

# Studi Geologi dan Geofisika Batuan Gunung Bromo dan Sekitarnya

Anik Hilyah, M. Haris Miftakhul Fajar, Dihein Reksa Ikmaluhakim, Shofi Iqtina Hawan,  
Moh. Singgih Purwanto, dan Ayi Syaeful Bahri

Departemen Teknik Geofisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 60111

*Email:*

anik@geofisika.its.ac.id

---

## ABSTRAK

Kawasan vulkanik gunung Bromo menarik banyak wisatawan dari seluruh penjuru dunia. Selain wisata pemandangan, wisata edukasi juga banyak diminati terutama oleh pelajar dan mahasiswa. Salah satu edukasi di bidang geosain yaitu dengan mengetahui jenis batuan beserta keterdapatannya. Identifikasi jenis batuan akan menunjukkan komposisi batuan penyusun dan sejarah pembentukan gunungapi. Jenis batuan tersebut didapatkan dengan melakukan studi geologi dan geofisika. Studi geologi meliputi jenis batuan dan identifikasi contoh kerucut skoria sedangkan studi geofisika meliputi seismik, resistivitas dan mikrotremor pada beberapa lokasi di area kaldera Lautan Pasir. Hasil studi tersebut dapat dimanfaatkan oleh masyarakat umum yang bertujuan mempelajari tentang gunung Bromo beserta material hasil erupsinya.

**Kata Kunci:** Batuan, Bromo, Geofisika, Geologi.

---

## PENDAHULUAN

Gunung Bromo adalah sebuah kerucut vulkanis yang tumbuh di kompleks pegunungan Tengger. Pegunungan Tengger adalah gunung purba berukuran raksasa dan telah hancur berulang kali oleh aktivitas erupsi. Sesuai sebutannya sebagai wilayah kompleks pegunungan, wilayah ini terbentuk dan tersusun oleh beberapa gunung api yang dulu aktif. Gunung api tersebut mengeluarkan material letusan ketika masih aktif. Kini gunung api tersebut hampir semuanya telah tidak aktif lagi, kecuali gunung Bromo yang aktif hingga saat ini. Kondisi alam gunung Bromo yang sangat spesifik dan unik tersebut menarik perhatian para ahli dari berbagai mancanegara sejak zaman Belanda, baik dari ahli gunungapi maupun ahli ilmu lainnya. Untuk menambah pemahaman tentang jenis batuan gunung Bromo dan sekitarnya maka perlu dilakukan studi geosain yang meliputi studi geologi dan geofisika. Hasil studi diharapkan membantu memahami sejarah terbentuknya dan karakteristik fisika material hasil erupsi gunung Bromo.

### **Lokasi Gunung Bromo**

Indonesia yang terletak di pertemuan tiga lempeng tektonik dunia yaitu lempeng Australia, Eurasia dan Pasifik. Subduksi lempeng Australia terhadap lempeng Eurasia dengan kemiringan  $\pm 65^\circ$  membentuk palung dengan kedalaman 6000 – 7000 m (Van Gerven & Pichler, 1995), selain itu dampak subduksi juga menyebabkan munculnya banyak gunung api (gambar 1)

(Aiuppa et al., 2015) diantaranya adalah gunung Bromo yang merupakan obyek studi geosain (gambar 2).

Secara geografi gunung Bromo terletak pada  $7^\circ 56' 30''$  LS dan  $112^\circ 57'$  BT dengan ketinggian dari muka air laut 2.329 m dan 200 m dari dasar kaldera. Tipe gunung api kerucut sinder dalam kaldera. Tipe letusan bersifat efusif dan eksplosif dengan melontarkan abu, pasir, lapilli, bongkah lava dan bom vulkanik. Letusan freatik yang merupakan hasil kontak antara magma dengan sistem hidrothermal di tempat tersebut terjadi jika curah hujan tinggi. Gunung Bromo yang terletak di pegunungan Tengger sering dinamai sebagai kompleks Bromo–Tengger. Pegunungan Tengger sendiri terbentuk sejak Pliosen hingga Pleistosen atau sekitar lebih dari 2 juta tahun yang lalu yang tersusun oleh endapan piroklastik breksi, pasir, tuff, lahar breksi dan aliran lava (Rein W van Bemmelen, 1970). Pada letusan terakhir gunung Tengger mengalami amblesan dan membentuk kaldera Tengger. Proses vulkanik terus berlanjut menghasilkan beberapa kerucut gunung api.

Pada masa pertumbuhannya kegiatan eksplosif dan efusif telah membentuk kerucut Nongkojajar (1,4 + 0,2 juta tahun yang lalu), Kerucut  $\pm$  Ngadisari (822  $\pm$  90 ribu tahun yang lalu), Kerucut Tengger Tua (265  $\pm$  40 ribu tahun yang lalu), Kerucut Keciri (tidak diketahui umurnya) dan Kerucut Cemoro Lawang (144 – 135  $\pm$  30 ribu tahun yang lalu). Kerucut-kerucut tersebut sebagian hancur dan membentuk kaldera dengan urutan tertua ke muda yaitu Kaldera Nongkojajar, Kaldera Ngadisari, Kaldera Keciri, dan Kaldera Lautan Pasir. Kerucut Gunungapi Bromo yang terletak di Kaldera Lautan Pasir



**Gambar 3.** Peta pulau Jawa, menunjukkan deretan gunungapi diantaranya gunung Bromo yang terletak di Jawa Timur yang ditunjukkan oleh segitiga kuning. Deretan gunungapi yang terbentuk disebabkan oleh subduksi lempeng Australia terhadap lempeng Eurasia disepanjang busur Sunda. Arah subduksi ditunjukkan oleh garis panah.



**Gambar 4.** Citra satelit gunung Bromo, lokasi studi ditunjukkan oleh kotak merah.

masih menunjukkan aktifitas vulkanik sampai sekarang (Geologi, 2014). Luas kaldera Lautan Pasir 10 x 8 km<sup>2</sup>. Terdapat beberapa gunung yaitu gunung Kursi, Watangan, Widodaren, Bathok, and Bromo. Morfologi gunung Bromo terdiri dari *volcanic body*, *caldera*, *volcanic cone*, *parasitic cone*, *eccentric cone*, dan kawah (Ciptahening, A. N., Astas, M. H. & Hadibroto, H., Murtyanto, 2010)

### Metode Kegiatan

Tahapan kegiatan yang dilaksanakan untuk mengumpulkan berbagai data primer maupun sekunder dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu studi geologi, identifikasi sampel batuan dan studi geofisika. Referensi yang digunakan dalam identifikasi batuan mengacu pada *The Geoscience Handbook 2009* yang berisi umur geologi, tekstur batuan beku vulkanik, klasifikasi batuan dan endapan piroklastik, mekanisme pengendapan, pencampuran dengan partikel non vulkanik, klasifikasi batuan vulkanik menurut IUGS (*International Union of Geological Sciences*), ukuran butir, *roundness* dan *sphericity*. Stratigrafi regional mengacu pada peta geologi gunungapi Bromo - Tengger Jawa Timur 1994 yang dibuat oleh Zaennudin dkk. Data geofisika didapatkan dari



**Gambar 1.** Peta geologi Gunung Bromo.

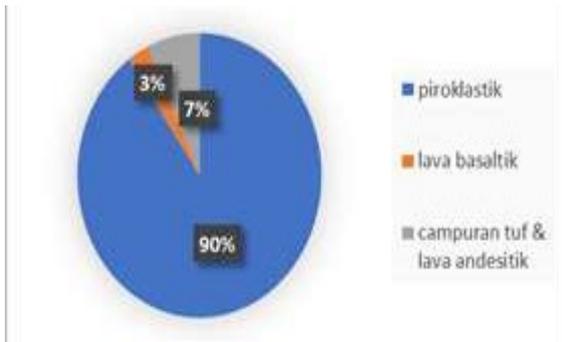
Umur (y.a)	Komplek Kawah Tim		Kompl. Kawah Barat		Stratigrafi	Nama Munitas
	Akum. Lava	Jalanan Piroklastik	Aliran Lava	Jalanan Piroklastik		
300 - 400			BOI	Boip		Kawah Lautan Pasir
400 - 600				Baip	Crip	
				Swip		
				Wip		
600 - 800		Nip		Kup	Wip	Kawah Ngambur
800 - 1000	Nai		Nap			
1000 - 1500	Nia		Saip			
1500 - 2000						Perbukitan Tula
> 2000	KEI				SAV Saka	
	DUI					
	SOI					
	PI					

**Gambar 2.** Korelasi satuan pada peta geologi Gunung Bromo.

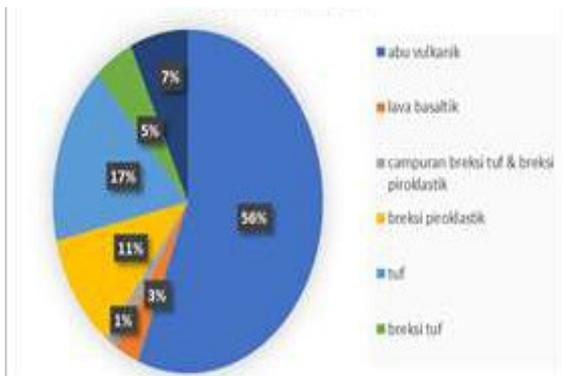
pengukuran di lapangan dan penelitian Departemen Teknik Geofisika yang dimulai sejak tahun 2015 hingga sekarang.

## STUDI GEOLOGI

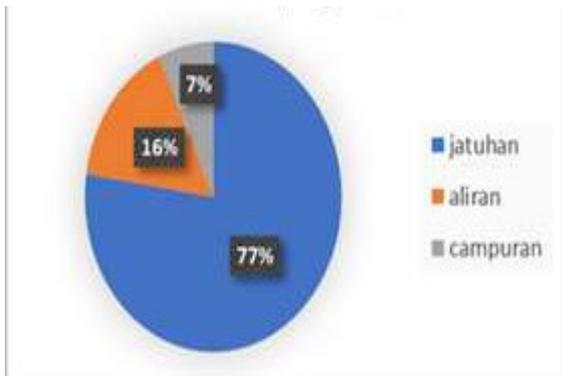
Menurut Van Bemmelen, secara regional Jawa Timur terdiri dari 7 zona fisiografi yaitu zona dataran aluvial, antiklinorium Rembang - Madura, sinklinorium Randublatung, antiklinorium Kendeng, depresi bagian tengah Jawa, gunungapi kuartar dan zona pegunungan selatan. Gunung Bromo merupakan hasil aktivitas vulkanisme pada masa kuartar. Peta geologi (Akhdad Zaennudin & A.S, 2012) ditunjukkan gambar 3 dan korelasi satuan peta (Hendrayana et al., 2016) ditunjukkan pada gambar 4. Hasil kegiatan vulkanisme kompleks Bromo - Tengger dibagi menjadi tiga kelompok, dari tua



**Gambar 5.** Distribusi batuan/endapan kompleks Bromo – Tengger.



**Gambar 6.** Jenis batuan/endapan kompleks Bromo-Tengger.



**Gambar 7.** Mekanisme pengendapan batuan/endapan.

ke muda yaitu hasil kegiatan Tengger tua, hasil kegiatan kaldera Ngadisari dan hasil kegiatan kaldera lautan pasir. Ketiga hasil kegiatan tersebut akan dijelaskan sebagai berikut.

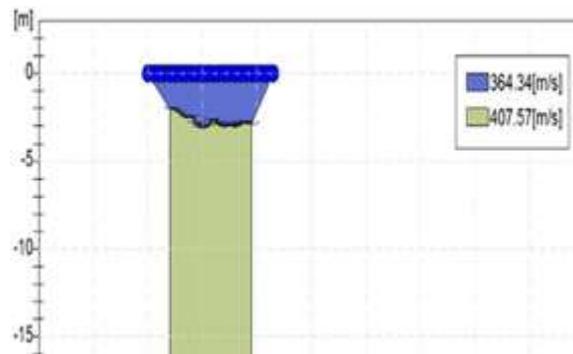
### Hasil Kegiatan Kaldera Lautan Pasir

#### A. Jatuhan Piroklastik Kompleks Kerucut Muda (Cmip)

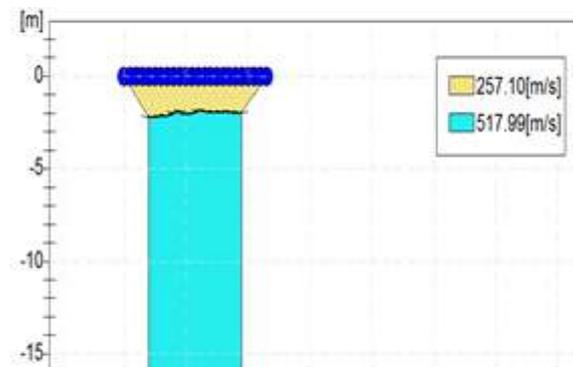
Satuan ini terdiri dari endapan jatuhan piroklastik dan beberapa kerucut vulkanik setelah kaldera lautan pasir terbentuk, yaitu berupa kerucut gunung Widodaren, gunung Kursi, gunung Segorowedi, gunung Batok, dan gunung Bromo. Endapannya dicirikan oleh campuran bahan-bahan yang bersifat magmatis seperti skoria, batuapung dan fragmen litik. Secara lokal ditemukan perlapisan karena pengaruh transportasi air dan angin.



**Gambar 8.** Lokasi lintasan pengukuran seismik, ditunjukkan oleh tanda pin kuning.



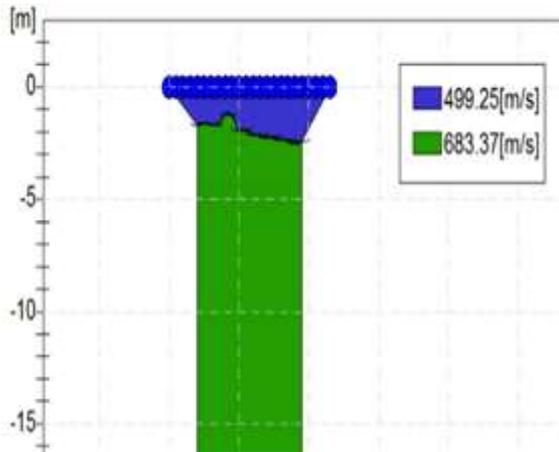
**Gambar 9.** Lintasan 1 seismik refraksi. Tiap warna menunjukkan nilai kecepatan seismik (m/s) masing-masing lapisan bawah permukaan yang didominasi oleh jatuhan piroklastik kerucut muda.



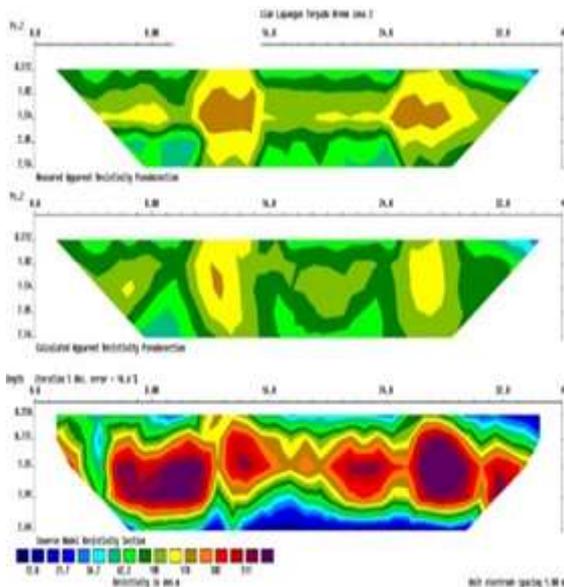
**Gambar 10.** Lintasan 2 seismik refraksi. Tiap warna menunjukkan nilai kecepatan seismik (m/s) masing-masing lapisan bawah permukaan yang didominasi oleh jatuhan piroklastik bromo dan jatuhan piroklastik kerucut muda.

#### B. Endapan Jatuh Piroklastik Bromo (Boip)

Satuan ini terdiri dari beberapa lapisan endapan piroklastik dan leleran lava yang membentuk kerucut vulkanik. Hal ini dapat dilihat dari bagian dalam dinding kawah. Satuan ini terdiri dari batuapung, litik skoria, bom vulkanik, pasir dan abu gunungapi serta endapan freatik dengan atau tanpa *accretionary lapilli* berdiameter 2 - 3 mm serta terdapat leleran lava. Skoria dan batuapung berukuran lapili sampai kerakal, dengan beberapa bongkah bom vulkanik tersebar di dalam kaldera. *Cross bedding* terdapat pada endapan pasir dan freatik. Warnanya berkisar dari hitam, abu-abu, coklat sampai



**Gambar 11.** Lintasan 3 seismik refraksi. Tiap warna menunjukkan nilai kecepatan seismik (m/s) masing-masing lapisan bawah permukaan yang didominasi oleh jatuhan piroklastik bromo dan jatuhan piroklastik kerucut muda.

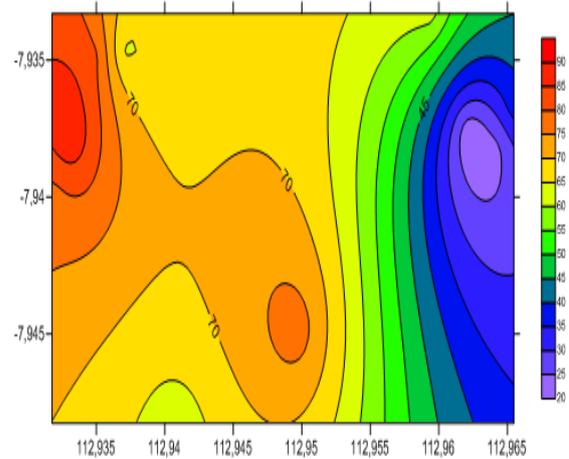


**Gambar 12.** Penampang vertikal resistivitas. Terdapat tiga kelompok nilai resistivitas yang menunjukkan masing-masing jenis batuan/endapan. Nilai tertinggi ditunjukkan oleh warna ungu dan terendah ditunjukkan oleh warna biru tua.

kuning dan putih, bersifat lunak, mudah runtuh sampai agak terkonsolidasi. *Graded bedding* sangat umum dijumpai pada endapan jatuhan piroklastik. Endapan abu yang berwarna hitam sampai abu-abu merupakan endapan termuda dari aktivitas paling akhir yang menutupi sebagian besar kaldera dengan tebal sekitar 3 - 5 cm.

### C. Aliran Lava Basalt Bromo (BOI)

Lava basalt berwarna hitam, berongga, porfiritik dengan fenokris plagioklas, piroksen dan olivin dalam masa dasar mikrolit-mikrolit plagioklas, piroksen, olivin dan gelas. Terdapat xenolith andesit dan basalt, serta xenocryst piroksen. Lava ini berbentuk bongkah-bongkah dan mempunyai rongga yang membulat. Bagian bawah dari aliran lava ini membentuk ruangan (rongga) yang akan terdengar suara gaung bila kita meloncat dan jatuh



**Gambar 13.** Kontur frekuensi natural hasil pengukuran mikrotremor. Frekuensi rendah menunjukkan ketebalan lapisan pasir bertambah besar yang ditunjukkan kontur warna biru dan frekuensi tinggi ditunjukkan kontur berwarna merah.



**Gambar 14.** Katalog batuan Gunung Bromo.

membentuk permukaan. Leleran-leleran lava tersebut membentuk bukit-bukit yang saling berhubungan pada permukaan yang rata di dasar kaldera lautan pasir.

### D. Endapan Jatuhan Piroklastik Batok (Baip)

Satuan ini sebagian besar terdiri dari skoria berukuran 2 - 20 cm, berwarna hitam sampai merah kecoklat-coklatan, berongga, gelasan, terpilah buruk, lepas sampai agak terkonsolidasi. Bom vulkanik yang berukuran 25 - 30 cm sering dijumpai dalam lapisan-lapisan endapan jatuhan piroklastik. Arang kayu yang didapat dari lereng bagian timur terbentuk oleh sebuah erupsi Gunung Bromo berumur 360 +/- 50 tahun yang lalu.

### E. Endapan Jatuhan Piroklastik Segarawedi (Swip)

Satuan ini terdiri dari selang-seling lapisan berwarna abu-abu sampai kuning kecoklat-coklatan dan kehitam-hitaman. Beberapa leleran lava yang sudah teralterasi tersingkap di sekitar kawah. *Accretionary lapilli* dan juga perlapisan silang (*cross bedding*) sering dijumpai terdapat dalam endapan pasir halus dan abu dari endapan freatik yang tersingkap dekat kawah. Endapan abu yang berwarna hitam merupakan endapan piroklastik jatuhan yang lebih

muda tersebar dan menutupi daerah sekitar kaldera dengan ketebalan sekitar 1– 2,5 m, lepas sampai agak terkonsolidasi.

#### *F. Endapan Abu Hitam Widodaren (Wiph)*

Endapan ini didominasi oleh material halus dan abu, berwarna hitam sampai coklat keabu-abuan beberapa litik gelas berukuran kerakal, agak terkonsolidasi sampai lepas, mengandung arang kayu (charcoal), berumur 170 +/- 60 tahun yang lalu, terdapat pada bagian atas satuan lainnya di puncak-puncak bukit. Satuan ini terselangi oleh endapan jatuhnya piroklastik batuapung kuning dan lepas.

#### *G. Endapan Piroklastik Kursi (Kuip)*

Satuan ini terdiri dan selang-seling endapan jatuhnya piroklastik, surge dan freatik, berbutir kasar sampai halus, graded bedding, agak terkonsolidasi, coklat muda sampai coklat kekuning-kuningan dan keabu-abuan, umumnya teralterasi hidrotermal. Struktur dune, *cross bedding* dan gelombang serta sisa-sisa tumbuhan terdapat dekat dasar kawah pada dinding luar. Leleran lava basalt tersingkap pada lereng timur bagian bawah kerucut vulkanik, rongga porfiritik dengan fenokris plagioklas dan olivin pada masa dasar mikrolit-mikrolit plagioklas, piroksen dan gelas. Kerucut tephra ini muncul sekitar 450 m di atas kaldera lautan pasir.

#### *H. Endapan Jatuhnya Piroklastik Widodaren (Wip)*

Satuan ini didominasi oleh jatuhnya piroklastik yang berukuran lapili sampai bongkah, terbentuk dari batuapung dan skoria yang kadang-kadang terdapat bom kerak roti. Lapisan freatik berupa jatuhnya abu, lapuk dan berumur muda. Beberapa leleran lava juga terdapat di sebelah selatan dari kerucut ini.

### **Hasil Kegiatan Kaldera Ngadisari**

#### *A. Endapan Jatuhnya Piroklastik Ngedas (Nip)*

Satuan ini berwarna coklat berbutir halus-sedang, tersusun atas pasir dan abu, serta batuapung berwarna kemerah-merahan dan kekuning-kuningan dengan beberapa fragmen litik kecil, terpilah buruk, masif, agak terkonsolidasi, lapuk dan mengandung arang kayu. Ada beberapa lapisan yang mempunyai ketebalan berkisar antara 50 - 400 cm, berlimpahan accretionary lapilli sampai berdiameter 12 mm. Lapisan tubuh tanah yang tipis dan sapuan hujan terdapat di dalamnya. Arang kayu yang terdapat di dalamnya berumur antara 33.000 +/- 1.000 tahun yang lalu sampai > 45.000 tahun yang lalu.

#### *B. Endapan Aliran Piroklastik Ngedas (Nap)*

Satuan ini terdiri dari selang-seling antara endapan aliran, jatuhnya piroklastik, surge dan freatik, ukuran bervariasi dari abu sampai bongkah, lepas sampai terkonsolidasi. Ada 8 lapisan aliran piroklastik yang dipisahkan satu dengan lainnya oleh jatuhnya piroklastik yang lepas dan sapuan hujan. Aliran piroklastik tidak terelakan, terpilah buruk, masif, terdiri dari batuapung berwarna hitam sampai abu-abu berdiameter 3 - 32 cm,

dengan litik gelas, basalt, andesit dan diorit berdiameter antara 2 - 4 cm.

#### *C. Aliran Lava Basalt Ngedas (Nlb)*

Satuan ini tersusun atas kristal halus, abu-abu tua sampai hitam, berongga, porfiritik dengan fenokris plagioklas, olivin dan piroksen dengan masa dasar berupa gelas dan mikrolit-mikrolit plagioklas. Tersingkap baik di dasar sungai dan lembah-lembah yang tererosi dalam serta di sudut utara dari kaldera lautan pasir dengan ketebalan antara 3 - 10 m. Jatuhnya piroklastik berwarna coklat kadang-kadang terdapat di bawah satuan ini.

#### *D. Aliran Lava Andesit Ngedas (Nla)*

Satuan ini tersusun atas kristal sedang - kasar, berongga, berwarna abu-abu tua dan abu-abu kecoklatan bila lapuk, porfiritik dengan fenokris plagioklas, olivin dan piroksen dalam masa dasar mikrolit - mikrolit plagioklas, piroksen dan gelas. Tersingkap baik di dasar sungai Ngadas, Sapikerep dan Sukapura. Lava ini berumur 135.000 +/- 30.000 tahun yang lalu.

#### *E. Endapan Ignimbrit Sukapura (Suig)*

Satuan ini pada umumnya terdiri dari batuapung berwarna abu-abu muda sampai abu-abu tua, berdiameter 2 - 32 cm, dengan litik andesit dan gelas, terkonsolidasi sampai sebagian terelakan dalam matriks yang miskin batuapung dan berwarna kecoklat-kecoklatan bila lapuk. Pada beberapa tempat pipa-pipa jejak gas keluar sepanjang 25 - 75 cm yang terdapat dekat dasar endapan. Dekat Selat Madura endapan bagian atasnya terdapat urat-urat karbonat. Satuan ini tersingkap baik di air terjun Sukapura dan sepanjang jalan yang menghubungkan antara Sukapura dan Menyono. Satuan ini berumur 152.000 +/- 30.000 tahun yang lalu.

### **Hasil Kegiatan Tengger Tua**

#### *A. Kerucut Piroklastik Sombo (Sokp)*

Satuan ini terdiri dari beberapa kerucut skoria yang terdapat di lereng timur Pegunungan Tengger, umumnya terdiri dari skoria, bom vulkanik dan abu. Skoria berukuran lapili sampai bongkah, berongga, dengan fenokris plagioklas dan piroksen dalam masa dasar gelas berwarna coklat. Satuan ini tersingkap baik di Gunung Garu, Gunung Sombo dan Gunung Pulusari.

#### *B. Aliran Lava Andesit Sombo (SOI)*

Satuan ini berbutir halus sampai sedang, berwarna abu-abu tua, porfiritik dengan fenokris plagioklas, piroksen dan olivin dalam masa dasar mikrolit-mikrolit plagioklas dan gelas berwarna coklat serta mineral hitam.

#### *C. Kerucut Vulkanik Sedaeng (Sky)*

Satuan ini terdiri dari kerucut lava dan piroklastik yang menempati bagian timur Pegunungan Tengger dengan tinggi kira-kira antara 250 - 500 m di atas permukaan laut. Kerucut piroklastik ini terdiri dari skoria berwarna hitam sampai abu-abu kemerahan, umumnya lapuk. Beberapa bom vulkanik yang berdiameter antara 15 - 40 cm terdapat

berserakan dekat kawah. Kerucut lava terbentuk dari andesit basaltik, porfiritik dengan fenokris plagioklas dan piroksen dalam masa dasar gelas.

#### D. Aliran Lava Andesit Duk (DUI)

Leleran lava ini tersebar di lembah utara dan selatan Gunung Pronggol di lereng sebelah timur Pegunungan Tengger, berkomposisi andesit, abu-abu tua, porfiritik dengan fenokris plagioklas dan piroksen dalam masa dasar mikrolit-mikrolit plagioklas dan gelas, serta pada umumnya lapuk. Satuan tersingkap baik di Gucialit, Kertosuko dan daerah-daerah selatan Gunung Kranggan.

#### E. Aliran Lava Andesit Jatisari (JI)

Leleran lava ini tersingkap di Jatisari, Sumertupang dan sekitarnya, berwarna abu-abu tua dan abu-abu kecoklatan bila lapuk, berkristal halus sampai sedang, porfiritik dengan fenokris utama plagioklas dan fenokris minor berupa piroksen serta olivin dalam masa dasar mikrolit-mikrolit plagioklas dan gelas. Kekar-kekar berlembar sangat umum dijumpai pada lava ini.

#### F. Aliran Lava Gemito (GI)

Leleran lava ini menempati lereng utara Pegunungan Tengger yang membentuk bukit-bukit Kranggan. Leleran lava andesit berwarna abu-abu dan abu-abu kemerahan bila lapuk, porfiritik dengan fenokris plagioklas dan piroksen terdapat dalam masa dasar mikrolit-mikrolit plagioklas dan gelas, tersingkap baik di Gemito dan Sumber.

#### G. Aliran Lava Pakel (PI)

Leleran lava ini pada umumnya lapuk, abu-abu tua sampai abu-abu gelap, porfiritik dengan fenokris plagioklas dalam masadasar mikrolit-mikrolit plagioklas, tersingkap baik di Pakel dan Palangbesi.

#### H. Aliran Lava Barangah (BRI)

Lava pada satuan ini berwarna abu-abu tua dan coklat bila lapuk, porfiritik dengan fenokris utama plagioklas dan beberapa piroksen yang terdapat dalam masa dasar mikrolit-mikrolit plagioklas, piroksen dan gelas, tersingkap baik di Branggah dan Watulumpang di lereng utara Pegunungan Tengger.

#### I. Satuan Dinding Kaldera Tengger (TDK)

Satuan ini terdiri dari endapan-endapan yang berlapis membentuk tubuh gunung Tengger dan telah terpotong akibat pembentukan kaldera. Satuan ini tersingkap sepanjang dinding kaldera dan lembah. Satuan ini terdiri dari selang-seling antara lava dan endapan piroklastik, freatik dan retas-retas.

Secara umum distribusi batuan/endapan kompleks Bromo - Tengger didominasi oleh piroklastik dan lava (Abrory, 2019) (gambar 5). Terdapat lima jenis batuan/endapan (gambar 6) dengan abu vulkanik mempunyai prosentase terbesar di area studi. Mekanisme pengendapan batuan/endapan sebagian besar dengan mekanisme jatuhnya (gambar 7).

## Identifikasi Kerucut Skoria

Salah satu hasil aktivitas vulkanisme di sekitar gunung Bromo adalah kerucut skoria (*scoria cone*). Kerucut skoria merupakan kerucut tunggal (monogenetik) dengan tinggi berkisar antara puluhan hingga ratusan meter, yang terbentuk akibat aktivitas magma yang bersifat sementara. Morfologi kerucut skoria dan persebarannya di sekitar tubuh gunungapi merupakan hasil interaksi antara tatanan tektonik regional dan aktivitas erupsi pada suatu gunungapi. Secara morfologis bentuk kerucut skoria dapat bervariasi. Mulai dari bentuk kerucut sempurna, hingga yang sebagian tubuhnya hancur. Hal ini bergantung pada besar erupsi yang terjadi. Litologi penyusun tubuh kerucut skoria umumnya sejenis, yaitu lava masif dan lava vesikular (skoria). Lava penyusun kerucut skoria dan tubuh gunungapi (*edifice*) dapat berasal dari sumber magma yang sama. Pada kerucut skoria, saat erupsi lava membeku secara cepat dan memerangkap gas, sehingga menghasilkan batuan skoria. Kerucut skoria di sekitar kompleks Bromo-Tengger memiliki bentuk yang lebih kecil dengan litologi berupa skoria *bomb/block* yang umumnya tersebar di permukaan (Hawan, 2020). Selain itu ditemukan pula lava masif, baik dalam keadaan tersebar di seluruh bagian, maupun terkonsentrasi pada salah satu sisi kerucut saja. Bagian ini diperkirakan adalah pusat erupsi saat pembentukan tubuh kerucut. Namun sebagian besar lava masif ditemukan dalam keadaan terkubur.

Terdapat total sepuluh kerucut skoria yang tersebar di lereng utara kompleks Bromo-Tengger dengan ketinggian dimensi yang bervariasi, mulai dari yang terkecil dengan diameter 329 meter dan ketinggian 13,75 meter hingga kerucut terbesar diameter 1.195 meter dan ketinggian 169 meter.

Studi literatur untuk menentukan nilai densitas dan porositas dari batuan skoria kompleks Bromo-Tengger berdasarkan kemiripan tatanan tektonik di dua lokasi, yaitu Piton de la Fournaise, Reunion Island dan Volcan de Colima, Mexico. Pengukuran densitas dan porositas pada batuan skoria telah banyak dilakukan diantaranya pada gunungapi Villarica yang terletak pada zona subduksi lempeng Nazca dan Amerika Selatan. Diketahui nilai densitas kerucut scoria pada area tersebut adalah 1170 – 1180 kg/m<sup>3</sup> dengan porositas 55,2 – 55,8 % (L. Gurioli et al., 2008). Pengukuran batuan skoria lain juga dilakukan pada Piton de La Founaise (Lucia Gurioli et al., 2018) dengan nilai densitas dan porositas masing-masing adalah 1,6 g/cm<sup>3</sup> dan 44 % dan Volcan de Colima (Farquharson et al., 2015) yang secara tektonik mirip dengan kompleks Bromo-Tengger. Kompleks Bromo-Tengger merupakan gunungapi hasil subduksi lempeng samudera Australia terhadap lempeng benua Eurasia. Sedangkan Volcan de Colima juga berada pada zona subduksi lempeng samudera Cocos dan microplate Rivera terhadap lempeng benua Amerika Utara. Secara geokimia, sampel yang berasal dari Bromo-Tengger memiliki

kandungan SiO<sub>2</sub> 51,5 – 56,2% (Hawan, 2020). Nilai ini lebih mendekati kandungan SiO<sub>2</sub> pada Volcan de Colima 52,52 – 58,32% dibandingkan SiO<sub>2</sub> pada Piton de La Founaise dengan nilai 48,68%. Sehingga baik pada kompleks Bromo-Tengger dan Volcan de Colima dihasilkan jenis batuan basalt hingga basaltik-andesit. Berdasarkan jenis erupsi yang dihasilkan, kompleks Bromo-Tengger dan Volcan de Colima juga menunjukkan kemiripan. Dari endapan yang ditemukan pada kaldera Lautan Pasir, diketahui jenis erupsi yang terjadi adalah Plinian, meskipun pada beberapa lokasi terdapat endapan yang mencirikan tipe erupsi freatomagmatik. Erupsi semacam ini juga terjadi pada Volcan de Colima dengan tipe erupsi Vulkanian dan Plinian. Jenis erupsi ini menghasilkan material piroklastik dalam jumlah besar yang berperan dalam pembentukan tubuh gunungapi. Sedangkan pada Piton de la Fournaise didominasi tipe erupsi Hawaiian dimana pembentukan tubuh gunungapi cenderung terjadi ke arah lateral. Dari analisis ini, diperkirakan kerucut skoria kompleks Bromo-Tengger memiliki nilai densitas dan porositas yang mendekati nilai densitas Volcan de Colima yaitu 1,386 – 1,45 gr/cm<sup>3</sup> dan porositas 44,9 – 48,1 %.

## STUDI GEOFISIKA

### *Seismik*

Pengukuran lapangan dilakukan dengan metode seismik refraksi dalam 3 lintasan (*line*) pada bulan Juni 2015 (gambar 8). Dihasilkan penampang kecepatan pada 3 lintasan. Berdasarkan nilai kecepatan seismik, lintasan 1 diinterpretasikan sebagai batuan jatuhan piroklastik kompleks kerucut muda (gambar 9), lintasan 2 dan 3 merupakan jatuhan piroklastik bromo dan jatuhan piroklastik kompleks kerucut muda (gambar 10 dan 11).

Seismisitas atau kegempaan terekam dari stasiun seismik gunung Bromo berupa gempa tektonik jauh, gempa tektonik lokal, gempa vulkanik dalam, gempa vulkanik dangkal, gempa hembusan dan gempa tremor yang umumnya didominasi oleh gempa tektonik jauh. Rentang frekuensi gempa antara 10 – 100 mHz, untuk gempa tremor frekuensi berkisar 5 Hz dan gempa vulkanik mencapai 25 Hz (Gottschämmer & Surono, 2000). Plot hiposenter yang dilakukan oleh Wuryani 2014 menunjukkan bahwa sumber gempa vulkanik mencapai kedalaman sekitar 13 km dari permukaan bumi atau sekitar 15 km dari puncak kawah. Sinyal dari gempa vulkanik memiliki tp (waktu tiba gelombang P) dan ts (waktu tiba gelombang S) yang jelas dimana tp-ts kurang dari 4-5 detik dan dari analisa spektral menunjukkan gempa vulkanik memiliki frekuensi >5 Hz (Wuryani et al., 2014). Secara umum aktifitas kegempaan gunung Bromo lebih bersifat frekuensi rendah dengan durasi lebih dari 45 detik dan amplitudo maksimum sekitar 1 - 2 mm (Geologi, 2014). Ketika aktifitas vulkanik meningkat diikuti dengan erupsi maka amplitudo bisa mencapai 15 – 40 mm

(Akhmad Zaennudin & A.S, 2012). Nilai densitas kaldera Lautan Pasir adalah 2000 kg/m<sup>3</sup> (Kuchling, 1991) dengan koefisien absorpsi  $3,1 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$  dan asumsi kecepatan seismik 1 km/s (Gottschämmer & Surono, 2000).

### *Resistivitas*

Pengukuran metode resistivitas dilakukan pada tahun 2015 dengan panjang lintasan sejauh 36 meter dengan konfigurasi Wenner Mapping. Jarak elektroda terkecil yang digunakan adalah 1 meter dan yang terbesar adalah 5 meter. Berdasarkan kontur resistivitas diperkirakan terdapat tiga lapisan tanah/batuan (gambar 12). Lapisan pertama dengan nilai resistivitas 12-36 ohm.m terdapat pada kedalaman 2-2,69 meter dan pada kedalaman 0-0,775 meter. Lapisan pertama tersusun atas litologi jatuhan dan aliran piroklastik. Kemudian lapisan kedua dengan nilai resistivitas 36-105 ohm.m pada kedalaman 0,775-1 meter dan pada kedalaman 1,35-2 meter tersusun atas tuf piroklastik. Lapisan terakhir merupakan endapan dengan nilai resistivitas 300-500 ohm.m pada kedalaman 0,775-2 meter pada jarak horisontal 8 meter dan 27 meter yang tersusun atas piroklastik diselingi oleh lava.

### *Mikrotremor*

Pengukuran mikrotremor dilakukan pada tahun 2015 untuk mendapatkan ketebalan lapisan pasir di area kaldera Lautan Pasir. Hasil pengukuran adalah kontur frekuensi natural seperti yang ditunjukkan pada gambar 13. Area yang memiliki ketebalan lapisan pasir terbesar terdapat pada area dekat dinding kaldera Tengger (warna biru). Sedangkan area dekat dengan Bromo memiliki ketebalan lapisan pasir lebih kecil (warna oranye – merah).

## KESIMPULAN

Studi geologi dan geofisika telah dilakukan pada gunung Bromo dan sekitarnya. Studi geologi menunjukkan kompleks Bromo-Tengger didominasi oleh batuan atau endapan piroklastik dan lava. Satuan batuan dikelompokkan menjadi tiga bagian utama, mulai dari tertua sampai termuda yaitu hasil kegiatan Tengger tua, hasil kegiatan kaldera Ngadisari dan hasil kegiatan kaldera Lautan Pasir. Identifikasi batuan dilakukan pada kerucut skoria disekitar gunung Bromo. Kerucut skoria mempunyai dimensi yang bervariasi, mulai dari yang terkecil dengan diameter 329 m dan ketinggian 13,75 m hingga kerucut terbesar diameter 1.195 m dan ketinggian 169 m. Sedangkan nilai densitas dan porositas kerucut skoria mengacu pada kemiripan dengan kerucut skoria Volcan de Colima, sehingga dapat disimpulkan nilai densitas dan porositas skoria sekitar gunung Bromo yaitu 1,386 – 1,45 gr/cm<sup>3</sup> dan 44,9 – 48,1 %. Studi seismik dan resistivitas menunjukkan penampang lapisan kaldera Lautan Pasir sedangkan mikrotremor menginterpretasikan ketebalan lapisan pasir dimana ketebalan lapisan pasir terbesar terdapat di dekat dinding kaldera Tengger.

## LAMPIRAN

Hasil keseluruhan studi geosain terdapat dalam katalog digital batuan dan dapat diakses melalui <https://www.its.ac.id/tgeofisika/katalog-batuan-gunung-bromo-taman-nasional-bromo-tengger-semeru> [tnbts/#1597218523560-13bb7c9e-4ce4](https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.03.016) , dan dapat dilihat pada Gambar 14.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Pengabdian masyarakat ini didukung oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Kepada Masyarakat dan Departemen Teknik Geofisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember

## DAFTAR PUSTAKA

- Abroy, A. N. (2019). *Vulkanostratigrafi dan Petrogenesis Gunung Bromo dan Sekitarnya, Kabupaten Probolinggo, Provinsi Jawa Timur*. Institut Teknologi Bandung.
- Aiuppa, A., Bani, P., Moussallam, Y., Di Napoli, R., Allard, P., Gunawan, H., Hendrasto, M., & Tamburello, G. (2015). First determination of magma-derived gas emissions from Bromo volcano, eastern Java (Indonesia). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 304, 206–213. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.09.008>
- Akhmad Zaennudin, K. K., & A.S, E. L. (2012). Model erupsi gunung bromo di jawa timur pada tahun 2010 – 2011. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, 3(1), 41–55. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.34126/jlbg.v3i1.35>
- Ciptahening, A. N., Astas, M. H., & Hadibroto, H., Murtyanto, I. W. (2010). Analisis Geomorfologi untuk Menentukan Evolusi Kompleks Gunung Bromo, Jawa Tmur. *PKM AI - DP2M*.
- Farquharson, J., Heap, M. J., Varley, N. R., Baud, P., & Reuschlé, T. (2015). Permeability and porosity relationships of edifice-forming andesites: a combined field and laboratory study. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 297, 52–68. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.03.016>
- Geologi, P. V. dan M. B. (2014). *Gunung Bromo*. KPusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. <https://vsi.esdm.go.id/index.php/gunungapi/data-dasar-gunungapi/532-g-bromo>
- Gottschämmer, E., & Surono, I. (2000). Locating tremor and shock sources recorded at Bromo Volcano. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 101(1–2), 199–209. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(00\)00171-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0377-0273(00)00171-2)
- Gurioli, L., Harris, A. J. L., Houghton, B. F., Polacci, M., & Ripepe, M. (2008). Textural and geophysical characterization of explosive basaltic activity at Villarrica volcano. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 113(8), 1–16. <https://doi.org/10.1029/2007JB005328>
- Gurioli, Lucia, Di Muro, A., Vlastélic, I., Moune, S., Thivet, S., Valer, M., Villeneuve, N., Boudoire, G., Peltier, A., Bachèlery, P., Ferrazzini, V., Métrich, N., Benbakkar, M., Cluzel, N., Constantin, C., Devidal, J. L., Fonquernie, C., & Hénot, J. M. (2018). Integrating field, textural, and geochemical monitoring to track eruption triggers and dynamics: a case study from piton de la fournaise. *Solid Earth*, 9(2), 431–455. <https://doi.org/10.5194/se-9-431-2018>
- Hawan, S. I. (2020). *Analisis Studi Morfologi Dan Geokimia Untuk Identifikasi Kerucut Skoria Kompleks Gunung Bromo-Tengger*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Hendrayana, H., Fajar, M. H. M., & Wilopo, W. (2016). Sistem Air Tanah Endapan Vulkanik Lereng Gunung Bromo. *Proceeding Seminar Nasional Kebumian Ke-8*, 803–815.
- Kuchling, H. (1991). *Taschenbuch der Physik; Thun Frankfurt*. Main Deutsch.
- Rein W van Bemmelen. (1970). *The Geology of Indonesia*. M. Nijhoff.
- Van Gerven, M., & Pichler, H. (1995). Some aspects of the volcanology and geochemistry of the tengger caldera, java, indonesia: eruption of a K-rich tholeiitic series. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 11(2), 125–133. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0743-9547\(95\)00003-B](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0743-9547(95)00003-B)
- Wuryani, S. D., Maryanto, S., & Nadhir, A. (2014). *Identifikasi Kantung Magma Gunung Bromo Berdasarkan Analisa Sebaran Hiposenter Gempa VTA*. Unuversitas Brawijaya.