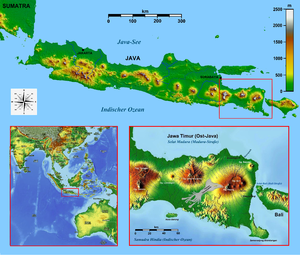
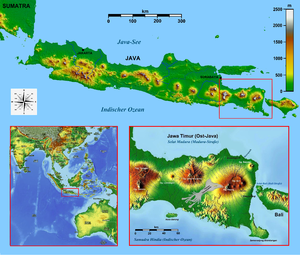
##### BAB II

KAJIAN PUSTAKA

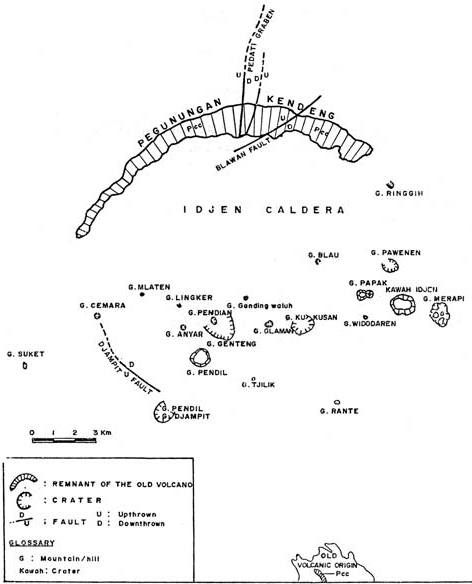
* 1. Gunungapi Ijen Jawa Timur
     1. Lokasi Gunungapi Ijen

Gunungapi Ijen Jawa Timur merupakan salah satu gunung dari delapan buah gunungapi yang memiliki danau kawah dengan air danau yang bersifat asam seperti Kawah Putih Jawa Barat, Telaga Warna Jawa Tengah, Kawah Mahawu Sulawesi utara, Kawah Kelimutu Nusa Tenggara Timur, Kawah Kaba dan Kawah Dempo Sumatera, Kawah Gunung Tompaluan atau Lokon Sulawesi Utara paska letusan 2003 (Sumarti, 1998). Letak geografis puncaknya 8o 03’ 30’’ Lintang Selatan dan 114o 14’ 30’’ Bujur Timur, dengan ketinggian tepi kawah sebesar 2386 m dpl dan danau kawah 2145 m dpl. Gunung dengan tipe strato ini secara administratif masuk dalam wilayah Kabupaten Banyuwangi dan Bondowoso Propinsi Jawa Timur (Kusumadinata *dkk*, 1979).



Gambar 2.1 Lokasi Gunungapi Ijen

Gunungapi ini berada pada lereng barat Gunung Merapi, sebelah timur Gunung Widodaren, dan sebelah selatan Gunung Papak. Gunungapi Ijen tumbuh sebagai kerucut-kerucut gunungapi di dinding Kaldera Ijen bagian selatan (Gambar 2.2). Sitorus (1990) menyatakan bahwa Gunungapi Ijen muncul dan mendobrak lereng barat Gunung Merapi.



Gambar 2.2 Skema Kaldera Ijen (Sitorus, 1990)

* + 1. Geologi Dan Morfologi

Pegunungan Ijen terletak di bagian ujung timur Pulau Jawa mulai dari selat Bali sampai daerah Bondowoso meliputi luas 500 km2, terdiri dari endapan vulkanik antara lain abu gunungapi, lapili, bom gunungapi dan leleran lava. Letusan yang menghancurkan puncak gunungapi di pegunungan Ijen adalah Gunung Raung dan Kawah Ijen (Kusumadinata *dkk,* 1979). Daerah Ijen dan sekitarnya terdiri dari dataran tinggi, bukit-bukit gunungapi dalam kaldera, lereng dan dataran yang merupakan daerah pengendapan. Kemmerling (1921) *dalam* Kusumadinata *dkk* (1979) membagi morfologi Ijen menjadi lima satuan yaitu :

1. Runtuhan Gunungapi Ijen tua, Gunung Kendeng dan Gunung Ringgih (kira-kira 2000 meter).
2. Kelompok gunungapi sebelah timur, termasuk Gunung Merapi, Kawah Ijen, Gunung Papak, Widodaren dan Pawenan.
3. Kelompok gunungapi sebelah selatan termasuk Gunung Rante, Cilik (1600 meter).
4. Kelompok gunungapi sebelah barat termasuk Gunung Jampit, merupakan bendungan jebol dari Gunung Raung dan Suket.
5. Dataran tinggi Ijen dengan kelompok gunungapi parasit yang terdiri dari kumpulan gunungapi yang terletak ditengah-tengah. Dataran tinggi Ijen dan gunungapi kecil seperti Gunung Kukusan, Deleman, Pendil dengan kawahnya sedalam 100 m, Gunung Kenteng, Panduan, Anyar dan Gunung Lingker.

Sesuai dengan kebutuhan Direktorat Vulkanologi yaitu untuk penentuan daerah bahaya maka Reksowirogo (1971) *dalam* Kusumadinata *dkk* (1979), membagi daerah Gunungapi Ijen menjadi tiga satuan morfologi, yaitu ;

1. Tanah Tinggi Ijen

Tanah tinggi Ijen terdiri dari puncak-puncak gunung, dataran dan bukit-bukit. Di dalam daerah ini terdapat gunungapi yang masih aktif maupun yang sudah padam (tidak ada lagi kegiatan vulkanik). Gunungapi yang masih aktif diantaranya Kawah Ijen dan Gunung Raung, sedangkan gunungapi padam disantaranya Gunung Blau, Pawenan, Papak, Widodaren, Lempuyangan, Rante, Lebu agung, Kukusan, Delaman, Pedot, Cilik, Pendil, Jampit, Genteng, Anyar, Lingker, Melaten dan Merapi.

1. Daerah sekitar Lereng

Merupakan daerah pengikisan yang letaknya sebelah utara gunung antara ketinggian 150 m sampai 1550 m, sebelah timur dari ketinggian 100 m sampai 800 m dan sebelah selatan dari ketinggian 300 m sampai 1400 m.

1. Daerah dataran

Merupakan daerah pengendapan yang terdiri dari persawahan, perkampungan, tegalan, perkebunan, kota dan sungai.

* + 1. Penelitian dan Sejarah Erupsi Gunungapi Ijen

Penelitian dan publikasi mengenai seismisitas Gunungapi Ijen pada dasarnya mencerminkan karakteristik yang meliputi semua pola aktivitas vulkanik yang meliputi gempa yang terjadi, periode letusan, tipe letusan, mekanisme gempa, sampai dengan perkiraan kedalaman kantong magma dan kandungan gasnya. Kajian karakteristik gunungapi dan pemantauan aktivitas secara berlanjut dapat memberikan suatu wawasan ilmiah mengenai penanggulangan bahaya gunungapi.

Penelitian dan kajian mengenai karakteristik Gunungapi Ijen yang telah dilakukan, antara lain :

Mulyana (2005) *dalam* Hendrasto *dkk* (2006) telah melakukan analisis spektral gempa vulkanik dalam (VA) dan vulkanik dangkal (VB) Gunungapi Ijen yang secara umum menunjukkan bahwa kandungan frekuensi vulkanik dalam berkisar 3,5 Hz dan untuk vulkanik dalam berkisar 2,3 sampai 2,9 Hz.

Sulaeman (2006) *dalam* Hendrasto *dkk* (2006) melakukan penyelidikan seismik dengan menggunakan empat buah seismometer di empat lokasi yang berbeda. Sinyal seismik direkam dengan menggunakan rekorder digital model Datamark dan penghitungan hiposenter menggunakan program GAD. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa terdapat dua hiposenter gempa yang lokasinya dekat dengan kawah atau jarak episenternya kurang dari 1 km terhadap kawah. Dua gempa dengan frekuensi 3,5 Hz tersebut diduga sebagai gempa vulkanik A dengan kedalaman 6 km dan 16 km dari muka laut. Gempa-gempa tersebut diduga sebagai akibat kegiatan struktur sekitar Gunungapi Ijen.

Menurut Surmayadi, *dkk* (2006) letusan yang pernah terjadi di Kawah Ijen secara terperinci dan berurutan seperti dalam Tabel 2.1 berikut :

Tabel 2.1 Letusan di Kawah Ijen

|  |  |
| --- | --- |
| Tahun Letusan | Keterangan |
| 1796  1817  1917  1936  1952  1962  1991  1993  1999  2000  2001  2005 | Letusan pertama yang tercatat dan merupakan letusan freatik.  Terdengar suara gemuruh dahsyat seperti dentuman meriam, disertai dengan gempa bumi.  Air danau kelihatan mendidih bercampur lumpur dan uap, kadang-kadang terjadi letusan di danau kawah, lumpur terlempar keatas sampai 8-10 meter diatas muka air.  Letusan freatik dan letusan pada danau kawah, menghasilkan lahar.  Letusan asap setinggi 1 km dan suara guguran terdengar dari sempol, dalam kawah terjadi letusan Lumpur setinggi 7 m.  Terjadi bualan gas yang berdiameter sekitar 10 m. bualan air tersebut membesar menjadi 15-20 m dan menyemburkan air setinggi 10 meter.  Terjadi bualan air dengan diameter 5 meter.  Letusan freatik yang terjadi ditengah danau. Letusan ini mempunyai tekanan kuat, menyebabkan terjadinya bunyi yang keras dan menyemburkan air setinggi 75 m.  Peningkatan aktivitas di Kawah Ijen ditandai kenaikan suhu air danau kawah mencapai 46 oC.  Peningkatan aktivitas Kawah Ijen ditandai dengan kenaikan suhu air kawah menjadi 55 oC diikuti letusan freatik.  Peningkatan aktivitas vulkanik ditandai dengan terjadinya bualan air.  Aktivitas Kawah Ijen mengalami peningkatan kegempaan baik gempa vulkanik A, gempa vulkanik B maupun gempa-gempa hembusan. |

Pos Pengamatan Gunungapi (PPGA) Gunung Kawah Ijen Banyuwangi melaporkan aktivitas kegiatan Kawah Ijen yang terjadi pada akhir tahun 2011 sampai dengan awal tahun 2012 (Laporan bulanan, 2011-2012) sebagai berikut :

1. Bulan Nopember 2011

Pengamatan visual : Warna air danau kawah hijau muda keputihan, suhu air danau kawah permukaan di Dam berkisar antara 26 oC - 31,6oC, PH sebesar 0,8 dan terlihat bualan air ditengan danau kawah dengan diameter lingkaran 12 meter bertekanan rendah.

Data kegempaan : Rekaman gempa vulkanik didominasi gempa vulkanik tipe B dan dalam serta getaran tremor vulkanik.

1. Bulan Desember 2011

Pengamatan visual : Warna air danau kawah putih berbuih berbunyi kemericik, suhu air danau kawah permukaan di Dam berkisar antara 26,8 oC - 34,2oC, PH sebesar 0,8 dan terlihat bualan air ditengah danau kawah dengan diameter lingkaran 5 meter bertekanan rendah.

Data kegempaan : Rekaman gempa vulkanik didominasi gempa vulkanik tipe B dan dalam serta getaran tremor vulkanik.

Berdasarkan terjadinya peningkatan aktivitas secara signifikan pada tanggal 14 Desember 2011 aktivitas Kawah Ijen dinaikkan status dari Normal menjadi Waspada, dan tanggal 18 Desember 2011 dinaikkan menjadi Siaga.

1. Bulan Januari 2012

Pengamatan visual : Warna air danau kawah hijau putih, suhu air danau kawah permukaan di Dam sebesar 16,8 oC dan pada kedalaman 5 meter 41,8oC, PH sebesar 2,4 dan terlihat bualan air ditengan danau kawah dengan diameter lingkaran 10 meter bertekanan rendah.

Data kegempaan : Rekaman gempa vulkanik didominasi gempa vulkanik tipe B dan dalam serta getaran tremor dengan amplitude 2 – 7 mm serta tremor vulkanik beramplitudo 46 mm.

1. Bulan Pebruari 2012

Pengamatan visual : Warna air danau kawah hijau putih, suhu air danau kawah permukaan di Dam sebesar 29 oC dan pada kedalaman 5 meter 38,1oC, PH sebesar 2,2 dan terlihat bualan air ditengan danau kawah dengan diameter lingkaran 5 meter bertekanan rendah.

Data kegempaan : Rekaman gempa vulkanik didominasi gempa vulkanik tipe B dan dalam serta getaran tremor dengan amplitude 1 – 5 mm serta tremor vulkanik beramplitudo 46 mm.

Memperhatikan data visual dan kegempaan pada tanggal 8 Pebruari 2012, status Gunungapi Ijen dari Siaga diturunkan menjadi waspada.

1. Bulan Maret 2012

Pengamatan visual : Warna air danau kawah hijau putih, suhu air danau kawah permukaan di Dam sebesar 45,2 oC dan pada kedalaman 5 meter 44,7oC, PH sebesar 2,2 dan bualan air tidak terlihat.

Data kegempaan : Rekaman gempa vulkanik didominasi gempa vulkanik tipe B dan dalam serta getaran tremor dengan amplitude 1 – 5 mm serta tremor vulkanik beramplitudo 46 mm.

Memperhatikan data visual dan kegempaan pada tanggal 8 Pebruari 2012, status Gunungapi Ijen dari Siaga diturunkan menjadi Waspada.

* 1. Gempa Bumi Vulkanik

Gempa vulkanik adalah gempa yang terjadi di sekitar gunungapi dengan kedalaman yang relatif dangkal. Proses terjadinya gempa vulkanik diduga akibat adanya proses yang terjadi di luar dan di dalam gunungapi. Proses yang terjadi di luar tubuh gunungapi antara lain gugurnya kubah lava (guguran), letusan gunung api, aliran lava dan awan panas (*pyroclastic flow)*, dan aliran lahar. Proses yang terjadi dalam tubuh gunungapi antara lain adalah gesekan bidang rekahan batuan tubuh gunungapi dan kerusakan geser (*shear failure*) akibat tekanan geser atau kompresi, traction pada dinding reservoir (*magma chamber*) atau saluran magma (*conduit*) akibat adanya aliran magma yang kental (*viscous*), dan proses aliran fluida magma di dalam reservoir atau saluran magma yang melibatkan proses linear dan tidak linear di dalam mekanisme alirannya (McNutt, 1996 *dalam* Maryanto, 1999).

Gempa yang terjadi akibat aktivitas gunungapi secara kualitatif dapat diklasifikasikan menjadi 5 macam (Tabel 2.2) dan klasifikasi gempa menurut Minakami dapat dilihat pada Gambar 2.3, sedangkan teori tentang model dan mekanisme sumber gempa vulkanik hingga saat ini masih kontroversial. Beberapa ahli telah mengemukakan teori dan melakukan pemodelan, antara lain seperti yang terlihat pada Tabel 2.3.

Gambar 2.3 Klasifikasi Gempa Vulkanik (Minakami, 1974 *dalam* Zobin, 2003)

Tabel 2.2 Klasifikasi Gempa vulkanik (Maryanto, 1999)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Klasifikasi gempa vulkanik  (McNutt, 1996 *dalam* Maryanto, 1999) | | | | Klasifikasi gempa vulkanik  (Sherburn *dkk*, 1998 *dalam* Maryanto, 1999) | |
| McNutt | Minakami | Latter | Alaska Volcano Observatory | Klasifikasi Sherburn *dkk* | Karakteristik |
| Gempa frekuensi tinggi (HF) | Tipe-A | Vulkano – tektonik (VT) | Vulkano – tektonik (VT) | Vulkano – tektonik dangkal  Vulkano – tektonik dalam | Frekuensi > 10 Hz  Frekuensi > 20 Hz |
| Gempa frekuensi rendah (LF) | Tipe-B | Vulkanik | Gempa periode panjang (LP) | Gempa vulkanik periode panjang, durasi pendek | * Puncak spectrum tunggal (± 2 Hz) * Sumber berada pada kawah aktif * Berupa gelombang body * Durasi beberapa detik * Kadangkala terjadi even dengan bentuk gelombang yang berulang |
| Gempa frekuensi campuran | - | Gempa frekuensi menengah | Gempa hibrid | - | - |
| Gempa letusan | Gempa letusan | Gempa letusan | Letusan | Gempa vulkanik periode panjang, durasi panjang | * Durasi sekitar 2 – 10 menit * Diawali dengan bagian berfrekuensi rendah yang menyerupai gempa frekuensi tunggal * Diakhiri dengan bagian berfrekuensi tinggi yang menyerupai tremor vulkanik non harmonic * Sumber berada pada kawah aktif * Kadangkala disertai dengan erupsi |
| Tremor vulkanik | Tremor vulkanik | Tremor vulkanik | Tremor vulkanik | Tremor vulkanik harmonik  Tremor vulkanik non-harmonik | * Kandungan frekuensi sempit * Sering terjadi spektral harmonik * Energi berpita lebar * Sumber berada pada kawah aktif * Kedalaman sumber dangkal |

Tabel 2.3 Beberapa Model dan Mekanisme Sumber Gempa Vulkanik

(Maryanto, 1999)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Model dan mekanisme sumber | Peneliti | Jenis Gempa Vulkanik |
| Pergeseran patahan, double couple source | Shick, 1981 | Gempa vulkanik tipe A |
| Ledakan dangkal, monopole, spherical | Shick, 1981 | Gempa vulkanik tipe B |
| Caldera collapse | Shick, 1981 | Gempa vulkanik |
| Fluktuasi tekanan, line source | Shick, 1981 | Gempa vulkanik tipe B |
| Model gelembung pembangkit gempa vulkanik yakni berupa suatu bola gas yang terdapat di pusat fluida kantong magma yang berbentuk bola | Crosson dan Bame, 1985 | Gempa vulkanik frekuensi rendah |
| Model tensile-shear crack | Shimizu *dkk*, 1987 | Gempa vulkanik periode pendek |
| Osilasi gas dalam saluran magma akibat transisi aliran gas subsonik ke supersonik | Steinberg, 1975 | Tremor vulkanik |
| Membukanya rekahan-rekahan disekitar pipa saluran magma karena tekanan fluida | Aki, *dkk*.,1977  Chouet, B., 1981 | Tremor vulkanik |
| Aliran fluida nonstasioner dalam suatu saluran magma | Ferrick, *dkk.,*1981 | Tremor vulkanik |
| Pertumbuhan dan pecahnya gelembung dalam saluran hidrotermal | Leet, 1988 | Tremor vulkanik |
| Aliran magma tidak ajeg karena terdiri dari aliran monopole, dipole, dan kuadrapole | Kirbani, S. B., 1990  Shick, 1981 | Tremor vulkanik |
| Suatu sumber isometrik (volumetrik) | Yamaoka *dkk*, 1991 | Tremor vulkanik |
| Tekanan aliran turbulen secara random dalam saluran berisi magma yang kaya akan gas | Budi dan Kirbani, 1992 | Tremor vulkanik |
| Aliran fluida nonlinear di saluran sempit yang disebabkan oleh perubahan tekanan | Julian, 1994 | Tremor vulkanik |
| Aliran fluida nonlinear di saluran yang berbentuk silinder | Budi, 1997 | Tremor vulkanik |

* 1. Erupsi Vulkanik

Erupsi gunungapi merupakan gejala suatu kenampakan gejala vulkanisme kea rah permukaan yang disebabkan oleh gaya dari dalam bumi akibat terganggunya sistem kesetimbangan geologi (Alzwar *dkk*, 1988). Erupsi gunungapi (erupsi vulkanik) merupakan suatu kegiatan penerobosan magma atau bahan batuan dari interior bumi ke permukaan (MacDonald, 1972). Karakteristik erupsi vulkanik sangat berbeda antara satu dengan lainnya, dari erupsi yang lemah sampai dengan erupsi yang hebat. Dari aliran lava yang relatif lambat kadangkala tanpa aliran lava. Ada berbagai cara mengelompokkan dan mengklasifikasikan erupsi vulkanik, misalnya : eruptif atau efusif, sentral atau lateral, magmatik atau freatik dan sebagainya seperti pada Tabel 2.4.

Namun pengelompokan tersebut masih perlu diperjelas terutama yang dikemukakan oleh Escher, karena penjelasan dari karakter masing;masing letusan tidak spesifik. Seringkali dijumpai ciri-ciri campuran dalam suatu erupsi, misalnya letusan Stromboli juga terjadi dalam erupsi Hawaii dan erupsi Volkano.

Ritmann (1978) *dalam* Kirbani (1990) mengemukakan bahwa fluida magma dalam saluran vulkanik dikelompokkan menjadi tiga bagian, yaitu :

1. Hipomagma

Terdiri dari magma fluida tanpa gelembung gas didalamnya. Magma ini berada ditempat yang sangat dalam, sehingga memiliki tekanan hidrostatik besar.

1. Piromagma

Terdiri atas magma fluida yang jenuh dengan gas. Piromagma ini terletak diatas hipomagma. Karena piromagma terletak pada tempat yang lebih dangkal, maka tekanan hidrostatik piromagma lebih kecil daripada hipomagma dan mengandung gelembung-gelembung gas dengan berbagai ukuran. Jika bagian atas saluran magma tertutup, maka gelembung-gelembung gas terperangkap, sehingga terbentuk piromagma yang penuh dengan gas.

1. Epimagma

Terdiri dari magma fluida yang mengandung sedikit gas dan terletak pada tempat yang sangat dangkal, sehingga epimagma memiliki tekanan hidrostatik sangat kecil. Pada gunungapi Merapi, bagian luar epimagma ini biasanya berhubungan langsung dengan fase padat kubah lava. Oleh karena itu, kombinasi epimagma dan kubah lava tersebut bisa membentuk sumbat magma terhadap piromagma dibawahnya yang banyak mengandung gelembung gas.

Erupsi dapat dipandang sebagai proses pengosongan kantong magma dangkal, dan beberapa saat kemudian kantong magma dangkal yang kosong tersebut terisi lagi sampai terjadi erupsi berikutnya. Selang waktu yang diperlukan untuk mengisi kantong magma sampai tercapai tekanan maksimum pada erupsi berikutnya disebut periode erupsi.

Tabel 2.4 Jenis Dan Klasifikasi Letusan Gunungapi

|  |  |
| --- | --- |
| 1. *Berdasar bentuk dan lokasi pusat kegiatan (Ritman, 1962)* | |
| Jenis Erupsi | Keterangan |
| Letusan pusat (*terminal eruption*) | Lubang kepundan merupakan saluran utama bagi terjadinya peletusan. |
| Leleran samping (*subterminal effusion*) | Akan terjadi jika magma yang membentuk *sill* sempat menerobos ke permukaan, pada lereng gunung api. |
| Letusan lateral (*lateral eruption*) | Jika *ring dike* dapat berfungsi sebagai saluran magma ke permukaan sampai terjadi letusan. |
| Letusan di luar pusat (*excentric eruption)* | Letusan ini terjadi pada bagian kaki gunungapi, dengan system saluran magma tersendiri yang tak ada kaitannya dengan lubang kepundan utama. |
| 1. *Berdasar ciri letusan dan rempah lepas* | |
| Jenis Erupsi | Keterangan |
| Letusan meledak (*Explossive*) | Dicirikan oleh tekanan gas yang tinggi dan rempah lepas yang dihasilkan sebagian besar piroklastika . |
| Letusan meleler (*Effusive*) | Dicirikan dengan lava yang membentuk morfologi landai, tekanan gas rendah. |
| 1. *Berdasar penyebab erupsi (MacDonald, 1972)* | |
| Jenis Erupsi | Keterangan |
| Erupsi magmatik | Erupsi dihasilkan oleh kegiatan magma secara langsung. |
| Hidroerupsi | Dihasilkan oleh uap sekunder yang ditimbulkan oleh pemanasan air diluar magma. |
| Erupsi freatik | Dihasilkan oleh uap sekunder yang ditimbulkan oleh pemanasan air tanah. |
| 1. Berdasar derajad kecairan magma, tekanan gas dan kedalaman dapur magma (*Escher, 1952 dalam Maryanto, 1999)* | |
| Jenis Erupsi | Keterangan |
| Tipe Hawai | Menghasilkan lava encer dengan tekanan gas rendah dan kantong magma sangat dangkal. |
| Tipe Stromboli | Menghasilkan lava encer bertekanan gas rendah dan berasal dari kantong magma dangkal. Erupsi sering disertai letusan pendek dan mengeluarkan abu, lapili dan bom vulkanik. |
| Tipe Volkano | Mempunyai cirri terbentuknya awan debu berbentuk kol. Lava kurang encer bertekanan sedang atau tinggi, dan berasal dari kantong magma dalam. |
| Tipe Merapi | Menghasilkan lava kental bertekanan rendah. Magma berasal dari kantong magma sangat dangkal mengalir keatas melalui pipa kepundan membentuk sumbat lava. |
| Tipe Pelee | Menghasilkan lava kental seperti Merapi dengan tekanan gas tinggi. Magma berasal dari kantong magma dalam menghasilkan sumbat lava. |
| Tipe Vincent | Menghasilkan lava kental dengan tekanan gas sedang yang berasal dari kantong magma dangkal. Pada kawahnya terdapat danau sehingga terbentuk lahar saat meletus. |
| Tipe Plinian atau Tipe Perret | Menghasilkan lava encer, tekanan gas tinggi yang berasal dari kantong magma sangat dalam. Letusan ini sangat kuat dan merusak. |

* 1. Jenis Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan dasar pengukuran dalam analisa seismisitas. Gelombang seismik juga disebut sebagai gelombang elastik karena osilasi partikel-partikel medium terjadi akibat interaksi antara gaya gangguan (*gradien stress*) melawan gaya-gaya elastik. Berdasarkan penjalarannya, gelombang seismik dibagi menjadi dua jenis, yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*).

1. Gelombang badan (*body wave*)

Gelombang badanyaitu gelombang yang menjalar di dalam medium bumi. Berdasarkan sifat-sifatnya gelombang ini dibedakan menjadi dua jenis, yaitu :

1. Gelombang primer (*Primary wave)*

Merupakan gelombang yang pertama kali tercatat pada rekaman gempa bumi dan arah geraknya searah dengan arah rambatnya, serta memiliki kecepatan lebih tinggi dari pada gelombang S. Gelombang ini merupakan gelombang *longitudinal*, yang terjadi karena adanya tekanan.



Gambar 2.4 Arah penjalaran Gelombang *P,* Arah gerak partikel searah dengan arah perambatan gelombang(Shearer, 2009)

1. Gelombang sekunder (*Secondary wave)*

Adalah salah satu gelombang yang memiliki gerak partikel tegak lurus terhadap arah rambatnya serta waktu tibanya setelah gelombang P. Gelombang ini tidak dapat merambat pada fluida sehingga pada inti bumi bagian luar tidak dapat terdeteksi sedangkan pada inti bumi bagian dalam mampu dilewati.



Gambar 2.5 Arah penjalaran gelombang *S,* Gerak partikel tegak lurus terhadap arah rambat gelombang (Shearer, 2009).

1. Gelombang permukaan (*surface wave*)
2. Gelombang Love

Gelombang ini merupakan gelombang permukaan dan gelombang transversal. Arah rambat partikelnya bergetar melintang terhadap arah penjalarannya.



Gambar 2.6 Arah penjalaran gelombang Love, Gerak partikelnya sejajar dengan permukaan bumi dan tegak lurus terhadap arah rambat gelombang (Lay dan Wallace, 1995)

1. Gelombang Reyleigh

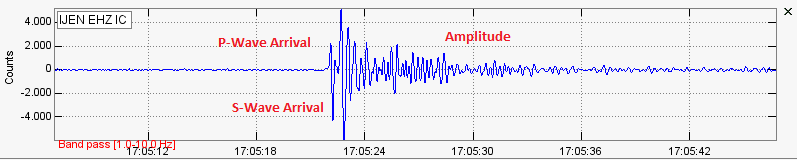
Merupakan jenis gelombang permukaan yang lain, yang terbentuk akibat interferensi gelombang-gelombang pantul. Arah rambatnya bergerak tegak lurus terhadap arah rambat dan searah bidang datar.



Gambar 2.7 Arah penjalaran *Rayleigh Wave*, Gerak partikelnya seperti gulungan berbentuk elips (Lay dan Wallace, 1995)

* 1. Parameter Fisis Gelombang Gempa Bumi

Beberapa parameter fisis gelombang gempa bumi, yaitu sebagai berikut :



Gambar 2.8 Parameter fisis gelombang gempa bumi

1. (S-P) merupakan selisih antara waktu tiba gelombang Primer dan Sekunder pada seismograf yang dinyatakan dalam detik.
2. Amplitudo (*A*) maksimum adalah simpangan terbesar yang terjadi pada gelombang gempa.
3. Durasi gempa, yaitu waktu yang diperlukan oleh suatu kejadian gempa dari saat mulai bergetar sampai berhenti sama sekali yang dinyatakan dalam detik.
4. Waktu terjadinya gempa (*to*) adalah waktu tiba gelombang P pada seismograf dikurangi hasil perhitungan waktu yang diperlukan oleh getaran untuk mencapai seismograf dari sumber.
   1. Penghitungan Posisi Sumber

Posisi sumber gempa dapat dibedakan menjadi dua, yaitu yang terletak di permukaan, biasa disebut dengan episenter, dan lokasi yang tegak lurus dengan episenter ke arah dalam bumi disebut sebagai hiposenter.

Salah satu metode untuk menentukan hiposenter adalah dengan analisis beda waktu tiba sinyal seismik yang datang pada beberapa stasiun. Bila menggunakan banyak stasiun, perlu diketahui terlebih dahulu faktor *k* (koefisien jarak) dari sebuah gunungapi. Adapun dasar penghitungannya adalah dengan persamaan berikut (Siswowidjoyo, 1981) :



(2.1)

dengan :

*i* = *1, 2, 3,* dan *4* ( stasiun ke-*i* )

*(X,Y,Z)0* = koordinat sumber gempa yang tidak diketahui

*(X,Y,Z)i* = koordinat stasiun seismograph

*k* = koefisien jarak yang tidak diketahui

*ti* = waktu tiba gelombang P

*t0* = saat terjadinya gempa yang tidak diketahui

Konstanta jarak (*k*) adalah merupakan konstanta Omori, yang digunakan dalam perhitungan hiposenter, yang dirumuskan sebagai berikut :

(2.2)

dengan :

*VP* = Cepat rambat gelombang P

*VS* = Cepat rambat gelombang S

*D* = Jarak hiposenter (sumber gempa)

*S - P* = Beda waktu tiba gelombang S dan P

Dengan cara matematis ini, sebelumnya harus ditentukan terlebih dulu koordinat masing-masing stasiun dan dianggap semua stasiun tersebut terletak pada satu bidang datar. Untuk memudahkan perhitungan dan menghindari kesalahan yang selalu timbul, pada waktu akan dilakukan pengamatan dipilih dulu stasiun seismik yang hampir sama ketinggiannya atau bila mungkin yang terdapat pada ketinggian yang sama. Bila hal ini tidak mungkin, dapat diambil ketinggian rata-rata dan dari ketinggian tersebut kedalaman gempa mulai dihitung. Untuk memudahkan penjelasan, diumpamakan koordinat titik sumber adalah *S* yaitu *Xi, Yi, Zi*. Dan koordinat stasiun diumpamakan titik *H* yaitu *X,Y,Z*. Dengan kedua koordinat tersebut, dapat dihitung panjang garis *SH* atau *D*, yaitu :

(2.3)



Dengan contoh penurunan rumus diatas, bila digunakan untuk kasus 4 stasiun seismograph, didapat 4 rumusan pula, sebagai berikut :

. (2.4)



Analisa dengan cara diatas memerlukan ketelitian pembacaan beda waktu tiba antara gelombang P dan S, atau lebih dikenal dengan istilah (S-P).

* 1. Analisa Spektral Frekuensi

Suatu parameter fisis yang berkaitan erat dengan fenomena geofisika adalah frekuensi.Parameter inilah yang menjadi pusat informasi dalam analisis karakteristik sinyal seismik suatu gunungapi. Frekuensi dapat digunakan sebagai pembeda dari sinyal-sinyal yang dihasilkan oleh aktifitas seismik gunung api. Oleh karena itu, untuk mempermudah analisis sinyal tersebut diperlukan suatu metode yang berfungsi mengubah kawasan waktu ke dalam kawasanfrekuensi. Metode ini kita kenal dengan Transformasi Fourier.

Transformasi merubah suatu fungsi dari kawasan waktu *f(t)* menjadi kawasan frekuensi *F(f)* biasanya dinyatakan dalam pasangan transformasi Fourier sebagai berikut (Fainstein, 1993 *dalam* Maryanto, 1999) :

(2.5)

Sedangkan transformasi fourier dari *f(t)* adalah sebagai berikut

(2.6)

*F(f)* merupakan spectrum frekuensi dari *f(t).* Karena hasil transformasi fourier merupakan fungsi komplek maka dalam penyajian hasil yang ditampilkan adalah harga mutlaknya . Untuk sinyal yang periodik, hasil dari transformasi fourier menunjukkan bentuk spektrum dengan puncak-puncak spektrum yang tajam. Analisis sinyal dengan menggunakan prinsip metode transformasi Fourier ini dikenal dengan analisa spektral.

Spektrum pada prinsipnya adalah distribusi didalam domain frekuensi baik itu distribusi amplitudo, fasa, energi maupun daya dari suatu sinyal. Oleh karena distribusi masing-masing besaran tersebut adalah di dalam domain frekuensi, maka diperlukan suatu operasi pokok transformasi Fourier, yang merubah domain waktu menjadi domain frekuensi. Dalam domain frekuensi, perhitungan lebih mudah dilakukan daripada dalam waktu. Selain itu, fenomena geofisika berkaitan erat dengan frekuensi, sehingga frekuensi menjadi parameter penting dalam menjelaskan fenomena-fenomena tersebut. Analisa frekuensi biasanya digunakan untuk mengklasifikasikan frekuensi masing-masing jenis gempa.

* 1. Mekanisme Erupsi Gunung Api

Mekanisme sumber gempa dari gunungapi secara umum dapat ditelaah dengan pendekatan mekanisme sumber suatu lempeng tektonik. Lokal areanya yang lebih kecil membuat gunungapi harus diteliti secara lebih seksama, penyebab terjadinya suatu gempa. Dalam telaah mekanisme gempa gunungapi ini, dapat didekati dengan dua model mekanisme, yaitu mekanisme gempa vulkanik sebagai gambaran gempa yang berasal dari gunungapi bagian dalam, dan juga mekanisme erupsi sebagai gambaran detail terjadinya proses erupsi gunungapi di permukaan.

Dalam Hendrajaya (1990), mekanisme erupsi dapat dipandang dari pendekatan sederhana kesetimbangan energinya. Pengisian kantong magma akan mengakibatkan penambahan tekanan secara kontinyu. Dalam hal ini, erupsi akan terjadi jika tekanan dalam kantong magma lebih besar daripada kekuatan batuan di sekitarnya. Ketika erupsi telah terjadi, maka ada pengosongan kantong magma. Kantong magma yang kosong ini selanjutnya akan terisi lagi hingga waktu erupsi selanjutnya. Selang waktu hingga pengisian magma mencapai tekanan maksimum, hingga siap untuk erupsi lagi disebut sebagai periode erupsi.

Crosson dan Bame (1985) *dalam* Susilo (1997) membuat suatu model pemicu terjadinya gempa bumi gunungapi, yaitu mengembangnya gelembung berisi gas secara tiba-tiba dengan anggapan bahwa arah penjalaran gelombang adalah radial kesegala arah (simetri bola), gelembung gas berbentuk bola yang terdapat pada kantong magma yang juga berbentuk bola. Diluar kantong magma ini terdapat dinding batuan yang kompak.

Model mekanisme erupsi dapat dilihat dari penelitian yang dilakukan oleh Maryanto pada tahun 1998. Dimana, perilaku erupsi gunung Semeru dengan aktivitas stromboliannya dimodelkan sebagai analogi suatu system massa pegas yang teredam. Pada model diasumsikan bahwa ketika gaya eksternal yang mendorong massa sudah melebihi gaya pegas dan redamannya yang menahan massa, maka gaya eksternal akan keluar pada panjang pegas tertentu dan massa memantul kembali. Keadaan tersebut dianalogikan dengan terjadinya erupsi, yakni ketika tekanan magma sudah melebihi gaya berat massa penyumbat dan redaman fluida, maka tekanan akan keluar, dalam artian erupsi akan terjadi.

Pola mekanisme erupsi lainnya juga pernah ditelaah di Gunung Kelud, pada kasus tahun 1990. Dimana, mekanisme erupsi meliputi proses dinamika fluida magma di kantong magma, proses hidrolika aliran magma di dalam saluran dan proses termodinamika pendistribusian magma di permukaan bumi. Di dalam kantong magma, pelepasan gas sebagai akibat kristalisasi magma dapat menjadi pemicu erupsi, dimana gas dengan tekanan dan mobilitas tinggi sangat potensial untuk membuat rekahan rekahan yang kemudian menjadi saluran tempat mengalirnya magma.