

SEBARAN DAN PROSES GEOLOGI PEMBENTUKAN *LAVA TUBE* KESAKSAK DI BATUR UNESCO *GLOBAL GEOPARK*

Ida Bagus Oka Agastya^{1,4}, Putu Diyan Diwyastira², Suryo Hespianoro³, Dewa Ariana²

¹Batur UNESCO Global Geopark

²Museum Geologi KESDM

³PPSDM Geominerba KESDM

⁴Bali Geoscience Research Group

Email: iokaagastya@gmail.com¹, diyan.diwyastira@gmail.com², suryo.hespianoro@esdm.go.id³

Naskah Diterima: 29 Mei 2023/Revisi: Juni 2023 /Disetujui: Juni 2023

ABSTRAK

Gunungapi Batur merupakan gunungapi aktif berbentuk strato di Pulau Bali dan berada di kawasan Kaldera Batur yang merupakan Taman Bumi *Global Geopark* UNESCO pertama di Indonesia. Gunungapi Batur memiliki produk erupsi yang sebagian besarnya merupakan lava dan terdapat total sembilan endapan lava hasil erupsi G. Batur sejak tahun 1849-1974. Banyak studi telah dilakukan untuk mengetahui petrogenesa hingga sejarah erupsi G. Batur, akan tetapi belum pernah dilakukan studi lebih komprehensif terhadap produk aliran lava berupa *Lava Tube/lava cave* di G. Batur. Lokasi penelitian *Lava Tube* ini berfokus di wilayah sisi timur dari tubuh gunungapi yaitu pada aliran lava 1888. Pengamatan lapangan dan analisa dilakukan untuk memperoleh interpretasi genesa pembentukan *Lava Tube*. *Lava Tube* Kesaksak di G.Batur terbentuk berdasarkan aliran lava dari erupsi tahun 1888, dengan morfologi permukaan membentuk tumuli yang disebut sebagai *lava tumulus cave*. Aliran lava yang membentuk lava tumuli akibat proses pendinginan permukaan lava yang cepat sehingga tumuli selanjutnya berkembang menjadi *Lava Tube* untuk membentuk aliran lava lebih jauh kearah Danau Batur. Aliran lava tahun 1888 berkomposisi basal dengan karakter aliran lava *a'a*, hal ini mendukung bahwa *Lava Tube* tidak hanya terbentuk pada aliran lava *pahoehoe*. Sebagai salah satu geosite di kawasan Batur UNESCO *Global Geopark*, geosite *Lava Tube* Kesaksak memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai objek geowisata melalui pengembangan geotrail yang menghubungkan beberapa *geodiversity*, *biodiversity* maupun *culture diversity* yang ada di kawasan Batur UNESCO *Global Geopark*.

Kata kunci: *Lava Tube*; Gunungapi Batur; Batur UNESCO *Global Geopark*

ABSTRACT

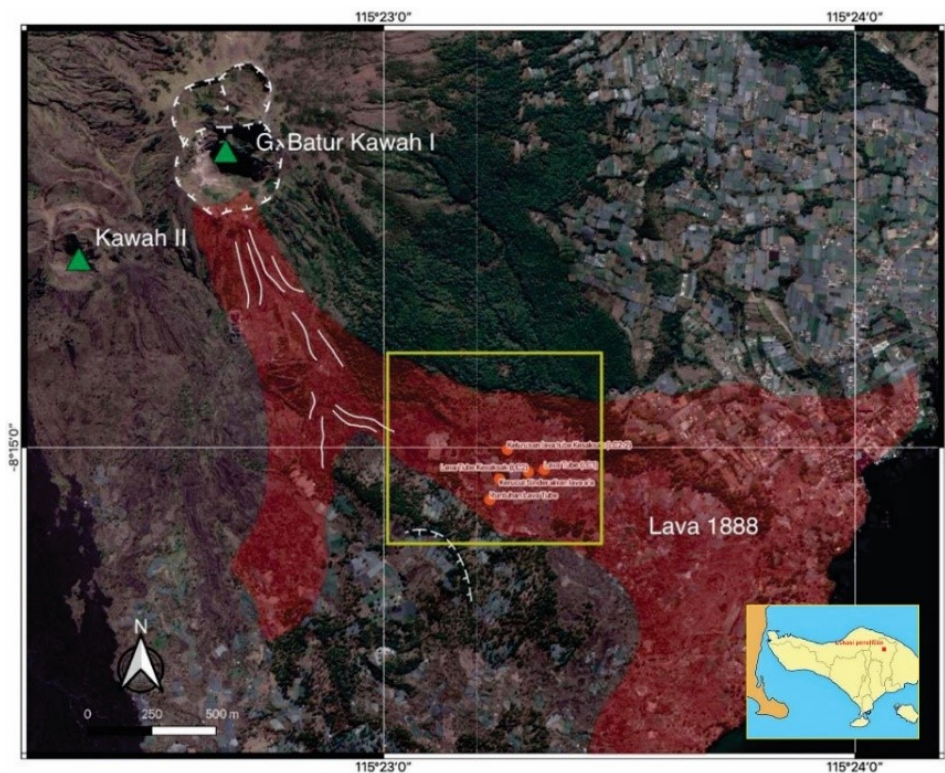
Batur Volcano is an active stratovolcano located at Bali, in the area belongs to Batur Caldera as the the first UNESCO Global Geopark in Indonesia. Batur volcano produced lava, there are nine lava deposits resulting from the eruption of Mount Batur from 1849-1974. Many studies have been conducted to determine petrogenesis and the history of the eruption of Batur volcano, however, a more comprehensive study has never been carried out on the product of lava flows in the form of Lava Tubes/lava caves at Batur volcano. The research of Lava Tube focuses on the east side of Batur volcano where the 1888 lava flowed. Therefore, we carried out field observation and analysis to interpret of the genesis Lava Tubes formation at Batur volcano. The Kesaksak Lava Tube at Batur Volcano was formed from the 1888 eruption of Batur Volcano, and the morphology forming tumuli which is referred to the tumulus cave lava. The lava flow that forms tumuli lava is caused by the rapid cooling of the lava surface then develops into a Lava Tube to form a lava flow further towards Lake Batur. The 1888 lava flow had a basalt composition with the character of the a'a lava. This supports the fact that the Lava Tube was not only formed in the pahoehoe lava flow. As one of the geosites in the Batur UNESCO Global Geopark area, the Kesaksak Lava Tube geosite has the potential to be developed as a geotourism object through the development of a geotrail that connects several geodiversities, biodiversity and cultural diversity in the Batur UNESCO Global Geopark area.

Keywords: *Lava Tube*; *Batur Volcano*; *Batur UNESCO Global Geopark*

PENDAHULUAN

Gunungapi Batur merupakan gunungapi strato yang terletak di pulau Bali dan termasuk dari kawasan Kaldera Batur yang merupakan Taman Bumi *Global Geopark* UNESCO pertama di Indonesia. Gunungapi Batur yang masih aktif sampai saat ini memiliki produk erupsi yang sebagian besarnya merupakan lava. Terdapat total sembilan endapan lava hasil erupsi Gunungapi Batur sejak tahun 1849-1974. Perbedaan waktu pembentukan masing-masing lava Gunungapi Batur mencerminkan adanya proses dinamika magma yang bekerja (Wahjoedi, 2022). Secara administratif lokasi penelitian masuk kedalam kecamatan Kintamani, Kabupaten Bangli, Provinsi Bali. Daerah penelitian merupakan wilayah Taman Bumi Batur yang merupakan geopark pertama di Indonesia yang disahkan menjadi anggota *Global Geopark Network* (GGN) pada acara 11th European Geoparks Networks Confrence di Geopark Arouca, Portugal tahun 2012 (Sutawidjaja, 2012).

Pada kawasan penelitian telah dilakukan studi mengenai petrogenesa oleh Wheller (1986) dan karakteristik evolusi magma Gunungapi Batur oleh Warmada& Nadirah (2019), akan tetapi belum pernah dilakukan studi lebih komprehensif terhadap produk aliran lava berupa *Lava Tube/lava cave*. Lokasi penelitian *Lava Tube* ini berfokus di wilayah sisi timur pada aliran lava 1888 (**Gambar 1**). Maka dari itu dilakukanlah studi ini melalui metode pengamatan lapangan dan analisa untuk menghasilkan interpretasi terhadap genesa pembentukan *Lava Tube* di Gunungapi Batur.



Gambar 1 Lokasi Daerah Penelitian Berada Pada Aliran Lava Gunungapi Batur Tahun 1849 & 1888.

a. Pengertian Lava Tube dan Sejarahnya

Lava Tube, didefinisikan oleh (Halliday, 2004) sebagai "saluran beratap aliran lava, baik aktif, dikeringkan, atau tersumbat", dimana fitur vulkanik yang umum dengan penampilan seperti terowongan. *Lava Tube* adalah saluran alami, di mana lava mengalir di bawah permukaan aliran lava. Ketika pasokan lava berhenti pada akhir erupsi atau lava dialihkan ke tempat lain, lava dalam sistem tabung biasanya mengalir ke bawah lereng dan meninggalkan saluran yang sebagian kosong di bawah tanah. *Lava Tube* merupakan subyek dari penelitian *volcano peleologic*, sebuah istilah yang diciptakan oleh William R. Halliday (Kempe et al., 2010). Berbagai istilah digunakan untuk menjelaskan bentuk primer seperti tabung lava, pipa lava, terowongan lava, atau *pyroducts*. Beberapa peneliti menggunakan istilah "kanal/pipa". Istilah "tabung lava" secara umum digunakan kemudian, dimana pertamakalinya dikenalkan oleh Tom Jaggar pada tahun 1919 (Jaggar Jr., 1920); (Lockwood et al., 2010). Gua lava cukup umum di lingkungan vulkanik tetapi kurang dikenal publik, termasuk banyak ahli speleologi. Hal tersebut menimbulkan tantangan bagi para ahli geologi karena, tidak seperti gua karst, Gua Lava terbentuk dalam sekejap proses geologis, dari beberapa minggu hingga beberapa tahun.

b. Distribusi dan Bentuk Lava Tube

Bella dan Gaál (2013) membedakan beberapa fitur aliran lava seperti saluran lava beratap (*roofed lava chanel*), gua tabung lava (*Lava Tube Caves*), tabung drainase zona keretakan aktif (*drainage tubes of active rift zones*), gua kenaikan lava (*lava rise cave*), gua punggung lava (*lava ridge caves*), gua tumulus lava (*lava tumulus cave*), gua batu besar dalam aliran lava (*boulder caves in lava flows*), poros kawah gunung berapi (*volcanic crater shafts*), gua pernafasan vulkanik (*volcanic exhalation caves*), cerobong asap kerucut dan hornitos (*chimneys of spatter cones and hornites*), gua lepuh lava (*lava blister caves*), gua kerucut poligenetik di gunung berapi karbonatit (*polygenetic spatter cone caves in carbonatite volcanoes*), cetakan pohon pirogenetik vulkanik (*volcanic pyrogenetic tree moulds*), dan gua celah erupsi gunung berapi (*volcanic eruptive fissure caves*). *Lava Tube* dan *lava channel* juga terdapat di daerah vulkanik dasar laut di gunung bawah laut di Pasifik timur. *Lava Tube* dan *lava channel* dapat membentuk jalur intracrustal horizontal untuk sirkulasi cairan hidrotermal (Fornari, 1986). Gua-gua sekunder dalam aliran lava sering terbentuk di sepanjang celah tektonik akibat runtuhnya langit-langit fragmen dari batuan beku dan oleh erosi (Kempe, 2013)

Hampir semua *lava cave* terbentuk dari basal alkalin dan toleitik dimana di antara beberapa pengecualian adalah *lava cave* yang terbentuk di fonolit dan karbonatit ((McFarlane et al., 2004); (Kempe, 2013)). Dua jenis utama lava sebagian besar dapat membentuk gua dan saluran lava yakni jenis *lava a'a* (lava basal terbreksi kasar) dan *lava pāhoehoe* (lava basal halus seperti kaca; nomenklatur Hawaii; (Harris et al., 1997)). *Lava channel* umumnya ditemukan di aliran lava aa dan *Lava Tube* jauh lebih umum di temukan di aliran *lava pāhoehoe* ((Hon, 1994); (Kauahikaua et al., 1998)) Namun, banyak bukti yang muncul bahwa *Lava Tube* juga terbentuk dialiran lava aadan tidak selangka yang diperkirakan sebelumnya (Calvari & Pinkerton, 1998; Coombs, 1992; Wantim et al., 2013). Beberapa bukti a'a lava ditemukan di lantai gua lava sebagai akibat dari pendinginan saluran yang meningkatkan

viskositas lava, menarik lava terpisah untuk membentuk klinker. Lava tumuli juga dapat berongga di dalamnya (misalnya, di kaldera Kilauea; (Halliday, 1998) dalam Sawłowicz, 2020). (Pedersen et al., 2017) mendeskripsikan tumuli yang membentuk gua dan rongga kecil, berkaitan dengan proses tabung inflasi dari *lava a'a* dan *pāhoehoe*, yang dihasilkan dari lava yang dialirkan dari bawah. Tabung lava yang menggembung di dalam saluran, beberapa di antaranya sangat besar, dianggap terbentuk melalui inflasi di sepanjang lapisan awal yang dalam, mengikuti batas aliran lava sebelumnya.



Gambar 2 Penampang Melintang Yang Disederhanakan Melalui Tabung Lava, Dengan Lapisan, Tanggul, Dan Jenis Speleothem Lava Yang Paling Umum (Sawłowicz, 2020).

Pembentukan *Lava Tube* adalah proses yang relatif cepat. Pertumbuhan mereka tergantung pada laju pendinginan lava dan topografi lokal. Hal ini juga dijumpai pada goa lava di Purbalingga dimana pembentukan *Lava Tube* atau goa lava di kontrol oleh morfologi dari gunungapi purba Slamet (Widagdo dan Setijadi, 2007). Aliran lava yang berkelanjutan membentuk *Lava Tube* berukuran kecil selama periode jam hingga hari (Byrnes & Crown, 2001; Peterson & Swanson, 1974), sedangkan *Lava Tube* berukuran besar terbentuk selama berminggu-minggu hingga berbulan-bulan (Calvari & Pinkerton, 1998; Harris et al., 1997). Kempe mengemukakan bahwa pendapat yang berbeda dengan pendapat umum, dimana gua lava tidak tercipta pada akhir erupsi atau ketika tabung kosong, tetapi aktivitas yang berkepanjangan menciptakan ruang gas di atas sungai lava yang mengalir ke bawah.

Lava Tube di lingkungan vulkanik yang lebih tua biasanya runtuh, membentuk rills, pegunungan berliku dan saluran, dan/atau diisi dengan sedimen. Selama aliran lava, saluran *Lava Tube* dapat diisi seluruhnya atau hanya sebagian. Biasanya, tingkat lava di saluran berkurang, sebagai akibat dari berkurangnya pasokan lava, atau pembesaran penampang koridor karena erosi, dengan aliran lava konstan (Kauahikaua et al., 1998). Bentuk *Lava Tube* bisa sangat kompleks dan bervariasi. *Lava Tube* dapat terus berevolusi dalam dimensi dan bentuk, dari penampang elips menjadi melengkung, bulat, oval, atau berbentuk lubang kunci,

karena pembentukan dan kegagalan penyumbatan, perubahan laju efusi, erosi termal dan mekanis, atau perubahan lereng (Diniega et al., 2013; Dragoni & Santini, 2007; Kauahikaua et al., 1998; Kerr, 2001).

Fitur lava yang umum di gua adalah stalaktit lava, stalagmit, heliktit, kolom, *flowstone*, koraloid, alur (garis aliran), rak, puncak langit-langit, pelapis, jatuhnya lava, bendungan, tanggul, talang dan bangku (Larson & Charles V, 1993) *Lava Tube* penting dalam pengembangan daerah aliran lava, baik *pāhoehoe* dan *āa* memungkinkan pembentukan aliran lava yang lebih panjang dan lebar (Al-Malabeh & Kempe, 2012; Kauahikaua et al., 1998). Aliran lava tidak hanya menggunakan tabung lava yang terbentuk sebelumnya, tetapi juga dapat menghancurkannya.

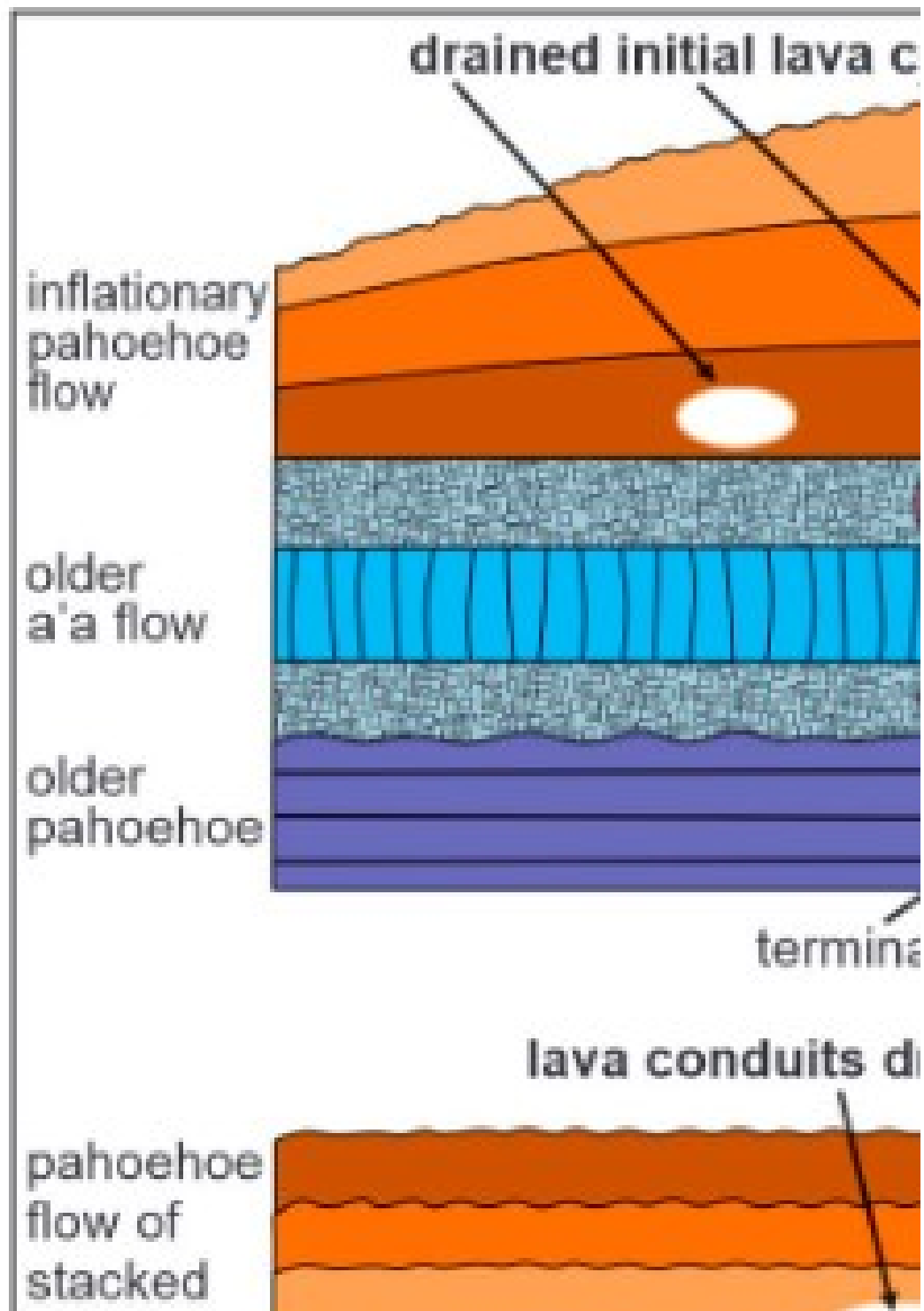
c. Erosi Termal dan Mekanik

Salah satu mekanisme penting untuk pembentukan *lava channel* dan *Lava Tube/cave* adalah erosi termal dan mekanis oleh aliran lava (Kauahikaua et al., 1998). Mekanisme ini melibatkan beberapa kombinasi peleburan termal dan asimilasi dan / atau pencabutan mekanis dan entrainment substrat di bawahnya oleh lava panas yang mengalir (Hulme, 1973; Huppert et al., 1984; Williams et al., 1998). Efisiensi erosi termal juga bergantung pada sifat fisik magma, yang sebagian besar bergantung pada komposisi magma (Whittington, 2020).

Lava Tube/ tabung lava bisa menjadi isolator yang sangat baik dari aliran lava. Mengisolasi lava di dalam tabung mengurangi laju pendinginannya dan dengan demikian meningkatkan jangkauan alirannya (Keszthelyi, 1995; Keszthelyi & Self, 1998). Suhu permukaan maksimum limpasan lava dalam tabung Kilauea adalah 1.138 °C, dan 1.020 °C pada aliran keluar dari tabung (Pinkerton et al., 2002). Pengangkutan melalui tabung lava dengan panjang lebih dari 100 km dalam aliran yang dipompa memungkinkan inti lava cair untuk mencapai bagian depan aliran, dengan laju pendinginan kurang dari 0,5 °C/km (e.g., Keszthelyi, 1995; Riker, 2005; Sakimoto & Zuber, 1998).

d. Model Pembentukan Lava Tube

Ada beberapa model pembentukan tabung lava (*Lava Tube*). Dua cara utama (Kempe et al., 2010) adalah: 1) "Inflasi" Aliran lava tumbuh di ujung distalnya, di mana lava panas dengan cepat menutupi tanah dalam lapisan tipis. Aliran berikutnya membuat lembaran ini mengembang sebelum pembentukan lembaran permukaan distal berikutnya dan kemudian terjadi erosi ke bawah, proses ini bisa berlangsung berulang-ulang. 2) "Pengerasan saluran" dengan penutupan oleh leleran lava dan penutupan dengan pertumbuhan lava lateral. *Lava Tube* yang dibentuk dengan atap di atas saluran cenderung memiliki atap yang relatif tipis (ketebalan atap $\ll$ diameter *Lava Tube*), sedangkan *Lava Tube* yang terbentuk di dalam lembaran yang digelembungkan cenderung memiliki atap yang lebih tebal (Keszthelyi & Self, 1998). Sebagian besar *Lava Tube* terbentuk oleh proses pertama di ujung aliran lava melalui proses inflasi yang berulang (Kempe, 2013).



Gambar 3 Model Pembentukan Lava Gua. A. Inflasi Aliran Lava Bagian Terluar dan Kemudian Mengalami Erosi Ke Bawah. B. Penyatuan Saluran Kecil dan Erosi Ke Bawah Berturut-Turut. C. Pengerasan Saluran Oleh Lithoclasts Yang Mengambang, Dilas Bersama (Kiri) dan Dengan Akresi Paparan Lateral Dan Penutupan Berturut-Turut (Kanan; Setelah Kempe, 2012b, Dimodifikasi Oleh Sawłowicz, 2020)

e. Geologi Gunungapi Batur dan Sekitarnya

Sejarah geologi di Gunungapi Batur tidak terlepas dari berbagai aktivitas gunungapi yang dimulai dengan proses pembentukan kaldera Gunungapi Batur pertama atau dikenal juga sebagai Gunung Penulisan (Watanabe & Yamanka, 2010) pada 29.300 tyl. dDimana erupsinya disebut sebagai erupsi kataklasmik yang melontarkan semua material piroklastik ke arah selatan pulau Bali yang dikenal sebagai ignimbrite Ubud karena material endapannya banyak ditemukan di sekitar Ubud bahkan hingga Denpasar. Banyak material yang terlontarkan ke udara menyebabkan ruang hampa pada tubuh Gunungapi Batur pertama tersebut dan menyebabkan tubuh gunungnya runtuh dan membentuk kaldera dengan luas mencapai 13,8 x 10 km. Kaldera ini memotong bagian dari tubuh gunung parasit yakni Gunung Abang yang juga saat ini sebagai puncak tertinggi dikawasan kaldera Batur dengan ketinggian 2.152 mdpl. Proses geologi Kaldera Batur tidak berhenti sampai disitu, perlahan pasca erupsi kaldera pertama gunungapi baru mulai tumbuh yang diawali dengan tumbuhnya Gunung Parasit Bunbunan dan Gunung Payang di bagian utara dan barat daya zona depresi kaldera. Lambat laun mulai tumbuh Gunungapi Batur Purba kedua yang terus tumbuh dan akhirnya mengalami erupsi kaldera kembali pada 20.150 tyl yang mana menyebabkan terbentuknya kaldera kedua dengan diameter 7 km dan memotong setengah dari tubuh gunungapi-gunungapi parasit yakni Gunung Bunbunan dan Gunung Payang. Material piroklastiknya terlontarkan hingga keluar dari kaldera pertama ke arah selatan mengendapkan ignimbrite Gunungkawi. Pasca pembentukan kaldera kedua juga menyebabkan depresi di bagian timur makin mendalam dan dalam waktu yang relatif cukup lama tanpa adanya aktivitas gunungapi baru sehingga daerah depresi tersebut tergenang oleh air hujan dan membentuk danau bulan sabit dengan luasannya 16 km² yang dinamai sebagai Danau Batur. Masih belum begitu jelas berapa lama jeda waktu antara aktivitas kaldera kedua hingga terbentuknya gunungapi baru yakni Gunungapi Batur muda yang memiliki 3 kawah utama yakni kawah I (1.717 mdpl), kawah II (1.589 mdpl) dan kawah III (1.410 mdpl), beberapa asumsi mengatakan kegiatan kegunungapiannya dimulai lagi di 3000 tyl dan hingga kini Gunungapi Batur mengalami sekitar 26 kali erupsi berdasarkan aktivitas yang tercatat dari tahun 1804-2000 (Wheller, 1986 & Sutawidjaja, et al., 2009 dalam Agastya, et al., 2021).

f. Stratigrafi Batuan di Lokasi Penelitian

Berdasarkan vulkanostratigrafi Kaldera Gunungapi Batur (Sutawidjaja, 1992) kawasan Kaldera Batur tersusun oleh 37 satuan batuan dan batuan tertua yang tersingkap pada akwasan tersebut memiliki umur Tersier. Satuan batuan yang termasuk ke dalam daerah penelitian tersusun atas 3 satuan batuan dari muda ke tua yakni (**Gambar 4 & 5**) :

a. Endapan Jatuhan Piroklastik Batur (Bpj)

Enpadan ini tersusun atas scoria andesitic berwarna abu-abu kehitaman berstruktur vesikuler dimana memiliki ukuran butir dari abu hingga bom, mengandung banyak olivine dengan fragmen litik sedikit. Satuan ini memiliki struktur yang menonjol berupa perlapisan bersusun dengan tebal 0,1 – 2 meter.

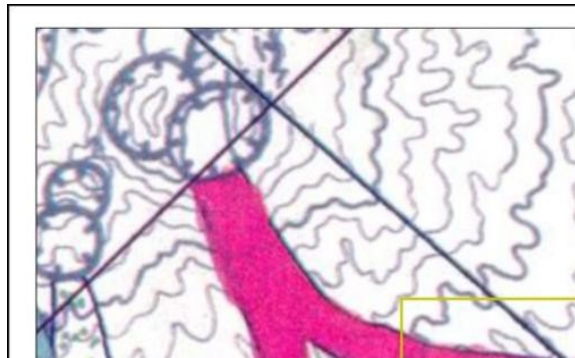
b. Lava 1888

SEBARAN DAN PROSES GEOLOGI PEMBENTUKAN LAVA TUBE KESAKSAK DI BATUR UNESCO *GLOBAL GEOPARK*

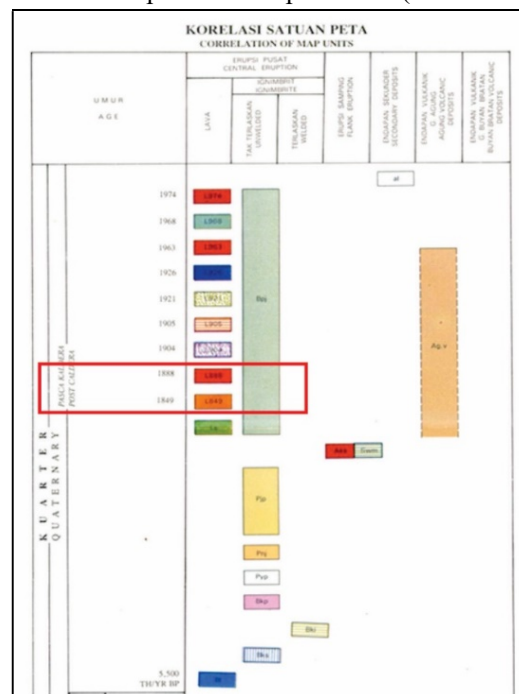
Maeupakan aliran lava yang berasal dari erupsi Gunungapi Batur pada kawah I di tahun 1888 memiliki komposisi andesit basaltik, berwarna abu-abu sampa iabu-abu kehitaman, berstruktur masif dan sebagian vesikuler dengan bentuk permukaannya tidak teratur dan skoria. Mengandung 35% plagioklas (<2 mm), olivin dan klinopiroksin dengan banyak butiran oksida besi dimana memiliki ketebalan 3-10 meter.

c. Lava 1849

Merupakan aliran lava yang berasal dari erupsi Gunungapi Batur pada kawah I pada tahun 1849 dimana dibagian permukaannya berstruktur skorja, dengan komposisi andesit basaltik, berwarna abu-abu kehitaman, mengandung banyak olivin dan sedikit augit, plagioklas berjumlah 40% mengandung banyak inklusi gelas terutama di bagian pusatnya dengan ketebalan 4-8 meter.



Gambar 4 Persebaran satuan batuan pada daerah penelitian (modifikasi dari Sutawidjaja, 1992).



Gambar 5 Kolom Stratigrafi Gunungapi Batur Berdasarkan Peta Geologi Kaldera Batur (modifikasi dari Sutawidjaja, 1992) (kotak merah merupakan satuan batuan yang tersingkap di lokasi penelitian).

g. Sejarah Erupsi Gunungapi Batur

Gunungapi Batur merupakan gunungapi strato yang menghasilkan endapan lava pada dasar kaldera Batur dan endapan piroklastik pada tepian kaldera dari kegiatan vulkanik pada tahap pasca-kaldera (Wahjoedi, 2022 dalam Wheller, 1986). Selama fase erupsi, Wheller (1986) menyebutkan Gunungapi Batur memiliki tiga kerucut, yaitu kerucut Gunungapi Batur I, II, dan III (Gambar) yang menghasilkan embilan satuan lava yang tersingkap pada dasar kaldera dan dibedakan berdasarkan tahun erupsi G. Batur. Satuan lava yang tersingkap pada dasar kaldera tersebut yaitu lava 1849, lava 1888, lava 1904, lava 1905, lava 1921, lava 1926, lava 1963, lava 1968, dan lava 1974. Fitur aliran lava G. Batur beragam, seperti pahoehoe, aa, clinker, spatter, tumuli, hornito, lava pipa, lava bantal, spiracle lava, dan lava steptoe yang dapat ditemukan di beberapa lokasi. Dengan fitur aliran lava yang paling umum adalah lava aa. Berikut (Tabel 1) merupakan rangkuman sejarah erupsi Gunungapi Batur (Badan Geologi, 2014 modifikasi oleh (Wahjoedi, 2022)).

Tabel 1 Sejarah erupsi G. Batur (Badan Geologi, 2014 modifikasi oleh Wahjoedi, 2022) (lava 1888 merupakan fokus area penelitian *Lava Tube* di Gunungapi Batur).

Tahun Erupsi	Produk Erupsi	Rekam Histori
1849	Lava	Erupsi pada kawah utama (kerucut I) menghasilkan lava dan mengalir ke arah selatan sampai tepian danau Batur.
1888	Lava	Erupsi terjadi melalui kerucut I, aliran lava mengarah ke tenggara sampai danau Batu.
1904	Lava	Erupsi pada bagian barat, dan terdapat persebaran lava di sekitarnya.
1905	Lava	Erupsi dari kerucut I, II, dan III Gunungapi Batur. Aliran lava mengarah ke selatan dan barat daya.
1921	Lava	Erupsi terjadi pada 29 Januari dan berakhir pada 17 April 1921. Aliran lava mengarah ke barat daya dan selatan.
1926	Lava	Erupsi terjadi pada 2 Agustus sampai 21 September 1926. Erupsi menghasilkan 21×10^6 m ³ luasan lava yang menimbun Desa Batur yang berada pada dasar Kaldera.
1963	Abu vulkanik & Lava	Erupsi terjadi pada 5 September sampai 10 Mei 1964. Erupsi ini cukup besar sehingga menghasilkan lava yang luas, persebaran lava memiliki luas 1.280.230 m ² pada arah barat. Pada arah barat daya areal lava seluas 4.322.700 m ²
1968	Abu vulkanik & Lava	Erupsi dimulai 23 Januari sampai 15 Februari. Aliran lava ke arah selatan.
1974	Lava	Erupsi efusif terjadi pada 12 Maret 1974, aliran lava mengarah ke barat.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan data primer dan sekunder dimana data sekunder berasal dari kajian literatur mengenai *Lava Tube* dan kondisi geologi regional dari daerah penelitian. Data primer diperoleh dari metode pemetaan geologi di lokasi penelitian, pengukuran dan pemetaan detail sebaran *Lava Tube/lava cave* untuk mengetahui dimensi dari setiap *Lava Tube/lava cave* yang ada. Selanjutnya dilakukan interpretasi menyesuaikan dengan konsep yang ada untuk mengetahui proses dan genesa *Lava Tube/lava cave* di G. Batur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pemetaan di lapangan terhadap singkapan batuan hingga lokasi pengamatan bentukan *Lava Tube* dari aliran lava G. Batur maka di dapatkan beberapa data sebagai berikut (Gambar 6):



Gambar 6 Lokasi singkapan batuan dan *Lava Tube*.

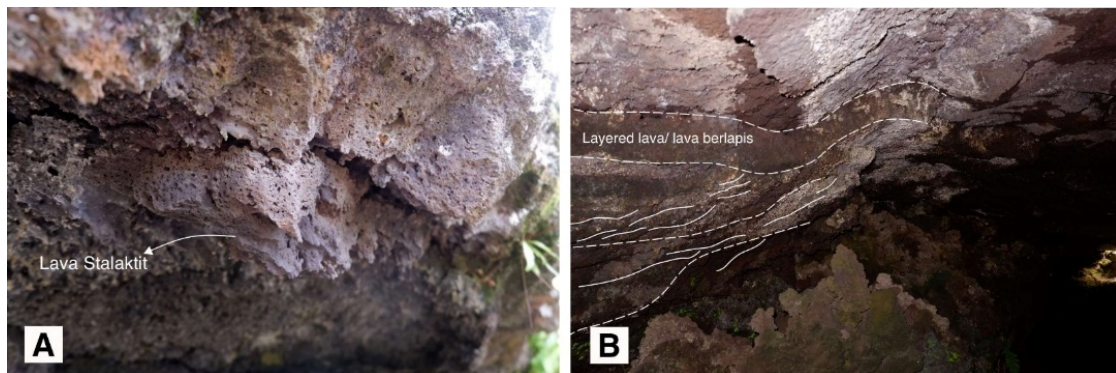
a. *Lava Tube* (LC1)

Merupakan *Lava Tube* yang berada berdekatan dengan geosite *Lava Tube* Kesaksak yang berada pada koordinat S 08° 15' 03.3" E 115° 23' 20.5". *Lava Tube* ini disusun oleh satuan batuan berupa lava basal-andesitik dengan warna hitam hingga hitam keabuan, memiliki struktur skoria dan kerak lava (clinker) pada bagian permukaannya. *Lava Tube* ini memiliki dua lubang bukaan atau goa dimana yang paling lebar bukaan *Lava Tube* memiliki dimensi 1,5 meter dengan arah N 266° E dan goa kedua memiliki bukaan dengan dimensi lebar 0,6 meter dengan arah timur atau menghadap Danau Batur (**Gambar 7**). Selain itu *Lava Tube* ini memiliki ukuran panjang mencapai 6 meter dengan tinggi 1,5 – 2 meter, dimana di dalam *Lava Tube* ini juga ditemukan bentukan-bentukan interior goa seperti lava stalaktit berukuran

ibu jari. Jika dilihat dari persebaran dan sumber alirannya *Lava Tube* ini terbentuk dari hasil aliran lava 1888 yang berkarakter lava a'a (Gambar 8).



Gambar 7 Kenampakan *Lava Tube* (LC1) Yang Berada Berdekatan Dengan *Lava Tube* Kesaksak: A. Kenampakan luar *Lava Tube*; B. Kenampakan dalam *Lava Tube*/goa lava; C. *Outlet Lava Tube*/goa lava.

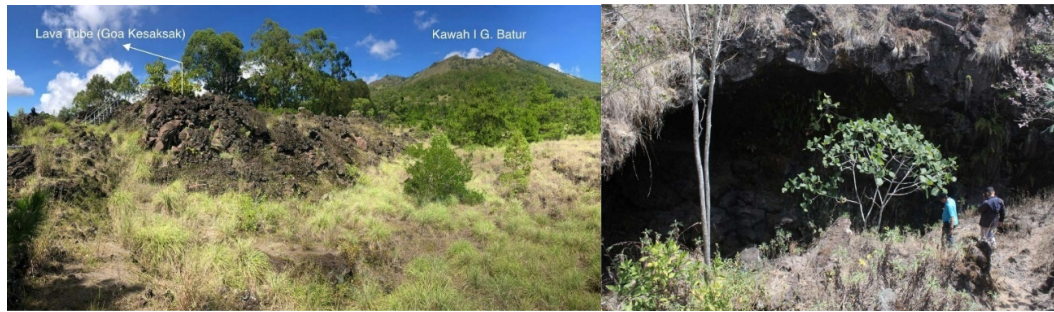


Gambar 8 Kenampakan Interior *Lava Tube*/ goa lava (LC1): A. Lava Stalaktit; B. Dinding *Lava Tube*/goa lava menunjukkan strukturaliran (*flowstone*) yang merupakan proses Ketika lava pijar mengalir saat menggerus dinding *Lava Tube*.

b. *Lava Tube* Kesaksak (LC2) (Geosite *Lava Tube* Kesaksak)

Merupakan *Lava Tube* yang menjadi salah satu geosite di kawasan Batur UNESCO *Global Geopark*, *Lava Tube* ini berada di sisi sebelah timur dari kawah I Gunungapi Batur dengan koordinat S 08 15' 03.6" E 115 23' 18.8". *Lava Tube* ini secara aksesibilitas termasuk baik dan memiliki akses jalan masuk yang terbuat dari papan kayu, hal ini dikarenakan *Lava Tube* ini difungsikan juga sebagai objek geosite maupun untuk mendukung aktivitas geowisata. *Lava Tube* secara umum tersusun atas satuan batuan berupa lava basal-andesitik dengan warna hitam hingga hitam kemerahan, oksida besi, dengan bagian permukaan berstruktur skoria dan kerak lava (clinker). *Lava Tube* ini termasuk *Lava Tube* yang paling besar yang berada di kawasan Batur UNESCO *Global Geopark* dimana memiliki dimensi bukaan goa dengan diameter kurang lebih 10 meter dimana runtuhannya goa tersebut berupa blok-blok lava a'a. Selain itu *Lava Tube* ini memiliki dua goa yang dapat diakses dimana goa yang berada di bagian timur berarah N 294°E dimana dindingnya mengalami runtuh sehingga menutup akses masuk, hal ini kemungkinan disebabkan oleh kejadian gempa Karangsem pada 13 Desember 2022. Sedangkan goa kedua berarah N 194°E memiliki dimensi tinggi 5-6 meter, lebar 1,5-10 meter dan dapat diakses dimana diperkirakan panjang *Lava Tube*/goa lava Kesaksak mencapai ± 25 meter (Gambar 11).

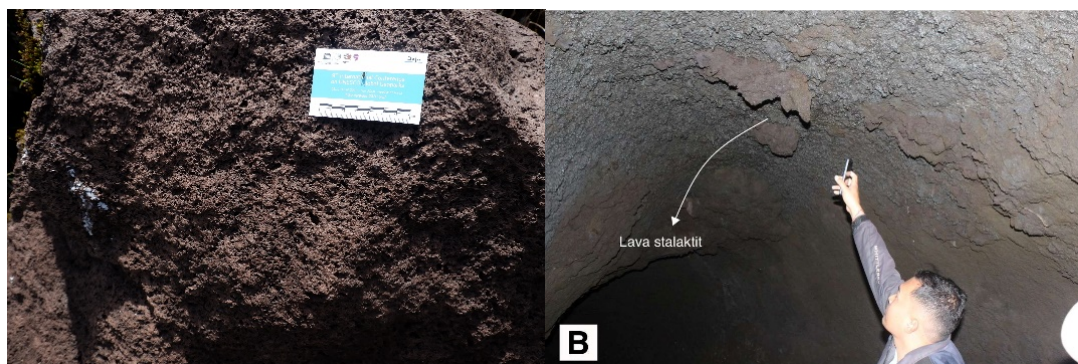
SEBARAN DAN PROSES GEOLOGI PEMBENTUKAN *LAVA TUBE* KESAKSAK DI BATUR UNESCO GLOBAL
GEOPARK



Gambar 9 Kenampakan Bagian Luar *Lava Tube* Kesaksak Yang Memperlihatkan Bentuk Lava Tumuli Dan Mulut *Lava Tube*/ Goa Lava Kesaksak



Gambar 10 Bagian Dalam dari *Lava Tube*/ Goa Lava Kesaksak dengan Panjang Segmen Pertama Goa Mencapai ± 25 Meter, Dengan Tinggi *Lava Tube* 5-6 Meter Dan Lebar 1,5-10 Meter, Bagian Dasar Lantai *Tube* Terisi Oleh Lava A'a Berkarakter Basal.



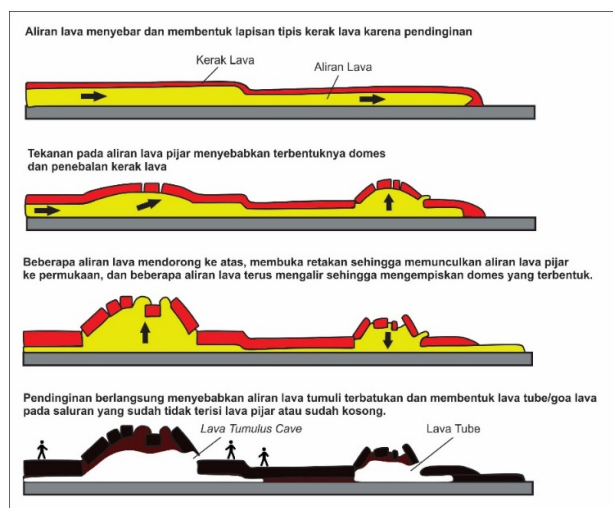
Gambar 11 Kenampakan singkapan lava basal dengan karakter lava a'a berstruktur masif-skoria yang Menyusun geosite *Lava Tube* Kesaksak; Kenampakan lava stalaktit pada dinding *Lava Tube* Kesaksak.

PEMBAHASAN

a. Genesa dan Model Pembentukan Lava Tube Kesaksak di Gunungapi Batur

Dari pengamatan dan deskripsi yang dilakukan terhadap data lapangan berupa morfologi dan bentuk yang ada menunjukkan *Lava Tube* Kesaksak di G. Batur di bentuk berdasarkan aliran lava dari erupsi gunungapi batur di tahun 1888, dengan morfologi permukaan membentuk tumuli. Aliran lava yang membentuk lava tumuli diakibatkan oleh proses pendinginan permukaan lava yang cepat sehingga tumuli selanjutnya berkembang menjadi *Lava Tube* untuk membentuk aliran lava lebih jauh kearah Danau Batur. Hal ini serupa dengan model pembentukan yang dikemukakan oleh Bella dan Gaál (2013) dimana gua tumulus lava (*lava tumulus cave*), mendeskripsikan tumuli yang membentuk gua dan rongga kecil, berkaitan dengan proses tabung inflasi dari lava *a'a* dan *pāhoehoe*, yang dihasilkan dari lava yang dialirkan dari bawah. Tabung lava yang menggembung di dalam saluran, beberapa diantaranya sangat besar, dianggap terbentuk melalui inflasi di sepanjang lapisan awal yang dalam, mengikuti batas aliran lava sebelumnya. Pembentukan *Lava Tube* adalah proses yang relatif cepat. Pertumbuhan mereka tergantung pada laju pendinginan lava dan topografi local, *Lava Tube* penting dalam pengembangan daerah aliran lava, baik *pāhoehoe* dan *aa* memungkinkan pembentukan aliran lava yang lebih panjang dan lebar (Al-Malabeh & Kempe, 2012; Kauahikaua et al., 1998)

Dari sisi morfologi G. Batur juga mempengaruhi pola pembentukan aliran lava, jika diperhatikan aliran lava yang dekat dengan daerah proximal akan membentuk *lava channel*, sedangkan semakin kearah distal dari gunungapi akan membentuk lava tumuli, *Lava Tube/lava cave*. Namun tidak menutup kemungkinan *lava channel* yang dialiri lava kembali dapat membentuk *Lava Tube*. Selain itu sudut kemiringan lereng pada saat aliran dan kondisi viskositas lava juga akan mempengaruhi proses aliran lava yang terbentuk di sekitar *Lava Tube* Kesaksak. Sejauh pengamatan yang dilakukan pada aliran lava 1888 memiliki sifat basal dan berkarakter *lava a'a*, hal ini mendukung bahwa *Lava Tube* tidak hanya terbentuk pada aliran *lava pahoehoe* namun juga dapat terbentuk dari aliran *lava a'a* yang mana aliran ini memiliki karakter pembentukan *Lava Tube* yakni *lava tumulus cave/tube* (Gambar 13).



Gambar 12 Model Pembentukan Lava Tumulus Cave/Tube Kesaksak Di Gunungapi Batur.

b. Distribusi Lava Tube/Goa Lava Kesaksak di Gunung Batur

Dari pengamatan di lapangan beberapa hal menarik dapat diamati dimana *Lava Tube* di G. Batur didominasi oleh lava a'a. Dimana lava a'a ini untuk membentuk struktur *Lava Tube* melalui mekanisme lava tumuli, sehingga lava tumuli ini nantinya akan menjadi *Lava Tube* atau goa lava. *Lava Tube* selanjutnya terbentuk di bagian depan dari lava tumuli, sehingga dapat mempreservasi panas aliran lava dengan baik. *Lava Tube* yang terbentuk di G. Batur diperkirakan merupakan event yang cepat atau dengan kata lain sekali event yakni erupsi lava 1888, sehingga goa atau *Lava Tube* yang terbentuk memiliki bentuk yang lebar dan besar namun mudah runtuh dengan panjang *Lava Tube* tidak terlalu panjang berkisar 5-25 meter dan dengan kondisi demikian keterdapatan *Lava Tube* di Gunungapi Batur cukup jarang atau tidak banyak dijumpai dengan kondisi yang baik.

c. Potensi Geowisata

Sebagai salah satu geosite di kawasan Batur UNESCO *Global Geopark*, geosite *Lava Tube* Kesaksak memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai objek geowisata melalui pengembangan geotrail yang menghubungkan beberapa *geodiversity*, *biodiversity* maupun *culture diversity* yang ada di kawasan Batur UNESCO *Global Geopark* (**Gambar 14**). Kegiatan geotrail dapat mengangkat tema mengenai produk erupsi G. Batur tahun 1849-1888 yang menghasilkan fitur-fitur aliran lava dan fitur gunungapi lainnya seperti tumuli, talus, *lava channel*, lava ridge, lava tower dan kerucut sinder. Pada geosite *Lava Tube* Kesaksak juga sudah didukung dengan amenitas seperti panel interpretasi, jalan setapak, gazebo, tempat duduk hingga tangga menuju *Lava Tube*/goa lava. Untuk akses kedalam *Lava Tube* sebaiknya dibatasi dikarenakan kondisi *Lava Tube* yang kurang stabil dan dibutuhkan alat safety berupa helm dan lampu pada saat masuk kedalam *Lava Tube*.



Gambar 13 Contoh Geotrail Yang Dapat Dikembangkan Di Sekitar Geosite *Lava Tube*/ Goa Lava Kesaksak.

d. Potensi Bahaya

Dari segi potensi bahaya *Lava Tube* yang ada secara dimensi mudah untuk di akses namun termasuk tidak stabil karena mudah runtuh, keruntuhan *Lava Tube* bisa disebabkan salah satunya oleh adanya gempa. Sehingga jika nanti dijadikan kegiatan geowisata wisatawan harus dilengkapi dengan alat-alat keselamatan diri baik berupa helm, senter dan lainnya. Bahaya lainnya yang perlu di teliti lebih lanjut yakni keberadaan gas metane ataupun gas berbahaya lainnya di dalam sebuah *Lava Tube*, karena ada beberapa kasus di dalam goa/*Lava Tube* kerap terjebak gas-gas berbahaya bagi mahluk hidup ataupun manusia. Untuk itu secara visibilitas perlu dibuatkan papan informasi terkait apa yang perlu diperhatikan ketika mengunjungi geosite *Lava Tube* sehingga wisatawan dapat melihat dan mengikuti arahan dari informasi yang ada untuk keselamatannya.



Gambar 14 Jatuhnya dinding *Lava Tube* di geosite *Lava Tube* Kesaksak diakibatkan oleh adanya gempa di daerah Karangsem pada 13 Desember 2022 yang terasa hingga di sekitaran wilayah Batur UNESCO *Global Geopark*.

KESIMPULAN

Lava Tube Kesaksak di Gunungapi Batur di bentuk berdasarkan aliran lava dari erupsi gunungapi batur di tahun 1888, dengan morfologi permukaan membentuk tumuli yang disebut sebagai *lava tumulus cave*. Aliran lava yang membentuk lava tumuli diakibatkan oleh proses pendinginan permukaan lava yang cepat sehingga tumuli selanjutnya berkembang menjadi *Lava Tube* untuk membentuk aliran lava lebih jauh kearah danau Batur. Aliran lava tahun 1888 berkomposisi basal dengan karakter aliran *lava a'a* hal ini mendukung bahwa *Lava Tube* tidak hanya terbentuk pada aliran lava *pahoehoe*. Sebagai salah satu geosite di kawasan Batur UNESCO *Global Geopark*, geosite *Lava Tube* Kesaksak memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai objek geowisata melalui pengembangan geotrail yang menghubungkan beberapa *geodiversity*, *biodiversity* maupun *culture diversity* yang ada di kawasan Batur UNESCO *Global Geopark*. Dari segi potensi bahaya *Lava Tube* yang ada secara dimensi mudah untuk di akses namun termasuk tidak stabil karena mudah runtuh,

keruntuhan *Lava Tube* bisa disebabkan salah satunya oleh adanya gempa. Sehingga kalau nantinya digunakan untuk kegiatan geowisata wisatawan harus dilengkapi dengan alat-alat keselamatan diri baik berupa helm, senter dll. Selain itu secara visibilitas perlu dibuatkan papan informasi terkait apa yang perlu diperhatikan ketika mengunjungi geosite *Lava Tube* sehingga wisatawan dapat melihat dan mengikuti arahan dari informasi yang ada untuk keselamatannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Agastya, I.B.O., Meiva, P.S., Satya, Y., Rinjani, P., & Chayadi, C. (2021). The Potential and Challenges of Batur Unesco *Global Geopark* as a Place for Volcanic and Geological Hitory in Bali Based on SWOT Analysis. *Joint Convention Bandung 2021*.
- Al-Malabeh, A., & Kempe, S. (2012). Hashemite University Cave, Jordan. In: Al-Malabeh A. (ed.), *Proceedings of the 15th International Symposium on Vulcanospeleology*, 15–22 March, 2012. The Hashemite University, Zarka, Jordan, pp. 43–48.
- Bella, P. & Gaál, L. (2013). Genetic types of non-solution caves. In: Filippi, M. & Bosák, P. (eds), *Proceedings of the 16th International Congress of Speleology*. Vol. 3. Czech Speleological Society, Brno, pp. 237–242. Fig. 10. Lavacicles in Kazumura Cave. A. Sharktooth (foreground) and tubular stalactites (width about 1–2 cm) and soda straws (width about 0.5 cm; background). B. Conical stalactites (length about 5–10 cm). C. Accreted knobs (fins/blades), resulted probably from eddy currents. D. Helictites (width about 0.5–1 cm).
- Byrnes, J. M. & Crown, D. A. (2001). Relationships between pāhoehoe surface units, topography, and *Lava Tubes* at Mauna Ulu, Kilauea Volcano, Hawaii. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 106 (B2): 2139–2152.
- Calvari, S., & Pinkerton, H. (1998). Formation of lava tubes and extensive flow field during the 1991–1993 eruption of Mount Etna. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 103 (B11): 27291–27302.
- Calvari, S. & Pinkerton, H. (1999). *Lava Tube* morphology on Etna and mechanisms evidence on lava flow emplacement. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 90: 263–280.
- Coombs, C. R. & Hawke, B. R. (1992). A search for intact *Lava Tubes* on the Moon: Possible lunar base habitats. In: Mendell, W. W. (ed.), *The Second Conference on Lunar Bases and Space Activities of the 21st Century*. NASA Conference Publication, 3166, Vol. 1. Houston, pp. 219–229.
- Cashman, K., Pinkerton, H. & Stephenson, J. (1998). Introduction to special section: Long lava flows. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 103 (B11): 27281–27289.
- Diniega, S., Smrekar, S. E., Anderson, S. & Stofan, E. R. (2013). The influence of temperature-dependent viscosity on lava flow dynamics. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 118: 1516–1532.
- Dragoni, M. & Santini, S. (2007). Lava flow in tubes with elliptical cross sections. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 160: 239–248.
- Fornari, D. J., 1986. Submarine *Lava Tubes* and channels. *Bulletin of Volcanology*, 48: 291–298.
- Halliday, W. R. (2004). *Volcanic caves*. In: Gunn, J. (ed.), *Encyclopedia of Caves and Karst Science*. Fitzroy Dearborn, New York, pp. 761–764.

- Harris, A. J. L., Blake, S., Rothery, D. & Stevens, N. (1997). A Chronology Of The 1991 To 1993 Mount Etna Eruption Using Advanced Very High-Resolution Radiometer data: implications for real-time thermal volcano monitoring. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 102 (B4): 7985–8003.
- Harris, A. J. L., Rowland, S. K., Villeneuve, N. & Thordarson, T. (2017). Pāhoehoe, ‘a‘a, and block lava: an illustrated history of the nomenclature. *Bulletin of Volcanology*, 79: 76–34.
- Hon, K., Kauahikaua, J., Denlinger, R. & Mackay, K. (1994). Emplacement and inflation of pāhoehoe sheet flows: obser-vations and measurements of active lava flows on Kilauea Volcano, Hawaii. *Geological Society of America Bulletin*, 106: 351–370.
- Hulme, G. (1973). Turbulent lava flow and the formation of lunar sinuous rilles. *Modern Geology*, 4: 107–117.
- Huppert, H. E., Sparks, R. S. J., Turner, J. S. & Arndt, N. T. (1984). Emplacement and cooling of komatiites lavas. *Nature*, 309: 19–22.
- Jaggard, T. A. (1919). *Monthly Bulletin of the Hawaiian Volcano Observatory*, 7: 5.
- Kauahikaua, J., Cashman, K. V., Mattox, T. N., Heliker, C. C., Hon, K. A., Mangan, M. T. & Thornber, C. R. (1998). Observations on basaltic lava streams in tubes from Kilauea volcano, island of Hawai’i. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 103 (B11): 27303–27323.
- Kempe, S., (2012a). Volcanic rock caves. In: White, W. B. & Culver, D. C.(eds), *Encyclopedia of Caves*. Academic Press/Elsevier, Amsterdam, pp. 865–873.
- Kempe, S., (2013). Morphology of speleothems in primary (lava-) and secondary caves. In: Shroder, J.&Frumkin, A. (eds), *Treatise on Geomorphology. Karst Geomorphology*. Academic Press, San Diego, CA, pp. 267–285.
- Kempe, S., Middleton, G., Addison, A., Toulkeridis, T. & Hoese, G. (2018). Genesis of pyroclasts of the Galápagos Islands, Ecuador. In: *Proceedings of the 18th International Symposium on Vulcanospeleology*, 21–28 July, 2018, Lava Beds National Monument, California, USA. http://www.vulcanospeleology.org/sym18/Proceedings/Kempe_I.pdf [10.02.2021; 2 pp.].
- Kempe, S., Bauer, I., Bosted, P., Coons, D. & Elhard, R. (2010). Inflationary versus crusted-over roofs of pyroclasts (lava tunnels). In: Middleton, G. J. (ed.), *Proceedings of the 14th International Symposium on Vulcanospeleology*, August 2010, Undara Volcanic National Park, Queensland, Australia. Published by the Organizing Committee, pp. 93–101.
- Kerr, R. C. (2001). Thermal erosion by laminar lava flow. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 106: 26453–26465.
- Keszthelyi, L. (1995). A preliminary thermal budget for *Lava Tubes* on the Earth and planets. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 100 (B10): 20411–20420.
- Keszthelyi, L. & Self, S. (1998). Some physical require-ments for the emplacement of long basaltic lava flows. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 103 (B11): 27447–27464.
- Larson, C. V. (1993). *An Illustrated Glossary of Lava Tube Features*. Charlie and Jo Larson, Vancouver, Washington, 56 pp
- Lockwood, J. P. & Hazlett, R. W. (2010). *Volcanoes, a Global Perspective*. John Wiley, Chichester, 624 pp.
- McFarlane, D. A., Lundberg, J. & Belton, F. (2004). An unusual lava cave from Oldoinyo Lengai, Tanzania. *Journal of Cave and Karst Studies*, 66: 98–101.
- Pedersen, G. B. M., Höskuldsson, A., Dürig, T., Thordarson, T., Jonsdottir, I., Riishuus, M. S., Óskarsson, B. V., Dumont, S., Magnússon, E., Gudmundsson, M. T.

- &Sigmundsson, F. (2017). Lava field evolution and emplacement dynamics of the 2014–2015 basaltic fissure eruption at Holuhraun, Iceland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 340: 155–169.
- Peterson, D. W. & Swanson, D. A. (1974). Observed formation of lava tubes during 1970–71 at Kilauea Volcano, Hawaii. *Studies in Speleology*, 2: 209–222.
- Pinkerton, H., James, M. & Jones, A. (2002). Surface temperature measurements of active lava flows on Kilauea volcano, Hawai'i. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 113: 159–176.
- Riker, J. M., Cashman, K. V., Kauahikaua, J. P. & Montierth, C. M. (2009). The length of channelized lava flows: Insight from the 1859 eruption of Mauna Loa Volcano, Hawai'i. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 183: 139–156.
- Sakimoto, S. E. H. & Zuber, M. T. (1998). Flow and convective cooling in lava tubes. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 103 (B11): 27465–27487.
- Sawłowicz, Z. (2020). A short review of pyroducts (*Lava Tubes*). In *Annales Societatis Geologorum Poloniae* (Vol. 90, Issue 4, pp. 513–534). Polish Geological Society. <https://doi.org/10.14241/asgp.2020.34>
- Sutawidjaja, I., Chaniago, R., Kamal, S. (1992). *Peta Geologi Kaldera Batur, Bali, Indonesia*, Direktorat Vulkanologi.
- Sutawidjaja, I. (2012). *Taman Bumi Global Batur, Indonesia*. Geological Agency, Ministry of Energy & Mineral Resources.
- Wahjoedi, D.S.K. (2022). *Studi Karakteristik Petrologi Lava Gunungapi Batur Bali Melalui Analisis Petrografi dan Distribusi Ukuran Kristal*. Laporan Tugas Akhir (tidak di publish).
- Wantim, M., Kervyn, M., Ernst, G., Marmol, M., Suh, C. & Jacobs, P. (2013). Morpho-structure of the 1982 lava flow field at Mount Cameroon Volcano, West-Central Africa. *International Journal of Geosciences*, 4: 564–583.
- Warmada, I.W., Nadirah, Z. (2019). Karakteristik dan Evolusi Magma Syn-Kaldera dan Post-Kaldera Batur, Kabupaten Bangli, Bali, *Prosiding Seminar Nasional Kebumihan ke-12*.
- Watanabe, Yamanaka, T., Harijoko, A., Saitra, C., Warmada, I.W. (2010). Caldera Activities in North Bali, Indonesia. *J. SE Asian*.
- Wheller, Eric, G. (1986). *Petrogenesis of Batur Caldera, Bali and The Geochemistry of Sunda Banda Arc Basalts*. Thesis reports University of Tasmania.
- Whittington, A. G., Sehlke, A. & Morrison, A. A. (2020). Tubular hells: new measurements of lunar magma rheology and thermal properties applied to thermal erosion and *Lava Tube* formation. In: *3rd International Planetary Caves 2020, St. Antonio, TX (LPI Contrib. No. 2197)*. <https://www.hou.usra.edu/meetings/3rdcaves2020/pdf/1077.pdf> [10.02.2021; 2 pp.]
- Williams, D. A., Kerr, R. C. & Leshner, C. M. (1998). Emplacement and erosion by Archean komatiite lava flows at Kambalda: Revisited. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 103 (B11), 27533–27549.