

PROCEEDINGS

HAGI-IAGI Joint Convention Medan 2013

28 – 31 October

Supererupsi Toba 74.000 Tahun yang Lalu: Katastrofi Geologi dan Kepunahan Massa

Awang H. Satyana^{1),2)}; Ridwan Hutagalung²⁾; Umyy Latifah²⁾

–¹⁾ SKK Migas, ²⁾ Geotrek Indonesia

ABSTRAK

Danau Toba adalah sebuah kaldera gunungapi yang kejadiannya berhubungan dengan gejala tektonik dan vulkanik (van Bemmelen, 1949). Diketahui kemudian bahwa Danau Toba adalah kaldera yang terangkat kembali (*resurgent cauldron*) terbesar di dunia. Setelah sebuah letusan sangat besar (megakolosal) Gunungapi Toba terjadi 74.000 tahun yang lalu, blok-blok yang runtuh setelah letusan terangkat kembali dan menjadi Pulau Samosir serta Blok Uluan/Prapat.

Berdasarkan penyebaran piroklastika Toba di daratan dan lautan, ketebalan, ciri-ciri, dan umur absolutnya, ditafsirkan bahwa Toba meletus secara megakolosal, mencapai indeks ledakan vulkanik (VEI-volcanic explosivity index) di atas nilai maksimum 8,0, melemparkan minimum 2800 km³ bahan ledakan/ejekta ke ketinggian minimum 40 km, menutupi kawasan seluas sekitar 4 juta km², lalu meruntuhkan bagian atas badan gunungapinya menjadi kaldera seluas 100 x 30 km. Erupsi Toba merupakan letusan gunungapi terbesar di dunia paling tidak di dalam 28 juta tahun terakhir.

Super-erupsi Toba dihitung telah menghasilkan 3 milyar ton abu halus dan 540 milyar ton air terlontar tinggi sampai stratosfer, mengubah gas belerang SO₂ menjadi 1-10 milyar ton aerosol H₂SO₄. Aerosol ini secara signifikan mengurangi transmisi sinar Matahari sampai permukaan Bumi, sehingga tersisa tinggal 0,001-10 %

cahaya Matahari. Akibatnya, terjadilah musim dingin vulkanik yang masif, mempercepat glasiasi yang sedang berjalan, menyebabkan 6-10 tahun zaman es diikuti oleh 1000 tahun periode dingin. Sangat berkurangnya cahaya Matahari telah meniadakan fotosintesis, sehingga memutus rantai makanan. Katastrofi geologi yang memicu katastrofi iklim ini telah mereduksi evolusi dan migrasi manusia (*genetic bottlenecking*), membunuh 90 % manusia saat itu, sehingga menyebabkan kepunahan massa.

PENDAHULUAN

Danau Toba, Sumatra Utara, terletak 70 km di sebelah selatan Medan. Danau Toba adalah danau terbesar di Asia Tenggara dan termasuk danau-danau terdalam di dunia. Danau Toba sesungguhnya merupakan sebuah kawah gunungapi/vulkanik, sehingga Danau Toba adalah danau vulkanik dan merupakan danau vulkanik terbesar di dunia. Letusan gunungapi Toba pun merupakan letusan terbesar di dunia dalam 28 juta tahun terakhir, bahkan mungkin yang terbesar dalam sejarah Bumi yang kita ketahui.

Pulau Samosir terletak di dalam Danau Toba. Pulau ini bukan gunungapi yang tumbuh di dalam kawah vulkanik seperti banyak ditemukan di kawah vulkanik lainnya. Pulau Samosir adalah bagian puncak Gunungapi Toba yang ikut runtuh ke dalam kawah ketika terjadi pembentukan kawah Toba, tetapi kemudian terangkat kembali (*resurgent cauldron*).

PROCEEDINGS

HAGI-IAGI Joint Convention Medan 2013

28 – 31 October 2013

Makalah ini akan membahas bagaimana proses erupsi megakolosal Toba terjadi dan rentetan peristiwa-peristiwa selanjutnya yang memicu perubahan signifikan iklim lalu mengakibatkan kepunahan massa, secara khusus manusia.

DATA DAN METODE

Penulisan makalah dilakukan dengan mempelajari literatur-literatur yang terbit yang mencakup hal-hal yang berhubungan dengan judul/tema makalah. Setelah dipelajari, dilakukan analisis, kemudian disintesis menjadi suatu deskripsi yang komprehensif.

Cek lapangan dilakukan dalam rangka penyusunan makalah ini, terutama untuk melihat singkapan-singkapan dan fenomena-fenomena yang berhubungan dengan erupsi megakolosal Toba. Cek lapangan dilakukan bersamaan dengan ekskursi Toba yang dilakukan oleh Komunitas Geotrek Indonesia, suatu komunitas pencinta fenomena-fenomena geo-histori Indonesia pada 2-4 November 2012.

HASIL DAN DISKUSI

Danau Toba dan Pulau Samosir

Danau Toba, Sumatra Utara, terletak 70 km di sebelah selatan Medan. Danau Toba adalah danau terbesar di Asia Tenggara dan termasuk danau-danau terdalam di dunia. Danau Toba sesungguhnya merupakan sebuah kawah gunungapi/vulkanik, sehingga Danau Toba adalah danau vulkanik dan merupakan danau vulkanik terbesar di dunia. Letusan gunungapi Toba pun merupakan letusan terbesar di dunia dalam 28 juta tahun terakhir, bahkan mungkin yang terbesar dalam sejarah Bumi yang kita ketahui.



Gambar 1: Tepi utara Danau Toba dilihat dari Merek ke arah selatan. Di latar belakang adalah Pulau Samosir dengan sisi timurnya terlihat menunjukkan bentukan-bentukan erosi tampang segitiga (triangular facet) sebagai wujud gawir sesar normal.

Danau Toba berukuran maksimal 100 km x 31 km dengan titik terdalam 529 meter di sebelah utara dekat Haranggaol. Wilayah perairan Toba luasnya 1130 km², tidak termasuk Pulau Samosir seluas 647 km² dan pulau-pulau kecil lainnya. Tebing-tebing curam setinggi 400-1220 meter mengelilingi Danau Toba. Tebing-tebing curam ini diyakini merupakan bidang patahan/sesar saat terjadi pembentukan kawah vulkanik Toba akibat runtuhnya.

Danau Toba mendapatkan airnya dari sungai-sungai berukuran menengah dan kecil dengan luas area aliran (catchment area) 3700 km². Di samping itu, air berasal dari air hujan dengan curah hujan rata-rata 2264 mm/tahun. Pengeluaran air dari Danau Toba terjadi di bagian selatannya melalui Sungai Asahan. Fluktuasi muka danau saat ini adalah 1,5 meter, tingkat keasaman air pH 7,0-8,4, tingkat penguapan 15,8 cm/tahun, temperatur air 25,6 C dan temperatur udara 19,1-21,2 C (Hehanusa, 2000).

PROCEEDINGS

HAGI-IAGI Joint Convention Medan 2013
28 – 31 October 2013

Ketinggian air Danau Toba saat ini 905 meter, tetapi sebelumnya diyakini 1150 meter, berkurang karena air danau memotong lembah baru yang tersusun dari tuf di bagian selatan danau dan bersatu dengan lembah Sungai Asahan (van Bemmelen, 1949).

Pulau Samosir terletak di dalam Danau Toba. Pulau ini bukan gunungapi yang tumbuh di dalam kawah vulkanik seperti banyak ditemukan di kawah vulkanik lainnya. Pulau Samosir adalah bagian puncak Gunungapi Toba yang ikut runtuh ke dalam kawah ketika terjadi pembentukan kawah Toba, tetapi kemudian terangkat kembali (resurgent cauldron).



Gambar 2: Danau Toba, pandangan ke selatan, melintas dari Parapat ke Pulau Samosir. Bagian terangkat di sebelah kiri (timur) foto adalah Semenanjung Uluan, bagian terangkat di sebelah kanan depan (barat) foto adalah Pulau Samosir. Semenanjung Uluan dan Pulau Samosir merupakan bagian puncak Gunung Toba yang pernah tenggelam saat terjadi pembentukan kawah, kemudian terangkat kembali. Selat Latung (kedalaman 400 m) memisahkan Uluan dan Samosir.

Pulau Samosir berukuran 45 km x 20 km. Pulau ini sebenarnya merupakan semenanjung yang disambungkan oleh tanah genting (isthmus) sepanjang 200 meter dengan wilayah di sebelah barat Danau Toba. Pada tahun 1906, Belanda membangun kanal di tanah genting ini, sehingga Samosir menjadi sebuah pulau.

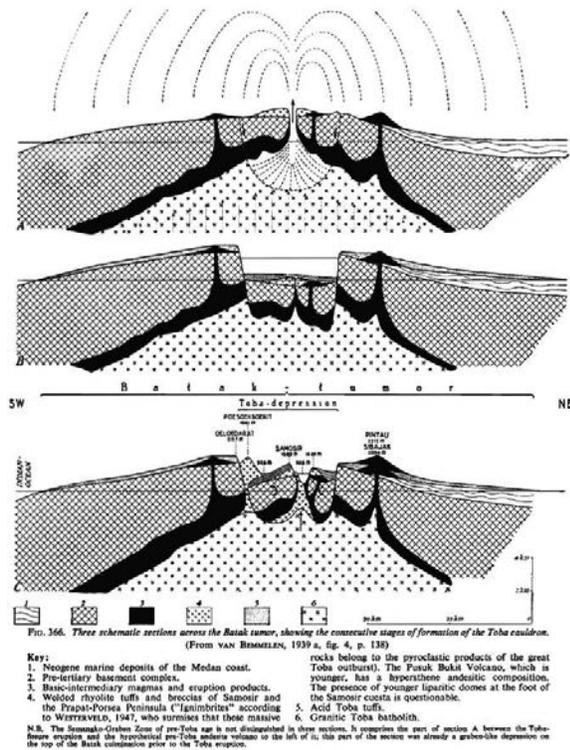
Bagian timur Pulau Samosir sangat curam dengan kawasan pantai yang sempit dan langsung naik ke bukit-bukit Plato Samosir di bagian tengah pulau dengan titik tertinggi 780 meter di atas muka danau. Lereng plato ke arah barat dan selatan landai.

Evolusi Geologi dan Erupsi Toba 74.000 Tahun yang Lalu

Setelah dilakukan pemetaan geologi, pola-pola struktur yang ditemukan (patahan, lipatan, retakan), maka berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu dan penelitiannya sendiri, van Bemmelen (1949) mengemukakan tahapan-tahapan pembentukan gunungapi dan danau Toba.

Menurut van Bemmelen (1949), Gunungapi dan Danau Toba terjadi di puncak suatu kulminasi geologi di Sumatra Utara yang disebutnya Kulminasi Batak atau Tumor Batak, yaitu suatu dataran tinggi menonjol sendiri di Sumatra Utara berukuran 150 x 275 km. Tumor Batak ini ditandai oleh puncak-puncak gunung yang tersebar di seluruh areanya, yaitu Gn. Sibuatan (2457 m) di sebelah BL danau Toba, Gn. Pangulubao (2151 m) di sebelah timur, Gn. Surungan (2173 m) di sebelah tenggara, dan Gn. Uludarat (2157 m) di sebelah barat. Semua gunung ini disusun oleh batuan tua berumur lebih tua dari 25 juta tahun (Paleogen dan pra-Tersier).

Patahan atau Sesar Sumatra memotong bagian barat Tumor Batak tepat di sebelah barat Danau Toba. Patahan ini adalah patahan besar yang membelah Sumatra di tepi baratnya sepanjang sekitar 1700 km. Danau Toba atau Kawah Toba terletak di puncak Tumor Batak. Panjang kawah ini dari BL-tenggara hampir 100 km, dan lebar BD-TL maksimum 31 km. Luas area Toba 2269 km². Berdasarkan topografi dan geologinya, van Bemmelen (1949) mengemukakan evolusi pembentukan Gunungapi dan Danau Toba.



Gambar 3: Evolusi pembentukan Gunungapi dan kawah/Danau Toba serta Pulau Samosir (van Bemmelen, 1949).

Tahapan evolusi Gunungapi dan pembentukan Danau Toba adalah sebagai berikut.

A. Pengangkatan Kulminasi/Tumor Batak, Pembentukan dan Erupsi Gunungapi Toba

Evolusi Toba dimulai pada sekitar 13 juta tahun yang lalu (intra-Miosen) ketika dimulai pengangkatan Pegunungan Barisan oleh proses tektonik. Tektonik adalah proses deformasi kerak Bumi akibat gaya-gaya geologi yang menyebabkan suatu kawasan terangkat, tenggelam, terlipat atau terpatahkan. Pengangkatan ini terus berlangsung dan pada sekitar 2 juta tahun yang lalu (Plio-Pleistosen) terjadilah Kulminasi Batak atau Tumor Batak

yang memanjang dari BL ke tenggara membentuk Tinggian Wilhelmina-Simanukmanuk.

Proses tektonik ini dalam banyak hal disertai dengan proses magmatisme atau vulkanisme akibat turutnya magma bergerak oleh deformasi kerak Bumi. Pada saat pengangkatan Tumor Batak terjadi juga pergerakan magma yang menyebabkan intrusi (magma bergerak di antara batuan di bawah permukaan) atau ekstrusi (magma keluar permukaan menjadi lava). Intrusi dan ekstrusi ini menghasilkan batuan andesitik yang meleleh di beberapa tempat di sekeliling Toba sekarang, misalnya di wilayah depresi/wilayah turun Graben Batang Toru-Renun di sebelah BD Toba, Surungan di ujung selatan Toba, di Haranggaol di sebelah U dan TL Toba, dan di Silalahi dan Binangara di BL Toba, serta di Paropo di antara Tongging dan Silalahi. Semua batuan andesit ini disebut Andesit pre-Toba (van Bemmelen, 1949) atau Plio-Pleistocene volcanic centres (Aldiss dan Ghazali, 1984).

Tinggian Wilhelmina-Simanukmanuk yang membentuk Kulminasi Batak rupanya tidak berlangsung lama dalam waktu geologi. Pengangkatan ini berhubungan dengan pasokan magma yang sangat besar, ketika semakin terangkat, bagian puncak Tumor Batak (Gunungapi Toba) mulai retak-retak, maka dengan terjadi retakan tersebut terdapat kontak antara permukaan dengan magma bertekanan tinggi. Lalu segeralah terjadi pelepasan tekanan sangat tinggi dari magma yang naik ke permukaan dan menghasilkan letusan/erupsi leburan magma silikat asam yang sangat dahsyat atau katastrofik. Jadi letusan Toba adalah melalui fissure eruptions (letusan retakan). Berdasarkan penelitian modern, letusan katastrofik gunungapi Toba terjadi pada 73.500 ± 3000 atau 73.000 ± 4000 tahun yang lalu (Chesner dkk., 1991), secara umum sering

PROCEEDINGS

HAGI-IAGI Joint Convention Medan 2013

28 – 31 October 2013

disebutkan letusan tersebut terjadi pada 74.000 tahun yang lalu (Rampino dan Self, 1993).

Materi letusan sebagian besar berupa campuran gas dan magma yang sudah menepung menjadi abu vulkanik akibat kuatnya tekanan, menyala, bercampur dengan fragmen-fragmen batuan lebih tua berasal dari dinding celah-celah gunung. Awan vulkanik berupa ini terlempar ke mana-mana dan endapannya menuruni dataran rendah di sekeliling Toba terutama ke dataran rendah luas di sebelah timur laut, yaitu area Pematang Siantar. Abu vulkanik mengendap kembali dan menjadi tuf. Aliran tuf di sekitar Kawah Toba luas penyebarannya 20.000-30.000 km², di bagian tengah tebalnya sampai ratusan meter. Volume total material letusan Toba menurut van Bemmelen (1949) adalah 2000 km³.

Penelitian-penelitian modern (misalnya Rose dan Chesner, 1987) menunjukkan bahwa abu vulkanik Toba menyebar di seluruh Asia Selatan sampai India dan juga mengendap di dasar laut Samudera Hindia dan Laut Cina Selatan, meliputi kawasan seluas 4 juta km² dan volume materi letusan minimal 2800 km³.

B. Pembentukan Kawah/Danau Vulkanik Toba

Dengan besarnya materi yang diletuskan, maka terjadilah pengosongan kantong magma di bawah Toba. Hal ini telah menyebabkan runtuhnya puncak Toba menjadi sebuah kawah atau cauldron. Volume kawah ini sekitar 1000-2000 km³. Runtuhan puncak Toba di bagian tengah Kulminasi Batak ini terjadi melalui patahan-patahan terban atau sesar runtuh yang kini membentuk gawir-gawir sesar atau dinding patahan yang curam ratusan meter tingginya di beberapa tempat di sekeliling Danau Toba. Di bagian barat, patahan-patahan terban ini memotong Sesar Sumatra. Kawah runtuh ini kemudian diisi air melalui air hujan atau sungai-sungai yang mengalir menuju depresi Toba.

Setelah diisi air, jadilah kawah gunungapi ini terkenal sebagai Danau Toba.

C. Pembentukan Pulau Samosir dan Semenanjung/Blok Uluan

Pulau Samosir dan Semenanjung Uluan semula adalah bagian puncak Toba yang juga tertutup material tuf hasil letusan Toba. Dalam proses pembentukan kawah akibat runtuh seperti diterangkan di atas, puncak Toba ini ikut runtuh. Tetapi kemudian, bagian runtuh ini terangkat kembali akibat aktivitas tektonik dan magmatik setelah letusan Toba. Pulau Samosir terangkat miring ke sebelah barat, bagian barat landai dan bagian timurnya cukup curam. Semenanjung Uluan terangkat miring ke timur. Jadi Pulau Samosir dan Semenanjung Uluan adalah bagian kawah Toba yang terangkat kembali (resurgent cauldron). Ditemukannya endapan danau (diatomite) di Pulau Samosir menunjukkan bahwa Pulau Samosir pernah berada di bawah muka danau. Bila diperhitungkan, pulau ini telah terangkat paling sedikit 700 meter sejak letusan mega-kolosal Toba terjadi.

D. Aktivitas Vulkanik Post-Toba

Kegiatan magmatik dan vulkanik Toba setelah letusan katastrofik sekitar 74.000 tahun lalu (post-vulkanismus) masih terjadi, bahkan sampai sekarang. Leleran lava andesit hipersten (hipersten adalah mineral yang dominan di lava andesit ini) terjadi di patahan sebelah BD Toba, membentuk kerucut vulkanik Pusuk Bukit, yang sebagian lavanya tersilisifikasi (silikat, nama mineral, SiO₂) oleh proses solfatara (hembusan gas belerang).

Semburan air panas (fumarola) dan gas belerang (solfatara) di wilayah Pangururan di dekat Pusuk Bukit adalah juga gejala vulkanisme post-Toba.

Gejala vulkanik post-Toba yang lain adalah pembentukan gunung-gunung dasitik-andesitik yang banyak terjadi berhubungan dengan

PROCEEDINGS

HAGI-IAGI Joint Convention Medan 2013

28 – 31 October 2013

patahan-patahan akibat runtuhnya Toba, yaitu kerucut-kerucut vulkanik Singgalang (1865 m), Tanduk Benua, juga beberapa gunungapi aktif sekitar 30-40 km di sebelah utara Danau Toba yaitu Sinabung (2460 m) dan Sibayak (2094 m). Gunung-gunungapi ini belum mati sama-sekali, masih terjadi aktivitas post-vulkanik padanya.

Supererupsi Toba 74.000 Tahun yang Lalu

Tiga letusan/erupsi gunungapi terbesar di dunia pada zaman prasejarah maupun sejarah terjadi di Indonesia, yaitu: (1) erupsi mega-kolosal Toba 74.000 tahun yang lalu, (2) erupsi Tambora 1815 M, dan (3) erupsi Krakatau 1883 M.

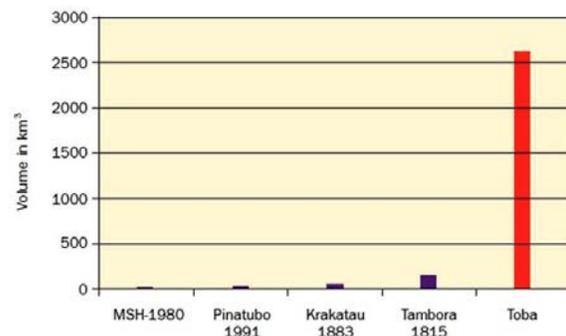
Letusan Tambora melontarkan material sebanyak 160 km³, menewaskan 91.000 orang baik langsung maupun tak langsung. Letusan Krakatau melontarkan material 18 km³, menewaskan 36.000 orang terutama akibat tsunami yang dibangkitkan oleh material letusan. Sementara Toba jauh di atas itu, ia melontarkan 2800 km³ material dan mungkin menewaskan 90 % penduduk Bumi saat itu (Ambrose, 1998).

Untuk mengukur kekuatan ledakan gunungapi, para ahli gunungapi telah mengembangkan parameter VEI, volcanic explosivity index. Dari kriteria-kriteria tersebut, maka erupsi Krakatau 1883 M berada pada VEI = 6 (paroxysmal), Tambora 1815 M pada VEI = 7 (colossal), dan erupsi Toba 74.000 tahun yang lalu pada VEI = 8 (megacolossal). Berdasarkan banyak studi, maka frekuensi erupsi dengan VEI ≥ 6 , di seluruh dunia terjadi 1 x di dalam 50 tahun; VEI ≥ 7 , terjadi 1 x di dalam 450 tahun; dan VEI ≥ 8 , terjadi 1 x di dalam 300.000 tahun atau lebih. Batas paling tinggi VEI adalah antara 8 dan 9. Erupsi Toba mungkin merupakan batas itu (Lockwood dan Hazlett, 2010).

Kaldera/Kawah/Danau Toba merupakan tempat terjadinya erupsi berumur Kuartar (< 1 juta

tahun yang lalu) paling besar di Bumi (Smith dan Bailey, 1968). Erupsi vulkanik di Toba telah meninggalkan kaldera memanjang berukuran 100 x 31 km. Letusan Toba terjadi dengan cara ultra-Plinian, yaitu menghasilkan kolom abu vulkanik dengan ketinggian lebih dari 40 km.

Endapan ignimbrit (tuf) asal abu vulkanik menutupi kawasan seluas 20.000 km² di sekeliling kaldera dari Samudera Hindia-Selat Malaka dengan ketebalan 100-400 m (Knight dkk., 1986). Seperti sudah dibahas sebelumnya, endapan ini adalah endapan yang dikategorikan YTT (the Youngest Toba Tuff).



Gambar 4: Perbandingan material letusan beberapa gunungapi di dunia. Toba menyolok sendiri dengan material letusan diperhitungkan minimum sekitar 2600 km³, jauh melebihi gunungapi-gunungapi yang lain (Lockwood dan Hazlett, 2010).

Ninkovich dkk (1978) dan Ninkovich (1979) juga melaporkan menemukan endapan yang luas kaya abu riolitik (asal magma granitik, berkomposisi asam) di Samudera Hindia, Teluk Bengala dan berkorelasi dengan erupsi Toba. Hampir di seluruh Asia Selatan ditemukan endapan abu vulkanik Toba setebal 15 cm. Endapan abu vulkanik asal erupsi Toba pun ditemukan di Laut Cina Selatan dan Laut Arab (Jones, 2007). Abu vulkanik terjauh ditemukan

PROCEEDINGS

HAGI-IAGI Joint Convention Medan 2013

28 – 31 October 2013

3100 km jauhnya dari Toba, yaitu di India. Luas total area/ kawasan yang ditutupi endapan vulkanik Toba adalah sekitar 4.000.000 km² (Rose dan Chesner, 1987). Untuk menutupi kawasan seluas itu, maka diperlukan lontaran kolom abu vulkanik setinggi 50-80 km (Ninkovich dkk., 1978) dengan lama letusan 9-14 hari (Ledbetter dan Sparks, 1979). Total material letusan minimal 2800 km³.

Berapa besarnya energi untuk melemparkan material sebanyak 2800 km³ tersebut, berdasarkan simulasi adalah kumulatif sama dengan 0,42 juta megaton TNT atau setara dengan ledakan 21 juta butir bom atom Hiroshima. Letusan selama dua minggu itu betapa besarnya, sebagai pembanding adalah letusan Merapi di Jawa Tengah pada tahun 2010 yang bagi kita terasa dahsyat, energinya setara dengan letusan Toba selama setengah menit saja.

Berdasarkan penelitian pada batupung (pumis) yang diletuskan Toba 74.000 tahun yang lalu, material letusan berkomposisi kuarsa kalk-alkalin sampai riolit dengan kandungan mineral SiO₂ 68 – 76 % (Rose dan Chesner, 1987). Kandungan mineralnya adalah: kuarsa, sanidin, plagioklas, biotit, amfibol, ortopiroksen, alanit, magnetit, ilmenit, fayalit, pirhotit, zirkon, dan apatit (Chesner, 1985).

Perubahan Iklim: Musim Dingin Vulkanik

Letusan Toba 74.000 tyl menyebabkan implikasi global (Chesner dkk., 1991). Data dari sampel es Vostok di Antarktika menunjukkan kejadian penurunan temperatur global sekitar 4 C di antara 80.000-75.000 tyl (Lorius dkk., 1988). Bersamaan dengan ini, siklus glasial (zaman es) yang disebut Glasiasi Wisconsin pun mengalami percepatan di Amerika Utara (Goldthwait, 1988).

Bahwa letusan besar gunungapi akan menyebabkan penurunan temperatur sudah

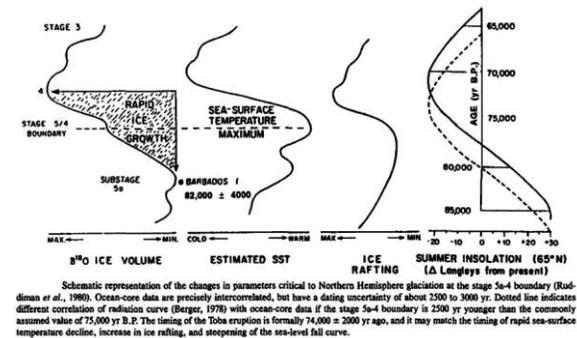
diketahui para ahli. Ketika Gunung Tambora meletus tahun 1815 dan melontarkan abu vulkanik sebanyak 50 km³, terjadi perubahan iklim signifikan setahun berikutnya di Amerika Utara dan Eropa (Stothers, 1984), yang terkenal dengan nama “1816: the year without a summer”. Saat itu terjadi penurunan temperatur 0,7 C (Rampino dan Self, 1992). Ketika Gunung Agung meletus pada tahun 1963 dan melontarkan material 0,3-0,6 km³, terjadi penurunan temperatur 0,3 C di Belahan Bumi Utara (Jones dkk., 1982). Bagaimana halnya bila Toba yang meletus pada 74.000 tyl dan melontarkan material abu vulkanik sebanyak 800 km³? Tentu telah terjadi perubahan iklim yang sangat signifikan. Dikatakan bahwa letusan Toba tersebut telah menyebabkan 6-10 tahun musim dingin, diikuti oleh 1000 tahun episode dingin (Wikipedia, 2011).

Letusan Toba 74.000 tyl telah menghasilkan 3 milyar ton abu halus dan aerosol H₂SO₄ dan SO₂ yang terlontar setinggi 27-37 km menginjeksi atmosfer dan sangat signifikan mengurangi transmisi sinar Matahari ke permukaan Bumi (Rampino dan Self, 1992; Chesner dkk., 1991). Diperhitungkan bahwa transmisi sinar Matahari saat itu hanya 0,001-10 %. Menurunnya daya terima sinar Matahari ini telah menyebabkan temperatur menurun 3-5 C. Saat itu Zaman Es sedang menjelang, dan letusan Toba diyakini telah mempercepat datangnya Zaman Es ini. Toba juga telah melepaskan sebanyak 540 milyar ton air yang naik sampai stratosfer dan dapat mengubah gas belerang yang dilontarkan Toba menjadi 1-10 milyar ton aerosol H₂SO₄. Posisi Toba di wilayah tropis juga membuatnya lebih efisien untuk abu dan gas dari Toba memasuki stratosfer di kedua belahan Bumi.

Simulasi yang dilakukan Rampino dan Self (1993) dan Robock (2008) memperlihatkan bahwa material yang dilontarkan Toba ini telah membuat intensitas cahaya Matahari di muka

PROCEEDINGS

HAGI-IAGI Joint Convention Medan 2013
28 – 31 October 2013



Gambar 6: Parameter-parameter klimatologi dan oseanografi global yang menunjukkan perubahan signifikan pada 74.000 tahun yang lalu, merespon efek letusan mega-kolosal Toba. (Rampino dan Self, 1993)

Penciutan Jumlah Manusia (*Genetic Bottleneck*)

Katastrofi geologi akibat erupsi mega-kolosal Toba pada 74.000 tyl telah menyebabkan musim dingin vulkanik akibat terhalangnya transmisi sinar Matahari ke permukaan Bumi. Hal ini diduga telah sangat mengurangi kemampuan tanaman melakukan fotosintesis yang selanjutnya mengganggu produksi makanan oleh tumbuhan. Terganggunya produksi makanan ini telah memicu efek berantai lainnya yang pada akhirnya mengganggu kesetimbangan populasi manusia. Kerusakan lingkungan akibat erupsi megakolosal juga diduga telah mempercepat degradasi populasi manusia yang ada pada saat itu.

Kemungkinan terjadinya penciutan populasi manusia akibat erupsi mega-kolosal Toba pertama kali dikemukakan oleh Gibbons (1993). Pendapat ini kemudian segera disokong oleh Rampino dan Self (1993). Teori bottleneck ini kemudian dikembangkan oleh Ambrose (1998) dan Rampino dan Ambrose (2000).

Menurut para pendukung teori genetic bottleneck, antara 50.000-100.000 tyl, populasi manusia mengalami penurunan yang sangat drastis, dari sekitar 100.000 individu menjadi sekitar 10.000 individu (Gibbons, 1993; Ambrose, 1998). Bukti-bukti genetik juga menunjukkan bahwa semua manusia yang hidup sekarang, meskipun sangat bervariasi, diturunkan dari populasi yang sangat kecil antara 1000-10.000 pasangan sekitar 70.000 tyl.

Ambrose dan Rampino pada akhir 1990-an mengajukan argumen-argumen bahwa genetic bottleneck ini disebabkan efek klimatologi akibat erupsi Toba. Erupsi ini telah menyebabkan bencana ekologi secara global dengan fenomena-fenomena yang ekstrem, seperti: rusaknya vegetasi di seluruh dunia, kekeringan parah di kawasan tropika dan wilayah-wilayah beriklim subtropis. Perubahan lingkungan yang masif ini telah menimbulkan penciutan spesies (genetic bottleneck) pada saat itu (Rampino dan Ambrose, 2000).

Setelah genetic bottleneck dan pemulihan kembali, diiferensiasi ras populasi manusia terjadi dengan cepat. Oleh karenanya, diajukan pendapat bahwa Toba telah menyebabkan ras-ras modern berdiferensiasi secara mendadak hanya sekitar 70.000 tahun yang lalu, daripada secara berangsur selama satu juta tahun.

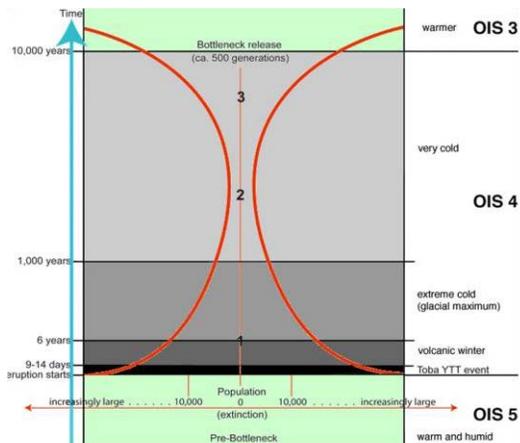
Terjadinya musim dingin vulkanik dan Zaman Es yang segera karena letusan Toba dapat menjawab suatu paradoks tentang asal Afrika buat manusia, yaitu: bila kita semua berasal dari Afrika (Out of Africa) mengapa kita semuanya tidak mirip orang Afrika? Karena musim dingin vulkanik dan Zaman Es yang segera telah mengurangi populasi sampai tingkat cukup rendah untuk meneruskan efek nenek moyang, lalu terjadi aliran genetik dan adaptasi lokal menghasilkan perubahan cepat pada populasi yang selamat, yang menyebabkan manusia-manusia di seluruh dunia terlihat begitu berbeda.

PROCEEDINGS

HAGI-IAGI Joint Convention Medan 2013
28 – 31 October 2013

Dengan kata lain, Toba telah menyebabkan ras modern manusia terdiferensiasi secara mendadak (Ambrose, 1998).

Ahli biologi evolusi Richard Dawkins (2004) menulis bahwa DNA mitokondria manusia (yang diwarisi dari ibunya) dan DNA kromosom Y (yang diwarisi dari ayahnya) menunjukkan suatu penggabungan masing-masing pada sekitar 140.000 dan 60.000 tahun yang lalu. Artinya garis nenek moyang semua perempuan sekarang dapat ditarik kepada seorang perempuan (Hawa Mitokondria) yang hidup pada sekitar 140.000 tyl, dan semua laki-laki sekarang dapat ditarik garis ke nenek moyangnya (Adam Kromosom Y) yang hidup pada sekitar 90.000-60.000 tahun yang lalu (Dawkins, 2004a).



OIS5: Oxygen Isotope Stage 5: hot and humid (130,000 - 73,000 YA)
OIS4: Oxygen Isotope Stage 4: cold and dry (73,000- 63,000 YA)
OIS3: Oxygen Isotope Stage 3: mild hot and humid (63,000 - 45,000 YA)

Gambar 7: Penciutan jumlah manusia (*genetic bottleneck*, kurva merah) di seluruh dunia mengikuti pascaerupsi Toba 74.000 tahun yang lalu). 1. Populasi manusia menurun dengan cepat sampai di bawah 10.000 individu. 2. Klimaks penciutan jumlah manusia, di bawah 5000 individu. 3. Populasi manusia yang selamat mulai beradaptasi dan kembali bertambah banyak. OIS 5-4-3 menunjukkan karakter iklim (Weber, 2012).

Kesimpulan

1. Danau Toba adalah sebuah kaldera yang terangkat kembali (*resurgent cauldron*) terbesar di dunia akibat letusan sangat besar (megakolosal) yang terjadi pada 74.000 tahun yang lalu, blok-blok yang runtuh karena gejala tektono-vulkanik terangkat kembali menjadi Pulau Samosir dan Blok Uluan/Prapat.
2. Berdasarkan penyebaran dan tebal piroklastika Toba di daratan dan lautan ditafsirkan bahwa Toba meletus secara megakolosal, mencapai indeks ledakan vulkanik (VEI-volcanic explosivity index) di atas nilai maksimum 8,0, melemparkan minimum 2800 km³ bahan ledakan/ejekta ke ketinggian minimum 40 km, menutupi kawasan seluas sekitar 4 juta km², meruntuhkan bagian atas badan gunungapinya menjadi kaldera seluas 100 x 30 km.
3. Super-erupsi Toba dihitung telah menghasilkan 1-10 milyar ton aerosol H₂SO₄ yang secara signifikan mengurangi transmisi sinar Matahari menjadi tinggal 0,001-10 %, sehingga menyebabkan musim dingin vulkanik (zaman es) selama 6-10 tahun diikuti 1000 tahun periode dingin. Juga, meniadakan fotosintesis, memutus rantai makanan sehingga menyebabkan kepunahan massa dengan membunuh 90 % manusia yang hidup saat itu (*genetic bottlenecking*).

Referensi

Ambrose, S.H., 1998, Late Pleistocene human bottlenecks, volcanic winter, and differentiation of modern humans, *Journal of Human Evolution*, 34, 623–651.

PROCEEDINGS

HAGI-IAGI Joint Convention Medan 2013
28 – 31 October 2013

- Ambrose, S.H. 2003, "Did the super-eruption of Toba cause a human population bottleneck? Reply to Gathorne-Hardy and Harcourt-Smith", *Journal of Human Evolution*, 45, 231-237.
- Bellon H. et al., 2004, 65 m.y.-long magmatic activity in Sumatra (Indonesia), from Paleocene to Present, *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 2004, 175, 1, 61-72.
- Buhring, C., Sarnthein, M., 2000, Toba ash layers in the South China Sea: Evidence of contrasting wind directions during eruption ca. 74 ka, *Geology*, 28, 275–278.
- Chesner, C.A., 1985, Geochemistry of the Toba ignimbrites: implications on silicic magma bodies, outflow patterns, and caldera collapse, *EOS (American Geophysical Union Transactions)*, v. 66, p. 1141.
- Chesner, C.A. dkk., 1991. Eruptive history of Earth's largest Quaternary caldera (Toba, Indonesia) clarified, *Geology*, 19, 200–203.
- Dawkins, R., 2004, *The Grasshopper's Tale-The Ancestor's Tale, A Pilgrimage to the Dawn of Life*, Houghton Mifflin Company, Boston.
- Dehn, J. dkk., 1991, Neogene tephrochronology from site 758 on Northern Ninetyeast Ridge: Indonesian arc volcanism of the past 5 Ma, *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results 121*, 273-295.
- Gibbons, A., 1993, Pleistocene population explosions, *Science*, 262, 1 October 1993.
- Goldberg, T.L., 1996, *Genetics and Biogeography of East African Chimpanzees*, Harvard University, PhD Thesis.
- Goldthwait, R.P., 1988, Historical overview of early Wisconsin glaciation, *Geological Society of America Abstracts with Programs*, 20, 7, A2.
- Glover, I.C., 1979, The late prehistoric period in Indonesia, dalam Smith, R.B dan Watson, W., ed., *Early South-East Asia*, Oxford Univ. Press, Oxford, 167-184.
- Jones, P.D. dkk, 1982, Variations in surface air temperatures: Part-I. Northern Hemisphere, 1881-1980, *Monthly Weather Review*, 110, 59-70.
- Jones, S.C., 2007, The Toba supervolcanic eruption: tephra-fall deposits in India and paleoanthropological implications, dalam Petraglia, M.D. dan Allchin, B., eds., *The Evolution and History of Human Populations in South Asia*, Springer, 173-200.
- Knight, M.D. dkk., 1986, Stratigraphy, paleomagnetism, and magnetic fabric of the Toba tuffs: constraints on the sources and eruptive styles, *Journal of Geophysical Research*, 91, 355-382.
- Ledbetter, M. dan Sparks, R.S.J., 1979, The duration of large-magnitude silicic eruptions deduced from graded bedding in deep-sea tephra layers, *Geology*, 7, 240-244.
- Lockwood, J.P dan Hazlett, R.W., 2010, *Volcanoes-Global Perspective*, John Willey & Sons, Ltd., Chichester.
- Lorius, C. dkk., 1988, Antarctic ice core: CO₂ and climatic change over the last climatic cycle, *Eos (Transactions, American Geophysical Union)*, 69, 681-684.
- NGICP (North Greenland Ice Core Project Members), Anderson K.K. et al (49 authors),

PROCEEDINGS

HAGI-IAGI Joint Convention Medan 2013
28 – 31 October 2013

- 2004, "High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period." *Nature*, 431,147-151
- Ninkovich, D., dkk. 1978, K-Ar age of the late Pleistocene eruption of Toba, North Sumatra, *Nature*, 276, 574–577.
- Ninkovich, D., 1979, Distribution, age and chemical composition of tephra layers in deep-sea sediments off western Indonesia, *J. Geotherm. Res.*, 5, 67–86.
- Oppenheimer, C., 2002, Limited global change due to the largest known Quaternary eruption, Toba 74 kyr BP?, *Quaternary Sci. Rev.* , 81, 1593–1609.
- Oppenheimer, S., 2003, Journey of Mankind-The Peopling of the World, Bradshaw Foundation, <http://www.bradshawfoundation.com/journe/>
- Rampino, M.R., 2002, Supereruptions as a Threat to Civilizations on Earth-like Planets, *Icarus*, 156, 562–569.
- Rampino, M.R. dan Ambrose, S.H., 2000, dalam McCoy, F.W. dan Heiken, G. (Eds.), Volcanic Hazards and Disasters in Human Antiquity, *Geological Society of America Special Paper*, 345, Boulder, 71–82.
- Rampino, M.R. dan Self, S., 1992, Volcanic winter and accelerated glaciation following the Toba super-eruption, *Nature*, 359, 50–52.
- Rampino, M.R. dan Self, S., 1993, Climate-volcanic feedback and the Toba eruption of 74,000 years ago, *Quaternary Research*, 40, 269–280.
- Rose, W.I. dan Chesner, C.A., 1987, Dispersal of ash in the great Toba eruption, 75 ka, *Geology* 15, 913–917.
- Smith, R.I dan Bailey, R.A., 1968, Resurgen cauldrons, dalam Coats, R.R. dkk, eds., Studies in Volcanology, *Geological Society of America Memoir*, 116, 613—662.
- Stothers, R.B., 1984, The great Tambora eruption in 1815 and its aftermath, *Science*, 224, 1191-1198.
- van Bemmelen, R.W., 1949, *The Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagos*, Government Printing Office, The Hague, IA.
- Weber, G., 2012, *Toba Volcano*, Andaman Organization.
- Wikipedia, 2011, Toba Catastrophe Theory, www.en.wikipedia.org/wiki/Toba_catastrophe_theory, diunduh 01 Desember 2011
- Zielinski, G.A. dkk.,1996, Potential atmospheric impact of the Toba mega-eruption 71,000 years ago, *Geophysical Research Letters*, 23, 837–840.