



Batur

SERI KALDERA NUSANTARA



BADAN GEOLOGI
KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL



Penulis :

A. Ratdomopurbo, I Wayan Juniarta

ISBN : 978-602-9105-77-3

Penyunting:

Ayu Sulistyowati

Design Sampul & Tata Letak :

Locca Chandra

Diterbitkan Oleh :

BADAN GEOLOGI
KEMENTERIAN ESDM

Cetakan Pertama, Desember 2018

Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang.

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebageian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

Sanksi Pelanggaran Pasal 172
Undang-Undang Nomor 19 Tahun 2002 - Tentang Hak Cipta

1. Barangsiapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal 2 Ayat (1) atau Pasal 49 Ayat (1) dan Ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp.1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lambat 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.5.000.000.000,00 (lima milyar rupiah).
2. Barangsiapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta atau hak terkait sebagaimana dimaksud pada Ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).



SAMBUTAN

Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa, atas selesai dan terbitnya tiga buku Seri Kaldera Nusantara, yaitu Kaldera Masurai, Kaldera Batur, dan Kaldera Toba. Sebagai tuan rumah, buku ini bagian dari menyambut terselenggaranya *The 7th International Workshop on Collapse Caldera* di bulan Oktober 2018, di Pulau Samosir, Sumatera Utara, Indonesia. Kegiatan ini merupakan kegiatan bersama Badan Geologi dengan *International Association of Volcanology and Chemistry of The Earth's Interior (IAVCEI)*.

Ketiga buku ini adalah hasil kolaborasi para geolog muda Badan Geologi yang tergabung dalam Tim Geokronologi Sumatra. Khususnya untuk keberadaan Kaldera Masurai, penelitian ini adalah sebuah 'penemuan' Badan Geologi di tahun 2017. Karena, Masurai ini sebelumnya tidak pernah dikenal sebagai kaldera atau gunung yang tercatat di dalam daftar gunungapi aktif, baik di level nasional maupun internasional. Bahkan, tidak ada satupun referensi gunungapi yang pernah menyebut tentang keberadaan serta penelitian mengenai Kaldera Masurai.

Selain bagi perkembangan pengetahuan geologi, khususnya, geodinamika Sumatera, buku ini diharapkan dapat menjadi referensi serta memberikan manfaat bagi daerah dalam pengembangan wilayah dan juga bagi masyarakatnya.

Buku kedua tentang Kaldera Batur, yakni kaldera yang sangat dikenal di Bali. Ulasannya ditulis dalam format tinjauan dari sudut pandang geologi terhadap pola keberadaan air serta budaya agraris masyarakat, khususnya subak yang telah menjadi ciri khas masyarakat Bali. Tulisan Kaldera Batur, diharapkan menjadi referensi pada pengembangan wilayah serta penataan pemanfaatan produk-produk proses pembentukan Kaldera Batur di masa lalu.

Kaldera Toba, yang menjadi lokasi terpilih pertemuan 7th International Workshop on Collapse Caldera sudah sejak lama menjadi perhatian para geolog nasional dan mancanegara. Keberadaan Toba, sebagai kaldera terbesar yang pernah terjadi di bumi, sumber pemahaman proses dinamika bumi bagi para ahli kebumihan.

Tentunya masih banyak kaldera-kaldera lain di Indonesia yang belum terkuak. Sesuai tugas dan fungsi KESDM melalui Badan Geologi, pemahaman akan 'geologi' Indonesia diharapkan semakin lengkap dari waktu ke waktu, dan semakin memberi manfaat pada masyarakat baik langsung maupun tidak langsung. Penghargaan juga kepada Tim Geokronologi Sumatra yang telah menyelesaikan satu tahapan tugas sebagai jawaban dari kebutuhan masyarakat. Ucapan terimakasih juga diberikan kepada Harian *KOMPAS* atas bantuannya dalam penyuntingan tulisan Kaldera Nusantara hingga buku-buku ini nyaman untuk dibaca.

Jakarta, September 2018

Ignasius Jonan

Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, telah menapaki sejarah panjang dalam melakukan survei, pemetaan, kajian dan penelitian bidang geologi di seluruh Indonesia, dari Sabang ke Merauke, dari Miangas sampai Rote. Sebagai ilustrasi, seperti di Pulau Miangas (pulau terluar dan paling utara milik Indonesia), pemetaan geologi dilakukan pada tahun 1986, dan masuk dalam peta geologi Lembar Talaud.

Peta-peta geologi, peta air tanah, peta kebencanaan geologi diterbitkan dan menjadi acuan dasar dalam berbagai bidang seperti eksplorasi mineral, migas, air tanah dan dalam manajemen kebencanaan geologi. Sampai saat ini survei dan kajian geologi masih terus dilakukan untuk menuju pada ketersediaan data dan informasi geologi yang semakin lengkap dari waktu ke waktu. Kebutuhan masyarakat, terutama karena perkembangan penduduk, perkembangan wilayah dan perkotaan, serta situasi ekonomi Indonesia yang semakin baik, kebutuhan akan informasi geologi di seluruh wilayah Indonesia semakin tinggi; semakin dibutuhkan informasi geologi yang semakin rinci.

Buku Batur ini salah satu contoh bagaimana informasi geologi yang rinci berhubungan dengan budaya, dalam arti luas, dari masyarakat yang menempatinnya. Sehingga diharapkan dapat menjadi acuan ke depan dalam pengembangan pembangunan di daerah. Sinergi yang baik Pusat dan Daerah diharapkan dapat memberikan manfaat yang nyata bagi masyarakat. Dari kajian geologi yang telah dilakukan oleh Badan Geologi, semakin diketahui obyek-obyek geologi yang selama ini belum terkuak. Informasi geologi juga disajikan semakin rinci.

Kajian Batur juga memberi konfirmasi bahwa selain Toba, Maninjau, Masurai, Ranau, kaldera yang berada di Bali ini, memberikan warna pada kehidupan masyarakatnya. Tidak hanya di seputaran Kaldera Batur, tetapi mewarnai kehidupan warganya sampai jauh ke lereng dan dataran di bawahnya. Informasi ini menjadi penting bagi pemahaman sebaran produk-produk dari kejadian pembentukan Kaldera Batur di beberapa puluh ribu tahun lalu, yang tentu saja berhubungan dengan geodinamika Pulau Bali itu sendiri. Buku ini memberikan sudut pandang tentang Kaldera Batur yang sedikit berbeda dari karya ilmiah biasanya, dan lebih memasukkan sisi sosial-budaya masyarakat yang hidup seputaran endapan produk kaldera.

Akhir kata, semoga informasi yang ada di buku ini dapat menjadi acuan bagi para ahli geologi baik nasional maupun internasional. Buku ini juga dapat menambah referensi bagi pengembangan wilayah, khususnya, pihak pemerintah daerah di Bali. Tentu saja, semoga memberi manfaat bagi kesejahteraan masyarakat luas.

Bandung, Oktober 2018



Rudy Suhendar



Prologue

Kepala Badan Geologi

Sambutan Menteri ESDM

hal ii

Prolog Batur

hal iii

Peta-peta di Bali

hal 4

Geologi & Geodinamika Batur

hal 16

Legenda Batur Agung

hal 18

Citra Satelit Kaldera

hal 20

Profil Kaldera

hal 22

Mangkuk Alam Batur

hal 26

Bukit Payang Bunbulan

hal 30

Sebaran Produk Batur

hal 32

Hidden Canyon & Tegenungah

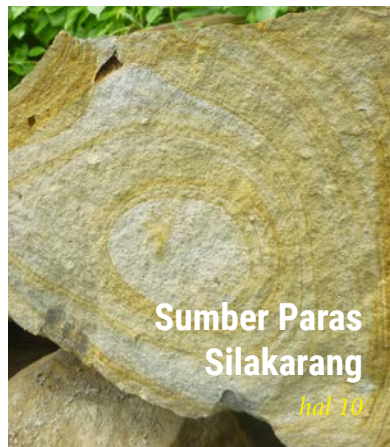
hal 36

Jejak Lava Batur

hal 42



Pada tebing sungai yang tinggi, batu paras kualitas tinggi di ditemui di kurang lebih di 1/3 ketinggian tebing dari bawah warna agak gelap kalau terkena air dan teksturnya halis, homogen dan rata...





Kolom-kolom Sukawati
hal 14



Pesona Tiga Gunung
hal 65

... Di tebing-tebing Sungai Petanu, tersaji dinding-dinding tebing batuan dengan warna cream kekuningan. Dan eksplorasi batuan yang sudah berlangsung lama dan hampir tak pernah berhenti karena memang Bali memerlukan batu-batu itu yang penduduk menyebutnya sebagai 'batu paras' ...



Dari Guwang Kawi ke Bukit Jati
hal 38



Kopi Jeruk Kintamani
hal 60



Stratigrafi Guwang & Blangsinga
hal 34



Jepun Bali & Anjing Kintamani
hal 82

Goa Lava Toyabungkah
hal 54

Sad Kerti Kerahayuan
hal 54

Air 7 Kilometer
hal 54

Aungan 1 KM & Pengarung
hal 48

Sketsa Subak Tangkup
hal 54

Sketsa Basah Kering
hal 56

Tebing-Tebing Agraris
hal 58

Pesona Batur
hal 62

Pendakian Batur
hal 64

Berkah Danau Batur
hal 66

Tri Hita Karana
hal 68

Pulau Seribu Pura
hal 70

Barong Landung
hal 72

Penjor
hal 76

Apendiks
hal 78

Ucapan Terima Kasih
hal 100

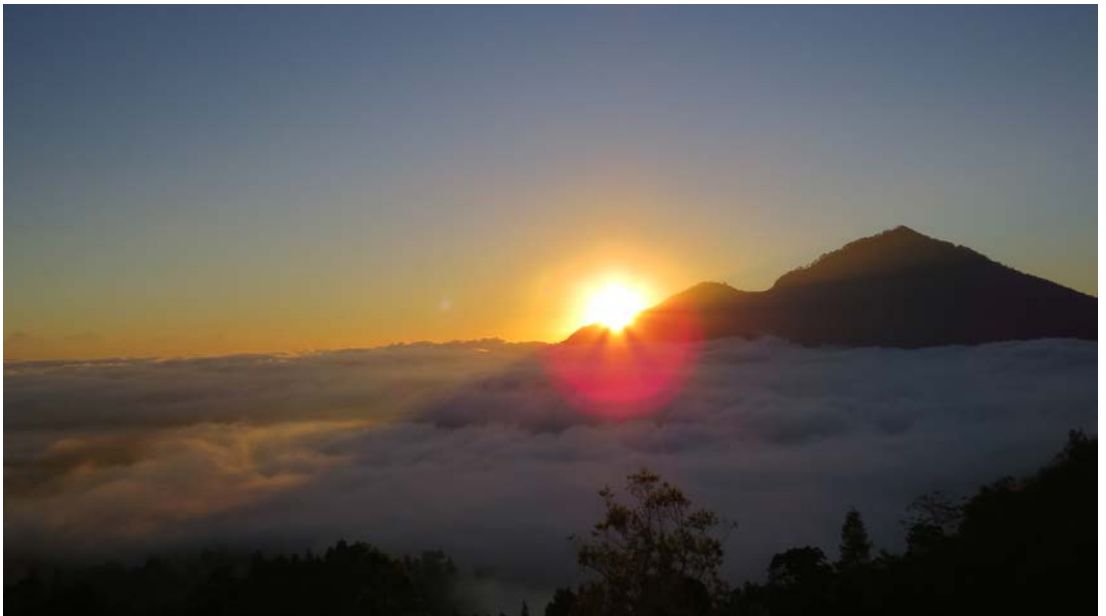
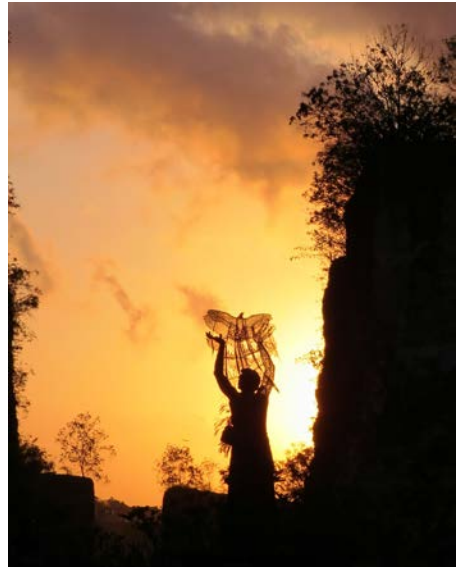
Daftar Pustaka
hal 101

Peta Perjalanan



Bali. Salah satu pulau indah dan andalan pariwisata Indonesia. Datang ke Bali, Anda tinggal memilih melalui jalur darat, laut, atau udara. Dan, gerbang Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai, Kabupaten Badung, merupakan pintu utama melalui jalur udara yang paling banyak dipilih. Penerbangan menuju Ngurah Rai tidak terlalu sulit, baik jadwal domestik maupun jadwal internasional. Apalagi beberapa maskapai Indonesia maupun internasional membuka jadwal penerbangan langsung dari beberapa negara ke Bali. Patung I Gusti Ngurah Rai (pahlawan nasional asal Bali) dan Taman Gatotkaca menjadi pemandangan pertama Anda mendarat dan keluar dari bandara. Selanjutnya, Anda dapat segera menuju Kintamani, Kabupaten Bangli, sekitar 80 kilometer dari bandara. Bersiap untuk menjelajah kisah geologi dan panorama alam Kaldera Batur. Selamat berpetualang...





JAVA

JAVA SEA

PULAUT

BURUNAN
RINSORIT

DJEMBRANA
(NEGARA)

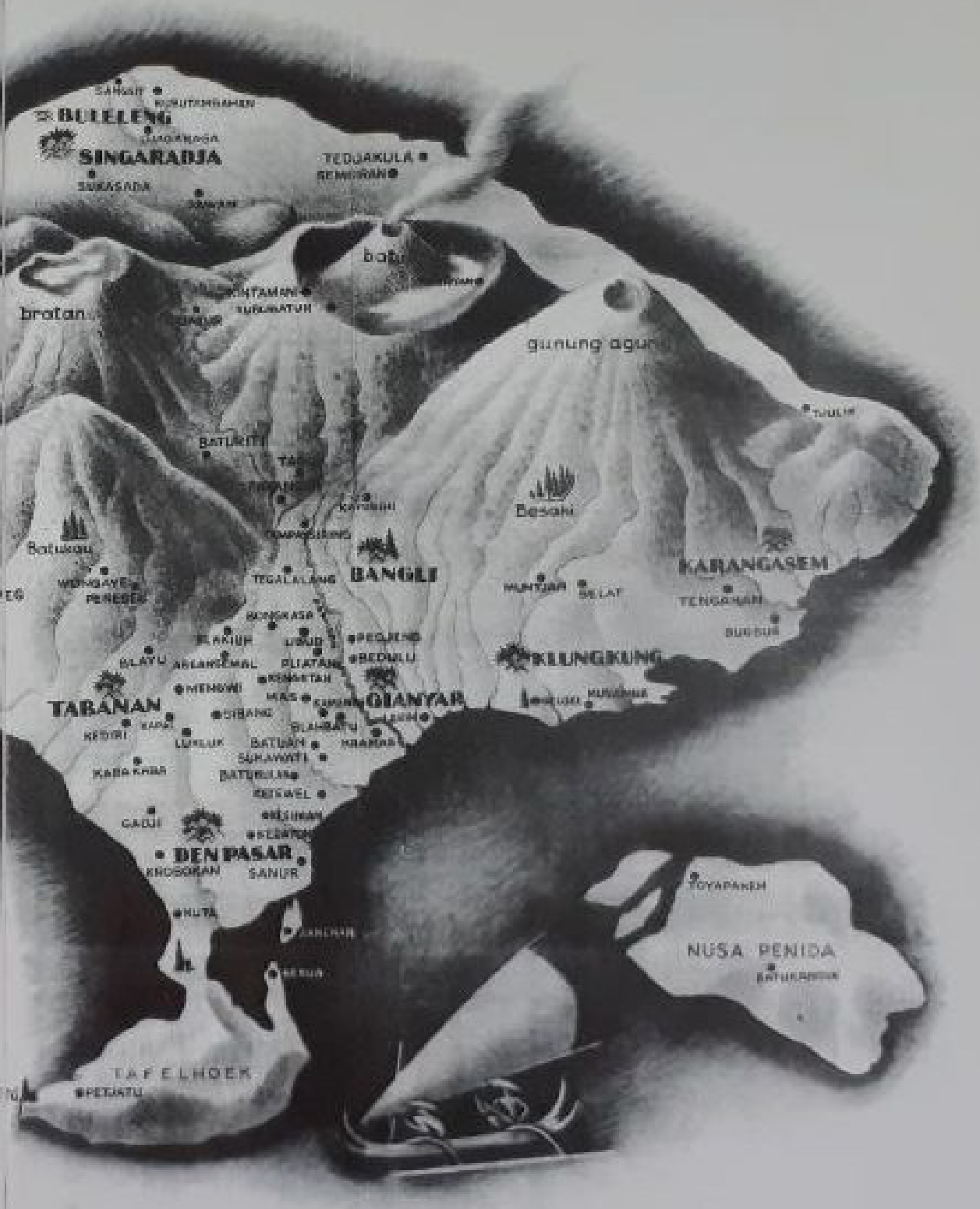
BADINE

BELAMA

INDIAN OCEAN

PETA-PETA

BALI *Bali*



BULELENG
SINGARADJA

TEJAKULA
SEMURANG

batu

bratan

gunung agung

BATUKATI

BANGLI

KARANGASEM

TABANAN

GIANYAR

DENPASAR

NUSA PENIDA

TAPELHOEK



PARAS, KANVAS ALAM SILAKARANG

Ayu Kompas, [8 Dec 2018 12.56.39]:

Bali, suatu pagi, Buda (Rabu) Kliwon wuku Dungulan, umat Hindu Bali ramai bersuka cita pergi ke pura, bersembahyang. Hari itu perayaan Galungan setiap 210 hari sekali. Pura menjadi titik sentral pemujaan para umat di kala perayaan seperti ini. Warga Hindu Bali, di banjar atau pun desa-desa, mengikutinya. Tidak terkecuali. Pura Desa dan Puseh Silakarang, Desa Guwang, Kabupaten Gianyar, ramai orang bersembahyang. Damai. Apalagi, pura ini memiliki keindahan ukiran batuan paras (padas, cadas) terbaik kualitasnya.

Pura Desa dan Puseh ini merupakan contoh terbaik kemegahan dan kerumitan ukiran paras Silakarang. Pura ini juga menjadi tonggak kelahiran generasi pemahat dan seni pahat paras Silakarang.





tulisannya tentang Silakarang mengungkapkan bahwa saat pura itu dibangun pada 1832, para pemuka Desa Silakarang mengundang para pemahat paras dari Desa Guwang, Sukawati, untuk menghias bangunan pura.

Dari para sangging (arsitek tradisional) inilah, para pemuda Silakarang pada jaman itu mulai belajar memahat paras. Bakat alam yang luar biasa serta berlimpahnya bahan baku paras berkualitas di sepanjang alur sungai di desa itu membuat para pemuda ini menjadi pemahat-pemahat paras yang mumpuni.

Pada generasi-generasi berikutnya, kemasyhuran para pemahat paras Silakarang bahkan melampaui para pemahat paras dari Guwang. Sukahet menyatakan, puncak kecanggihan para pemahat paras Silakarang tampak pada teknik yang dikenal sebagai tebek wayah, yang mereka gunakan saat mengukir patra punggel.

Patra merujuk kepada ukiran yang diinspirasi oleh tanaman merambat, bunga dan biji-bijian.

Patra Punggel terdiri dari stilisasi atas sejumlah elemen, yaitu batun poh (biji manga), janggar siap (jengger ayam), kepitan (kelopak bunga nangka), serta batang dan ujung pakis.

Tebek wayah sendiri tampaknya merujuk kepada pahatan yang presisi dengan kedalaman yang melebihi kedalaman pahatan pada umumnya. Presisi serta kedalaman inilah yang membuat ukiran relief pemahat paras Silakarang tampak sangat timbul sehingga tercipta ilusi tiga dimensi yang meyakinkan.

Karakter alami paras Silakarang memang memungkinkan para pemahat untuk melakukan pahatan dan cukilan dengan tingkat presisi dan kedalaman yang luar biasa. Tebek wayah sangat susah dilakukan pada batu paras yang getas dan keras.

Nyoman Janikajaya atau biasa dipanggil Pan Pele (52), pengukir dari Desa Silakarang, nyaman memahat batu paras asal desanya, karena batuannya sangat lembut dan gampang bagin-

ya membuat detil-detil yang rumit. Batuan ini dipergunakan keluarganya yang turun temurun sebagai pengukir batu padas.

Hanya saja, sekitar tahun 1995, bahan baku paras Silakarang langka. Pan Pele dan pengukir lainnya beralih menggunakan paras asal Yogyakarta. Warna batuanya pun lebih terang dari paras Silakarang dan lebih murah. Satu meter lembaran paras Silakarang dijual sekitar Rp 1 juta dan paras Yogyakarta dijual sekitar Rp 600.000 dengan ukuran yang sama.

Ukiran paras juga dapat dilihat di dinding pura keluarga Pan Pele, Pura Dadia Arya Kanuruhan Pangeran Tangkas Kori Agung, yang dibangun tahun 1920-an. Begitu pula pura lainnya milik tetangganya. Jaraknya sekitar 100 meter dari Pura Desa dan Puseh Silakarang.

Terdapat pahatan berbentuk karang Boma. Karang adalah ragam hias ukiran Bali yang menampilkan kedok kepala dari binatang nyata maupun makhluk mitologis. Ada berbagai jenis karang, dari karang Goak (gagak), karang Asti (gajah), karang Sae (raksasa), karang Manuk (burung), serta karang Bentolu (raksasa

bermata satu).

Boma sendiri adalah tokoh mitologis raksasa putra Dewa Wisnu dan Dewi Pertiwi. Secara filosofis, Boma adalah hutan dan pepohonan yang lahir dari pertemuan Wisnu (air dan hujan) dengan Pertiwi (tanah). Karang Boma, yang umum dijumpai pada gerbang pura dan puri (istana) di Bali melambangkan hutan subur di lereng gunung. Gunungnya sendiri disimbulkan oleh gerbang candi kurung itu sendiri. Singkatnya, karang Boma mewakili harapan pemilik rumah bahwa keluarganya akan selalu memperoleh kemakmuran.

Bagi Pan Pele, karang Boma di candi kurung pura keluarganya tidak hanya melambangkan harapan akan kesejahteraan tetapi juga merupakan salah satu contoh terbaik kualitas luar biasa padas Silakarang serta keunggulan tehnik ukiran para pemahat di desa itu.

Menurut Pan Pele, ukiran Boma itu dibuat pada paras malam sisik gelatik, ini paras Silakarang kualitas terbaik. Paras malam merujuk kepada warnanya yang abu-abu menuju ke putih sedangkan sisik gelatik merujuk kepada





motif alami serupa bulu burung gelatik. Motif ini sangat halus dan akan muncul sesudah batu paras ini terkikis air hujan selama bertahun-tahun. Hebatnya, paras jenis ini juga tidak akan pernah ditumbuhi lumut.

Ukiran Boma itu sendiri dipahat oleh Kak Rabeg, kakek Pan Pele. Kak Rabeg diperkirakan lahir di penghujung abad ke-19. Ia merupakan salah satu dari pemahat Silakarang yang paling ternama pada jamannya. Beberapa kali diundang untuk mengukir bangunan di istana bangsawan di Peliatan dan Ubud.

Relief lain yang melekat pada candi kurung, diinspirasi oleh sejumlah episode dalam Tantri Kamandaka. Yaitu, cerita berbingkai tentang seorang putri yang menggunakan serangkaian dongeng tentang kerajaan binatang untuk menyadarkan seorang raja lalim. Tantri Kamandaka ditulis dalam bahasa Jawa Tengahan dan diyakini bersumber pada teks kuno India dalam

bahasa Sanssekerta berjudul Pancatantra.

Relief di candi kurung itu menampilkan dua tokoh utama Tantri Kamandaka: raja lembu bernama Nandaka dan seekor singa yang menjadi raja para srigala. Ukiran bertema Tantri cukup langka di Bali. Umumnya ukiran di pura dan puri mengambil episode dari epos Ramayana dan Mahabharata. Hiasan bertema Tantri juga dapat ditemukan pada Pura Desa dan Puseh Desa Silakarang.

Batu paras bukan lah batu “kali” atau ‘watu item’ yang sangat keras. Batu paras berwarna keabuan relatif terang yang sebenarnya merupakan batuan hasil dari letusan besar Gunung Batur di 30.000 tahun lalu.

Ayo, mari memulai perjalanan geologi Kaldera Batur dari menikmati keindahan seni pahat batu paras di Desa Silakarang.



SUMBER PARAS



Paras berkualitas tinggi banyak dijumpai sekitar area Silekarang dan Kemenuh. Di Kabupaten Bangli, paras juga terdapat di tepian sungai yang lokasinya sekitar 1 kilometer (km) dari Desa Panglipuran dan di Bukit Jati, tak jauh di sebelah selatan pusat kabupaten, namun teksturnya berbeda dari yang ada di Kemenuh dan Silekarang.

Pada tebing sungai yang tinggi dindingnya, batu paras berkualitas bagus terdapat kurang lebih sepertiga dari ketinggian. Warnanya agak gelap kalau terkena air dan teksturnya halus, homogen, dan rata. Sementara batuan yang kualitasnya kurang bagus, bagiannya berada paling bawah tebing karena banyak kerikil kecil dan bagian paling atas tebing karena batu parasnya rapuh.

Memang dari kenampakan tekstur di dinding tebing, ada beberapa bagian yang tercampur bongkah batu dari ukuran kerikil sampai bongkah berukuran 20-30 sentimeter (cm).

Corak “impurity” yang dihindari karena batu paras ini masuk kategori kualitas rendah dan harganya lebih murah.

Di Bukit Jati, 5 km di utara Gianyar, menuju arah Bangli, tekstur dari batu paras sangat kasar. Susunannya terdiri dari bahan kerikil-kerikil berukuran kisaran 3 cm dan terkesan seperti di pres. Dari sisi kekuatan kekompakan nampak lebih rapuh. Tebing Bukit Jati mempunyai ketinggian sekitar 40 meter (m). Karena ikatan antar butir-butir kerikil yang tidak kuat, batu paras ini tidak pernah dipakai sebagai bahan untuk dipahat. Paras Silekarang kualitasnya tetap jauh lebih bagus dan lebih mahal dibandingkan dengan paras di Bangli. Sedangkan paras dari Bangli biasa digunakan sebagai bahan untuk dinding pagar halaman rumah.

Potongan-potongan bongkah paras, biasa diangkut oleh sejumlah perempuan dengan cara memikul bongkahan itu dari pinggiran



sungai. Mereka, sambil memikul, perlahan berjalan menaiki jalan setapak di pinggiran tebing sungai. Lalu, mereka menumpuk balok-balok batu paras itu di pinggir jalan agar mudah diangkut oleh pembeli. Potongan batu paras yang basah ketika kering terjemur sinar matahari, memberikan kesan berwarna abu-abu, warna asli dari batu paras itu sendiri.

Penambangan Batu Paras di Silekarang. Nampak dinding tegak hasil dari gergaji batu. Terdapat 'impurity' berupa rongga vertikal berisi kerikil-kerikil dan bongkah. Ini bukti bahwa ketika pengendapan ini terjadi di 30.00 tah lalu, kondisinya sangat panas. Gas-gas panas keluar ke permukaan membentuk rongga jalur gas panas yang kemudian terisi kerikil kerikil yang jatuh dari sepanjang jalur gas. Para geolog menyebutnya sebagai 'gas-pipe' dalam endapan ignimbrite atau aliran piroklastik.



Lain lagi tekstur paras yang ada di tebing area Pura Gunung Kawi, dan di tepi sungai Pakerisan. Batuannya bertekstur kasar dengan susunan dominan batuan kerikil menjadikan ikatan yang relatif kuat antarbutir. Kasar dan kuatnya tekstur tersebut menjadikan batuan di sini tidak dapat menjadi bahan batu paras dan tidak menjadi obyek tambang. Namun ikatan antar butir yang kuat membuat dinding batuan di Pura Gunung Kawi tidak mudah runtuh. Tangan seniman Bali lalu memahat batuan dinding dan menjadikannya seperti bagian depan pura-pura yang menempel tebing batu. Tebing sungai Pakerisan pun bagai kanvas alam.



Berjalan dari Guwang, Silekarang, kemudian Bangli dan ke Gunung Kawi, terasa pemandangan batu-batu paras yang ditemui bertekstur semakin kasar. Ya karena semakin dekat ke sumbernya, yaitu Kaldera Batur, gunung yang banyak di kenal yang ada di Pulau Bali, selain Gunung Agung.



Kolom-Kolom Sukawati

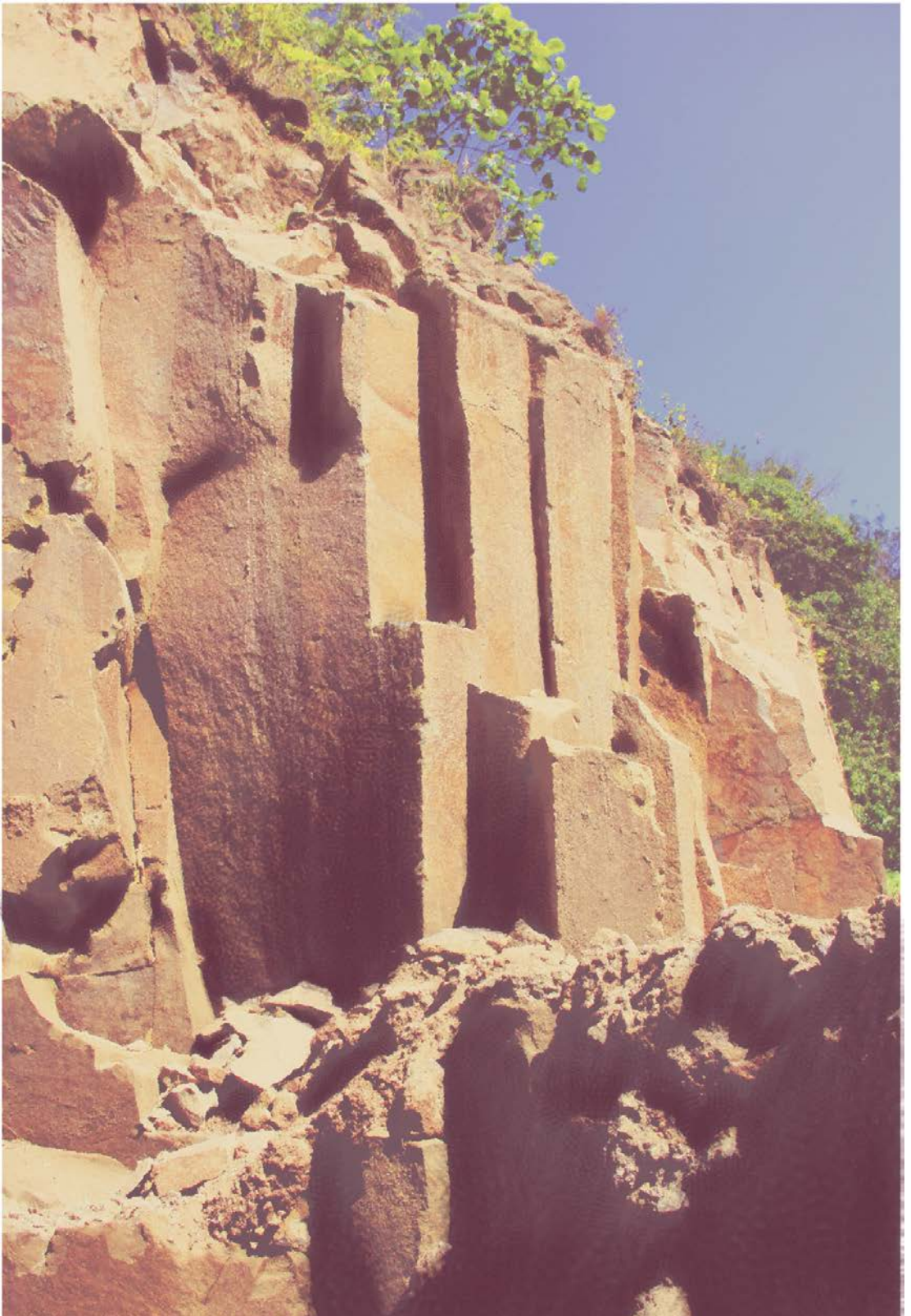
Kali ini yang dituju adalah sebuah jembatan di Jalan Surtami, tepatnya sekitar 1,3 km, arah timur laut jarak lurus dari Pasar Sukawati (Gianyar). Di sebelah kiri terdapat tebing batuan lokasi pertambangan rakyat, dan di sebelah kanan bisa turun ke Tukad Petanu, yang juga sebuah area pertambangan rakyat di tebing-tebing sungai (tukad).

Di tebing-tebing Sungai Petanu, tersaji dinding-dinding tebing batuan dengan warna cream kekuningan, terpotong lurus vertikal oleh mesin-mesin gergaji tambang batu. Batuan mudah digergaji karena sifatnya yang tidak terlalu keras tetapi juga tidak terlalu rapuh. Eksplor-

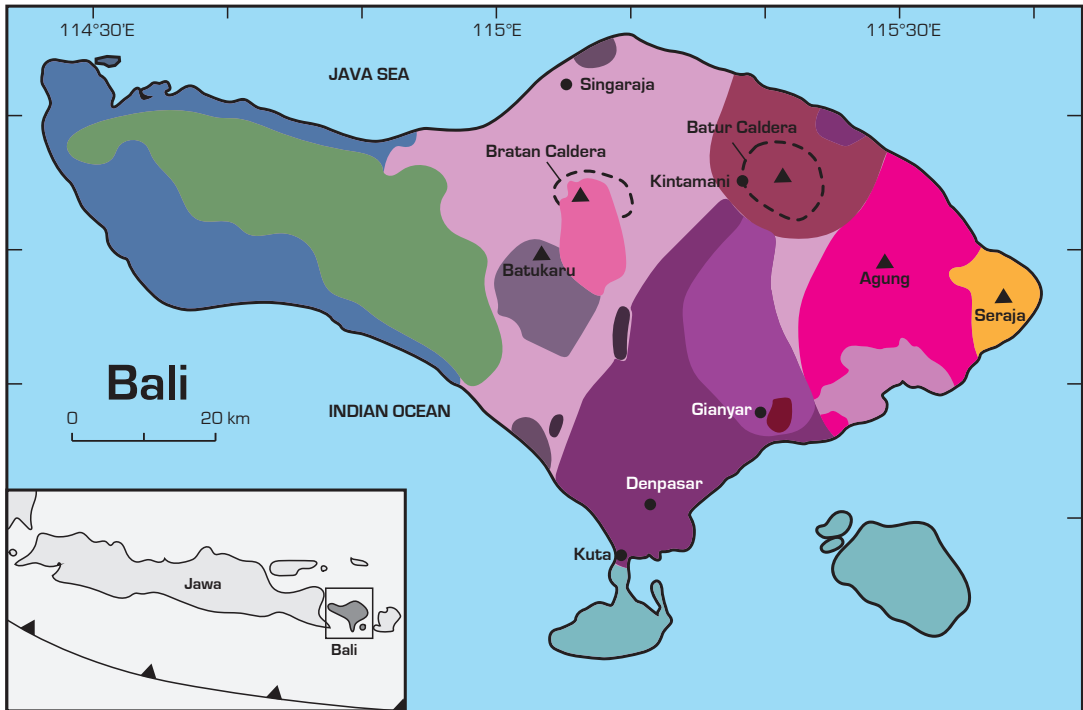
asi batuan yang sudah berlangsung lama dan hampir tak pernah berhenti karena memang Bali memerlukan batu-batu itu yang penduduk menyebutnya sebagai 'batu paras'.

Penambang menggergaji dan memotong batu dinding cream tersebut untuk menjadi potongan balok batu 'bata' dalam beberapa ukuran dan yang paling banyak dipotong dalam ukuran sekitar 10 cmx10 cmx25 cm. Mereka memilih batu paras yang bertekstur halus, seragam dan tidak ada 'bercak' kerikil di dalamnya. Semakin halus, rata dan homogen, mereka menyebutnya sebagai kategori paras berkualitas bagus.





Geologi & Geodinamika Bali



Legend

Zaman Kuartir Akhir

- Gn. Agung, tephra dan lava basaltik-andesitik
- Gn. Batur tephra dan lava basaltik-dasitik
- Ignimbrite Ubud, 29 000 th lalu
- Ignimbrite Gn.Kawai, 20 000 th lalu
- Gn. Batukaru, tephra dan lava basaltik-andesitik
- Gn. Bratan, tephra dan lava andesitik
- Ignimbrite Buyan-Bratan
- Formasi Seraya; tephra dan lava basaltik-andesitik

Zaman Kuartir Awal

- Formasi Palasari dan Prapatagung; batupasir gampingan, batu gamping dan konglomerat
- Komplek vulkanik Jembrana; tephra dan lava basaltik - dasitik

Zaman Tersier

- Formasi Ulakan, lava bantal ankaramitic dan tephra
- Selatan and Sorga formations; marls, calcareous, sandstones limestones and minor tephra



Pulau-pulau di Nusantara ini, tidak terbentuk bersamaan. Masing-masing pulau memiliki sejarahnya sendiri, begitu pula Pulau Bali. Pulau Bali terletak pada busur Sunda yang membentuk busur Kepulauan Indonesia, yang membentang dari Sumatra, Jawa, Bali dan Nusa Tenggara. Dibandingkan dengan pulau Jawa dan Sumatra, Pulau Bali secara geologi termasuk pulau yang “muda” atau terbentuk lebih belakangan, yaitu di Era Tersier. Bandingkan dengan Sumatra yang mempunyai bebatuan dari Era Perem, 300 juta tahun lalu (Baca : buku Seri Kaldera Nusantara “Masurai”).

Sekitar 3 juta tahun lalu, ketika Bali belum lahir, tentunya hanya ada lautan. Busur subduksi lempeng Indo-Australia yang terus perlahan bergerak ke utara mulai berpengaruh. Karena dorongan lempeng dari selatan, dasar lautan pun terangkat, seiring juga dengan tahap awal terbentuknya magma di kedalaman. Dasar laut semakin dangkal dan mulai muncul gunungapi di dasar laut. Ada kalanya gunungapi tersebut meletus dengan magma yang masih basaltik, encer. Tapi, karena masih di bawah permukaan air, lava yang keluar terbebani berat air laut sehingga lava mengalir lambat. Endapan lava yang mengalir itu disebut “lava bantal”, karena bentuknya seperti tumpukan bantal-bantal besar.

Dorongan lempeng dari selatan terus berjalan, dasar laut semakin mendangkal saja. Gunungapi yang tadinya ada di bawah permukaan air laut, terangkat perlahan dan menyembul ke permukaan laut dan sering meletus. Gunungapi ini tidak pernah terangkat ke permukaan sampai tinggi, ya, sekitar 600 mdpl (bandingkan dengan Gunung Agung yang tingginya sekitar 3.000 mdpl). Sekarang, gunungapi ini sudah tidak aktif sama sekali. Tinggal bekas-bekasnya.

Secara geologi, si gunungapi ini disebut sebagai Gunung Ulakan. Puncaknya sebagian masih berada di bawah laut. Dan bekas kawahnya, saat ini, yang nampak sebagai

Teluk Manggis. Sedangkan batuan-batuan hasil erupsinya dikenal sebagai batuan Formasi Ulakan. Nah, kala itu, lereng Gunung Ulakan yang masih berada di bawah permukaan laut ditumbuhi terumbu karang, yang akan membentuk batu kapur/gamping. Nantinya, terumbu karang yang tumbuh diterangi Gunung Ulakan inilah sebagai cikal bakalnya susunan adanya Pulau Nusa Penida dan Uluwatu, disebut Formasi Batu Kapur di Pulau Bali.

Selanjutnya, Pulau Bali mulai terbentuk ketika Gunung Ulakan ini terangkat dan muncul ke permukaan. Tentu saja, pada era itu, gunungapi yang kita kenal aktif saat ini : Batur dan Agung, belum ada.

Seiring waktu, Gunung Ulakan menjadi tidak aktif, karena sumber magmanya bergeser ke utara. Belakangan, sumber magma yang bergeser ke utara ini menjadi sumber magma bagi gunungapi Buyan, Bratan, Batukaru, Penulisan, Abang, Batur dan Agung.

Pulau Bali menuju kesempurnaan setelah, gunungapi-gunungapi di wilayah barat mulai muncul, dan demikian juga Gunung Seraya di Karangasem. Kedua komplek gunungapi ini sekarang sudah tidak aktif lagi. Dan akhirnya aktifitas diambil alih oleh gunungapi yang lebih muda lagi, Buyan-Bratan, Batur dan Agung, dengan endapan produk letusannya melingkupi wilayah Gianyar, Bangli, Klungkung serta sebagian besar wilayah Denpasar. Dan, tentu saja, gunung-gunung ini memiliki kisah legendanya sendiri...



LEGENDA BATUR AGUNG

Meng-
utip dari Lon-
tar Usana Bali yang juga
disebut beberapa lontar, Gunung Agung
dan Gunung Batur merupakan potongan
puncak Gunung Mahameru. Secara mitol-
ogis Hinduisme dan Budhisme, Mahameru
adalah gunung yang dianggap sebagai pusat
jagat “niskala” dunia dan “sekala sebagai titik
pertemuan dunia (bumi) serta surga dan
neraka (alam kematian).

*“Kang pucak ing giri (Mahameru) ginawa
dening tangan tengen dadi gunung Agung
Bali, maka-astanan ida Bhatara Mahadewa.
Kang pucuk ing ginawa dening tangan kiwa
dadi gunung Batur, pangastanan Ida Bhatara
Bhatari Danuh. Yeka maka pangulun ing
bhumi Bali.” “Puncaknya gunung itu diba-
wa dengan tangan kanan menjadi Gunung
Agung Bali, menjadi peristirahatan Bhatara
Mahadewa. Pucuk yang dipegang dengan tan-
gan kiri menjadi Gunung Batur, peristirpa-
hatan Ida Bhatara Bhatari Danuh I kang.
Mereka menjadi hulu bumi Bali”.* (Lontar
Usana Bali K. Va. 4748).

Teks
ini
dinyatakan
pula bahwa Hyang
Pasupati menempatkan

Gunung Agung sebagai upaya
untuk mestabilkan pulau Bali. Diceritakan
sebelum adanya Gunung Agung, Bali adalah
sebuah pulau yang terapung-apung dan
tidak stabil. Pasupati memerintahkan ketiga
anaknyanya: Hyang Putrajaya, Dewi Danu dan
Hyang Gnijaya untuk berangkat ke Bali dan
bermukim di pulau itu sebagai junjungan
spiritual masyarakat Bali. Sebelum kedatan-
gan mereka bertiga, Bali diceritakan belum
memiliki dewa pelindung. Gunung Agung
ditentukan sebagai tempat bermukim Hyang
Putrajaya, sedangkan Dewi Danu diminta
bermukim di Batur, yang merupakan lokasi
dari gunung tertinggi kedua serta danau
terluas di Bali.

Hyang Gnijaya diminta bermukim di
Gunung Lempuyang. Karena diyakini se-
bagai sumbu yang menstabilkan Pulau Bali,
Hyang Putrajaya kemudian dipuja sebagai
Ida Bhatara Giri Tohlangkir. Lalu, Dewi
Danu dipuja sebagai dewi yang bertangu-
ngjawab atas kesuburan dan kemakmuran

pulau Bali. *Mandala Parahyangan* ini menempatkan Gunung Agung dengan Pura Besakih di lerengnya sebagai poros dengan empat gunung utama di sekelilingnya, yaitu Gunung Lempuyang (tempat bertahtanya *Hyang Gnijaya*) di Timur, Gunung Andakasa (tempat bertahtanya *Hyang Tugu*) di Selatan, Gunung Bratan (tempat bertahtanya *Hyang Watukaru*) di Barat, dan Gunung Mangu (tempat bertahtanya *Hyang Danawa*) di Utara. Pura Besakih kemudian dikenal sebagai *Mother Temple*, sebuah pura yang mempersatukan semua orang Bali dari berbagai soroh yang berbeda.





SERI KALDERA NUSANTARA

Batur

Letusan besar Batur, sekitar 30.000 tahun lalu, di Kabupaten Bangli, Bali, Indonesia, menghasilkan Kaldera berdiameter 10 kilometer x 12 kilometer. Keadahsyatannya yang mengalirkan dan memperbalkan material ke arah barat daya itu mengukir Pulau Bali menjadi sedemikian indahnya. Bagaimana kanvas yang teroreh kuas alam. Batuan paras kolom-kolom ignimbrite memberi manfaat dan melahirkan semesta ukiran batu yang piawai. Ukiran yang melekat pada beberapa bagian Pura Silektrang (Gianyar), salah satu saksi hasil pahatan batu paras. Dinding-dinding batuan alam yang tersusun dari endapan letusan, seperti di Guwang dan sepanjang Sungai Ayung (Gianyar), memperkuat Bali menjadi destinasi wisata alam dan geologi yang layak dikunjungi.



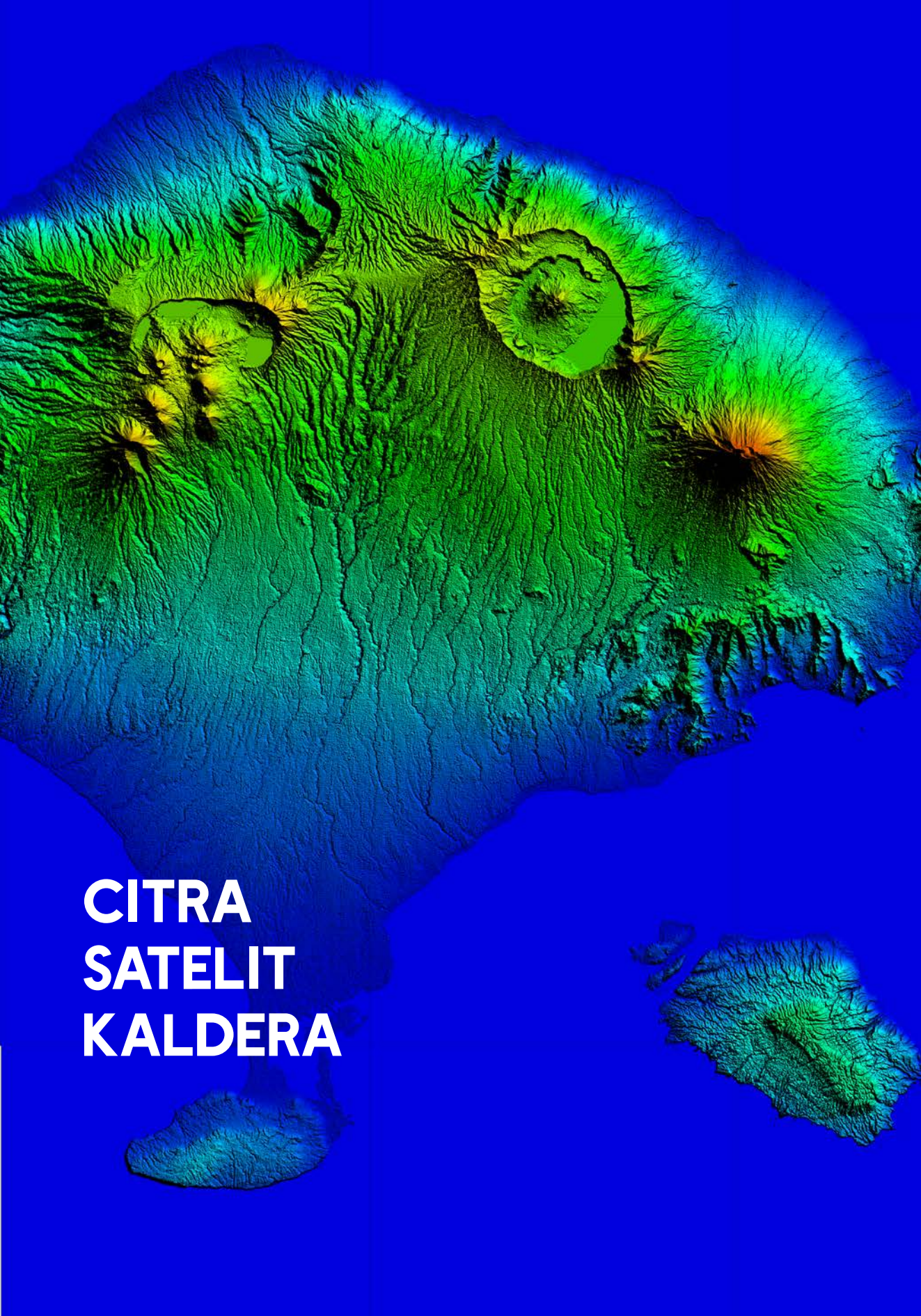
BADAN GEOLOGI
KEMENTERIAN ESDM



9

786029 105742





**CITRA
SATELIT
KALDERA**

Citra satelit memberikan gambaran umum tentang Pulau Bali. Di separuh bagian selatan Pulau Bali, yaitu wilayah Gianyar, Klungkung dan Denpasar, dataran relatif rata dan melampar naik, miring sedikit dari selatan ke utara. Sedangkan di bagian Bali sebelah utara, terdiri atas gunung dan bukit-bukit yang kemiringannya tajam menurun sampai ke pantai utara Bali.

Pulau Bali memiliki dua kaldera, yaitu Kaldera Buyan-Bratan, berdiameter sekitar 10 km, di daerah Bedugul, dan Kaldera Batur dengan diameter sekitar 12 km, di daerah Kintamani, Bangli. Lingkaran kaldera Buyan-Bratan nampak tidak utuh, karena munculnya kerucut-kerucut gunungpapi paska terbentuknya kaldera, salah satunya adalah Gunung Batukaru. Terdapat tiga danau di dalam kalderanya, yaitu Danau Tamblingan, Danau Buyan, dan Danau Bratan.

Bentuk Kaldera Batur lingkarannya masih nampak utuh. Kenapa? Karena, kerucut gunungpapi yang muncul setelah adanya kaldera berukuran relatif kecil dan muncul di tengah kaldera. Maka, gunungpapi ini tidak menutupi tepi lingkaran kaldera. Di dalam Kaldera Batur terdapat satu danau, Danau Batur.

Lingkaran kaldera terbentuk karena adanya proses amblesan. Prinsip pembentukan kaldera adalah adanya letusan sangat besar dan kemudian sebagian badan gunung amblas karena ada kekosongan dapur magma (baca Apendiks). Karena ambles, tepian kaldera pada umumnya menjadi berupa tebing-tebing tinggi. Tinggi kedalaman saat runtuh dan ambles ketika pembentukan kaldera, umumnya, dalam orde ratusan meter dan bisa jadi hingga beberapa kilometer. Demikian juga, untuk Kaldera Batur, tebing tinggi curam terdapat hampir di seluruh tepian kaldera. Titik tebing tertinggi di lingkaran Kaldera Batur berada : di Gunung Abang, sisi tenggara kaldera, dan di Bukit Penulisan, sisi barat laut kaldera.

Bagaikan sebuah mangkuk besar, lingkaran itu mengelilingi kawah kawah aktif Gunung Batur

yang berada di tengah mangkuk (lihat gambar). Dinding tinggi berbentuk undak tersusun dari dua lingkaran, lingkaran Kaldera I yang berbentuk lonjong, memiliki ukuran panjang 12 km, dan lingkaran Kaldera II berada di dalamnya. Lebar lingkaran Kaldera II terukur 10 km, dan bentuknya lebih lingkaran.

Pada penelitian sebelumnya, Batur mengalami dua letusan super besar, dan prosesnya yang membentuk dua lingkaran kaldera itu. Igan Sutawijaya, di tahun 1990, meneliti umur kejadian pembentukan kaldera berdasarkan analisis pentarikhan dengan radiokarbon C14. Hasilnya, Kaldera I, terbentuk pada 29.300 tahun lalu dan terbentuknya Kaldera II terjadi pada 20.100 tahun lalu.

Selanjutnya, kajian Reubi dan Nicholls, di tahun 2004, keduanya melakukan analisis petrologi yang mendalam terhadap sampel-sampel batuan dari Gunung Penulisan, Gunung Abang, Gunung Batur, Bukit Payang, Bunbunan (Songan), dan juga sampel-sampel dari produk endapan letusan besar pembentuk Kaldera (I), dan Kaldera (II), yang diambil dari Ubud dan seputaran Gunung Kawi.

Elevasi mangkuk kaldera I ini terukur dari bibir kaldera dari sisi baratdaya di Penelokan 1.340 mdpl. Pada Gunung Abang, di tenggara kaldera terukur 2.100 mdpl. Ukuran elevasi permukaan Danau Batur terhitung 1.034 mdpl. Dengan demikian, kedalaman minimal dari mangkuk kaldera I ini terukur sekitar 300 m. Jika melihat dari tebing vertikal yang di Gunung Abang, dapat dibayangkan turunnya amblesan bisa lebih dari 1 km dalamnya.

Deretan kerucut Gunung Batur yang terletak di tengah Kaldera Batur tentunya terbentuk setelah proses pembentukan Kaldera II, mirip seperti Anak Krakatau. Elevasi puncak kawah tertinggi (kawah 1) terukur 1.640 mdpl. Ketiga puncak kawah itu terlihat berada di garis lurus dari arah baratdaya (Penelokan) ke arah timurlaut.

PROFIL KALDERA

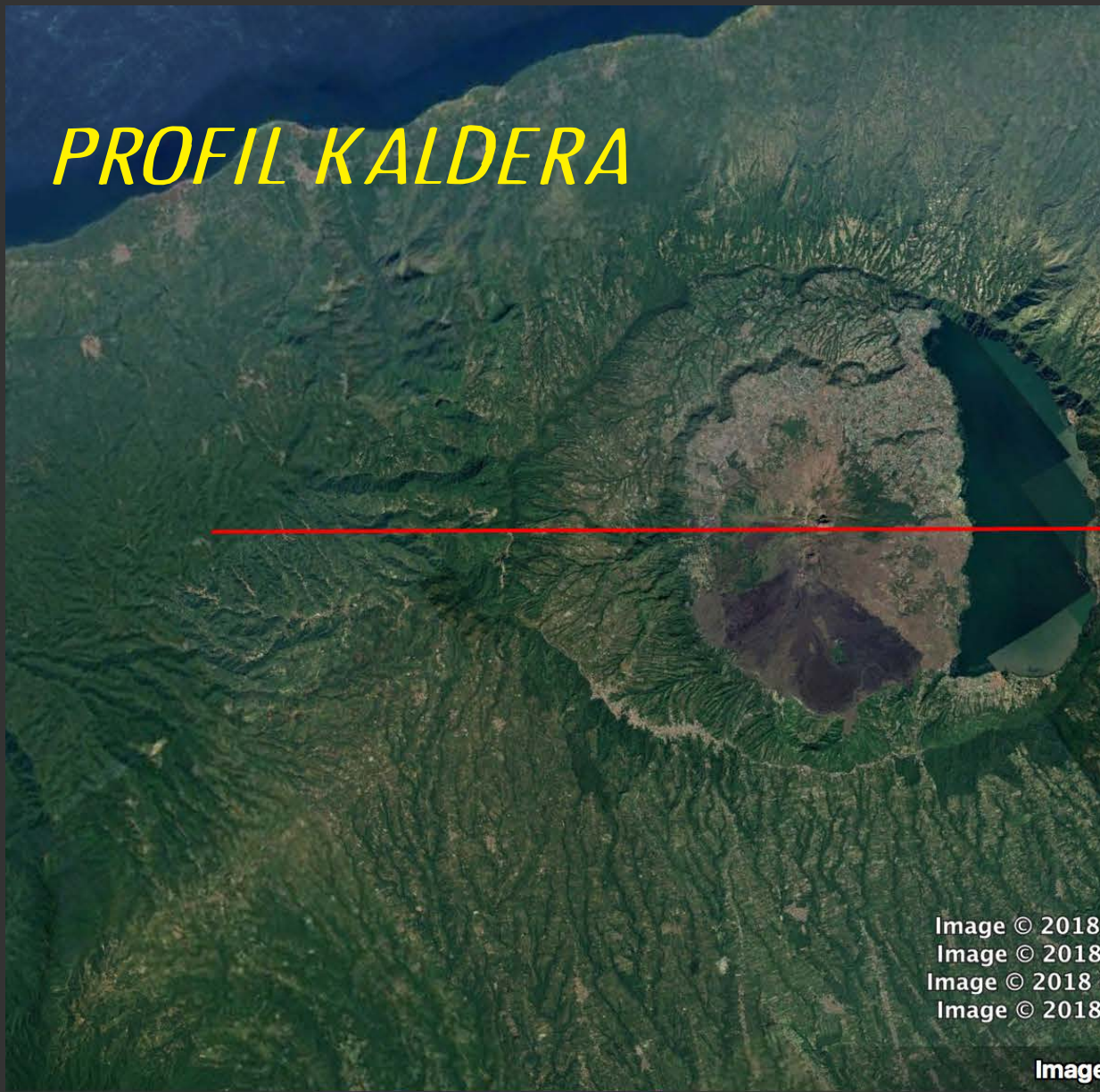
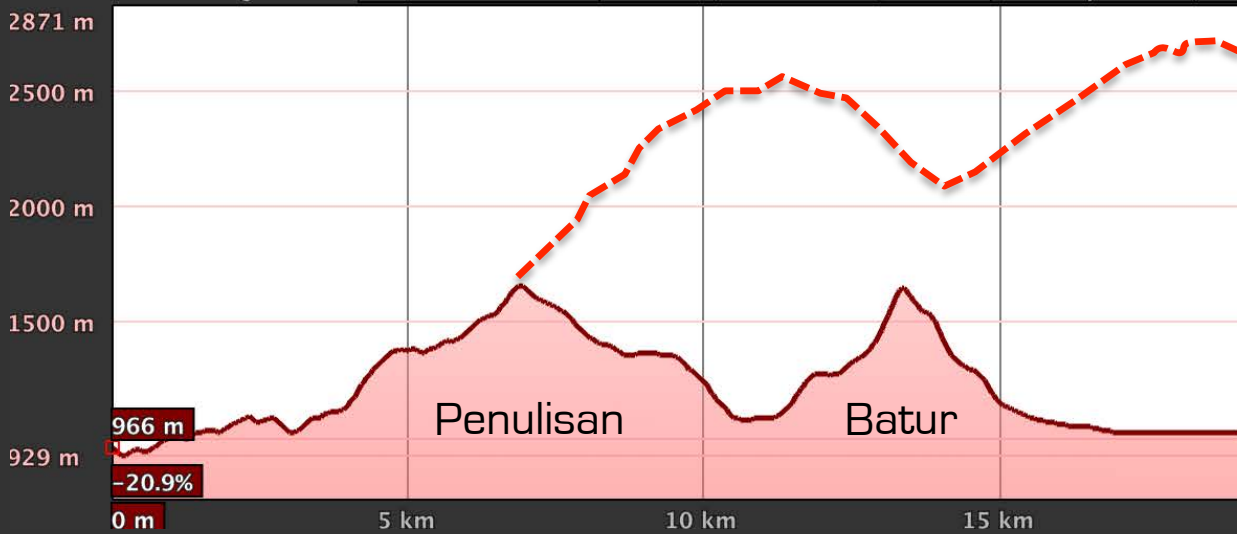


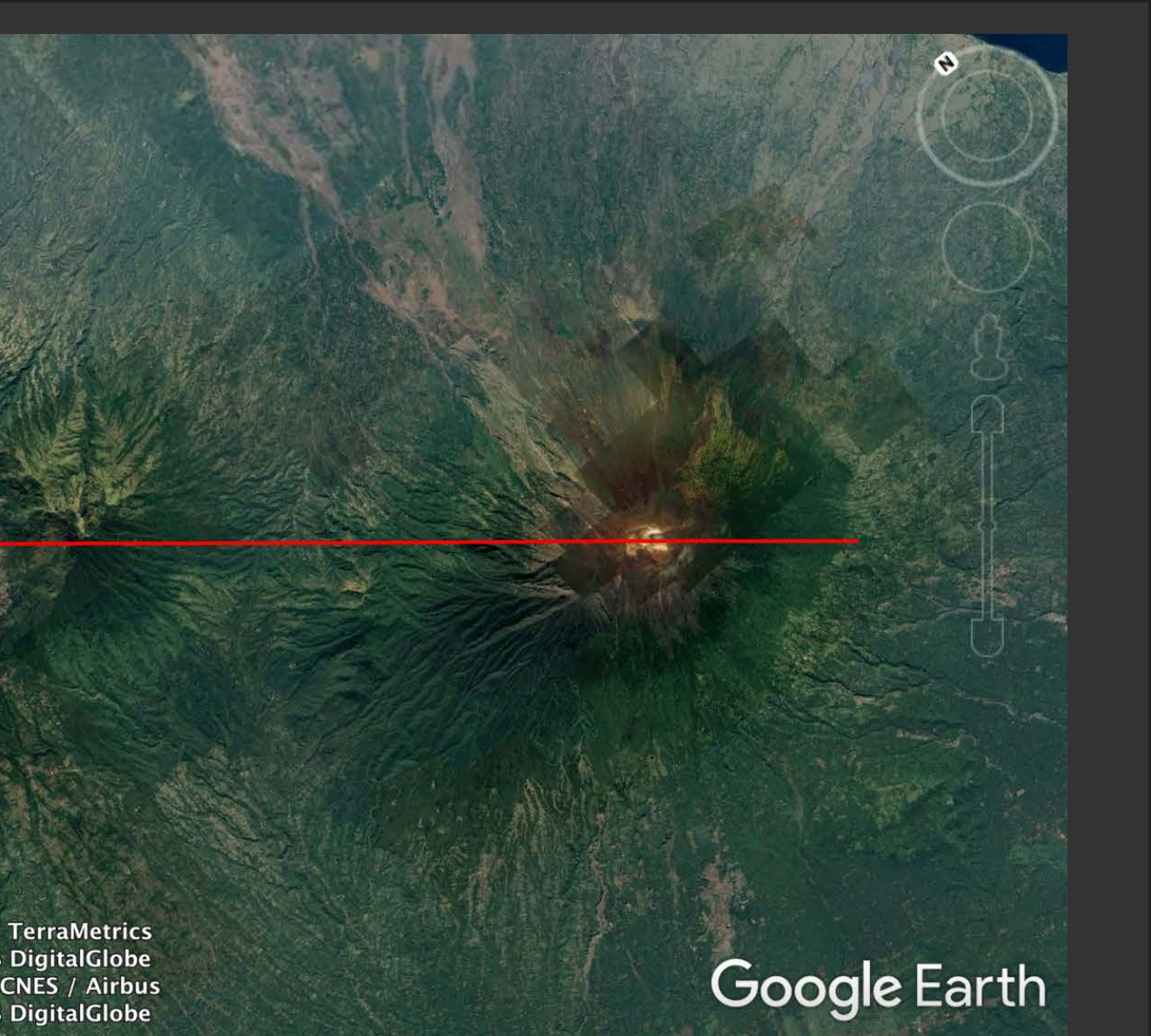
Image © 2018
Image © 2018
Image © 2018
Image © 2018

Image

Graph: Min, Avg, Max **Elevation: 929, 1463, 2871 m**

Range Totals: **Distance: 37.9 km** **Elev Gain/Loss: 4674 m, -4605 m** **Max Slope: 73.3%, -5**





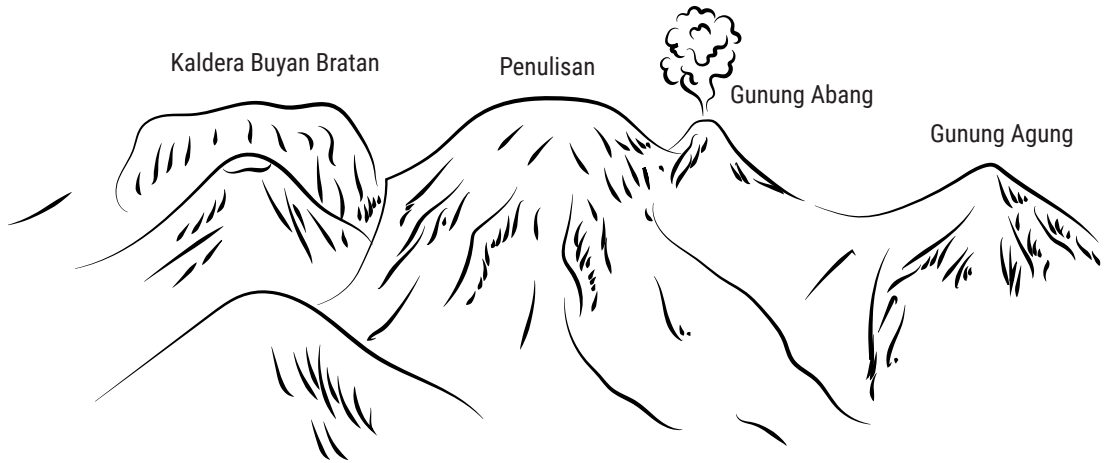
TerraMetrics
DigitalGlobe
CNES / Airbus
DigitalGlobe

Google Earth

Profile Date: 7/25/2018 8°16'24.22" S 115°24'54.10" E elev 1063 m eye alt 39.64 km

3.3% Avg Slope: 22.2%, -23.6%





Profil Gunung Batur dan Gunung Agung, terlihat ada 4 kerucut yang ada, yaitu dari kiri: Gunung Penulisan, Gunung Batur, Gunung Abang dan Gunung Agung (lihat gambar). Kaldera Batur dibatasi sebelah kiri oleh Gunung Penulisan dan sebelah kanan oleh Gunung Abang, berjarak sekitar 12 km.

Keduanya, Penulisan dan Abang sebenarnya adalah sisa dari kompleks Gunung Batur “Tua”, yaitu gunungapi sebelum Kaldera Batur terbentuk.

Selalu jadi pertanyaan, sebenarnya bentuk Gunung Batur “Tua” itu seperti apa?

Berkaca dari Krakatau, sebelum terjadi pembentukkan kaldera di tahun 1883, terdapat tiga kerucut gunungapi yaitu Perbuwatan, Danan dan Rakata. Ketiga gunungapi itu amblas, dan sekarang ditempati kerucut gunungapi baru “Anak Krakatau” yang lahir di tahun 1929. Gunung Batur yang ada di tengah kaldera saat ini adalah sebuah analogi dengan “Anak Krakatau”.

Sebuah analogi juga bahwa sebelum terbentuk Kaldera Batur, terdapat dua gunungapi yang berdampingan : Gunung Penulisan “Tua” dan gunung yang lebih kecil, Gunung Abang “Tua”. Keduanya adalah bagian dari kompleks Gunung Batur “Tua”. Kalau kita lihat di tebing Gunung Abang, yang ada merupakan sisa dari Gunung Abang “Tua”. Pada awalnya, sekitar 500 ribu tahun lalu, di Bali terdapat satu gunungapi aktif yang cukup besar, yaitu Gunung Penulisan “Tua”, diperkirakan tingginya sekitar 2.200 mdpl. Kala itu, Kaldera Buyan-Bratan sudah ada. Tetapi, Gunung Agung belum lahir.

Sekitar 100-200 ribu tahun lalu, lahir Gunung Abang di lereng tenggara Gunung Penulisan “Tua” dengan magma yang lebih ke andesitik (sedikit lebih asam) dibanding Gunung Penulisan. Dengan demikian, terdapat dua gunungapi aktif, adalah Gunung Penulisan yang mulai mereda aktivitasnya, dan Gunung Abang yang menjadi kerucut aktifnya. Sehingga, keadaannya mirip seperti Gunung Gede dan Gunung Pangrango di Jawa Barat, dimana Gunung Pangrango nampak reda, lalu Gunung Gede yang aktif. Pada fase ini, kondisi magma masih cukup encer antara basaltik-andesitik. Fase ini menjadi waktu mulainya pembentukan Gunung Abang dan Gunung Agung.

Pada waktu 29.300 tahun lalu, terjadi letusan super-Plinian (sangat besar) di Gunung Penulisan “Tua” dengan magma yang cukup kental dan bersifat asam (dasitik, serta endapannya tersebar hampir di seluruh lereng selatan Batur. Penyebaran endapannya berada di Bangli, Klungkung, Gianyar, Denpasar, dan sampai ke laut. Total endapan produk letusan itu terhitung sekitar 36 km³. Sebagian besar bagian dari Gunung Penulisan “Tua” dan separuh Gunung Abang ambles sedalam (minimal) 1.100 m dengan diameter amblesan sekitar 10 km.

Sesudah terjadi letusan super-Plinian pada 29.300 tahun lalu itu, proses amblesan yang membentuk kaldera, kemudian diikuti oleh munculnya kejadian ekstrusi dasitik dan membentuk kubah lava, serta menghasilkan kerucut “mini” Bukit Payang dan Bukit Bunbunan. Dua bukit tersebut muncul di pinggir batas amblesan. Sangat wajar jika Bukit Payang dan Bunbunan mempunyai jenis batuan dasitik karena memang berasal dari sumber yang sama dengan magma yang membuat letusan super-Plinian itu.

Pada 20.300 tahun lalu, terjadi lagi letusan super-Plinian yang kemudian diikuti dengan proses pembentukan Kaldera II. Letusan ini memuntahkan material sebanyak 13 km³, hanya sekitar 1/3 dari material yang diletuskan pada Kaldera I. Amblesan terjadi minimal sedalam 275 m dengan diameter runtuhnya sekitar 7 km. Komposisi magma yang membentuk Kaldera II, masih dasitik. Komposisi silikanya lebih kecil terhitung sekitar 63 persen (dibandingkan komposisi 66 persen pada Kaldera I). Bukit Payang dan Bunbunan terpotong hampir separuhnya akibat terjadinya proses amblesan pada pembentukan Kaldera II. Adanya Danau Batur dibagian tenggara kaldera menunjukkan bahwa pelataran kaldera ketika terjadi amblesan tidak rata. Artinya, bagian yang ditempati Danau Batur mempunyai level yang lebih dalam daripada bagian lain kaldera Batur.

Lalu, sekitar 5.000 tahun lalu, juga terjadi letusan Plinian, tetapi tidak cukup besar untuk membuat kaldera baru. Endapan yang dihasilkan oleh letusan Plinian ini masih bersifat asam dengan komposisi silika sekitar 61 persen. Berdasarkan letusan Plinian ini, memunculkan pertanyaan apakah Gunung Batur (Kawah Batur) yang ada saat ini, yang notabene magmanya bersifat basaltik, lahir sebelum 5.000 tahun lalu atau sesudahnya. Nah, Gunung Batur yang ada saat ini, magmanya bersifat basaltik dengan komposisi silika sekitar 52 persen. Maka, paling tidak, dapat disimpulkan bahwa kerucut Gunung Batur yang aktif saat ini benar-benar masih sangat muda, lahir sekitar 5000 tahun lalu.

MANGKUK ALAM BATUR



Batur dari kewilayahan geografis, merujuk kepada Kaldera Batur beserta desa-desa di dalam dan di sekelilingnya, memiliki posisi teramat penting dalam perjalanan kesejarahan Bali. Posisi penting ini berakar pada kosmologi Bali yang menempatkan Batur sebagai tempat diturunkannya salah satu dari tiga dewa utama Bali (baca Legenda Batur Agung). Hyang Pasupati sendiri menyatakan, selama penduduk Bali selalu ingat kepada para junjungan spiritualnya, maka selama itu pula para dewa utama akan menjamin kesejahteraan mereka.

Dewi Danu diberi tanggung jawab untuk menjamin kesuburan tanah Bali dan melindungi para petani. Dalam kosmologi ini, Pura Ulundanu Batur, tempat suci di mana Dewi Danu diyakini bersemayam, menjadi jantung bagi kebudayaan agraris Bali. Di sinilah tempat subak-subak di Bali memohon tirta kesuburan maupun tirta untuk mengusir mrana (hama). Memasuki masa Bali modern pun

penghormatan kepada Dewi Danu masih tetap berlangsung.

Berbagai teks tradisional Bali, seperti Lontar Kesuma Dewa, Lontar Usana Bali dan Lontar Raja Purana Batur, memaparkan aspek mitologis Pura Ulun Danu Batur sebagai tahta Dewi Danu serta berbagai perjanjian Dewi Danu dengan masyarakat di 45 desa yang ada di sekitarnya.

Hingga saat ini, masyarakat ke-45 desa itu masih dengan setia menghaturkan persembahan sesuai perjanjian masa purba tersebut, melakukan ritual Pujawali di Pura Ulun Danu Batur. Ritual ini jatuh tepat pada bulan purnama, sasih (bulan) kesepuluh pada kalender Bali.

Pura Ulun Danu Batur sebagai Pura Pradana, tempat bertahtanya Tuhan sebagai unsur/kekuatan kebendaan, sedangkan Pura Agung Besakih sebagai Pura Purusa, tempat bertahtanya Tuhan sebagai unsur/kekuatan

hidup/batin. Pura Ulun Danu Batur juga disebut sebagai Pura Kahyangan Jagat, tempat suci bagi seluruh umat Hindu.

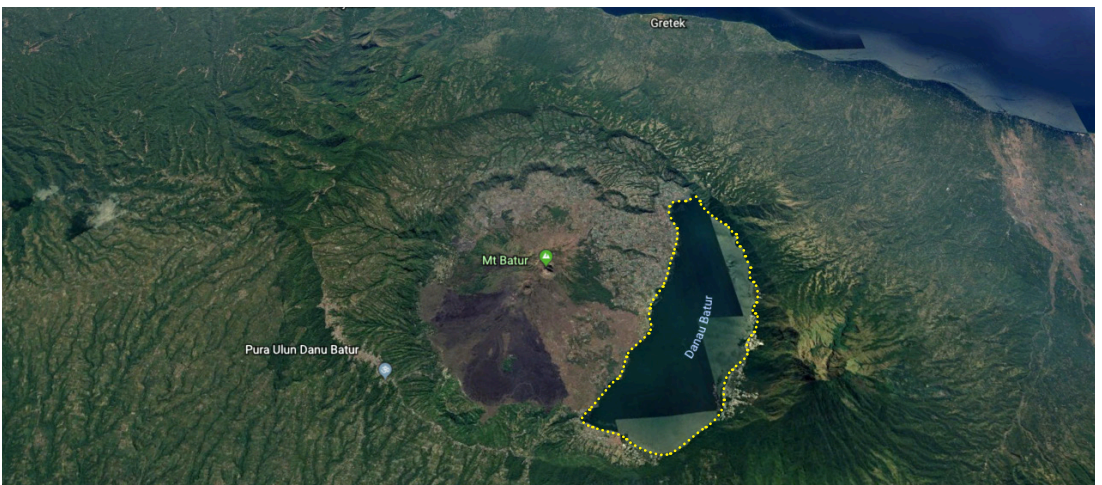
Para ahli kesejarahan Bali belum mencapai kesepakatan tentang kapan pura ini didirikan. Ada yang berpendapat bahwa pura ini sudah ada pada abad ke-11, sejaman dengan Mpu Kuturan, orang suci yang sangat dihormati di Bali, pada masa pemerintahan Raja Udayana. Namun ada pula yang berpendapat bahwa pura ini dibangun di antara abad ke-15 dan ke-17.

Salah seorang intelektual terkemuka Bali, I Wayan Surpha dalam tulisannya untuk Parisaada Hindu Dharma Indonesia (PHDI) menyatakan bahwa Pura Ulun Danu Batur awalnya

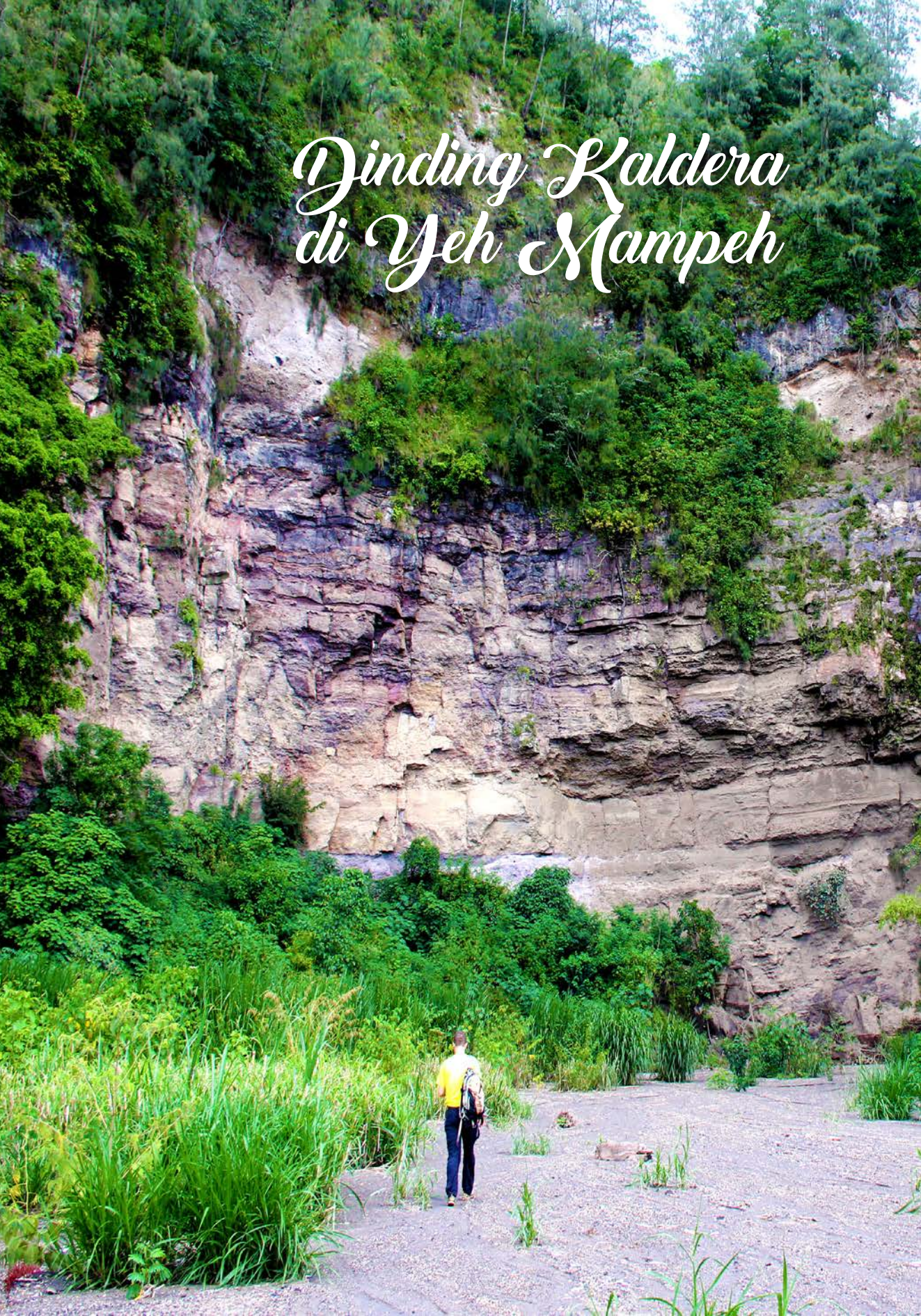
bernama Pura Tampurhyang dan terletak di Desa Sinarata di lereng barat Gunung Batur. Pada masa pemerintahan Dalem Waturenggong di awal abad ke-16, nama pura diganti menjadi Pura Ulun Danu Batur dan nama Desa Sinarata berganti menjadi Desa Batur.

Pura dan desa tersebut tertimbun lahar saat Gunung Batur meletus pada Agustus 1926 sehingga penduduk setempat memindahkan pura tersebut ke wilayah yang lebih tinggi di Desa Karangayar. Wilayah baru inilah yang hingga kini dikenal sebagai Desa Batur.

Selain di Desa Batur, terdapat satu lagi Pura Ulun Danu Batur di Desa Songan. Desa ini terletak tepat di tepian Danau Batur.



*Dinding Kaldera
di Yeh Mampek*



Dalam area Kaldera Batur, di tepian sebelah barat, terdapat Desa Yehmampeh. Jika ditarik garis lurus, desa ini berada di bawah Pura Ulun Danu Batur, yang berada di bibir kaldera Batur. Yehmampeh berada pada elevasi 1.085 mdpl, dapat dicapai melalui Panelokan dengan mengambil jalan turun ke kaldera atau melalui dusun Culali di Kintamani, jalurnya turun ke kaldera. Selisih ketinggian dibanding Pura Ulun Danu Batur terhitung 375 m. Hanya saja, perjalanan menuju Desa Yehmampeh lebih nyaman dan aman melalui jalur memutar mengelilingi Gunung Batur, lewat Desa Songan.

Lalu, apa istimewanya Desa Yehmampeh ini...?

Pertama, adanya Pura Bukit Mentik, di Desa Yehmampeh, merupakan pura gunung yang bersifat umum, Pura Kayangan Jagad. Pura ini menjadi dikenal karena sama sekali tidak tersentuh aliran lava ketika erupsi tahun 1963. Tidak juga tersentuh lava saat letusan tahun 1974. Padahal, lahan di sekitarnya terlanda dan tertimbun aliran lava Batur.

Kedua, di Desa Yehmampeh dapat dilihat juga singkapan dinding kaldera, tebing tinggi dengan perlapisan yang cukup jelas, perlapisan produk endapan ignimbrite ketika berlangsung pembentukan kaldera Batur. Di tebing ini juga dapat ditemui batuan ignimbrite terelaskan. Hampir semua peneliti Batur mampir ke lokasi ini untuk melihat contoh-contoh yang ideal tentang produk dan endapan letusan besar yang membentuk kaldera. Singkapan ini juga menjadi obyek mahasiswa untuk kuliah lapangan untuk mempelajari tentang ignimbrite.

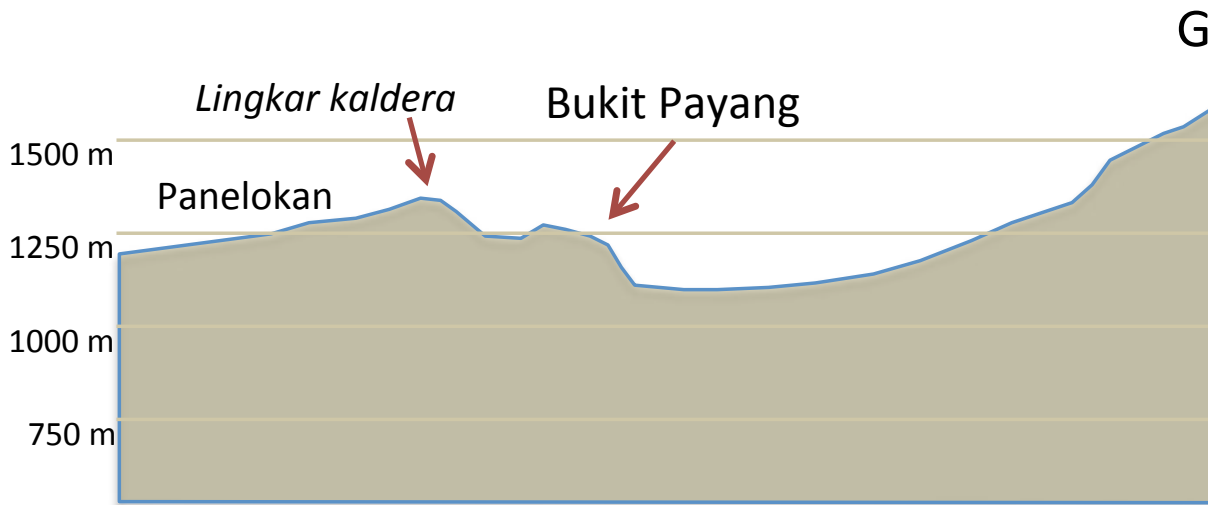
Perlapisan di dinding ini seperti perulangan antara perlapisan yang kehitaman (gelap) dan perlapisan yang lebih terang coklat krem. Mekanisme letusan super Plinian yang diperkirakan berskala VEI 6, tergambarkan dalam singkapan endapan tebing kaldera ini. Sebuah cerita ilmiah geologis bagaimana Gunung Penulisan dan Gunung Abang, yang merupakan Komplek Gunung Batur "Tua" meletus sangat dahsyat pada 20.000-30.000 tahun lalu.



Tak jauh dari tebing Yehmampeh, terdapat singkapan perlapisan batuan. Sangkapan ini merupakan salah satu rekaman dari peristiwa letusan gunungapi di Bali, tahun 1963.

Terlihat ada dua perlapisan bagian bawah berwarna kecoklatan dan di atasnya terdapat perlapisan yang lebih gelap (hitam). Lapisan singkapan ini cukup terkonservasi baik karena tertutup oleh lapisan di atasnya, yaitu endapan banjir.

Lapisan di bawah yang berwarna coklat merupakan endapan hujan pasir, abu (tephra) dari Gunung Agung yang terjadi dua kali. Yaitu, pada 17 Maret 1963 dan 16 Mei 1963. Endapan Gunung Agung bulan Mei 1963, terlihat dapat dibedakan dari peristiwa bulan Maret 1963. Sedangkan lapisan yang atas berwarna gelap adalah endapan bahan letusan (scoria) Gunung Batur, pada 5 September 1963.



BUKIT PAYANG BUNBULAN

Halaman ini membahas Bukit Payang dan Bunbulan. Maka, mari kembali membuka dan melihat gambar di halaman 22, “Profil Kaldera Batur”.

Apabila menarik garis arah baratlaut-tenggara dan dibuat profilnya, maka terlihat ada tiga kerucut : Penulisan (baratlaut), Batur (tengah), Abang (tenggara) dan juga ada kerucut Gunung Agung geser ke tenggara lagi. Apabila ditarik garis dari Panelokan (baratdaya) ke Desa Pinggan (timurlaut) dalam gambar profil di atas, nampak Bukit Payang dan Bunbulan terletak sedikit di dalam lingkaran Kaldera Batur.

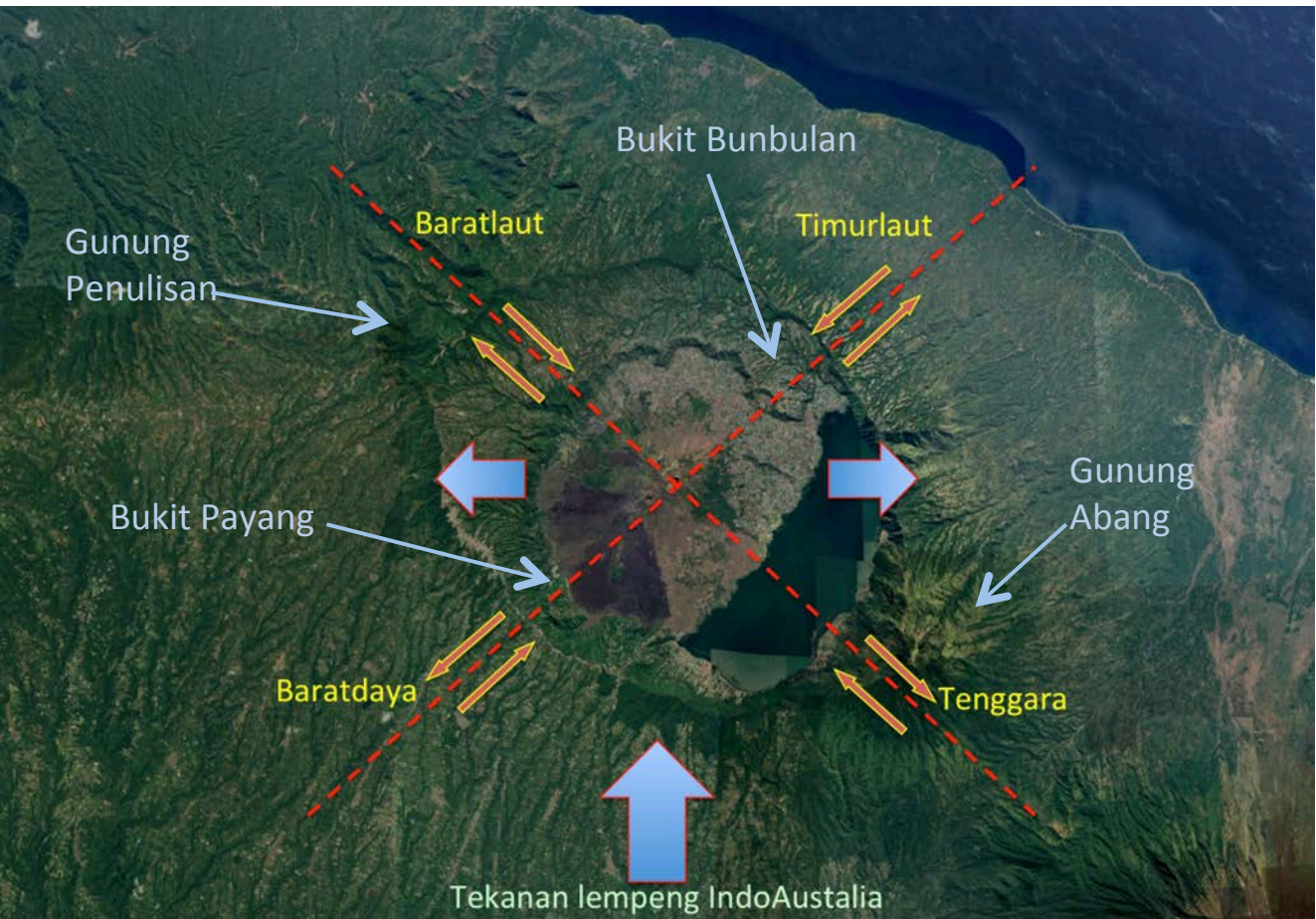
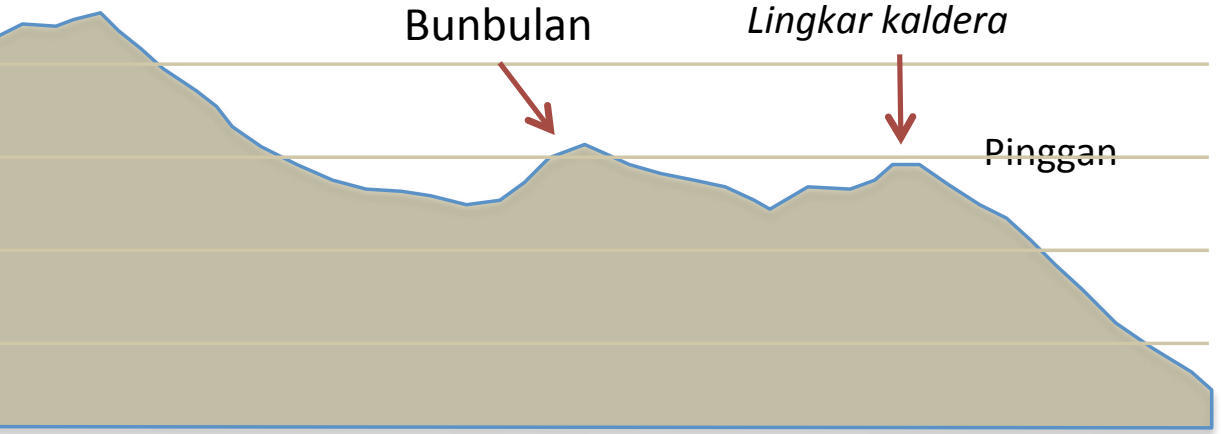
Kelurusan antarkerucut itu bukanlah sebuah kebetulan. Struktur geologi di Bali dipengaruhi oleh subduksi antara lempeng IndoAustralia dan lempeng Asia yang di sektor Bali mengarah kurang lebih luruh ke

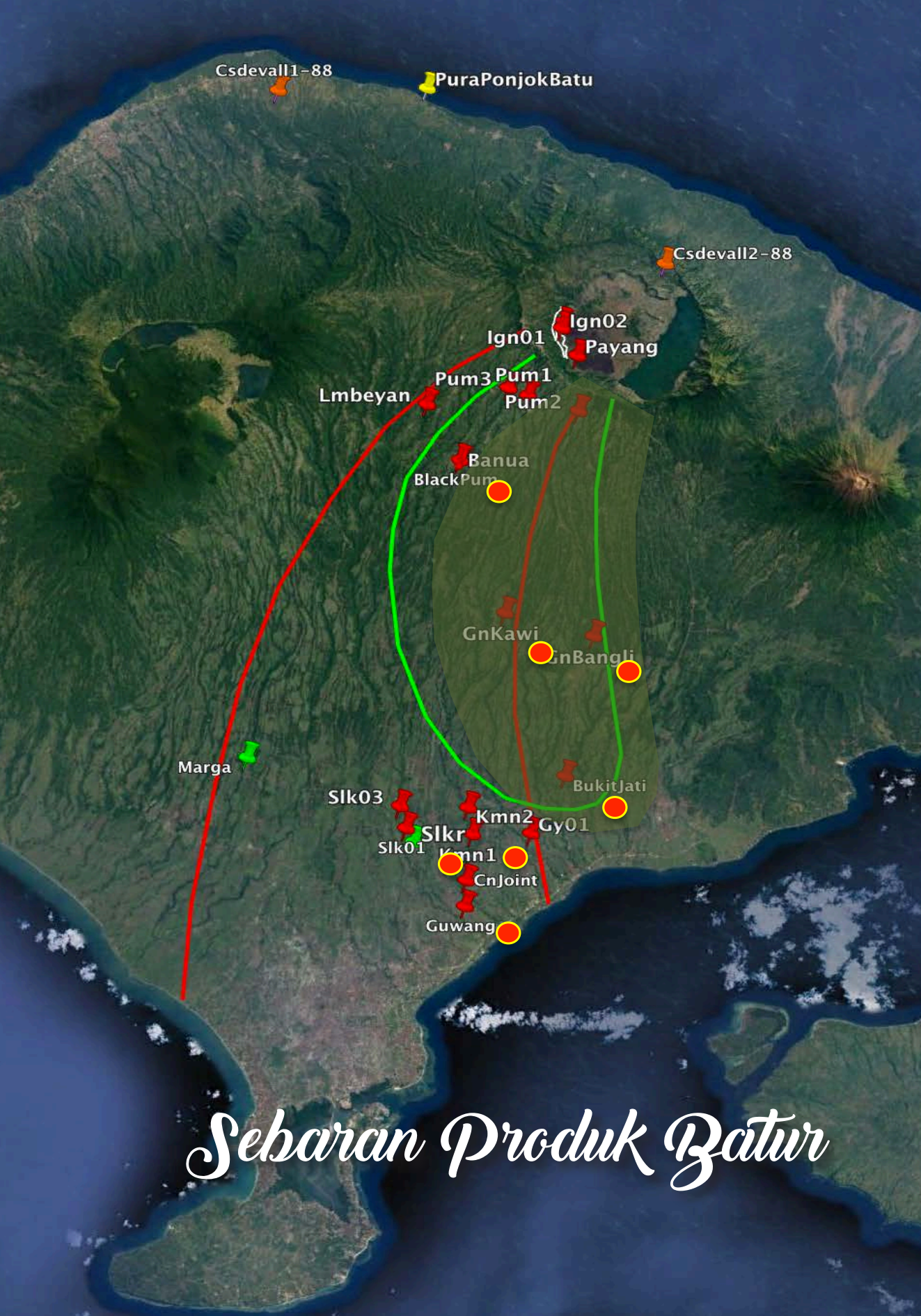
Utara. Tekanan gerak lempeng IndoAustralia ini yang membentuk struktur geologi (patahan) utama yang berarah Baratdaya-Timurlaut, dan arah Baratlaut-Tenggara sehingga blok yang kanan akan bergerak ke kanan, blok yang kiri akan cenderung bergerak ke kiri.

Struktur dua arah kelurusan tersebut menjadikan zona-zona yang relatif lemah, dan menjadi sebab kerucut-kerucut utama: Penulisan, Abang, dan Agung, terletak segaris. Demikian juga, Bukit Payang, Kawah Batur dan Bunbulan juga segaris yaitu yang berarah Baratdaya-Timurlaut.

Bentuk elips dari Kaldera Batur pun juga mengikuti pola tersebut, Baratlaut-Tenggara. Karena memang bumi ini dipengaruhi oleh dinamika gerak lempeng sehingga terbentuk zona-zona yang memudahkan magma menuju ke permukaan.

.Batur





Csdevall1-88

PuraPonjokBatu

Csdevall2-88

Ign01
Ign02
Payang

Lmbeyan
Pum3
Pum1
Pum2

Banua
BlackPum

GnKawi
GnBangli

Marga

Silk03
Silk01
Silkr
Kmn2
Gy01

Kmn1
CnJoint

Guwang

BukitJati

Sebaran Produk Batu



Tebing Tukad Ayung



Di Desa Banua

Letusan Plinian yang terjadi pada 29 ribu tahun lalu, hampir seluruh endapannya, ignimbrite, tersebar ke arah selatan. Nampaknya, arah endapannya mengikuti alur Sungai Ayung dan Petanu.

Batuan di area yang dekat sumbernya, di Kaldera Batur, endapannya sangat tebal, ratusan meter dengan kondisi batuan yang keras padat oleh proses pengelasan (welding) karena panas dari material itu sendiri. Endapan ignimbrite 29 ribu tahun lalu dapat dilihat di sepanjang Sungai Ayung yang sekarang nampak sebagai tebing-tebing tinggi sepanjang sungainya. Tetapi ada pula endapan yang tidak 'terelaskan', meskipun mengalir jauh dan material masih panas suhunya.

Di Silakarang dan Kemenuh, batu paras yang ditambang adalah produk letusan Batur, 29 ribu tahun lalu. Kita masih dapat mengamatin adanya jejak jalur-jalur gas vulkanik yang ada di endapan, berasal dari gas panas yang terjebak di dalam aliran dan merambat ke atas keluar dari endapan.



Di Banjar Silakarang

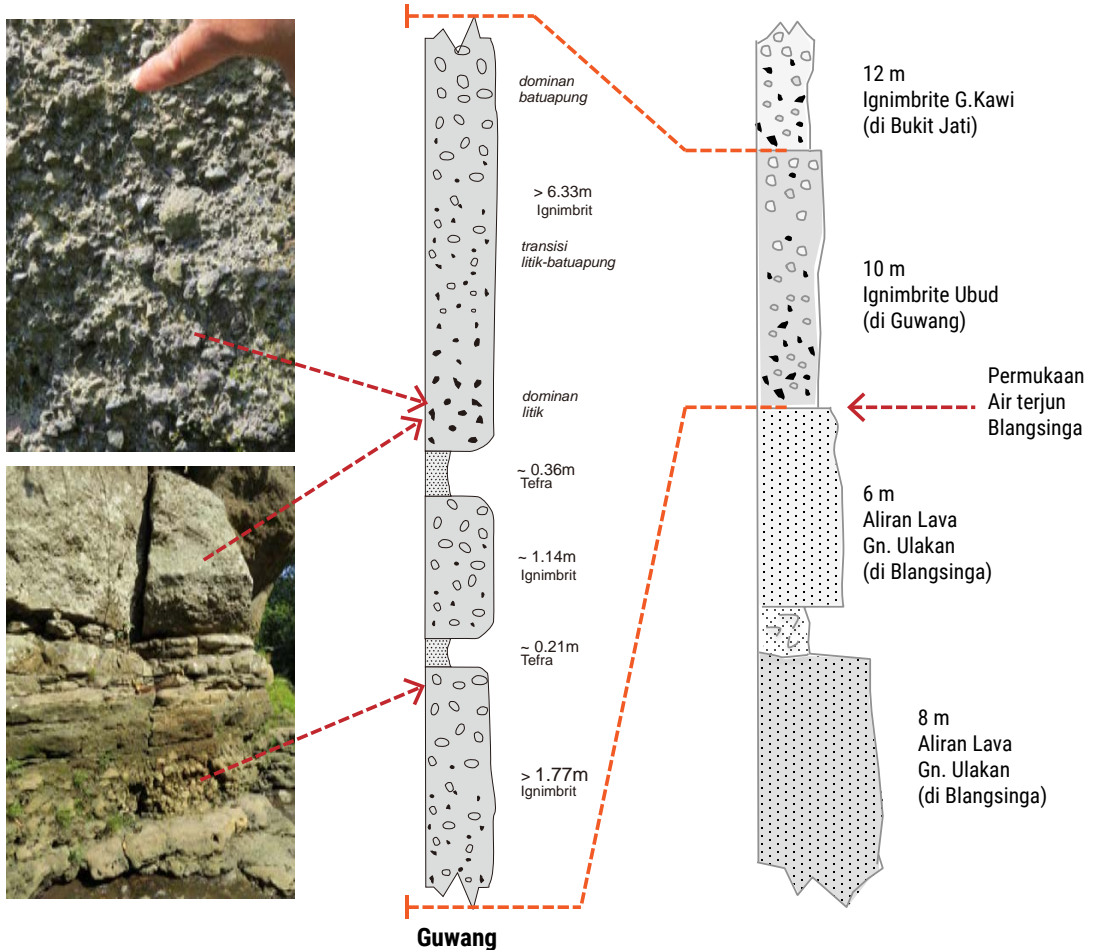


Hidden Canyon Guwang

STRATIGAFI GUWANG & BLANGSINGA



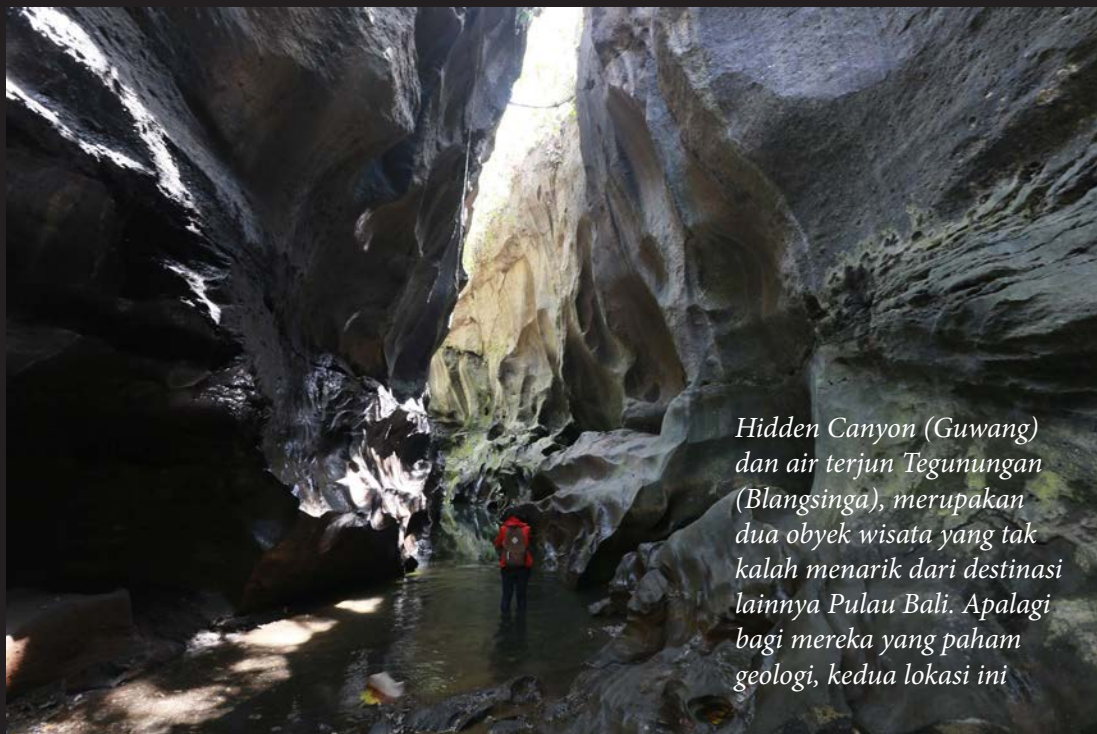
Air Terjun Blangsinga



Sampailah pada ujung dari lokasi endapan letusan Kaldera Batur 29 ribu tahun lalu, Guwang. Berhenti di Guwang, kita dapat menyaksikan dengan endapan-endapan yang lebih jelas. Tepatnya, endapan terlihat hampir sepanjang jalur track wisata sungai “Hidden Canyon Guwang”. Lukisan alam bersejarah itu ada pada tebing-tebing batas kiri dan kanan alur sungai yang sempit.

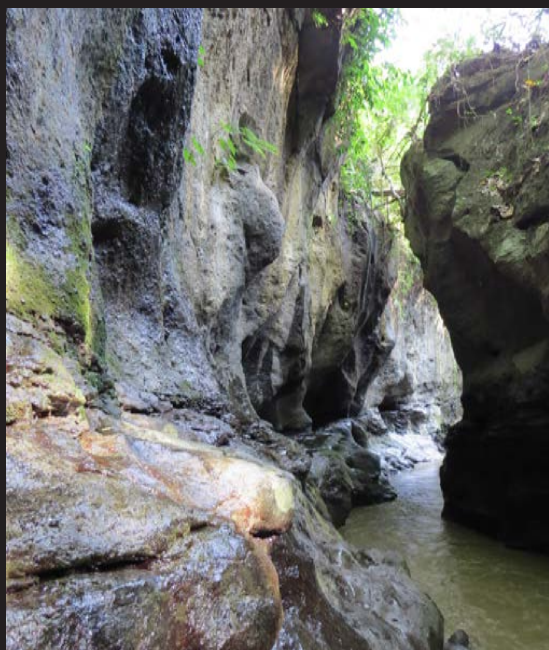
Pemandangan yang dapat dilihat adalah adanya tiga perlapisan endapan ignimbrite dengan ketebalan beberapa meter. Ketiga perlapisan ini menunjukkan bahwa proses letusan Plinian Kaldera Batur waktu itu terjadi tiga kali.

Nah, berbeda dengan lokasi Air Terjun Tegenungan di Blangsinga, dapat dilihat adanya alas dari endapan ignimbrite Batur, yaitu batuan yang telah ada sebelum pembentukan Kaldera Batur terjadi. Batuan di air terjun ini secara geologi disebut sebagai Formasi Ulakan (batuan paling tua yang ada di Pulau Bali).



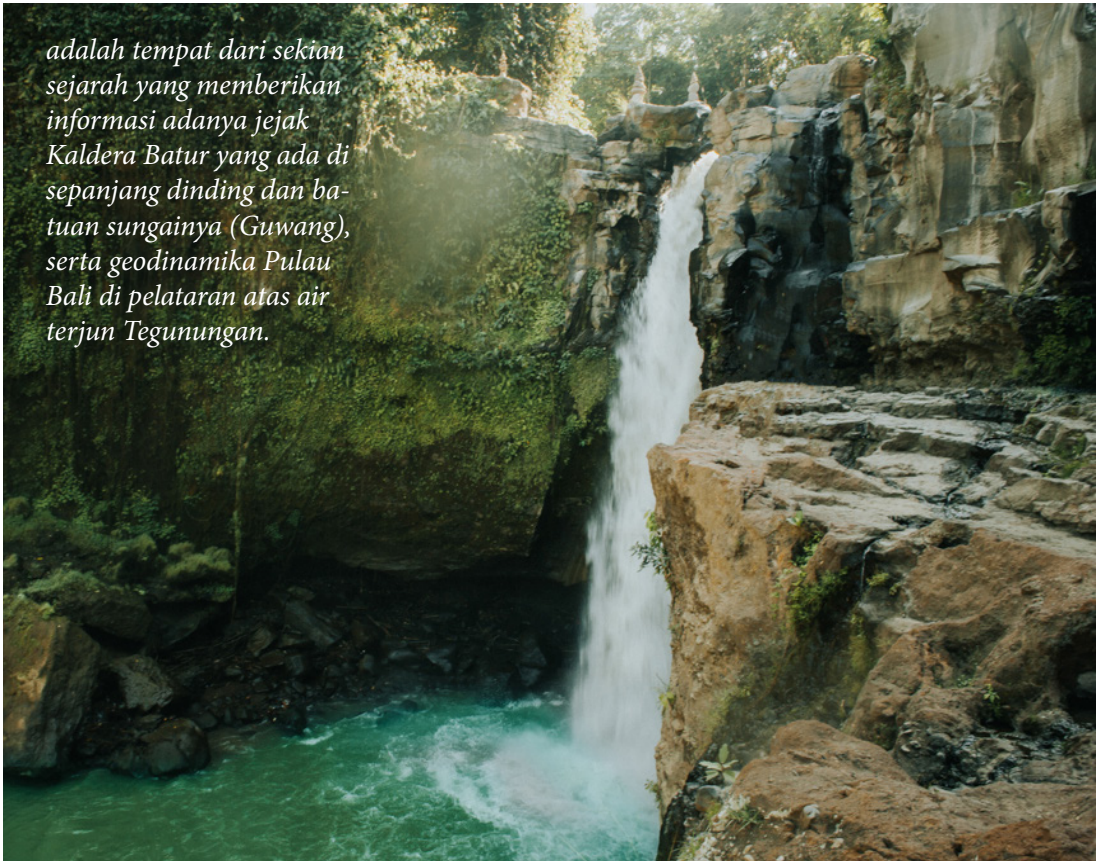
Hidden Canyon (Guwang) dan air terjun Tegunungan (Blangsinga), merupakan dua obyek wisata yang tak kalah menarik dari destinasi lainnya Pulau Bali. Apalagi bagi mereka yang paham geologi, kedua lokasi ini

HIDDEN CANYON & TEGENUNGAN





adalah tempat dari sekian sejarah yang memberikan informasi adanya jejak Kaldera Batur yang ada di sepanjang dinding dan batuan sungainya (Guwang), serta geodinamika Pulau Bali di pelataran atas air terjun Tegunungan.



DARI GUNUNG KAWI KE BUKIT JATI

Pembentukan kaldera di Batur terjadi dua kali, yaitu pada 29.000 tahun lalu (Kaldera I), dan 20.000 tahun lalu (Kaldera II). Endapan dari kedua erupsi super besar ini disebut sebagai “Endapan Ignimbrite Ubud”, untuk yang 29.000 tahun lalu. Mengapa Ubud? Karena endapan ignimbrite ini pertama kali dikenali di wilayah Ubud. Lalu, endapan 20.000 tahun lalu disebut “Endapan Ignimbrite Gunung Kawi”, karena endapan tersebut ter-expose bagus di seputaran kompleks Gunung Kawi.

Ignimbrite Gunung Kawi, meskipun secara komposisi kimia masih termasuk dasitik, seperti Ignimbrite Ubud. Tapi, kenampakan fisik dapat dikenali berbeda, yaitu oleh kekasaran butir-butir penyusunnya. Ignimbrite Gunung Kawi juga tidak terelaskan “non-welded” dan bertekstur kasar. Dari endapan ignimbrite Gunung Kawi

ini, penduduk memanfaatkan untuk bahan pagar tembok halaman, misalnya seperti yang ditambang di Desa Buwungan, di utara Penglipuran, Bangli.

Endapan Ignimbrite Gunung Kawi juga bersifat lebih porus, mempunyai kandungan batu apung yg lebih banyak dibanding Ignimbrite Ubud. Dindingnya kurang mempunyai komponen butiran halus (abu halus) dibanding Ignimbrite Ubud.

Volume yang dilontarkan oleh letusan 20.000 tahun lalu, diperkirakan sekitar 7 km³. Endapan ini adalah aliran piroklastik besar yang meluncur dari Kaldera Batur, menyusuri sisi selatan lereng Batur. Selanjutnya, piroklastik mengalir melalui seputaran Gunung Kawi, lalu endapan berhenti dan membentuk Bukit Jati, yang ada di selatan kota Kabupaten Bangli.





GUNUNG DAN KAWAH BATUR

G Pilihan yang tepat dan menjanjikan ketika menikmati indahnya kerucut-kerucut aktif Kawah Batur yang ada di tengah2 mangkuk Kaldera Batur. Dengan latar Danau Batur yang tenang, bagaikan kombinasi pematangan alam bumi yang sempurna : ada tanah, ada darat, warna langit, ada gunung serta hamparan air danau.

Indah. Dari sisi manapun, berdiri dan memandangi lukisan alam di bibir kaldera, dari Kintamani, dari Bukit Penulisan, dari Desa Pinggan di utara, dari Panelokan, maupun dari Puncak Gunung Abang, Kawah Batur menjadi daya tarik yang tak pudar.

Banyak jalan untuk sampai ke Gunung Batur. Berangkat dari Kota Denpasar, atau berangkat melalui Bangli, tetap akan sampai ke Desa Panelokan. Dapat pula melewati Ubud dan terus ke Payangan hingga tiba di Desa Batur, Kintamani. Jadi tak perlu khawatir kesulitan memilih jalur menuju Gunung Batur.

Kerucut Kawah Gunung Batur ini sebenarnya merupakan analogi dengan “Anak Krakatau” untuk Kaldera Krakatau, maupun

“Gunung Bromo” untuk Kaldera Tengger. Tiga kerucut aktif yang menempel satu sama lain. Yang paling tinggi, Kawah Batur (1), terletak kira-kira tepat di tengah mangkok. Kawah Batur (2) dan Kawah Batur (3), berada berurutan di sebelah baratdaya. Memandang dari Kintamani, terlihat ketiga kerucut kawah letaknya segaris dengan Bukit Payang dan Bunbunan, yakni garis struktur baratdaya-timurlaut.

Sebagaimana “anak-anak” kaldera lainnya, pada umumnya, magmanya relatif basaltik, encer. Letusannya bertipe strombolian, seperti Gunung Stromboli di Italia, lontaran lava pijar ke udara seperti air mancur dengan warna memerah. Gunung Batur, saat ini, memiliki dua pola letusan. Yaitu, murni strombolian, dan kadang di ikuti dengan keluarnya lava membentuk aliran bubur lava panas ke lereng-lerengnya. Sesuai dengan struktur geologi yang ada di Batur, tidak semua aliran lava berawal dari kawah nya, kadang muncul menyembul dari lokasi di bagian lerengnya.





Asap nampak mengepul tak berhenti dari kawah yang aktif saat ini, Kawah Batur 3. Warna putih di dinding kawah adalah sublimasi belerang bercampur dengan pasir-pasir yang juga merupakan efek alterasi batu yang tadinya keras menjadi lunak karena reaksi kimiawi.

Seputaran kawah tersusun dari tumpukan lontaran bebatuan seperti kepalan tangan sekitar 10 cm sampai ada yang 40 cm. Batuan itu berjatuhan dari letusan strombolian pada jarak yang dekat. Pada saat kejadian, tentunya batu-batu itu adalah bongkah lava pijar yang terlempar ke udara.

Dari kejauhan, di dekat Banjar Tirta Mas Mampe, tak jauh dari dinding kaldera di bawah Kintamani terdapat kerucut-kerucut “cinder”, hasil pertemuan aliran lava pijar dengan air sehingga membuat erupsi lokal atau sekunder setempat. Kerucut “cinder” ini berasal dari letusan lokal yang berkekuatan sangat rendah sehingga menghasilkan bongkahan-bongkahan seperti kerucut-kerucut. Beberapa kerucut “cinder” dapat diamati di sekitar banjar ini. Kerucut ini merupakan salah satu produk dari proses letusan Gunung Batur di awal abad 20.





JEJAK LAVA BATUR

Kerucut Gunung Batur yang berada di tengah Kaldera Batur dalam kenyataan tidaklah benar-benar berbentuk kerucut. Akan tetapi, berupa deretan kawah-kawah aktif. Saat ini paling aktif adalah Kawah (3), yang paling rendah dari ketiga kawah aktif Batur. Magma Gunung Batur yang aktif saat ini berkomposisi basaltik dengan kandungan silika sekitar 54 persen. Letusannya berupa letusan kecil strombolian dan juga erupsi aliran lava.

Sejak abad 19 saja, berdasarkan beberapa catatan referensi terhitung sebanyak 10 kali erupsi dengan aliran lava. Kebanyakan lava mengalir ke sisi baratdaya dari lereng Kawah Batur. Sedangkan ke arah di timur laut, arah Songan, hampir tidak terjadi aliran lava paling tidak pada 200 tahun terakhir.

Berdiri di pinggir Kaldera Batur, lalu memandang ke bawah, ke dalam kaldera, terlihat kerucut Gunung Batur berderet dari yang

tinggi ke rendah. Lerengnya secara umum bercorak kecoklatan dan beberapa bagian sisinya nampak pola-pola aliran lava yang berwarna hitam. Di beberapa bagian lainnya juga nampak vegetasi, rerumputan hijau. Ada pula bagian lain hampir tidak ada vegetasi, hanya terlihat berwarna hitam.

Oleh aktivitas erupsinya yang berupa aliran lava panas yang mengalir menyusuri lerengnya, akan memberikan corak warna hitam baru di lerengnya. Demikian pula dari erupsi satu ke erupsi berikutnya, endapan aliran lava bertumpukan. Dengan berjalannya waktu, di permukaan endapan lava akan tumbuh vegetasi baru, mulai dari rumput-rumput tipis dan semakin lama akan semakin padat vegetasi dan warna hitam endapan lava dari kejauhan akan semakin pudar dan menjadi lebih kehijauan.

Endapan lava dari kejadian yang berbeda waktu akan mempunyai warna yang berbeda,



bervariasi dari mulai hitam gelap menjadi terang kehijauan. Pada foto, aliran-aliran lava yang terjadi di tahun 1963 dan 1974, masing-masing lerengnya nampak kehitaman.

Lava yang keluar dari puncak kawah Batur atau dari suatu titik bukaan di lerengnya kondisinya sangat encer dan panas sekitar 1.000°C dan langsung mengalir ke lereng. Namun, pertemuan dengan suhu udara, menjadikan lava akan semakin mengental. Meskipun tidak terlalu cepat, hal ini masih memungkinkan mengalir bak bubur kental meliuk sesuai morfologi lerengnya sampai ke pelataran kaldera yang kemiringan mendekati datar. Ketika sudah makin kental, gerak aliran makin pelan dan akhirnya akan berhenti mengalir. Kerak di permukaannya runcing-runcing dan tajam, ini merupakan hasil dari proses keluarnya gelembung gas kecil-kecil yang pecah di permukaan lava.



Lava yang keluar dari puncak kawah Batur atau dari suatu titik bukaan di lerengnya kondisinya sangat encer dan panas sekitar 1.000°C dan langsung mengalir di lereng. Namun pertemuan dengan suhu udara, lava akan semakin mengental meskipun tidak terlalu cepat sehingga masih memungkinkan mengalir bak bubur kental meliuk sesuai morfologi lerengnya sampai ke pelataran kaldera yang kemiringan mendekati datar. Ketika sudah makin kental, gerak aliran makin pelan dan akhirnya akan berhenti mengalir. Kerak di permukaannya runcing-runcing dan tajam, hasil dari proses keluarnya gelembung gas kecil-kecil yang pecah di permukaan lava.

Goa Lava Toyabungkah



Temperatur lava (magma di permukaan) yang keluar dari Gunung Batur sekitar 950°C-1.000°C. Lava tersebut baik dari kawah maupun rekahan, karena sifatnya cair-kental akan langsung mengalir menyusuri lereng.

Kekentalannya dan sentuhannya dengan suhu udara menjadikan bagian luar dari bubur lava itu mudah membeku. Ketika baru mencapai jarak 500 -1.000 m, kondisi aliran semakin pelan karena bagian luarnya menjadi beku dan mengerak jadi kerak. Namun demikian, bagian dalamnya masih tetap bersifat cair dan cenderung tetap mendorong ke depan sehingga aliran lava tetap mengalir lebih jauh. Kondisi kerak luar yang keras dan membatu menyebabkan kadang kala cairan di dalamnya terus mengalir kedepan dan meninggalkan keraknya sehingga terbentuk lorong-lorong yang akhirnya menjadi Gua Lava.

Gua lava yang agak besar, dengan lorong sekitar 15 m, dapat ditemui di dekat Desa To



yabungkah, yaitu Gua Petung, Gua Dadem dan Gua Lowo. Letaknya di lereng tenggara Kawah Batur '1'. Gua-gua lava ini terbentuk di endapan aliran lava yang terjadi saat erupsi G. Batur, dari Kawah '1', di tahun 1888. Kadang kala, atap kerak dari gua lava runtuh sehingga lorong gua lava menjadi tidak utuh lagi.

Ketika bagian dalam badan aliran lava tidak dapat lagi bergerak maju, karena sudah semakin mendingin, ujung akhir aliran lava nampak lebih tebal dan seperti ada perlapisan, yang sebenarnya lepasnya bagian dalam badan aliran lava dari keraknya.

Selama proses mengalir di lereng, batuan aliran lava, karena suhunya yang sangat panas, juga mengeluarkan gas-gas yang semula terlarutkan sehingga batuan lava ketika dingin nampak mempunyai gelembung-gelembung di dalamnya, semakin dekat ke permukaan endapan, gelembung semakin besar dan banyak yang pecah sehingga kerak aliran lava ketika mendingin mempunyai permukaan yang relatif runcing-runcing teksturnya.





SAD KERTI KERAHAYUAN

Jika alam terpelihara, air yang mengalir dari gunung melalui tebingnya menuju daratan hingga lautan pun terjaga, lingkungan secara keseluruhan terjaga keseimbangannya.

Gunung-laut (Adri-Sagara) beserta hutannya, dalam Lontar Purana Bali merupakan ciptaan Tuhan sebagai unsur Sad Kerti (enam unsur kerahayuan). Sad Kerti ini penting perannya dalam kehidupan manusia beserta makhluk ciptaan Tuhan lainnya.

Enam kerahayuan dari Sad Kerti adalah Atma Kerti (penyucian jiwa), Samudra Kerti (penyucian laut), Yana Kerti (penyucian diri pribadi), Wana Kerti (pelestarian hutan), Danu Kerti (pelestarian sumber air), dan Jagat Kerti (penataan masyarakat).

Karena itulah dipelihara kelestariannya baik secara sekala (nyata, lahiriah) maupun secara niskala (tidak nyata, bathiniah). Dalam konsepsi Hindu disebutkan bahwa gunung (Adri, Giri) merupakan Lingga-Acala (Lingga yang tidak bergerak).

Dengan demikian Gunung (Adri, Giri) dan laut (sagara) merupakan simbol dari Lingga-Yoni (Purusa-Pradhana). Itulah sebabnya dalam kehidupan masyarakat Bali, khususnya yang beragama Hindu, gunung dan laut adalah tempat yang disucikan untuk penyelenggaraan upacara-upacara suci keagamaan.

Dalam makalah berjudul Teks Siwagama Sumber Pelestarian Gunung dan Laut di Bali oleh I Nyoman Weda Kusuma, menyebutkan bahwa mitologi mengenai gunung-laut pada zaman dahulu berawal dari keadaan Bhuwana Agung (macrokosmos, alam semesta beserta isinya) yang rusak berat. Air tidak ada yang mengalir, tanah kering kerontang, tak ada tumbuh-tumbuhan hidup, udara tercemar polusi.

Kerusakan alam tersebut menimbulkan penderitaan bagi kehidupan umat manusia beserta makhluk lainnya. Atas kesengsaraan yang menimpa alam ini, Bhagawan Manu memohon ke hadapan Ida Sang Hyang Widhi,

Tuhan Yang Mahaesa, agar beliau berkenan menyelamatkan kehidupan di Bumi (Alam Semesta).

Selanjutnya, Ida Sang Hyang Widhi mengabulkan permohonan Bhagawan Manu. Maka segera, lah, Dewa Tri Murti (Dewa Brahma, Dewa Wisnu, Dewa Siwa) turun ke dunia untuk mengatasi kerusakan alam beserta isinya. Ketiganya menjelma menjadi naga.

Dewa Brahma turun ke dunia menjelma menjadi Naga Ananta Bhoga, lalu masuk ke dalam tanah. Masuknya ke dalam tanah untuk memperbaiki stuktur yang sudah rusak. Akhirnya tanah menjadi subur kembali. Tumbuh-tumbuhan pun bersemi kembali dan menjadi sumber makanan yang tiada habisnya bagi keperluan makhluk hidup.

Naga Bhasuki adalah jelmaan Dewa Wisnu turun ke dunia. Mulut Naga Bhasuki masuk ke bumi menjadi laut (samudra) dan ekornya menjadi Adri atau Giri (gunung) beserta hutannya. Air laut menguap ketika kepala

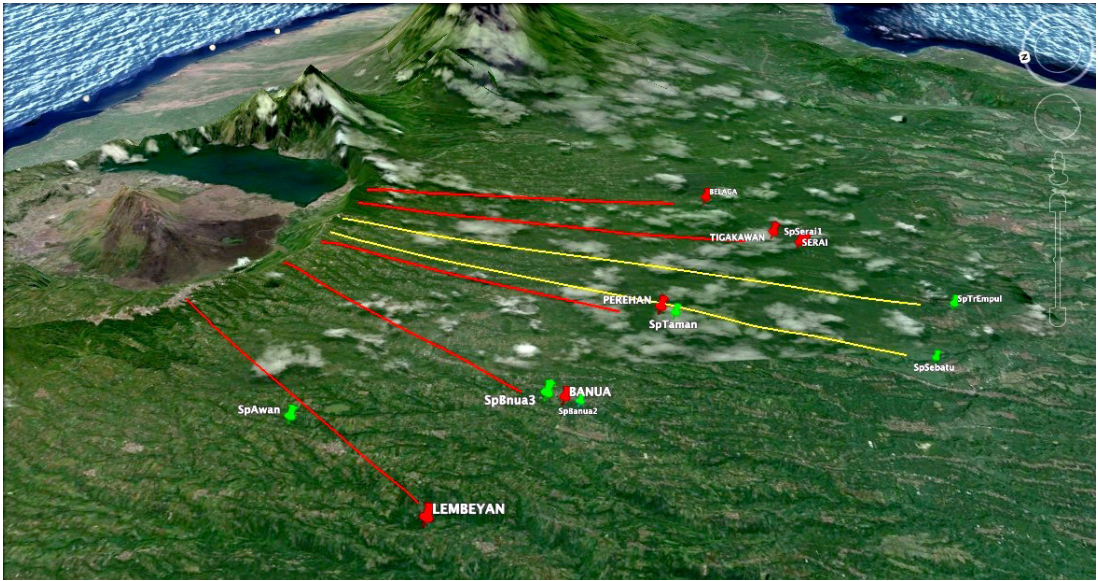
Naga Bhasuki menggerakkan air laut. Air yang menguap naik ke atas gunung menjadi mendung dan turunlah hujan. Hutan pun menampung air hujan yang turun.

Air yang ditampung di hutan itulah yang menjadi danau dan sungai. Umat manusia pun berkecukupan dengan air danau dan sungai untuk mengembangkan pertanian, perkebunan, serta sumber penghidupan lainnya. Kemakmuran dan kesejahteraan pun tercapai.

Sementara Dewa Siwa menjelma menjadi Naga Taksaka. Nah, Naga Taksaka ini naga bersayap. Naga Taksaka terbang ke angkasa membersihkan udara karena segala polusi.

Demikian ketiga naga jelmaan tiga Dewa tersebut sebagai Dewa Tri Murti ke dunia. Maka selamat dan pulihlah Bhuwana Agung, alam ini. Sad Kertih ini pun menjadi salah pedoman umat Hindu Bali untuk tetap menjaga kestabilan, karahayuan alam.





Air 7 Kilometer

Membahas kaldera, tak lepas pula dari pembahasan bagaimana perjalanan air menembus lapisan-lapisan endapan letusan. Lapisan endapan proses letusan besar yang terjadi di Kaldera Batur, yaitu letusan pada sekitar 30.000 tahun lalu, dan 20.000 tahun lalu, menutupi permukaan tanah lama di seputaran Gunung Batur dengan endapan yang tebal dalam orde puluhan meter, bahkan sampai di pantai selatan. Dalam jarak yang dekat di seputaran Gunung Batur, misalnya, dalam jarak kurang dari 7 km, endapan bisa dalam orde ratusan meter tebalnya. Semakin jauh dari kaldera Gunung Batur, maka semakin tipis ketebalannya.

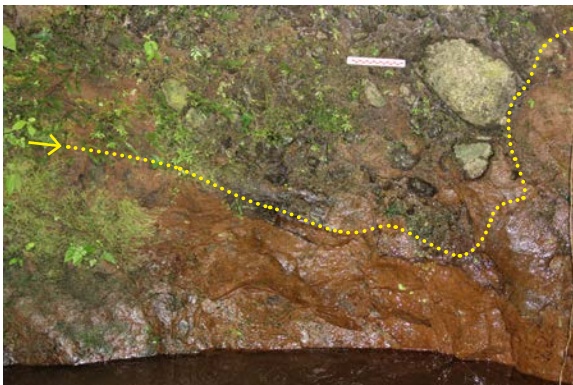
Endapan bahan lontaran, jatuhnya dan aliran bebatuan yang di keluarkan dari perut bumi ketika terjadi pembentukan Kaldera Batur, ini yang menjadi permukaan tanah yang kita injak saat ini. Permukaan tanah itu berada di antaranya di Gianyar (Ubud, Sukawati), di Bangli, di Denpasar.

Dan endapan ini juga yang membawa dan menampung air hujan (disebut juga air meteorik) yang meresap dan kemudian menjadi air tanah. Beberapa tempat menjadi titik keluarnya mata air-mata air yang menghidupi dan mengalir persawahan serta sebagai sumber air minum.

Air hujan yang jatuh di dalam mangkuk Kaldera Batur tentu tetap tertampung di dalam kaldera dan sebagian menjadi air Danau Batur. Sedangkan air hujan yang jatuh di luar Kaldera Batur akan meresap dan menjadi mata air. Endapan produk letusan kaldera sebagian besar bersifat porus (tidak padat pejal), sehingga air hujan dapat dengan mudah meresap ke dalam. Proses meresapnya air berhenti apabila terhalangi oleh adanya lapisan abu halus (misal: hujan abu), dan pada level endapan abu halus tersebut air akan muncul di tebing-tebing yang terbuka sebagai mata air.

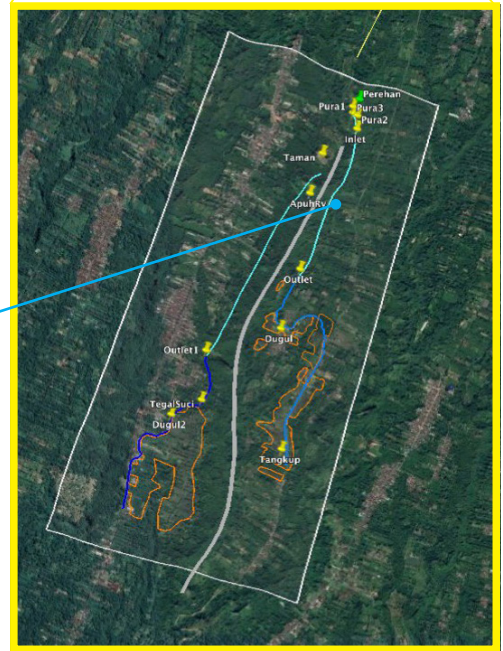
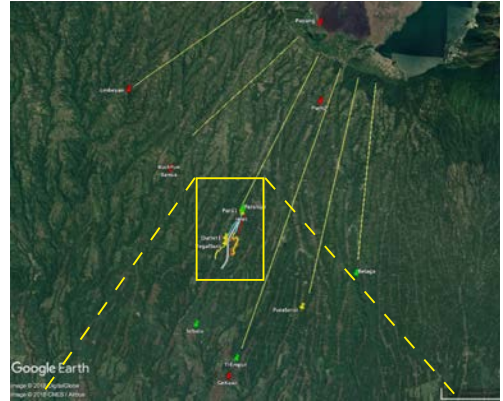


Perlapisan batuan di mata air. Bagian atas tersusun dari endapan batuan yang berpori pori (porus) sehingga air hujan bisa meresap. Bagian bawah terdapat perlapisan batuan yang bertekstur halus sehingga air tidak lagi dapat terus meresap ke bawah, dan akhirnya keluar meluber menjadi mata air



AUNGAN 1 KM & PENGARUNG

...Di aungan Jati-ne tiang polih ngaung paras menyan, sabilang gedig miyik misi andus, tain galian wantah akranjang bakatang tiang abilang wai (Saat membuat terowongan air di Jati, saya menemukan paras menyan, lapisan batu padas yang tiap saya coba potong selalu mengeluarkan asap dan bau wangi. Penggalian juga berjalan sangat susah, hanya menghasilkan satu keranjang galian per hari)”. Tuttur Bapak tua sang pengarung (pembuat aungan) kepada peneliti subak terkemuka asal Amerika Serikat, J. Stephen Lan-

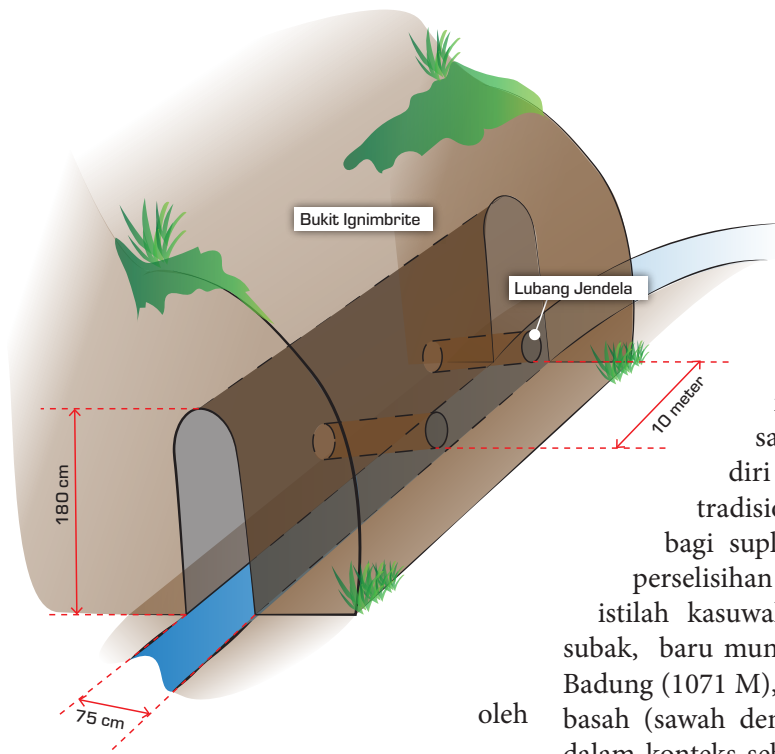


sing.

Sang pengarung yang sudah tua ini, sejak masih kanak-kanak mulai membantu ayah dan paman-pamannya dalam membuat terowongan air untuk mengalirkan air irigasi. Berbagai hambatan dialaminya saat membuat aungan di sejumlah desa di Bangli dan Gianyar, termasuk di Sukawana, Payangan dan Sebatu. Hambatan itu antara lain berupa hambatan fisik, seperti struktur dinding aungan yang lemah sehingga kerap longsor serta mendapati deposit belerang dan kapur yang membuat para pekerja sulit bernafas.

Aungan Gata menjadi terowongan terpanjang yang pernah dikerjakannya. Terowongan air itu memiliki panjang 5 km dan dilengkapi 150 calung (lubang ventilasi dan cahaya).

Selain sawah berteras, aungan merupakan salah satu mahakarya konstruksi yang dihasilkan



oleh

perad-
aban agraris

Bali. Terowongan air ini dibangun menembus bukit padas maupun medan bergelombang untuk mengalirkan air ke wilayah-wilayah yang sebelumnya tidak memiliki akses terhadap suplai air irigasi. Dan, tentu saja, aungan ini berperan sangat penting dalam perluasan areal sawah basah. Artinya, aungan ini berjasa dalam meningkatkan produksi padi dan kemakmuran petani di Bali.

Di masa lampau Bali, jaringan aungan ini dibangun oleh sekelompok tenaga terlatih yang dikenal sebagai undagi pengarung. Profesi ini merupakan salah satu bidang kerja tertua dalam sejarah Bali. Istilah undagi pengarung pertamakali disebutkan dalam Prasasti Bebetin A I (896 M). Dalam prasasti itu dipaparkan nama sejumlah profesi, termasuk undagi pengarung, yang mendapat imbalan dari masyarakat yang menggunakan jasa mereka.

Hal ini menunjukkan bahwa pada jaman

tersebut pertanian sudah menjadi bidang ekonomi yang makmur sehingga para petani sudah memiliki dana dan kebutuhan untuk menyewa pekerja-pekerja spesialis di bidang pembuatan aungan.

Para petani Bali pada jaman itu kemungkinan besar juga sudah menghimpun diri ke dalam subak, organisasi tradisional yang bertugas membagi suplai air dan menyelesaikan perselisihan di antara petani. Memang istilah kasuwakan, yang merujuk pada subak, baru muncul pada Prasasti Pandak Badung (1071 M), namun keberadaan sawah basah (sawah dengan saluran irigasi), baik dalam konteks sebagai tempat bertani maupun sebagai barang warisan, telah disebutkan pada berbagai prasasti yang sejaman dan lebih tua dari Prasasti Bebetin A I.

Pengarung kembali disebutkan dalam Prasasti Batuan (1022 M). Prasasti ini menyatakan bahwa pemerintah kerajaan mengenakan pajak pendapatan senilai satu kupang per tahun bagi setiap undagi pengarung. Hal ini menegaskan bahwa pada awal abad ke-11, membuat aungan telah menjadi pekerjaan yang menguntungkan secara ekonomi dan dilakukan oleh cukup banyak orang sehingga pihak kerajaan sampai merasa perlu untuk mengenakan pajak.

Dalam membuat aungan, undagi pengarung hanya menggunakan sejumlah alat tradisional, yang terbuat dari kayu, bambu, serta besi. Salah satunya adalah Peganjing Duhur, alat survei tanah serupa teodolit di masa kini. Berbentuk tripod terbuat dari bambu dan kayu, Peganjing Duhur digunakan untuk mengukur perbedaan sudut dan ketinggian permukaan tanah di bentang



wilayah tempat aungan akan digali.

Sedangkan untuk mengukur kerataan dasar aungan serta kemiringan yang dibutuhkan untuk mengalirkan air di sepanjang alur aungan, para arsitek tradisional ini menggunakan Peganjing Dasar, alat dengan bagian utama sebuah papan kayu yang rata dan panjang.

Dengan menggunakan Peganjing Dasar inilah, undagi pengarung bisa menentukan sudut kemiringan yang tepat agar air bisa mengalir dengan kecepatan yang memadai untuk melintasi aungan dan kemudian mengairi sawah-sawah di ujung aungan.

Dalam bukunya *Irrigation Tunneling in Ancient Indonesia* (2012), A. Hafied A. Gany menyatakan bahwa perbedaan sudut kemiringan ini melahirkan kecepatan aliran yang berbeda-beda. Para petani Bali menamai kecepatan aliran ini berdasarkan nama-nama binatang, mulai dari Jaran Ngarong (sudut dan kecepatan yang tidak menimbulkan sedimentasi) dan Sikep Ngimbang (sudut dan kecepatan yang memicu sedimentasi pasir) hingga Banyu Langse (sudut ekstrim yang membuat aliran air

jatuh secara vertikal serupa air terjun).

Pembuatan aungan diawali dengan ritual khusus, saat mana para undagi pengarang menghaturkan sesaji dan memohon restu pada Bhatari Pertiwi (penguasa tanah) dan Dewi Danu (penguasa air). Sesaji ini, menurut peneliti aungan dari Universitas Udayana, I Nyoman Wardi, diuraikan pada lontar kuno Indik Ngawung. Teks itu menyebutkan:

“Nihan tingkahing makarya awungan, ana bantenia, ajengan putih kuning, taluh bekasem, pencok kacang, daksina nia nyuh sudhamala, katipat kelan artha 1700, muang tumpeng barak, tumpeng brumbun, manut warnaning tumpeng pengayate ring ibu perthiwi ”

(Adapun perilaku dalam membuat terowongan, ada sesajennya, seperti sesajen nasi warna putih dan kuning, telur asin, pencok kacang, daksina dari kelapa sudhamala, ketupat 1 kelan (6 biji), uang kepeng senilai 1.700 (ringgit), nasi tumpeng berwarna merah dan nasi tumpeng warna brumbun (abu-abu), dan warnanya disesuaikan dengan arah kosmis (dipersembahkan kepada) Dewi Bhumi/Ibu Perthiwi).

Dengan menggunakan beliung, linggis, pacul, tajak dan sekop mereka kemudian akan mulai menggali mulut aungan. Ukuran aungan umumnya tiga macam: setinggi manusia dewasa, setinggi manusia dewasa berjongkok, serta setinggi manusia dewasa merayap.

Lembaran-lembaran gedek yang dicat putih diletakkan di dekat mulut aungan. Fungsinya: memantulkan cahaya matahari untuk memberi penerangan bagi para pekerja saat tahap awal pembuatan aungan.

Di tahap berikutnya, saat pantulan cahaya matahari sudah tidak mampu mencapai lokasi penggalian, undagi pengarang mulai membuat calung (lobang tembus ke sisi samping aungan) atau bindu (lobang tembus ke sisi atas aungan) sebagai lobang ventilasi dan masuknya cahaya. Calung berukuran besar di-

gunakan juga untuk mengangkut hasil galian ke luar. Sedangkan Bindu memiliki fungsi penting sebagai titik monitoring untuk melihat apakah arah aungan sudah sesuai dengan jajaran patok yang dipasang di permukaan tanah.

Di beberapa titik di jalur penggalian, undagi pengarang akan membuat ceruk untuk menempatkan lampu sumbu berbahan bakar minyak kelapa. Selain sebagai sumber penerangan, lampu ini juga berperan sebagai sinyal tanda bahaya. Lampu yang tiba-tiba meredup menandakan bahwa ada peningkatan jumlah gas berbahaya di dalam terowongan.

Saat ini jumlah undagi pengarang sudah sangat sedikit dan pengerjaan terowongan umumnya sudah dilakukan dengan teknologi terkini. Meskipun demikian, sistem, teknologi, serta nilai-nilai kearifan tradisional yang mereka wariskan masih berharga sebagai penanda penting puncak-puncak peradaban pertanian Bali.



SKETSA SUBAK TANGKUP

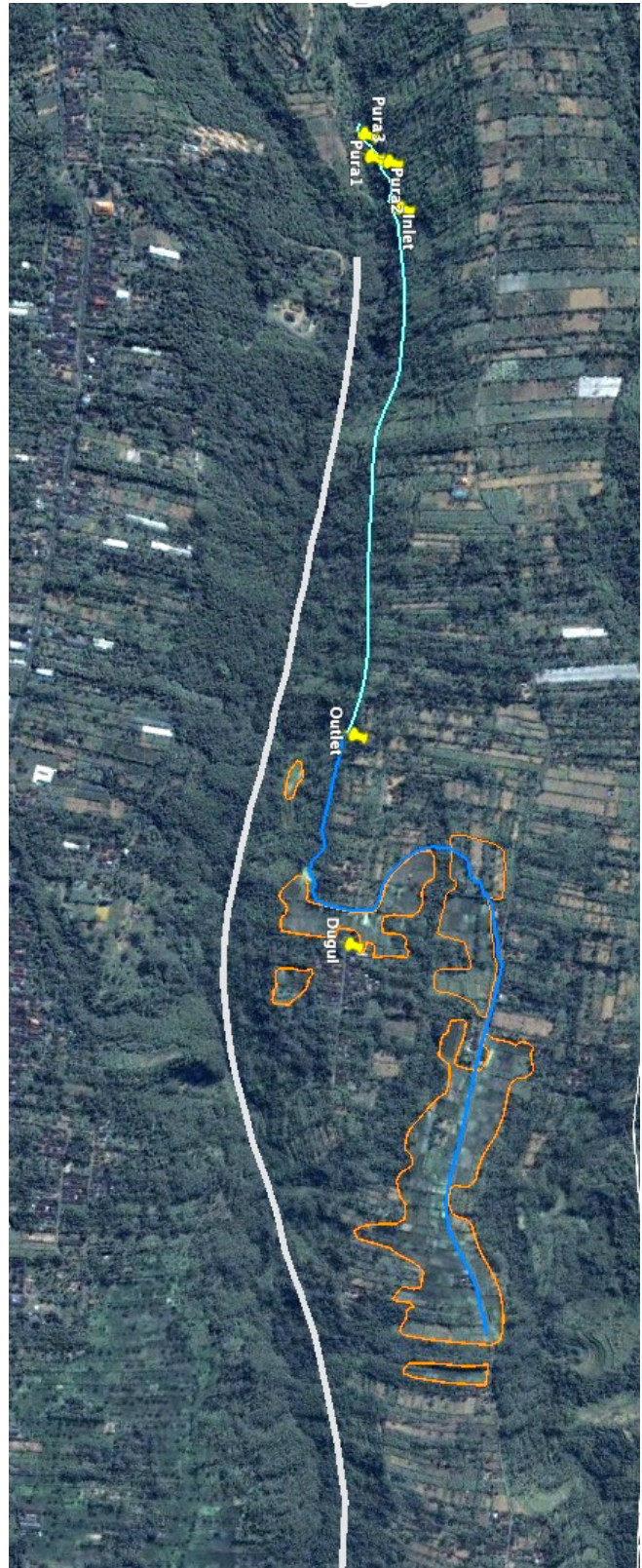
Selain memiliki peran penting sebagai titik pusat peradaban kuno Bali, Kaldera Batur juga memiliki peran signifikan dalam terciptanya sistem persawahan bertingkat di Bali.

Letusan maha dahsyat pada sekitar 30.000 dan 20.000 tahun yang lalu tidak hanya menciptakan sebuah kaldera yang masif, tetapi juga menatah ulang wajah permukaan Pulau Bali, menjadi dataran yang berbukit-bukit curam dan sungai-sungai sempit dengan arus deras dan berdinding tebing terjal.

Kondisi alam seperti inilah yang kemudian “memaksa” para warganya untuk beradaptasi dengan menciptakan bentang sawah yang berundag-undag. Termasuk, sistem irigasi yang mampu membangun terowongan (aungan) menembus bukit serta menaikkan air dari ketinggian yang berbeda.

Adaptasi ini membutuhkan sumber daya manusia yang besar serta kemampuan berorganisasi yang canggih. Adaptasi inilah yang kemudian melahirkan subak, organisasi tradisional pengairan sawah yang selama ribuan tahun tidak hanya menjamin keberlangsungan pertanian di Bali tetapi juga menjadi mata air bagi terciptanya salah satu sistem kebudayaan paling estetik di dunia.

Temuan itu ada di Banjar Tangkup, yang terletak di Kecamatan



Payangan, Kabupaten Gianyar, Bali. Sistem pemanfaatan air yang ada di Subak Banjar Tangkup ini menjadi banjar yang teraliri dari mata air Perehan. Mata air ini berada seberang sungai, juga dimanfaatkan oleh masyarakat di Banjar Tegalsuci.

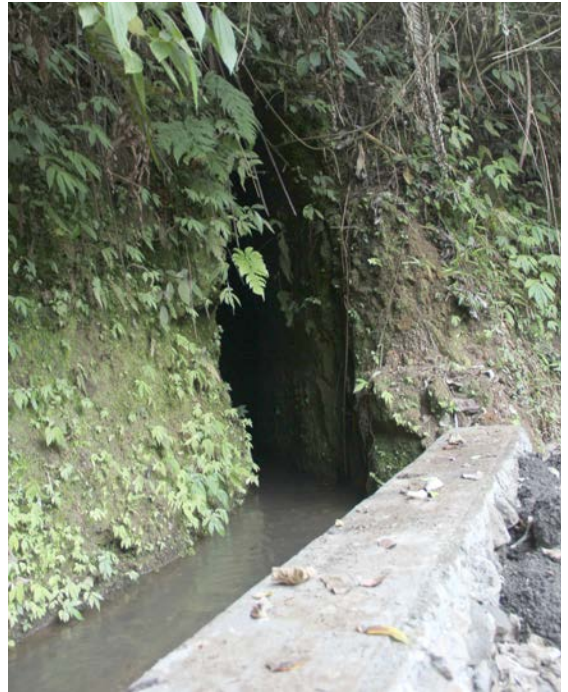
Mata air Perehan, terletak sekitar 8 km dari bibir Kaldera Batur. Air keluar di tebing lembah, tepat di batas perlapisan antara endapan Iginimbrite Ubud dan endapan Ignimbrite Gunung Kawi.

Banjar ini menjadi batas antara area sabuk abian (tegalan) yang ditanami jeruk dan kopi di sisi utara, dan subak (basah, sawah) dengan tanaman padi di sisi selatan. Keduanya sisi di batasi oleh selokan yang mengalirkan air dari mata air Perehan.

Selain itu, posisi mata air Perehan yang ada di dasar lembah, di bawah Banjar Perehan yang ada di punggung bukit. Air dari mata air Perehan mengalir ke bawah menuju Tukad Apuh, yang dalam dan berdingding curam.

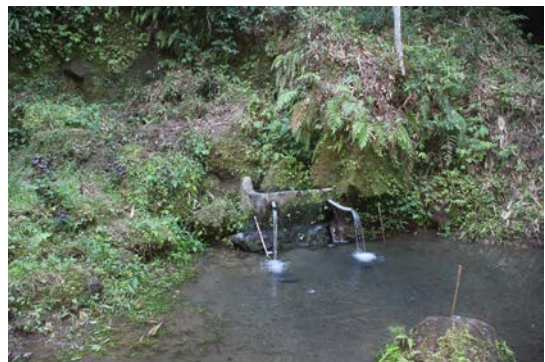
Jarak dari mata air Perehan ke Banjar Tangkup sekitar 1 km. Untuk dapat dimanfaatkan oleh masyarakat, mereka membuat terowongan air dari mata air Perehan ini agar mengalirkan air sampai ke Banjar Tangkup. Panjang terowongan itu sekitar 1 km. Terowongan air ini diperlukan agar air tetap dalam ketinggian dan mengikuti punggung bukit. Sebab..., kalau tidak ada terowongan air, maka air akan meluncur ke Tukad Apuh yang posisi ketinggiannya berada di lereng dalam di bawah Banjar Tangkup. Tanpa terowongan, tidak ada air yang tersedia.

Volume air yang dialirkan melalui terowongan ini tidak terlalu besar dan di manfaatkan untuk mengairi persawahan bagi sekitar 54 kepala keluarga. Air ini menjadikan penduduk dapat menanam padi, sumber makanan pokok sehari-hari.





Hutan di Kintamani



Mata Air Perehan

Berjalan menyusuri sebagian Pulau Bali dari tepian Kaldera Batur menurun sampai Pantai Sanur, teras Kota Denpasar ini seperti mengikuti perjalanan air itu sendiri. Bagaimanapun pula, air memang datang dari ketinggian. Lingkungan Kaldera Batur dan sekitarnya seolah menjadi wilayah tangkapan air yang penting bagi semua wilayah yang lebih ke dataran di bawah, seperti Gianyar dan Denpasar. Titik titik air hujan oleh keberadaan pepohonan hutan yang rapat di ketinggian di atas 700 mdpl terus meresap ke tanah. Karena tanah di zona itu porus, kare-

nanya mudah menyerap air yang jatuh di permukaannya.

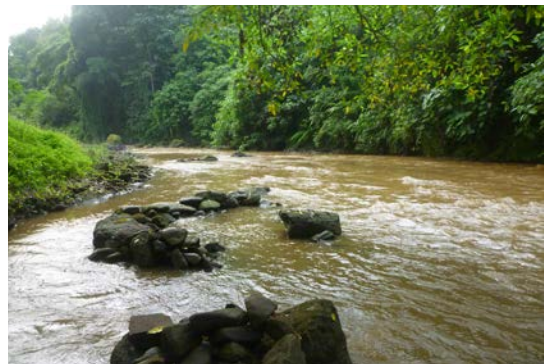
Air itu akan terkumpul dan muncul kembali menjadi mata air pada jarak yang kurang lebih sama dari Kaldera Batur, yaitu sekitar 7 km. Air itu akan menuju ke sungai-sungai dan mengalir sampai ke dataran rendah. Lebih dari jarak 7 km mulai ditemui area persawahan. Dan, air sudah mulai berangsur melimpah. Sepanjang 7 km, area kering yang mengandalkan tadah hujan dan biasanya didapati kebun-kebun kopi dan jeruk. Bagi orang Bali, untuk menjadikan sawah, air di

SKETSA BASAH KERING

area pertanian basah



Sawah di Tegalsuci



Tukad Petanu

kelola mulai dari hulunya. Begitu ada mata air yang sekiranya mencukupi, dari situlah pengelolaan yang terencana dimulai.

Ada di dataran rendah Gianyar, Klungkung dan Denpasar, menemukan sungai-sungai dengan air yang melimpah seperti di Tukad Petanu. Namun demikian, wilayah ini berada di pertengahan dengan ketinggian sekitar 500 mdpl, belum ada banyak ditemui tanah dataran yang luas. Kondisinya adalah area punggung dengan lembah yang curam. Pada level ini muncul 'kejeniusan' lokal, yaitu mempertahankan level air tetap tinggi se-

hingga bisa tetap dialirkan melalui wilayah punggung untuk kemudian mengairi persawahan yang ada di lerengnya. Disini konsep "Aungan" atau terowongan air lahir (baca Aungan 1 KM). Terowongan yang menjaga dan membawa air tetap berada di ketinggian.

Jika tanpa aungan, area persawahan akan mulai muncul pada jarak 15-20 km dari Kaldera Batur, karena air mulai berlimpah. Dan, alam membentuk Bali menjadi lengkap dengan kekayaan "local wisdom" untuk bijak mengelola bumi.



Tebing-Tebing Agraris

Konsep terasering ini terus berkembang. Tebing curam merupakan ciri dari sungai-sungai di Bali, khususnya di sebelah selatan Batur, Buyan, dan Bratan. Karena terlalu curam dan penduduknya berkarakter agraris, maka muncul “terasering” untuk mensiasati agar dapat bercocok tanam di lereng curam.

Padi merupakan bahan makan pokok bagi penduduk Bali. Dan teknik terasering (sawah berundak-undak) dipakai agar sawah dapat diterapkan di wilayah yang memiliki kelerengan curam.

Di beberapa wilayah lain teknik terasering ini juga digunakan di daerah (batuan) karst, dengan lapisan tanah sangat tipis. Penerapan teknik sawah bertingkat ini agar tanah tidak “lari”, sehingga tetap dapat ditanami.

Tebing curam di sungai-sungai ini menunjukkan dua hal, yaitu pertama, tebing tidak mudah menjadi rata yang berarti ada soliditas yang baik, sehingga tidak mudah runtuh sebagaimana terjadi pada lapisan tanah (soil). Pada hal kedua, tebing mudah tergerus air (ikatan antar butir mudah lepas oleh pengaruh air.





KOPI



JERUK

Kintamani

Ketika sedikit ada air atau harus menampung hujan, lahan tetap dapat menjadi kebun yang produktif. Lahan dalam radius 7 km dari Kaldera Batur, merupakan lahan kering. Justru warga setempat menjadikannya sebagai perkebunan jeruk dan kopi. Dan, keduanya merupakan bagian dari komoditi andalan Pulau Bali, jeruk dan kopi Kintamani. Keduanya memiliki rasa yang khas dan sepat untuk tetap dipertahankan.

Jeruk Kintamani ini manis sedang, tetapi segar. Apalagi jika Anda berkesempatan singgah dan memetikinya sendiri di kebun-kebun warga setempat. Dan, berkembang adanya perkebunan jeruk yang disela-selanya juga terdapat tanaman kopi. Kopi arabika Kintamani menjadi komoditas unggulan. Saat ini sekeliling Kaldera Batur merupakan lahan perkebunan subur untuk kopi dan jeruk.

Pada tahun 2008, kopi Kintamani mendapatkan sertifikat indikasi geografis (IG). Berdasarkan data Dinas Perkebunan Provinsi Bali, potensi kopi bubuk arabika dan robusta di Pulau Bali mencapai 13.800 ton per tahun. Luas kebun kopi arabika dan robusta di Bali mencapai 36.538 hektar yang tersebar antara lain di Kintamani (Bangli), Pupuan (Tabanan), Petang (Badung), dan Sukasada (Buleleng). Rata-rata produktivitas kopi Bali tercatat sekitar 728 kg per hektar setiap tahun dengan masa panen pada Mei hingga September.

Pada masa jayanya, tahun 1990, kopi menjadi unggulan ekspor hasil perkebunan dari Bali. Volume ekspor tahun itu mencapai 6.100 ton atau 92 persen dari total ekspor hasil perkebunan Bali, seperti ke Jepang, Australia, Amerika, Eropa. Sayangnya, kontribusi kopi makin merosot dari tahun ke tahun. Tahun 2005 ekspor tinggal 3.500 ton, bahkan 2010 produksinya hanya 3.484 ton. Semoga, berkembangnya gaya hidup minum kopi dapat membangkitkan produksi kopi Kintamani.

Tak hanya panen kopi. Warga Kintam-

ai juga panen jeruk siam sekitar bulan Juli hingga September. Pemandangan berwisata sepanjang Kintamani menjadi lengkap karena Gunung Batur dengan biru air Danau Batur menjadi semakin menyenangkan adanya panen jeruk siam ini dan kopi.

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Bangli, produksi jeruk tahun 2011 hanya 98.742 ton atau turun dibandingkan tahun 2009 yang tercatat 161.488 ton. Namun, produksi jeruk kintamani masih mendominasi sekitar 92,99 persen produksi total jeruk di Bali.

Selain kopi, jeruk siam Kintamani juga andalan Kabupaten Bangli. Sektor perkebunan ini menjadikan motor penggerak ekonomi dan tidak menggantungkan pada sektor pariwisata. PAD Bangli terus meningkat dari tahun 2007 hingga 2011, mulai Rp 9,7 miliar menjadi Rp 22 miliar.





*PESONA
BATUR*





PENDAKIAN BATUR



Gunung juga menjadi daya tarik pendakian para wisatawan maupun warga. Gunung Batur, obyek favorit para pendaki karena terdapat beberapa alternatif jalur menuju puncaknya. Para pendaki dapat mendaki melalui Pura Jati (2-2,5 jam ke kawah I, hanya saja tengah perjalanan itu ke kanan bisa menuju kawah III dan Pura Bukit Mentik (kawah III, kawah aktif, 1,5 jam, untuk kepentingan pendidikan) cirikhas melihat aliran-aliran lava. Kerucut “cinder cone” kerikil dan pasir tanpa batuan. Biasanya untuk seluncuran motocross, serta dari Toyabungkah, lebih singkat tetapi lebih curam (kawah I). Turis asing biasanya Pura Jati. Kawah sunrise harus hati-hati karena dindingnya curam.



Photo 1 by Adli Wahid on Unsplash

Photo 2 Badan Geologi

Photo 3 Courtesy www.intrepidtravel.com



Pesona Tiga Gunung

Photo by Dan the Drone on Unsplash

Pesona pagi, ketika cuaca cerah, siluet tiga gunung nampak dari Penelokan. Gunung Agung terlihat paling tinggi. Nah, keberadaan Gunung Agung populer dalam cerita legenda. Salah satu ceritanya adalah legenda Manik Angkeran. Manik Angkeran, anak dari Brahmana Kerajaan Daha, bernama Sidi Mantra. Anak Sidi Mantra ini suka berjudi dan suatu ketika terlilit hutang. Sang ayah bersedia membantu anaknya dan mendapatkan pawisik (bisikan gaib). Pawisik itu meminta Sidi Mantra pergi ke kawah Gunung Agung tempat harta karun dan dijaga oleh Naga Besukih. Ia pun pergi ke puncak kawah Gunung Agung dan berdoa. Muncul, lah, seekor naga raksasa.

Naga bersedia membantu dan memberikan emas serta intan yang keluar dari sisiknya kepada Sidi Mantra. Hutang anaknya lunas. Sayangnya, Manik Angkeran serakah dan tetap tak bisa lepas dari berjudi. Harta itu pun

habis. Sang ayah menolak untuk mencarikannya harta itu lagi.

Singkat cerita Manik Angkeran berangkat sendiri dan pergi ke kawah sendiri. Ia terpesona dengan kegagahan Naga Besukih. Ia pun memotong ekor naga tanpa permissi dan membuat Naga Besukih murka. Saat lari, Naga menjilat jejak Manik Angkeran sehingga menjadi abu, seketika. Manik Angkeran mati.

Sidi Mantra sedih dan meminta maaf kepada Naga Besukih serta meminta anaknya dihidupkan lagi. Naga mengabulkan tetapi dengan syarat mereka tak bisa berkumpul bersama. Sekejap anaknya hidup lagi, tetapi lenyap. Jejaknya Manik Angkeran menjadi laut dan garis batas dari goresan di tanah sebagai batas pemisah keduanya menjadi Selat Bali yang memisahkan Pulau Jawa dan Pulau Bali.



BERKAH DANAU BATUR

Puluhan keramba berisi ikan nila dibudidayakan masyarakat setempat di Danau Batur, Kecamatan Kintamani, Kabupaten Bangli, Bali. Ikan nila dari Danau Batur ini terkenal dan dipasok ke pasar tradisional dan restoran modern seperti di Denpasar dan Badung.

Keindahan alam Gunung Batur, Kecamatan Kintamani, Kabupaten Bangli, Bali, dengan danau yang mengelilinginya benar-benar mengingatkan Tuhan itu Maha Besar. Nelayan mendayung sampan diselingi burung-burung yang beterbangan di pohon sekitar danau, sungguh serasi dan memesona...

Rangkaian kotak-kotak keramba apung yang diam di perairan dan warga setempat yang rajin merawat tanaman bawang dan cabai melengkapi ketenangan alam Danau Batur. Ketika suasana berganti petang, dingin mulai menyengat kulit.

Dinginnya malam itu tidak menghalangi ibu-ibu ke pasar menjual hasil panen sayuran mereka. Dini hari, mereka pun bekerja keras merawat tanaman dan kembali memberi pakan ikan-ikan nila di danau. Perikanan dan pertanian berjalan seiring

menabur kesejahteraan bagi masyarakat sekitar Kaldera Batur.

Seperti masyarakat Desa Buahman, misalnya, sekitar 80 persen dari 500 kepala keluarga sekitar danau mengandalkan hasil perikanan, baik tradisional dengan menebar jaringnya maupun nelayan modern yang menggunakan teknik budidaya keramba. Puluhan keramba menjadi tumpuan warga.

Ribuan ton nila segar memasok sejumlah restoran, pemancingan, serta pasar modern dan tradisional tak hanya di Bangli, tetapi hingga di Denpasar dan Badung. Keramba-keramba ini dibangun mengapung di sekitar danau dengan ukuran, antara lain, 3 meter x 3 meter dan 3 meter x 4 meter. Benih-benihnya datang dari Balai Benih Ikan (BBI) Sidembunut Bangli atau didatangkan dari Pulau Jawa. Soal pakan, mereka mengandalkan persediaan dari desa tetangganya,

Songan.

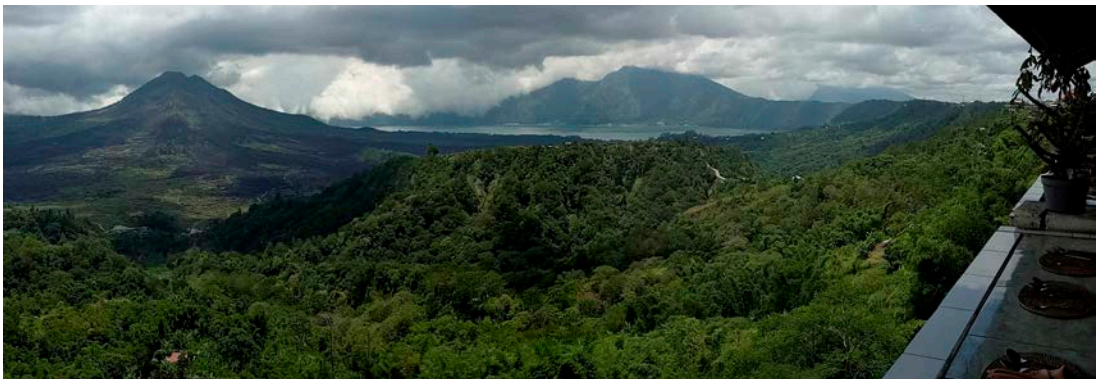
Belakangan, mereka kewalahan dengan permintaan pasar. Bagaimanapun, Desa Buahman memang sudah terkenal dengan ikan nila. Sejumlah wisatawan, baik asing maupun domestik, tak segan antri di musim liburan untuk dapat mencicipi masakan khas Batur, gorengan dan bakaran ikan nila segar. Rasanya gurih, nikmat, dan tak berasa tanah. Rata-rata pendidikan di desanya lulusan sekolah menengah atas. Rumah-rumah terbangun baik dan layak dari hasil perikanan dan pertanian. Mereka bangga dengan kemajuan perikanan ini. Mereka pun belajar membangun manajemen agrowisata dan wisata wana sebagai bagian dari kawasan geopark dunia sejak tanggal 22 September 2012. Betapa perekonomian hidup berkat perikanan dan berkah Danau Batur.

Sebagian besar masyarakatnya hampir tak tertarik untuk berurbanisasi. Mereka merasa kecukupan dengan kehidupannya sebagai nelayan seperti saat ini. Dan, bersyukur...

Bahkan, desa mereka membuat awig-awig (aturan) terkait pelestarian alam dan menahan laju alih fungsi lahan. Lahan di bibir Danau Batur menjadi milik desa untuk kepentingan warga dan tak bisa diperjualbelikan hingga sewa-menyewa. Desa pun membagi tanah itu sebagai lahan pertanian sekitar 11 hektar untuk 132 kepala keluarga.

Sementara itu, warga dilarang keras menebang pohon. Jika terbukti ada yang merusak pohon, warga terkena hukuman dengan meminta maaf di pura desa sebagai hukuman sosial.

Potensi ikan nila tercatat 1.765 ton (jaring apung dan budidaya), ikan mas sekitar 37,6 ton, dan lele 0,3 ton pada tahun 2011 yang bersumber dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Bangli. Data lainnya menunjukkan dari potensi bawang merah tercatat 13.395 ton, cabai 4.229 ton, dan bawang putih 937 ton pada tahun 2011. Harapannya terus meningkat.



TRI HITA KARANA



*“Harmony among people
Harmony with nature or environment
Harmony with God”*

Tri Hita Karana, umumnya diterjemahkan sebagai “tiga sumber kebahagiaan” sebagai ajaran hidup yang melandasi tata pikir dan tata laksana manusia Bali. Kebahagiaan dan kesejahteraan akan tercapai saat manusia mampu menjaga harmonisnya dengan ketiga sumber itu. Yaitu : menjaga Parhyangan (spiritual dengan Tuhan, dewa, bhatara serta roh-roh sudi para leluhur), Pawongan (manusia), serta Palemahan (alam beserta isinya).

Parhyangan inilah yang membuat manusia Bali menjadi begitu setia pada pura dan ritual-ritual yang terkait dengan pura itu. Ngayah, melakukan berbagai kerja dan aktivitas suka rela dalam mempersiapkan ritual di pura, merupakan hal yang umum dilakukan manusia Bali dan menjadi salah satu penanda keseriusannya dalam menjaga hubungan harmonis di ranah Parhyangan. Pawongan merujuk kepada para manusia Bali. Upaya untuk menjaga relasi yang harmonis antara manusia Bali ini mewujudkan pada berbagai organisasi kemasyarakatan tradisional, seperti subak (organisasi petani), dadia dan soroh (keduanya organisasi berdasarkan hubungan darah), banjar dan desa pekraman (keduanya berdasarkan wilayah geografis).

Nilai-nilai dasar organisasi ini termaktub dalam semboyan tradisional “sagilik, saguluk, salunglung, sabayantaka” (bersatu, bersepakat, bersama-sama dalam sukacita maupun bahaya). Keberadaan organisasi-organisasi ini sangat penting bagi manusia Bali

baik dalam tataran filosofis maupun praksis. Pada tataran filosofis organisasi-organisasi tersebut memberikan manusia Bali kenyamanan identitas dan “sense of belonging”, perasaan bahwa mereka dimiliki oleh dan memiliki sebuah komunitas.

Pada tataran praktis, organisasi-organisasi ini menyediakan sumber daya manusia bagi pelaksanaan rangkaian ritual Bali yang rumit dan tidak akan mampu ditangani oleh satu keluarga saja. Palemahan merujuk kepada alam yang berada di sekeliling manusia Bali. Bentang alam ini berupa hutan, sungai, danau, gunung, lautan beserta segala kekuatan mereka yang tidak terlihat. Kekuatan alam yang tidak terlihat inilah yang disebut sebagai Bhuta Kala.

Sejumlah ritual besar Hindu Bali didedikasikan untuk menjaga hubungan harmonis dengan alam. Contohnya, ritual Segara Krtih, Wana Krtih dan Danu Krtih, guna menjaga keseimbangan laut, hutan dan danau. Sedangkan ritual besar regular, seperti Tawur Agung setiap satu tahun, Panca Wali Krama setiap sepuluh tahun dan Eka Dasa Rudra setiap seratus tahun, merupakan upaya untuk menjaga relasi harmonis dengan elemen serta kekuatan alam yang tidak terlihat.

Masyarakat Bali meyakini, ketika hubungan di antara Parhyangan, Pawongan, serta Palemahan tak seimbang atau tidak terjaga harmonisasinya, bencana alam, kekeringan, serangan hama, wabah penyakit hingga konflik antar manusia akan datang.

Pulau Seribu Pura

Bertamasya atau menjelajah Pulau Bali, hampir setiap jengkal yang Anda lewati terdapat bangunan pura, tempat bersembahyang umat Hindu Bali. Maka tak heran jika Bali mendapat sebutan Pulau Seribu Pura. Pura-pura tersebut dibedakan dalam lima kelompok besar: *Pura Kahyangan Jagat*, *Pura Dang Kahyangan*, *Pura Kahyangan Desa*, *Pura Kawitan*, serta *Pura Swagina*.





Pura Kahyangan Jagat merupakan pura utama yang menjadi pusat persembahyangan umat dan memiliki hubungan dengan ritual dengan seluruh pura di Bali. Pura Kahyangan Jagat adalah Pura Besakih (pura utama), Ulun Danu Batur, Lempuyang Luhur, Pura Luhur Batukaru, Pura Pucak Mangu, Pura Goa Lawah, Pura Uluwatu, Pura Pusering Jagat di Pejeng, Pura Kentel Gumi di Klungkung. Delapan pura dan satu pura utama ini konsepsi Padma Bhuana, dengan bunga lotus berkelopak delapan sesuai delapan arah mata angin.

Belakangan ini, sejumlah pura yang berada di luar Bali, seperti Pura Mandara Giri Semeru di Lumajang (Jawa Timur) dan Pura Jagatkertha Gunung Salak, Bogor (Jawa Barat), serta Pura Payogan Agung di Kutai (Kalimantan Selatan), juga diperlakukan sebagai Pura Kahyangan Jagat. Lalu, jenis Pura Dang Kahyangan dimaknai sebagai pura-pura yang di masa lalu pernah dikunjungi oleh orang suci Hindu. Beberapa dibangun demi mengenang kehadiran orang suci tersebut, seperti Pura Gunung Raung di Taro, yang pernah dikunjungi Danghyang Markandeya pada abad ke-8, Pura Silayukti, yang pernah menjadi pertapaan Mpu Kuturan, orang suci

yang bermukim di Bali pada abad ke-11.

Kahyangan Tiga atau Kahyangan Desa adalah jenis tiga pura yang menjadi tempat persembahyangan utama bagi warga desa pekraman tertentu. Setiap desa pekraman di Bali memiliki Kahyangan Tiga atau Kahyangan Desa nya masing-masing. Keberadaan Kahyangan Tiga atau Kahyangan Desa menjadi syarat utama dalam pendirian sebuah desa pekraman. Secara filosofis Kahyangan Tiga atau Kahyangan Desa merupakan tempat bagi orang Bali memahami siklus abadi semesta, yaitu penciptaan/kelahiran (Brahma), pemeliharaan kehidupan (Wisnu), serta kematian (Siwa).

Selain sebagai tempat memuja para dewa serta mengenang jasa orang-orang suci, orang Bali juga mendirikan pura-pura untuk mengenang para leluhurnya, Pura Kawitan (“wit” berarti asal, permulaan, mulai). Selanjutnya, jenis Pura Swagina ini bagian refleksi ikatan profesi umat. Termasuk jenis Pura Swagina, yaitu pura subak, pura ulunsuwi, pura bedugul dan pura uluncarik, yang merujuk kepada profesi petani. Pura melanting dan pabean, umumnya terdapat di pasar dan pelabuhan untuk profesi pedagang, atau Pura Pucak Rare Angon bagi para peternak.



Barong Landung



Denpasar dan Badung, dua kawasan yang pada masa modern menjadi dua wilayah terpenting di Bali, memiliki kaitan sangat erat dengan Batur dan Dewi Danu. Beberapa babad catatan semi historis tentang keluarga raja dan bangsawan Bali di masa lampau) menceritakan perjalanan Arya Tegeh Kori ke desa Songan di tepian Danau Batur.

Di sana ia bersemedi dan memohon petunjuk Dewi Danu. Sang Dewi muncul di hadapannya dan menyatakan bahwa Arya Tegeh Kori harus berangkat menuju ke sebuah daerah dan menjadi penguasa daerah tersebut. Daerah itulah yang kemudian dikenal sebagai Badung dan Arya Tegeh Kori adalah pendiri dinasti pertama raja-raja Badung.

Catatan babad juga menunjukkan bahwa Dewi Danu memberi anugrah yang sama kepada Kyai Notor Wandira, yang kemudian menurunkan keluarga Jambe dan Pemecutan. Kedua keluarga bangsawan inilah yang kemudian menjadi penguasa wilayah yang dikenal sebagai Kerajaan Denpasar.

Sampai saat ini keluarga-keluarga besar bangsawan di Badung dan Denpasar masih melanjutkan hubungan bakti leluhur mereka kepada Dewi Danu.

Ikatan kuat antara Badung dan Denpasar dengan Batur juga tampak pada keberadaan Barong Landung di berbagai pura di kedua wilayah tersebut. Barong Landung adalah

seperangkat boneka berukuran besar dengan karakter Raja Bali dan Putri Cina. Barong Landung ini memiliki peran dan fungsi sakral sebagai pelindung desa.

Asal-muasal Barong Landung ini dipaparkan dalam sebuah mitologi yang menempatkan Dewi Danu sebagai tokoh utama. Mitologi ini terkait kisah cinta segi tiga antara Raja Bali kuna Jayapangus, Putri Cina Kang Chi Wie dan Dewi Danu.

Istana Jayapangus terletak di Balingkang (Bali dan Kang?), sebuah desa di batas utara Kaldera Batur. Hingga saat ini di desa tersebut masih terdapat sebuah pura, Pura Dalem Balingkang, yang diyakini pada masa kuna adalah bagian dari keraton Jayapangus, dan pada masa kini kerap didatangi baik oleh warga Bali maupun Cina.

Jayapangus dan Kang Chi Wie dimusnahkan oleh Dewi Danu setelah Sang Dewi mengetahui bahwa ia bukan satu-satunya permaisuri Sang Raja. Rakyat Bali memohon kepada Dewi Danu agar raja mereka kembali dihidupkan. Sang Dewi akhirnya mengizinkan mereka untuk membuat Barong Landung sebagai perwujudan fisik dari Jayapangus dan Kang Chi Wie

Mitologi inilah yang dipercayai sebagai landasan terdapatnya tempat pemujaan warga Tionghoa di dalam areal Pura Ulun Danu Batur.

JEPUN BALI & ANJING KINTAMANI

Bunga Kamboja, bunga dari tanaman hias favorit masyarakat Bali. Tanaman ini, aslinya berasal dari Amerika Tengah. Kamboja populer di warga Bali dengan sebutan Jepun dan dapat dijumpai di halaman pura atau sebagian besar rumahwarga. Pada persembahyangan umat Hindu Bali, Jepun ini salah satu bunga yang digunakan sebagai pemercik air suci, sarana persembahan, serta hiasan alat ritual. Tentu saja, Jepun menjadi hiasan rambut penari, di hotel maupun pesta.

Pada teks tradisional mengenai fungsi tumbuhan dalam ritual dan pengobatan Bali, Taru Pramana, menyebutkan Jepun dapat dipakai sebagai obat. Batang, daun, serta getah tanaman Jepun bersifat panas dan akarnya bersifat netral (tidak panas serta tidak dingin). Ini berkaitan dengan sistem pengobatan tradisional Bali yang mengelompokkan penyakit menjadi tiga: penyakit bersifat panas, bersifat dingin, serta bersifat netral. Penyakit bersifat panas dapat diobati dengan bagian tanaman yang bersifat dingin. Demikian juga sebaliknya. Bunga Kamboja kering kini juga digunakan sebagai bahan wewangian dan dupa.





Mengawali “karirnya” sebagai anjing penjaga dan pemburu yang dipelihara masyarakat Sukawana, salah satu desa kuno di wilayah Kaldera Batur, Anjing Kintamani kini telah menjadi salah satu binatang peliharaan bernilai tinggi di Indonesia. Anjing Kintamani memiliki rambut bersusun dua dan memiliki ciri khas bulu Badong (bulu lebih panjang di sekeliling leher) serta bulu Gumba (bulu lebih panjang di bagian pundak). Cerita rakyat di seputaran Kintamani mengkaitkan keberadaan Anjing Kintamani dengan Kang Chi Wie, putri Cina yang menikah dengan Raja Jayapangus. Dinyatakan bahwa Anjing Kintamani adalah keturunan langsung dari anjing yang dibawa Sang Putri, Keberadaan Kintamani sebagai jalur perdagangan utama antara pelabuhan purba Julah di utara serta kota-kota utama kerajaan di Bali Tengah melahirkan pula perkiraan bahwa Anjing Kintamani adalah hasil persilangan antara

anjing lokal dengan anjing Chow Chow yang dibawa para pelaut Cina. Kenyataannya, telaaah genetik menunjukkan bahwa Anjing Kintamani memiliki sangat banyak kesamaan dengan anjing lokal Bali, jenis anjing yang umum dikenal sebagai “cicing kacang”. Secara genetik, Anjing Kintamani maupun “cicing kacang” memiliki hubungan persaudaraan yang lebih dekat dengan Anjing Dingo di Australia dibandingkan dengan anjing-anjing lokal Cina. Saat ini, upaya agar Anjing Kintamani diakui secara internasional sebagai rumpun asli sedang diperjuangkan di FCI (Federation Cynologique Internationale). Pemerintah Indonesia sendiri telah menetapkan Anjing Kintamani sebagai anjing rumpun asli Indonesia pada April 2014. Pemerintah Bangli juga telah memperluas kawasan pelestarian Anjing Kintamani hingga mencakup tiga desa: Sukawana, Pinggan dan Siakin.

Penjor dibuat sebagai persembahan kepada Hyang Betara Gunung Agung, tempat bersemayamnya para Dewa. Karena Gunung Agung dipercaya sebagai tempat berstananya Hyang Bethara Putra Jaya, putra dari Gunung Semeru. Maka penjor menjadi simbol syukur dan dipersembahkan kepada leluhur yang berstana di Gunung Agung. Perlambang ucap rasa terimakasih atas hasil bumi yang dianugerahkan-Nya. Dan, Gunung Agung merupakan pemberi kemakuran itu.

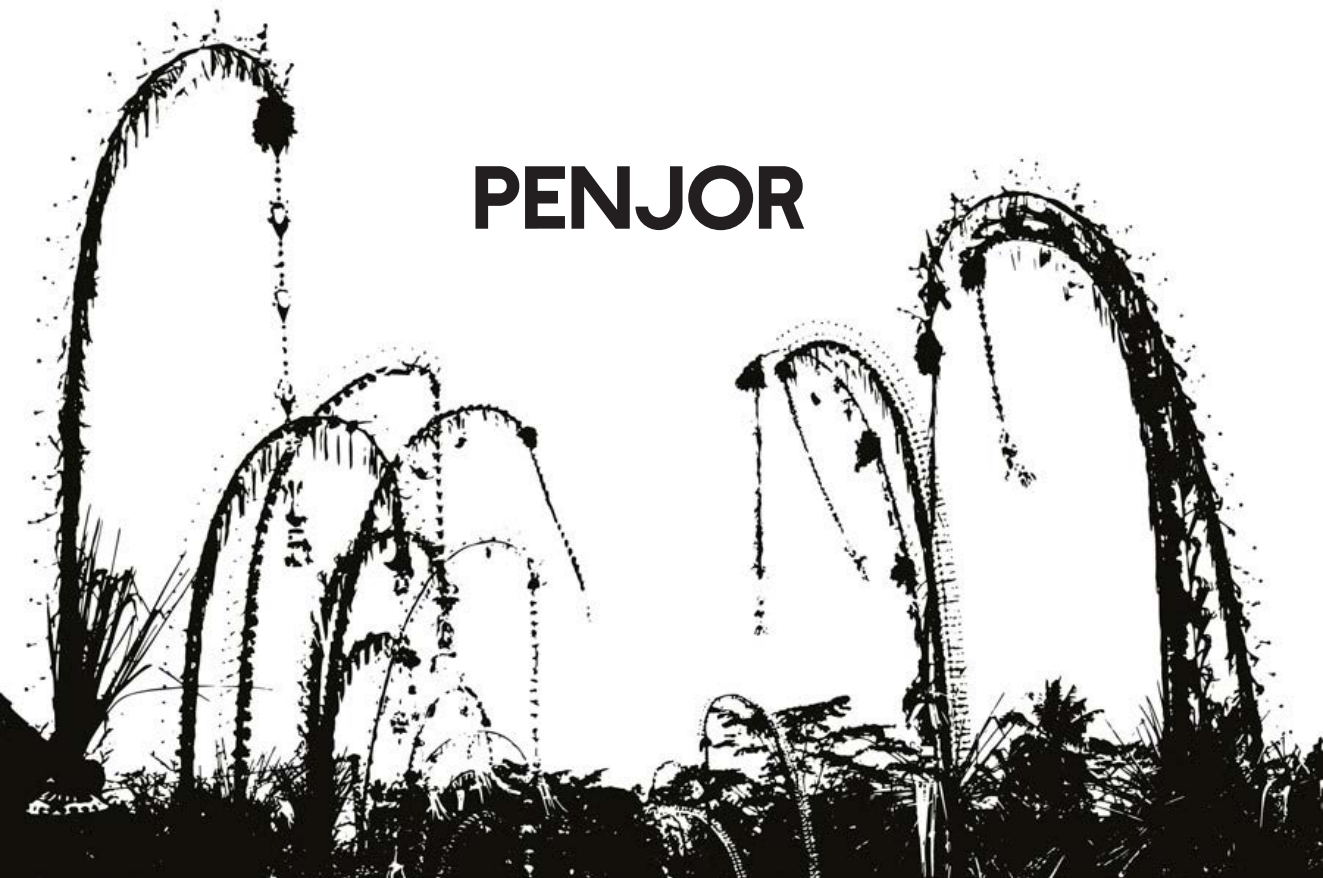
Mitologi dari penjor Galungan yang dihias sedemikian rupa, merupakan simbol naga. Sanggah yang ditempatkan pada bambu penjor memakai pelepah kelapa adalah simbol leher dan kepala Naga Taksaka. Gembrong yang dibuat dari janur atau ambu menggambarkan rambut naga. Sampian penjor dengan

porosannya, yang berbentuk melengkung adalah ekor Naga Basuki (simbol gunung).

Sementara hiasan penjor yang terdiri dari gantung-gantungan padi, ketela, jagung, kain, dan sebagainya, adalah simbol bulu Naga Ananta Bhoga sebagai tempat tumbuhnya sandang dan pangan. Fungsi penjor ini adalah sebagai ucapan terima kasih ke hadapan Ida Sang Hyang Widhi Wasa yang telah mengutus Sang Hyang Tri Murti untuk menolong umat manusia dari kelaparan dan bencana.

Namun perlu diketahui, penjor hari raya Galungan dan Kuningan ini berbeda dengan pejor yang dipakai hari lain. Penjor yang terpasang di hari selain Galungan dan Kuningan bukan dipersembahkan kepada Gunung Agung atau terpasang hanya sebagai keindahan saja.

PENJOR







Apendiks

TENTANG KALDERA

Semua berawal dari letusan dahsyat Gunung Krakatau di bulan Agustus tahun 1883 dan meninggalkan diameter kaldera 8 kilometer. Setelah letusan mereda, Pemerintah Hindia Belanda mengirim ahli geologinya, RDM Verbeek, untuk meneliti dan menganalisis bagaimana letusan besar itu terjadi. Melalui terbitan "Nature", majalah ilmiah pada 22 Oktober 1885, hasil kajian Verbeek dimuat berjudul "Krakatau". Tulisannya berhasil memenuhi harapan banyak pihak, terutama munculnya konsep collapse caldera (kaldera runtuh atau amblesan). Sejak itu, kajian kaldera dari ahli seluruh dunia pun berkembang pesat.

Waktu menunjukkan jam satu siang, tanggal 26 Agustus 1883. Krakatau yang berada di Selat Sunda, meletus. Gelegarnya seperti geluduk terdengar sampai di Bogor, Jawa Barat, Indonesia, yang berjarak sekitar 400 kilometer (km) dari Krakatau. Kolom letusan berwarna gelap membumbung setinggi 27 km.

Letusan berlanjut hingga keesokan harinya. Pukul 10 pagi. Abu vulkanik naik setinggi kira-kira 80 km. Kali ini dentumannya lebih dahsyat dan sampai lintas ke Benua Australia. Lalu, 30 menit kemudian, gelombang pasang setinggi 40 meter (m) menghempas serta menelan pantai-pantai di sepanjang Banten (Jawa Barat) dan Lampung (Sumatera). Tsunami datang. Sapuan gelombang pasang pun menelan korban meninggal sekitar 36.000 jiwa. Dan, letusan terus bertubi-tubi, meski tak lagi diiringi tsunami.

Besarnya letusan Krakatau di hari itu, Verbeek menghitung total material yang keluar adalah 18 km³. Sebanyak 95 per-sen dari total

material tersebut merupakan material magma. Sisanya atau 0,9 km³, berupa bahan-bahan hancuran bagian Pulau Rakata, Danan dan Perbuwatan. Artinya, hilangnya ketiga pulau (Rakata runtuh sebagian) itu bukan karena terlempar bersama kolom letusan, melainkan runtuh atau amblas. Setelah amblas kemudian kembali mendapat tekanan, lalu meletus dan hancuran mulai terlontar keluar.

Mengapa runtuh? Karena volume kerucut-kerucut dari pulau yang runtuh tersebut yang berada di atas permukaan laut saja ada terhitung sekitar lebih dari 25 km³. Maka, Verbeek yakin, kaldera Krakatau terbentuk karena proses amblasan. Klimaks proses amblasan berlangsung ketika terjadi gelombang pasang tertinggi di tanggal 27 Agustus 1883, pukul setengah sebelas pagi.

Proses amblasan atau runtuh dari kajian Verbeek dari letusan Krakatau menjadi pijakan betapa terjadinya kaldera menjadi penting bagi ilmu geologi. Betapa dapur magma yang besar itu memicu adanya pemahaman bagaimana proses magma di dalam bumi, khususnya konsentrasi-konsentrasi magma dalam jumlah yang sangat besar.

4 Jam Krakatau

Terdapat tiga pulau berimpitan. Pulau-pulau itu berderet dari ara tenggara ke arah barat laut. Pulau itu bernama, Pulau Rakata dan Pulau Danan dengan tinggi kerucut vulkanik 450 meter dari permukaan laut (mdpl), serta Pulau Perbuwatan dengan tinggi kerucut vulkanik 120 mdpl.

Lepas dari deretan tiga pulau tersebut, terdapat dua pulau lagi. Pulau Verlaten terletak

di sebelah barat laut dan Pulau Lang di timur laut.

Pulau-pulau ini semua ada sebelum adanya letusan dahsyat di area yang saat ini ditempati oleh Gunung Anak Krakatau. Sebelum tahun 1883, Pulau Rakata, Danan dan Perbuwatan adalah kerucut-kerucut vulkanik aktif. Ketika itu, batuan di Rakata tersusun dari produk magma basaltic. Pada tahun 1680, kerucut Perbuwatan terjadi letusan dengan komposisi andesitic (lebih asam dari yang di Rakata). Setelah itu, Gunung Krakatau tidak menunjukkan kegiatan selama 200 tahun hingga menjelang letusan besar di tahun 1883.

Krakatau memulai letusannya pada 20 Mei 1883. Puncak erupsi hebat tercatat pada 26-28 Agustus 2018.

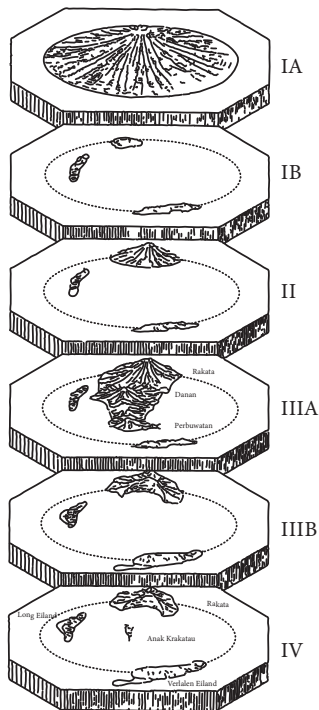
Pada bulan Mei 1883 itu, kerucut Perbuwatan ikut meletus dengan skala kecil. Saat diteliti, pada 27 Mei 1883, sebagian pulau-pulau tertutup abu dan terjadi vegetasi. Tidak terbakar tetapi tanaman di lingkungan sekitarnya mati atau layu.

Sementara, beberapa bagian di Pulau Lang

(timur laut) ditemui batu apung dan hancuran dari lava tua. Selanjutnya tidak ada aktivitas yang berarti sampai tanggal 19 Juni 1883.

Memasuki bulan Juli 1883, aktivitas vulkanik kembali stabil. Tak ada petunjuk bakal meletus besar di tanggal 26-28 Agustus 1883. Data visual yang diperoleh pada tanggal 11 Agustus 1883, hanya menunjukkan adanya pusat-pusat erupsi yang berderet mulai dari kerucut Perbuwatan ke kerucut Danan. Mari kita pelajari kejadian pembentukan kaldera Krakatau.

Kronologi letusan Krakatau ini menjadi menarik karena menjadi cikal bakal proses pembentukan kaldera terbaru di muka bumi di tahun 1883. Bisa jadi, Krakatau pernah meletus dan membentuk kaldera di tahun 416AD. Hanya saja, penjelasan untuk itu hampir minim informasi. Sedangkan kejadian pembentukan kaldera Krakatau pada tahun 1883, relatif sangat rinci. Secara umum diketahui bahwa letusan Krakatau terjadi pada tanggal 27 Agustus 1883. Namun, prosesnya sendiri berlangsung sejak Mei 1883.



- I.A. Awalnya, Krakatau dianggap sebuah kerucut gunungapi besar.
- I.B. Terjadi letusan besar yang membentuk kaldera (sekitar Abad ke-5). Dan dari proses pembentukan kaldera ini, tersisa beberapa tiga pulau, yaitu Verlatern, Lang dan Rakata.
- II. Di tempat Rakata berada, muncul kerucut gunungapi baru yang juga disebut Gunung Rakata, dengan susunan atas batuan basaltik.
- III.A. Di tengah-tengah cekungan kaldera tersebut, muncul dua kerucut gunungapi baru Perbuwatan dan Danan, yang semakin besar dan akhirnya, menyatu dengan Rakata disebut Krakatau. Tercatat dari Gunung Krakatau pernah terjadi letusan dengan komposisi andesitik pada tahun 1680.
- III.B. Pada tanggal 20 Mei 1883, sesudah tenang selama dua abad letusan besar terjadi yang mengalami puncaknya pada 26 dan 28 Agustus 1883. Yang mengalami puncaknya pada diperkirakan menghasilkan batu apung dan abu sebanyak 18 km³. Gunungapi Perbuwatan, Danan dan setengah dari Rakata hilang amblas. Meninggalkan sebuah cekungan baru dengan kedalaman 250 m dan diameter 70 km.
- IV. Proses amblasnya Krakatau tersebut menimbulkan gelombang pasang 20 meter menyapu pantai-pantai di Selat Sunda, Jawa bagian barat, dan mengakibatkan 36.417 orang tewas.
- V. Selanjutnya, munculah kerucut gunungapi baru yang disebut Anak Krakatau. Gunung Anak Krakatau lahir pada Bulan Desember 1927.

Kronologi Letusan Krakatau

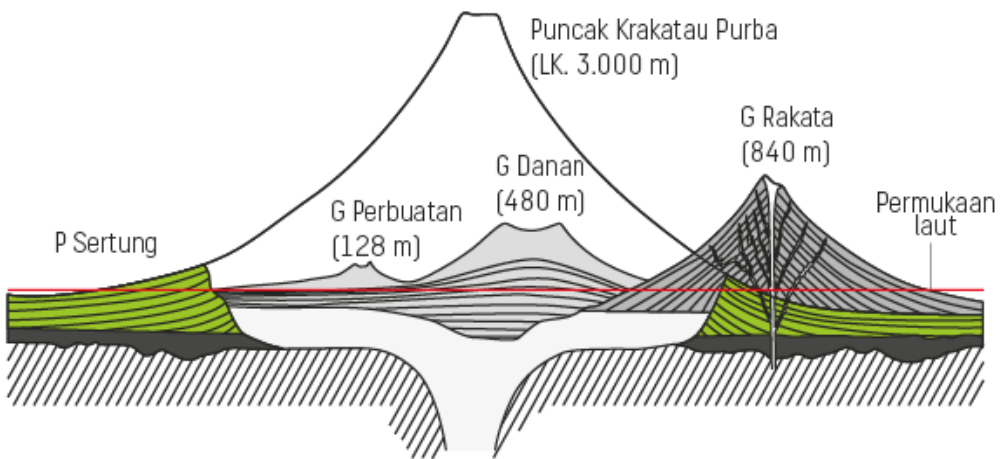
Mei 1883	Terjadi tremor/ getaran yang dirasakan di Anyer, Jakarta. Waktu itu belum ada seismograf. Beberapa kapal yang lewat di sekitar Krakatau, melihat asap dan uap keluar dari puncaknya.
20 Mei 1883	Mulai pukul 6-10 pagi, terjadi letusan dan hujan abu lebat. Suara letusan terdengar sampai Jakarta, hingga Bogor (Jawa Barat). Letusan berulang terjadi sampai dengan 22 Mei disertai petir serta suara dentuman keras. Batuapung teramati berserakan mengambang di laut pada 22 Mei. Sampai tanggal 24 Mei masih ada yang melapor terjadi hujan abu (artinya letusan masih terjadi).
27 Mei 1883	Gempa besar terasa di Pandeglang, Jawa Barat. Pemerintah Batavia (Jakarta sekarang) mengirim tim untuk cek ke Krakatau. Tim melaporkan bahwa terjadi letusan tiap 5-10 menit di Gunung Perbuwatan dengan kolom sekitar 3 km. Beberapa hari kemudian, situasi menjadi lebih tenang.
19 Juni 1883	Letusan dengan kolom letusan membumbung tinggi berwarna hitam terlihat dari Anyer. Pada kejadian ini tim menduga puncak Perbuwatan hilang dan hancur karena letusan
28 Juni 1883	Letusan besar kembali terlihat dari Anyer
09 Juli 1883	Kapal Quetta melintasi Selat Sunda dan melaporkan seperti mengarungi lautan batu apung.
01 Agustus 1883	Kapal Siam juga melaporkan mengarungi lautan batu apung.
11 Agustus 1883	Kapten Ferzenaar (Komandan Brigade Kartografi Banten) pergi ke Krakatau untuk memetakan peristiwa letusan itu. Dan dia pun menjadi orang terakhir yang menginjakkan kaki di Krakatau sebelum kejadian 27 Agustus 1883. Dilaporkan bahwa pusat letusan ada tiga, yaitu sepanjang celah Gunung Perbuwatan dan Gunung Danan. Gunung Rakata, Danan, dan Perbuwatan merupakan kerucut-kerucut gunungapi yang posisinya berderet di Krakatau. Dilaporkan juga oleh kapal yang lewat tanggal 12 Agustus, terdapat lobang aktif hanya beberapa jengkal dari permukaan laut. Ahli memperkirakan kejadian letusan kaldera pada 27 Agustus, dan letusan-letusan terus terjadi.
25 Agustus 1883	Hujan abu dan batu apung terjadi di Teluk Betun di malam hari.
26 Agustus 1883	Letusan besar berlangsung. Langit pun gelap sekitar jam 2 siang. Pada jam 5 sore, terjadi hujan batu apung (hangat) dengan ukuran lebih besar. Memang mulai jam 5 sore letusan semakin dahsyat. Semalaman, suara letusan terus menggelegar. Hujan abu tidak berhenti.
27 Agustus 1883	Letusan besar tercatat pada dini hari, pukul 2.38 Wib. Pukul 4-5 pagi, terjadi hujan abu basah dan gelombang udaranya terasa di Batavia, pukul 04.56 Wib. Letusannya dahsyatnya berlangsung empat kali, yaitu pukul 05.43 Wib, 08.20 Wib, 09.59 Wib, dan 10.52 Wib. Erupsi paling puncaknya, pukul 09.59 Wib dan memicu bencana tsunami dengan menghantam Caringin dan Merak, pukul 10.30 Wib. Tsunami menelan korban jiwa sekitar 10 ribu orang. Letusan semakin berkurang kekuatannya dan berhenti pada 28 Agustus, pagi.
17 Sept 1883 dan	Beberapa letusan yang lebih kecil masih terjadi hingga tanggal 10 Oktober.

Sumber: Simkin dan Fiske, 1983.

Tabel kronologi di atas menunjukkan, letusan yang membentuk kaldera dan menghasilkan ignimbrite, yang terjadi secara bersamaan. Banyak titik letusan dalam area luas sepanjang rekahan yang membelah Krakatau. Maka dapat disimpulkan, letusan-letusan gunungapi yang terjadinya dari hanya pada satu titik letusan dari kerucutnya, mempunyai kemungkinan kecil untuk membentuk kaldera.

Hal kedua yang dapat disarikan dari kronologi tersebut adalah proses runtuh (collapse) yang membentuk kaldera terjadi sangat singkat. Pembentukannya terekam dari jam 05.43 Wib sampai dengan jam 10.00 Wib atau sekitar empat jam. Letusan ini diikuti dengan tsunami.

Lalu, erupsi lanjutannya yang cukup besar juga yang terjadi pada jam 10.59 Wib. Hanya saja, erupsi susulan ini tidak disertai dengan tsunami. Artinya, letusan susulan tersebut terjadi setelah proses amblesan selesai.



(Atas) Sketsa ilustrasi Kaldera Krakatau. (Bawah) Situasi Pulau Rakata yang tersisa, sementara Gunung Danan dan Gunung Perbuwatan tidak nampak lagi karena ambles. Posisi antara Gunung Danan dan Gunung Perbuwatan saat ini ditempati oleh kerucut aktif Gunung Anak Krakatau.

Menimbun Peradaban

Bagi Indonesia, yang terletak di busur subduksi Sumatra-Jawa-Nusa Tenggara serta busur subduksi Sulawesi-Halmahera, keberadaan kaldera menjadi morfologi yang banyak ditemui di sepanjang pulau-pulau tersebut.

Pertanyaannya: Apakah kita siap menghadapi peristiwa sebesar letusan Krakatau seperti di tahun 1883?. Karenanya, kajian, pengetahuan dan mitigasi menjadi penting sebagai antisipasi jika terjadi letusan sedahsyat itu kedepannya.

Kaldera, secara teknis disebut sebagai kaldera runtuh (collapse caldera), merupakan sebuah struktur permukaan bumi yang penting bukan hanya sisi ilmiah kegeologian. Tidak hanya juga dari sisi ancaman bencana. Namun, kaldera runtuh tersebut memiliki potensi sumber daya alam luar biasa. Yakni, menjadi sumber potensi energi geothermal yang besar dan sering ber-

asosiasi dengan deposit mineral yang tentunya bernilai ekonomi.

Meskipun kejadian runtuh dahsyat sangat jarang terjadi dalam era sejarah manusia, rekaman geologi menunjukkan pembentukan kaldera menjadi salah satu kejadian yang paling katastrofik di muka bumi ini. Dan, peristiwanya berpengaruh besar pada iklim dan kehidupan manusia, seperti disarikan Geyer dan Marti (2008).

Lokasi dari aktivitas geothermal yang kuat sehingga merupakan daerah yang potensial untuk memenuhi kebutuhan listrik biasanya berada di wilayah kaldera. Tak hanya itu, *Cole et al, Calderas and caldera structures: a review (2005)*, menyarikan adanya lokasi kaldera juga sering menjadi tempat berlangsungnya proses mineralisasi. Selanjutnya, area itu memiliki potensial bagi pemenuhan kebutuhan bahan mineral/tambang.



Kaldera Santorini, Yunani

Ada beberapa contoh kejadian pembentukan kaldera telah menimbun peradaban yang sudah ada sebelumnya. Peradaban Minoan di Thera Yunani, misalnya, tertimbun letusan pembentuk kaldera Santorini. Lalu, kaldera Tambora tahun 1815, meskipun termasuk kaldera kecil, menimbun peradaban sekitarnya di Sumbawa Barat. Krakatau di tahun 1883 pun banyak menimbulkan korban jiwa karena tsunami (gelombang pasang) yang ditimbulkannya.

Vesuvius, letusan besar di tahun 79 telah menimbun Pompey dan Herculaneum tidak jauh dari Napoli. Dan, masih banyak lagi kejadian pembentukan kaldera yang tidak tercatat sejarah namun secara geologi terbukti telah menyebarkan endapan-endapan yang luas.

Terminologi kaldera dipakai sebagai petunjuk struktur morfologi vulkanik, yang pada umumnya besar dan terbentuk dari proses collapse atau subsidence tubuh gunung api. Bisa juga, kompleks gunungapi ke dalam bagian atas dapur magma yang terjadi pada saat atau sesaat sesudah aktivitas vulkanik (erupsi besar).

Letusan Gunung Krakatau di tahun 1883, memberikan gambaran penting proses menyemburkan fragment bubuk magma jauh hingga mencapai ketinggian udara dalam bentuk scoria, pasir dan abu. Hanya saja, material-material dari semburan tersebut tidak banyak ditemukan material padat seperti hancuran tubuh gunungapi sebelumnya (minim lithic). Hal ini menunjukkan terbentuknya kaldera Krakatau melalui proses amblesan tubuh gunungapi. Maknanya, yang bersumber dari referensi Cotton, *Volcano and Landscape Forms* (1944), tubuh gunungapi ambles secara utuh. Lalu, mengisi kekosongan yang terbentuk di bagian atas dari dapur magma karena material yang semula mengisi bagian tersebut terlempar keluar dalam letusan besar (*emptied-out*).

Sebenarnya memasuki zaman sekitar dekade 1920-an, terminologi kaldera ini masih menjadi perdebatan. Lalu apa yang diperdebatkan? Ahli geologi menilai perdebatan kala itu hanya terbentur permasalahan bahasa. Sederhana. Meski sederhana tetapi hal ini disayangkan. Ketika ahli-ahli asal Jerman, Belanda dan Jepang bertemu dan membahas kaldera bersama, mereka jarang menuliskan diskusinya dalam bahasa Inggris. Hal ini berdampak kepada wacana tentang kaldera tidak banyak menyebar ke negara-negara yang berbahasa Inggris.

Penggunaan terminologi kaldera lebih terdefinisi secara luas dan mulai terformulasikan setelah Howel William mengupas kaldera dalam bukunya "Calderas dan Their Origin" yang diterbitkan oleh University of California pada tahun 1941. Awal ketertarikan William pada kaldera dimulai sekitar tahun 1929. Ahli ini mengawalinya dengan mengunjungi Gunung Kilauea di Hawaii.

Perjalanan penelitiannya pun berlanjut ke kaldera Brokeoff di California. Penasarannya bertambah mengarahkannya datang ke kaldera Batur, Kintamani (Bali), Tengger di Probolinggo, Ijen di Banyuwangi (Jawa Timur), dan tentu juga pergi ke Krakatau.

Hasil penelitian ahli geologi di masa sebelumnya menginspirasi inspirasi dan mewarnai tulisannya. Terutama Verbeek (penulis "Krakatau"), Hans Reek (Santorini), Matsumoto (Jepang), dan tentu saja ahli geologi Hindia Belanda lain seperti Van Bemmelen (penulis "the Geology of Indonesia"), Van den Bosch dan Escher.

Saat mengunjungi Pulau Jawa, William mendapat bimbingan dari tiga ahli geologi RW Van Bemmelen, Neumann van Padang dan Ch E Stehn. Ketiganya berkantor bersama dan gedungnya sekarang menjadi "Museum Geologi" Bandung (Jawa Barat).

Permasalahan terminologi kaldera ini dalam perdebatannya terfokus pada : apakah

kaldera adalah produk langsung letusan gunungapi atau hasil dari proses amblesan? Bagi Van Bemmelen dan Neumann van Padang, kedua ahli ini tegas menggunakan terminologi kaldera untuk morfologi depresi yang diakibatkan oleh amblesan (runtuhan atap dapur magma).

Berdasarkan proses, Van Bemmelen membedakan depresi (morfologi cerukan) dari letusan gunungapi menjadi dua, yaitu :

1. Depresi karena puncak gunung hancur dan terlontar oleh proses letusan itu sendiri. Proses ini menghasilkan kawah.
2. Depresi karena amblesan yang terjadi karena letusan besar mengosongkan sebagian isi dapur magma sehingga terjadi amblesan atap dapur magma. Proses ini menghasilkan kaldera.

Ada ahli lain, Walker, menyebut apabila letusan sangat besar dan puncak gunung hancur terlontar sehingga membentuk kawah yang sangat besar lebih dari 1 mil (>1 mil)

dan lebih dari 1,6 km (>1,6 km). Itulah kaldera. Sudut pandang ini berdasar pada ukuran. Hanya saja pemahaman kualitatif, kaldera adalah kawah yang besar. Tentunya batasan ukuran besar untuk membedakan kawah dan kaldera terletak pada ukuran diameternya lebih dari 1,6 km.

Di era modern saat ini, penggunaan istilah kaldera lebih banyak dipakai untuk menyebut kaldera amblesan (collapse caldera). Mengapa? Karena jarang ada letusan sangat besar yang langsung dapat membentuk kawah lebih dari 1,6 km.

Bentuk kaldera amblesan ini pada awalnya sering disebut sebagai kaldera tipe Krakatau. Berjalannya waktu dan berkembangnya pengetahuan tentang kaldera, serta semakin populer orang dengan apa itu kaldera, penggunaan istilah kaldera tipe Krakatau pun semakin jarang dipakai. Selanjutnya, kembali memakai istilah kaldera amblesan.



Peristiwa Beberapa Kaldera Dunia

Kaldera	Ukuran km	Volume yg diletuskan km ³	Waktu terjadi
Tambora	6	>33	1815
Krakatau	8	12.5	1883, 416
Samalas	6	>40	1257
Taupo	35	35	232
Vesuvius	3.5	3	79
Santorini	10x7	60	1600 SM
Batur	12x10	20	29 ribu thn lalu
Masurai	7	14	33 ribu thn lalu
Maninjau	20x8	~150	52 ribu thn lalu
Toba	100x30	>2000	74 ribu thn lalu

Sumber : berbagai sumber diolah Badan Geologi.

Sebaran dan Aktivitas

Di atas bumi, berdasarkan data sementara yang diketahui, ahli mencatat sebanyak 283 kaldera. Indonesia memiliki 19 kaldera.

Ada beberapa kaldera yang belum diketahui dan belum masuk daftar. Salah satunya, di Indonesia, kaldera Masurai, berlokasi di Jambi. Namun, para ahli Badan Geologi Kementerian ESDM berupaya mengupas misteri kaldera Masurai yang terkaburkan dengan adanya pembentukan Pulau Sumatra dalam program yang sebenarnya untuk mengkaji geodinamika Sumatra dan cekungan-cekungan Pra-Tersierinya. Hal ini menjadi daya tarik para ahli Badan Geologi untuk mendalaminya. Yang tentunya diharapkan dapat menjadi referensi penting bagi dunia maupun masyarakat Sumatera. Tentunya, pembahasan kaldera Masurai terdapat dalam topik tersendiri.

Kaldera Toba dikenal sebagai kaldera berukuran terluas yang ada di dunia, terbentuk kurang dari 100.000 tahun lalu. Ukurannya, 100 km x 30 km dengan bentuk lonjong. Di New Zealand terdapat kaldera Taupo yang

diameternya sekitar 35 km. Amerika Serikat juga terdapat adanya kaldera Yellowstone dengan diameter 60 km. Kawasan Yellowstone populer dengan Yellowstone National Park.

Kembali ke aktivitas kaldera, keberadaannya tidak bisa dipisahkan dari proses-proses vulkanik. Karena letaknya yang berada di busur-busur vulkanik yang ada di bumi. Karenanya, sistem subkaldera bersifat dinamis dalam keseimbangan antara tenang dan aktif. Keaktifannya tidak membutuhkan pemicu yang besar, termasuk proses-proses geologi seperti gempa bumi, intrusi magma.

Pada umumnya keaktifan kaldera tidak berujung pada letusan. Karena, keaktifan merupakan dinamika normal dari kaldera itu sendiri.

Ukuran dan bentuk kaldera bervariasi. Beberapa kaldera berbentuk relatif lingkaran dan mempunyai sejarah pembentukan yang simple (sekali collapse). Tetapi beberapa

kaldera berbentuk lebih persegi atau lonjong. Struktur tektonik skala besar mempengaruhi bentuk secara tidak langsung. Begitu pula berperan di dalam tahap perkembangan bentuk dan volume dapur magma.

Newhall dan Dzurisin, dalam ulasannya *Historical Unrest at Large Caldera of the World* (1988), beberapa kasus keaktifan kaldera memberikan kekawatiran karena berhubungan dengan letusan-letusan besar

yang tentunya dapat mengakibatkan ribuan korban manusia, khususnya di wilayah negara yang padat penduduk. Dalam beberapa kasus, reaktivasi kaldera (meski tidak selalu berarti terjadi letusan besar) memberikan ketidakpastian di masyarakat dan pemangku kepentingan, bagaimana merespon keaktifan kaldera secara tepat.

Proses Pembentukan

Secara keilmuan, proses pembentukan kaldera melalui beberapa tahap. Tahapan ini berlaku pada kaldera-kaldera bermagma asam, andesitic-dacitic, dasitic ataupun rhyolitic, termasuk tahapan pembentukan kaldera di Indonesia. Proses tersebut berdasarkan Cole et al, *Calderas and Caldera Structures: A Review*, 2005), sebagai berikut :

1. Sebelum terbentuk kaldera terdapat kompleks gunungapi dan terjadi pembungkungan (deformasi vertikal) yang signifikan dari keseluruhan tubuhnya. Tekanan magma yang sangat besar di seluruh bagian dapur magma menyebabkan deformasi tersebut.
2. Proses runtuh (collapse) terjadi karena adanya erupsi magma dalam skala besar dalam waktu yang relatif singkat. Volume magma yang diletuskan lebih dari 10 km³. Contohnya, kaldera di Mazama, volume diletuskan mencapai 59 km³. Jika tebal endapannya 100 m, maka luasnya dapat dibayangkan setara dengan sekitar 30x20 km. Angka itu termasuk volume yang besar diambil dari dapur magma. Proses erupsi besar-besaran tersebut terjadi baik di pipa magma sentralnya kemudian disusul dengan erupsi-erupsi yang terjadi di ring-nya. Runtuhan atap dapur magma pun terjadi. Jika disimulasikan, runtuh-

han tidak terjadi secara utuh serentak, melainkan dalam blok-blok bagian dari badan runtuh.

- Proses collapse atau runtuh badan atap dapur magma merupakan bagian terpenting dari proses pembentukan kaldera. Proses reruntuhannya sering di analogi kan dalam skala yang lebih kecil mirip dengan runtuh yang terjadi pada tambang bawah tanah. Kejadian runtuhnya itu sendiri dapat bersamaan ataupun bertahap. Jika bertahap biasanya dimulai dari bagian yang paling dekat dengan dapur magma, lalu, semakin mengikuti ke bagian yang lebih atas menuju ke permukaan.
3. Sesudah terjadinya runtuh, aktivitas vulkanik terjadi di lokasi-lokasi struktur geologi, seperti struktur patahan regional. Proses resurgence, yaitu terangkatnya kembali bagian tengah kaldera. Hal tersebut biasa terjadi hampir di semua kaldera. Resurgence ini dapat berupa proses yang pengangkatan serentak (Pulau Samosir), atau tersentral dalam wujud aktivitas vulkanik (kaldera Batur). Aktivitas baru muncul kemudian di lokasi tertentu sebagai pusat gunungapi baru, bisa di tengah kaldera, bisa juga di pinggir (ring) kaldera.

4. Karena ukurannya yang besar dan kompleks, proses hidrothermal terjadi dan mengarah pada pembentukan potensi geothermal. Meskipun demikian, hal itu tidak selalu diikuti dengan proses mineralisasi (pembentukan mineral/bahan tambang, seperti bahan logam) karena proses mineralisasi memerlukan waktu yg jauh lebih lama.
5. Bentuk dan struktur kaldera dipengaruhi oleh beberapa variabel seperti pola tektonik di area terjadinya kaldera, komposisi magma, geometri (bentuk) dapur magma, kedalaman dapur magma, ukuran volume erupsi (besarnya magma yang tercerabut dari dapur magma), proses collapse (tunggal atau multiple blocks; simetris atau asimetris) dan resurgence (proses terangkatnya kembali bagian yang runtuh)

Secara statistik, erupsi super besar dengan volume lebih dari 1.000 km³ yang memben-

tuk kaldera terjadi sekali dalam 50 ribu tahun. Hasil lain memberikan angka 14 kali dalam 1 juta tahun.

Letusan yang melontarkan material ber-volume lebih dari 1000 km³, tentunya, berlangsung berhari-hari. Meletus secara berhari-hari diperlukan tekanan dapur magma yang sangat tinggi sampai dengan selesainya erupsi super besar tersebut.

Kaldera bisa terbentuk di kompleks gunung-gapi atau gunung-gapi dengan diameter yang lebar. Artinya, gunung-gapi kerucut tunggal dengan ukuran diameter yang tidak terlalu lebar tidak dapat membentuk kaldera.

Semakin lebar dan rendah gunung-gapi dari permukaan air laut (semakin dekat ke dapur magma), semakin mudah terbentuk kaldera. Kaldera yang terbentuk tentunya akan lebih kecil ukurannya dari pada dapur magma yang ada di bawahnya. Semakin runcing ke rucut, maka erupsinya semakin kecil kemungkinannya membentuk kaldera.

$$|\Delta P_{(-)}| = \tau \frac{2H}{R}.$$

Model yang dikembangkan oleh Roche dan Druitt tahun 2001 yang menggambarkan salah satu proses amblesan kaldera model 'piston'. Diumpamakan bahwa bagian atas reservoir magma yang mengalami amblesan berbentuk silinder dengan radius 'R' dan tinggi silinder 'H'. Di bawah silinder tersebut terdapat 'underpressure' sebesar $|dP_{(-)}|$ yang sebanding dengan gaya gesek tepian silinder 's'. Persamaan ini berarti bahwa semakin kecil 'H' yaitu semakin dangkal reservoir magma, semakin mudah terbentuk kaldera. Demikian juga, semakin besar 'R' atau semakin lebar (besar) reservoir magma, semakin mudah ambles.

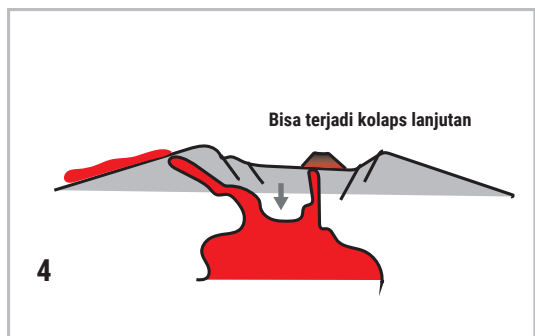
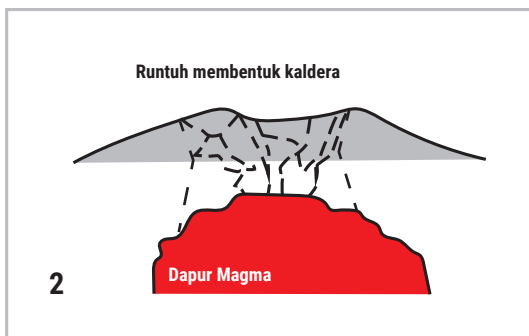
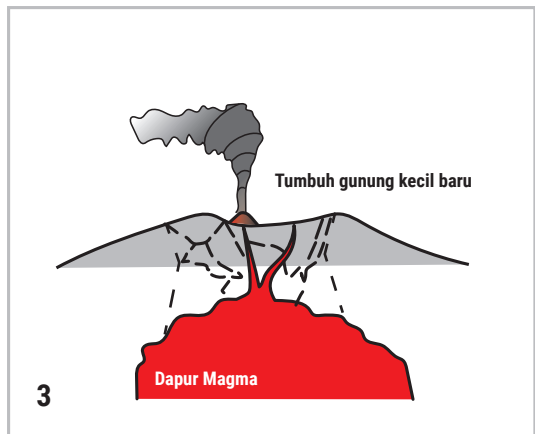
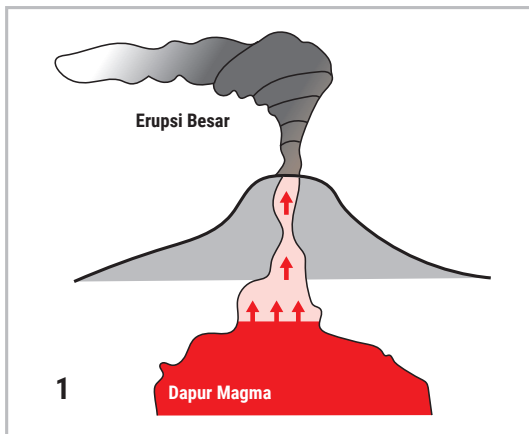
Pembentukan magma atau terjadinya magma sebenarnya berjalan dengan sangat pelan. Karenanya, proses untuk membangun dapur magma besar yang akhirnya melahirkan kaldera memerlukan waktu yang panjang dan diperkirakan minimal diperlukan waktu 100 ribu tahun.

Referensi dari Holohan, van Wyk de Vries, Troll (2007), area-area vital dengan struktur sesar mendatar, terdapat pengaruh besar struktur pada pembentukan kaldera,. Dalam proses pembentukan kaldera, terutama yang dikendalikan oleh struktur geologi, terdapat kegiatan tektonik pre-kaldera yang menyebabkan fragmentasi dari area yang terletak

di atas dapur magma dan selanjutnya diikuti dengan subsidence (amblesan)

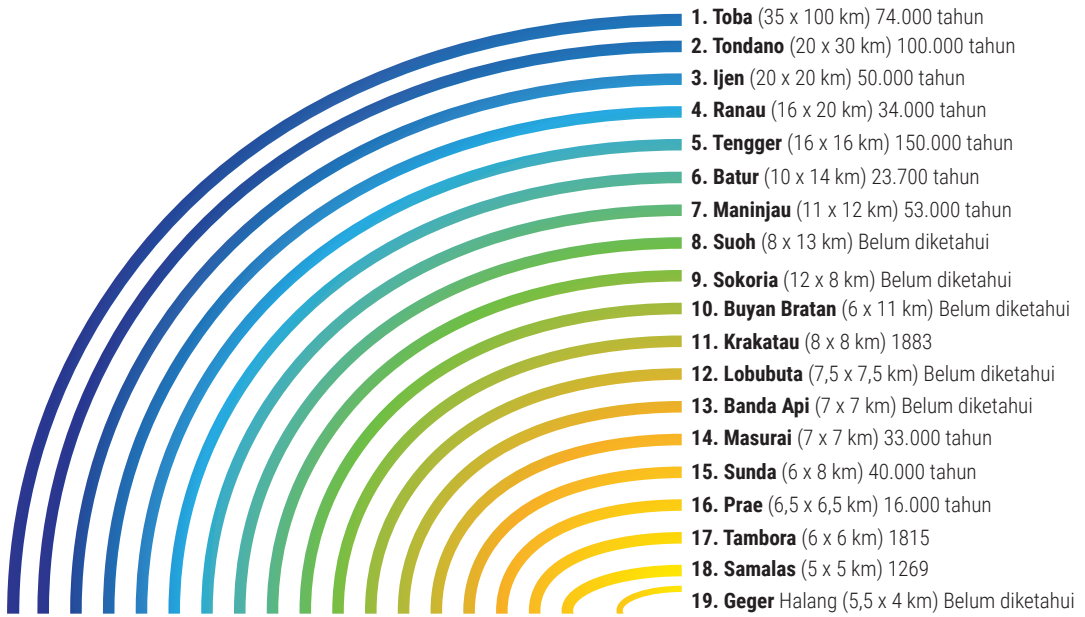
Analog model juga menunjukkan, runtuhannya yang terjadi dalam proses kaldera, bersifat outward (seperti mangkuk terbalik). Hal ini sesuai dengan referensi dari Kennedy, Stix, Vallance, Lavallee, Longpre (2004) dan Accella (2006).

Tahap pertama dalam proses kaldera adalah sagging yang menyertai outward collapse circular faulting (reverse fault). Pada tahap akhir terjadi normal fault yang kurang lebih vertikal (ring fault) atau bisa mendekati inward faulting.



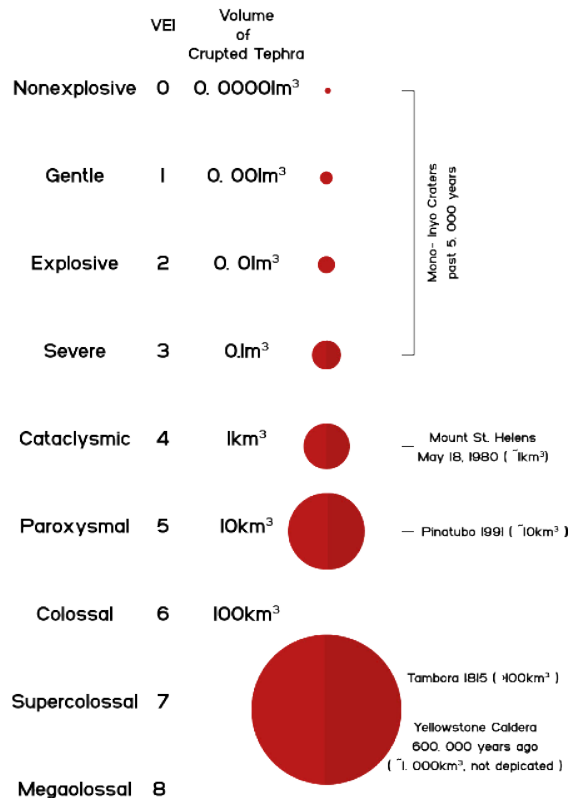
Ilustrasi Proses Pembentukan Amblesan Kaldera

19 Kaldera Indonesia Berdasarkan Diameter



Konsep VEI:

Volume yang dikeluarkan dalam erupsi dalam proses erupsi pembentukan kaldera diperkirakan beberapa puluh persen saja dari volume total magma dalam dapur magma. (Hildreth and Wilson, 2007). Artinya, volume dapur magma yang berkurang sekitar 20-30 persen, menyebabkan tekanan di dapur magma menjadi sangat kecil dan tidak mampu lagi menopang badan atap dapur magma.



Deposit Penciri Kaldera

Ciri khas dari deposit proses erupsi besar yang diikuti pembentukan kaldera, yaitu adanya plinian fall deposit (endapan hasil letusan eksplosif besar) yang kemudian terjadi/terdapat ignimbrite (endapan piroklastik dari campuran berbagai komponen bahan batuan-pung, lithic dan magma) menyusul disusul di atasnya.

Plini atau Plini junior, istilah yang diambil dari nama seorang ahli, Gaius Plinius Caecilius Secundus, yang waktu itu mendeskripsikan dahsyatnya letusan Gunung Vesuvius (Italia). Ia mendeskripsikan letusan besar yang (paling tidak) sama besar dan karakternya serupa dengan letusan Vesuvius disebut jenis letusan plinian.

Tentunya letusan yang membentuk kaldera jauh lebih besar lagi dari sekedar letusan yang dideskripsikan oleh Plini di Vesuvius. Volume letusan Vesuvius tersebut hanya setara dengan sepersepuluh dari produk letusan Gunung Masurai, Jambi (Indonesia).

Transisi dari fall ke pyroclastic flow (awan panas) ini disertai dengan naiknya debit erupsi eksplosif yang sekaligus membawa sejumlah besar lithic kasar yang membentuk perlapisan breksi kasar. Transisi ini terjadi

karena adanya proses pembuatan/pembesaran vent baru sebagai bagian dari awal proses runtuhnya kaldera.

Referensi Legros, Kelfoun, Marti (2000) menyatakan ketika terjadi letusan plinian, tekanan di dapur magma secara drastis atau tiba-tiba menurun, sehingga apabila batuan atap dapur magma tetap kuat dan tidak runtuh maka proses letusan secara otomatis akan berhenti. Namun, jika besarnya penurunan tekanan dapur magma tersebut menjadikan batuan atap dapur tidak kuat bertahan dan runtuh, maka tekanan dapur magma yang semula turun drastis dapat naik kembali sampai level tekanan lithostatics. Proses letusan terus berlanjut (sustained). Tahap ini menjelaskan kenapa di Krakatau terjadi letusan besar, terakhir di pagi itu, yang jam 10.52 Wib, tapi tanpa tsunami.

Menurut Van Bemmelen (1969) pada "Kongres Ilmiah Gunung Thera (Santorini), menyebutkan sebenarnya ada dua tipe letusan besar yang sering dipakai dalam deskripsi. Yaitu: tipe plinian dan ignimbrite.

Ada satu istilah lagi yang sering dipakai, yaitu fase Perret. Fase Perret menggunakan terminologi yang diuraikan oleh Frank A



Perret dari Universitas Carnegie Washington yang pada tahun 1924, mengeluarkan artikel tentang letusan Gunung Vesuvius (1906), bukan letusan yang terjadi di tahun 79. Perret menjelaskan, ketika letusan besar terjadi maka yang dilontarkan pertama adalah gas tekanan tinggi yang ada dibagian atas dari dapur magma. Gas tersebut berbentuk buih (foam) hasil fragmentasi magma. Proses dari lepasnya gelembung gas dari fluida magma. Hasilnya, berupa batu apung.

Ketika semua bagian yang kaya gas telah dikeluarkan melalui letusan, maka sebenarnya di dalam dapur magma mengalami penurunan tekanan secara mendadak. Selanjutnya, fluida magma yang ada di dalam dapur magma mengalami kondisi oversaturated. Dalam kondisi oversaturated, magma dengan sendirinya meletus dan menjadi fase paroxysmal (fase puncak) dari proses letusan itu sendiri. Nah, tahap proses letusan tersebut adalah fase Perret.

Produk yang dihasilkan merupakan suspensi bahan jatuhan yang kaya akan gas. Letusan akan bersifat vertikal karena masih melalui pipa kepundan yang sama. Dalam letusan yang besar ini, terjadi penghancuran puncak kerucut gunungapi. Penjelasan ini sesuai dengan deskripsi Plini Junior, ketika menjelaskan letusan Gunung Vesuvius di tahun 79 AD. Oleh karena itu, terminologi

letusan tipe plinian dipakai untuk jenis letusan besar yang menghancurkan sebagian puncak gunungapi. Lalu apa bedanya antara letusan plinian dengan letusan ignimbrite? Sebenarnya tidak ada bedanya secara proses. Perbedaannya berada dalam hal ukuran atau volume yang diletuskan.

Perbedaan volume tersebut hanya bisa diakomodir atau terjadi, jika letusan yang membentuk kaldera dengan volume yang sangat besar tidak melalui pipa gunung-api existing. Akan tetapi, terjadi dari rekahan-rekahan (fissure) yang terbentuk ketika batuan permukaan, termasuk badan gunungnya sendiri mulai runtuh.

Istilah ignimbrite juga dipakai untuk menunjukkan adanya proses runtuhnya kolom letusan. Selain itu, proses tersebut mungkin dapat menjelaskan asal muasal dari penggunaan istilah hujan api atau ignimbrite.

Untuk proses ignimbrite ini, Van Bemmelen (1969), menggunakan istilah *cooking-over the rim* atau dalam bahasa Italia, *trabocare*. Gambarnya, material yang terlontar masih seperti awan yang berhenti di atas gunung. Lalu, proses itu terus ter-over-flow atau tumpah keluar ke lereng di sekitarnya. Penggambaran ini yang sampai sekarang dipakai untuk menjelaskan proses ignimbrite.



Singkapan batuan di Kaldera Toba, tepatnya di Pulau Samosi, Indonesia. Singkapan ini tersusun atas endapan dasar danau dan menjadi rekaman penting yang menunjukkan situasi ketika Pulau Samosir masih berada di dasar kaldera. Singkapan ini menjadi bukti bahwa Pulau Samosir mengalami pengakatan secara sangat perlahan.



Dinding letusan Batur, di tepian sungai daerah Guwang, Bali, Indonesia.

Komponen Ignimbrite

• *Lithic*

Endapan produk dari pembentukan kaldera terdapat dua proses, yaitu plinian falls yang berupa endapan abu-pasir-kerikil dan bahan lontaran lain yang merupakan hasil dari pengendapan kolom letusan. Proses lainnya, proses ignimbrite yang merupakan endapan proses aliran piroklastik besar.

Ignimbrite secara terminologi sama dengan aliran piroklastik (pyroclastic flow). Terdapat tiga unsur utama dalam ignimbrite. Yaitu : lithic, pumice dan gelas.

Istilah aliran piroklastik mengacu pada proses atau bentuk dari cara mengalirnya. Dalam letusan-letusan superbesar, ignimbrite terbentuk karena kolom letusan sangat tinggi dan padat. Selanjutnya, kolom letusan tersebut runtuh kembali dan menimbulkan aliran piroklastik ke lereng-lerengnya. Maka, ignimbrite sering digambarkan sebagai ambruknya kolom letusan besar.

Lithic sebenarnya unsur yang selalu ada dalam aliran piroklastik ignimbrite, yaitu pecahan/ hancuran dari batuan beku 'existing' : dari batuan yang ada di atas dapur magma atau di dalam atau di sekitar pipa erupsi/letusan, bahkan, juga bisa hancuran dari puncak gunungapi itu sendiri.

Lithic hanya dapat terjadi di letusan-letusan besar karena apabila kecil tidak ada kekuatan untuk proses penghancuran batuan beku yang 'existing'. Proses penghancuran batuan 'existing' ini tentunya menghasilkan pecahan dalam berbagai ukuran, dari ukuran abu sampai ukuran bongkah. Dalam proses 'aliran'nya, ukuran yang lebih besar akan terendapkan lebih awal dan paling bawah. Sehingga dapat dilihat di endapan hasil pembentukan kaldera, yaitu bahwa lapisan paling bawah berupa batuan breksi dengan ukuran bongkah relatif besar. Dan semakin jauh, endapan akan tersusun dari ukuran butir yang semakin halus.

• Batu Apung

Keberadaan batu apung tidak bisa dipisahkan dalam proses pembentukan kaldera, artinya kalau terjadi proses pembentukan kaldera, semestinya dapat ditemukan endapan-endapan batu apung. Tapi bukan berarti jika ditemukan batu apung pasti ada pembentukan kaldera. Alasannya, batu apung hanya menjadi penanda adanya proses pembangunan tekanan besar didalam dapur magma. Terbentuknya batu apung juga menandakan, sebuah sistem vulkanik (gunungapi aktif atau bisa juga kelihatan tidak aktif) telah cukup beristirahat lama (puluhan, ratusan atau bahkan ribuan tahun).

Batu apung menjadi pembeda dari gunungapi-gunungapi yang sering meletus seperti Merapi, yang tidak mempunyai batu apung dalam produk letusannya. Ya, karena istirahatnya belum cukup panjang. Semakin lama beristirahat, semakin banyak produk letusan akan menghasilkan batuapung.

Batuapung terbentuk sebagaimana busa di dapur magma dan menempati bagian paling atas dari dapur magma. Lalu, ketika diendapkan posisinya berada diatas (setelah) endapan lithic (atau sering disebut breksi lithic) karena batu apung relatif jauh lebih ringan dari lithic.

Dalam proses pengendapannya, batu apung (atau buih) ketika diendapkan akan paling mengalami pemampatan paling besar dan kadang bahkan me-cair kembali menjadi liquid (magma), sehingga dalam batuan hasilnya terlihat sebagai komponen berwarna hitam tipis memanjang (fiamme). Lithic berperilaku berbeda, karena asalnya dari pecahan batuan beku padat (dan dingin).

Oleh karena itu, tidak mudah mengalami proses pencairan saat terlontarkan. Butir-butir lithic selalu asli bentuknya ketika terpecah dari batu aslinya.

Komponen utama dalam letusan besar tentunya, dari magmanya itu sendiri. Magma

tersebut ketika diletuskan, tentu masih dalam keadaan cair, sehingga mudah tercabik ketika diletuskan/terlontarkan. Hal ini biasa disebut juga sebagai proses fragmentasi, sehingga berukuran abu/pasir. Pembekuan yang mendadak menyebabkan berbentuk serpihan/butiran seperti serat gelas (bening).

Dalam letusan-letusan super besar yang membentuk kaldera, terdapat prasyarat agar letusan tersebut terjadi. Syarat itu, yaitu :

- (1) tersedianya magma dengan volume besar;
- (2) terjadi letusan awal melalui pipa kepundan;
- (3) terjadi pengurangan tekanan dapur magma secara drastis;
- (4) runtuhnya atap dapur magma sambil membentuk beberapa pipa kepundan baru di bibir kaldera.

Beberapa letusan besar di Indonesia disebutkan yaitu Samalas (Rinjani) pada tahun 1257, dengan volume letusan lebih dari 40 km³, Tambora pada tahun 1815, dengan volume letusan sebesar lebih 33 km³ dan Krakatau tahun 1883 dengan volume letusan sebesar 12,5 km³. Dari data ini terlihat bahwa letusan Krakatau tahun 1883, masih jauh lebih kecil dari volume letusan Samalas (Rinjani) tahun 1257.

Kandungan Material Tanah

Mengenai manfaat, salah satu yang paling nyata memberikan hasil, utamanya bidang ekonomi terhadap masyarakat adalah kesuburan tanahnya. Tentu saja ini selain manfaat pemandangan yang tiada tara dan menguntungkan dibidang pariwisata jika dikelola dengan baik.

Bidang ekonomi yang hampir secara langsung memberikan kehidupan dan penghidupan bagi masyarakat sekitar kaldera adalah dampak dari kesuburan tanahnya. Material yang berasal dari letusan kaldera atau

gunungapi memiliki kandungan menyuburkan tanah.

Menurut Raymond R Weil dan N.C. Brady dalam bukunya *The Nature And Properties Of Soils*, Edisi ke-15, April 2016, Penerbit Pearson Education, menuliskan tanah adalah suatu tubuh alam atau gabungan beberapa tubuh alam sebagai hasil perpaduan proses. Yaitu, gaya perusakan dan pembangunan. Proses perusakan terjadi saat pelapukan dan pembusukan bahan-bahan organik. Sedangkan proses pembangunan meliputi pembentukan mineral-mineral baru dari hasil pelapukan itu.

Secara umum, tanah tersusun dari lima komponen, yakni unsur mineral, organik, air, udara, dan makhluk renik. Kualitas kesuburan tanah ditentukan oleh paduan komposisi kelima hal tersebut. Komposisi yang paling ideal untuk pertumbuhan tanaman adalah 45 persen fraksi unsur mineral (anorganik), 20-30 persen untuk masing-masing air dan udara, serta 5 persen unsur organik.

Komposisi unsur mineral merupakan faktor yang berperan penting dalam memberikan kesuburan tanah di suatu area. Unsur mineral pada tanah berasal dari proses vulkanisme gunungapi di sekitarnya.

Berdasarkan material penyusunnya, setidaknya ada dua jenis tanah subur yang cocok untuk tumbuh kembang tanaman. Pertama, tanah andosol yang berasal dari aktivitas magmatik gunung api. Tanahnya berwarna hitam kecokelatan dan kaya mineral sehingga cocok untuk berkembangnya jenis tanaman apapun. Kedua, tanah entisol yang merupakan hasil pelapukan material letusan gunung api yang berupa pasir, debu, dan lapili.

Meskipun baru berupa permukaan tanah tipis dan belum matang, tanah jenis ini juga bersifat subur. Kedua jenis tanah tersebut bila mengalami pelapukan lanjutan setelah serangkaian proses yang mengubahnya menjadi batuan sedimen atau batuan metamorf,

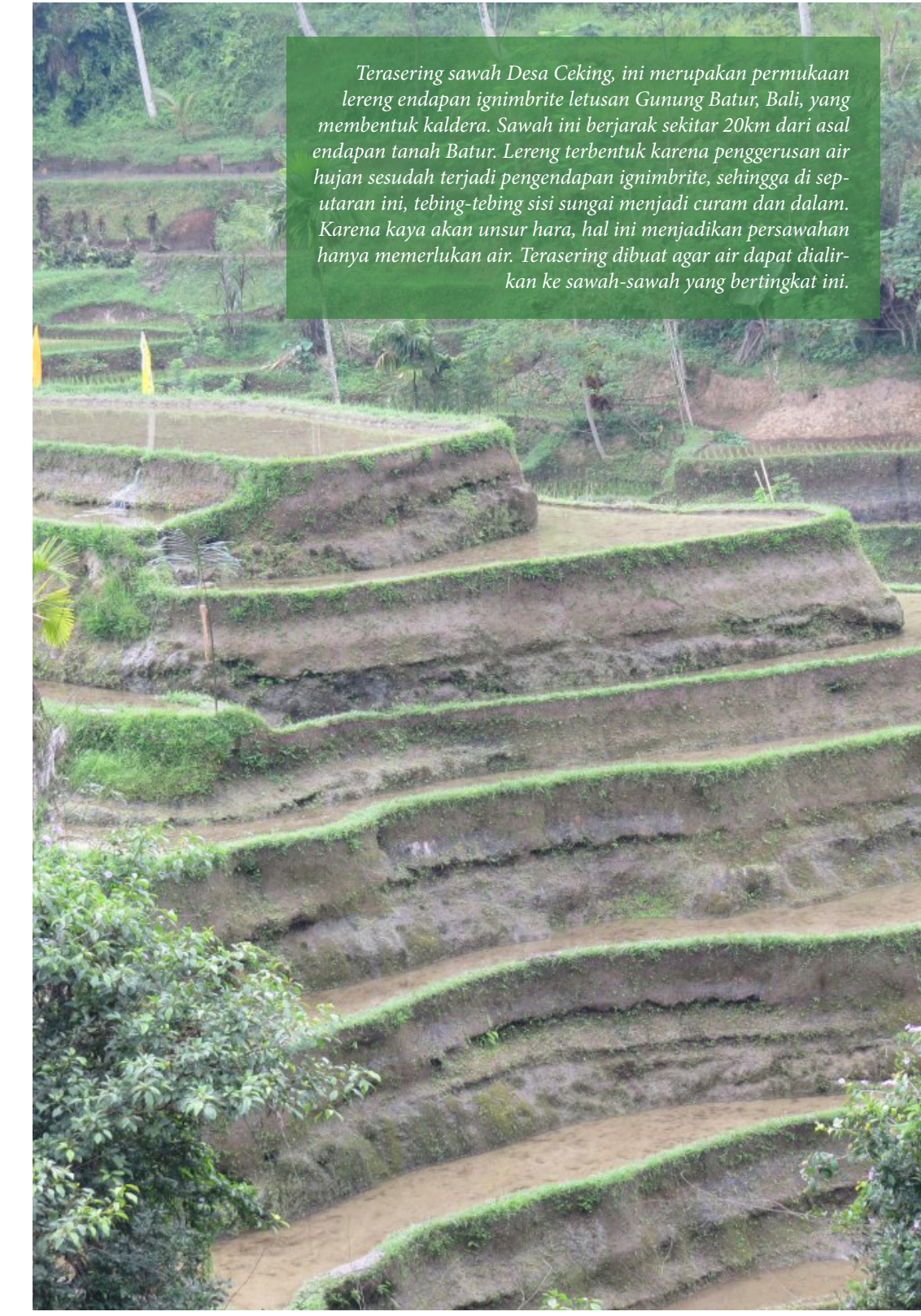
akan menghasilkan jenis-jenis tanah lainnya. Sebagian dari tanah tersebut tetap subur dan sebagian lagi tidak.

Indikator kesuburan tanah tersebut terhadap tumbuh kembang tanaman adalah komposisi unsur mineralnya yang tinggi, seperti boron (B), klorin (Cl), kobalt (Co), besi (Fe), mangan (Mn), magnesium (Mg), molibdenum (Mo), seng (Zn), dan sulfur (S). Semua unsur tersebut berasal dari material erupsi gunungapi.

Begitu pula abu vulkanik. Meskipun menutupi sedikitnya 1 persen dari tanah di bumi, perannya tetap penting untuk kesuburan. Pada buku *Encyclopedia of Volcanoes*, dari Academic Press, juga menyebutkan tanah abu vulkanik mendukung berbagai tanaman termasuk tebu dan buah-buahan tropis dan tanah penggembalaan produktif untuk hewan.

Kopi-kopi pun tumbuh subur dan nikmat bijinya ketika diolah sebagai minuman. Begitu pula selama berabad-abad kebun anggur telah berkembang di tanah abu vulkanik di Italia selatan dan memelihara budaya mediterania di selatan Alaska dan di sepanjang wilayah pesisir barat laut pasifik dari Amerika Serikat.

Hanya saja tetap memerlukan penelitian lebih lanjut mengenai material kesuburan tanah ini. Apakah menjadi efisien ketika tanah tersebut mendapatkan nutrisi baru seperti pupuk pabrikan maupun herbal. Perlu adanya penelitian lanjut apa dan bagaimana cara yang direkomendasikan untuk mempertahankan kesuburan tanah dari material letusan gunungapi.



Terasing sawah Desa Ceking, ini merupakan permukaan lereng endapan ignimbrite letusan Gunung Batur, Bali, yang membentuk kaldera. Sawah ini berjarak sekitar 20km dari asal endapan tanah Batur. Lereng terbentuk karena penggerusan air hujan sesudah terjadi pengendapan ignimbrite, sehingga di sekitarnya ini, tebing-tebing sisi sungai menjadi curam dan dalam. Karena kaya akan unsur hara, hal ini menjadikan persawahan hanya memerlukan air. Terasing dibuat agar air dapat dialirkan ke sawah-sawah yang bertingkat ini.

Ice-Core Yang Merekam Masa Lalu.

Greenland, pulau terbesar di dunia yang termasuk dalam wilayah administrasi Kerajaan Denmark. Lokasinya terletak di antara Laut Artik (Kutub Utara) dan Samudra Atlantik.

Pulau Greenland ini menjadi tempat adanya masa lapisan es abadi yang paling tebal dan luas sesudah area Kutub Utara. Apabila dibayangkan, es tersebut tidak ada, permukaan tanah Greenland terlihat berbukit-bukit. Bagian tengahnya merupakan dataran rendah. Tebal lapisan es bervariasi dari satu lokasi ke lokasi lainnya. Secara rata-rata, ketebalan lapisan es sekitar 2 km. Hanya saja, ketebalan es di beberapa lokasi bisa mencapai 3 km.

Lapisan es terbentuk secara perlahan, sedikit demi sedikit dari waktu ke waktu menjadi semakin tebal. Saat ini mungkin berkurang karena pemanasan global.

Lalu ada apa dengan lapisan es ini? Sebenarnya tebalnya lapisan es tersebut menyimpan informasi sejarah perubahan atmosfer bumi itu sendiri. Hal ini sebagaimana ibaratnya menelusuri lingkaran kambium di batang pohon. Lapisan-lapisan es tersebut dapat dirunut kembali umurnya dengan ketelitian/kesalahan satu tahun.

Nah, apa hubungannya dengan letusan kaldera? Sebuah letusan gunungapi menyemburkan dua komponen ke lapisan atmosfer, yaitu partikel mikro dari silikat dan gas asam, khususnya asam sulfat H_2SO_4 . Partikel mikro berkeliaran di udara sampai beberapa bulan. Kemudian, gas asam segera diendapkan di seluruh permukaan bumi, termasuk sampai di area kutub bumi. Dari prinsip ini, maka dengan mengukur keasaman di setiap jengkal rinci dari peralihan es, dapat ditemukan lapisan-lapisan dengan kadar asam yang mencolok.

Pada tahun 1974, Hammer, dkk, kolaborasi peneliti asal Amerika Serikat, Swiss, dan Denmark melakukan pemboran peralihan es untuk mendapatkan inti bor (ice-core) setinggi 404 meter. Dengan pengukuran umur, inti-bor setinggi 404 meter tersebut mewakili pembentukan lapisan es dari sekitar tahun 560 sampai tahun 1974 saat itu.

Hammer, dkk, pada tahun 1980, mempublikasikan hasil pengukuran keasaman dari inti bor tersebut. Mereka menemukan keasaman tinggi pada setiap kejadian letusan besar pembentukan kaldera seperti Krakatau 1883, Tambora tahun 1815, dan juga di area lain di luar Indonesia. Hasil ini menunjukkan, di setiap kejadian letusan super-besar, atmosfer menjadi sangat asam (relatif sesaat). Puncak-puncak keasaman yang (relatif) sesaat itu memberikan angka tahun yang akurat terjadinya letusan super-besar.

Penelitian mendeteksi adanya letusan besar yang terjadi di tahun 1259. Akan tetapi, para peneliti waktu itu belum bisa memastikan letusan terbesar tersebut berasal dari gunung apa serta lokasinya di mana.

Letusan besar tersebut terjadi, tapi belum diketahui unknown. Spekulasi muncul di tahun-tahun berikutnya. Mereka menduga letusan tersebut terjadi di Islandia, New Zealand, atau lokasi lainnya. Belum ada bukti kuat untuk meyakinkan.

Dari tingkat 'keasaman', letusan 1259 jauh lebih besar dari Krakatau 1883, ataupun Tambora 1815. Seperti, Gunung Tambora di Pulau Sumbawa. Gunung yang berjarak 1.126,5 km sebelah timur dari Krakatau, mengeluarkan dua kali volume materi ke dalam atmosfer. Tambora mengeluarkan volume 17,7 km³ bebatuan, abu dan debu, jika dibandingkan dengan Krakatau yang ternyata hanya 9,7 km³ saja. Paling tidak ada 50.000 orang te-



Greenland, Denmark

Photo by: Annie Spratt - Unsplash

was, bagian puncak Tambora menjadi lenyap, seluruh pulau tidak bisa dihuni selama bertahun-tahun.

Dampak pada cuaca sangat hebat karena menurunkan suhu udara bumi rata-rata hampir 1 derajat centigrade. Di New England,

para petani menyatakan bahwa tahun 1816 adalah tahun tanpa musim panas atau dikenal *year without summer*.

Ada embun beku sampai jauh ke selatan hingga New Jersey di akhir bulan Mei sampai New England bagian atas pada bulan Juni

dan Juli. Musim tanam terpotong dari 160 hari menjadi 70 hari. Ternak harus diberi makan ikan sehingga diingat sebagai tahun ikan mackarel. Ada banyak gagal panen. Eropa keadaannya cukup buruk. Anggur Perancis tak dapat dipanen sampai bulan November tahun 1816. Penen gandum Jerman gagal seluruhnya dan berdampak naiknya harga tepung dua kali lipat. Beberapa tempat pun kelaparan dan migrasi besar-besaran.

Tambora menjadi salah satu contoh erupsi gunungapi besar yang tak bisa dibendung jika itu adalah kehendak alam. Musim dingin mencekam yang disebabkan Tambora, sebuah gunungapi yang sama sekali tak dikenal kebanyakan dari mereka dan terletak 16.093 km jauhnya. Dahsyat.

Begitu pula letusan Krakatau yang tak disangka-sangka. Tiba-tiba, dentuman keras terdengar dan asap membumbung tinggi lalu membuat seperti awan payung hitam. Beberapa saat, hujan abu menyerang. Sejumlah surat kabar asing pun memberitakannya melalui laporan kabel telegram kala itu. Letusan itu menelan korban tewas sekitar 36.000 jiwa.

Berdasarkan pengumpulan data dari berbagai sumber yang dikumpulkan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) Badan Geologi, Indonesia menduduki urutan pertama dari bencana erupsi gunungapi di dunia. Sejumlah erupsi menewaskan sekitar 169.000 jiwa sejak tahun 1800-an hingga tahun 2013.

Melanjutkan pengaruh pengukuran es di kutub, di tahun 2006, dengan analisis yg lebih rinci, peneliti mulai mengetahui adanya letusan-letusan besar dan super besar yang pernah terjadi. Meski belum tepat, penelitian mulai mengarah. Saat itu analisisnya adalah meski sebagian besar belum diketahui sumbernya, misalnya letusan tahun 1259, diduga berasal dari Ekuador. Penelitian lebih akurat tahun deposit ice-core, yaitu tahun 1258, di bulan Januari. Tepatnya, letusan besarnya terjadi di tahun 1257, dan diperkirakan terjadi

antara bulan Mei-Oktober 1257.

Baru pada tahun 2013, peneliti lainnya, Lavigne, dkk, menemukan bukti kuat letusan besar tahun 1259 tersebut berasal dari Pulau Lombok yaitu Gunung Rinjani. Anehnya, bukti kuat itu muncul dari manuskrip “Babad Lombok” yang ditulis pada kertas lontar dalam bahasa Jawa Kuno.

Dalam Babad Lombok tersebut di ceritakan adanya kejadian letusan besar dari Gunung Samalas, sebelah Rinjani (seperti letusan di Rakata untuk Gunung Krakatau). Temuan ini yang mendasari untuk dilakukan penelitian geologi lebih rinci di endapan-endapan kaldera Rinjani atau Samalas.

“*R* arenanya, informasi kaldera diharapkan menjadi penting bagi kita semua guna memahami keberadaan gunungapi, bagaimana erupsi dengan letusan super besar bisa terjadi, prosesnya dan membedakan antara kawah dan kaldera. Berusaha memahami apa saja produknya. Letusan dahsyat yang membentuk kaldera memang mampu melumpuhkan aktivitas bumi. Menelan ratusan ribu korban jiwa. Tapi, dibalik kekuatan itu, peradaban manusia justru menjadi berkembang. Manusia menjadi kreatif untuk lebih tangguh menghadapi bencana. Jika kita mampu mengenali, bencana dapat dikelola, meskipun bahaya geologi (bencana erupsi gunungapi, gempa bumi, tsunami, dan gerakan tanah) tidak dapat dihentikan oleh manusia. Itu kehendak alam dan belum ada satupun ahli geologi yang dapat memprediksi secara tepat kapan terjadi.”



Kaldera Rinjani, Indonesia

Ucapan Terima Kasih.

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, tulisan tentang Kaldera Batur, Bali, selesai. Awalnya, ide ini penulisan buku ini bermula dari permintaan Kabupaten Bangli kepada Badan Geologi untuk dapat dilakukan pendampingan dalam persiapan penilaian Unesco di tahun akhir 2015 - 2016. Dan saat itu disadari tidak adanya tersedia informasi yang cukup dalam bentuk buku yang bisa menjadi referensi bagi pihak-pihak yang berusaha memperoleh manfaat dari keberadaan Kaldera Batur.

Dalam kesempatan ini, penulis menghaturkan ucap terimakasih atas dukungan penuh Pimpinan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM), Bapak Ignasius Jonan dan Kepala Badan Geologi Bapak Rudy Suhendar. Tentu saja, kami berterimakasih kepada Kepala Pusat Survei Geologi, sejak dari Bapak Agung Pribadi (tahun 2015), Bapak M. Wafid (tahun 2017) hingga Bapak Eko Budi Lelono (tahun 2018), yang selalu memberikan motivasi agar informasi geologi dapat langsung dirasakan manfaatnya bagi masyarakat. Terimakasih juga kepada Kepala Bidang Geosain Pusat Survei Geologi, Bapak Asep Kurnia Permana yang mendukung penuh dan selalu membantu segala kebutuhan selama pendampingan pada Kabupaten Bangli.

Kami juga berterimakasih kepada Bupati Bangli Bapak Made Gianyar, dan khususnya kepada Sekda Kabupaten Bangli Bapak Ida Bagus Giri Putra, beserta seluruh jajarannya. Berkat dukungannya, kajian geologi di lapangan selalu mendapatkan kelancaran.

Tidak lupa, dukungan dari Prof. John Stephen Lansing, anthropologist yang banyak memperkenalkan kepada penulis pengetahuan tentang budaya Subak Bali. Sebuah pengetahuan yang sangat berguna yang akhirnya membawa pada pemahaman adanya hubungan yang erat antara bumi dan manusianya.

Lancarnya survei juga tidak lepas dari peran rekan-rekan yang baik hati, khususnya pada Pak Jero Repong dari Banjar Tangkup, Pak Mandiawan dari Yehmampéh, Pak Punya, yang membuat suasana di lapangan menjadi jauh lebih semangat.

Masukan yang tak ternilai dari rekan I Wayan Juniarta (The Jakarta Post) dan Ayu Sulistiyowati (Kompas) yang memberikan tinjauan dalam bahasa yang humanis dan mudah dipahami, serta Locca Chandra (Asanka) yang mengatur narasi, sket serta ilustrasi menjadi indah serta menarik. Semoga kerjasama ini dapat terus berjalan harmonis pada setiap kesempatan yang lain.

Terimakasih

Penyusun



Daftar Pustaka

1. Acocella, V. (2006). *Caldera types: How end-members relate to evolutionary stages of collapse*. *Geophysical Res. Lett.*, v.33, Issue 18.
2. Acocella, V. (2007). *Understanding caldera structure and development: an overview of analogue models compared to natural calderas*. *Earth Sci. Rev.* 85, 125–160. doi: 10.1016/j.earsci-rev.2007.08.004
3. Barber, A., J., Crow, M.J., Milsom, J.S., 2005. *Sumatra: Geology, Resources and Tectonic Evolution*. *Geological Society Memoir N. 31.*, Geological Society, London.
4. Bemmelen, R.W., 1949. *The Geology of Indonesia*. The Government Printing Office. The Hague.
5. Bemmelen, R.W., 1969. *Four volcanics outbursts that influence human history*. *International Scientific Congress of the Volcano of Thera*. Greek.
6. Cole, J.W., Milner, D.M. and Spinks, K.D., 2005. *Calderas and caldera structures: a review*. *Earth-Science Reviews*, 69, 1-26.
7. Cotton, C. A., 1944. *Volcanoes and landscape Forms*. Whitcombe and Tombs, Christchurch, New Zealand. 415 pp.
8. Hammer, C.U., H.B. Clausen, and W. Dansgaard. 1980. *Greenland ice sheet evidence of post-glacial volcanism and its climatic impact*. *Nature* 288: 230-235.
9. Hildreth, W. dan Wilson, C.J.N., 2007. *Compositional zoning of the Bishop Tuff*. *Journal of Petrology*, vol 48, no.5: 951-999.
10. Holohan, E. P., B. Van Wyk de Vries, V. R. Trol, 2007. *Analogue models of caldera collapse in strike-slip tectonic regimes*. *Bulletin of Volcanology* 70(7):773-796
11. Kennedy, B., Stix, J., Vallance, J. W., Lavallee, Y., and Longpre, M.-A. (2004). *Controls on caldera structure: results from analogue sandbox modeling*. *Geol. Soc. Am. Bull.* 116, 515–524. doi: 10.1130/B25228.1
12. Kurbatov AV, et al. (2006) *A 12,000 year record of explosive volcanism in the Siple Dome Ice Core, West Antarctica*. *J Geophys Res* 111:D12307.
13. Kusnama, Pardede, R., Andi Mangga, S., and Sidarto, 1993. *Geology map of the Sungai Penuh and Kataun Quadrangle (0812-0813), Sumatra*. Scale: 1:250.000. Geological Survey of Indonesia, Bandung.
14. Lavigne, F., Degeai, J-F, Komorowski J-C., Guillet S., Roberta, V., Lahitte, P., Oppenheimer, C., Stoffel, M., Vidal C. M., Surono, Pratomo, I., Wassmer, P., Hajdas., I., Sri Hadmoko, D., De Beliza, E., 2013. *Source of the great A.D. 1257 mystery eruption unveiled, Samalas volcano, Rinjani Volcanic Complex, Indonesia*. *Proceeding of the National Academic of Sciences of The USA (PNAS)*. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1307520110.
15. LeBas, M.J., LeMaitre, R.W., Streckeisen, A. And Zanettin, B. 1986. *A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali silica diagram*. *J. Petrol.*, pp. 745-750.
16. Legros, F., Kelfoun, K., Marti, J., 2000. *The influence of conduit geometry on the dynamics of caldera-forming eruptions*. *Earth and Planetary Science Lett.*, 179(1):53-61.
17. Metcalfe, I. 2006. *Palaeozoic and Mesozoic tectonic evolution and palaeogeography of East Asian crustal fragments: the Korean Peninsula in context*. *Gondwana Research*, 9, 24–46.
18. Metcalfe, I. 2011. *Tectonic framework and Phanerozoic evolution of Sundaland*. *Gondwana Research*, 19, 3-21.
19. Newhall, C. G., and S. Self, *The volcanic explosivity index (VEI): An estimate of explosive magnitude for historical volcanism*, *J. Geophys. Res.*, 87, 1231-1238, 1982
20. Newhall, C.G. dan Dzurizin, D., 1988. *Historical Unrest at Large Calderas of the World*. U.S. Geological Survey, Washington.

21. Oppenheimer C (2003) *Ice core and palaeoclimatic evidence for the timing and nature of the great mid-13th century volcanic eruption*. *Int J Climatol* 23(4):417–426.
22. Pearce, J.A., 2008. *Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with application to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust*. *Lithos* v.100, pp. 14-48. Elsevier B.V., London
23. Peccerillo, A. And Taylor, S. R., 1976. *Geochemistry of eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu Area. Northern Turkey. Contribution to Mineralogy and Petrology*, 58, 63-81.
24. Perret, F.A., 1924. *The Vesuvius eruption of 1906: Study of a volcanic cycle*. *Carnegie Inst. Washington Publ.* 339.
25. Plini Jr., *Le lettere di Plinio il Giovane sull' Eruzione Vesuviana dell'anno 79 d.C.* *Assoc. Napoletana per i monumenti ed il paesaggio*, pp. 56 (translated by M. Gigante).
26. Siebert, L. , Simkin, T., Kimberley, P., 2010. *Volcanoes of the World, Third Edition*. *Smithsonian Institution. University of California Press. Washington*.
27. Sigurdsson H., and S. R. J. Sparks, 1982. *The Eruption of Vesuvius in A. D. 79: Reconstruction from Historical and Volcanological Evidence*. *American Journal of Archaeology*, Vol. 86, No. 1, pp. 39-51
28. Simkin, T., dan Fiske, R., S., 1983. *Krakatau 1883: The volcanic Eruption and Its Effects*. *Smithsonian Institution Press, Washington DC*.
29. Suwarna, N., Suharsono, Gafoer, S., Amin, T.C., Kusnama and Hermanto, B., 1994. *Geology map of the Sarolangun Quadrangle (0913), Sumatra. Scale: 1:250.000*. *Geological Survey of Indonesia, Bandung*.
30. Verbeek, R.D.M., 1886. *The Krakatau Eruption*. *Nature*, v10: 10-15. (doi.org/10.1038/030010a0).
31. Verbeek, R.D.M., 1886. *Krakatau. Publie par ordre de son excellence Le Gouverneur-General des Indes Neerlandaises*. *Batavia (Jakarta)*.
32. Weil R.R., dan N.C. Brady. 2016. *The Nature And Properties Of Soils*, E.15. *Pearson Education*.
33. Williams H (1941) *Calderas and their origin*. *Bull Dept Geol Sci Univ. California* 25:239–346
34. Barber, A. J. And Crow, M. J., 2013, *An evaluation of plate tectonic models for the development of Sumatera*. *Gondwana Research* 6, p.1-28.
35. Fontaine, H. And Gafoer, S., 1989. *The pre-Tertiary fossils of Sumatera and their environments*. *CCOP Technical Paper* 19, p.1-356.
36. Jongmans, W.J. and Gothan, W., 1925. *Beiträge zur Kenntnis der Flora des Oberkarbons vom Sumatra*. *Verhandelingen van het Geologische-Mijnbouwkunding Genootschap voor Nederland en Koloniën, Geologische Serie, Deel VII*, p.279-304.
37. Leven, E. Ja., 1971. *Les gisements Permians et les fusulinidés de l'Afghanistan du nord*. *Notes et Mémoires sur le Moyen-Orient* 12, p.1-45.
38. Thomson, M. L., 1936. *Lower Permian fusulinids from Sumatra*. *Journal of Paleontology* 10, p.587-592.
39. Uneo, K., 2003. *The Permian fusulinoidean faunas of Subimasu and Baoshan block: Their implications for the paleogeographic and paleoclimatologic reconstruction of the Cimmerian Continent*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology* 193, p.1-24.



Batur

SERI KALDERA NUSANTARA

Letusan besar Batur, sekitar 30.000 tahun lalu, di Kabupaten Bangli, Bali, Indonesia, menghasilkan kaldera berdiameter 10 kilometer x 12 kilometer. Kedahsyatannya yang mengalirkan dan menerbangkan material ke arah barat daya itu mengukir Pulau Bali menjadi sedemikian indahnya. Bagaikan kanvas yang tertoreh kuas alam. Batuan paras kolom-kolom ignimbrite memberi manfaat dan melahirkan seniman ukiran batu yang piawai. Ukiran yang melekat pada beberapa bagian Pura Silakarang (Gianyar), salah satu saksi hasil pahatan batu paras. Dinding-dinding batuan alami yang tersusun dari endapan letusan, seperti di Guwang dan sepanjang Sungai Ayung (Gianyar), memperkuat Bali menjadi destinasi wisata alam dan geologi yang layak diunggulkan.



BADAN GEOLOGI
KEMENTERIAN ESDM

ISBN 978-602-9105-74-2



9 786029 105742