



Toba

SERI KALDERA NUSANTARA



BADAN GEOLOGI
KEMENTERIAN ESDM

BADAN GEOLOGI
KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL



Penulis :

A. Ratdomopurbo, Arief Prabowo, Ayu Sulistyowati

Diterbitkan Oleh :

BADAN GEOLOGI
KEMENTERIAN ESDM

Cetakan Pertama, Desember 2019



Toba

SERI KALDERA NUSANTARA

Penulis :

A. Ratdomopurbo, Arief Prabowo, Ayu Sulistyowati

ISBN : 978-602-9105-82-7

Penyunting:

Rian Koswara

Design Sampul & Tata Letak :

Locca Chandra

Diterbitkan Oleh :

BADAN GEOLOGI
KEMENTERIAN ESDM

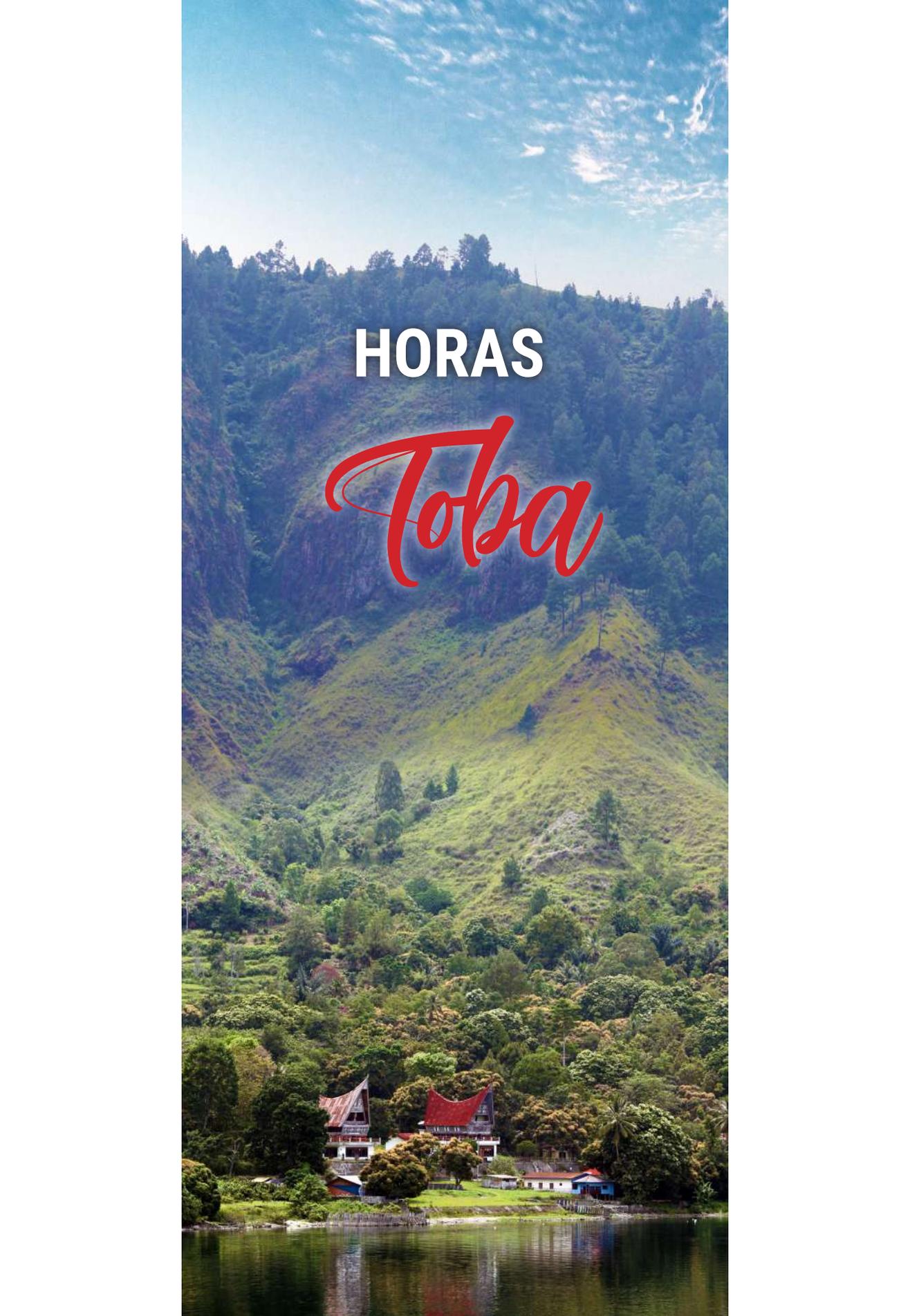
Cetakan Pertama, Desember 2019

Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang.

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian 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).

A vertical photograph of a lush green mountain valley. In the foreground, a calm lake reflects the sky and the surrounding greenery. Along the shoreline, there are several traditional houses with steeply pitched roofs, some with red accents. The middle ground is dominated by steep, green hillsides covered in dense forest and some open grassy areas. The background shows more forested hills under a bright blue sky with scattered white clouds. The overall scene is peaceful and scenic.

HORAS

Toba

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 Toba ini salah satu contoh bagaimana daerah memerlukan informasi geologi yang lebih rinci yang menyangkut wilayahnya yang 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 Toba juga memberi konfirmasi bahwa selain Toba, Maninjau, Ranau, ternyata ada satu kaldera lagi di Sumatra, yaitu Kaldera Toba. Informasi ini menjadi penting bagi kajian lebih lanjut yaitu bidang geodinamika Sumatera khususnya pada zaman Pra-Tersier (lebih tua dari 65 juta tahun lalu). Karena di masa lalu banyak wilayah yang secara akses belum bisa dilakukan survei geologi secara lengkap, tentu saja ke depan akan semakin banyak wilayah yang semakin terbuka untuk dilakukan kajian geologi secara lebih detail.

Akhir kata, semoga informasi yang ada di buku ini dapat menjadi acuan bagi para ahli geologi baik nasional maupun internasional, dan dapat memberikan referensi bagi pengembangan wilayah, khususnya kabupaten-kabupaten di tepian Danau Toba, Provinsi Sumatera Utara. Dan, semoga buku ini memberi manfaat bagi kesejahteraan masyarakat.

Bandung, Desember 2019



Rudy Suhendar



Prolog

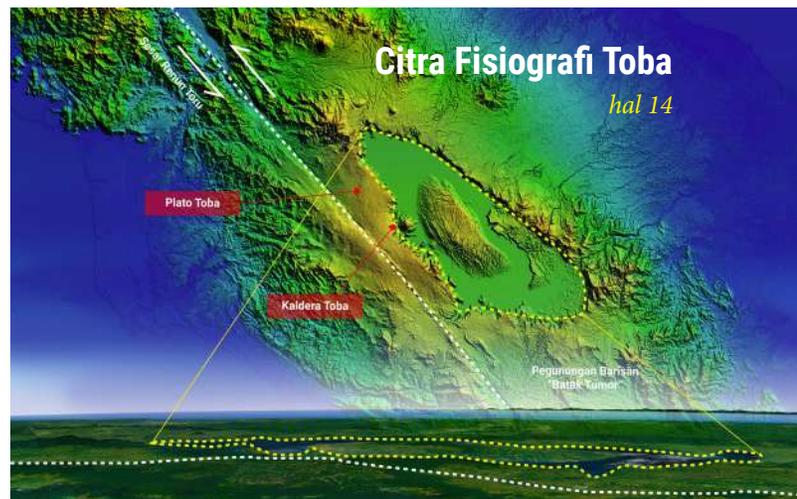
Kepala Badan Geologi

Prolog Badan Geologi*hal v*

“Kajian Toba juga memberi konfirmasi bahwa selain Toba, Maninjau, Ranau, ternyata ada satu kaldera lagi di Sumatra, yaitu Kaldera Toba...” - Kepala Badan Geologi

Menuju Danau Toba & Pulau Samosir*hal 2*

“Horas! Toba merupakan salah satu wilayah Indonesia, di Provinsi Sumatera Utara. Wilayah ini mendunia karena Kaldera Toba-nya dari letusan 74.000 tahun lalu. Kaldera ini membentuk tepian danau dengan panjang 100 kilometer (km) dan lebar 30 km. Bentuk danau memanjang ini terbesar di Indonesia, serta terpanjang setelah Kaldera Yellowstone...”

Wilayah Tepian Toba*hal 4***Selayang Pandang Siradja Batak***hal 6***Kaldera Sumatera***hal 10***Seluas Apa Kaldera Kita?***hal 12***Gembungan Batak Van Bemmelen***hal 16***Timeline Sumatera***hal 20t***Gerak Tektonik Regional Toba***hal 22***Formasi Batuan Tua Toba***hal 24***Citra Fisiografi Toba***hal 14***Lumbang Rarat Siborongborong***hal 52***Toba Bertabur Gemerlap Kuarsa***hal 50*

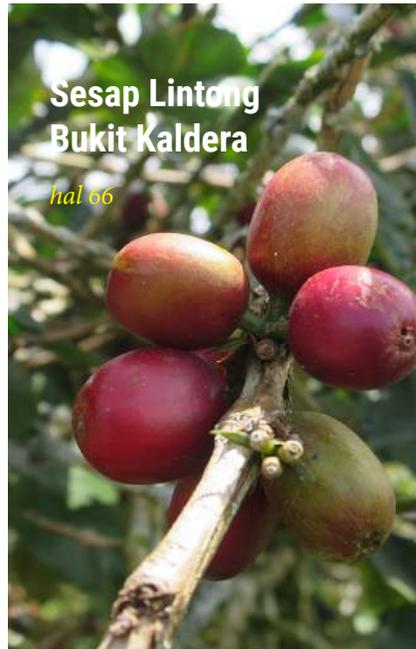


Pesona Tao Toba *hal 58*

“Letusan super besar yang membentuk kaldera Toba terjadi pada 840 ribu tahun lalu dengan pusat letusan di sebelah selatan Toba (wilayah Porsea) yang menghamburkan material letusan sebesar 500 km³ dan endapannya disebut sebagai Tufa Toba Tua (OTT= Old Toba Tuff)....”



hal 60 **Warna-warni Rumah Adat**



Sesap Lintang Bukit Kaldera *hal 66*



Menikmati Toba *hal 76*

Munculnya Pulau Samosir *hal 38*

Chesner, Toba & Bathymetric *hal 40*

Rentetan Letusan Menuju Mangkuk Alam Raksasa *hal 46*

Jejak Abu Toba *hal 48*

Dunia Belajar dari yang Muda *hal 54*

Kursi-Kursi Batu Huta Siallagan *hal 70*

Otak-atik Kata & Angka *hal 72*

Kilas Surat Batak *hal 74*

Apendiks *hal 80*

Ucapan Terima kasih *hal 102*

Daftar Pustaka *hal 103*

ACEH

MEDAN



SUMATERA UTARA

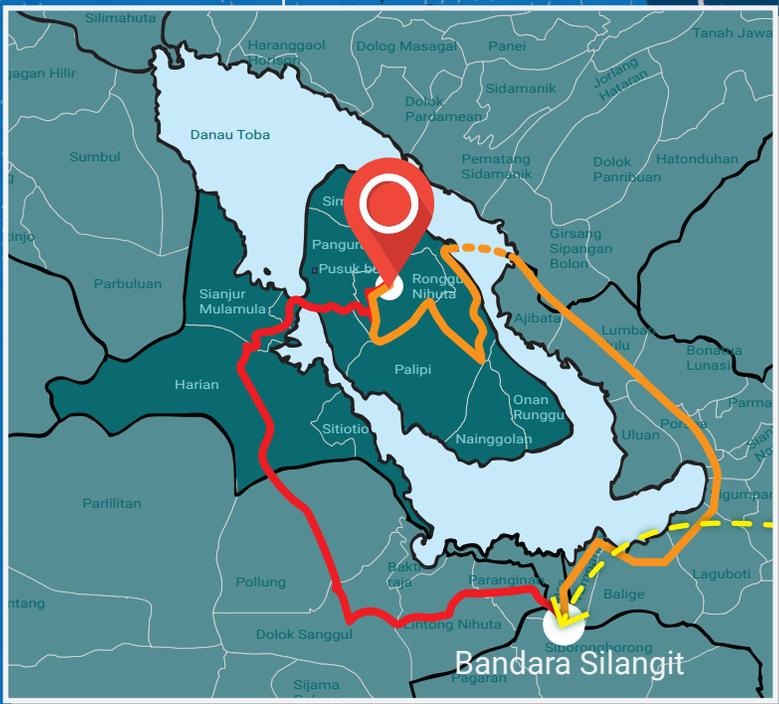
RIAU

SUMATERA BARAT

JAMBI

SUMATERA SELATAN

BENGKULU



Bandara Silangit

MENUJU DANAU *Toba* & PULAU *Samosir*

Horas! Toba merupakan salah satu wilayah Indonesia, di Provinsi Sumatera Utara. Wilayah ini mendunia karena Kaldera Toba-nya dari letusan 74.000 tahun lalu. Kaldera ini membentuk tepian danau dengan panjang 100 kilometer (km) dan lebar 30 km. Bentuk danau memanjang ini terbesar di Indonesia, serta terpanjang setelah Kaldera Yellowstone, Amerika Serikat. Perairan Toba tercatat luasnya 113.000 hektar dan kedalaman maksimum sekitar 500 meter.

Para ahli kaldera dunia menyatakan Danau Toba adalah laboratorium yang lengkap untuk belajar mengenai letusan superbesar dari sebuah gunungapi. Topografi dari hasil letusan itu meninggalkan lukisan alam yang indah, seperti wilayah tepian Danau Toba. Air terjun, air panas, perbukitan hingga perkebunan dan lembah sawah nan subur.

Di tengahnya dihiasi oleh Pulau Samosir, sebuah pulau yang sebenarnya tidak terpisahkan dan menjadi satu kesatuan dari proses pembentukan Kaldera Toba. Pulau ini semula adalah dasar danau yang terangkat perlahan karena dorongan magma yang masih ada di bawah bumi

Toba. Setelah letusan besar tersebut, lingkungan Kaldera Toba menjadi danau utuh selama sekitar 40.000 tahun, sampai dengan mulai munculnya Pulau Samosir sekitar 33.000 tahun lalu. Munculnya pulau ini berlangsung perlahan semakin naik dari waktu ke waktu dalam laju sekitar 1.5 sentimeter (cm) per tahun.

Menuju Danau Toba terdapat empat gerbang, Bandara Kualanam, Bandara Silangit, Pelabuhan Belawan, dan Pelabuhan Tanjung Balai. Salah satunya penerbangan reguler mengantar dari Bandara Internasional Soekarno-Hatta, Jakarta, mendarat di Bandara Silangit. Selanjutnya, pengunjung melalui jalur darat untuk dapat mengelilingi Danau Toba. Jika ingin menikmati keindahan Pulau Samosir, perjalanan berlanjut menyeberangi danau di sejumlah titik dermaga penyeberangan, seperti di Parapat, Muara, atau dengan mobil lewat Pangururan, dekat G. Pusuk Buhit.

Jadi, *eta hitta madallani hu Toba!* Yuk, kita jalan-jalan ke Toba! Mari menjelajah keindahan alam sekaligus sejarah geologi bersama Tim Badan Geologi.



ATAN

LAMPUNG

Bandara
Soekarno Hatta



Legenda

Kab. Samosir, 2.069 km², 125.099 jiwa
Kab. Toba-Samosir, 2.328 km², 181.790 jiwa
Kab. Tapanuli Utara, 3.791 km², 297.806 jiwa
Kab. Humbang Hasundutan, 2.335 km², 186.694 jiwa
Kab. Simalungun, 4.369 km², 859.228 jiwa
Kab. Dairi, 1.927 km², 281.876 jiwa
Kab. Karo, 2.127 km², 403.207 jiwa

Sumber: Luas dan Jumlah Penduduk tepiian Danau Toba, BPS Sumarera Utara Tahun 2017, diolah.



Wilayah Tepian Toba

*W*ilayah seputaran Danau Toba sangatlah luas. Karena luasnya, bahasan dibatasi pada area-area yang bersempungan dengan tepian Danau Toba. Area itu berada di tujuh kabupaten yang mempunyai garis pantai, yaitu Samosir, Toba-Samosir, Tapanuli Selatan, Humbang Hasundutan, Dairi, Simalungun dan Karo.

Kita-kita, terutama yang dari luar Toba, terkadang bingung antara nama Kabupaten Toba-Samosir dan Kabupaten Samosir. Dahulu, wilayah Toba *sensu-stricto*, yaitu wilayah di sebelah selatan Danau Toba, dan wilayah Pulau Samosir tergabung dalam satu wilayah administrasi bernama Kabupaten Toba-Samosir. Pada saat pemekaran di tahun 2003, area Samosir menjadi kabupaten tersendiri dengan nama Ka-

bupaten Samosir, dan area “Toba” tetap menggunakan nama asli Kabupaten Toba-Samosir, disingkat Tobasa.

Warna-warni pada peta di halaman sebelah merupakan wilayah yang bersempungan dengan tepian Danau Toba itu. Sekaligus peta yang menunjukkan fokus lokasi penelitian Kaldera Toba dari Tim Geologi Badan Geologi, Kementerian ESDM. Begitu pula, peta ini merupakan wilayah jelajah para ahli kaldera yang berdatangan dari penjuru dunia, tertarik mempelajari proses letusan Toba, bahkan sejak tahun 1938.

Semoga, pembaca dapat ikut menjelajah perjalanan dan karakter bumi Toba dengan segala keindahan alamnya dan kekayaan morfologi wilayahnya. Toba itu memang indah.



SELAYANG PANDANG

SIRADJA BATAK

OMPOE RADJA IDJOLMA

F. S.
PENGRAJANG SURABAYA 22, KARASALLE,
SAMBALINGIN W. S. H. SHITE PANDERILAJ

MEAN 11 FEBRUARI 1904

“Jolo tinitip sanggar bahen huruhuran, jolo sinungkum marga asa binoto partuturan”

“Dalam setiap pertemuan pertama kali hampir selalu diawali dengan pembicaraan yang mengarah pada penelusuran hubungan kekerabatan.”

Kalimat umpasa Batak beserta aritnya ini mengutip dari buku *Hakekat & Manifestasi Dalihan Na Tolu dalam Masyarakat Adat Batak Toba*, oleh Sampur Dongan Simamora (Cetakan Keempat, 2012, Penerbit FH Untan Press Pontianak).

Bahwa penelusuran ini berkaitan dengan pemahaman mengenai Bona Pasogit, tanah asal leluhurnya. Ya, dalam setiap pertemuan hampir dipastikan saling mempertanyakan tanah asal leluhur, marga, menelusuri dan menemukan tautan kekerabatan. Lalu, mereka akan bersikap, bertingkah laku sesuai dengan posisi kekerabatannya setelah mendapatkan jawaban jelas mengenai tautan itu. Apalagi, pertemuan itu membahas acara pernikahan bisa semakin seru karena konsep-konsep hukum adat begitu dijunjung tinggi oleh orang Batak Toba.

Semua itu manifestasi dari konsep turun temurun *Dalihan Na Tolu*. Konsep berupa tungku tiga batu melambangkan tiga tiang penyangga kekerabatan. Ketiga tiang itu adalah “hula hula” itu marga istri atau keluarga pihak pemberi perempuan, “dongan tubu” itu saudara semarga, dan “boru” itu marga menantu laki-laki.

Kekerabatan bagi orang Batak itu penting. Uniknya, meski sistem kekerabatannya patrilineal, mereka tetap menjunjung hormat kepada garis perempuan. Pada

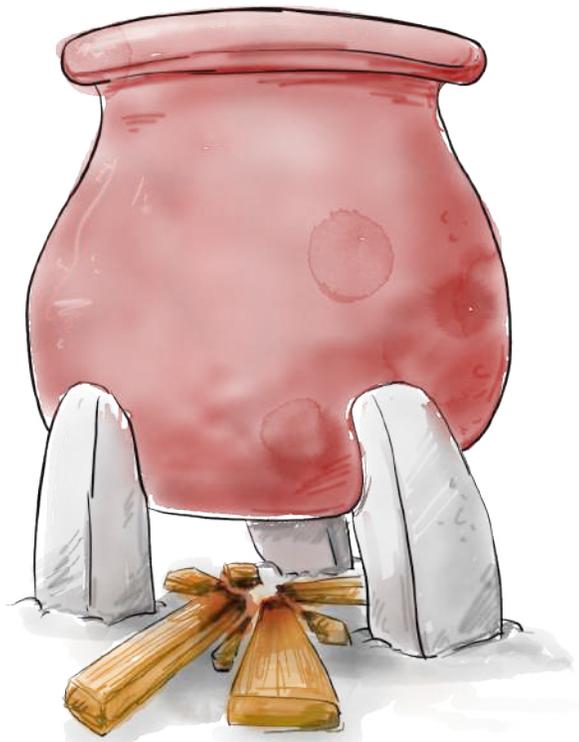
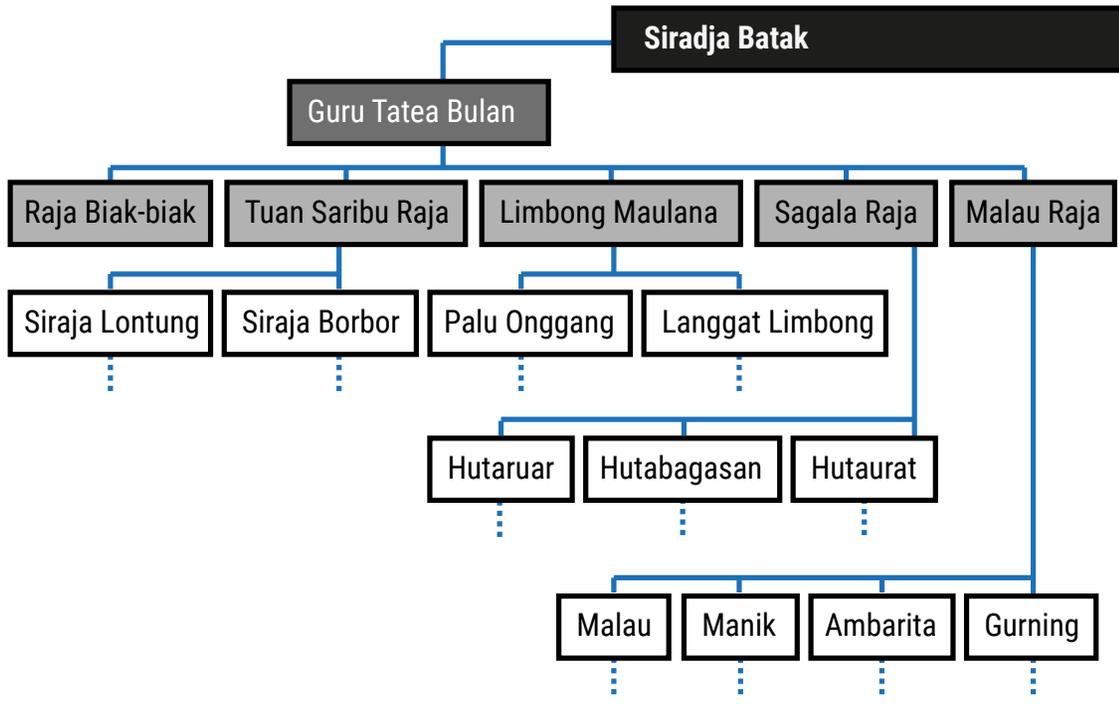
konsep *Dalihan Na Tolu* ini hula hula berkedudukan paling tinggi dan terhormat ketika ada upacara adat/pesta. Tuan rumah wajib mengundang dan melayani besan mereka yang telah rela memberikan anak perempuannya sebagai menantu.

Adentua SiRingoRingo, warga asli Batak, menceritakan apa pun upacaranya, besan dari menantu perempuan berkedudukan paling utama untuk dilayani di rumah pengundang. Betapa pemberi anak perempuan itu menjadi penting karena anak perempuan merekalah keturunan itu berlanjut untuk beranak cucu.

Tautan kekerabatan Batak memiliki prinsip “tampubolon aek do mardongan sabutuha”. Artinya, persaudaraan semarga itu seperti air. Meskipun terus menerus di potong, air itu tak pernah putus. Begitulah persaudaraan marga-marga Batak yang tetap akan kembali bertemu.

Kebetulan, sejumlah lokasi penelitian memiliki cerita yang menarik untuk menjadi pengetahuan, baik secara geologi maupun sosial dan budayanya. Ragam marga terukir di sekitaran tepian Danau Toba, termasuk Pulau Samosir. Berdasarkan referensi, lokasi yang terjadi dari dampak letusan Toba mempengaruhi budaya setempat seperti berkebun, pertanian, serta kontruksi rumah.

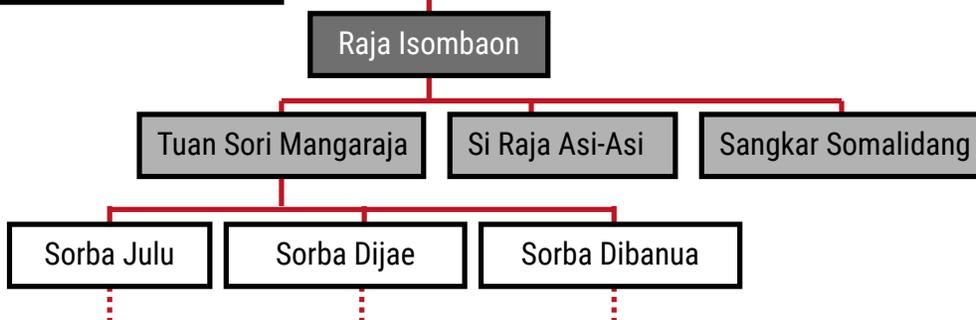
Soal pohon keturunan, istilah raja, saat ini berkaitan dengan garis keturunan marga leluhur. Orang Batak Toba memberi gelar kehormatan raja itu kepada opung atau kakek dalam garis patrilineal yang menjadi peletak dasar suatu marga. Po-



*Dalihan Na Tolu
Tungku Tiga Batu*



Siradja Batak



hon keturunan Siradja Batak ini membantu menjelaskan singkat soal marga. Hanya saja, pohon keturunan ini beredar beberapa versi. Penulis menyajikan secara sederhana dari beberapa sumber.

Kepercayaan orang Batak Toba, termasuk Batak Karo, mereka berasal dari keturunan Siradja Batak, yang lahir di Pusuk Buhit, sebelah ujung barat atas Danau Toba. Nah, sisi geografinya, lokasi Pusuk Buhit ini juga berada tidak jauh dari awal sejarah Kaldera Toba di 1,3 juta tahun lalu.

Salah satu legenda yang dikisahkan di buku Masyarakat dan Hukum Adat Batak Toba dari JC Vergouwen (2004), orang Batak mempercayai berasal dari keturunan Siradja Batak yang juga keturunan dewata. Ibu Siradja Batak, Si Borudeakparudjar, mendapat perintah dari Dewata Tertinggi (*Debata Muladjadi Nabolan*), untuk menciptakan bumi. Setelah tercipta, bermukimlah di Siandjurmulamula di lereng G. Pusuk Buhit. Lokasi ini oleh orang setempat dipercaya sebagai lahir dan tinggalnya Siradja Batak. Maka mungkin memang benar, seorang Batak menyebut anggota marganya dengan sebutan “dongan-sabutuha”, mereka yang berasal dari rahim yang sama. Ya, Siradja Batak.

Berkembanglah keturunan-keturunan itu. Pohon keturunan ini memperlihatkan adanya garis marga-marga. Beberapa marga mencapai lebih dari 20 generasi saat ini.

Leluhur Batak dan masih diyakini sampai sekarang, melarang perkawinan dalam satu garis marga. Hanya saja, perkawinan dalam satu garis warna yang sama dapat berlaku ketika adanya kesepakatan dan disetujui khusus secara adat.

Berketurunan bagi orang Batak merupakan cita-cita mewujudkan trilogi perjuangan hidup untuk mencapai kesejahteraan. Trilogi nilai dasar perjuangan orang Batak tersebut adalah *Hagabeon* itu beranak cucu, *Hamoroan* itu kekayaan, dan *Hasangapaon* itu kehormatan.

“Anggiat ma gabe nasida”

Semoga mereka beranak cucu

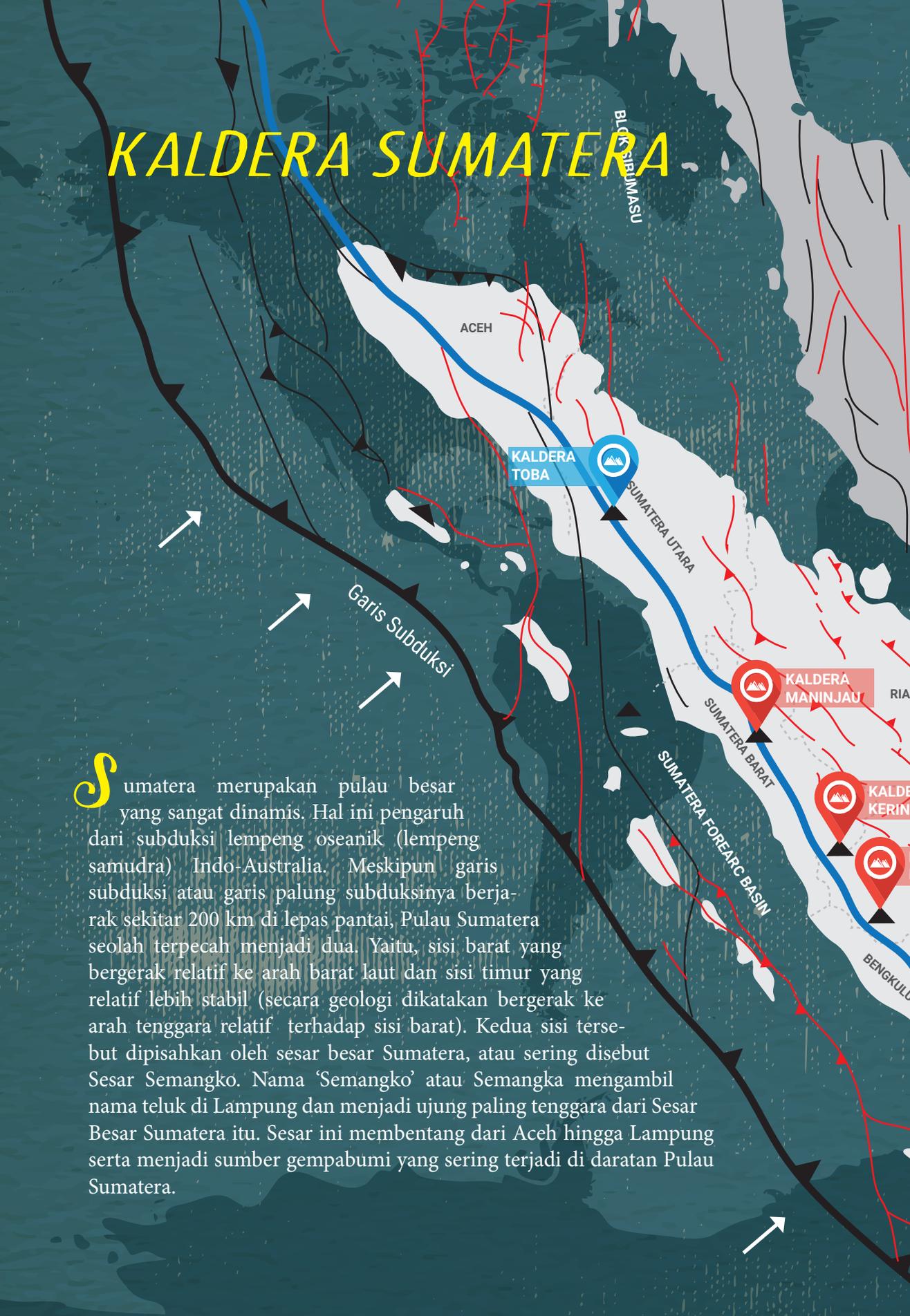
“Horas jala gabe”

Selamat sejahtera dan

banyak keturunan serta makmur

KALDERA SUMATERA

Sumatera merupakan pulau besar yang sangat dinamis. Hal ini pengaruh dari subduksi lempeng oseanik (lempeng samudra) Indo-Australia. Meskipun garis subduksi atau garis palung subduksinya berjarak sekitar 200 km di lepas pantai, Pulau Sumatera seolah terpecah menjadi dua. Yaitu, sisi barat yang bergerak relatif ke arah barat laut dan sisi timur yang relatif lebih stabil (secara geologi dikatakan bergerak ke arah tenggara relatif terhadap sisi barat). Kedua sisi tersebut dipisahkan oleh sesar besar Sumatera, atau sering disebut Sesar Semangko. Nama 'Semangko' atau Semangka mengambil nama teluk di Lampung dan menjadi ujung paling tenggara dari Sesar Besar Sumatera itu. Sesar ini membentang dari Aceh hingga Lampung serta menjadi sumber gempa bumi yang sering terjadi di daratan Pulau Sumatera.

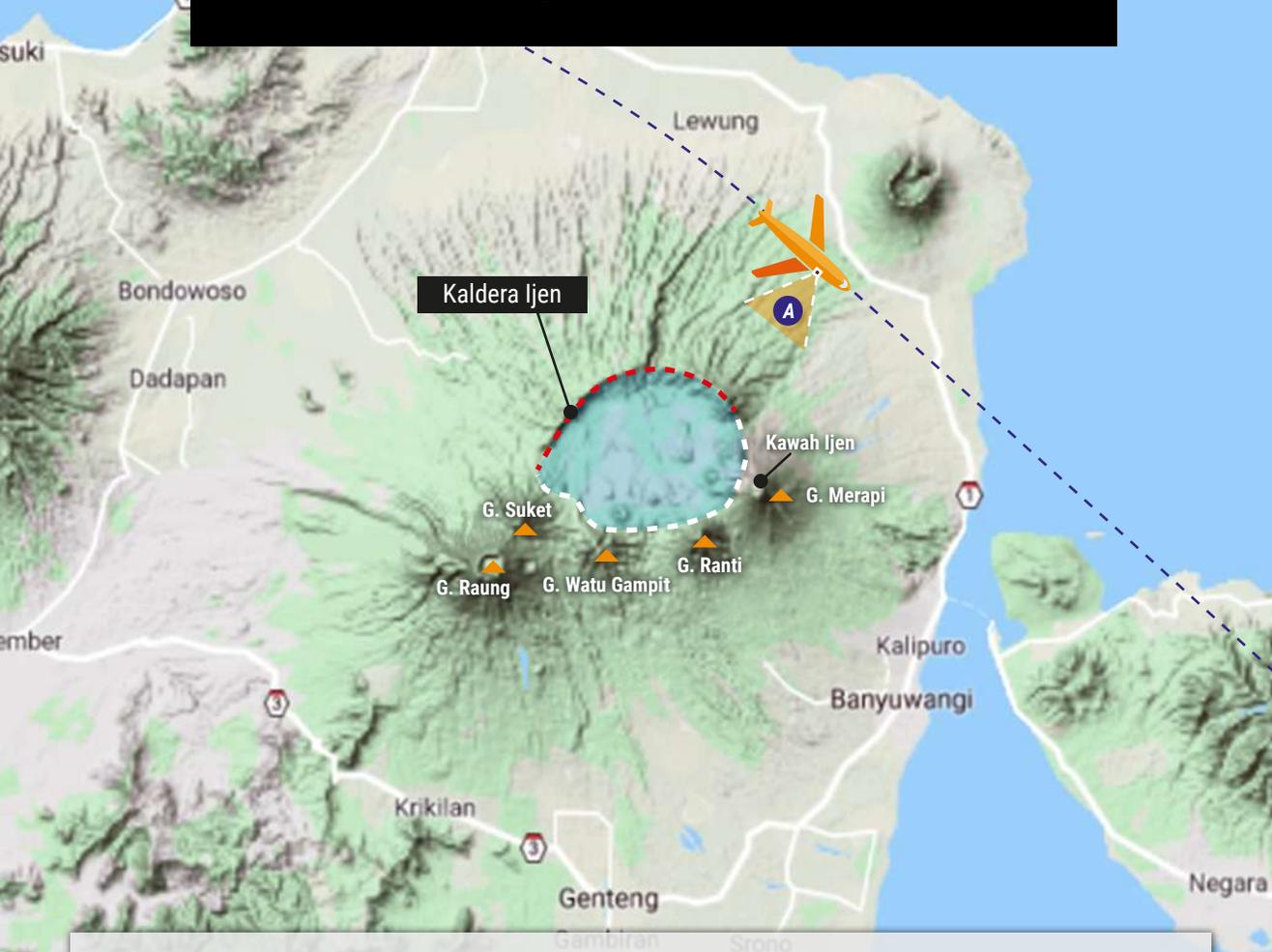


Proses subduksi membentuk magma di bawah permukaan bumi di sepanjang Pulau Sumatera. Selanjutnya konsentrasi magma di kedalaman ini yang akhirnya membentuk deretan gunungapi di sepanjang Pulau Sumatera. Dorongan dari proses subduksi yang tidak berhenti, selain memicu terbentuknya magma di kedalaman, juga membentuk deretan pegunungan Bukit Barisan, sekaligus membentuk Sesar Besar Sumatera yang sangat aktif.

Oleh adanya gabungan antara proses subduksi dan keberadaan Sesar Besar Sumatera, banyak terjadi konsentrasi magma dalam jumlah besar sehingga terbentuk dapur magma dengan ukuran yang luas. Dapur magma yang luas ini yang kemudian menjadi sumber terbentuknya kaldera-kaldera di sepanjang Pulau Sumatera seperti Toba, Maninjau, Masurai, Danau Kerinci, Suoh, Ranau, dan Krakatau. Sehingga ada kecenderungan bahwa di antara pulau-pulau di Indonesia, Sumatera ini menjadi pulau yang paling banyak memiliki kaldera.



Seluas apa **Kaldera** kita?



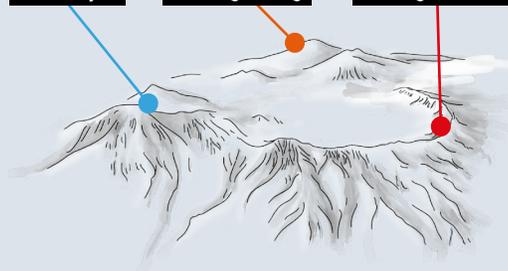
A KALDERA IJEN



Kawah Ijen

Gunung Raung

Lereng Kaldera

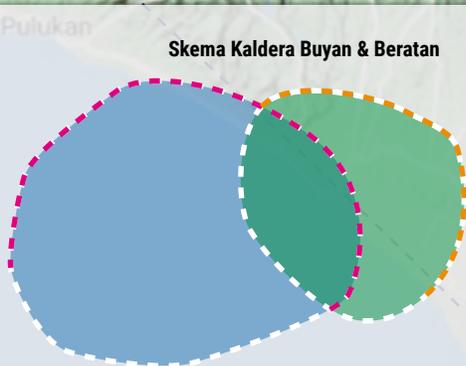
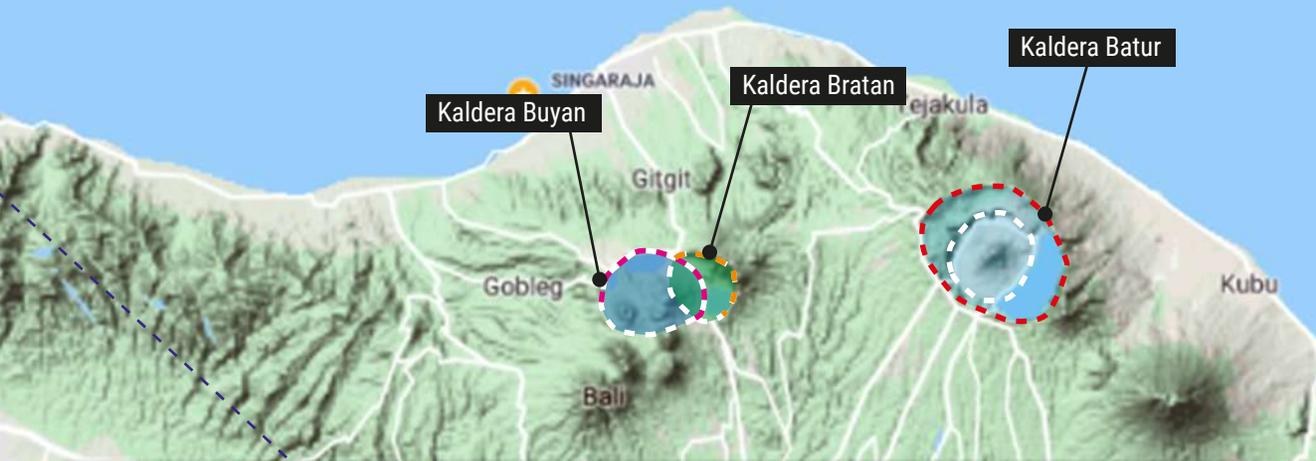
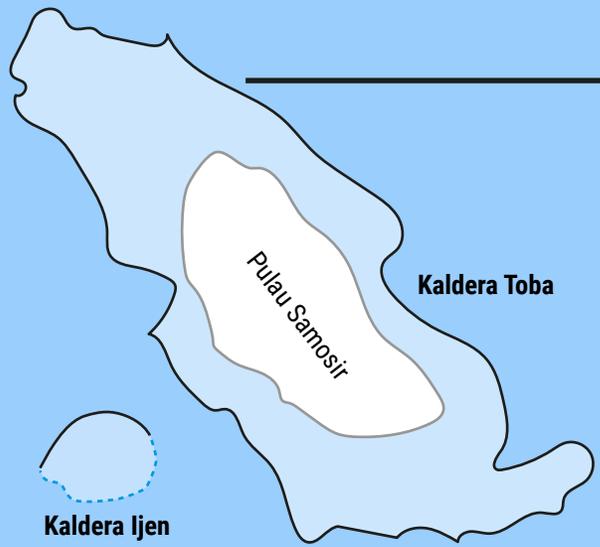


Kalau kita mengamati Kaldera Ijen, yaitu kaldera di wilayah Bondowoso dan Banyuwangi, Jawa Timur, kaldera ini mempunyai bentuk lingkaran kaldera yang tidak utuh melainkan hanya sisi utaranya yang masih nampak sebagai lingkaran kaldera. Sedang di sisi selatan, paling tenggara ditempati oleh kerucut vulkanik yang di mahkotai dengan adanya "Kawah Ijen", kemudian G.Ranti, G.Watugampit dan G.Suket. Artinya lingkaran kaldera sisi selatan telah tertumpuk oleh material deretan kerucut vulkanik tersebut. Namun demikian meskipun hanya tersisa di sisi utara, menunjukkan bahwa proses terjadinya letusan pembentuk kaldera ini terjadi sekali.

Tentang bentuk kaldera, lingkaran kaldera yang ideal utuh terlihat di Kaldera Batur, di

PERBANDINGAN LUAS BEBERAPA KALDERA

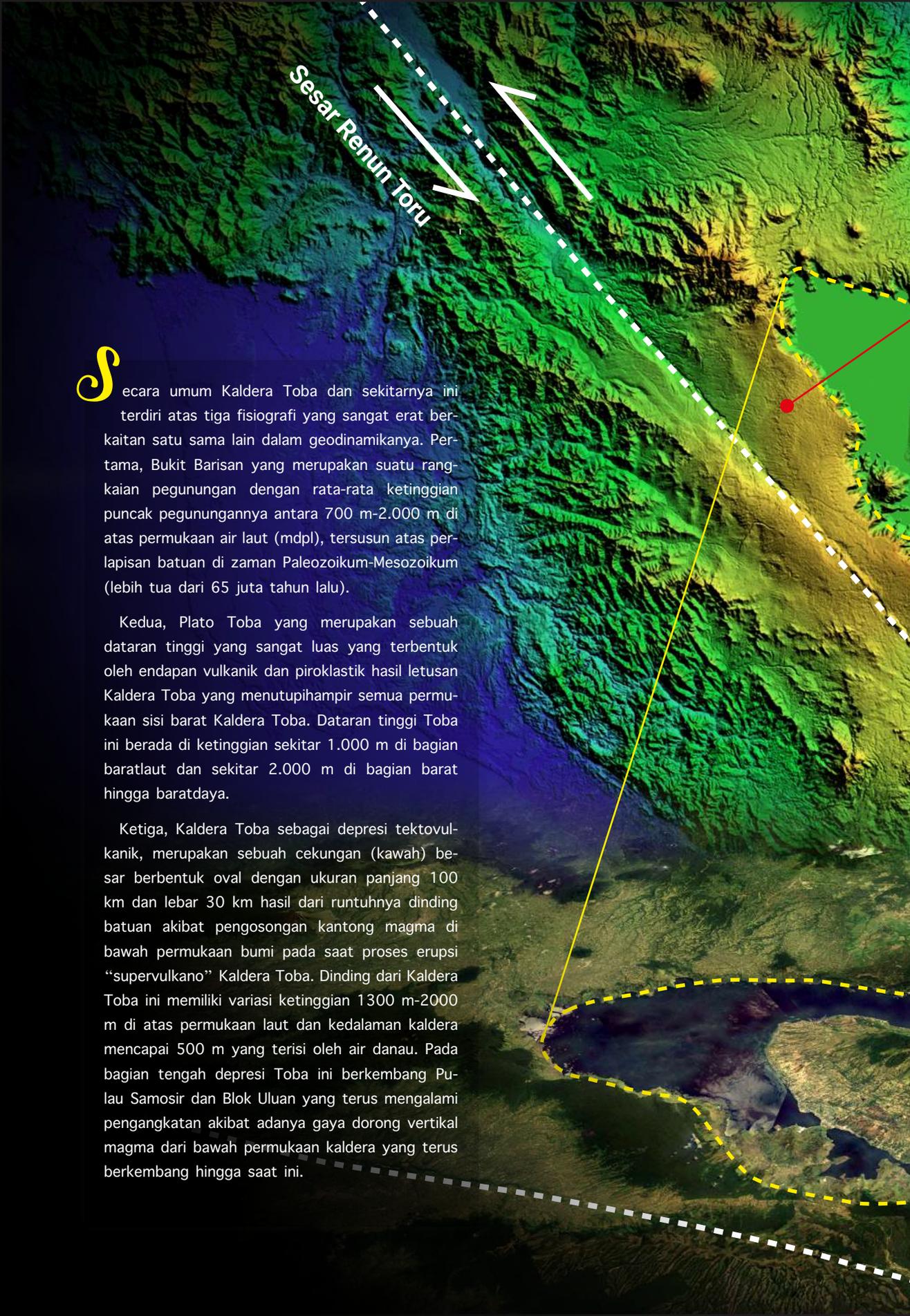
Kaldera Toba merupakan kaldera terbesar di Indonesia dengan ukuran mencapai 100 km x 30 km, yang terbentuk oleh 3 letusan super besar, dimana yang terakhir terjadi 74 ribu tahun yang lalu.



Kintamani, Kabupaten Bangli. Kejadian letusan besar pembentuk kaldera terjadi dua kali. Letusan yang kedua lebih kecil dan terjadi di tengah kaldera pertama, sehingga lingkaran kaldera pertama relatif tidak terganggu, dan membentuk dua lingkaran kaldera konsentrik.

Beda lagi dengan Kaldera Buyan-Bratan, di Bali, pada kaldera nampak ada dua lingkaran kaldera yang berpotongan, menunjukkan adanya dua kali proses letusan superbesar pembentuk kaldera. Letusan pertama membentuk Kaldera Buyan, yang saat ini ditempati danau Buyan dan letusan kedua membentuk Kaldera Bratan yang menjadi area dari Danau Bratan. Sama seperti di Kaldera Ijen, sisi selatan dari Kaldera Buyan-Bratan ditutupi oleh material produk letusan kerucut-kerucut vulkanik yang lahir kemudian.

Ketiga kaldera yaitu Kaldera Batur, Kaldera Buyan-Bratan dan Kaldera Ijen, apabila dibandingkan dengan Kaldera Toba, di Sumatera Utara, ketiganya dari sisi ukuran "gak ada apa-apanya".



Sesar Renun Toru

Secara umum Kaldera Toba dan sekitarnya ini terdiri atas tiga fisiografi yang sangat erat berkaitan satu sama lain dalam geodinamikanya. Pertama, Bukit Barisan yang merupakan suatu rangkaian pegunungan dengan rata-rata ketinggian puncak pegunungannya antara 700 m-2.000 m di atas permukaan air laut (mdpl), tersusun atas pelapisan batuan di zaman Paleozoikum-Mesozoikum (lebih tua dari 65 juta tahun lalu).

Kedua, Plato Toba yang merupakan sebuah dataran tinggi yang sangat luas yang terbentuk oleh endapan vulkanik dan piroklastik hasil letusan Kaldera Toba yang menutupihampir semua permukaan sisi barat Kaldera Toba. Dataran tinggi Toba ini berada di ketinggian sekitar 1.000 m di bagian barat laut dan sekitar 2.000 m di bagian barat hingga baratdaya.

Ketiga, Kaldera Toba sebagai depresi tektovulkanik, merupakan sebuah cekungan (kawah) besar berbentuk oval dengan ukuran panjang 100 km dan lebar 30 km hasil dari runtuhnya dinding batuan akibat pengosongan kantong magma di bawah permukaan bumi pada saat proses erupsi “supervulkano” Kaldera Toba. Dinding dari Kaldera Toba ini memiliki variasi ketinggian 1300 m-2000 m di atas permukaan laut dan kedalaman kaldera mencapai 500 m yang terisi oleh air danau. Pada bagian tengah depresi Toba ini berkembang Pulau Samosir dan Blok Uluan yang terus mengalami pengangkatan akibat adanya gaya dorong vertikal magma dari bawah permukaan kaldera yang terus berkembang hingga saat ini.

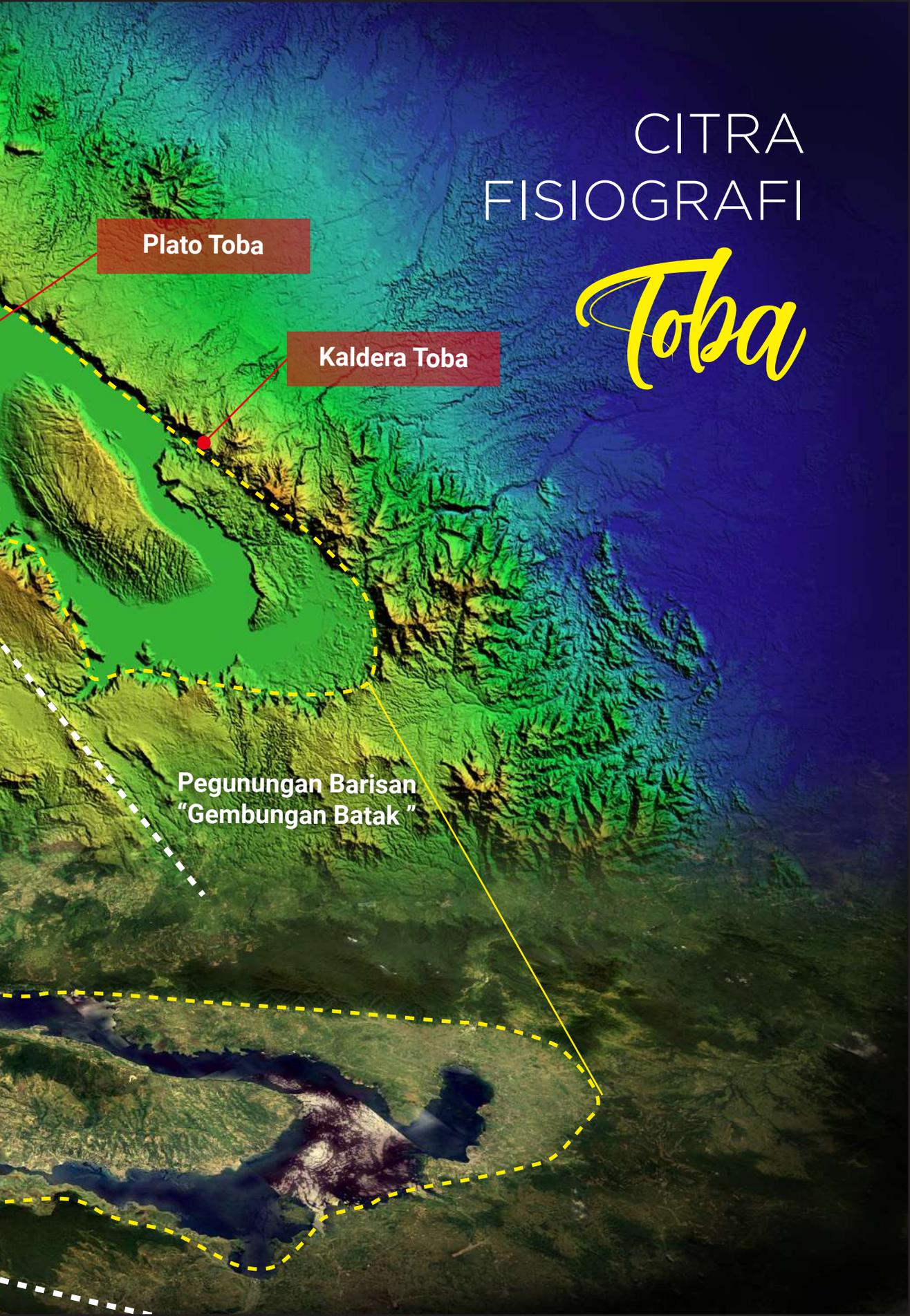
CITRA FISIOGRAFI

Toba

Plato Toba

Kaldera Toba

Pegunungan Barisan
"Gembungan Batak"





GEMBUNGAN BATAK VAN BEMMELEN

Van Bemmelen, geolog Belanda yang bernama Reinout Willem Van Bemmelen. Ia lahir tahun 1904, di Batavia atau Jakarta saat ini. Ayahnya menjabat Kepala Kantor Meteorologi, Magetik dan Seismologi di Pemerintahan Hindia Belanda, sekarang Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG).

Nah, Van Bemmelen inilah orang pertama yang mendeskripsikan adanya Kaldera Toba. Deskripsinya lengkap termuat dalam bukunya, “The Geology of Indonesia” terbitan tahun 1949, ketika usianya 45 tahun. Buku ini begitu fenomenal.

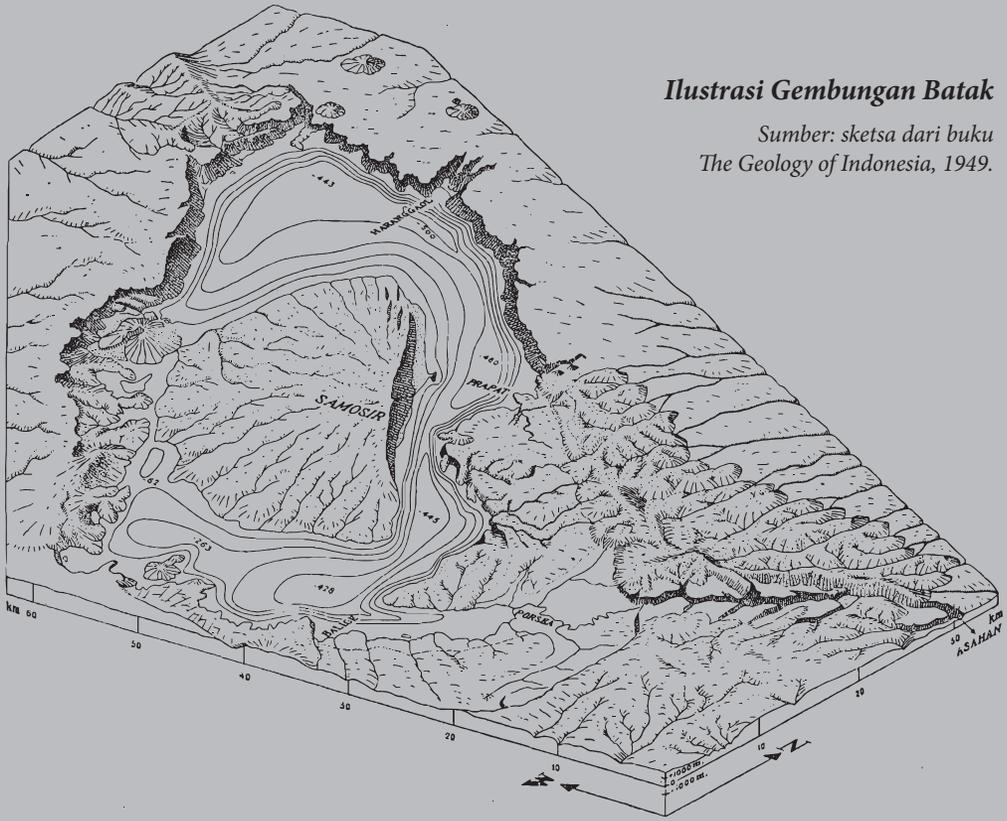
Dalam buku itu, geolog Belanda ini banyak menyebut istilah “Batak Tumor”. Batak Tumor ini menjelaskan adanya perubahan bentuk permukaan bumi di wilayah Sumatera Utara.

Guna mempermudah pembaca memahaminya buku ini, penulis memilih mengganti istilah Batak Tumor dari Van

Bemmelen menjadi “Gembungan Batak”, tentunya, tanpa mengurangi pemahaman konsep geologinya.

Gembungan ini seperti gambaran imajiner yang dapat dibayangkan antara sebelum dan sesudah adanya letusan superbesar pembentuk Kaldera Toba seperti sekarang. Wilayah yang saat ini ditempati Kaldera Toba bisa jadi adalah sebuah dataran tinggi (plato) yang cukup luas dan terdapat beberapa bukit yang menjulang lebih tinggi.

Saat ini, jejak dataran tinggi pra-kaldera “Gembungan Batak”, masih dapat dikenali dengan adanya perbukitan di beberapa lokasi. Bukit itu ketinggian berkisar 2.000 mdpl, di antaranya G. Sibuatan (2.457 mdpl) sebelah barat laut Toba, G. Pangulubao (2.151 mdpl) sebelah timur Toba, G. Surungan (2.173 mdpl) di tenggara Toba, dan G. Uludarat (2.157 mdpl) di barat Toba.



Kalau kita lihat lebih luas dari atas, sebenarnya nampak dua gembungan di Sumatera bagian utara. Yaitu, Gembungan Batak dan Gembungan Aceh (gambar hal. 16) yang kurang lebih hampir sama bentuk dan ukurannya, meskipun yang di Aceh tidak ada kaldera seperti di Toba. Nampak terlihat bahwa kedua Gembungan itu dipotong atau dilalui oleh Sesar Besar Sumatera yang memanjang dari Aceh sampai di Lampung. Segmen Sesar Sumatera di wilayah Sumut di area Toba ini disebut sebagai Sesar Renun-Toru.

Sebelumnya, lebih dari 5 juta tahun lalu, gembungan-gembungan itu belum terbentuk. Belum ada akumulasi magma dan kompresi tektonik yang mampu mengangkat permukaan bumi. Baru pada masa Pliosen-Plistosen, kurang dari 5 juta tahun lalu, pengembungan terjadi karena tekanan tektonik dan akumulasi magma di kedalaman dalam volume yang



Van Bemmelen

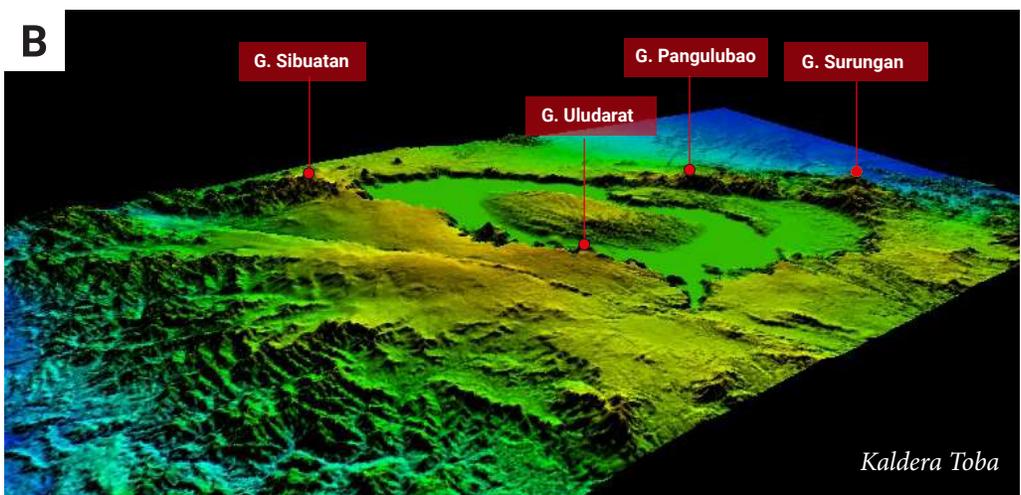
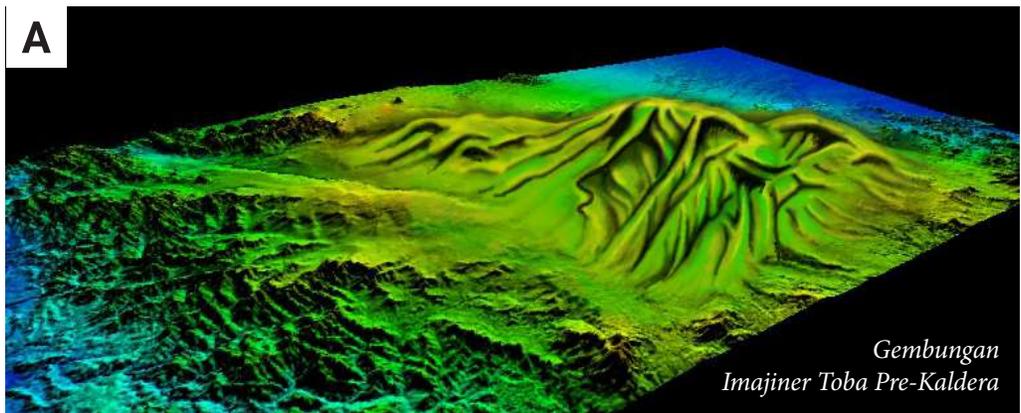
sangat besar yang kemudian membentuk Gembungan Batak. Magma yang ada di bawah gembungan semakin bersifat asam dan semakin tinggi tekanannya sehingga memicu letusan letusan super besar yang akhirnya membentuk Kaldera Toba.

Terjadi akumulasi magma yang sangat besar dan letusan-letusan super besar itu sangat dipengaruhi oleh adanya aktivitas Sesar Renun-Toru sehingga Kaldera Toba yang terbentuk secara

geologi juga dikenal sebagai proses depresi tektono-vulkano, gabungan dari efek magma (vulkanik) dan efek sesar (tektonik).

Karena letusannya superbesar itu akhirnya menghasilkan Kaldera Toba yang saat ini terisi oleh air menjadi Danau Toba dan yang ditengahnya kemudian lahir Pulau Samosir yang terus aktif terangkat karena dorongan magma yang masih ada di bawahnya.

MORFOLOGI “**IMAJINER**” GEMBUNGAN BATAK



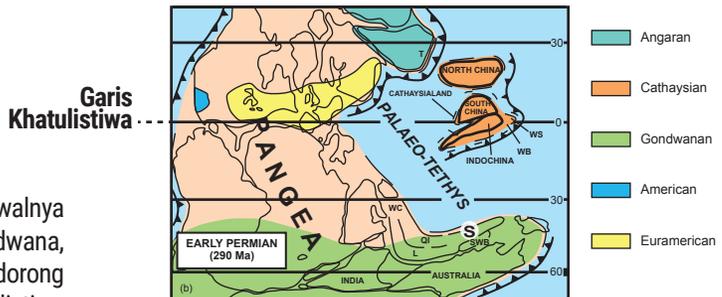
Timeline Sumatera

Juta Tahun Yang Lalu

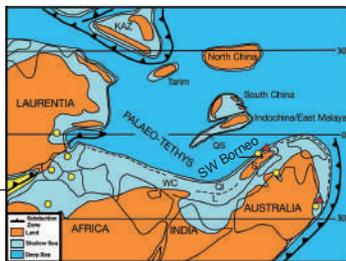


Pada Awal Perem, berdasarkan fosil flora yang ditemui, Kepulauan Cathaysia terbukti berada di seputaran garis khatulistiwa dengan iklim tropis. Blok Sibumasu (S) yang semula bersama Benua Gondwana berada di lingkungan Kutub Selatan, mulai memisahkan diri dan terdorong ke utara pada Awal Periode Perem mengiringi terbentuknya samudera baru Meso Tethys.

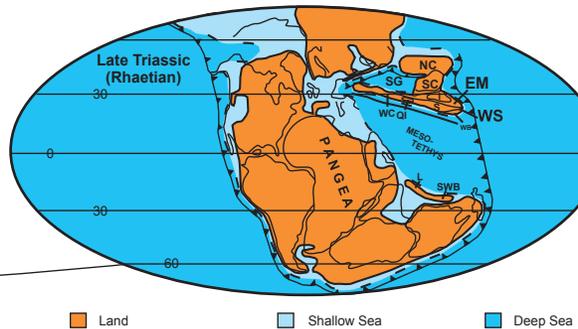
Peta Jenis Tumbuhan di Periode Perem



Kepulauan Cathaysia yang awalnya menyatu dengan Benua Gondwana, pada masa Periode Devon, terdorong ke utara mengarah ke khatulistiwa mengiringi terbukanya Samudera baru Pale Tethys.



Pada awal Periode Karbon, Blok Sibumasu dan Blok Argo (SW Borneo) masih menyatu di Benua Gondwana.



Pada akhir Periode Trias, blok daratan Sibumasu bergabung menyatu ke Blok Malaya Timur (EM) dan Blok WS. Blok-blok tersebut tergeser ke sebelah utara khatulistiwa.

Juta Tahun Yang Lalu

200

150

100

50

0

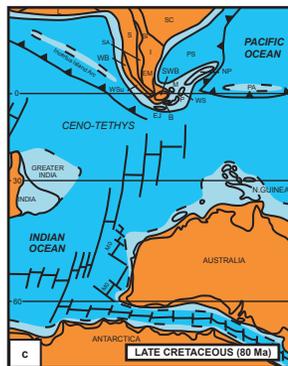
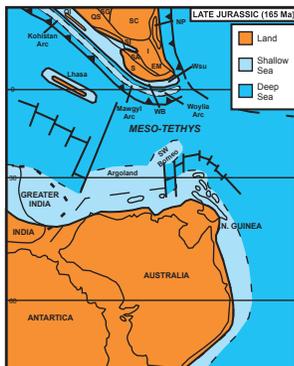
JURA

KAPUR

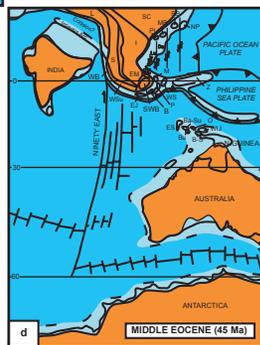
TERSIER

KUARTER

Pemekaran terus berlangsung dengan proses pemisahan kontinen India dari Benua Gondwana yang berlangsung mulai akhir Periode Trias hingga akhir Periode "Kapur". Peristiwa ini semakin menyempurnakan pembentukan Samudera Meso Thetys dan Ceno Tethys serta menggeser blok-blok penyusun Sumatera kembali pada posisi khatulistiwa. Pada akhir Periode "Kapur", pulau Sumatera sudah terbentuk seperti yang ada sekarang.

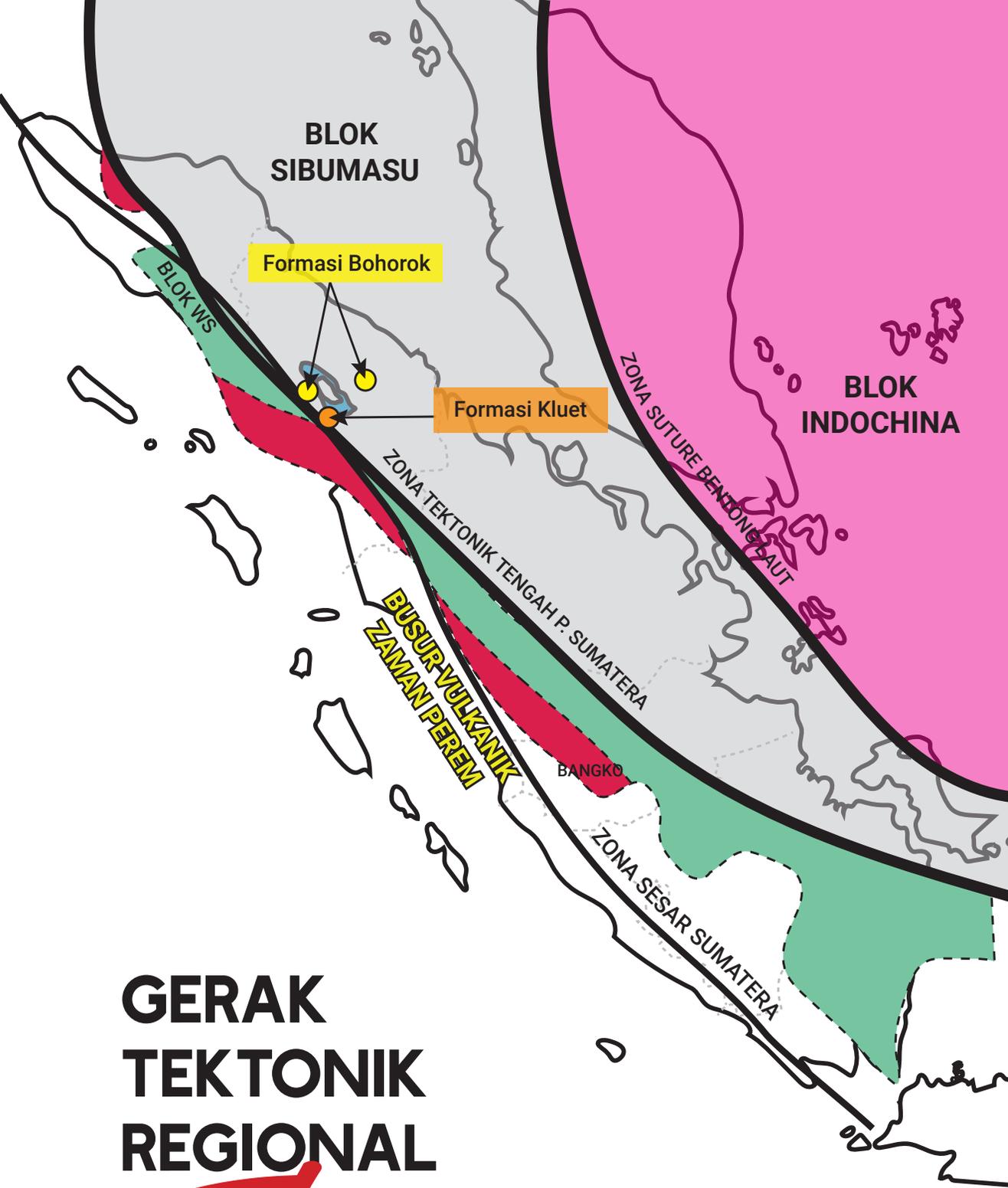


Di masa Tersier, mulai terbentuk subduksi sepanjang Sumatera yang menyebabkan terbentuknya Bukit Barisan, busur gunungapi sepanjang Pulau Sumatera. Gunung Api tersebut aktif dari Tersier hingga saat ini.



Pada tengah Periode Paleogene, kontinen India mulai menumbuk Asia dan membentuk Himalaya. Geodinamika ini mengakibatkan munculnya Sesar Besar Sumatera.

Sumber: Metcalfe, 2011



**GERAK
TEKTONIK
REGIONAL**
Toba





Perbukitan Sumatera di Harian, Kabupaten Samosir.

Secara geologi, Pulau Sumatera merupakan bagian dari dataran Benua Eurasia yang ada di bagian Asia Tenggara. Terdapat blok-blok besar, pecahan dari lempeng besar Eurasia, di wilayah tersebut, yaitu Blok Indochina, Blok Sibumasu (Siam, Burma, Malaysia, dan Sumatera), Blok West-Sumatra (WS).

Batuan tua dari wilayah Toba merupakan bagian dari Blok Sibumasu. Blok ini tersusun oleh himpunan batuan sedimen metamorf di era Karbon-Perem (250-350 juta tahun lalu), yang dalam istilah geologi, merupakan anggota dari Formasi Bohorok dan Formasi Kluet.

Kedua formasi ini terbentuk, ketika Sibumasu masih di dasar laut. Endapan sedimen laut menjadi ciri dari Blok Sibumasu, termasuk Formasi Bohorok dari laut dalam dan Kluet dari laut dangkal.

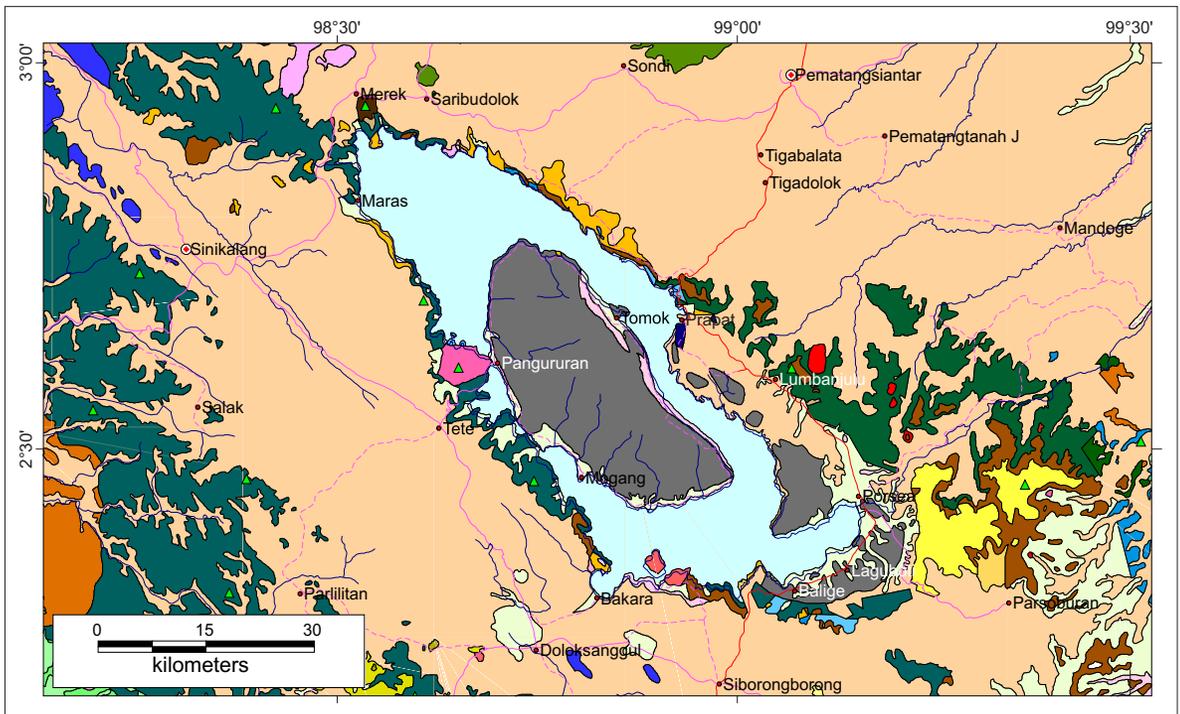
Pada era Trias (230 juta tahun lalu), beberapa wilayah perairan dangkal tumbuh terumbu karang yang membentuk batuan formasi batu gamping. Di Toba, batuan ini ditemui di batu gamping “Batu Gantung”, di Parapat.

Proses geodinamika penting di wilayah Asia Tenggara itu adanya subduksi antara lempeng Samudra IndoAustralia dan lempang Benua Eur-

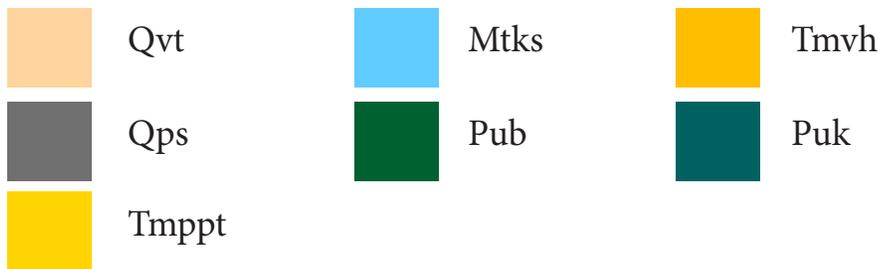
asia “Sundaland”. Kecepatan gerak lempeng IndoAustralia arah utara dengan laju sekitar 5-6 cm per tahun. Proses tumbukan ini secara perlahan mengangkat dataran Sibumasu ke permukaan laut dan menjadi daratan yang membentuk Pulau Sumatera serta deretan pulau-pulau Nias dan Mentawai.

Tumbukan subduksi IndoAustralia dan Eurasia ini yang menjadikan terbentuknya deretan pegunungan Bukit Barisan sepanjang Sumatera dengan gunungapi aktifnya. Sumatera pun menjadi aktif bergerak sehingga banyak gempa bumi, letusan gunungapi, gerakan tanah. Gerakan ini berpotensi bencana sehingga memerlukan upaya mitigasi.

Nah, 1-2 juta tahun lalu, aktivitas geodinamika membentuk patahan besar Sesar Sumatera. Zona patahan ini terletak di bagian barat Kaldera Toba yang dikenal sebagai segmen Sesar Renun-Toru. Garisnya berada sepanjang 200 km di tengah dan sejajar Pulau Sumatera. Kecepatan gerak patahan pada segmen ini, yaitu bagian barat bergerak ke utara barat laut, diperkirakan mencapai 2,3 cm per tahun.



Keterangan :



FORMASI *Toba* BATUAN TUA

Pre-Kaldera Toba

- Batuan Pebbly Mudstone Formasi Bohorok Paleozoikum
- Batugamping Mesozoik
- Batuan sedimen dan gunungapi Miosen

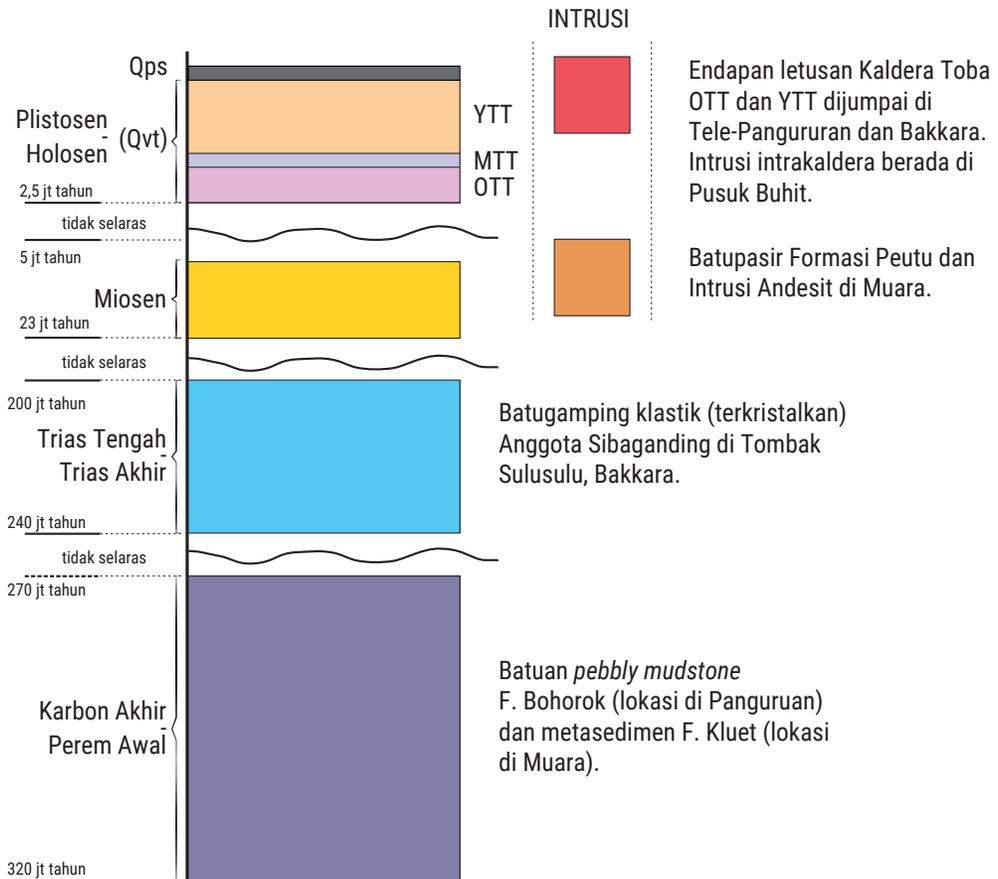
Syn-Kaldera Toba

- Endapan gunungapi Kaldera Toba; Old Toba Tuff (OTT), Middle Toba Tuff (kecil), dan Young Toba Tuff (YTT)

Post-Kaldera Toba

- Resurgent Dome Samosir
- Gunungapi Aktif Pusuk Buhit
- Kubah Dasit di beberapa tempat

Stratigrafi sederhana batuan di bagian barat dinding Kaldera Toba



Di peta geologi terlihat bahwa sebagian wilayah Toba tertutup oleh endapan Tuf hasil letusan Toba di 74.000 tahun lalu (warna muda di gambar). Di beberapa tempat tersingkap batuan yang lebih tua. Dari zaman terbentuknya, batuan dikelompokkan menjadi empat yaitu: Runtunan Batuan Paleozoikum (Pub, Puk), Runtunan Batuan Mesozoikum (Mtk), Runtunan Batuan Miosen (Tmvh, Tmppt), Runtunan Batuan Plistosen-Holosen (Qvt,

Qps). Seluruh batuan tersebut tersingkap baik di hampir seluruh tempat di sekitar Kaldera Toba, terutama sebelah barat dan timur Kaldera Toba.

Batuan Formasi Bohorok dan Kluet, yang merupakan bagian dari Blok Sibumasu (batuan dasar pembentuk Pulau Sumatera) dapat di temui di bagian bawah dari tebing-tebing Kaldera Toba yang ada di sisi Barat dan Porsea.



▲ Jejak fosil burrow dan cetakan fosil Crinoid pada metasedimen Formasi Kluet

Perlapisan metasedimen batupasir Formasi Kluet ▶



▲ Fragmen dropstone pada pebbly mudstone Formasi Bohorok

◀ Metasedimen Formasi Bohorok di Simpang Limbong

Batuan Paleozoikum, Batuan dasar Pembentuk P. Sumatra

Runtunan Batuan Paleozoikum disusun oleh batuan metasedimen (batuan sedimen yang termetamorfosa), Formasi Bohorok dan Kluet yang berumur Karbon Akhir-Perem Awal (320-270 juta tahun yang lalu). Keduanya memiliki lingkungan pengendapan laut dalam dan sedang.

Formasi Bohorok tersingkap baik di daerah Pangururan, sebelah barat Kaldera Toba, berupa batuan yang khas dikenal

sebagai *pebbly mudstone* atau batu lumpur kerikilan. Batuan ini menjadi khas karena mengandung fragmen batuan berukuran 4-10cm berasal dari pemekaran benua es (kutub). Pecahan-pecahan batuan benua es yang ada jatuh di dasar laut sebagai dropstone. Memang, batuan pembentuk Pulau Sumatera yang disebut Blok Sibumasu (Bohorok dan Kluet) asalnya merupakan pecahan dari kutub selatan dan berciri sebagai batuan yang terbentuk di dekat kutub.



▲
*Batugamping Formasi Sibaganding berumur Meso-
zoikum di Tombak Sulusulu Bakkara*



▲
*Kehadiran rijang bersama dengan batugamping
Mesozoikum Formasi Sibaganding*

Formasi Kluet tersingkap baik di bagian barat Kaldera Toba, di daerah Muara menuju ke arah Bakkara. Batuan formasi ini berupa perlapisan batupasir kuarsa berwarna kekuningan pecah-pecah dan batu-lanau termetamorfosa derajat rendah. Perlapisannya nampak sejajar. Pada batuan Kluet ini dijumpai jejak-jejak fosil burrow dan fragmen fosil crinoid sebagai

bukti bahwa batuan ini terbentuknya di dasar laut.

Meskipun batuan Formasi Bohorok dan Kluet terbentuk di era yang sama, yaitu di zaman Paleozoikum, ciri khas yang berbeda dari Formasi Bohorok dan Kluet tersebut mempermudah geolog membedakan keduanya.

▼
*Batuan Miosen - Lava andesit
Formasi Gunungapi Haranggaol*





Batu Gantung, Parapat. Foto oleh Nurlina Maharani

Batu Kapur Sibaganding, Si Batu Gantung Parapat

Kalau kita mau menyeberang dari Parapat ke Tuk-Tuk di Pulau Samosir, beberapa menit kapal ferry lepas dari dermaga Parapat, tengok kanan, terlihat batuan putih di tebing kaldera. Batuan ini juga dikenal sebagai Batu Kapur Sibaganding yang terkenal dengan Batu Gantung Parapatnya.

Batu gamping, dari asalnya, merupakan hasil pengendapan proses di terumbu karang. Sehingga apabila ditemui batu gamping, itu berarti bahwa di masa lalu daerah tersebut pernah berupa laut dangkal. Maknanya, tentunya Pulau Sumatera belum terbentuk. Kapan itu...? Batu gamping Sibaganding terbentuk di era Trias, sekitar 250-200 juta tahun lalu. Batu gamping jenis yang sama juga dapat dijumpai sebelah utara Pusuk Buhit, di sebelah barat Kaldera Toba. Kita dapat juga temui di Bakkara, tepatnya di Tombak Sulusulu yang hadir sebagai singkapan tidak terlalu besar, dimana di bawahnya nampak batuan metasedimen batupasir dari Formasi Kluet (Sibumasu).

Batu gamping yang ada awalnya terbentuk di dasar laut dangkal ini, oleh proses geodinamika Sumatra, khususnya

proses Subduksi IndoAustralia – Eurasian, akhirnya terangkat ke permukaan menjadi daratan, bersamaan dengan terbentuknya Bukit Barisan.

Batuan Miosen,

Batuan dari Awal daratan Sumatera

Di era ini, sekitar 23 juta tahun lalu, daratan Pulau Sumatra sudah terbentuk, awal adanya Bukit Barisan yang menghasilkan proses endapan sedimen sungai, pantai dan laut dangkal. Misalnya di daerah Muara di tepian Danau Toba, dapat ditemui singkapan perselingan batupasir dan batulanau, yang di geologi disebut sebagai Formasi Peteu.

Batupasir Peteu bersifat gampingan (kecampuran batu gamping) ditemui di utara Parapat, di timur kaldera Toba dan mengandung fosil foraminifera sebagai ciri bahwa terjadinya pengendapan di laut dangkal.

Namun batupasir yang dijumpai di daerah Muara, bagian barat kaldera, bersifat non-karbonatan; tidak ada unsur campuran gamping dan tidak ditemukan foraminifera yang menandakan bahwa terbentuknya di lingkungan pengendapan sungai (fluvial).



Batuan Miosen - Perselingan batupasir dan batulanau Formasi Peteu



Batuan Miosen - Lava andesit Formasi G. Haranggaol

Pada era ini juga sudah ada gunungapi, yaitu G. Haranggaol. Saat ini, gunung-api ini sudah tidak ada atau mati dan hanya tersisa endapan hasil letusan ketika masih aktif dahulu. Contoh batuan endapannya berupa batu lava andesit di pinggir jalan sebelum memasuki wilayah Bakkara dari arah Muara.

Batuan di Era Sebelum dan Sesudah Kaldera

Di era baru, yaitu zaman Pliosen-Holosen, gunungapi pra-kaldera sudah aktif. Gembungan Batak sudah terbentuk. Singkapan lava andesit dengan tebal mencapai 500 m tampak di daerah dekat Sipiso-Piso; endapan lava dari gunungapi, terjadi sekitar 1,3 juta tahun, sebelum Kaldera Toba terbentuk, termasuk juga ada batuan Tuf Dasitik Haranggaol (HDT) setebal 100 m berupa tuf padat terelaskan dari 1,2 juta tahun lalu. Tuf ini tersingkap di daerah antara Haranggaol dan Tigaras. Hampir di seputaran Kaldera Toba, permukaan didominasi oleh batuan gunungapi produk hasil beberapa fase letusan, mulai yang tua hingga letusan supervolcano Kaldera Toba atau YTT.



G. Pusuk Buhit sebagai gunungapi intrakaldera muncul sesudah kaldera terbentuk



◀ *Endapan OTT di Bakkara*



Endapan YTT di Bakkara ▶



◀ *Lava Dasit Pusuk Buhit di Sigulatti*

G. Pusuk Buhit dari Tele Pangururan ▼



MUARA



- 1** Metasedimen berumur Paleozoikum yang menunjukkan adanya jejak fosil berupa burrow dan fragmen berukuran kerakal merupakan bagian dari Formasi Bohorok
- 2** Batupasir Formasi Peutu berumur Miosen ini terendapkan pada lingkungan fluvial sebelum letusan Kaldera Toba yang berhubungan dengan proses sedimentasi pada cekungan "intramountain".
- 3** Lava andesit bagian dari Formasi Andesit Haranggaol merupakan produk gunungapi sebelum letusan Kaldera Toba
- 4** Endapan YTT di Hutaginjang sebagai lokasi panoramic view point.



Area persawahan dengan latar belakang tebing dinding kaldera di Muara



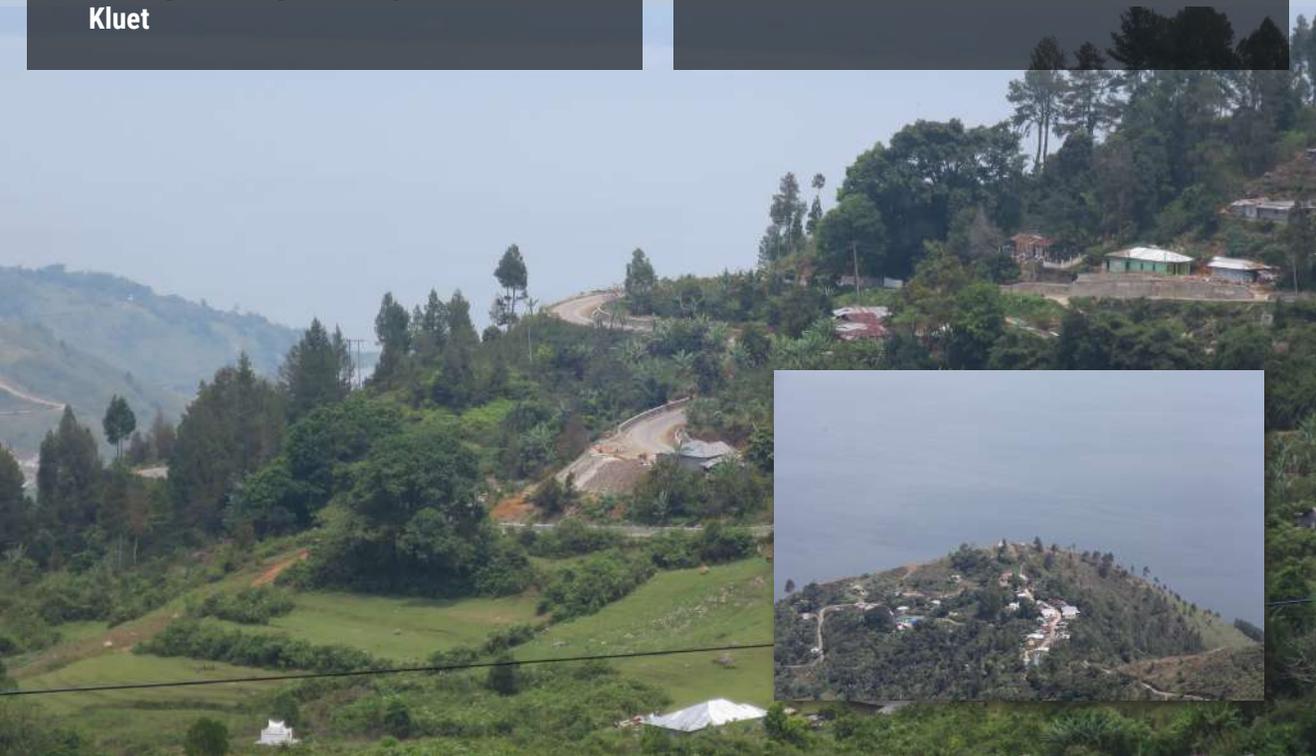
Morfologi perbukitan dinding kaldera bagian barat di Muara



Kenampakan fosil burrow (bekas penggalian organisme) pada batupasir Formasi Kluet



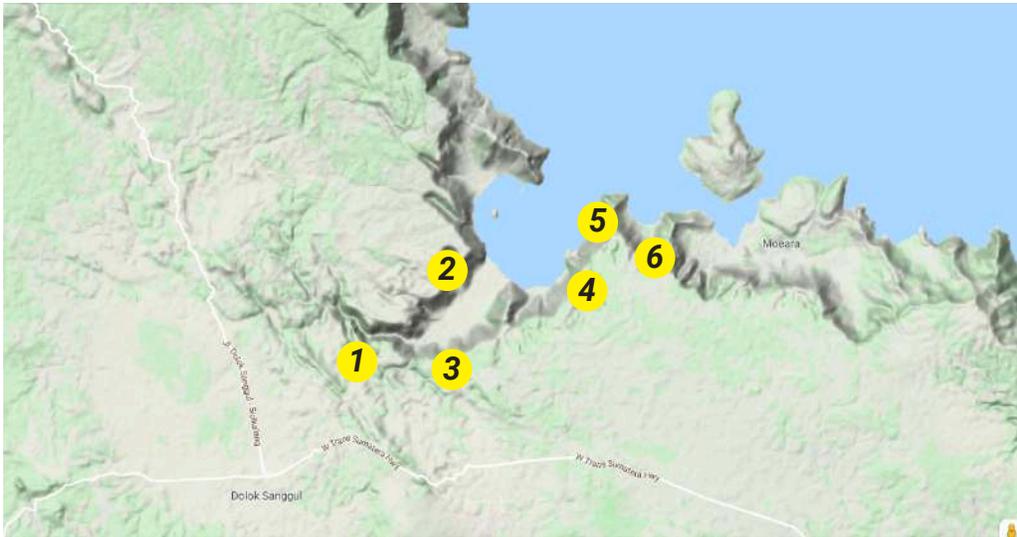
Secara setempat dijumpai struktur sedimen load cast di Formasi Kluet



BAKKARA

Bakkara adalah wilayah Kabupaten Humbang Hasundutan, tepian Danau Toba, yang terkenal sebagai sebagai kelahiran Raja Sisingamangaraja I. Dulunya, Bakkara sebagai pusat pemerintahan Kerajaan Toba. Lembah-lembah perbukitan-nya menjadi pemandangan indah.

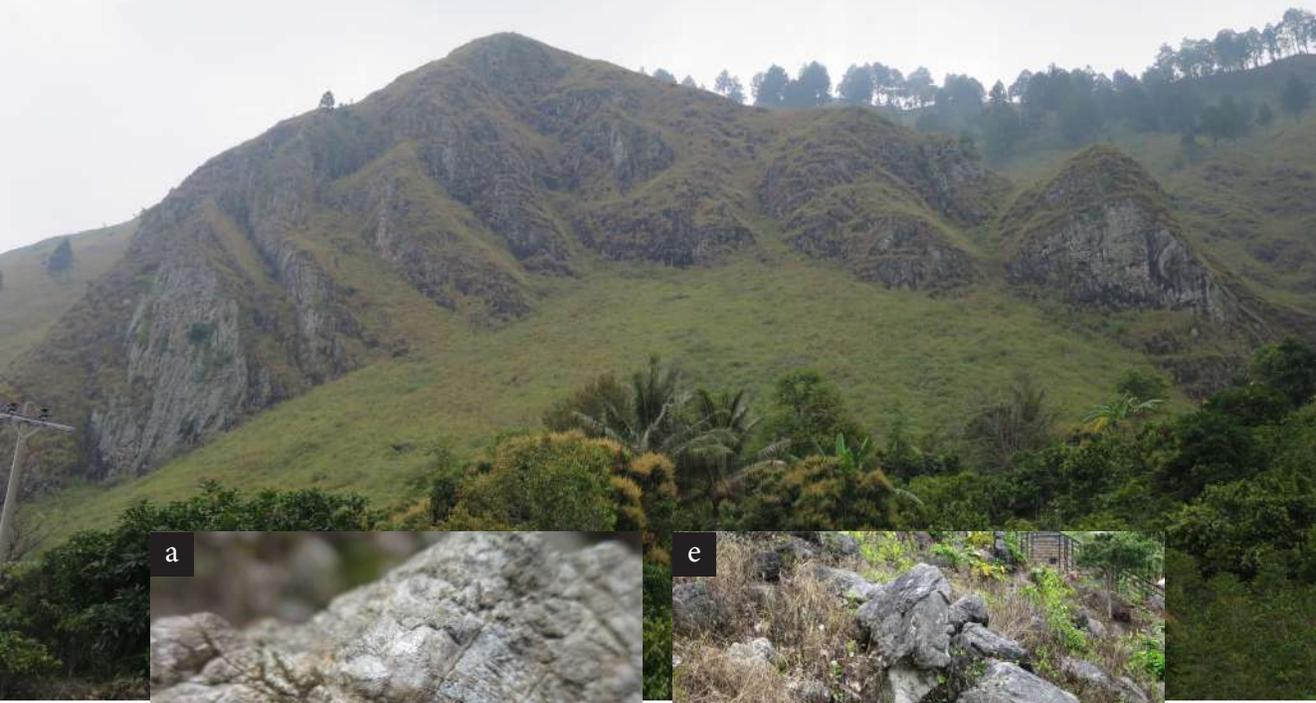
Lembah ini terbentuk oleh aliran air atau sungai dari perbukitan yang tinggi, mengalir menuju ke Danau Toba. Kalau dari sisi geologi, area ini menjadi penting. Karena sejarah geologi dapat diamati di lokasi-lokasi yang terdapat di area ini (beberapa foto terlampir).



- 1** Endapan OTT YTT di lokasi Panatapan Lemba Bakkara
- 2** Tombak Sulu-Sulu merupakan bukit terisolir yang tersusun oleh jendela singkapan batugamping berumur Mesozoikum (setara dengan batugamping Formasi Sibaganding di bagian timur Kaldera Toba). Lokasi ini merupakan tempat kelahiran, tempat bertapa Raja Sisingamangaraja I.
- 3** Istana Makam Raja Sisingamangaraja; terdapat beberapa rumah adat Batak, istana makan Raja Sisingamangaraja XI dan XII.
- 4** Endapan OTT di Bakkara yang terdapat air terjun Aek Sipangolu dimana air terjun ini merupakan sumber air bagi cerita sejarah Raja Sisingamangaraja.
- 5** Kekar lembar dari Formasi Andesit Haranggaol merupakan produk gunungapi sebelum letusan Kaldera Toba
- 6** Endapan OTT dan YTT di Baktiraja, Bakkara

Keterangan gambar (hal. 35)

- a. Kenampakan fosil koral pada batugamping Mesozoik di Tombak Sulu-Sulu*
- b. Breksi vulkanik berumur Miosen di Baktiraja*
- c. Endapan letusan kaldera YTT di Bakkara*
- d. Peggalan bongkah batugamping yang membentuk gua di Tombak Sulu-Sulu*
- e. Bongkah Batugamping Mesozoik di Tombak Sulu-Sulu*





DARI TELE KE PANGURURAN

1 Lava masif dan banded dasit yang merupakan bagian dari Kubah Dasit Pusuk Buhit yang terdapat di daerah Sigulatti, Kec. Sianjur Mula-Mula, Kab. Samosir. Daerah ini dikenal sebagai perkampungan raja-raja Batak yang diyakini asal-muasal Siradja Batak.

2 Endapan OTT dan YTT di Tele-Pangururan

3 - 4

Metasedimen *pebbly mudstone* berumur Paleozoikum (350 juta tahun lalu) ini menunjukkan adanya fragmen dropstone sebagai penciri erosi dari endapan es bagian dari F. Bohorok. Batuan ini merupakan bagian dari Blok Sibumasu.

Keterangan gambar (hal. 37)

a. Batuan lava dasit di kaki

G. Pusuk Buhit, barat Sianjur Mula-Mula

b. Endapan YTT di daerah Tele-Pangururan

c. Fragmen batu dropstone pada metasedimen F.Bohorok

d. Singkapan batuan metasedimen F.Bohorok

e. Endapan OTT di daerah Tele-Pangururan

f. Endapan YTT di daerah Tele-Pangururan

g. Endapan YTT akibat aktifitas hidrotermal di daerah Tele

h. G. Pusuk Buhit



Pesona Tele-Pangururan

Perkampungan Si Raja Batak di Sigulatti





MUNCULNYA PULAU *Samosir*

Samosir... Pulau memanjang yang terletak di dalam kawasan Danau Toba dengan ukuran 60 x 20 km dan ketinggiannya 1.630 mdpl. Satu-satunya pulau berdanau terbesar di Indonesia. Tak hanya itu, Samosir ini juga tercatat pulau di tengah danau terbesar ke-5 di dunia. Keren...

Pulau indah ini terbentuk oleh adanya dorongan ke atas dari aktivitas magma di kedalaman.

Van Bemmelen yang pertama menyimpulkan, bahwa Pulau Samosir pada awalnya berupa dasar danau yang kemudian terangkat ke permukaan dengan puncaknya berada di ketinggian 1.630 mdpl. Dalilnya didasarkan atas ditemukannya jenis endapan dasar danau di bagian puncak Pulau Samosir.

Lalu, Craig Chesner (2000), meneliti dan menemukan endapan danau yang ada di puncak Samosir berumur 33.000 tahun lalu. Kecepatan rata-rata pengangkatannya terhitung sebesar 1,5 cm per tahun. Artinya, dari kejadian YTT pembentukan kaldera Toba di 74.000 tahun lalu, sampai 33.000 tahun setelahnya ada jeda sekitar 40.000 tahun dimana Danau Toba belum nampak adanya Pulau Samosir.

Bentuk Pulau Samosir memanjang relatif berarah utara-selatan dengan kemiringan lereng yang makin landai ke arah barat. Arah kemiringan ini menandakan di tengah Kaldera Toba terdapat sesar yang menjadi pusat pengangkatan Samosir, sehingga tepian bagian timurnya berupa tebing terjal.





Uluan dilihat dari Pulau Samosir

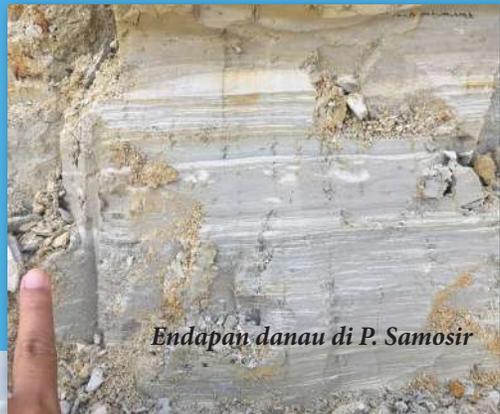
Penyebab utama pulau berdanau terbesar se-Nusantara ini dapat terangkat akibat proses aktivitas magma di bawah permukaan pulau ini. Ia bergerak ke atas menuju permukaan menyebabkan pulau terdorong dan terangkat. Aktivitas magma ini ditandai dengan munculnya bukit-bukit kecil kubah riolit di daerah Tuk-Tuk.

Kubah lava tersebut hasil dari keluarnya magma kental melalui rekahan-rekahan sesar yang ada di tengah kaldera.

Sebenarnya, proses pengangkatan permukaan ini pun dialami oleh Blok Uluan yang ada di sebelah timur Samosir. Hanya, laju pengangkatannya lebih kecil berkisar 0,5 cm per tahun.



Pemandangan P.Samosir dari atas kapal penyeberangan



Endapan danau di P. Samosir



Pesona Danau Toba dari Onan Runggu, P. Samosir

Chesner

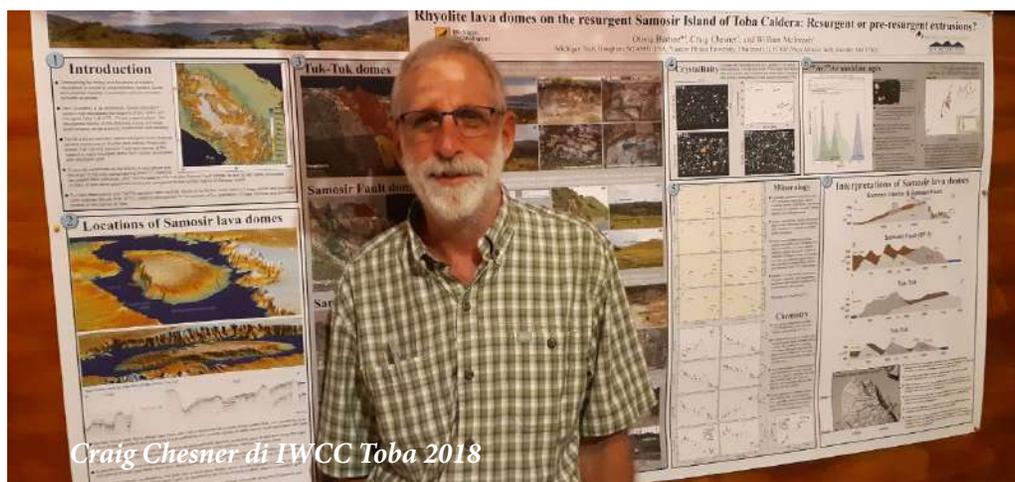
Toba & Bathymetric

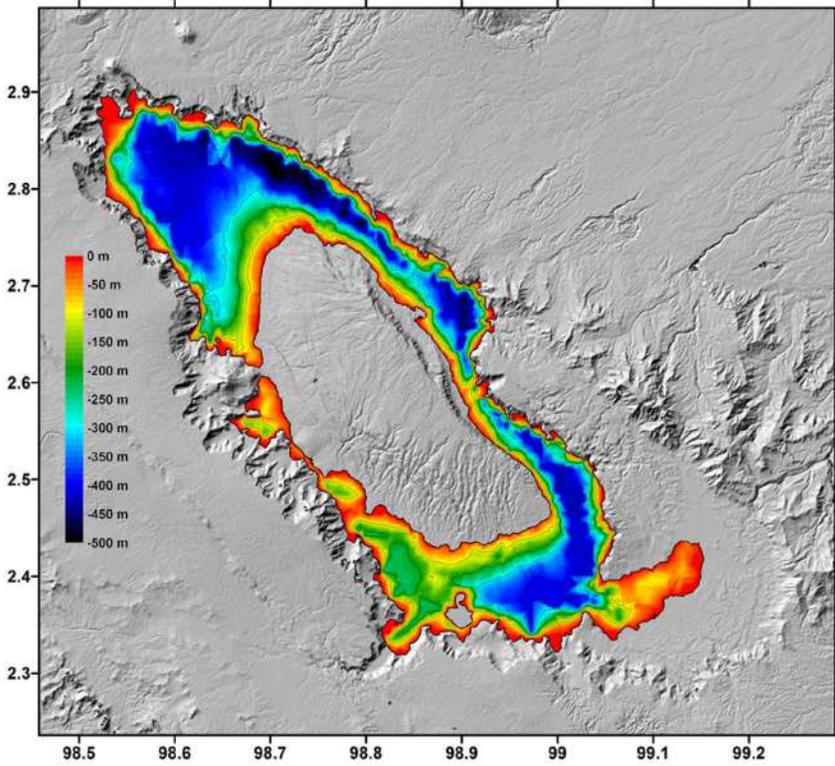
Kaldera Toba dengan ukuran 100 km x 30 km, bentukan langka dari letusan dasar danau yang terangkat karena adanya dapur magma sangat besar di bawahnya. Hingga kini, Pulau Samosir yang berada di tengah Danau Toba masih aktif terangkat 1,5 cm per tahun.

Sampai buku ini terbit, profesor asal Amerika Serikat, Craig Alan Chesner (61), satu-satunya peneliti yang mampu memetakan bathymetric atau kedalaman dasar air Danau Toba. Berdasarkan penelitian di tahun 2005 dan 2008, Chesner menyebutkan, kedalaman Danau Toba tidak rata, tetapi bervariasi antara 50 m sampai 500 m. Jika melihat warna di gambar sebelah kanan halaman ini, semakin berwarnanya gelap menandai semakin dalam dasar dananya.

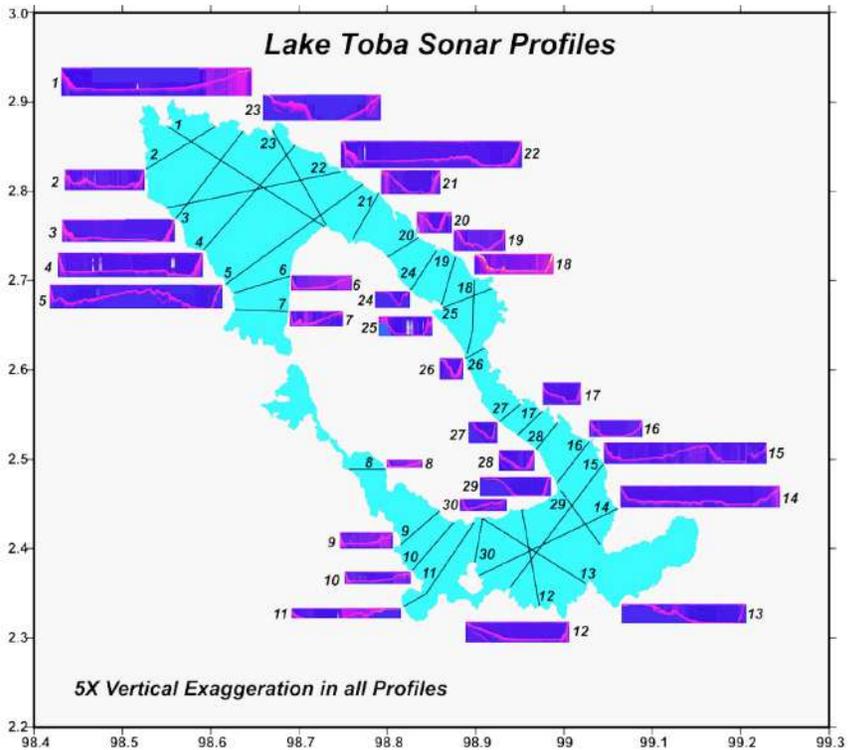
Penelitian bathymetric ini menggunakan metode pengambilan data kedalaman dengan single-beam sonar. Metode ini memakai proses pendeteksi perambatan suara (frekuensi) di bawah kapal penarik. Selanjutnya, pencatatan perambatan suara itu menghasilkan peta-peta kedalaman air yang akurat. Dan menjalaninya tidak gampang bagitu Chesner bercerita saat ditemui di sela pertemuan IWCC, bulan September 2018, di Tuk-Tuk, Samosir,

Ketika itu, Chesner ditemani beberapa peneliti selama mendapatkan data kedalaman. Sekitar 60 titik tercatat dan menjadi 30 garis-garis penghubung Pulau Samosir serta Pulau Sumatera yang mengelilingi danau. Jika dibentangkan, ia menjalani perjalanan 600 km untuk mendapatkan titik-titik seperti zig-zag.





Bathymetric map of Lake Toba. Sumber: *The Toba Caldera Complex*, Craig A. Chesner



Sonar profiles along selected transect lines. Sumber: *The Toba Caldera Complex*, Craig A. Chesner

Penelitian Chesner itu sangat menjadi rujukan saat evakuasi kecelakaan kapal tenggelam KM Sinar Bangun, Juli 2018, di Danau Toba. Diketahui bahwa kapal itu ternyata tenggelam di dasar Danau Toba dengan kedalaman 500 m. Hal itu kemudian menjadi dasar kebijakan evakuasi.

Sebagai peneliti, Chesner lega hasil penelitiannya berhasil mencatat seluruh kedalaman Danau Toba dan memberi manfaat.

Chesner adalah peneliti senior di Department of Geology & Geography, Eastern Illinois University. Di kalangan ahli kaldera, ia dijuluki sebagai bapak ahli Kaldera Toba.

Ia datang ke Toba pertama kali tahun 1987, berawal dari dosen pembimbingnya memberinya tantangan untuk meneliti Kaldera Toba. Setelah datang sekali, ia ke-tagihan untuk terus dan terus meneliti dan datang hingga sebanyak 10 kali.

Penelitian ini meluluskannya sebagai Doctor of Philosophy Geology, di Michigan Technological University, tahun 1988. Desertasinya bertajuk “The Toba Tuffs and Caldera Complex, Sumatera, Indonesia : Insights Into Magma Bodies and Eruption”.

Konsistensi Chesner meneliti Toba begitu maksimal. Meskipun sebelumnya, letusan Toba pernah diteliti ahli lain, seperti D Ninkovich. Hasil penelitian Ninkovich bersama NJ Shackleton, AA Abdul Monem, JD Obra-

dovich dan G Izell, di tahun 1978, menjadi salah satu referensi kapan letusan Toba muda, yakni 74.000 tahun lalu. Temuannya berjudul “K-Ar age the late pleistocene eruption of Toba, North Sumatra, yang dimuat di Nature, Vol 276, tanggal 7 Desember 1978”.

Hasil-hasil penelitian Chesner lainnya yang termasuk penting, yaitu mengenai sejarah letusan Toba. Ia menggambarkan dan memetakan proses dari letusan awal adanya erupsi kecil pada 1,3 juta tahun lalu. Selanjutnya, letusan HDT di tahun 1,2 juta tahun lalu, OTT di 840.000 tahun lalu, MTT di 500.000 tahun lalu, hingga YTT di 74.000 tahun lalu (baca : Sejarah Pembentukan Kaldera Toba).

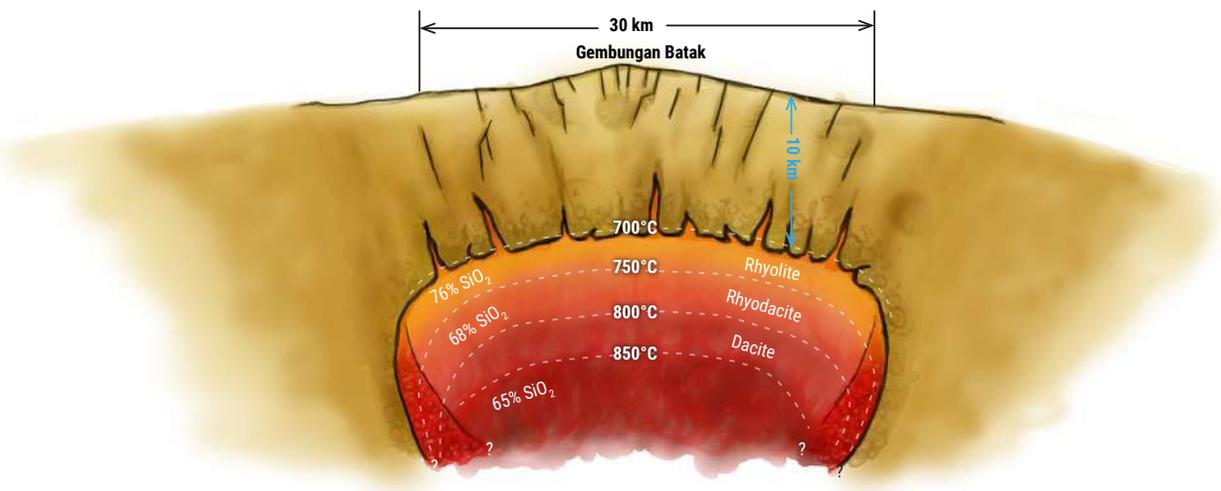
Lalu, dedikasinya untuk penelitian Toba ini, Chesner pun memberikan gambaran bagaimana sumber magmanya. Ia melengkapi dan mengajak para ahli, terutama yang berusia muda untuk belajar ke Toba. Menurutnya, banyak hal yang masih bisa dipelajari karena Kaldera Toba begitu luas serta kaya ilmu.

Tiga puluh tahun meneliti Kaldera Toba membuat profesor ini merasa Pulau Samosir adalah rumahnya. Ia jatuh hati. Toba adalah total dedikasinya untuk keilmuan mengenai kaldera. “Penelitian Kaldera Toba, saya persembahkan sepenuhnya untuk Indonesia,” katanya penuh keramahan.

Banyak kenangan bagi Chesner dengan perjalanan sekitar 42 jam dari rumahnya di Amerika Serikat dengan transportasi udara dan laut menuju Pulau Samosir. Tangan kirinya pernah patah setelah terjatuh mengendarai motor di Samosir. Ia pun tersenyum-senyum mengenangnya.

Keramahan penduduknya tak terlupakan, apalagi keindahan alamnya, luar biasa, membuatnya jatuh cinta. “Saya selalu merasakan pulang ke rumah ketika terbang dari Amerika Serikat menuju Bandara Silangit, menumpang kapal laut menuju Tuk-Tuk”.

DAPUR MAGMA PRA-KALDERA



Dapur magma Toba, atau bisa disebut juga sebagai reservoir magma punya ukuran yang sangat besar. Minimal luasnya terhitung sama dengan luas Kaldera Toba itu sendiri, sekitar 100 km x 30 km di kedalaman 10 km di bawah permukaan. Karena sebelum kaldera terbentuk, dapur magma yang seluas itu sudah terbentuk sebelumnya.

Ya, wajar kalau atapnya, yang setebal hanya 10 km, runtuh, ambles, dan membentuk kaldera.

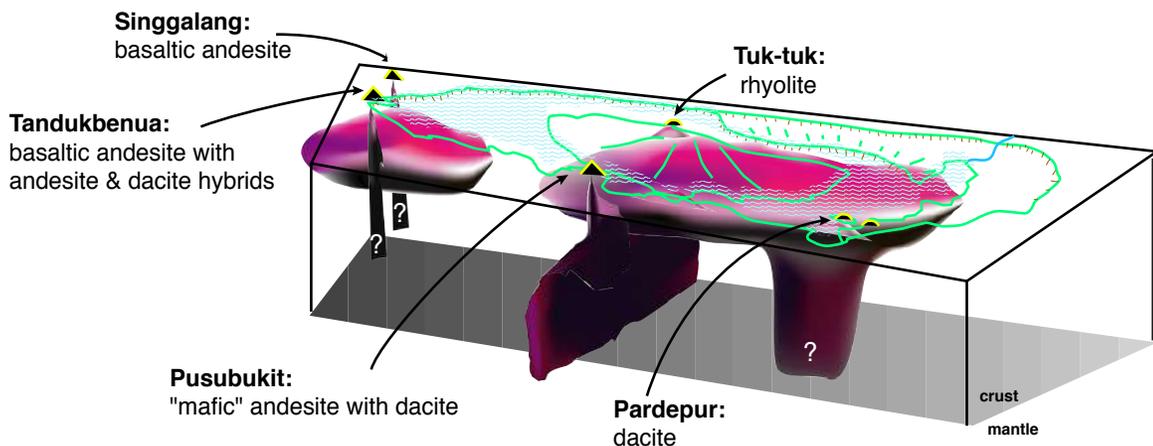
Magma terbentuk pada suhu yang tinggi sekitar 900-1.000°C. Selalu ada pertanyaan, kenapa dapur magma Toba bisa sebesar itu. Volume dapur magma tergantung dari proses terbentuknya magma itu sendiri yang

terjadi secara cepat. Magma secara keseluruhan terbentuk bersama. Lalu terjadinya reservoir magma yang besar bisa dimungkinkan kalau magma-magma yang terbentuk saling bergabung dan berkumpul.

Untuk penggabungan itu, perlu ada sistem yang memungkinkan magma bermigrasi dan berkumpul secara mudah. Nampaknya kondisi di wilayah Toba, yang terletak tidak jauh dari sesar Sumatera memungkinkan magma bermigrasi secara mudah melalui retakan-retakan jauh di kedalaman dan membentuk reservoir magma yang besar.

Kejadian letusan G.Harangaol pada 1,2 juta tahun lalu dengan produk letusan yang bersifat andesit (tidak asam dan tidak basa), menunjukkan jika saat itu magma, atau sebagian saja, masih bersifat kurang asam dengan suhu sekitar 850-900°C.

Dengan berjalannya waktu, terjadi pendinginan terutama yang lebih dekat ke permukaan, dan magma berubah semakin asam, sehingga dalam reservoir kondisi magma tidak homogen, tapi berubah dari yang kurang asam di bagian bawah dan asam di bagian atas. Keasaman magma dinyatakan dalam kandungan senyawa silika SiO₂.



Ilustrasi Perkiraan Distribusi Magma

Sumber: *Plumbing of the Toba Magma System: Petrologic and Geophysical Evidence of Two Shallow Reservoirs and Their Mantle Roots*; oleh D.A. Wark, Masturyono, R. McCaffrey, G.L. Farmer, Mawardi Rani, and R. Sukhyar

RENTETAN LETUSAN MENUJU MANGKUK ALAM RAKSASA

Sekitar 10-15 juta tahun lalu ketika mosaik Sumatera sudah terbentuk dan subduksi lempeng samodra ke lempeng Sumatra, terjadi proses pembentukan magma. Magma yang terbentuk di Sumatera terbentuk dari pelelehan (remelting) bahan-bahan yang secara prinsip adalah dari kontinen “benua” Asia yang ringan dan miskin akan besi (Fe), magnesium (Mg) dan banyak membentuk kantong-kantong magma yang bersifat asam serta kaya akan silika (SiO₂). Banyak tubuh magma yang terbentuk di zona yang tidak terlalu dalam akhirnya mengalami pembekuan hingga membentuk tubuh-tubuh granit di bawah permukaan.

Pembentukan kantong magma yang menjadi sangat besar volumenya juga terjadi di Sumatera Utara, menggembungkan wilayah sehingga menjadi ketinggian (Van Bemmelen ketika meneliti Toba di tahun 1930-an menyebutnya sebagai “Batak Tumor” dalam bahasa bebas bisa diartikan sebagai “bengkak”), yang sebenarnya di bawahnya terisi oleh volume magma yang besar. Di beberapa lokasi muncul kerucut gunungapi aktif yang sering meletus saat ini. Salah satu gunungapi aktif, sebut saja sebagai G. Harangaol meletus sekitar 1,2 juta tahun lalu. Letak gunungapi ini kira-kira di ujung bagian utara dari wilayah Toba.

Rentetan letusan superbesar yang membentuk Kaldera Toba awalnya terjadi

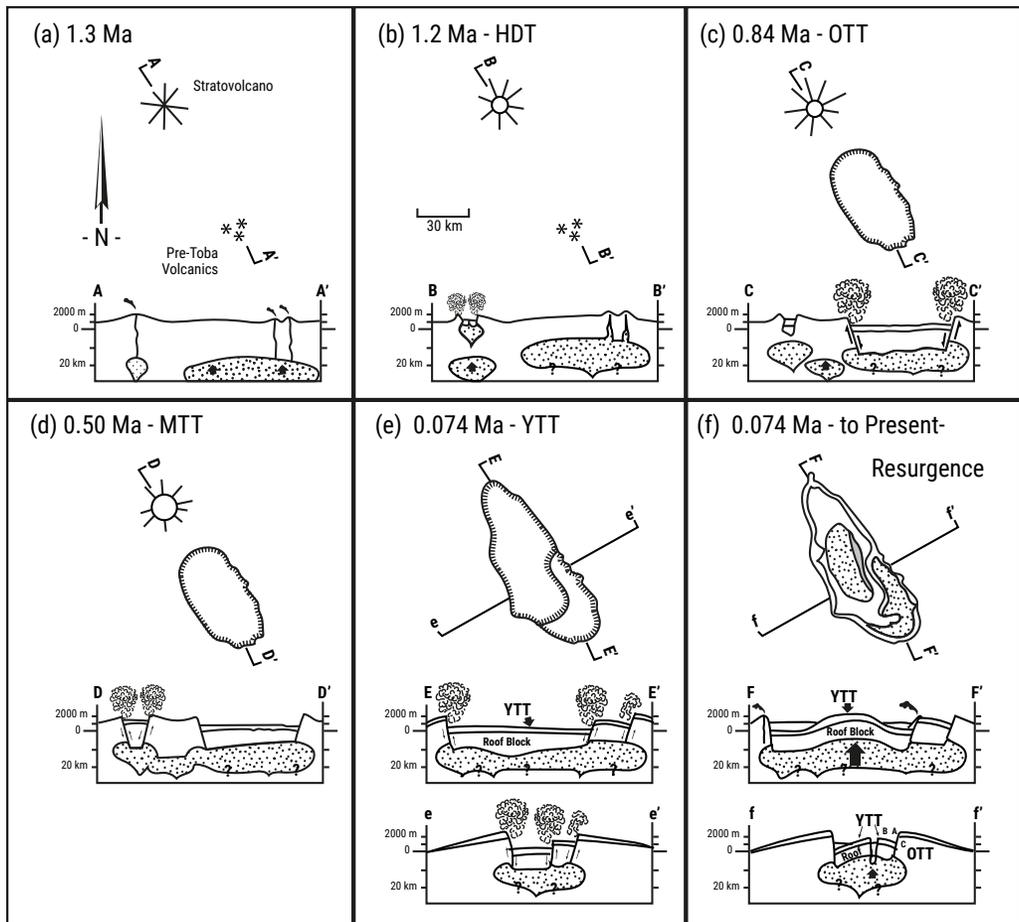
pada 840 ribu tahun lalu. Pusat letusannya di sebelah selatan Toba (wilayah Porsea) yang menghamburkan material letusan sebesar 500 km³ dan endapannya disebut sebagai Tufa Toba Tua (OTT= Old Toba Tuff).

Lalu, letusan super besar terjadi kembali pada 74 ribu tahun lalu dengan pusat letusan kira-kira di tengah Samosir sekarang. Volume material yang diletuskan mencapai total 2.800 km³. Endapannya disebut dengan Tufa Toba Muda (YTT= Young Toba Tuff). Kedua letusan super besar, yakni OTT dan YTT ini yang akhirnya membentuk Kaldera Toba yang kita lihat saat ini.

Sebagai catatan, di antara letusan OTT dan YTT, terdapat satu letusan besar, tapi tidak sebesar OTT ataupun YTT, terjadi sekitar 500 ribu tahun lalu dengan pusat letusan di lokasi G. Harangaol (pernah meletus sebelumnya). Endapannya disebut oleh para ahli sebagai Tufa Toba Tengah (MTT=Middle Toba Tuff).

Kita bisa bayangkan, bahwa setelah kejadian 74.000 tahun lalu itu, terjadi amblas dan membentuk Kaldera Toba. Lama kelamaan terisi air menjadi Danau Toba dan belum ada yang namanya Pulau Samosir. Benar-benar masih danau.

Pulau Samosir sendiri pada awalnya adalah dasar danau dari Kaldera Toba, yang kemudian terdorong ke atas oleh



Sumber: *Stratigraphy of the Toba Tuffs and the evolution of Toba Caldera Complex, Sumatra, Indonesia, diolah.*

magma dan terangkat sehingga menjadi pulau ditengah danau seperti yang kita lihat saat ini. Proses terangkatnya Samosir baru mulai terjadi sekitar 33.000 tahun

lalu. Artinya, dari 74.000 tahun lalu sampai 33.000 tahun lalu, Danau Toba belum mempunyai pulau di tengahnya.



Pesona Toba dari Bakkara



JEJAK ABU *Toba*



Singkapan di Bandara Silangit

Produk endapan letusan super besar Toba melingkupi area seluas 5 juta km². Namun abunya sendiri naik ke troposfer dan menyebar ke seluruh dunia. Memang sudah lama, Van Bemmelen mengatakan di bukunya (1949) bahwa Toba adalah sebuah kaldera vulkanik, tapi saat itu belum diketahui kapan kejadian letusan Kaldera Toba itu terjadi.

Selanjutnya, kira-kira tahun 1978, MT Zen, geolog kampus Institut Teknologi Bandung (ITB), mengambil sampel tufa Toba, mungkin diambil di tahun sebelumnya, di Sigura Gura dekat alur Sungai Asahan. Sampel tersebut diberikan kepada D. Ninkovich, dari Universitas Columbia. Sampel tufa itu dilakukan pengukuran umur sampel dengan tehnik “Kalium-Argon”. Hasilnya, sampel tersebut terendapkan pada sekitar umur 74,9 ribu tahun.

Dengan sampel lain dari lokasi Prapat diperoleh umur 73,5 ribu tahun lalu. Dan di tahun 1978 itulah mulai dikenal bahwa letusan besar Kaldera Toba terjadi sekitar 74.000 tahun lalu.

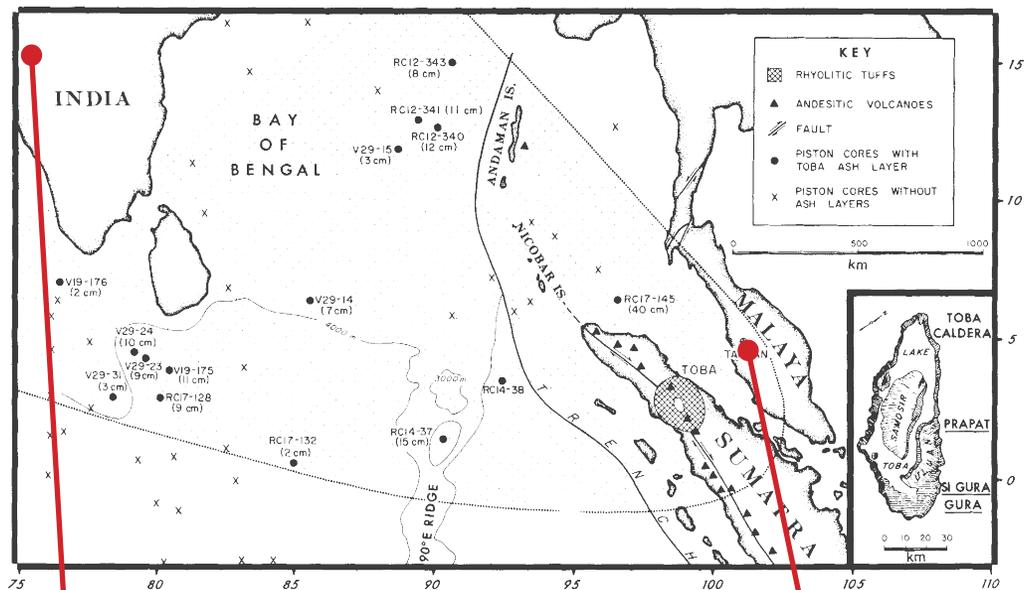
Orang sering bertanya, pada waktu itu apakah sudah ada orang atau peradaban yang ada di Sumatra Utara dan bagaimana dampaknya. Tidak ada bukti akurat yang bisa menjawab hal ini. Namun demikian, di Malaysia, tepatnya di situs arkeologi Tampan, kota Lenggong, wilayah Perak, terdapat jejak “Abu Toba” setebal 1,5 m (Collings, Nature, 1938) menumpuk di atas perlapisan yang mengandung artefak peninggalan manusia pra-sejarah era Paleolithic (Zaman Batu).

Letusan Toba menghamburkan material vulkanik dari perut bumi sebesar 2.000 km³. Kita coba bandingkan dengan Tam-

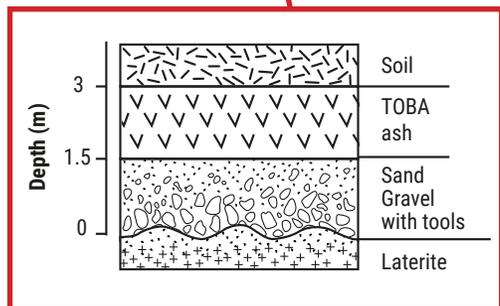
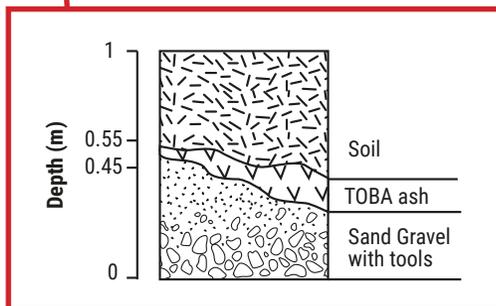
bora, letusan tahun 1815, yang hanya 33 km³. Atau dibandingkan dengan Krakatau di tahun 1883 dengan 20 km³. Volume 2.000 km³ Toba diletuskan dalam waktu 9-14 hari secara menerus dengan laju letusan sebesar lebih dari 1 juta m³ per detik. Material abu yang menutupi atmosfer menyebabkan penurunan suhu bumi minimal 3°C selama bertahun-tahun dan pulih secara perlahan dalam beberapa puluh tahun kemudian.

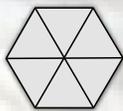
Studi endapan oleh Ninkovich di era dekade 70-an, menjelaskan bahwa produk letusan Toba sebagian besar tersebar ke

arah ke barat-barat laut. Kalau di Malaysia, endapan abu Toba setebal 1,5 m. Nah, di wilayah India, ditemui adanya perlapisan endapan abu Toba setebal 12 cm. Untuk di seputaran Siborongborong, misalnya di timur Bandara Silangit bisa diamati endapan abu setebal minimal 50 m. Endapan abu dalam proses letusan besar gunungapi adalah material vulkanik halus, yang karena relatif ringan, diendapkan paling akhir. Di seputaran Toba endapan abu hanyalah bagian atas dari 'endapan produk letusan' Toba, sehingga secara total produk letusan bisa mencapai ratusan meter tebalnya.

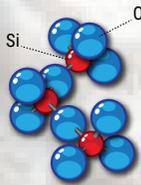


Sumber: K-Ar age of the late Pleistocene eruption of Toba, north Sumatra, diolah.





100 µm



Kristal kuarsa berbentuk segi enam, piramid dengan 6 sisi dan simetris (gambar kiri). Struktur kristal kuarsa (gambar kanan) merupakan rangkaian dari ikatan unsur Silicon (Si) dan Oksigen (O). Satu unsur Si (gbr:merah) terikat ke 4 unsur O (gbr:biru). Dilihat sepintas komposisinya SiO_4 . Tiap 1 dari 4 unsur O berbagi ikatan dengan Si yang berikutnya. Sehingga secara total komposisinya adalah SiO_2 .

Kristal kuarsa di endapan produk letusan YTT. Material putih yang mengelilingi kristal kuarsa adalah fluida magma Toba. Dapat dibayangkan ketika masih di kedalaman, kristal kuarsa berada di larutan bubur magma



Tanah bercampur kuarsa di Siborongborong

Toba

BERTABUR GEMERLAP KUARSA

Kuarsa atau “Quartz” dalam bahasa Inggris, di dekade 80-90-an, nama ini sering disebut dalam teknologi jam tangan Quartz. Lalu, apa hubungannya jam tangan dengan kristal kuarsa?

Di dataran tinggi Toba, setiap jengkal melangkah, melihat ke tanah yang kita injak, terdapat butir-butir pasir gemerlap memantulkan sinar matahari. Seolah-oleh, kita tengah melangkah di butiran pecahan kaca yang sangat kecil-kecil. Yang kita lihat sebagai butiran pasir gemerlap di tanah di dataran tinggi Toba itulah yang disebut sebagai Kuarsa atau “Quartz”.

Kuarsa adalah jenis kristal dari bahan utama unsur Silikon (Si) dalam istilah kimia. Bersama unsur oksigen (O), silikon membentuk Silika (SiO_2) dan molekul ini yang menjadi bahan pembentuknya Kuarsa. Begitu pula sebagai bahan pembentuk gelas, seperti gelas air minum dan lainnya.

Perbedaan utama dari gelas dan kuarsa adalah pada susunan rantai molekulnya. Gelas tersusun secara random, tidak teratur dan kandungan SiO_2 -nya sekitar 80 persen. Sementara Kuarsa tersusun secara simetris dan kandungan silika murni lebih dari 90 persen. Kuarsa

jauh lebih keras dan tahan suhu tinggi daripada gelas. Kristal kuarsa juga lebih nampak gemerlap daripada kaca karena susunan molekulnya simetris.

Dengan teknologi pemotongan bentuk tertentu dapat menjadi penghasil getaran mikro dengan frekuensi tertentu, buah resonansi molekul pun simetris. Nah, frekuensi getaran Kuarsa ini yang dimanfaatkan dalam teknologi jam tangan Quartz untuk mendapatkan akurasi waktu terbaik, dengan standar frekuensi kuarsa pada 32,768 Hz. Tiap detiknya akurat.

Magma gunungapi mempunyai kandungan SiO_2 yang berbeda-beda tergantung dari material pembentuk magma. Misalnya, magma G. Merapi (Pulau Jawa) mempunyai kandungan SiO_2 sekitar 56 persen. Magma Toba mempunyai kandungan SiO_2 tinggi, lebih dari 70 persen. Semakin tinggi kandungan silikanya, magma semakin kental, kandungan gas semakin tinggi tekanannya. Kekuatan letusan juga bisa semakin besar.

Kuarsa yang ditemui di wilayah Toba merupakan murni kuarsa vulkanik hasil dari letusan supervolcano YTT. Sebelum meletus besar, dalam proses yang berlangsung lama, silika yang terkandung dalam bubur magma panas di kedalaman bumi, sekitar 900°C , mengkristal dan membentuk butiran kuarsa mikro. Banyaknya butir-butiran dalam magma ini maka ketika meletus, hamburan hasil letusannya didominasi kristal kuarsa.

Toba pun bertabur gemerlap kuarsa. Coba saja ke lokasi Huta Ginjang, dan seolah menikmati tiap detik jarum jam, keindahannya. Gemerlap butiran pasir kuarsa, sangat indah.

LUMBANG RARAT SIBORONGBORONG

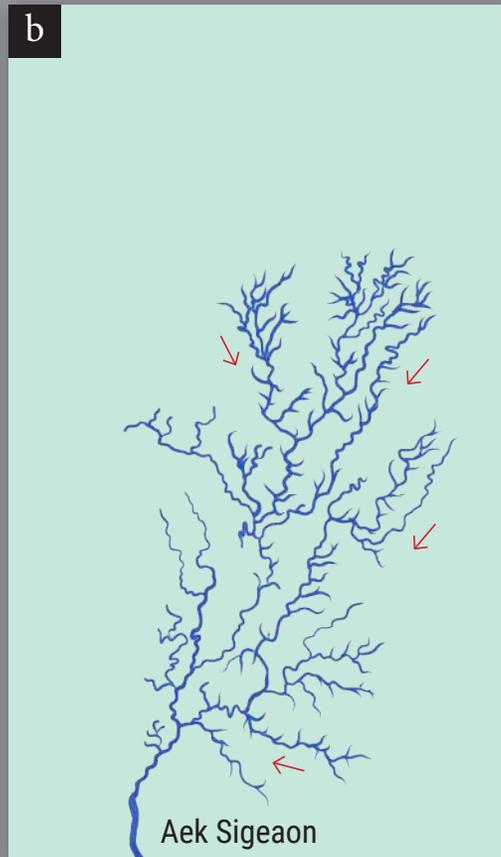
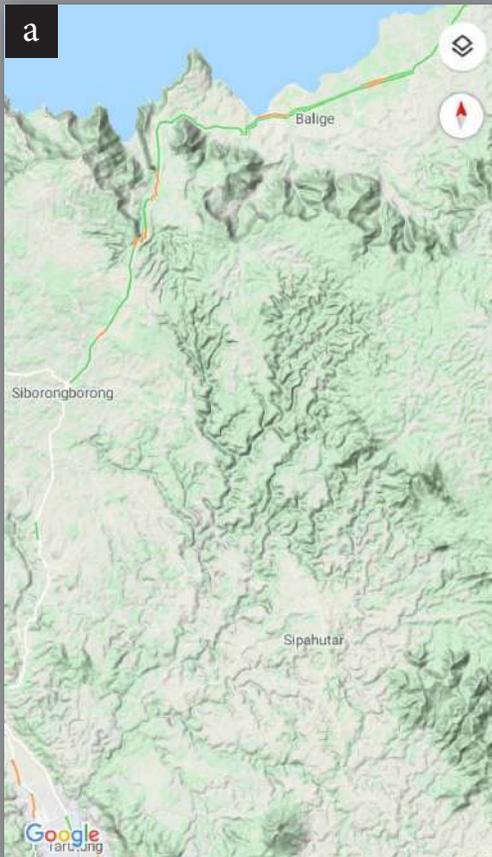
Letusan supervulkano Toba di 74.000 tahun lalu menghamburkan produk vulkanik dari dapur magma yang sa...ngat besar volumenya, su...per besar. Lapisan paling atas, bahan letusan terendapkan dan menumpuk di permukaan, ketebalannya ratusan meter. Ini adalah cerita foto kulit muka buku ini.

Foto tersebut merupakan dinding-dinding yang nampak di Lumbang Rarat, Siborongborong. Dinding menggambarkan tebalnya endapan letusan 74.000 tahun lalu. Itu baru yang nampak di bagian atasnya. Sangat tebal, berwarna putih, penuh butiran kuarsa, dan rapuh. Bisa diibaratkan seperti tumpukan pasir putih tanpa semen. Warna putih cerah

itu dari banyaknya butiran kuarsa. Maka, warna ini menjadi ciri utama endapan letusan Kaldera Toba. Memang, di endapan bagian paling bawah akan semakin padat dan kuat. Bahkan, materialnya seperti ada semennya.

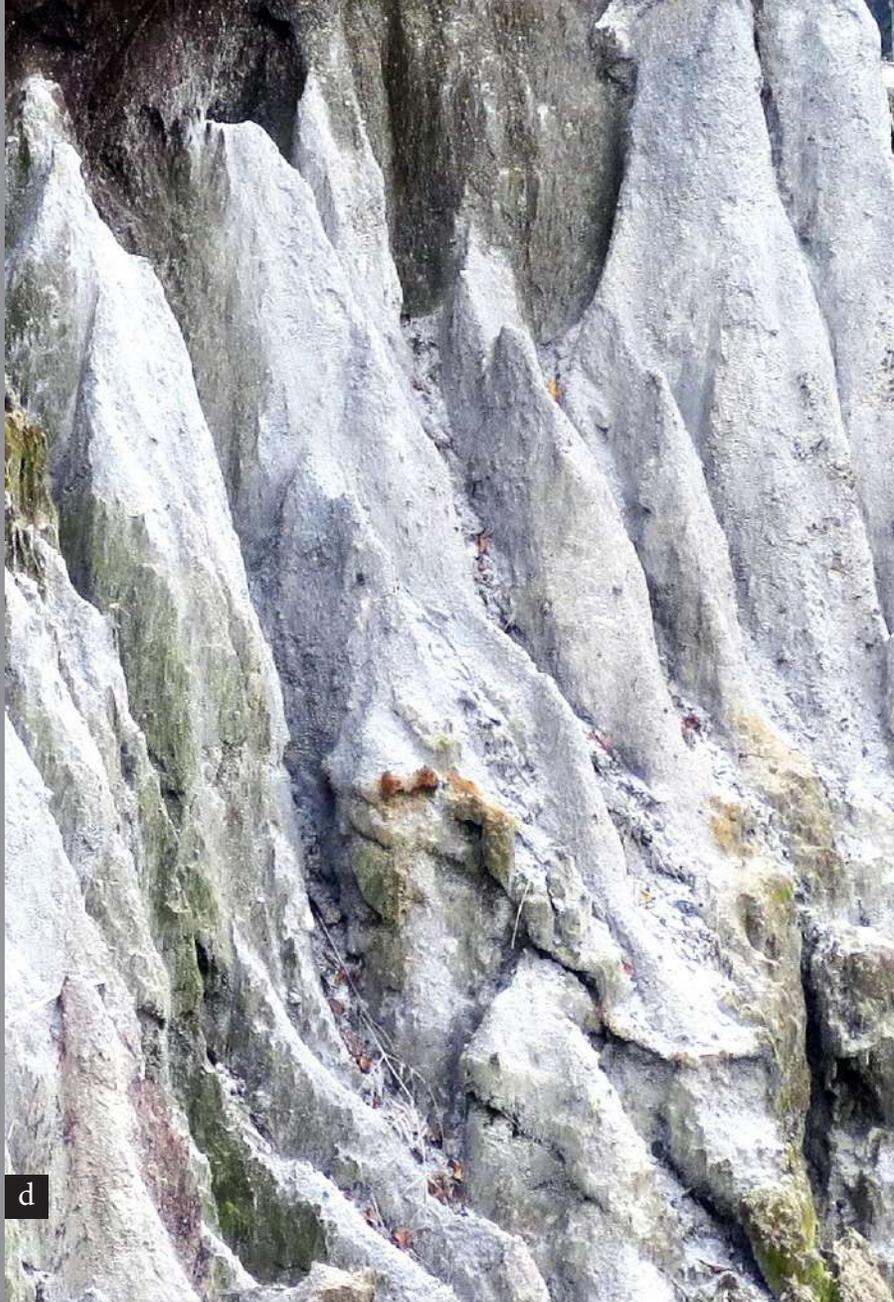
Dapat dibayangkan, sehabis letusan superbesar itu, tentunya seluruh dataran tinggi Toba menjadi pelataran luas berwarna putih, tidak ada pohon dan benda apapun selain endapan letusan. Datar rata di mana-mana.

Berjalannya waktu, ribuan tahun oleh intensitas curah hujan yang tinggi, aliran air bertahap mengikis batuan endapan itu sehingga menjadi tebing-tebing tinggi yang mudah longsor. Lalu, terbentuklah



tebing lembah yang dalam. Kedalamannya sedalam tebalnya endapan Letusan Toba, hingga sedalam dari bagian endapan yang rapuh.

Tebing Lumbang Rarat ini dari sisi geologi menjadi contoh dari proses pembentukan morfologi permukaan bumi yang masih berlangsung. Dalam beberapa ribu tahun mendatang bakal terbentuk bukit dan lembah oleh proses kikisan aliran air. Pola aliran air di permukaan ini yang terhubung menjadi satu sistem sebagai ranting-ranting yang bermuara di Aek Sigeaon, di Taruntung, yang memotong Jalan Lintas Tengah Sumatera.



*Keterangan gambar:
a. Terrain Siborongborong
b. Alur Bentukan Morfologi bermuara di Aek Sigeaon, Taruntung
c - d. Salah satu sisi dinding Lumbang Rarat, Siborongborong*



DUNIA BELAJAR DARI YANG MUDA



Endapan Sedimen Danau, di Onan Runggu

Sejumlah ahli kaldera dari penjuru dunia mengakui betapa letusan dahsyat Toba 74.000 tahun lalu itu telah memberi pengetahuan bagi perkembangan ilmu letusan gunungapi. Letusannya pun mempengaruhi kehidupan serta budaya sekitarnya.

Kedahsyatannya membentuk kaldera danau yang lonjong serta munculnya Pulau Samosir di tengahnya 40.000 tahun setelah letusan super itu menarik perhatian dunia. Ahli-ahli kaldera dunia berdatangan untuk belajar dan selalu ada hal baru dari hasil penelitian mereka.



Para ahli kaldera datang dengan sukacita untuk mengikuti International Workshop on Collapse Caldera (IWCC) ke-7 di Tabo Cottages, Tuk Tuk pada 19-26 September 2018. Mereka dari sejumlah negara asing yang belum pernah ke Toba, termasuk Samosir, bergegas mendaftar dan benar-benar datang!

Ya, karena Kaldera Toba, merupakan bukti letusan terbesar di dunia dan membentuk danau. Maka bagi para ahli, Toba adalah laboratorium kaldera yang disediakan alam secara lengkap dengan manfaat dan keindahannya.

”Tidak perlu membayangkan seberapa besar letusan superdahsyatnya saat itu jika melihat luasan Danau Toba. Sudah pasti tidak kecil. Yakinkanlah, tak tersaingi, Krakatau dan Tambora sekalipun. Namun, Toba selalu membuat ahli yang pernah datang ingin menggali lebih dalam apa yang terjadi ketika letusan besar kala itu. Bagaimana proses meletus dan radius dampak letusannya pun diteliti terus-menerus,” kata bapak kaldera dunia Craig Chesner dari Eastern Illinois University, Amerika Serikat.

Toba begitu luas dan ia berhasil memetakan kedalaman Danau Toba paling da-

lam sekitar 500 m dengan menggunakan sistem sonar (baca : Toba, Chesner & Bathymetric). Ia memetakan sekitar 900 titik dari alat sonar tersebut selama lebih dua minggu penelitiannya datang ke Toba untuk yang ke 10 kalinya. Toba menyimpan segala misteri ilmu geologi dan kaldera.

Sangat, sangat, sulit membayangkan betapa besarnya letusan Toba itu. Penulis mencoba membandingkan prosesnya dengan Kaldera Ijen dan Kaldera Buyan dan Beratan dipembahasan *Seluas apa Kaldera kita?* (hal.12-13). Bayangkan, jejak abu vulkanik dan empasannya ditemukan hingga di India yang berjarak kisaran 3.000 km dari Toba, dengan ketebalan abu sekitar 10 cm. Di Malaysia, endapan abunya ditemukan berupa dinding setinggi 1,5 m. Padahal, jaraknya sekitar 350 km dari Pulau Samosir (baca : Jejak Abu Toba).

Shanaka de Silva dari International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior (IAVCEI) yang juga ahli kaldera Oregon State University mengatakan, Kaldera Toba selalu menjadi pembahasan menarik di antara para ahli kaldera dunia. Kaldera Toba itu memuat segala ilmu, baik letusan, pembentukan



Para ahli kaldera dunia peserta IWCC 2018, mempelajari dinding singkapan YTT di Huta Hotang, Toba



Aktivitas peneliti saat Kongres IWCC Toba 2018

kaldera, perubahan iklim, maupun material-material yang dikeluarkan dari letusan mahadahsyatnya itu. Menariknya, Kaldera Toba memiliki tinggalan batuan yang masih sangat jelas lapisan-lapisannya.

”Karena Toba adalah letusan super-besar terakhir atau yang ketiga terjadi di masa paling muda dengan sebutan Youngest Toba Tuff (YTT). Karena muda, tinggalannya masih belum lapuk, sehingga memudahkan peneliti menggambarkan letusannya,” begitu De Silva menanggapi.

Adonara Mucek, perempuan peneliti muda dari Amerika Serikat, begitu takjub ketika datang dan meneliti Toba untuk pertamanya. Betapa Toba adalah laboratorium yang sangat natural dan lengkap.

Perhatian dunia terhadap Toba, berdasarkan referensi yang ada dari sejumlah buletin geologi, mulai tahun 1938. Ketika itu, HD Collings menemukan adanya abu letusan Toba di singkapan Kota Tampan, Malaysia.

Kaldera Toba juga memberikan manfaat selain pariwisata kepada masyarakat sekitarnya. Geotermal hingga kesuburan tanahnya yang menghasilkan rasa kopi terbaik. Bahkan topografinya, sekaligus memetakan margamarga keturunan

Siradja Batak.

Jadi, para ahli kaldera dunia datang guna meniti ilmu kepada yang muda, YTT. Mereka selalu ingin datang ke Toba dan Samosir demi memuaskan dahaga akan perkembangan ilmu kaldera. Bagaimana dengan kita-kita? Tertarik?



Shanaka Da Silva



*Serba serbi Peserta
Kongres IWCC Toba 2018*



Air Terjun di Pulau Samosir

Pesona *Tao Toba*

*“pulo samosir do haroroan hu samosir do
ido asal hu sai tong ingoton hu
säléleng ngolukku hupujiho
ido asal hu sai tong ingoton hu
säléleng ngolukku hupujiho
di si do pusok hi
pardekkean hu haumakki
gok disi hassang nang eme nang bawang
rarat do pinahan di doloki
gok disi hassang nang eme nang bawang
rarat do pinahan di doloki”*

Pulau Samosirlah
Aku datang dari Samosir
Itulah asalku yang terus kuingat
Selama hidupku engkau kupuji
Itulah asalku yang terus kuingat
Selama hidupku engkau kupuji.
Di situ hatiku
Sawahku tempat hidup ikan
Banyak di situ kacang, dan padi, dan bawang
Ternak bertebaran di bukit
Banyak di situ kacang, dan padi, dan bawang
Ternak bertebaran di bukit.

(petikan lirik & terjemahan syair lagu
PULO SAMOSIR
ciptaan Nahum Situmorang)

Warna-Warni Rumah Adat

Tanah vulkanik letusan Toba, memberikan cenderamata mangkuk alam raksasa, Danau Toba, beserta pesonanya. Letusannya juga mewarnai kehidupan masyarakat setempat sesuai topografinya dan menjadikannya warisan budaya.

Rumah adat menjadi salah satu yang tak hanya berfungsi menjadi tempat tinggal. Ragam bentuk, arsitektur serta keseluruhan kontruksinya turun temurun berdiri hingga mengalami transformasi modern sesuai perkembangan zaman serta kebutuhan.

Jika dipetakan, rumah adat Batak beragam dan berwarna. Termasuk, proses sebelum, selama serta setelah terbangun itu menarik. Rumah memiliki tondi (roh) sebagai cerminan sang pemiliknya. Cerminan ini diwakilkan dalam bentuk pahatan tradisional “gorga” di dinding luar rumah serta ada yang berada di dalam rumah. Oleh sebab itu, satu rumah adat dengan

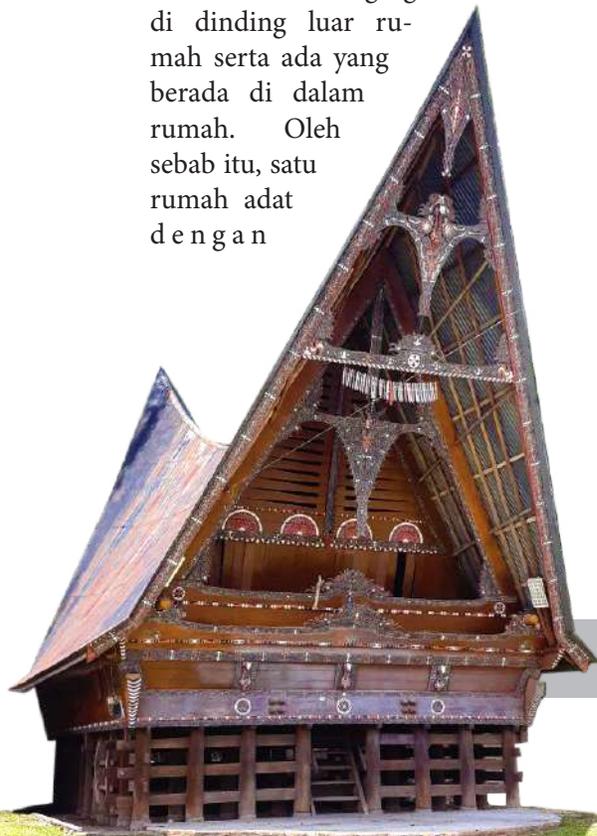
yang lain berbeda secara makna gorga maupun ukurannya.

Berdirinya satu rumah adat tidak serta merta terwujud dalam waktu bulanan. Melainkan bisa menahun tergantung kesiapan bahan-bahan kontruksi kayunya. Bagaimana pun para pande memerlukan ritual khusus, mulai dari penyediaan lahan (pertapakan), pemilihan pohon, menebang, sampai terpahat menjadi kayu-kayu kontruksi. Tak hanya kontruksi, kayu-kayu pahatan gorga juga menjalani ritual.

Pada proses penyediaan pertapakan, persembahkan kepada dewa penguasa tanah “Boraspati ni tano”. Dewa ini dipercaya memberikan keberkahan kepada rumah yang akan dibangun serta penghuninya. Ritual ini berlanjut karena para pande tengah berkomunikasi dengan alam serta leluhur calon penguni rumah tersebut.

Leluhur Batak Toba, saat itu, belum mengenal ukuran dengan meter. Mereka menggunakan cara ukur dengan memfungsikan seperti ukuran jari, lengan, tangan dan langkah kaki. Yaitu, depa (dopa), jengkal (jongkal), asta, langkah (langka). Nah, maka setiap rumah adat memiliki ukuran yang berbeda.

Konsep tata letak, tata cara dan tata bangunan rumah adat Batak ini mirip konsep asta kosala kosali di Pulau Bali.



Salah satu Rumah Adat Batak di Pulau Samosir

Bukkulan

Bukkulan atau puncak atap rumah itu berbeda-beda bentuk dan bisa menunjukkan siapa pemilik rumah/perkampungan. Jenis atap melengkung ciri rumah adat Batak, bentuk Abalungan, Harbopaung, Hulambujati. Bentuk Abalungan itu puncak atap ujung depan dan belakang sejajar diartikan hewan bersayap yang sedang menjadi pelindung. Sejajar ini seperti hewan bersayap yang melindungi. Biasanya Abalungan ini ditinggali oleh pendeta, atau orang penga- yom. Bentuk lainnya Harbopaung, atap depan lebih tinggi dan ada tanduk kerbau yang melambangkan keperkasaan, tokoh yang berpengaruh. Lalu, Hulambujati ini atap belakang lebih tinggi seperti ayam jantan dan menggambar rumah tokoh masyarakat.

Menarik membahas rumah adat Batak ini. Setelah bangunan adat ini lengkap oleh Pande dorbi (arsitek) dan Pande tarub (ahli atap), saatnya seorang pande yang dipilih si pemilik rumah untuk melengkapinya dengan gorga (pahatan tradisional pada dinding rumah), khususnya Boraspati. Budaya Boraspati ini termanifestasi pada gorga di atas pintu masuk (tiga ukiran terpasang sejajar) dan singa (dua ukiran terpasang di pasak kayu paling kanan dan kiri bagian depan) rumah Batak yang memberi kewibawaan, kebenaran dan keadilan hukum.

Perlu diperhatikan, wujud Boraspati ini tidaklah selalu berbentuk cicak. Karena Boraspati ini berupa binatang yang tidak semua orang bisa melihatnya. Pande lontik sebutan pengukir gorga yang memiliki kemampuan dari leluhurnya bukan belajar secara akademik). Ia mampu melihat

secara gaib dan menjadikan ukiran sesuai kisah pemilik rumah serta leluhurnya.

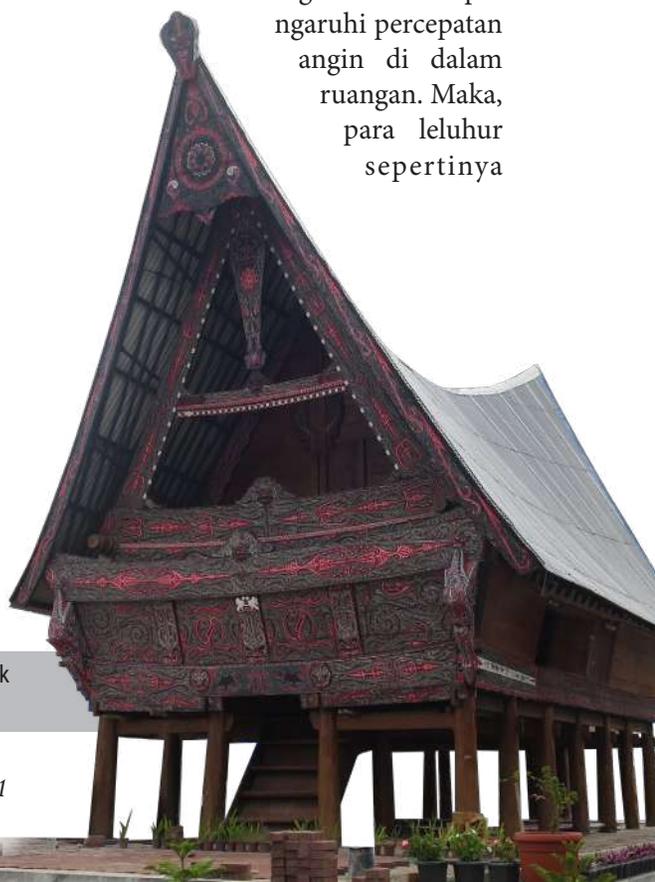
Aerodinamika atap

Atap lengkung rumah adat Batak menyerupai tanduk binatang dilihat dari samping. Ada beberapa jenis atap tersebut yang pun mecirikan identitas suatu hula atau pemiliknya.

Keunggulan rumah adat Batak Toba berdasarkan strukturnya sesuai dengan kenyamanan penghuninya. Menurut penelitian Balai dari eksperimen aerodinamik, kecepatan angin yang masuk ruangan dari depan hingga kebelakang menghasilkan pola aliran angin yang merata.

Jadi, ketika hembusan angin memasuki ruangan rumah itu mulai melambat dan distribusinya merata ke seluruh sudut rumah. Angin kembali kencang menuju arah keluar ruangan.

Maka, atap lengkung tidak mempengaruhi percepatan angin di dalam ruangan. Maka, para leluhur seperti



Salah satu Rumah Adat Batak Toba, asal Balige, milik Bapak Adentua SiRingo Ringo



Bangunan pasar tradisional di Porsea



Jabu Ereng, rumah tanpa gorga

memahami benar bagaimana rumah itu menjadi tempat yang nyaman dan aman bagi seluruh keluarga.

Boras Si Pir Ni Tondi

Sebelum pemilik memasuki dan tinggal di rumah baru, doa-doa dipanjatkan beserta adanya penaburan beras “Boras Sir Pir Ni Tondi” atau beras berkat, di pintu utama serta kesegala penjujur rumah oleh hula-hula. Ia menyerukan doa sambil menabur beras berkat :

“Mardangka ma baringin, di mual Pulo Batu; Horas tondi madingin, pir tondi matogu.”

Artinya: berdahan pohon beringin, di telaga Pulo Batu. Selamat jiwa sejahtera, kuat jiwa teguh.

Biasanya dilanjutkan dengan doa :

“Tiur dalam bolusan, tio aek dapotan; Dapot ma na niluluan, jumpang ma na jinalahan”.

Artinya: Lapang jalan disusuri, jernih air ditemukan. Menemukan yang dicari,

mencapai yang dicita.

Doa-doa dipanjatkan sebagai pengharapan keselamatan dan kemakmuran sang pemiliknya, prosesi penaburan beras berkat ini juga memiliki kemiripan di upacara-upacara adat/ritual di Hindu Bali.

Ruangan imajiner

Jika memasuki rumah adat Batak Toba, kita-kita tak perlu heran karena tanpa dinding bersekat, tidak ada kamar-kamar, meskipun dihuni beberapa keluarga. Mereka memahami ruangan itu dengan sekat imajiner. Dapur atau tataring justru berada di persis ditengah ruangan rumah itu. Eratnya kekerabatan dan kekeluargaan menjadi landasan keluarga Batak dari konsep *Dalihan Na Tolu*.

Berkumpulnya sejumlah keluarga dalam satu rumah adat bukan berarti tidak ada kemandirian. Karena kemandirian tidak digambarkan dari bertambahnya rumah adat. *Nah*, Tataring bisa menjadi salah satu patokan kemandirian satu keluarga dari sejumlah keluarga dalam satu rumah adat Batak.

Tansiswo Siagian, budayawan Batak, menceritakan keberadaan rumah adat Batak yang lengkap dengan gorga semakin sedikit. Semua mengalami transformasi, selain persoalan bukan hal mudah dan murah membangun satu unit rumah adat.

“Beberapa fungsi ruangan pun berubah. Misalnya, kolong rumah tak lagi menjadi tempat memelihara hewan, mel-

ainkan menjadi ruangan tinggal. Sebagian rumah tinggal pun tak lagi berbentuk rumah panggung,” jelasnya.

Hanya saja, ia dan warga sebagai orang Batak tetap berupaya teguh menjaga hukum adat yang berlaku, menjaga komitmen marga. Semua masih tercermin dalam kehidupan keseharian mereka, utamanya dalam menjaga garis kekerabatan.

GONDANG BATAK

Salah satu ruangan rumah adat Batak di lantai dua, berupa balkon. Ruangan itu berfungsi semacam panggung untuk para pemain musik gondang pentas.

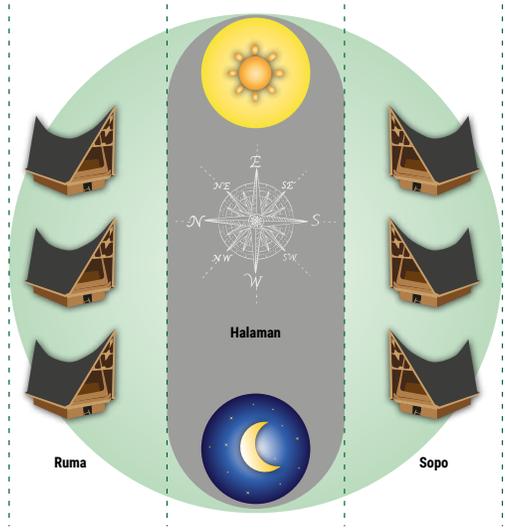
Gondang merupakan alat musik khas Batak. Alat ini dipukul dan hanya pada upacara adat, tim musik membunyikan gondang. Seiring rumah adat Batak yang

makin berkurang, alat musik gondang pun juga mulai langka. Adentua SiRingo Ringo, budayawan Batak, berupaya membangun komunitas musik gondang yang beranggotakan anak muda. Tujuannya adalah agar gondang tetap dikenal generasi muda dan seterusnya.

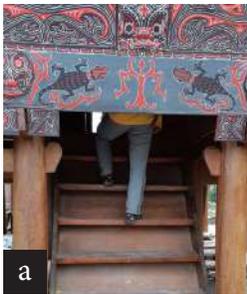


TATA LETAK RUMAH

Tata letak huta (kampung) Batak, umumnya, mereka hidup berkelompok. Dalam satu huta terdapat dua baris berhadapan (lihat gambar tata letak). Barisan sebelah utara berjejer itu ruma (rumah) adat dan barisan sebelah selatan itu sopo (lumbung padi, gudang atau ruang penyimpanan). Kedua barisan, antar ruma dan sopo berupa alaman (halaman) serbaguna. Sinar matahari yang terbit dari timur leluasa menyinari seluruh huta tersebut dengan melintasi alaman. Bagian belakang, biasanya dimanfaatkan untuk berkebun. Mereka menggunakan pagar-pegar hidup dari pepohonan sebagai dinding pagar. Pintu gerbang sering disebut Bahal yang biasanya ditanam pohon-pohon bertuah, seperti pohon hariara, mirip seperti beringin sebagai lambang kehidupan untuk penanda keberadaan suatu huta.



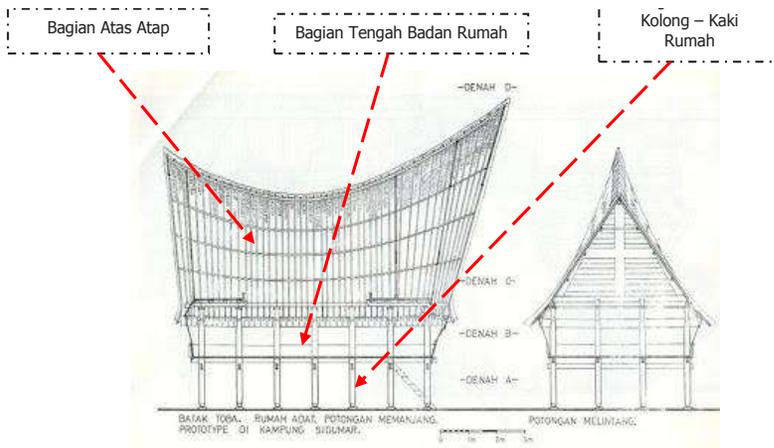
KONSTRUKSI RUMAH



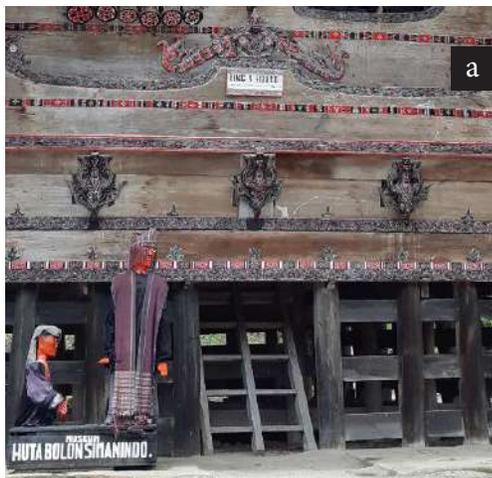
Keterangan foto: a. Tangga rumah berjumlah ganjil (5,7,9)
b. Pasak-pasak c. Tali Hotong (rotan)

Rumah panggung adat Batak menggunakan beberapa jenis kayu seperti jior, poki, ingul. Kayu-kayu berdiameter sekitar 20 sentimeter dipergunakan sebagai pasek (penyangga). Kayu penguat pasek memakai kayu kecil yang berfungsi seperti paku. Beberapa bagian menggunakan tali dari ijuk sebagai penguat dan beberapa bagian menggunakan tali hotang (rotan). Hotang ini fleksibel tidak terlalu kencang

ikatannya karena sebagai mitigasi gempa. Rawan gempa karena masuk daerah besar Sumatera. Hotang membantu menjaga ikatan-ikatan bangunan dan rumah hanya bergoyang saja. Namun rumah adat ini mengalami transformasi mengikuti perkembangan zaman, seperti kolong di bawah rumah tidak lagi tempat memelihara ternak, melainkan difungsikan lain atau dihilangkan.



Gambar : Tri Tunggal Banua Rumah Adat Batak Toba
 Sumber : Departemen Pendidikan dan Kebudayaan RI, Arsitektur Tradisional Daerah SU, 1997, h.13



PROSES GORGA

Pande lontik Jesral Tambun, tengah memperbaiki gorga Boraspati rumah adat Batak yang berusia sekitar 250 tahun. Ia juga memperlihatkan warna alam gorga, Tolubolit, hitam (kekekalan), merah (keberanian), dan putih (kesucian). Tiga warna ini bernama tridatu jika di Hindu Bali. Jesral pemahat gorga otodidak dan memiliki garis keturunan sebagai pande lontik. Ia berkomunikasi dengan alam serta leluhur mangbong (calon pemilik rumah). Tanpa ritual, Jesral tak bisa memahat gorga sebagai cerminan si pemilik rumah.

- Keterangan foto :
- a. Contoh gorga rumah Batak,
 - b. Alat-alat pande lontik
 - c. Pande lontik tengah mengukir
 - d. Contoh gorga Boraspati



SESAP LINTONG

BUKIT KALDERA

Ketika berkeliling daerah tepian Danau Toba dan Pulau Samosir, Anda akan sering menjumpai lahan perkebunan. Kopi arabika salah satu komoditi perkebunan yang tumbuh subur di atas tanah vulkanik, sekitar Kaldera Toba.

Melintasi jalan utama tepian Danau Toba di siang hari, warga menjemur biji-biji kopi hasil panen. Data Badan Pusat Statistik (BPS) Sumatera Utara, produksi kopi arabika di tahun 2016 adalah sebesar 53.142 ton per tahun dengan luas lahan 63.339 ha. Angka ini naik di tahun 2017, produksi kopi menjadi 58.055 ton per tahun dengan luas lahan 69.340 ha.

Kopi Lintong dari Humbang Hasundutan dan Kopi Mandailing dari Mandailing Natal, dua dari sederetan kopi speciality Sumatera Utara yang mendunia. Kedua kopi ini masuk daftar indikasi geografis, sesuai Undang-Undang Nomor 20 tahun 2016, tentang Merek dan Indikasi Geografis.

Indikasi geografis merupakan tanda yang menunjukkan reputasi, kualitas serta karakteristik daerah asal suatu produk termasuk alam, manusia atau kombinasi keduanya. Mandailing terdaftar tahun 2016 oleh Masyarakat Perlindungan Indikasi Geografis Kopi Mandailing (MPIG-KM) dan Lintong di tahun 2017 oleh Masyarakat Pemerhati Kopi Arabika Lintong (MASPEKAL).

Nama kopi terkenal lain dari Sumatera Utara, yaitu Kabupaten Dairi dengan Sidikalang (indikasi geografis), Simalungun dengan kopi Simalungun, kopi Samosir dari Pulau Samosir (indikasi geografis) dan kopi Siborongborong dari Tapanuli Utara. Puluhan ribu hektar kebun menghidupi ribuan keluarga, terutama mereka yang tinggal di atas bukit Kaldera Toba.

Komoditi hasil perkebunan besar lainnya di Sumatera Utara, yaitu kelapa sawit, karet, kakao, dan tembakau. Tembakau asal Deli begitu dikenal di kota Bremen, Jerman.



PRODUKSI KOPI TEPIAN DANAU TOBA

Kopi Simalungun
Kab. Simalungun
Luas 7.843,48 ha
Produksi 9.743,50 ton/thn

Kopi Lumbanjulu
Kab. Toba Samosir
Luas 4.076,36 ha
Produksi 3.741,00 ton/thn

Sidikalang
Kab. Dairi
Luas 10.682,00 ha
Produksi 8.409,00 ton/thn

Kopi Samosir
Kab. Samosir
Luas 4.913,24 ha
Produksi 3.866,35 ton/thn

Kopi Siborongborong
Kab. Tapanuli Utara
Luas 14.485,06 ha
Produksi 13.923,52 ton/thn

Kopi Lintong
Kab. Humbang Hasundutan
Luas 11.374,50 ha
Produksi 6.807,10 ton/thn

Sumber
BPS Sumatera Utara
September 2018

Karakter Kopi Sumatera Utara

Origin	Karakter spesifik
Lintong	Clean, very good, astringent
Mandailing	Complex flavor, good balance
Siborongborong	Clean, winy, fruity, balance
Sidikalang	Clean, fresh, high acidity, good balance, green grassy
Speciality	Floral, rich, herbal, floral mild, fruity. Fresh chunky, dark chocolate
Jumbo bean	Sweet chocolaty, fresh, fruity, floral, high acid,
Peaberry	Complex, rich, herbal, floral mild, fruity, fresh, chunky, dark chocolate aftertaste, ligh green

Sumber : Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia.

Selain kopi, Sumatera Utara juga memiliki unggulan produksi perkebunan lainnya seperti karet dan sawit. Berdasarkan data Dinas Perkebunan Provinsi Sumatera Utara, luas tanaman karet rakyatnya periode 2013-2016, pertumbuhan rata-rata 0,45 persen per tahun. Pada tahun 2013 luas tanaman karet rakyat tercatat 394.113,57 ha, menjadi 394.519 ha di tahun 2016. Kabupaten Mandailing Natal, Langkat, dan Padang Lawas Utara, merupakan pusat daerah penghasil karet.

Sementara, luas tanaman kebun kelapa sawit rakyat terhitung 417.809 ha di tahun 2016. Produksinya tercatat sekitar 5,77 ton tandan buah segar (TBS). Kabupaten Asahan merupakan pusatnya perkebunan kelapa sawit dengan luasan 72.935 ha kebun sawit rakyat atau 18 persen dari seluruh perkebunan Sumatera Utara.

Kiranya topografi Sumatera Utara, terutama di wilayah penelitian (baca : Wilayah Penelitian Sekitar Tepian Danau Toba), terutama perbukitan yang menjadi jejak letusan tufa Toba tua (OTT) 840 ribu tahun lalu dan letusan tufa muda Toba (YTT) 74 ribu tahun lalu memberikan berkah. Tanah perbukitan kaldera yang

subur juga membawa daerah-daerah itu mendunia dengan khas hasil perkebunannya masing-masing.

Jangan lewatkan pergi ke Toba, tanpa menikmati kopi arabika terbaik dari bukit-bukit kaldera hingga sesap terakhir.



*Proses Manual Brew
Kopi Lintong Sumatera*





KURSI-KURSI BATU HUTA SIALLAGAN

Selamat datang di Huta Siallagan! Horas! Kata Gading Jasen Siallagan (62) kepada belasan tamu yang memasuki halaman kawasan Hutta Siallagan di Tuk Tuk, Pulau Samosir, Toba, Sumatera Utara. Pagi itu, hari Minggu tertanggal 23 September 2018.

Ucap salam khas Jasen sebelum mengajak para tamu menari ala Batak dan bergembira bersama dengan diiringi musik sebelum berkeliling ke area rumah Siallagan. Bebatuan alam dan pemanfaatannya di kawasan Kaldera Toba, menjadi pemandangan utama berkeliling kompleks.

Tak berapa lama setelah menari dan melihat rumah adat raja dan keluarga Siallagan, Jasen memperlihatkan ruang terbuka dengan kursi-kursi terbuat dari batu. Susunannya melingkar mengelilingi satu meja berdiameter kurang dari 1 m.

Kursi-kursi ini adalah sebagai tempat persidangan. Ruang persidangan dalam segala hal serta kesalahan. Warga Raja Siallagan yang bersalah dan mendapat hukuman berat segera dimasukkan ke dalam kandang binatang. Kandang itu berada persis di bawah rumah panggung sang Raja, lalu dipasung.

Hanya saja, apakah marga lain juga menerapkan hukuman serupa? Hal ini belum terkonfirmasi apakah sama di daerah Batak lainnya.

Lalu, mengapa harus masuk di kandang hewan rumah raja? Ya, raja menyamakan mereka yang bersalah berat diibaratkan seperti binatang, bukan lagi sebagai manusia.

Apapun persidangan yang dikisahkan Jasen, persidangan ini memanfaatkan batu-batu sekitar Toba. Batuan dari letusan Kaldera Toba.

OTAK-ATIK KATA & ANGKA

“Sada sangap tu ama, dua sangap tu ina”

Satu hormat kepada bapak, dua hormat kepada ibu

Kata-kata tersebut salah satu dari ratusan umpama dalam bahasa Batak Toba. Dan, masyarakat Batak Toba salah satu dari sekian suku di Indonesia, yang memiliki kemampuan mengutak-katik kata sebagai seni sastra, khususnya lisan. Budaya bertutur, hingga saat ini masih lestari menjadi bagian berkehidupan mereka dalam ritual keagamaan, upacara adat hingga bahasa sehari-hari. Gaya bahasa dan lisan sastra Batak Toba dapat berupa “umpasa” biasanya nasihat dalam upacara adat dan “umpama” berisi pengharapan, nasihat dalam keseharian.

Dalam buku Tradisi Umpasa Suku Batak Toba : dalam upacara pernikahan oleh SRH Sitanggang (Pusat Pembinaan dan Pengembangan Bahasa Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, 1996) menyebutkan bahasa sehari-hari terdapat empat ragam hata (arti : kata dalam bahasa Batak Toba). Keempat ragam tersebut, yaitu hata (na) somal untuk bahasa sehari-hari, hata andung untuk bahasa kesediaan, misalnya meratapi nasib, kematian.

Dua hata lainnya, hata datu untuk bahasa mantra, dan hata partondung untuk bahasa para pencari kapur barus di hutan, nelayan.

Beragam umpasa dan umpama Batak Toba, ternyata sejumlah kata dan angka, jika dikotak-katik memiliki kemiripan dengan bahasa dari suku lain, seperti Jawa, Bali. Penulis juga menemukannya kesamaan sejumlah kata yang dipakai dalam bahasa daerah Bicolano di Kota Legazpi, Piliphina.

Terlepas dari sejarah, apakah mereka memiliki keterkaitan persaudaraan atau pernah saling bersilahturahmi, sejumlah kata dan angka menjadi unik karena kesamaan tersebut. Contoh kesamaan beberapa kata dan angka tampil dalam tabel halaman 73. Bagaimana pun penggunaan bahasa dalam suatu masyarakat tutur berkaitan erat dengan budaya para penuturnya. Bahasa mampu menjadi ciri dan kekayaan kearifan lokal yang perlu dilestarikan.



Contoh buku Laklak

*“Ompuradja I djolo,
martungket sialagundi
adatnya na di jolo diihutton
na di pudi”*

Raja di depan, bertongkat sialagundi-tongkat para petinggi-adat yang terdahulu hendaknya diteruskan oleh generasi berikutnya

Kemiripan kata di lima daerah

Indonesia	Bahasa Batak	Bahasa Bikol Tengah Legazpi, Filipina	Bahasa Gorontalo	Bahasa Jawa	Bahasa Bali
Ayam	manuk	manók	-	pithik	siap
Makan	mangan	makakan	monga	mangan	ngajeng
Anjing	asu	ayam	apula	asu	asu
Lelaki	baoa	lalaki	-	lanang	lanang
Mata	mata	matá	mata	mripat	mate

Kemiripan angka di lima daerah

Bilangan	Bahasa Batak	Bahasa Bikol Tengah Legazpi, Filipina	Bahasa Gorontalo	Bahasa Jawa	Bahasa Bali
1	sada	saro	tuwawu	siji	besik/siki
2	dua	duwa	duluwo	loro	duwe
3	tolu	tolo	totolu	telu	telu
4	opat	apat	wopato	papat	papat
5	lima	lima	limo	limo	lime
6	onom	anom	wolomo	anem	enem
7	pitu	pito	pitu	pitu	pitu
8	walu	walo	walu	wolu	kutus/ulu
9	sia	siyam	tiyo	songo	siye
10	sampulu	sampulo	mopulu	doso	dasa

Keterangan:

Kata yang mirip antara 5 bahasa daerah berbeda di Indonesia dan Filipina



Kilas Surat Batak

Ketika penulis mengunjungi Museum TB Silalahi di bulan September 2018, melihat buku lalak di salah satu rak kaca ruang pameran. Serta beberapa lembar semacam kulit kayu yang ditulis aksara.

Penulis jarang menemui adanya prasasti atau semacamnya bertuliskan aksara Batak, misalnya untuk penanda lokasi bersejarah. Sementara prasasti beraksara mudah ditemui di Jawa, Bali.

Budayawan Batak Tansiswo Siagian dan Adentua SiRingoRingo, mengakui beberapa hal

budaya tergerus zaman. Lambat laun menghilang, begitu pula dengan aksara Batak yang biasa disebut Surat Batak. Hingga saat ini, orang Batak terbiasa dengan bahasa lisan seperti melalui nyanyian, umpasa, umpama, mitos. Mereka terbiasa mewariskan secara lisan kepada keturunannya.

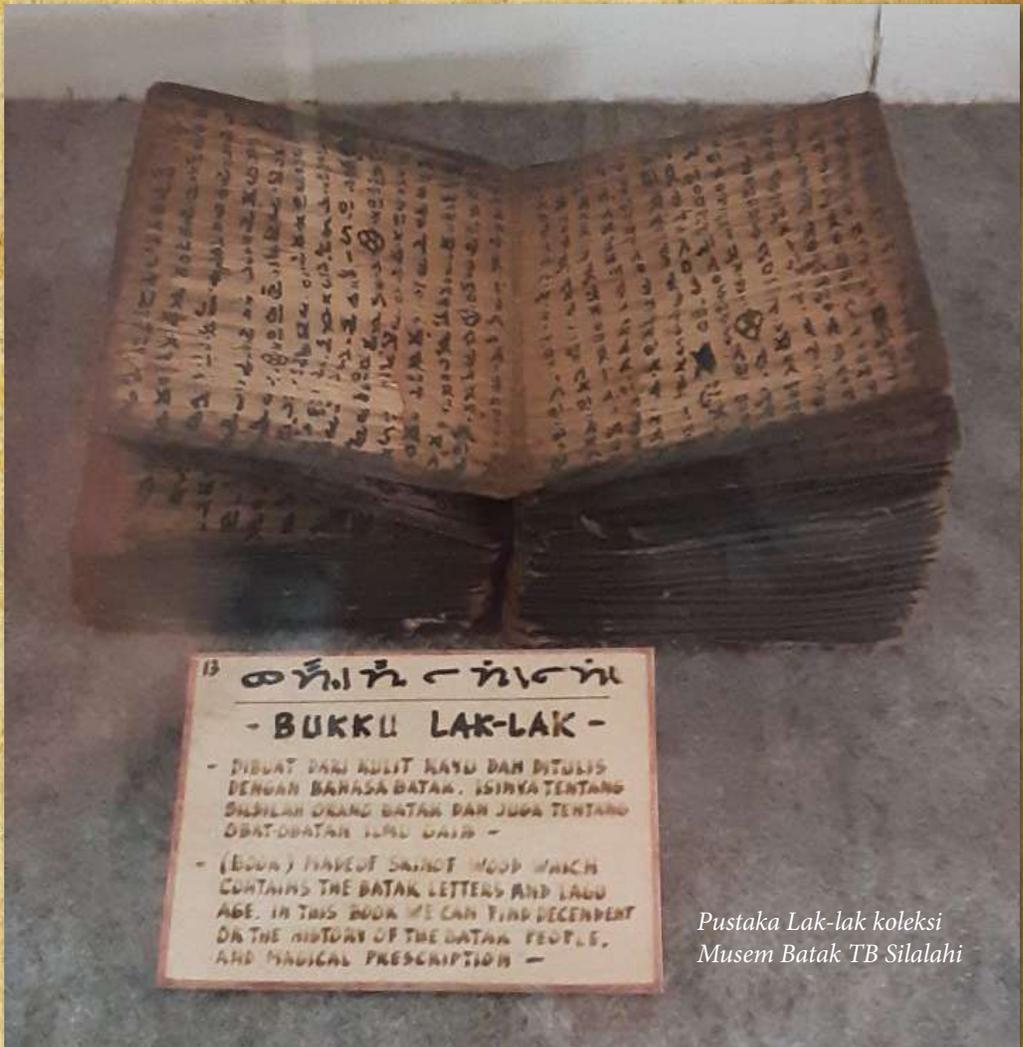
Bahasa Batak biasa disebut Surat Batak. Merujuk dari buku Surat Batak, Sejarah Perkembangan Tulisan Batak oleh Uli Kozok (2009), sistem tulisan di Sumatera Utara, dibedakan antara aksara Toba, Karo, dan seterusnya. Namun, dulu semua orang Batak termasuk Karo, Simalungun, dan Mandailing menggunakan Surat Batak. Surat Batak terdiri dua perangkat ini ni surat dan anak ni surat.

Nah, karena terbiasa lisan, orang Batak menggunakan tulisannya hanya untuk tiga tujuan ini, yaitu ilmu kedukunan (hadatuon), surat menyurat (termasuk ancaman), dan ratapan.

Naskah-naskah Batak banyak disimpan di Universitas Leiden, Belanda, serta beberapa museum asing seperti Jerman. Beberapa naskah Batak tak lepas dari jasa Petrus Voorhoeve, seorang Belanda yang menerbitkan ragam artikel sastra Batak mulai 1927. Pertama kalinya ia menerbitkan disertasi mengenai cerita-cerita rakyat

Contoh lampak sampul kayu Pustaka Batak, koleksi Huta Siallagan.





*Pustaka Lak-lak koleksi
Museum Batak TB Silalahi*

Batak. Ia sempat ditugaskan menyusun kamus Simalungun, tetapi belum sempat diterbitkan, naskahnya hancur di zaman Jepang. Hingga akhir hayatnya, ia tetap setia dengan kepastakaan utamanya filologi Batak.

Jenis bahan surat Batak menggunakan kulit kayu (laklak), bambu, dan tulang kerbau. Kulit kayu yang diolah menjadi buku disebut pustaha. Jika di Bali, lontar menjadi bahan untuk menulis aksara. Aksaranya ditulis secara tradisional dengan lidi enau (tarugi) dengan tinta (bahan getah hitam dari kayu dibakar atau getah baja atau getah damar yang dicampur air jeruk atau bahan lainnya).

Sebuah pustaha itu terdiri dari laklak sebagai kertasnya dan lampak sebagai sampulnya. Kulit kayu berasal pohon alim (*Aquilaria*). Perpustakaan Universitas Leiden menyimpan pustaha yang laklaknya mencapai 15 m. Kayunya utuh tidak tersambung-sambung.

Upaya pelestarian aksara Batak ini nampak belakangan ini. Sampe Puba, dari Kementerian ESDM yang juga pemerhati budaya Batak, optimis arah pelestarian tetap ada dan riil. Ia mengapresiasi adanya aplikasi aksara Batak di Google. Begitu pula, pemerintah setempat yang memasukan Surat Batak dalam pelajaran muatan lokal.



Patung Parombusombus



Kue Ombus Ombus



Menikmati TOBA



Senyum AnakToba



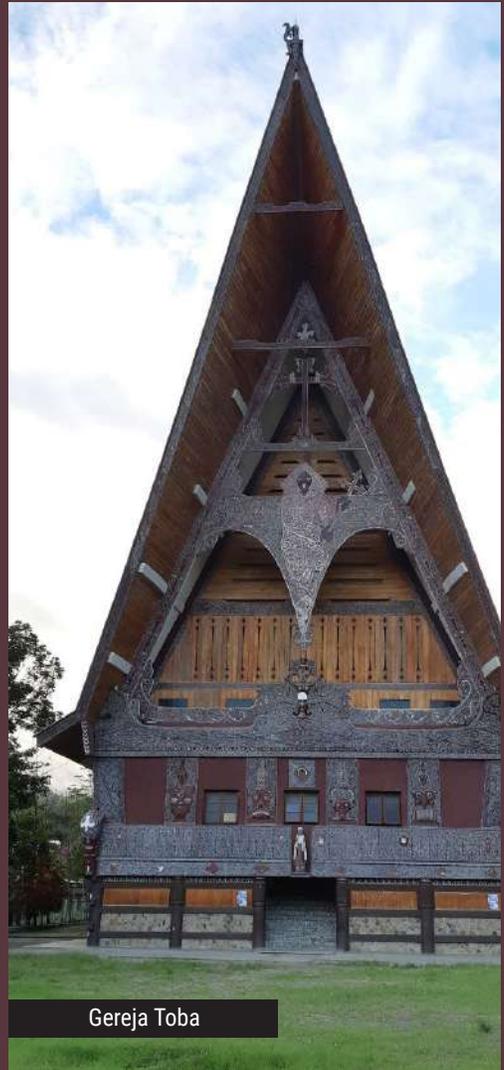
Makam Sisingamangaraja



Perkebunan Kopi Lintong



Pengerajin Ulos Batak



Gereja Toba



Patung Putri Duyung



Secangkir Kopi Lintong



Pohon & Buah Mobe



Kakao Toba



Daun & Kayu Igul



Andaliman

Kaldera Danau Toba merupakan destinasi Bali baru superprioritas Indonesia, bersama Mandalika, Labuan Bajo (Nusa Tenggara Barat), Borobudur (Jawa Tengah) dan Likupang (Minahasa Utara), sejak tahun 2017. Keindahan alam dan kekayaan budaya Batak, jadi salah satu magnet daya tariknya.

Kronologi geologi Danau Toba (baca : Rentetan menuju mangkuk alam raksasa) meng”gorga” pebukitan bukit, air terjun, air panas, dan pemandangan teduh tepian danau yang menawan. Bukit Pusuk Buhit yang terletak di Pangururan, Kabupaten Samosir, salah satu pemandangan andalan yang dapat dilihat dari Menara Tele. Bukit ini pula dipercaya sebagai tempat leluhur Batak, Siradja Batak.

Seiring waktu Danau Toba dengan Pulau Samosir memanjang di tengahnya, pariwisata menjadi salah motor penggerak ekonomi di antara wanginya kopi. Badan Otorita Pengelola Kawasan Pariwisata Danau Toba (BOPKPDT) yang terbentuk sejak 2016, melakukan perencanaan,

pengembangan, pembangunan, pengelolaan, dan pengendalian di kawasan pariwisata Danau Toba. Cakupan kawasannya sekitar 500 ha.

BPS di tahun 2013, mencatat jumlah hotel di tujuh kabupaten di tepian Danau Toba sebanyak 230 hotel. Tahun 2017, jumlahnya bertambah menjadi 398 hotel.

Turis mancanegara pun makin mengenal dan menikmati Toba dengan segala pesonanya. Mereka datang melalui Bandara Kualanamu, Bandara Silangit, Pelabuhan Belawan, dan Pelabuhan Tanjung Balai. Sekitar 259.000 orang datang empat gerbang tersebut di tahun 2013 dan bertambah di tahun 2017, tercatat sekitar 270.000 orang.

Pesona tepian Toba pun terus bersolek. Infrastruktur, destinasi, kuliner, budaya menuju perbaikan. Agar mereka yang datang selalu rindu, seperti Nahum Situmorang menutup lagu Pulau Samosir dengan liriknya, “pulo samosir masihol au” ke Pulau Samosir aku selalu rindu...





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.

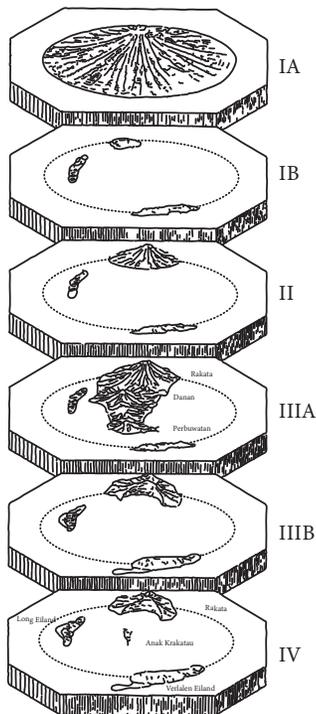
Pada bulan Mei 1883 itu, kerucut Perbuwatan ikut meletus dengan skala kecil. Saat diteliti, pada 27 Mei 1883, sebagian pulau-pulau tertutup abu dan terjadi vegetasi. Tidak terbakar tetapi tanaman di lingkungan sekitarnya mati atau layu.

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. Letusan tersebut diperkirakan menghasilkan batu apung dan abu sebanyak 18 km³. Gunungapi Perbuwatan, Danan dan setengah dari Rakata hilang ambles. Meninggalkan sebuah cekungan baru dengan kedalaman 250 m dan diameter 7 km.
- IV. Proses amblesnya 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 1929.

Kronologi Letusan Krakatau

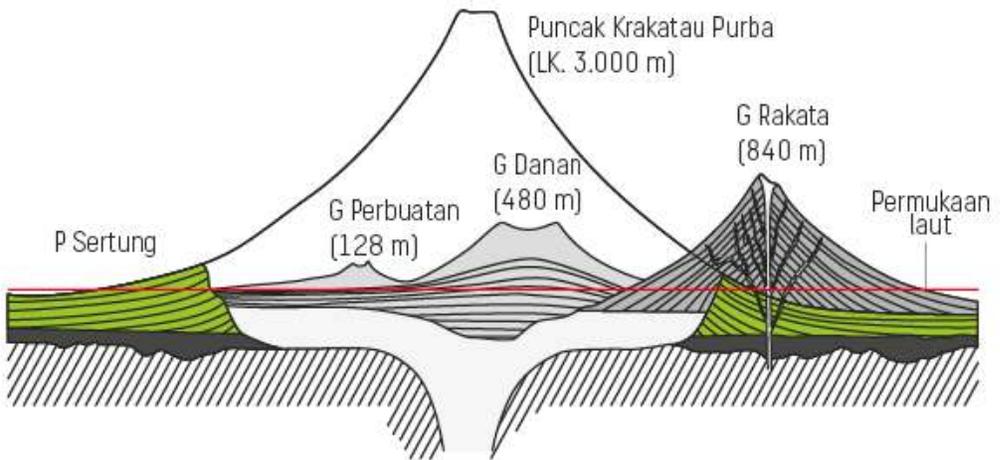
Mei 1883	Terjadi tremor/ getaran yang dirasakan di Anyer, Jakarta. Waktu itu belum ada seismograf. Beberapa kapal yang lewat di sekitar Krakatau, melihat asap dan uap keluar dari puncaknya.
20 Mei 1883	Mulai pukul 6-10 pagi, terjadi letusan dan hujan abu lebat. Suara letusan terdengar sampai Jakarta, 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 kebencanaan. Namun, kaldera runtuh tersebut memiliki potensi sumber daya alam luar biasa. Yakni, menjadi sumber potensi energi geothermal yang besar dan sering berasosiasi

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 :

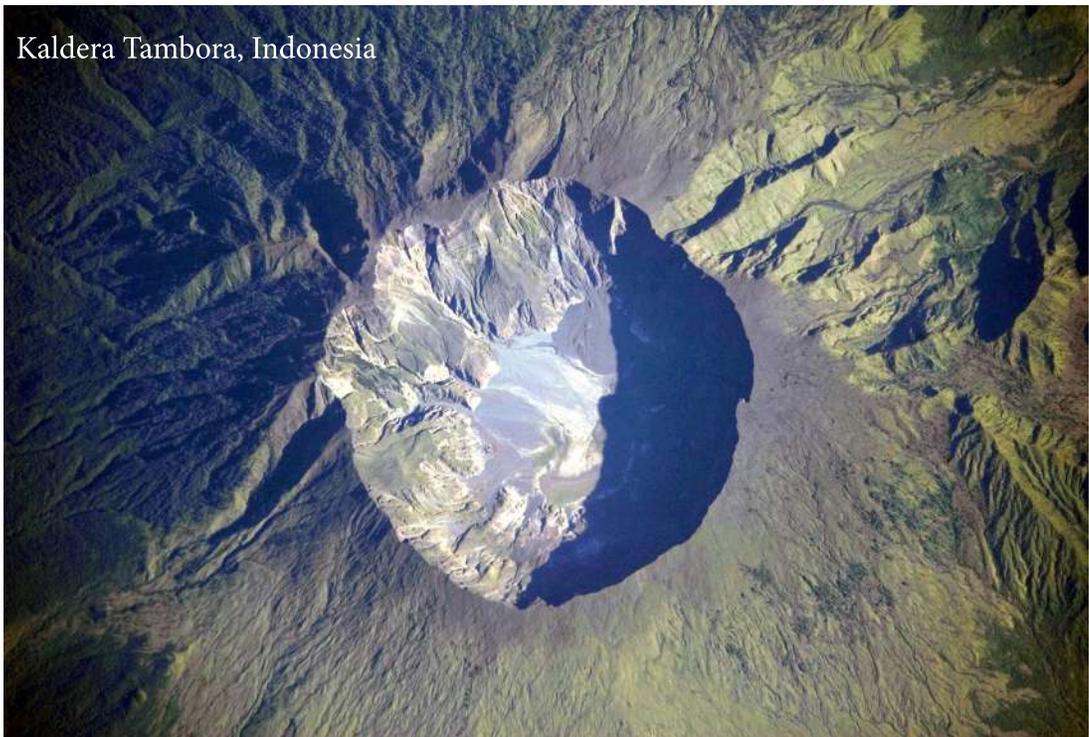
1. Depresi karena puncak gunung hancur dan terlontar oleh proses letusan itu sendiri. Proses ini menghasilkan kawah.
2. Depresi karena amblesan yang terjadi karena letusan besar mengosongkan sebagian isi dapur magma sehingga terjadi amblesan atap dapur magma. Proses ini menghasilkan kaldera.

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.



Kaldera Tambora, Indonesia

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 terambil 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 atap reservoir magma yang mengalami amblesan berbentuk silinder dengan radius 'R' dan tinggi silinder 'H'. Di bawah silinder tersebut terdapat 'underpressure' sebesar $|\Delta P_{(-)}|$ 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.

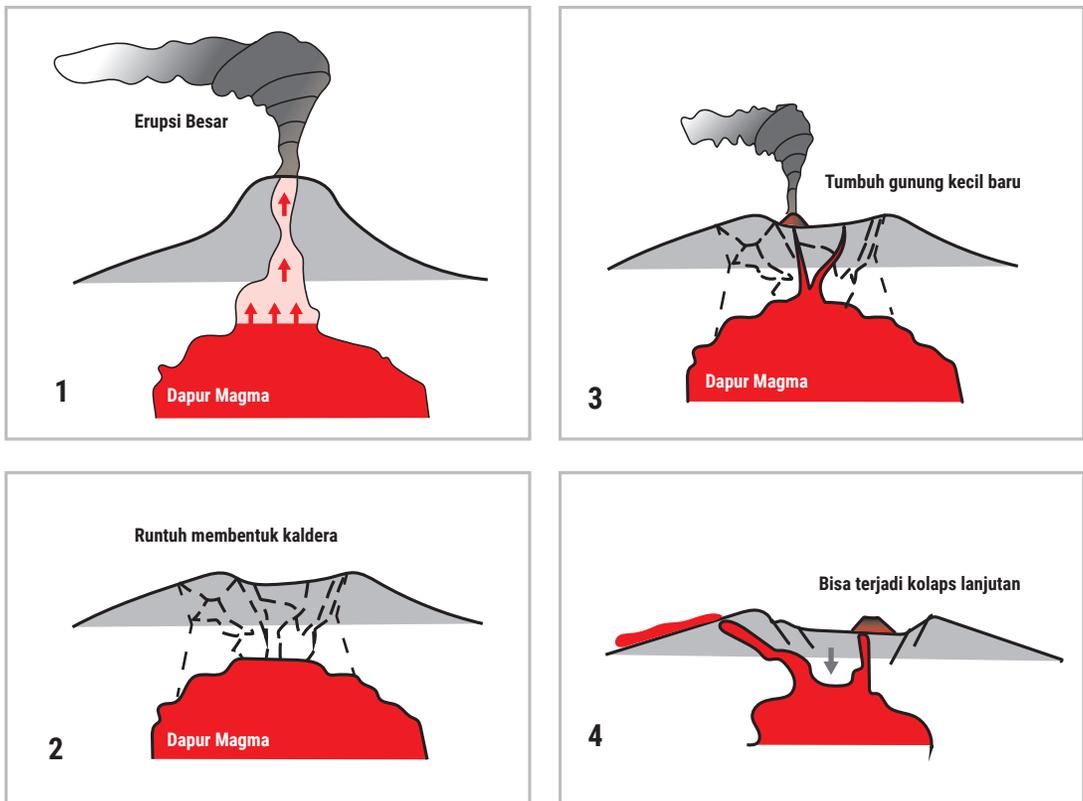
Pembentukan magma atau terjadinya magma sebenarnya berjalan dengan sangat pelan. Karenanya, proses untuk membangun dapur magma besar yang akhirnya melahirkan kaldera memerlukan waktu yang panjang dan diperkirakan minimal diperlukan waktu 100 ribu tahun.

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)

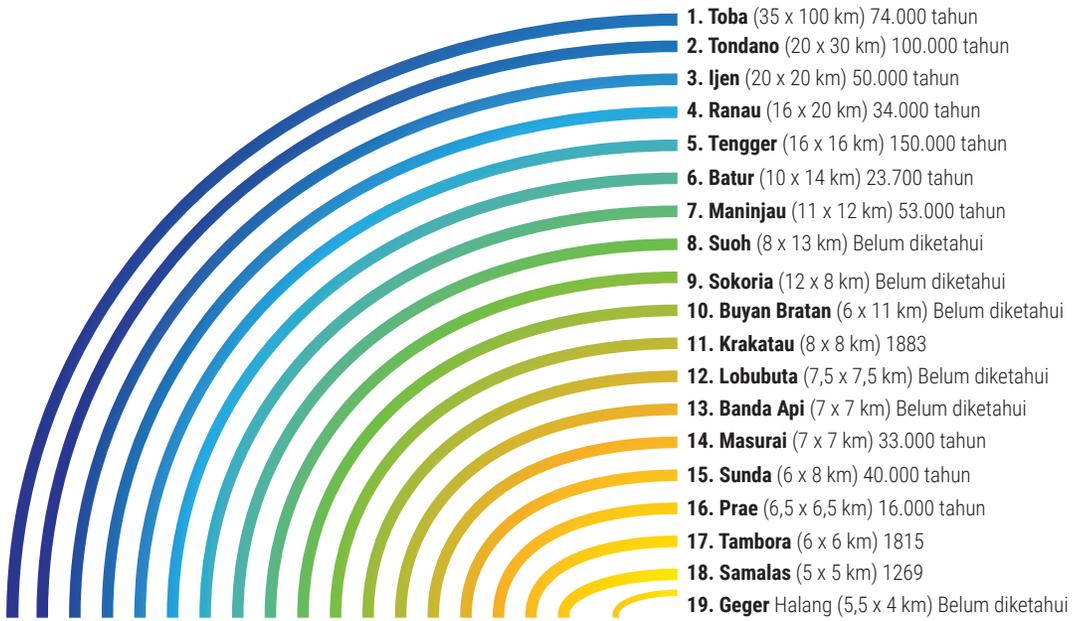
Analog model juga menunjukkan, runtuhannya yang terjadi dalam proses kaldera, bersifat outward (seperti mangkuk terbalik). Hal ini sesuai dengan referensi dari Kennedy, Stix, Vallance, Lavallee, Longpre (2004) dan Accella (2006).

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.



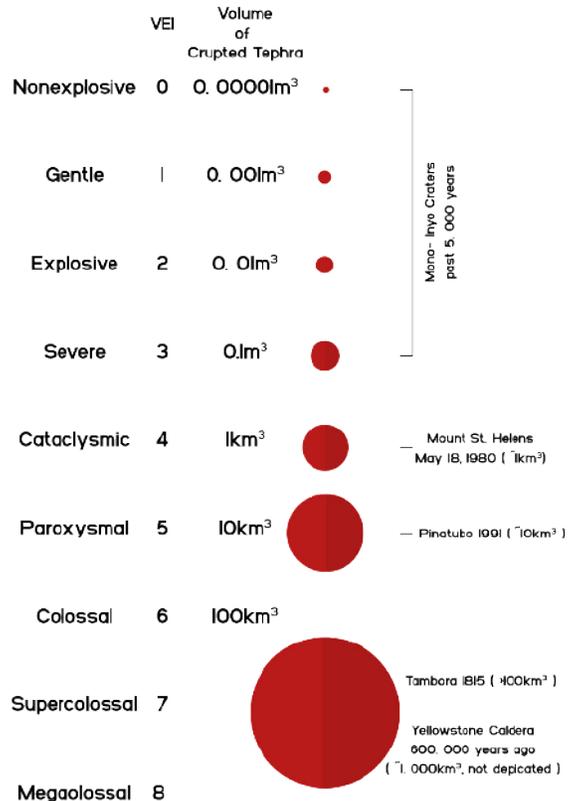
Ilustrasi Proses Pembentukan Amblesan Kaldera

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 pelapisan 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 pengangkatan secara sangat perlahan.



Dinding endapan 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 mejadi 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 luquid (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) runtuh 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,

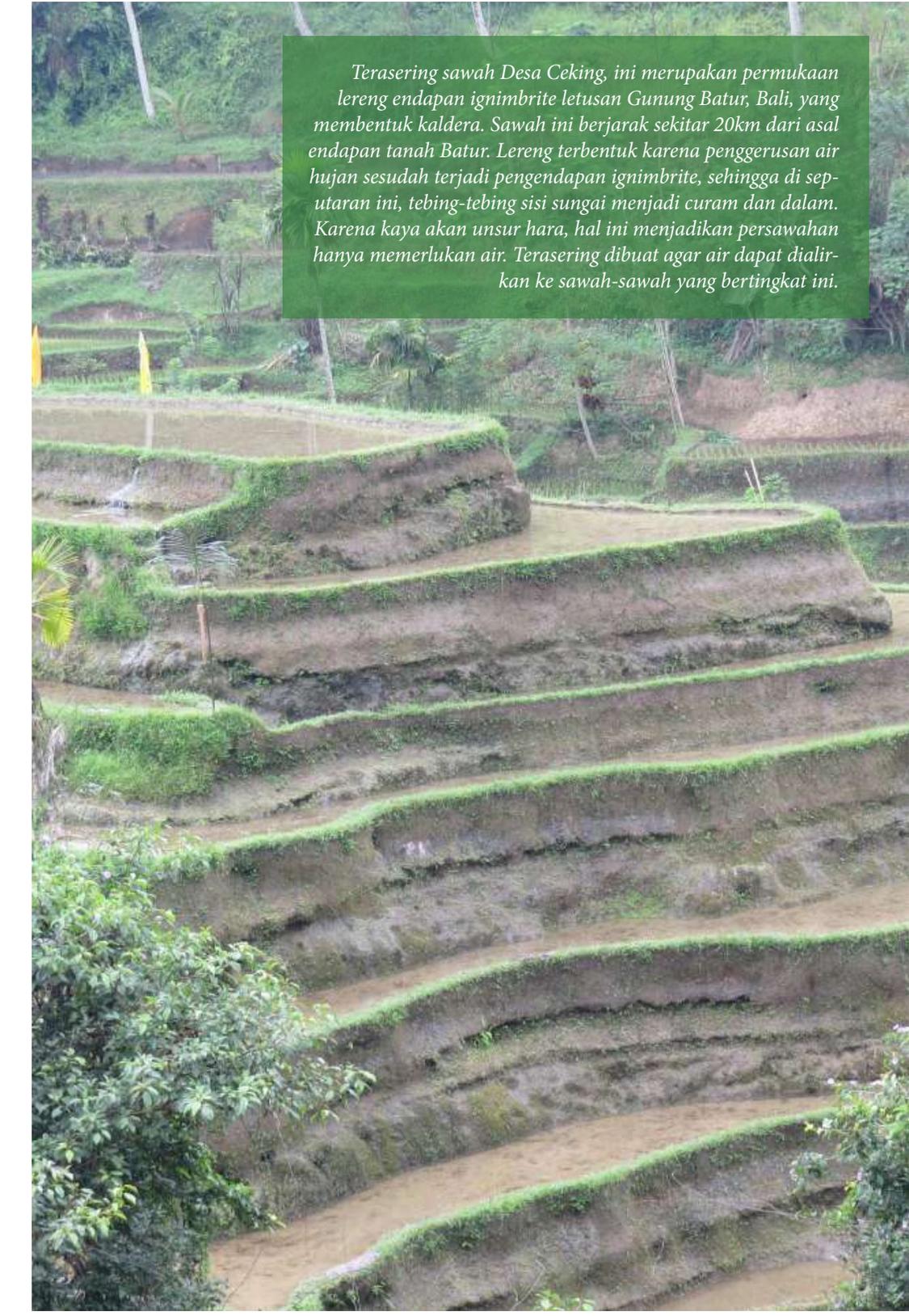
akan menghasilkan jenis-jenis tanah lainnya. Sebagian dari tanah tersebut tetap subur dan sebagian lagi tidak.

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 pabrikaan maupun herbal. Perlu adanya penelitian lanjut apa dan bagaimana cara yang direkomendasikan untuk mempertahankan kesuburan tanah dari material letusan gunungapi.



Terasering 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. Terasering 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 didapatkan 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, buku ketiga dalam Seri Kaldera Nusantara (SKN) sudah diselesaikan. Tim penyusun mengucapkan terimakasih kepada Kepala Badan Geologi Bapak Rudy Suhendar dan kepada Kepala Pusat Survei Geologi (PSG), Bapak Eko Budi Lelono (tahun 2018) dan Kepala Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) Bapak Kasbani, yang selalu memberikan dukungan dalam melakukan kajian di seputaran Danau Toba. Tentunya, termasuk dalam penyelenggaraan Kongres IWCC (International Workshop on Collapsed Caldera) pada bulan September 2018, yang mana buah-buah diskusi dalam kongres tersebut, antara para ahli PSG dan ahli-ahli PVMBG dengan ahli kaldera dari luar negeri, khususnya Mr. Shanaka Da Silva, banyak menjadi acuan dalam penulisan buku kaldera seri Toba ini.

Dalam kongres IWCC, salah satu peneliti Toba yang disebut Bapak kaldera, Craig Chesner banyak memberi masukan dan pandangan tentang Kaldera Toba. Hasil penelitian dan pengalamannya menjadi bagian isi dari buku ini. Tentu saja, buku ini juga didedikasikan kepada Van Bemmelle, geolog Belanda, yang pertama meneliti adanya “Batak Tumor”.

Dukungan dalam kunjungan lapangan dan partisipasi dalam kongres IWCC yang berujung pada penulisan Buku Kaldera Toba juga diperoleh dari Pemerintah Provinsi Sumatera Utara dan pemerintah kabupaten di seputaran tepian Danau Toba.

Terimakasih pada Bapak Tansiswo Siagian, Bapak Adentua SiRingoRingo, Bapak Sampe Purba, atas diskusinya sehingga memperkaya pemahaman penyusun terhadap budaya dan adat masyarakat Batak.

Terimakasih pada Jesral Tambunan, pande lontik yang telah memberikan penjelasan detail tentang proses pembuatan “gorga”. Gorga yang menjadi ciri kuat dari Rumah Adat Batak.

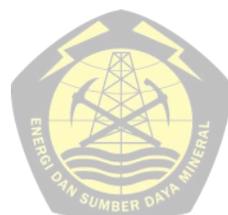
Dukungan juga diterima penyusun dari Harian KOMPAS, yang telah memuat perjalanan tim Badan Geologi dalam penulisan Seri Kaldera Nusantara. Juga kepada Locca Chandra dengan dukungan seninya dalam mengatur narasi, sket serta ilustrasi menjadikan buku ini indah serta menarik.

Kepada seluruh tim, semoga kerjasama ini dapat terus berjalan harmonis. Semoga juga tetap terjaga kekompakkannya pada setiap kesempatan survei dan penelitian yang lain.

Horas!

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. 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.
5. Bemmelen, R. W., 1949. *The Geology of Indonesia*. The Government Printing Office. The Hague. Bemmelen, R. W., 1969. *Four volcanics outbursts that influence human history*. *International Scientific Congress of the Volcano of Thera*. Greek.
6. Chesner, C.A., 1988. *The Toba Tuff and Caldera Complex, Sumatra, Indonesia: Insights into Magma Bodies and Eruptions*. Ph.D. Thesis, Michigan Technological University.
7. Chesner, C.A., Hester, J.C., 1996. *Pusikbukit volcano: a post-caldera composite volcano in the toba caldera, Sumatra, Indonesia*. *Geological Society of America Abstracts with Programs* 28, 32.
8. Chesner, C.A., 1998. *Petrogenesis of the Toba Tuffs, Sumatra, Indonesia*. *Journal of Petrology* 39, 397e438.
9. Chesner, C.A., 2012. *The Toba Caldera Complex, Quaternary International, Elsevier Ltd and IBQUA*, 258 (2012) 5e18
10. Cole, J.W., Milner, D.M. and Spinks, K.D., 2005. *Calderas and caldera structures: a review*. *Earth-Science Reviews*, 69, 1-26.
11. Cotton, C. A., 1944. *Volcanoes and landscape Forms*. Whitcombe and Tombs, Christchurch, New Zealand. 415 pp.
12. Da Silva, S. L, Mucek, A. E., Gregg, P. M., Pratomo, I., 2015. *Resurgent Toba—field, chronologic, and model constraints on time scales and mechanisms of resurgence at large calderas*. *Frontiers in Earth Science*, Volume 3, id.25 (2015), doi: 10.3389/feart.2015.00025.
13. Fontaine, H. And Gafoer, S., 1989. *The pre-Tertiary fossils of Sumatera and their environments*. CCOP Technical Paper 19, p.1-356.
14. 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.
15. Hildreth, W. dan Wilson, C.J.N., 2007. *Compositional zoning of the Bishop Tuff*. *Journal of Petrology*, vol 48, no.5: 951-999.
16. 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
17. 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.
18. 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

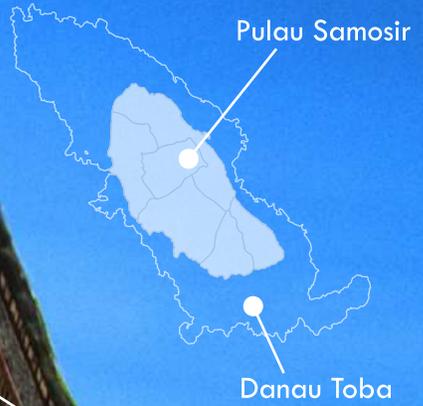
19. Kurbatov AV, et al. (2006) A 12,000 year record of explosive volcanism in the Siple Dome Ice Core, West Antarctica. *J Geophys Res* 111:D12307.
20. Kusnama, Pardede, R., Andi Mangga, S., and Sidarto, 1993. *Geology map of the Sungai Penuh and Kataun Quadrangle (0812-0813), Sumatra. Scale: 1:250.000. Geological Survey of Indonesia, Bandung.*
21. 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)*. doi/10.1073/pnas.1307520110.
22. 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.
23. 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.
24. Leven, E. Ja., 1971. Les gisements Permiens et les fusulinidés de l'Afghanistan du nord. *Notes et Mémoires sur le Moyen-Orient* 12, p.1-45.
25. 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.
26. Metcalfe, I. 2011. Tectonic framework and Phanerozoic evolution of Sundaland. *Gondwana Research*, 19, 3-21.
27. 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
28. Newhall, C.G. dan Dzurizin, D., 1988. *Historical Unrest at Large Calderas of the World*. U.S. Geological Survey, Washington.
29. Ninkovich, D., N. J. Shackleton, A. A. Abdel-Monem, J. D. Obradovich and G. Izett, 1978. K-Ar age of the late Pleistocene eruption of Toba, north Sumatra. *Nature* volume 276, 574-577 (1978).
30. 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.
31. 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
32. 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.
33. Perret, F.A., 1924. *The Vesuvius eruption of 1906: Study of a volcanic cycle*. Carnegie Inst. Washington Publ. 339.
34. 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).
35. Rose, W.I., Chesner C.A., 1987. Dispersal of ash in the great Toba eruption, 75 ka. *Geology*, vol. 15, Issue 10, p.913
36. Siebert, L. , Simkin, T., Kimberley, P., 2010. *Volcanoes of the World, Third Edition*. Smithsonian Institution. University of California Press. Washington.
37. 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

38. Simamora, S.D., 1999. *Hakekat dan manifestasi Dalihan na Tolu dalam masyarakat adat batak Toba*, Cetakan keempat 2012. Penerbit FH Untan Press Pontianak.
39. Simkin, T., dan Fiske, R., S., 1983. *Krakatau 1883: The volcanic Eruption and Its Effects*. Smithsonian Institution Press, Washington DC.
40. Suwarna, N., Suharsono, Gafoer, S., Amin, T.C., Kusnana and Hermanto, B., 1994. *Geology map of the Sarolangun Quadrangle (0913), Sumatra. Scale: 1:250.000*. Geological Survey of Indonesia, Bandung.
41. Thomson, M. L., 1936. *Lower Permian fusulinids from Sumatra*. *Journal of Paleontology* 10, p.587-592.
42. Uneo, K., 2003. *The Permian fusulinoidean faunas of Sibumasu and Baoshan block: Their implications for the paleogeographic and paleoclimatologic reconstruction of the Cimmerian Continent*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology* 193, p.1-24.
43. Verbeek, R.D.M., 1886. *The Krakatau Eruption*. *Nature*, v10: 10-15. (doi.org/10.1038/030010a0).
44. Vegouwen, J.C., 2004. *Masyarakat dan hukum adat Batak Toba*. LKIS, Yogyakarta, 2004.
45. Verbeek, R.D.M., 1886. *Krakatau. Publie par ordre de son excellence Le Gouverneur-General des Indes Neerlandaises*. Batavia (Jakarta).
46. Weil R.R., dan N.C. Brady. 2016. *The Nature And Properties Of Soils*, E.15. Pearson Education.
47. Williams H (1941) *Calderas and their origin*. *Bull Dept Geol Sci Univ. California* 25:239-346

Informasi tentang Kaldera menjadi penting bagi kita semua guna memahami dua hal bahwa wajah muka bumi ini berubah dari waktu ke waktu, terutama yang oleh proses dari dalam bumi sendiri, dan kedua, ya karena Indonesia memang wilayah yang kaya akan keberadaan kaldera.

Kaldera memang dibentuk melalui letusan super besar. Dalam ilmu gunungapi, semakin besar ukuran letusan semakin jarang terjadi. Gunungapi aktif yang letusannya relatif kecil (dibanding kaldera) bisa meletus tiap beberapa tahun sekali. Kaldera, yang pembentukannya oleh letusan super besar bisa terjadi dalam skala waktu yg sangat jarang, bahkan di luar skala waktu kehidupan manusia. Letusan super besar pembentuk kaldera bisa terjadi sekali dalam puluhan ribu tahun, bahkan ratusan ribu tahun.

Pemahaman proses pembentukan kaldera menyadarkan bahwa bumi itu aktif, dinamik dan berevolusi menerus. Bumi yang penuh dinamika inilah yang ditempati manusia. Dan sebenarnya, meskipun bumi itu aktif, manusia diciptakan untuk cocok menempati bumi ini. Bumi memberikan kehidupan bagi manusia. Tinggal sekarang..diperlukan rasa syukur manusia dalam bentuk 'mencintai bumi nya'. Sebagaimana kita mencintai Kaldera Toba yang indah mempesona.



BADAN GEOLOGI
KEMENTERIAN ESDM

ISBN 978-602-9105-62-7



9 786029 105827