

## Mekanisme erupsi ignimbrit Kaldera Maninjau, Sumatera Barat

AGUNG PRIBADI<sup>1</sup>, EDDY MULYADI<sup>1</sup>, INDYO PRATOMO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Badan Geologi, Jln. Diponegoro No. 57 Bandung, Indonesia

<sup>2</sup>Pusat Survei Geologi, Jln. Diponegoro No. 57 Bandung, Indonesia

### SARI

Maninjau adalah sebuah kaldera runtuh, yang terbentuk oleh letusan besar, menghamburkan 220-250 km<sup>3</sup> material piroklastika, dan tersebar hingga lebih dari 75 km jauhnya dari pusat letusan. Pengamatan lapangan dan kajian data stratigrafi, sedimentologi dan geokronologi terhadap produk erupsi kaldera ini dapat memberikan pemahaman akan mekanisme erupsinya. Dua satuan batuan baru telah teridentifikasi, yaitu Formasi Maninjau, terdiri atas sekuen aliran dan *seruakan piroklastika* (*pyroclastic surge*) yang merupakan satuan ignimbrit berkaitan dengan pembentukan kaldera Maninjau, dan Formasi Malalak yang sebagian besar tersusun oleh satuan jatuhan piroklastika bersusunan andesit yang berasal dari kompleks gunung api, yaitu Gunung Singgalang - Tandikat, dan menutupi satuan ignimbrit Maninjau. Hasil rekonstruksi sekuen erupsi dapat disimpulkan bahwa erupsi ignimbrit Maninjau diawali dengan letusan-letusan yang berkaitan dengan pembukaan kepundan, kemudian berangsur makin besar dan merusak, hingga terbentuknya kaldera runtuh.

**Kata kunci:** kaldera runtuh, sekuen erupsi, ignimbrit, mekanisme erupsi, Maninjau

### Abstract

*Maninjau is a large collapsed caldera that was resulted from a large eruption of silicic pyroclastic material (220-250 km<sup>3</sup>), and was distributed to more than 75 km away from the source. Field observations have provided a good understanding to the eruptive mechanism of the Maninjau caldera formation, in respect to their stratigraphy, sedimentology and geochronology of the eruptive products. Two formations have been identified, those are: the Maninjau Formation, comprising a sequence of ignimbrite and surge units erupted from the Maninjau Caldera, and the Malalak Formation as a prominent andesitic fall unit likely derived from the Singgalang - Tandikat Volcano that overlies the Maninjau Formation. The variable velocity of the flows suggests that the Maninjau eruption initiated by violent. The later phases of the eruption became more violent and associated with caldera collapse.*

**Keywords:** caldera collapse, eruptive sequence, ignimbrite, eruptive mechanism, Maninjau

### PENDAHULUAN

Danau Maninjau adalah sebuah kaldera Kuartar yang terletak kurang lebih 15 km dari kota Bukittinggi, Sumatera Barat. Kaldera Maninjau berukuran 20 km x 8 km atau seluas kurang lebih 1600 km<sup>2</sup>, dan merupakan sebuah danau dengan volume air mendekati 100 km<sup>3</sup>. Daerah kajian meliputi kawasan danau Maninjau, Gunung Marapi – Singgalang dan Ngarai Sianok (Bukittinggi), tempat tersingkap for-

masi batuan dan endapan piroklastika hasil erupsi kaldera Maninjau. Kaldera Maninjau merupakan kaldera runtuh hasil letusan raksasa yang menghasilkan endapan piroklastika yang berkisar antara 220 – 250 km<sup>3</sup>, tersebar sejauh 75 km dari pusat erupsi.

Beberapa peneliti terdahulu yang telah bekerja di daerah ini, antara lain Purbo-Hadiwidjojo dkk. (1979); Kastowo dan Leo (1973); Nishimura dkk. (1978), melakukan rekonstruksi evolusi struktur

dan juga stratigrafi di daerah ini, tetapi mereka tidak membahas stratigrafi batuan klastika gunung api. Purbo-Hadiwidjojo dkk. (1979), melaporkan umur endapan tepra Maninjau 70.000 – 80.000 tahun. Hal ini mendekati umur endapan tefra Toba yang paling muda, 74.000 tahun yang diperoleh dari penarikan jejak belah (*fission track*) oleh Rose & Chesner (1987) dan Ninkovick dkk. (1978a dan 1978b).

### **Maksud dan Tujuan**

Maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui mekanisme letusan kaldera Maninjau berdasarkan kajian data stratigrafi, sedimentologi, dan geokronologi produk erupsi kaldera ini. Hal ini sangat diperlukan untuk memahami karakter erupsi kaldera, karena dampak letusan jenis ini sangat merusak dan mempunyai periode istirahat yang cukup panjang.

### **Metodologi**

Untuk mengetahui mekanisme letusan kaldera Maninjau, dilakukan kajian pustaka dan penelitian di lapangan tentang stratigrafi hasil erupsi Gunung Maninjau purba, kajian sedimentologi dan penarikan umur mutlak. Pengumpulan data lapangan dilakukan dengan melakukan pemetaan geologi gunung api (geo-vulkanologi) dan pengumpulan percontohan batuan hasil erupsi Gunung Maninjau purba, serta kayu yang terarangkan, dengan memperhatikan aspek stratigrafi dan sedimentologinya. Seluruh data tersebut di atas dianalisis di laboratorium untuk mendapatkan data olahan yang layak untuk kajian dan penelitian secara lebih komprehensif. Kajian ini meliputi korelasi stratigrafi, sedimentologi dan rekonstruksi sekuen erupsi untuk mengetahui mekanisme erupsi yang berkaitan dengan pembentukan kaldera Maninjau.

## **GEOLOGI DAERAH MANINJAU DAN SEKITARNYA**

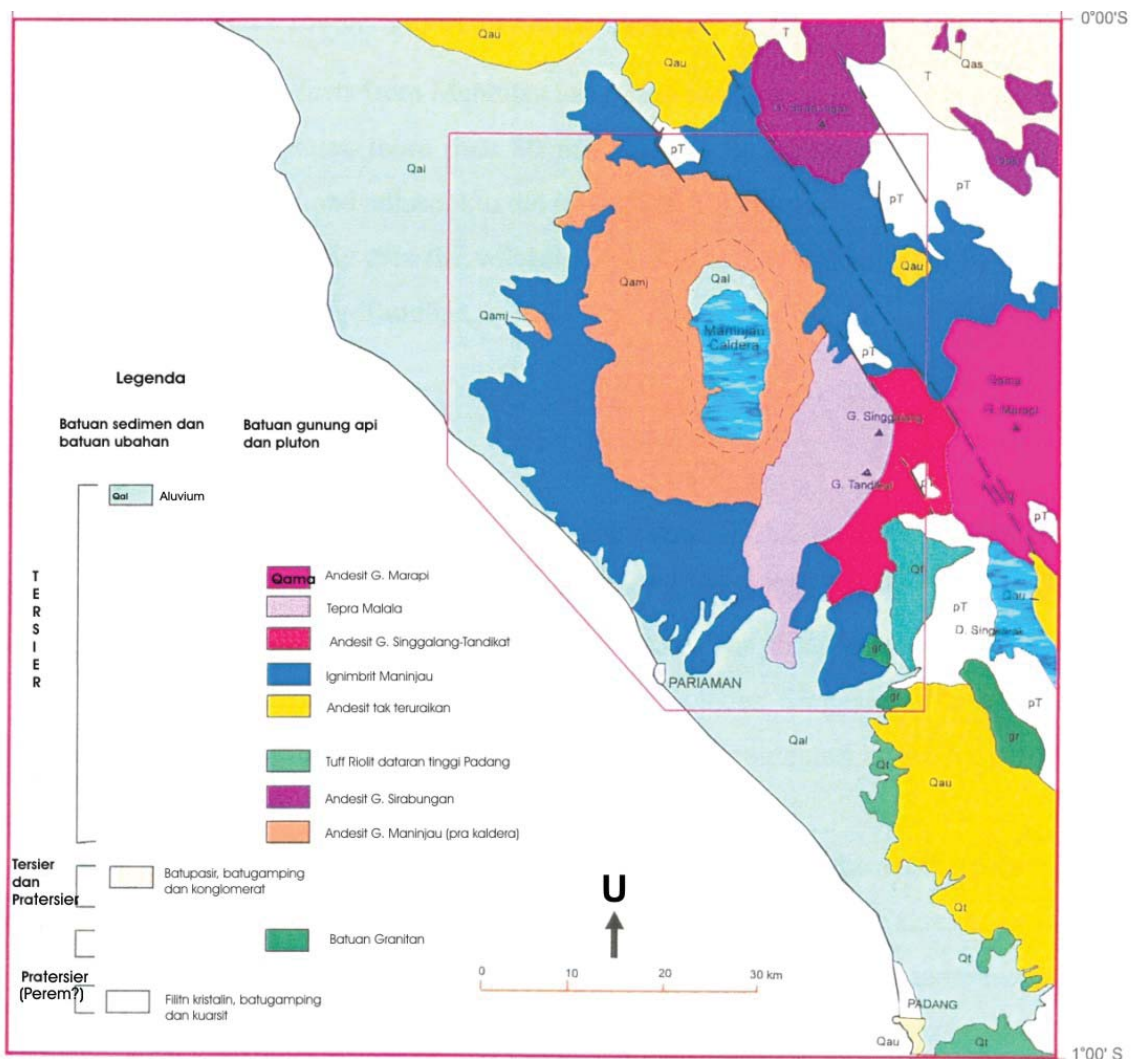
### **Geomorfologi daerah Maninjau**

Kaldera Maninjau (34,5 km x 12 km) ditempati oleh sebuah danau yang berukuran 8 km x 16,5 km (132 km<sup>2</sup>), terletak di barat laut gunung api strato Singgalang – Tandikat (Kemmerling, 1921). Kawasan ini dikenal sebagai depresi volcano-tektunik, mirip dengan kawasan Danau Toba, dalam ukuran

yang lebih kecil. Dinding kaldera Maninjau mempunyai ketinggian 1200-1400 m dpl., atau 459 m dari permukaan danau yang mempunyai kedalaman mencapai 157 m (Verbeek, 1883). Danau Maninjau dibatasi oleh tebing yang curam terutama pada dinding selatan, yang terbentuk oleh sesar dan bekas erupsi gunung api. Air danau ini dialirkan keluar oleh Batang Antokan melalui dinding barat laut, dan bermuara ke Samudra India. Sebagian besar daerah ini ditempati oleh endapan lahar yang berhubungan dengan produk erupsi kaldera Maninjau, terutama kawasan barat laut, barat, dan tenggara. Pola aliran memancar, sebagian tergerus dalam yang merupakan karakteristik aliran sungai daerah ini. Endapan lahar daerah ini secara berangsur berkembang menjadi endapan sungai, yang membentuk kipas aluvium pada saat mencapai dataran pantai di utara Pariaman. Endapan lahar ini menutupi hampir seluruh zona timur laut dan timur daerah ini, yang alirannya terhalang oleh punggungan satuan batuan gunung api yang lebih tua.

### **Geo-Vulkanologi**

Daerah kajian termasuk ke dalam Peta Geologi Lembar Padang (Kastowo dan Leo, 1973), skala 1:250.000. Batuan tertua yang tersingkap di daerah ini adalah filit, batugamping, granodiorit, dan diabas, dengan umur berkisar dari Paleozoikum sampai Tersier (Gambar 1). Di daerah ini terdapat beberapa gunung api, di antaranya Gunung Marapi (+ 2145 m), Gunung Singgalang dan Tandikat (+ 2438 m), adalah gunung api aktif tipe A, pernah meletus setelah tahun 1600 (van Padang, 1951; Kusumadinata, 1979); Kaldera Maninjau (Kuarter ?) dan Sirabungan (Kuarter Awal ?). Beberapa jenis batuan gunung api yang terdapat di daerah ini antara lain adalah basal, andesit, breksi tuf, breksi lahar, dan tuf batuapung. Kegiatan magma Tersier terjadi secara sporadis, ditandai oleh endapan tuf batuapung bersusunan asam, batuan terobosan, dan lava yang bersusunan riolit sampai dasit yang tersebar hampir di sepanjang zona Sesar Besar Sumatera. Kegiatan gunung api Kuarter yang bersusunan asam di daerah ini terdapat di sepanjang zona Sesar Besar Sumatera. Yang terpenting di antaranya adalah tuf riolit dari Kaldera Toba dan tuf batuapung dari Dataran Tinggi Padang. Keberadaan aliran piroklastika yang terdapat di daerah Dataran Tinggi Padang berkaitan



Gambar 1. Peta geologi daerah Maninjau dan sekitarnya, dan daerah kajian (disederhanakan dari Kastowo dan Leo, 1973).

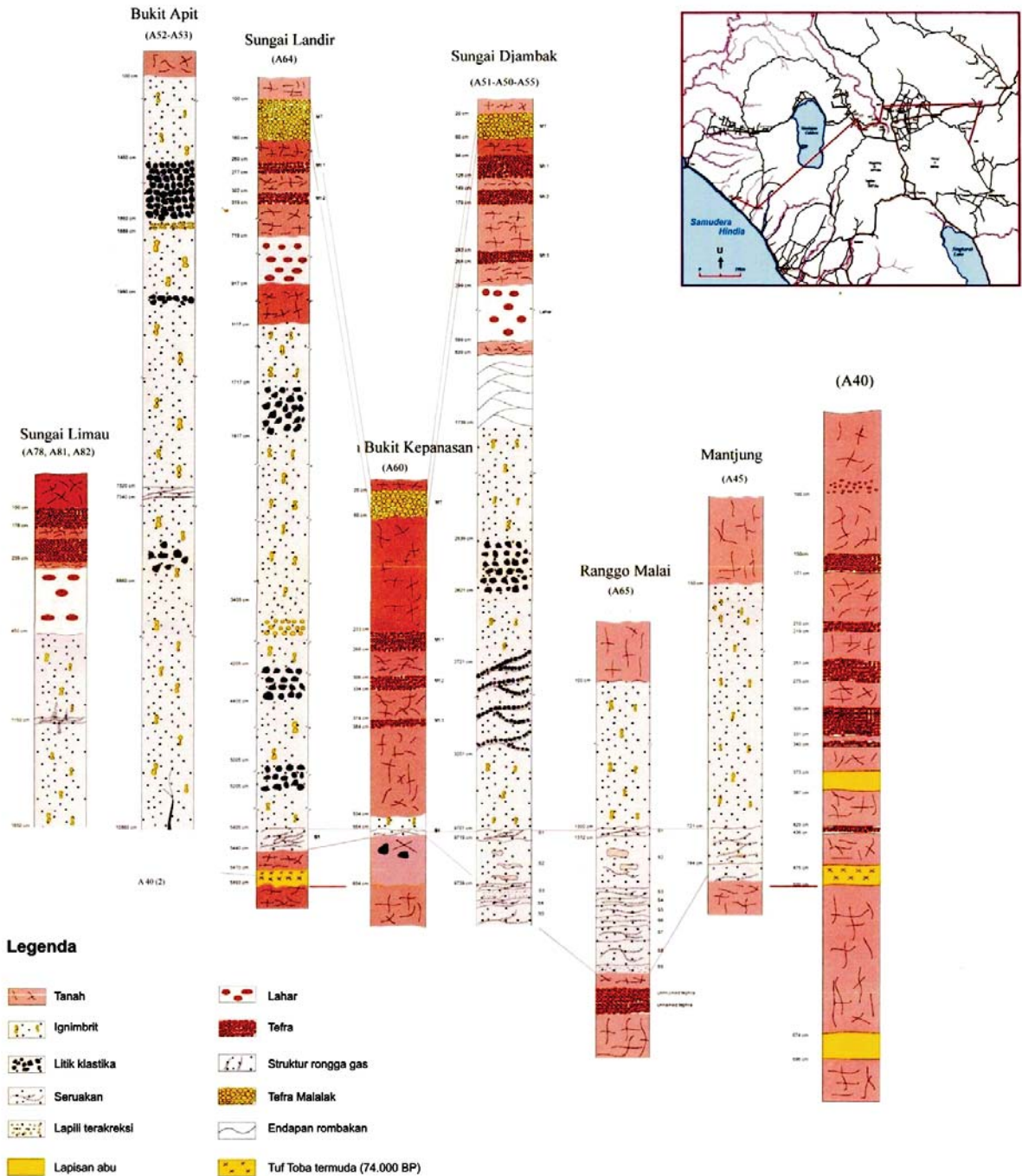
dengan kegiatan vulkanik Kaldera Maninjau yang terletak pada zona Sesar Besar Sumatera (van Bemmelen, 1949; Westerveld, 1953).

### STRATIGRAFI DAN SEKUEN ERUPSI KALDERA MANINJAU

#### Stratigrafi Ignimbrit Maninjau

Gambar 2 memperlihatkan korelasi satuan-satuan endapan ignimbrit Maninjau dari zona paroksimal (Sungai Limau,  $\pm 8$  km dari pusat erupsi) hingga distal (Mantjung,  $\pm 38$  km dari pusat

erupsi), dan hubungannya dengan tefra Malalak yang berasal dari erupsi Gunung Singgalang – Tandikat, serta tefra produk termuda Kaldera Toba. Ignimbrit Maninjau pada zona medial, terdiri atas lebih dari sembilan endapan serukan atau *surge* (terekam di kawasan Ranggo Malai, 15 km dari pusat erupsi), yang ditutupi oleh endapan ignimbrit. Makin jauh dari pusat erupsi, endapan *surge* tersebut makin menyatu, dan makin berkembang, terutama pada zona distal. Keterdapatannya endapan rombakan yang menutupi ignimbrit Maninjau, menjelaskan bahwa endapan sekunder tersebut terbentuk segera setelah pengendapan ignimbrit, karena tidak dijumpai



Gambar 2. Korelasi penampang stratigrafi ignimbrit produk erupsi Kaldera Maninjau (lihat indeks peta), memperlihatkan sekuen erupsi ignimbrit Maninjau dan hubungan antara ignimbrit Maninjau, tefra Malalak (produk erupsi Gunung Singgalang – Tandikat) dan tuf Toba termuda (74 ribu tahun).



adanya lapisan tanah tua (*soil*) yang membatasi antara endapan primer dan sekunder.

### Penarikan Umur Mutlak

Sisa arang kayu (*charcoal*) ditemukan pada beberapa lapisan endapan yang terdapat di sekitar danau Maninjau. Penarikan menggunakan metode Radiokarbon ( $^{14}\text{C}$ ) pada percontoh arang kayu yang terdapat di dalam ignimbrit di kawasan Bukit Apit (20 km dari kota Bukittinggi), yang merupakan bagian bawah formasi Maninjau. Hasil analisis Radiokarbon ( $^{14}\text{C}$ ) memberikan angka lebih besar dari 40.000 tahun. Penarikan dengan metode jejak belah (*fission track*) terhadap percontoh kepingan gelas (*glass shard*) pada endapan yang sama, menghasilkan umur  $51.000 \pm 6.000$  tahun, ditunjang oleh dua analisis lainnya dari percontoh pada lokasi di kawasan Padang Lariang, diperoleh angka  $49.000 \pm 5.000$  tahun dan  $50.000 \pm 5.000$  tahun. Hasil penarikan tersebut di atas dianggap sebagai umur endapan ignimbrit Maninjau, dan diperkuat dengan hasil korelasi urutan stratigrafi di lapangan, yang menutupi satuan tuf Toba termuda, yang menurut Shane dkk. (1995) adalah berumur 74.000 tahun.

### Sekuen Erupsi Kaldera Maninjau

Pengamatan dan pemerian satuan batuan (endapan) dilakukan secara sistematis dengan acuan sebaran dari pusat erupsi, yaitu fasies *paroksimal* ( $\pm 8$  km), *medial* ( $\pm 15$  km) dan *distal* (30-40 km), dalam berbagai arah, untuk mendapatkan karakteristik ignimbrit Maninjau, baik secara vertikal maupun horizontal. Formasi Malalak adalah satuan endapan jatuhnya piroklastika (tefra) yang ditemukan menutupi sekuen ignimbrit Maninjau. Beberapa produk erupsi bersusunan andesitan yang berasal dari kerucut gunung api yang lebih muda (Gunung Singgalang dan Gunung Tandikat) dan *soil* andesitan (andosol?) dijumpai menutupi sekuen endapan ignimbrit Maninjau.

### Ignimbrit Maninjau

Ignimbrit adalah batuan atau endapan yang tersusun dari aliran piroklastika dominan berbatuapung dengan atau tanpa mengalami pengelasan (*welded*). Biasanya mempunyai komposisi berkisar dari dasit hingga riolit. Ketebalan ignimbrit dapat mencapai lebih dari 100 m, bergantung pada mekanisme

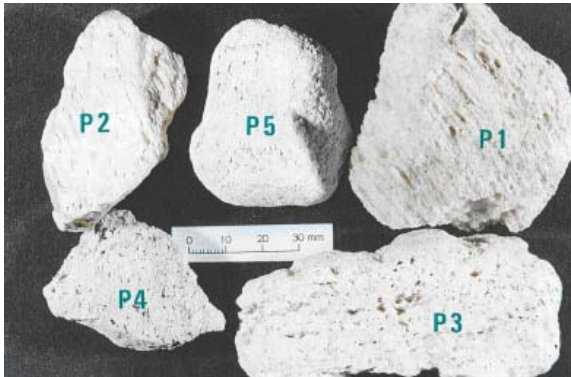
pengendapannya (Spark dkk., 1973 a, b; Cas & Wright, 1987).

Sebaran ignimbrit Maninjau meliputi kawasan Ngarai Sianok, berjarak kurang lebih 20 km ke arah timur dari Kaldera Maninjau, dengan ketebalan mencapai 80 m; ke arah barat (kawasan Tiku), kurang lebih 25 km dari pusat erupsi, ketebalannya rata-rata kurang dari 20 m. Ke arah utara, di sekitar Palembayan, ketebalannya mencapai lebih dari 20 m, sedangkan ke arah selatan, di sekitar Desa Sicincin (+ 40 km dari pusat erupsi), ditemukan endapan ignimbrit Maninjau dengan ketebalan berkisar antara 20 sampai 30 m. Variasi ketebalan endapan ini sangat dipengaruhi oleh bentang alam pada saat pengendapan satuan batuan ini terjadi. Ignimbrit Maninjau tersusun oleh fragmen batu apung dan fragmen batuan gunung api (*litik*) dari berbagai ukuran butir, di dalam masa dasar kristal dan gelas. Fragmen litik umumnya berasal dari material yang ada sebelumnya (*accidental-litic fragment*), yang tergerus di sepanjang aliran piroklastika ini, atau yang berasal dari dinding dapur magma atau bebatuan di sekitar kepundan. Fragmen gelas yang dominan dalam sekuen endapan ini, berasal dari fragmentasi magma yang berkaitan dengan energi letusan.

Berdasarkan karakter fisik dan warna dominan, fragmen batuapung tersebut di atas dapat dibedakan menjadi (Gambar 3): a) batuapung berwarna abu-abu berserat (P1), b) batuapung berwarna putih (P2), c) batuapung berwarna abu-abu dengan sedikit mineral hitam (P3), d) batuapung berwarna abu-abu yang kaya akan mineral hitam (P4), dan batuapung berwarna putih agak pejal (P5). Pada umumnya karakteristik batuapung tersebut di atas ditemukan hampir pada semua fasies baik paroksimal ( $\pm 8$  km dari pusat erupsi) maupun distal (30-40 km, dari pusat erupsi), kecuali batuapung P5, hanya ditemukan pada lokasi Padang Lariang.

### Formasi Ignimbrit Maninjau

Formasi Ignimbrit Maninjau terdiri atas satuan-satuan *surge*, dengan ketebalan lebih dari 1 m, berselang-seling dalam endapan aliran piroklastika (ignimbrit), tersingkap baik di sekitar Ngarai Sianok dan lembah Ranggo Malai. Pada umumnya satuan endapan ini didapati kompak, terdiri atas fragmen litik (berdiameter maksimum 20 cm) dan batuapung



Gambar 3. Beberapa jenis fragmen batupung yang terdapat dalam ignimbrit Maninjau, mempunyai karakteristik fisik berbeda: P1, batupung abu-abu, mengembang dan berserat; P2, batupung berwarna putih; P3, batupung abu-abu, dengan sedikit mineral hitam; P4, batupung abu-abu, kaya akan mineral hitam; dan P5, batupung berwarna putih, lebih padat.

(diameter maksimum 40 cm), pada zona paroksismal ( $\pm 8$  km).

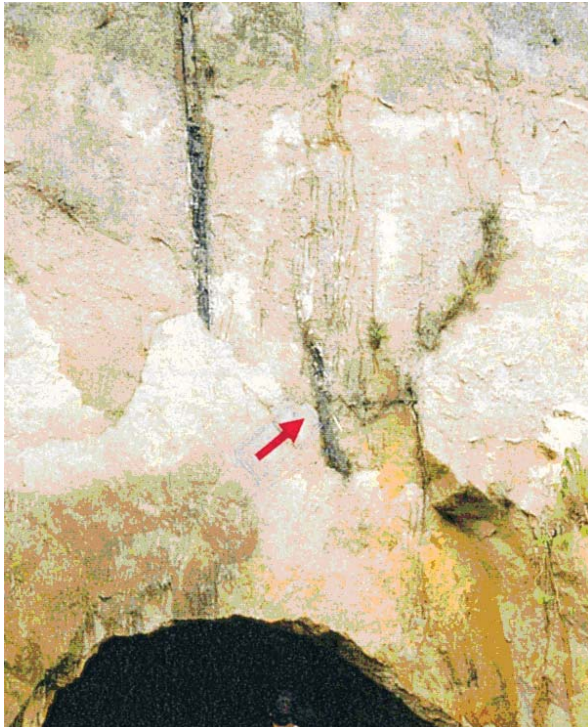
### Karakteristik endapan ignimbrit Maninjau

Endapan ignimbrit Maninjau dibedakan berdasarkan ciri-ciri yang mencerminkan jejak keadaan lingkungan pada saat erupsi terjadi dan struktur sedimen klastika gunung api yang khas (*seruakan, silang-siur, dll*). Keadaan tersebut berbeda berdasarkan jarak dari pusat erupsi, yaitu *zona paroksismal* (sampai dengan 10 km), *zona medial* (15 km sampai 30 km), dan *zona distal* (lebih dari 30 km dari pusat erupsi).

*Zone paroksismal (sampai dengan 10 km dari pusat erupsi)*

Pengamatan dan pemerian terhadap endapan ignimbrit Maninjau pada zone paroksismal, dilakukan pada lokasi-lokasi Bukit Apit dan Sungai Landir. Endapan ini tersingkap baik di sepanjang jalan Bukittinggi – Maninjau (Gambar 4), memperlihatkan sisa arang kayu (*charcoal*), dan jejak aliran gas/uap (*gas-pipe structure*) dari endapan awan panas pasca pengendapan.

Penarikan umur mutlak dengan metode Ra-



Gambar 4. Sisa batang kayu yang terarangkan (*charcoal*) dalam posisi berdiri (tanda panah), pada bagian bawah ignimbrit pada zona paroksismal, mencerminkan bahwa pengendapan ignimbrit terjadi dalam kecepatan yang relatif rendah (kiri). Sisa arang kayu di dalam ignimbrit, memperlihatkan struktur jejak saluran gas (*gas pipe structure*) yang terjadi dalam proses pengarangangan (tanda panah), menunjukkan bahwa proses ini berlangsung 'in situ' (kanan).



diokarbon terhadap arang kayu tersebut di atas, menghasilkan umur lebih dari 40.000 tahun. Sekuen stratigrafi endapan erupsi kaldera Maninjau secara lengkap tersingkap baik di Sungai Landir. Kontak antara satuan endapan ini dengan endapan awal hasil erupsi Gunung Singgalang-Tandikat ditutupi oleh endapan yang berasal dari tefra termuda kaldera Toba (Gambar 5). Tempat ini cukup ideal untuk dijadikan sebagai lokasi tipe Formasi Maninjau.

#### *Zone medial (10 km – 30 km dari pusat erupsi)*

Pengamatan singkapan pada lokasi Sungai Limau, yang terletak  $\pm 18$  km dari pusat erupsi, menjumpai dua satuan ignimbrit yang dipisahkan oleh lapisan endapan seruakan (*base-surge*) yang menerus. Pada umumnya setiap satuan ignimbrit tersebut homogen, tersusun oleh fragmen-fragmen litik dan batuapung, serta struktur pipa-pipa gas yang terbentuk pascapengendapan.

Pada lokasi Sungai Jambak ( $\pm 13$  km dari pusat erupsi), sekuen endapan ini tersingkap hampir lengkap, berikut aspek-aspek sedimentologis yang khas berupa struktur silang-siur (*cross bedding*) dan *anti dune*, sedangkan bagian atas satuan ini telah terkikis dan bagian kontak dengan batuan dasar tidak tersingkap. Ketebalan endapan ini mencapai lebih dari 80 m.

#### *Zone distal (lebih dari 30 km dari pusat erupsi)*

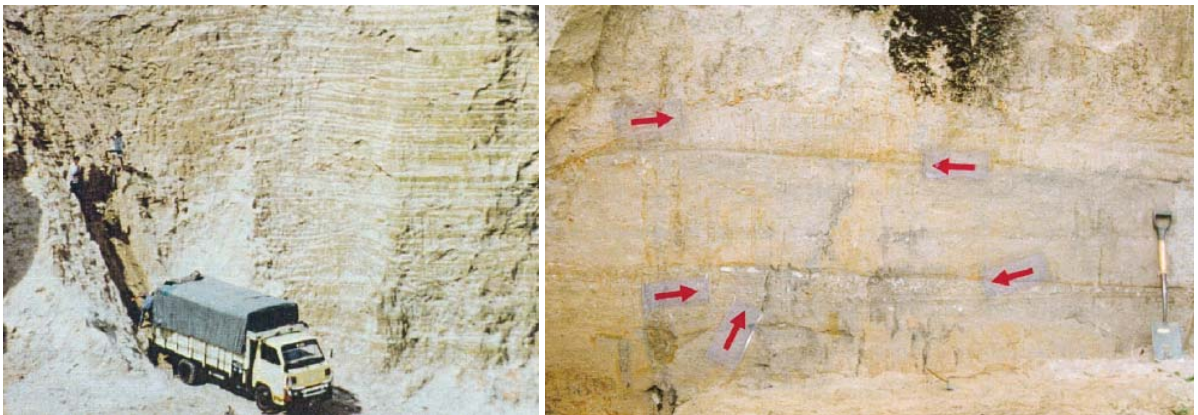
Berbeda dengan endapan yang terdapat pada zone paroksismal dan medial, di kawasan Mantjung

(38 km, dari pusat erupsi), karakteristik endapan di kawasan ini mencerminkan bahwa kecepatan aliran ignimbrit di sini relatif lebih tinggi. Hal ini dipengaruhi oleh faktor topografi (kelerengan), fluiditas dan laju runtuh kolom erupsi.

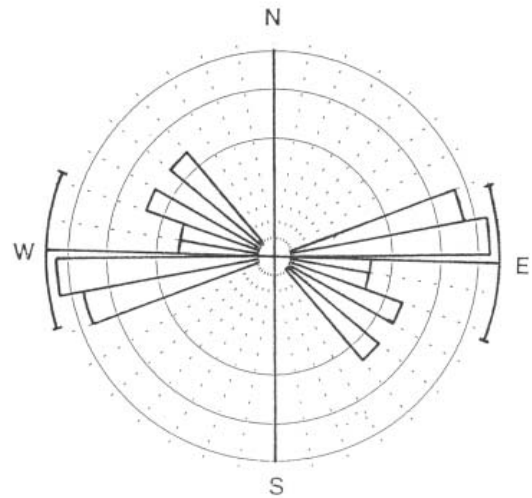
Pendapat tersebut di atas didukung oleh pola sebaran sisa arang kayu yang berbentuk batangan (*log*) yang di kawasan ini mempunyai orientasi arah yang berkisar antara  $U 74-130^{\circ} T$ , dengan arah dominan  $U 83^{\circ} T$  (Gambar 6), sehingga ditafsirkan bahwa pengendapan satuan endapan ini dari arah barat ke timur, atau dengan kata lain berasal dari kaldera Maninjau. Pada bagian bawah sekuen endapan ini dijumpai juga pola perlapisan bersilang (*cross bedding*) dan orientasi struktur jejak pipa-gas (*gas-pipe structure*), sehingga dengan jelas dapat diketahui kedudukan satuan ini.

#### **Formasi Malalak**

Formasi Malalak atau Tefra Malalak (TM) adalah produk Gunung Api Singgalang – Tandikat yang lebih muda dari Formasi Ignimbrit Maninjau. Satuan endapan ini terdiri atas tiga lapisan yang terdiri atas endapan tefra lapili bersusunan andesit, dan endapan tefra yang khas (*key bed*) satuan endapan ini yang tersusun oleh batuapung dengan ketebalan  $\pm 4$  m, menutupi ketiga endapan tefra lapili tersebut. Satuan endapan ini tersingkap baik pada lintasan sepanjang jalan antara Malalak dan Paladangan. Lokasi ini cukup ideal untuk dijadikan sebagai *lokasi-tipe* Formasi Malalak.



Gambar 5. Endapan klastika sekunder dengan tebal lebih dari 30 m, yang terdapat di kawasan Bukittinggi (kiri); Sekuen endapan *seruakan* dan ignimbrit yang tersingkap di kawasan Ranggo Malai ( $\pm 15$  km dari pusat erupsi), memperlihatkan batas yang jelas antara seruakan dan ignimbrit. Satuan-satuan seruakan (lihat panah) memperlihatkan *normal graded*, berbutir halus sampai sedang dan terpilah sedang. Terdapat juga lapili terakresi (*accretionary lapilli*) pada satuan-satuan ini (kanan).



Gambar 6. Sisa batang kayu (*log*) yang terarangkan (tanda panah) berarah barat - timur, terdapat pada bagian bawah sekuen ignimbrit Maninjau, mencerminkan orientasi rejim alirannya (kiri). Orientasi arah aliran dominan adalah  $U 83^{\circ} T$ , tergambarkan berdasarkan analisis yang tergambar dalam *diagram rose* (kanan).

#### *Tefra Malalak 1 (TM1)*

Lapisan ini mempunyai ketebalan tidak merata, lebih dari 40 cm, terdiri atas lapili berbutir kasar, tersebar, dan terpilah buruk. Endapan ini dipisahkan dari dua endapan lainnya oleh endapan tanah penutup (*soil*).

#### *Tefra Malalak 2 (TM2)*

Lapisan ini mempunyai ketebalan rata-rata 20 cm, berbutir halus sampai kasar, terpilah buruk dan kompak (tersemen baik).

#### *Tefra Malalak 3, (TM3)*

Lapisan ini mempunyai tebal  $\pm 40$ cm, tersusun oleh lapili berbutir kasar dan terpilah buruk.

### DISKUSI

Berdasarkan kajian dan interpretasi data tersebut di atas, penulis merekonstruksikan mekanisme erupsi pembentukan kaldera Maninjau sebagai berikut (Gambar 7):

Konfigurasi segmen-segmen sesar utama yang

terdapat di daerah ini mencerminkan dinamika Sesar Besar Sumatera, dengan kesan seretan sesar-tangga (*stepover fault*) ke arah kanan (*dextral*), yang kemudian berkembang menjadi depresi *pull apart* (Bellier & Sebrier, 1994).

Hubungan antara segmen-segmen sesar-geser dan pembentukan pusat-pusat erupsi gunung api (*volcanic center*), dalam hal ini termasuk evolusi kaldera, sangat jelas teramati di bagian selatan dari Sesar Besar Sumatera.

#### **Mekanisme Pembentukan Kaldera Maninjau**

- Kaldera Maninjau berasal dari sebuah gunung api strato komposit yang berkembang di zona tektonik sistem Sesar Besar Sumatera.

- Erupsi Kaldera Maninjau diawali dengan proses pembongkaran sumbat kepundan (kubah lava?), dan erupsi tersebut ditafsirkan memiliki kolom erupsi yang tidak terlalu tinggi (**A**).

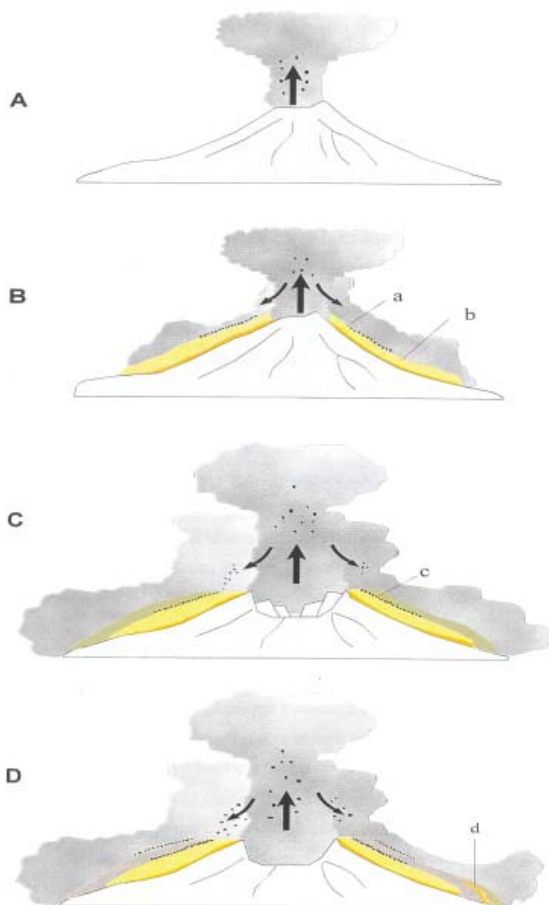
- Erupsi ini berlanjut dan disertai dengan runtuhan kolom erupsi (**B**) meluncur melalui lereng bagian atas gunung api ini, dan membentuk arus turbulen, proses ini menghasilkan endapan *base-surge* (**a**), yang kemudian disusul oleh pengendapan



satuan ignimbrit (**b**), yang merupakan salah satu ciri khas dari sebuah letusan kaldera.

- Letusan paroksismal (klimaks) terjadi dengan memuntahkan material magma dalam jumlah besar, disertai dengan pembentukan kaldera runtuh (C), yang dipicu oleh defisit massa batuan akibat keluarnya magma ke permukaan bumi secara cepat. Pada tahap ini ciri endapan letusan yang khas adalah kaya akan fragmen litik (**c**) yang berasal dari proses perusakan bagian kawah gunung api tersebut yang berkaitan dengan letusan paroksismal.

- Erupsi masih berlangsung dengan intensitas yang mulai menurun, dan sistem kepundan telah terbuka serta berlanjut dengan proses pencapaian kesetimbangan secara berangsur (**D**).



Gambar 7. Ilustrasi (tanpa skala) mekanisme erupsi ignimbrit Kaldera Maninjau dan tahapan evolusi pengendapannya (dalam teks di atas).

### Karakteristik Ignimbrit Maninjau

Terdapat beberapa ciri endapan ignimbrit Maninjau pada zona paroksismal, medial, dan distal. Zona paroksismal umumnya kaya akan fragmen litik dan batupung, dimana ukuran butir fragmen litik, rata-rata (40 cm) lebih besar daripada yang terdapat pada zona medial (5 cm). Demikian juga tampilan struktur internalnya yang mempunyai pada zona medial fragmen litik klastika lebih dominan berstruktur silang-siur, sedangkan pada zona paroksismal tampil masif dan terpilah buruk. Karakteristik internal endapan tersebut di atas disebabkan antara lain oleh besarnya friksi aliran pada zona medial dan juga mulai berkurangnya tinggi kolom erupsi, sebagai dampak dari berkurangnya energi hembusan dan kandungan gas magma secara berangsur. Hal seperti ini mirip dengan model endapan ignimbrit hasil letusan Gunung Roccamonfia, Italia (menurut Cole dkk., 1993).

Bagian bawah ignimbrit Maninjau selalu berasosiasi dengan seruakan. Satuan ini dijumpai juga pada zona paroksismal, medial maupun distal, dimana masing-masing mempunyai ciri endapan tersendiri, yang umumnya mencerminkan makin berkurangnya regim arus traksi. Pada zona paroksismal, endapan seruakan ini mempunyai batas yang tegas dengan endapan ignimbrit yang menindihnya. Hal ini didukung oleh terdapatnya struktur pipa gas yang menerobos beberapa satuan endapan seruakan (Gambar 8).

### KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

- Keadaan ignimbrit Maninjau umumnya masih terkonservasi dengan baik, sehingga beberapa fenomena yang berkaitan dengan kejadiannya masih belum terganggu, misalnya struktur endapan piroklastika, berupa seruakan (*surge*), lapili terakresi (*accretionary lapilli*), jejak pipa gas (*gas-pipe structure*), dan ciri endapan lainnya.
- Proses pengendapan ignimbrit Maninjau diawali oleh turbulensi aliran piroklastika, dan diakhiri dengan pembentukan struktur pipa gas.
- Sekuen endapan erupsi kaldera Maninjau mencerminkan mekanisme pengendapan ignimbrit seperti model yang diusulkan oleh Freud & Schmincke (1985, 1986) dan Cole dkk. (1993).
- Perbedaan ciri ignimbrit pada zona paroksis-



Gambar 8. Struktur jejak saluran gas (*gas-pipe structure*) yang terdapat pada endapan ignimbruit Maninjau tersingkap di kawasan Ngarai Sianok, memperlihatkan orientasi condong ke kanan (tanda panah), mencerminkan bahwa pada saat pembentukannya endapan masih dalam keadaan bergerak.

mal, medial, dan distal yang dijumpai pada beberapa tempat, ditafsirkan sebagai akibat perbedaan kecuraman lereng, karakteristik ignimbruit itu sendiri (fluiditas), dan karakteristik runtuh kolom erupsi (tinggi kolom dan kecepatan luncur) yang terjadi pada saat erupsi berlangsung.

#### ACUAN

- Bellier, O. and Sebrier, M., 1994. Relationship between tectonism and volcanism along the Great Sumatran Fault zone deduced by SPOT image analyses. *Tectonophysics*, 223, p. 215-231.
- Cas, R.A.F. and Wright, J.V., 1987. *Volcanic Successions: modern and ancient*. Allen & Unwin, London, 528 pp.
- Cole, P.D., Guest, J.E., and Duncan, A.M., 1993. The emplacement of intermediate volume ignimbrite: A case study from Roccamonfina Volcano, Southern Italy, *Bull. Volcanol.*, 55, p. 467-480.
- Freud, A. and Schmincke, H.U., 1985. Lithic rich segregation bodies in pyroclastic flows deposits of Laacher See Volcano. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 25, p. 193-224.
- Freud, A. and Schmincke, H.U., 1986. Mechanism of small volume pyroclastic flows at Laacher See (East Eiffel, Germany). *Bull. Volcanol.*, 48, p. 39-59.
- Kastowo, R.L. dan Leo, G.W., 1973. *Peta Geologi Lembar Padang, Sumatera. Skala 1:250.000*. Direk. Geologi.
- Kusumadinata, K., 1979. *Data Dasar Gunungapi Indonesia*. Direktorat Vulkanologi. 819 h.
- Ninkovick, D., Shackleton, N.J., Abdel-Monem, A.A., Obradovich, J.D., and Izett, G., 1978a. K-Ar-age of the late Pleistocene eruption of Toba, North Sumatera. *Nature*, 276, p. 574-577.
- Ninkovick, D., Sparks, R.S.J., and Ledbetter, M.T., 1978b. The exceptional magnitude and intensity of the Toba eruption, Sumatera: an example of the use of deep-sea tephra layers as a geological tool. *Bull. Volcanol.*, 41, p. 286-298.
- Nishimura, S., Sasajima, S., Hirooka, K., Thio, K.H., and Hehuwat, F., 1978. Radiometric ages of volcanic products in Sunda Arc, *CCOP/SEATAR workshop*, March 1978. Parapat.
- Purbo-Hadiwidjojo, M.M., Sjahrudin, M.L., and Suparka, S., 1979. The volcano-tectonic history of the Maninjau Caldera, Western Sumatera, Indonesia. In: W.J.M. Van der Linden, (ed): *Fixism, mobilism or relativism: Van Bemmelen's search for harmony*. *Geol. Mijnbouw*, 58, p. 193-200.
- Rose, W.I. dan Chesner, C.A., 1987. Dispersal of ash in the

- great Toba eruption, 75 ka. *Geology*, 15, p. 913-917.
- Shane, P., Westgate, J.A., Williams, M., and Korisettar, R., 1995. New Geochemical evidence for the youngest Toba tuff in India. *Quaternary Research*, 44, p. 200-204.
- Sparks, R.S.J. and Walker G.P.L., 1973. The ground surge deposit: a third type of pyroclastic surge deposit. *Nature*, 241, p. 62-64.
- Sparks, R.S.J., Self, S., and Walker G.P.L., 1973. Products of Ignimbrite eruptions. *Geology*, 1, p. 115-119.
- van Bemmelen, R.W., 1949. The geology of Indonesia, Martinus Nijhoff, *The Hague, Netherland*, 1, 732 p.
- van Padang, N., 1951. Catalogue of volcanic activity and solfatara fields, Part I, *Indonesia. International Volcanological Association, Napoli, Italy*.
- Verbeek, R.D.M., 1883. Topografische en Geologische beschrijving an een gedeelte van Sumatra's Westkust. *Mijnw. Nederl. Ind. Jaarb.*, 10, p. 457-469.
- Westerveld, J., 1953. Eruptions of acid pumice tuffs and related phenomoena along the Great Sumatran Fault-through System. *Proceeds. 7th Pacific Sci. Congress*, vol. 2, Auckland and Cristchurch, p. 411-438.