajian lepas berkaitan dengan penentuan potensi sesuatu tapak geologi untuk menjadi tapak geowarisan dan sesetengahnya tidak mempunyai pemberat yang khusus (Brilha 2016; Woo & Kim 2018). Oleh itu, kajian ini mencadangkan 13 unsur yang penting dalam penilaian gua sebagai tapak geowarisan seperti dalam Jadual 1. Cadangan parameter yang digunakan dalam kajian ini adalah seperti berikut:

Bilangan jenis batuan

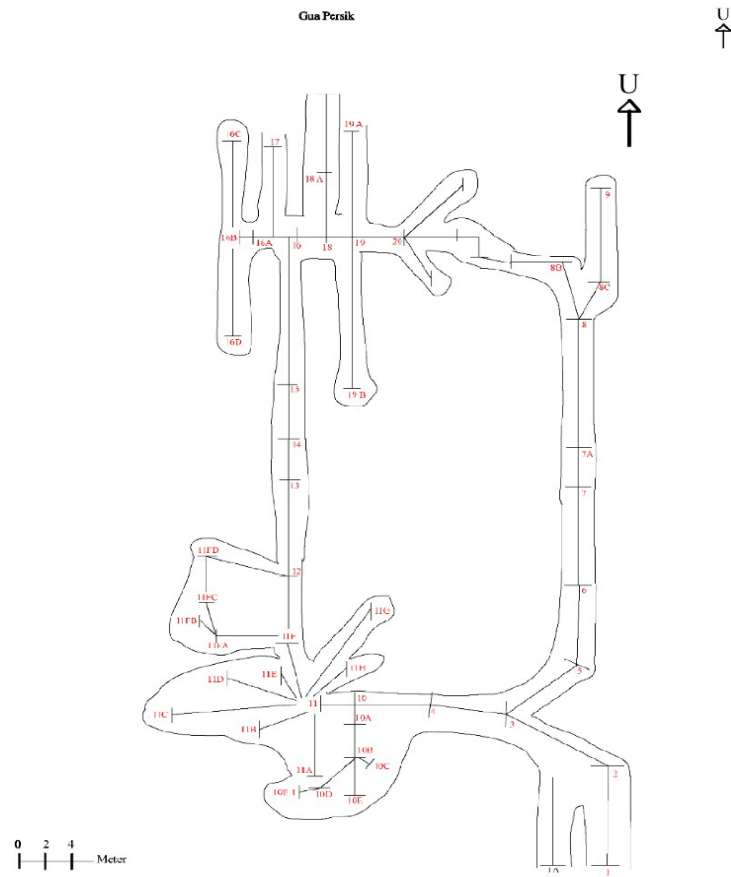
Pelbagai jenis batuan boleh hadir di dalam kawasan batu kapur dan fenomena ini boleh mempengaruhi bentuk gua. Bagi parameter jenis batuan, dua bentuk pertimbangan boleh dilakukan, iaitu sama ada mempertimbangkan jenis batuan yang wujud dan dikenal pasti di lapangan, secara petrografi atau geokimia. Kajian ini mencadangkan agar pertimbangan menggunakan parameter ini sebaiknya merujuk kepada penamaan jenis batuan yang dijumpai. Contohnya, pengelasan batu kapur berdasarkan pengelasan Dunham (1962). Namun begitu, pengenpastian batuan di lapangan seperti batuan sedimen (batu kapur, syal & batu pasir) juga memadai untuk parameter ini.

Struktur Geologi

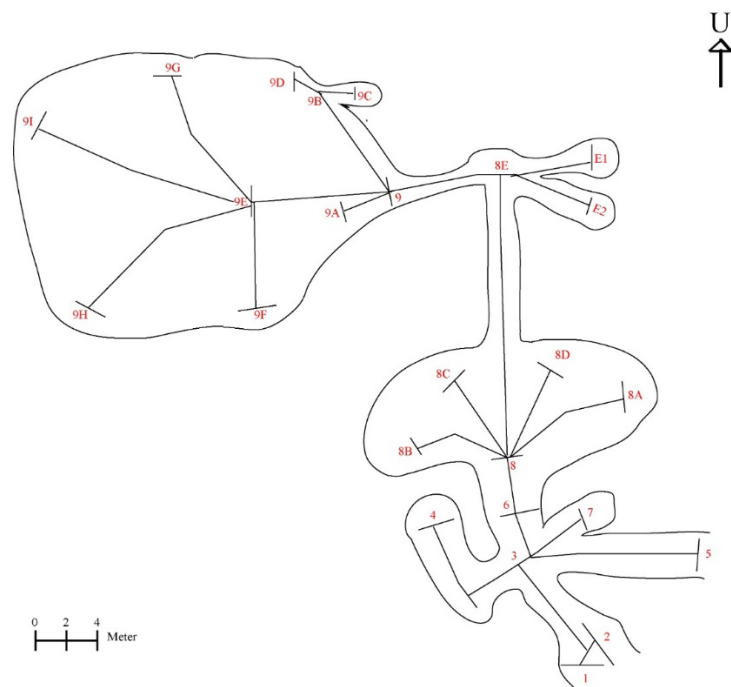
Struktur geologi sangat mempengaruhi pembentukan gua (Rožič, Čar & Rožič 2015; Sebela & Liu 2014). Antara struktur yang penting di dalam pembentukan gua adalah kekar dan sesar yang akan mengukir pola dan corak gua (Paryani & Haryono 2022). Kehadiran struktur geologi merupakan antara faktor penting dalam menentukan bentuk gua dan juga kebolehdan masuk air yang melarutkan batuan menghasilkan speleotem dan speleogen di dalam gua. Semakin tumpat kehadiran struktur ini, semakin besar bukaan untuk air memasuki ruangan gua dan secara langsung mempengaruhi kadar pelarutan yang berlaku pada batu kapur.

Kehadiran mineral

Mineral yang lazim dijumpai di dalam gua adalah kalsit dan aragonit. Namun begitu, beberapa jenis kumpulan mineral boleh wujud di dalam gua seperti halit, nitrat, fosfat, silikat, sulfat, dan oksida (Hill & Forti 1997, 1995; Urbani 1996). Mineral ini boleh wujud dalam bentuk hablur euhedral hingga anhedral serta dalam bentuk serbuk. Bagi kajian ini, kehadiran mineral ini dilihat dalam bentuk fizikalnya seperti kehadiran dalam bentuk hablur.



(a)



(b)

RAJAH 2. Bentuk kerangka gua hasil daripada pemetaan di lapangan
(a) Gua Persik dan (b) Gua Bilah

Hidrogeologi

Perbincangan berkenaan dengan pengaruh hidrogeologi dalam pembentukan gua telah wujud sejak 1727-an lagi (Ford 2015). Pengetahuan berkenaan hidrogeologi adalah penting untuk memahami proses evolusi gua dan batu kapur (Shah, Jeelani & Goldschieder 2018). Proses hidrogeologi bukan saja berkaitan dengan pembentukan saliran di dalam gua tetapi juga bagaimana kehadiran air ini membentuk fitur di dalam gua seperti stalaktit dan stalagmit yang terbentuk daripada titisan air (Mahmud et al. 2018). Dalam konteks hidrogeologi, kajian ini menekankan kehadiran jasad air di dalam gua. Contohnya saliran menghilang, mata air dan sungai di dalam gua. Bagi menentukan kepentingan jasad air dalam parameter saintifik yang dibina, bilangan jenis jasad air sahaja diambil kira kerana proses lain yang melibatkan pengaruh air dalam membentuk corak gua, speleotem dan speleogen telah diambil kira dalam parameter lain.

Kepelbagaian speleotem

Speleotem boleh membantu penyelidik mengetahui proses geologi yang terlibat dalam sesebuah gua. Ini kerana pembentukan setiap speleotem dipengaruhi oleh keadaan sekitaran kuno serta melalui proses pembentukan yang berbeza (Hill & Forti 1995). Kepelbagaian speleotem yang hadir menunjukkan proses geologi yang kompleks telah berlaku dan juga merupakan faktor utama dalam menarik pelancong dan juga untuk tujuan pembelajaran.

Kepelbagaian speleogen

Kepelbagaian fitur bukan speleotem seperti kehadiran struktur geologi dan kesan pelarutan juga diambil kira dalam penilaian kerana kumpulan ini juga merupakan fitur yang membentuk gua tersebut.

Bilangan keunikan speleotem

Kehadiran fitur dalam gua boleh dinilai sekiranya unik kepada gua tersebut atau unik di sesuatu kawasan. Contohnya sesuatu fitur speleotem yang terbentuk dengan sangat baik, dihasilkan oleh proses geologi yang kompleks, mempunyai saiz yang luar biasa atau satu-satunya fitur yang menarik dalam gua tersebut dan tidak wujud di tempat lain boleh dikelaskan sebagai unik.

Bilangan proses pembentukan speleotem

Kepelbagaian jenis proses yang membentuk speleotem boleh menambah keunikan gua tersebut kerana boleh dijadikan contoh dalam geopendidikan dan geopelancongan, serta amat bernilai dalam penyelidikan. Berdasarkan kepada pengelasan oleh Hill dan Forti (1997), terdapat 7 proses yang membentuk speleotem di dalam gua batu kapur. Proses yang dimaksudkan adalah (1) secara titisan, (2) secara aliran, (3) dalam kolam, (4) zon tepu (freatik), (5) air tirsan (6) secara sejatan (7) air termal. Selain daripada proses yang disebutkan, batuan dalam gua batu kapur juga terdedah kepada proses pelarutan yang tidak membentuk speleotem tetapi membentuk speleogen.

Integriti

Integriti merujuk kepada tahap keutuhan sesuatu tapak. Keutuhan ini bukan sahaja terhad kepada gua secara keseluruhan, tetapi juga speleotem yang terbentuk di dalam gua tersebut. Integriti tapak boleh diancam akibat daripada faktor semula jadi dan akibat daripada perbuatan manusia (Simone 2015).

Fosil (jenis)

Fosil boleh hadir dalam dua bentuk, iaitu terbentuk semasa batu kapur terbentuk atau dalam sedimen gua yang terbentuk selepas pembentukan gua. Sedimen ini boleh dibawa oleh air yang mengalir ke dalam gua tersebut seperti sungai atau tindakan hidrogeologi lain (Moldovan et al. 2011).

Jenis bukaan laluan gua (proses pembentukan awal gua)

Jenis laluan sebenarnya dapat menggambarkan bagaimana sesuatu gua mula terbentuk (Boggus & Crawfis 2009; Dodge-Wan et al. 2017). Ini kerana laluan ini adalah merupakan tempat pertama hakisan dan pelarutan berlaku yang kemudiannya akan membesar menjadi ruang kubah.

Corak/pola gua

Corak atau pola gua menggambarkan bagaimana laluan gua berhubung antara satu sama lain. Hubungan di antara laluan-laluan ini akhirnya akan membentuk jaringan yang pelbagai seperti berselirat dan ramiform. Corak gua boleh memberi jenis faktor pengawal geologi yang membentuk corak tersebut.

Bilangan ruang untuk dipelihara

Bilangan ruang yang dimaksudkan adalah bilangan lokasi dalam gua yang perlu diberi perhatian supaya tidak musnah atau hilang kerana rapuh atau mudah dirosakkan. Bilangan lokasi dalam gua yang perlu dijaga boleh menunjukkan keistimewaan sesuatu gua kerana terdapat aspek geologi yang menarik di lokasi tersebut. Lokasi ini boleh terletak di dalam kubah gua, laluan atau permukaan tertentu di dalam atau di luar (sekitar) gua tersebut.

HASIL DAN PERBINCANGAN

Gua Bilah merupakan batu kapur masif, kering, mempunyai fasies batu kapur yang dominan dan lantai gua ditutupi pasir serta lumpur. Kedalaman Gua Bilah yang boleh diakses pula adalah sepanjang 167.15 m (Rajah 3). Gua ini mempunyai dua kubah yang luas tetapi terdapat beberapa kubah kecil yang mengandungi speleotem yang terpelihara dengan baik.

Gua Persit juga merupakan batu kapur masif, kering, mempunyai fasies batu kapur yang dominan dan lantai gua ditutupi dengan pasir halus. Ruang Gua Persit yang boleh diakses adalah sepanjang 431.32 m. Terdapat 5 pintu masuk yang dijumpai pada gua ini. Gua ini dikategorikan sebagai gua pameran berdasarkan maklumat daripada papan tanda yang disediakan sebelum pintu masuk gua.

JADUAL 1. Rubrik bagi parameter untuk penilaian gua sebagai geotapak

Parameter	Skor				
	0	2.5	5	7.5	10
Kehadiran mineral	0	1	2	3	>4
Bilangan jenis batuan	0	1	2	3	>4
Fosil (jenis)	0	1-2	3-4	5-6	> 6
Struktur geologi	0	1	2	3	>4
Hidrogeologi (jasad air)	0	1	2	3	>4
Kepelbagaian speleotem	0	1-3	4-6	7-9	> 9
Kepelbagaian speleogen	0	1-3	4-6	7-9	> 9
Bilangan keunikan jenis speleotem & speleogen	-	≤2	3-4	5-6	> 6
Bilangan proses pembentukan speleotem	0	≤2	3	4	> 4
Bentuk bukaan laluan gua	0	1	2	3	> 3
Corak gua	-	1	2	3	> 3
Bilangan ruang untuk dipelihara/dijaga	0	1	2	3	> 3
Integriti	Musnah sepenuhnya	-	Sedikit terganggu	-	Utuh

Rajah 4 menunjukkan peta gua berserta fitur speleotem yang terbentuk di dalamnya. Maklumat yang diperoleh daripada lapangan dan makmal adalah seperti berikut:

Kehadiran Mineral

Mineral dalam bentuk hablur yang jelas tidak dijumpai di dalam kedua-dua gua. Hanya hablur kalsit berbentuk butiran halus yang terbentuk hasil daripada pelarutan batuan boleh dilihat pada permukaan batuan.

Bilangan jenis batuan

Kedua-dua gua mempunyai dua jenis batu kapur yang ditentukan secara petrografi. Bagi Gua Bilah, batuan yang dikenal pasti adalah biosparit dan intrasparit, manakala bagi Gua Persit pula, hasil petrografi batuan menunjukkan batu kapur gua ini adalah jenis intrasparit dan pelsparit.

Fosil

Fosil tidak dijumpai di kedua-dua gua yang dipetakan, kecuali yang dijumpai secara mikroskopik iaitu fosil fusulinid melalui analisis petrografi pada batuan Gua Bilah.

Struktur Geologi

Hanya kekar dan sesar sahaja yang dijumpai di setiap gua dan struktur geologi lain seperti lipatan tidak dijumpai.

Hidrogeologi

Dalam konteks hidrogeologi kajian ini, hanya jasad air diambil kira, termasuklah jika ada kehadiran mata air. Ini kerana pengaruh air yang lain telah disentuh dalam faktor lain seperti corak gua dan pola gua. Hasil daripada pemetaan dan pemerhatian di lapangan, tidak ada kesan kehadiran jasad air yang ditemui dalam kedua-dua gua.

Kepelbagaian Speleotem

Selain jenis speleotem, saiz dan kepelbagaian speleotem adalah antara faktor yang memberikan keunikan kepada gua. Di samping menghiasi gua, kepelbagaian speleotem juga memberi petunjuk kepada proses yang berlaku di dalam gua tersebut pada masa lampau. Fitur speleotem yang paling besar dijumpai di Gua Bilah adalah stalaktit dan stalagmit yang dikelilingi oleh batu alir bertingkat dengan corak seperti obor-obor dan merupakan speleotem yang unik kepada gua ini (Rajah 5). Corak batu alir dan stalaktit seperti ini dinamakan sedemikian kerana rupa bentuknya yang unik dan nama ini mudah digunakan untuk pelawat mendapat gambaran bentuk speleotem tersebut (Rajah 5(b)). Titisan air yang aktif masih kelihatan di sekeliling fitur ini. Kehadiran titisan air ini menunjukkan terdapat kekar pada bumbung gua yang membenarkan aliran air masuk ke dalam gua tersebut. Fenomena ini juga menunjukkan pembentukan speleotem di kawasan tersebut masih aktif.

Gua Persit yang lebih luas mempunyai taburan speleotem yang lebih banyak (Rajah 6). Kehadiran bilangan fitur speleotem yang tinggi ini mungkin disebabkan oleh kehadiran kekar dan sesar pada bumbung gua tersebut. Kekar dan sesar ini jelas mempengaruhi bentuk laluan di sepanjang Gua Persit. Antara fitur speleotem yang menarik di gua ini adalah batu alir bertingkat yang agak besar dengan dimensi tinggi sekitar 4 m dan panjang 2.5 m. Selain itu, terdapat juga mutiara gua yang banyak dan terbentuk di dalam kolam kecil yang dikenali sebagai 'microgours.' Beberapa siri langsir juga boleh diperhatikan dalam gua ini. Selain daripada stalaktit, terdapat juga *soda straw* dan stalaktit terpesong yang dikenali sebagai *deflected*

stalactite (Shopov 2003). Proses pembentukan stalaktit ini masih menjadi tanda tanya dan mungkin disebabkan oleh aliran angin dari gua (Bunnell t.th).

Kepelbagaian Speleogen

Selain daripada speleotem, terdapat juga kesan hakisan dalam bentuk pelarutan batuan yang membentuk pelbagai jenis speleogen pada batu kapur Gua Bilah. Dalam gua tersebut, terdapat satu fitur yang merupakan sisa bumbung berbentuk seperti mata tombak dengan saiz yang agak besar (Rajah 5(c)). Nama Gua 'Bilah' diambil dari salah satu fitur speleogen ini dan fitur ini dikelilingi dengan kubah yang luas dan dipenuhi dengan sesar dan kekar. Fitur speleogen lain adalah fitur karren seperti splitkarren, spitzkarren dan pempitan.

Bilangan Keunikan Speleotem dan Speleogen

Keunikan yang dimaksudkan adalah sama ada fitur yang dijumpai hanya wujud di salah satu gua atau fitur yang ditemui adalah yang terbaik di antara gua yang dikaji. Berdasarkan pemerhatian di lapangan, didapati terdapat 4 fitur yang menarik di dalam Gua Bilah (batu alir bertingkat, kubah, speleogen berbentuk bilah & langsir) dan 5 fitur di dalam Gua Persit (kolam teres mikro, mutiara gua, soda straw, stalaktit terpesong & kepelbagaian karren).

Proses Pembentukan Speleotem

Berdasarkan kepada kehadiran jenis speleotem dalam Gua Bilah, terdapat 3 proses pembentukan yang dikenal pasti iaitu secara titisan, aliran dan tirisan. Proses yang terlibat adalah (i) secara titisan yang membentuk fitur seperti stalaktit, stalagmit; (ii) proses secara aliran yang membentuk batu alir bertingkat; (iii) proses tirisan menghasilkan *collaroid*. Bagi proses yang membentuk fitur speleogen pula, runtutan bumbung batuan dan hakisan merupakan proses utama.

Gua Persit pula mempunyai 4 jenis proses yang bertindak membentuk kepelbagaian speleotem: (i) secara titisan; (ii) aliran, (iii) tirisan dan (iv) sejatan air, dan (v) titisan dan takungan air. Mutiara gua umpamanya terbentuk melalui titisan dan takungan air, contohnya dalam kolam yang tenang, ia melibatkan titisan air yang jatuh lalu menghasilkan pusaran kecil dan kemudian diikuti dengan penumpukan mineral kalsit di sekeliling butiran asing seperti pasir (Fatimah & Yeap 2000; Ford & William 1989). Selain itu, terdapat juga fitur seperti jatuhnya batuan dan karren yang terbentuk daripada proses mekanikal dan hakisan.

Bentuk Bukaannya Laluan Gua

Bentuk laluan gua boleh memberikan maklumat keadaan lampau gua melalui corak yang terbentuk di sepanjang laluan. Ini kerana laluan ini merupakan kawasan laluan agen hakisan seperti sungai dan air bawah tanah yang mengorek dan menghakis untuk menyediakan ruang bagi pembentukan speleotem. Bentuk laluan gua boleh dibahagikan kepada tiga kumpulan merujuk kepada

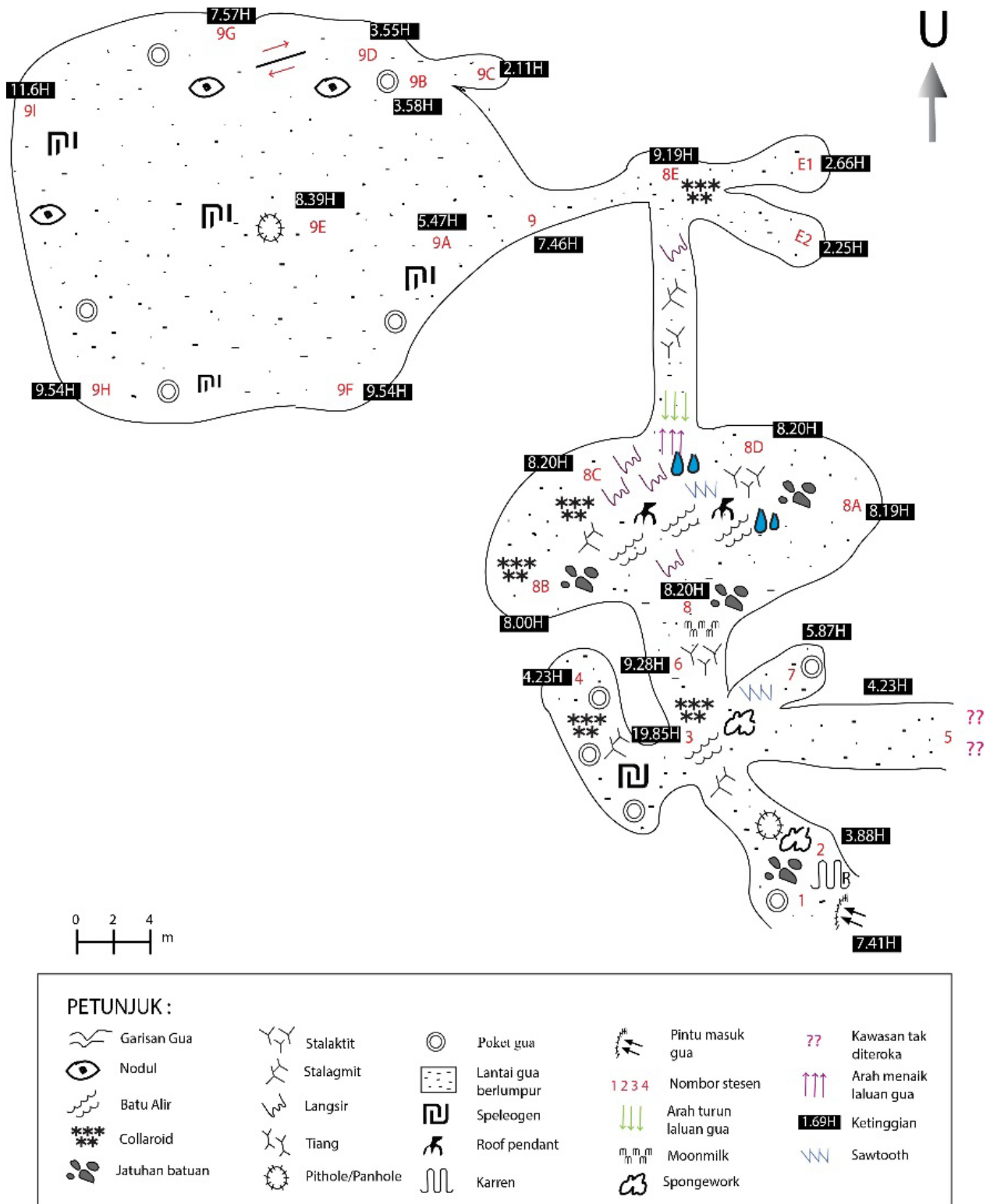
sekitaran semasa proses pembentukan gua tersebut iaitu sekitaran freatik, epi-freatik dan vados (Audra & Palmer 2011; Palmer 2003, 1991). Pembentukan gua biasanya berlaku di sepanjang laluan yang mempunyai luahan air dan pelarutan yang tinggi (Palmer 1991).

Dari pemetaan yang dilakukan, didapati Gua Bilah mempamerkan bukaan laluan gua yang berbentuk sfera serta mempunyai banyak lekukan membulat di bahagian bumbung dan dinding (Rajah 5(c) & 5(d)). Ini menunjukkan ciri pembentukan dalam sekitaran freatik (Boggus & Crawfis 2009; Palmer 2003). Namun begitu, terdapat juga gabungan laluan seperti meruncing di bahagian atas tetapi membulat di bahagian bawah. Ini merupakan proses paragenesis yang berlaku akibat daripada pengumpulan bahan sedimen di lantai gua menyebabkan dasar gua (lantai) semakin meningkat (Audra & Palmer 2011; Farrant & Smart 2011). Ini menyebabkan pelarutan lantai gua tidak berlaku atau berlaku pada kadar minimum. Pelarutan sebaliknya berlaku semakin ke atas, yang membentuk bumbung gua apabila air mula memasuki laluan ini (Palmer 1991). Selain daripada laluan yang dibentuk oleh aliran atau takungan air, laluan dalam gua juga boleh terbentuk daripada runtutan dinding dan bumbung gua (Waltham & Fookes 2003; Waltham & Lu 2007).

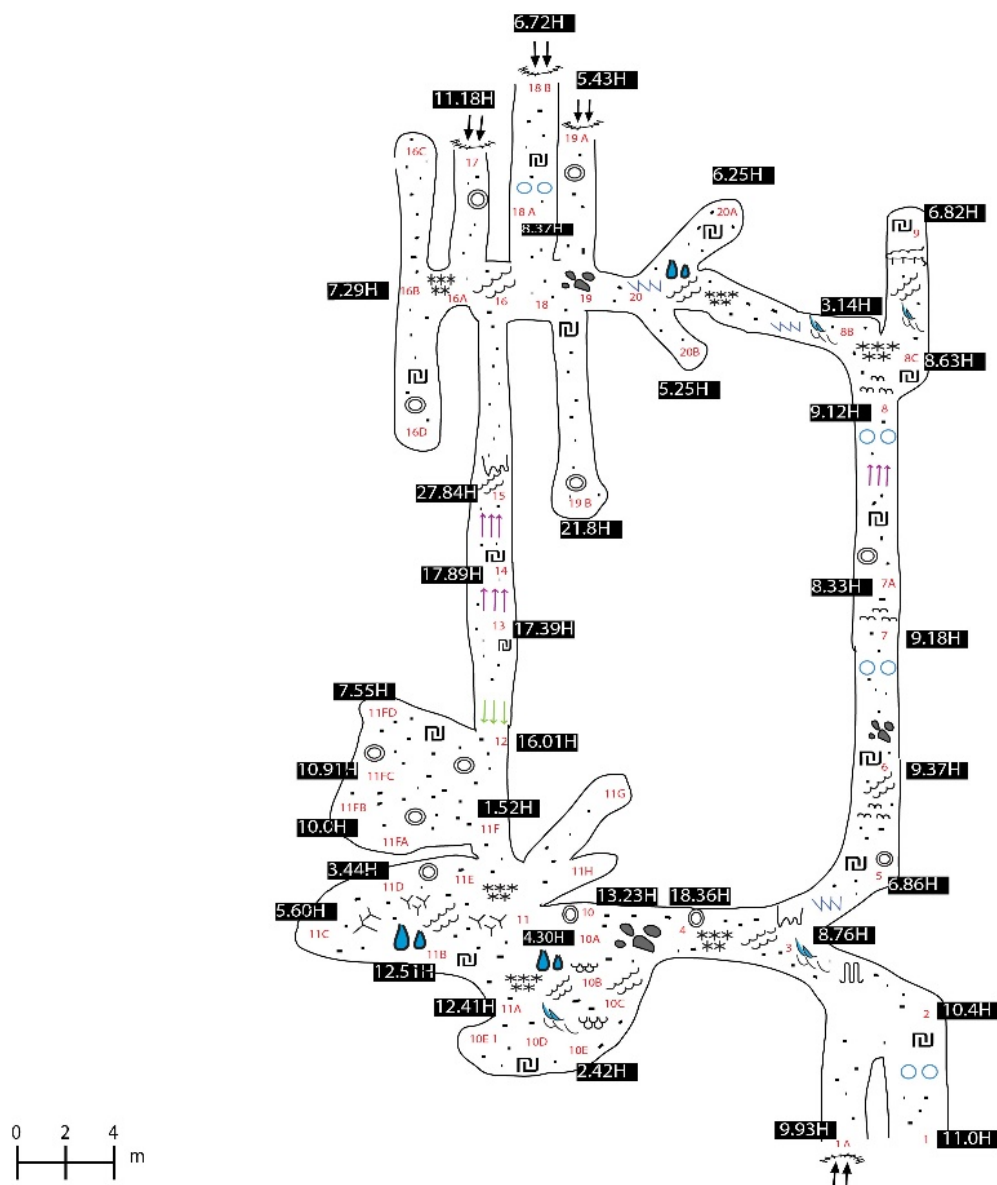
Berbeza dengan Gua Bilah, Gua Persit terbentuk daripada kehadiran kekar yang jelas kelihatan di bumbung gua dan menjadi tempat untuk air memasuki gua tersebut (Rajah 6(e) & 6(f)). Kemasukan air ini ditunjukkan melalui batu alir berwarna perang yang mungkin disebabkan oleh kehadiran kotoran yang dibawa oleh air daripada tanah atau humus yang terbentuk di atas bumbung gua. Laluan dalam Gua Persit didominasi oleh bentuk ngarai yang menunjukkan sekitaran vados (Rajah 6(f) & 6(h)). Ngarai ini agak tegak dan sebahagiannya berbentuk tiub tirus yang lazimnya terbentuk selari dengan kekar (Criss et al. 2008). Pembentukan laluan yang dipengaruhi sekitaran vados kadang kala boleh mengganggu bentuk laluan freatik yang terbentuk sebelumnya, ini kerana apabila paras air tanah menurun, laluan air seterusnya boleh bertukar menjadi sekitaran vados (Audra & Palmer 2011). Selain itu, terdapat juga laluan dalam Gua Persit yang menunjukkan bentuk runtutan dan ini dibuktikan dengan kesan jatuhnya batuan di lantai gua.

Corak Gua

Bentuk gua merujuk kepada jaringan antara kubah, ruang kosong dan laluan yang berjaya dipetakan di dalam gua tersebut. Berdasarkan kepada pengelasan Palmer (2003), Gua Bilah boleh dikelaskan kepada bentuk gua jenis span disebabkan oleh bentuknya yang melengkung dan membulat. Bentuk ini dipengaruhi oleh kehadiran porositi dalam batuan dan hasil daripada hakisan dan pelarutan, corak keseluruhan gua adalah seperti rongga pada span. Menurut Palmer lagi, corak ini dibentuk oleh air bawah tanah yang bercampur dengan CO₂ atau garam yang tinggi atau pengoksidaan sulfida dalam air yang membolehkan



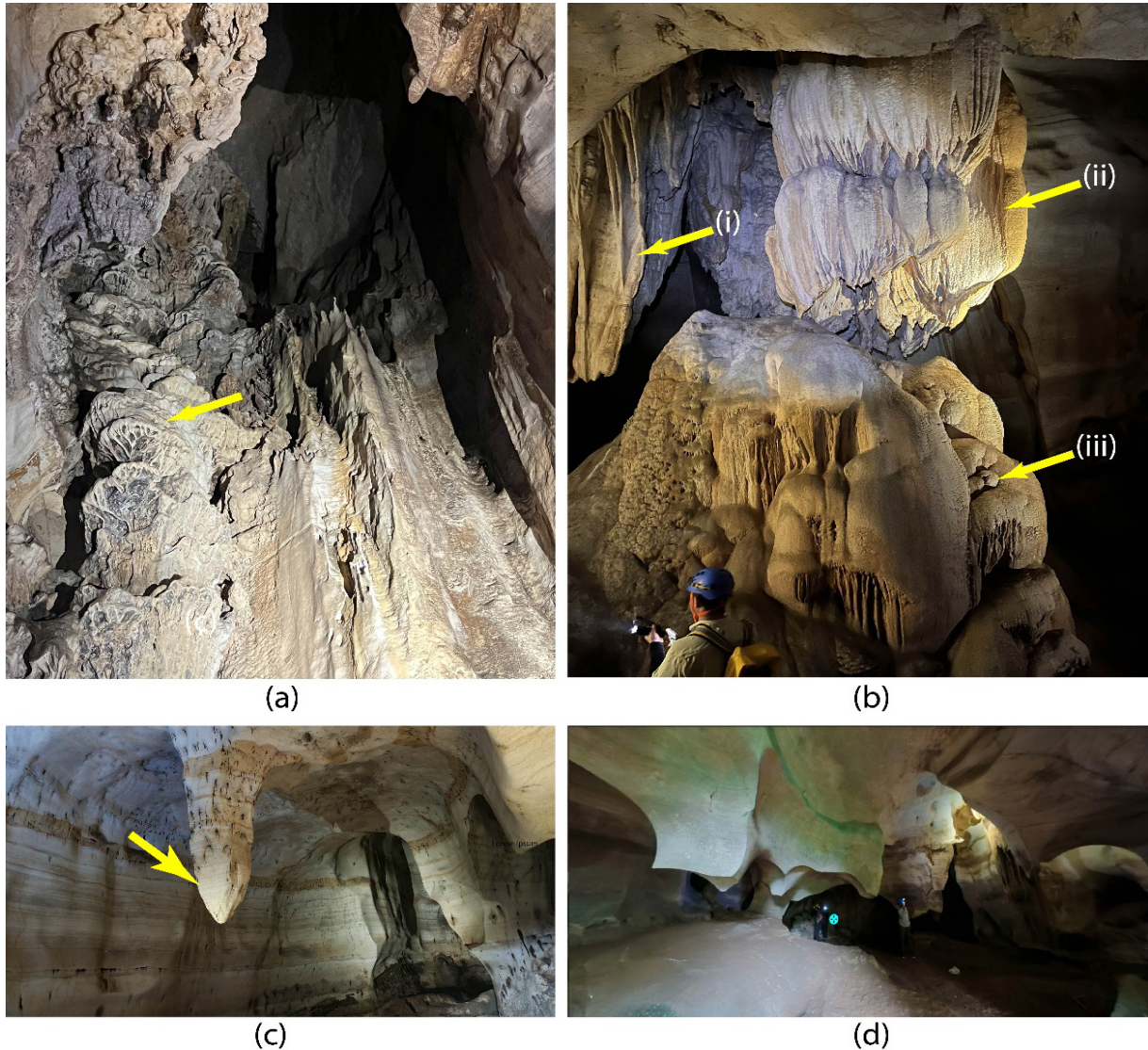
RAJAH 3. Peta Gua Bilah dengan jenis speleotem yang terdapat dalam gua tersebut



PETUNJUK :

	Garisan Gua		Stalaktit		Lantai gua berlumpur		Nombor stesen		Karren		Ketinggian
	Rainfall pitting		Stalagmit		Empangan batuan berbingkai/ microgours		Arah turun laluan gua		Sawtooth		Kanopi
	Batu Alir		Langsir		Speleogen		Arah menaik laluan gua		Bellhole		Jatuhan batuan
	Collaroid		Lubang		Pintu masuk gua		Guano		Nodul		Poket gua

RAJAH 4. Bentuk gua dan fitur speleotem hasil daripada pemetaan yang telah dilakukan ke atas Gua Persit



RAJAH 5. Fitur speleotem dan bukan speleotem dalam Gua Bilah (a) Batu alir bertingkat (b) (i) langsir (ii) Stalaktit bentuk seperti obor-obor (iii) stalagmit disaluti batu alir (c) speleogen berbentuk bilah dan (d) pelarutan batuan membentuk speleogen yang pelbagai

pelarutan yang lebih agresif berlaku. Bagi Gua Persit pula, corak gua yang terbentuk sangat menyerupai bentuk jaringan yang juga tergolong dalam kumpulan berselirat jenis linear lurus. Kehadiran kekar dan sesar pada gua sangat mempengaruhi corak pembentukan gua dalam kategori ini (Palmer 2003).

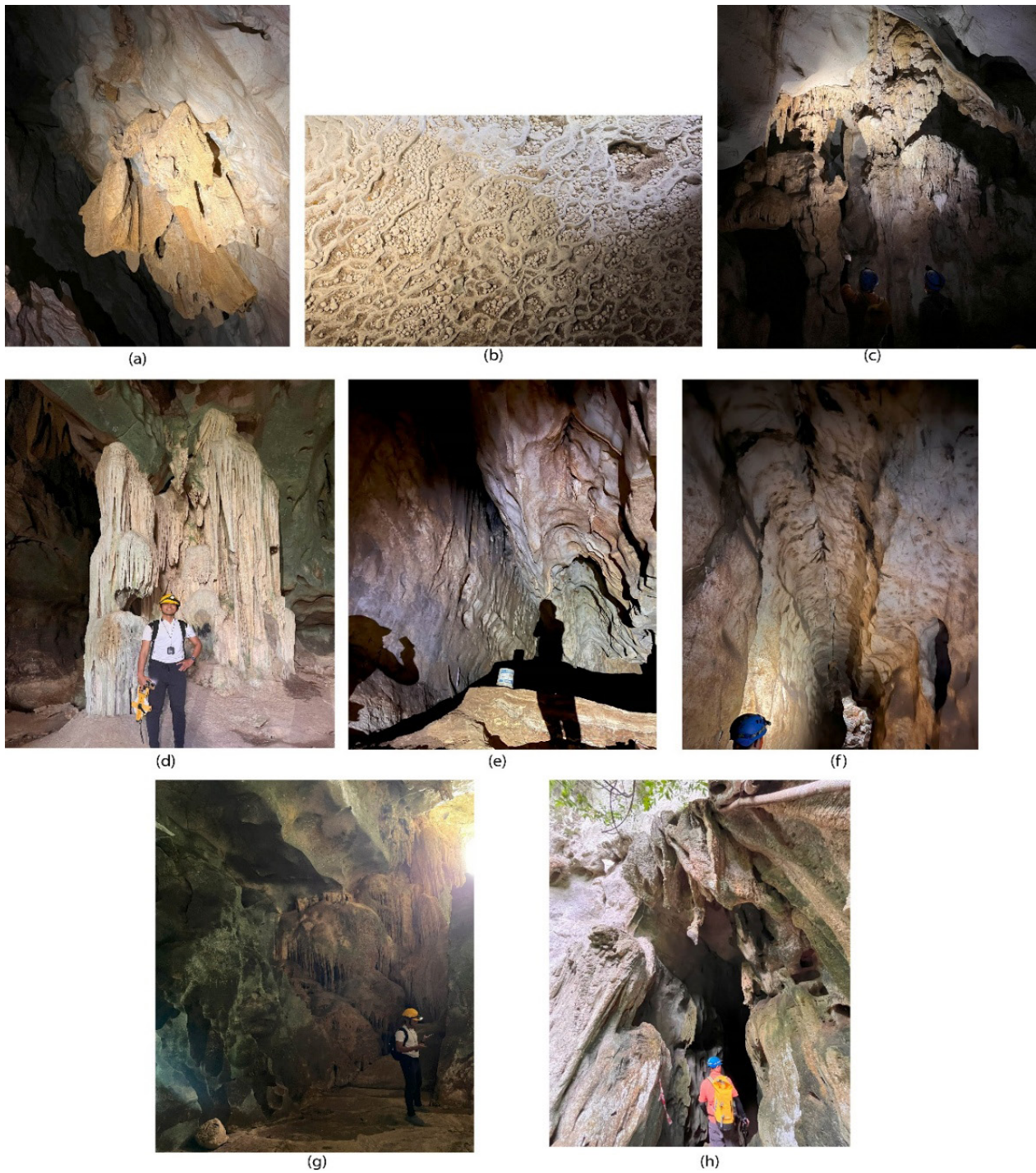
Bilangan ruang untuk dipelihara

Tapak geologi yang menunjukkan geo kepelbagaian yang baik perlu dipelihara untuk digunakan oleh masyarakat secara mampan (Brilha 2016). Pengenalpastian ini boleh dipetakan atau ditandakan dalam peta geologi yang telah dihasilkan. Berdasarkan kepada pemetaan yang telah dilakukan, terdapat beberapa lokasi di dalam gua yang harus dijaga agar fitur geologi tersebut tidak hilang atau

musnah. Bagi Gua Bilah, lokasi yang perlu dijaga adalah fitur batu alir bertingkat yang juga merupakan lokasi stalagmit dan stalaktit yang menarik serta mempunyai speleogen yang berbentuk unik seperti 'mata bilah'. Lokasi yang dimaksudkan adalah di Stesen 8 (A-D) dan 9 (A-H) dan sekitarnya (Rajah 3). Bagi Gua Persit pula, keseluruhan stesen 3-9, 10 (A-E) dan 11 (A-E) perlu dijaga kerana mempunyai batu alir bertingkat yang menarik dan beberapa speleotem lain yang boleh digunakan untuk aktiviti geopendidikan (Rajah 4).

Integriti

Manakala bagi parameter integriti pula, kedua-dua gua tidak mempunyai kerosakan yang teruk sehingga merosakkan fitur yang ada di dalam setiap gua.



RAJAH 6. Fitur speleotem dan bukan speleotem dalam Gua Persit (a) Langsir, (b) mutiara gua dalam kolam kecil yang dibentuk oleh kolam teres mikro, (c) pelarutan yang membentuk tiang, stalaktit dan stalagmit, (d) batu alir yang terbentuk di sekeliling stalagmit bersaiz besar, (e) pelarutan yang membentuk *grike* dan flut (f) *Scallop* terbentuk pada bumbung gua (g) batu alir yang terbentuk pada dinding gua dan (h) pintu masuk gua dengan stalaktit yang terbentuk di hadapan pintu masuk

POTENSI SEBAGAI TAPAK GEOWARISAN

Bagi melayakkan sesuatu tapak geologi menjadi tapak yang sesuai untuk penyelidikan dan pengajaran, penilaian saintifik perlu dilakukan ke atas tapak tersebut untuk menunjukkan kepentingannya dalam aspek saintifik. Nilai saintifik dititikberatkan kerana sesuatu geotapak harus mempunyai nilai geologi yang signifikan bagi tujuan perkembangan ilmu geologi serta fungsinya sebagai sumber geopendidikan, pelancongan dan pemeliharaan (Brilha 2016). Bagi menentukan nilai saintifik, parameter yang digunakan haruslah menjurus kepada unsur geologi yang hadir agar penilaian yang tepat boleh dilakukan. Ringkasan hasil pemetaan bagi kedua-dua gua diberikan dalam Jadual 2.

Dari segi dimensi gua, Gua Persit jauh lebih besar daripada Gua Bilah dengan panjang 431.32 meter, manakala Gua Bilah hanya 167.15 meter. Begitu juga, julat kelebaran dan ketinggian Gua Persit adalah lebih besar berbanding Gua Bilah. Bagi kehadiran fitur speleotem dan bukan speleotem, Gua Persit menunjukkan kepelbagaian fitur speleotem yang lebih tinggi. Kedua-dua gua memiliki batu alir bertingkat, *sawtooth* dan langsir. Namun, Gua Persit turut mempunyai kolam teres mikro, *cave popcorn*, *collaroids*, tiang, stalaktit, stalagmit (bentuk obor-obor), mutiara gua, *soda straw* dan stalaktit melengkung. Gua Bilah pula unik dengan stalaktit berbentuk obor-obor. Sama seperti speleotem, Gua Persit juga menunjukkan lebih banyak kepelbagaian fitur bukan speleotem. Gua Persit menampilkan ciri seperti kekar, kesan korekan

untuk guano, ril, poket gua, *grike*, *clint*, karren berpola, pempitan, *scallop*, flut dan lubang pelarutan pelbagai saiz yang tidak ada pada Gua Bilah. Tetapi, Gua Bilah pula mempunyai *trittkarren*, *rillenkarren*, karren berpoligon, jatuhan batuan, poket dinding dan kubah.

Kedua-dua gua terbentuk melalui proses titisan, aliran, tirisan, kegagalan (runtuhan), dan hakisan batuan melalui pelarutan. Gua Persit mempunyai proses pembentukan tambahan iaitu titisan dan takungan air serta sejatan air. Gua Bilah menunjukkan corak gua berbentuk span dan jenis laluan yang terhasil daripada proses dalam zon freatik. Sebaliknya, Gua Persit mempunyai corak gua berselirat (jaringan) dan jenis laluan gua yang lebih pelbagai seperti ngarai dan kekunci yang dibentuk oleh runtuhan dan kekar.

Daripada inventori yang terhasil kesan pemetaan dan pencirian seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2, skor bagi setiap parameter yang dibangunkan dalam kajian ini boleh dilakukan (Jadual 3). Berdasarkan kepada skor yang diperoleh bagi setiap gua, didapati Gua Persit mempunyai skor yang lebih tinggi iaitu sebanyak 62% berbanding Gua Bilah yang hanya mempunyai skor sebanyak 50%. Daripada peratus skor yang dihitung, didapati Gua Persit mempunyai nilai saintifik yang lebih tinggi berbanding Gua Bilah dan ini menunjukkan parameter yang dicadangkan dalam kajian ini dapat menghimpunkan maklumat penting dari segi saintifik bagi setiap gua dan dapat membezakan keunikan bagi kedua-dua gua yang dikaji.

JADUAL 2. Rumusan pencirian Gua Bilah dan Gua Persit

Ciri	Gua	
	Bilah	Persit
Dimensi gua	a) Panjang gua: 167.15 m b) Kelebaran: 2.37 m (min), 7.24 m (maks) c) Ketinggian: 2.11 m (min), 9.85 m (maks)	a) Panjang gua: 431.32 m b) Kelebaran: 1.311 m (min), 15.37 m (maks) c) Ketinggian: 1.72 m (min), 27.84 m (maks)
Kehadiran mineral	Tiada	Tiada
Jenis batuan	1. Biosparit 2. intrasparit	1. Intrasparit 2. Pelsparit
Fosil	Tidak dijumpai	Tidak dijumpai
Struktur geologi	1. Sesar songsang 2. Sesar normal 3. Perlapisan 4. Kekar	1. Kekar 2. Sesar
Hidrogeologi	Titisan air dari bumbung	Titisan air dari bumbung

bersambung ke halaman seterusnya...

...bersambung dari halaman sebelumnya

Kepelbagaian speleotem	1. Batu alir bertingkat	1. Batu alir bertingkat
	2. Stalaktit (bentuk obor-obor)	2. Kolam teres micro
	3. Bonggolan	3. <i>Spartooth</i>
	4. Langsir	4. <i>Cave popcorn</i>
	5. <i>Sawtooth</i>	5. <i>Collaroids</i>
Kepelbagaian speleogen		6. Langsir
		7. Tiang
		8. Stalaktit
		9. Stalagmit (bentuk obor-obor)
		10. Mutiara gua
		11. <i>Soda straw</i>
		12. Stalaktit terpesong
	1. Lubang loceng	1. Lubang loceng
	2. <i>Trittkarren</i>	2. Kekar
	3. <i>Rillenkarrén</i>	3. Kesan korekan untuk hasil guano
	4. Karren berpoligon	4. <i>Speleogen</i>
	5. Jatuhan batuan	5. Ril
	6. Poket dinding	6. Poket gua
Bilangan keunikan speleotem & speleogen	7. <i>Spitzkarren</i>	7. <i>Grike</i>
	8. <i>Splitkarren</i>	8. <i>Clint</i>
	9. Karren riak	9. Karren riak
	10. <i>Speleogen</i>	10. Karren berpola
	11. Poket bumbung	11. Poket bumbung
	12. Sisa bumbung	12. Sisa bumbung
	13. Kubah	13. Pempitan
		14. <i>Scallop</i>
		15. <i>Splitkarren</i>
		16. <i>Spitzkarren</i>
		17. Flut
		18. <i>Scallop</i>
		19. Lubang pelarutan pelbagai saiz
	1. Batu alir bertingkat	1. Kolam teres mikro
	2. Kubah	2. Mutiara gua
	3. Speleogen berbentuk bilah	3. <i>Soda straw</i>
	4. Langsir	4. Stalaktit terpesong
		5. Kepelbagaian karren

bersambung ke halaman seterusnya...

...bersambung dari halaman sebelumnya

Bilangan proses pembentukan speleotem	1. Secara titisan 2. Secara aliran 3. Secara tirisan	1. Secara titisan 2. Secara aliran 3. Aliran dan sejatan air 4. Secara tirisan 5. Titisan dan takungan air
Corak gua	Berselirat (span)	Berselirat (Jaringan)
Jenis laluan gua (proses pembentukan awal gua)	Sfera	1. Ngarai 2. Kekunci 3. Dibentuk oleh runtuhan 4. Dibentuk oleh kekar
Bilangan lokasi penting untuk dipelihara	2	3
Integriti	Masih utuh dan tidak rosak	Masih utuh dan tidak rosak

JADUAL 3. Perbandingan skor unsur saintifik antara Gua Bilah dan Gua Persit bagi setiap parameter yang diukur

Parameter	Skor	
	Gua Bilah	Gua Persit
Kehadiran mineral	0	0
Jenis batuan	5	5
Fosil (jenis)	0	0
Struktur geologi	10	5
Hidrogeologi	2.5	2.5
Kepelbagaian speleotem	5	10
Kepelbagaian speleogen	10	10
Bilangan keunikan jenis speleotem & speleogen	5	7.5
Bilangan proses pembentukan speleotem	7.5	10
Jenis bukaan laluan gua	2.5	10
Corak gua	2.5	2.5
Bilangan ruang untuk dipelihara/dijaga	5	7.5
Integriti	10	10
Jumlah	65	80
Peratus (%)	50	62

KESIMPULAN

Penemuan kajian ini jelas menunjukkan bahawa gua batu kapur, khususnya di kawasan Merapoh, Pahang, mempunyai keistimewaan tersendiri, namun memerlukan rangka kerja penilaian yang khusus. Dengan membangunkan set parameter yang terperinci untuk pencirian gua yang meliputi kehadiran mineral, bilangan jenis batuan, fosil, struktur geologi, hidrogeologi,

kepelbagaian speleotem, kepelbagaian speleogen, bilangan keunikan jenis speleotem & speleogen, bilangan proses pembentukan speleotem, jenis bukaan laluan, corak gua, bilangan ruang untuk dijaga dan integriti, kajian ini berjaya menyediakan kaedah yang sesuai untuk menilai aspek saintifik dan keunikan gua batu kapur. Penilaian terhadap Gua Bilah dan Gua Persit mengesahkan bahawa kedua-dua gua mempunyai keistimewaan masing-masing,

tetapi Gua Persit lebih menonjol dengan kepelbagaian geologi yang lebih kaya. Pemetaan terperinci yang dilakukan bukan sahaja mengenal pasti fitur geologi yang unik dan perlu dipelihara, tetapi juga membuktikan kepentingan pemetaan geologi dalam menentukan nilai geowarisan sesuatu tapak. Justeru, hasil kajian ini menyumbang kepada pemahaman yang lebih mendalam mengenai nilai saintifik gua batu kapur dan menyediakan asas kukuh untuk usaha pemeliharaan dan pembangunan tapak geowarisan pada masa hadapan, terutamanya di kawasan yang kaya dengan warisan geologi seperti Merapoh.

RUJUKAN

- Ali, C.A. & Unjah, T. 2011. The importance of geological heritage resources in land use planning: Experience from Langkawi Geopark. *Planning Malaysia* 9(1): 55-82. DOI: <https://doi.org/10.21837/pm.v1i1.91>
- Antic, A., Tomic, N. & Markovic, S.B. 2022. Applying the Show Cave Assessment Model (SCAM) on cave tourism destinations in Serbia. *International Journal of Geoheritage and Parks* 10(4): 616-634.
- Audra, P. & Palmer, A.N. 2011. The pattern of caves: Controls of epigenic speleogenesis. *Géomorphologie: Relief, Processus, Environnement* 17(4): 359-378.
- Bakalowicz, M. 2015. Karst and karst groundwater resources in the Mediterranean. *Environmental Earth Sciences* 74: 5-14.
- Bertagni, M.B. & Camporeale, C. 2021. The hydrodynamic genesis of linear karren patterns. *Journal of Fluid Mechanics* 913: A34. DOI:10.1017/jfm.2021.39
- Boggus, M. & Crawfis, R. 2009. Procedural creation of 3D solution cave models. *Proceeding Modelling and Simulation*. hlm. 180-186.
- Brilha, J. 2016. Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review. *Geoheritage* 8: 119-134.
- Bunnel, D. t.th. *Deflected Stalactites*. National Speleological Society. <https://caves.org/virtualcave/deflected-stalactites/#:~:text=Deflected%20stalactites%20are%20unusual%20stalactites,as%20in%20the%20lefthand%20photo>. (Diakses pada 16 Jun 2025).
- Campbell, M., McDonough, L., Treble, P.C., Baker, A., Kosarac, N., Coleborn, K., Wynn, P.M. & Schmitt, A.K. 2023. A review of speleothems as archives for paleofire proxies, with Australian case studies. *Reviews of Geophysics* 61(2): e2022RG000790. <https://doi.org/10.1029/2022RG000790> (Diakses pada 20 April 2024).
- Cleal, C.J., Thomas, B.A., Bevins, R. & Wimbledon, W.A.P. 1999. GEOSITES: An international conservation initiative. *Geology Today* 15(2): 64-68.
- Criss, E., M. Criss, R. E. & Osburn, G. R. 2008. Effects of Stress on Cave Passage Shape in Karst Terranes. *Rock Mech Rock Eng* 41: <https://doi.org/10.1007/s00603-006-0106-7>
- Dreybrodt, W. 2012. Speleothem deposition. Dlm. *Encyclopaedia of Cave*, disunting oleh White, W.B. & Culver, D.C. Chennai: Academic Press. hlm. 769-777.
- Dodge-Wan, D., Prasanna, M.V., Nagarajan, R. & Anandkumar, A. 2017. Epiphreatic caves in Niah karst tower (NW Borneo): Occurrence, morphology and hydrogeochemistry. *Acta Carsologica* 46(2-3): 149-163.
- Dunham, R.L. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *Memoir American Association Petroleum Geologists* 1: 108-121.
- Fatihah, R. & Yeap, E.B. 2000. Proposed conservation of Badak Cave C, Lenggong as vertebrate fossil site extraordinary. *Geological Society of Malaysia Annual Geological Conference 2000*. hlm. 189-196.
- Farrant, A.R. & Smart, P.L. 2011. Role of sediment in speleogenesis; Sedimentation and paragenesis. *Geomorphology* 134: 79-93.
- Fleitmann, D., Spötl, C., Newman, L. & Kiefer, T. 2008. Advances in speleothem research. *Pages News* 16(3): 1-40.
- Ford, D. 2015. The science of caves and karst: From the beginning of the Geological Society of America to ca. 1960. Dlm. *Caves and Karst Across Time: Geological Society of America Special Paper 516*, disunting oleh Feinberg, J., Gao, Y. & Alexander, E.C. p. 1-XXX. doi:10.1130/2015.2516(02)
- Ford, D.C. & Williams, P.W. 1989. *Karst Geomorphology and Hydrology*. London: Unwin Hyman. hlm. 601.
- Fuertes-Gutiérrez, I. & Fernández-Martínez, E. 2010. Geosites inventory in the Leon Province (northwestern Spain): A tool to introduce geoheritage into regional environmental management. *Geoheritage* 2: 57-75.
- Gao, M., Li, X., Qian, J., Wang, Z., Hou, X., Fu, C., Ma, J., Zhang, C. & Li, J. 2023. Hydrogeochemical characteristics and evolution of karst groundwater in Heilongdong Spring Basin, Northern China. *Water* 15(4): 726. <https://doi.org/10.3390/w15040726>
- Goh, T.L., Lok, K.K., Hussin, A., Serasa, A.S., Rafek, A.G., Lee, K.E., Mohamed, T.R., Shao, L., Yanlong, C. & Mingwei, Z. 2019. Integrated cave stability assessment: A case study at Naga Mas Cave, Mount Pua, Kinta Valley, Ipoh, Perak, Malaysia. *Sains Malaysiana* 48(11): 2493-2501.
- Goh, T.L., Wong, J.M., Rafek, A.G., Serasa, A.S., Mazlan, N.A., Razib, A.M.M., Hussin, A., Lee, K.E. & Mohamed, T.R. 2018. Stability assessment of limestone cave: Batu Caves, Selangor, Malaysia. *Sains Malaysiana* 47(1): 59-66.
- Gunn, J. 2022. Geoconservation initiatives for caves, karst, and springs. *Parks Stewardship Forum* 38(1): 84-93.
- Hill, C. & Forti, P. 1997. *Cave Minerals of the World*. Edisi ke-2. Huntsville: National Speleological Society.
- Hill, C.A. & Forti, P. 1995. The classification of cave minerals and speleothems. *International Journal of Speleology* 24(1-4): 77-82.

- Hing, T.T. & Leong, L.K. 1990. Environment of placer gold deposits in northern Pahang. *Geol. Soc. Malaysia, Bulletin* 26: 1-11.
- Ilieș, D.C. & Josan, N. 2007. Preliminary contribution to the investigation of the geosites from Apuseni Mountains, Romania. *Revista de Geomorfologie* 9: 53-59.
- Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia. 2014. Peta Geologi Semenanjung Malaysia Edisi ke-9.
- Kiew, R. & Rahman, R.A. 2021. Plant diversity assessment of karst limestone, a case study of Malaysia's Batu Caves. *Nature Conservation* 44: 21-49.
- Komoo, I. 2003. *Conservation Geology - Protecting Hidden Treasure of Malaysia*. Academy of Science, Malaysia. Inaugural Lectures. Bangi: Institute for Environment and Development (LESTARI). hlm. 44-48.
- Komoo, I. 2000. *Conservation Geology: A Multidisciplinary Approach in Utilization of Earth Resources Without Destruction*. Geological Heritage of Malaysia-Resource Development for Conservation and Nature Tourism. Bangi: LESTARI UKM.
- Leman, M.S. 1994. The significance of Upper Permian brachopods from Merapoh area, northwest Pahang. *Bulletin Geological Society of Malaysia* 35: 113-121.
- Mahmud, K., Mariethoz, G., Baker, A. & Treble, P.C. 2018. Hydrological characterization of cave drip waters in a porous limestone: Golgotha Cave, Western Australia. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 22: 977-988.
- Mohamed, K.R., Joehhary, N.A.M., Leman, M.S. & Ali, C.A. 2016. The Gua Musang Group: A newly proposed stratigraphic unit for the Permo-Triassic sequence of Northern Central Belt, Peninsular Malaysia. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia* 62: 131-142.
- Moldovan, O.T., Mihevic, A., Miko, L., Constantin, S., Meleg, I.N., Petculescu, A. & Bosak, P. 2011. Invertebrate fossils from cave sediments: A new proxy for pre-Quaternary paleoenvironments. *Biogeosciences* 8: 1825-1837.
- Nordin, A.H. 2024. 500 gua di Merapoh unik, cantik mampu gamit pelancong. *BH Online*. <https://www.bharian.com.my/hujung-minggu/santai/2024/01/1206037/500-gua-di-merapoh-unik-cantik-mampu-gamit-pelancong> (Diakses pada 13 Jun 2025).
- Palmer, A.N. 2003. Speleogenesis and evolution of karst aquifers. *The Virtual Scientific Journal* 1(1): 1-12.
- Palmer, A.N. 1991. Origin and morphology of limestone caves. *Geological Society of America Bulletin* 103: 1-25.
- Paryani, E. & Haryono, E. 2022. Analysis of cave morphology in Wediombo and its surrounding area, Gunungkidul. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1039: 012053.
- Quah, E.S.H., Grismer, L.L. & Anuar, M.S.S. 2021. Conservation of Peninsular Malaysia's karst herpetofauna: A review of herpetological discoveries, research trends, and challenges. *Raffles Bulletin of Zoology* 69: 235-252.
- Rožič, P.Z., Čar, J. & Rožič, B. 2015. Geological structure of the Divača area and its influence on the speleogenesis and hydrogeology of Kačna jama. *Acta Carsologica* 44/2: 153-168.
- Sebela, S. & Liu, H. 2014. Structural geological characteristics of karst caves and major stone forest, Yunnan, China. *Acta Carsologica* 43/1: 115-127.
- Shah, R.A., Jeelani, G. & Goldschiefer, N. 2018. Karst geomorphology, cave development and hydrogeology in the Kashmir Valley, Western Himalaya, India. *Acta Carsologica* 47/1: 5-21.
- Shopov, Y. 2003. Stalactites & stalagmites. Dlm *Encyclopedia "World of Earth Science"* (Vol 2), disunting oleh Lerner, K.L. & Lerner, B.W. Montrose: Thomson Publishing's Gale Group. hlm. 558-559.
- Simone, K. 2015. Disturbance of geological and anthropological evidence: Protection of artifacts and excavation sites. Dlm. *History of the Earth V - An Integrated and Historical Perspective*, disunting oleh Eyles, C. & Symons, S. Hamilton: McMaster University. hlm. 24-27.
- Sulaiman, N., Sulaiman, N., Shariffuddin, S.I.M., Rafli, S.B.M. & Ibnu Hassim, R. 2020. Assessment of limestone caves in Dabong, Kelantan using systematic studies for potential geoheritage sites. *2nd International Conference on Tropical Resources and Sustainable Sciences. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 2020: 549012021. DOI:10.1088/1755-1315/549/1/012021 (Diakses pada 29 April 2024).
- Sulaiman, N., Sulaiman, N., Roslan, N.F., Sabari, N.S.M. & Abdullah, N. 2021. Geoheritage assessment of Gua Sireh, Baling, Kedah. *3rd International Conference on Tropical Resources and Sustainable Sciences. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 842: 20012040. DOI:10.1088/1755-1315/842/1/012040 (Diakses pada 29 April 2024).
- Sundqvist, H.S., Holmgren, K. & Lauritzen, S.E. 2007. Stable isotope variations in stalagmites from northwestern Sweden document climate and environmental changes during the early Holocene. *Holocene* 17(2): 259-267.
- Sundqvist, H.S., Baker, A. & Holmgren, K. 2005. Luminescence variations in fast-growing stalagmites from Uppsala, Sweden. *Geografiska Annaler* 87(4): 539-548.
- Urbani, F. 1996. Venezualan cave minerals: A review. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología* 30: 1-13.
- Waltham, A.C. & Fookes, P.G. 2003. Engineering classification of karst ground conditions. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* 36: 101-118.

- Waltham, T. & Lu, Z. 2007. Natural and anthropogenic rock collapse over open caves. *Geological Society London Special Publications* 279: 13-21.
- Wimbleton, W.A.P., Ishchenko, A.A., Gerasimenko, N.P., Karis, L.O., Suominen, V., Johansson, C.E. & Freden, C. 2000. Geosites - An IUGS Initiative: Science Supported by Conservation. Dlm. *Geological Heritage: Its Conservation and Management*, disunting oleh Barettino, D., Wimbleton, W.A.P. & Gallego, E. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España. hlm. 69-94.
- Woo, K.S. & Kim, L. 2018. Geoheritage evaluation of caves in Korea: A case study of limestone caves. Dlm. *Geoheritage*, disunting oleh Reynard, E. & Brilha, J. Amsterdam: Elsevier. hlm. 373-386.
- *Pengarang untuk surat-menyurat; email: norbsn@ums.edu.my