

Pengaruh Aktivitas Kegempaan Terhadap Kondisi Hidrokimia Danau Kawah Ijen

Anggri Sartika Wiguna, Hena Dian Ayu

Abstrak— Pada penelitian ini dilakukan pemantauan terhadap aktivitas Gunung api Ijen dengan metode seismic dimana retakan atau pecahnya batuan akan menjadi sumber getaran dan diikuti dengan perubahan kondisi hidrokimia danau kawah. Metode yang dilakukan dapat menentukan perubahan kondisi hidrokimia dan perubahan aktifitas vulkanik gunung api serta identifikasi asal usul keberadaan magma berdasarkan lapisan. Berdasarkan hasil pemeriksaan visual, temperatur dan kandungan kimia air Danau Kawah Ijen maka aktivitas vulkanik Gunung Ijen cenderung meningkat. Hasil evaluasi kimia memperlihatkan peningkatan temperatur serta kandungan kimia terutama karbon dioksida terlarut (CO₂), klorida (Cl), sulfat (SO₄), serta rasio Cl/SO₄ memberikan indikasi bahwa suplai fluida/gas magmatik bersumber dari fluida hidrotermal dan gas-gas magmatik terutama SO₂ dan HCl yang bersumber dari magma dalam.

Kata Kunci — Gunung api Ijen, seismic, aktivitas vulkanik, hidrokimi

I. PENDAHULUAN

GUNUNG api Ijen yang terletak di ujung timur Pulau Jawa termasuk salah satu gunungapi aktif yang terletak pada zona subduksi antara Eurasia dan Lempeng Indo-Australia (Simkin dan Sumartin, 2006).

Dalam catatan sejarah, erupsi Kawah Ijen dimulai pada tahun 1796 dan merupakan letusan pertama yang tercatat sebagai letusan freatik. Letusan besar dari Kawah Ijen yang merupakan letusan kedua menelan korban manusia terjadi pada tanggal 16 Januari tahun 1817, penduduk sekitar Banyuwangi mendengar suara gemuruh dahsyat seperti dentuman meriam, disertai dengan gempa bumi dan sehari sebelumnya terjadi banjir lumpur menuju Banyuwangi dan Asembagus (Junghuhn dalam Surmayadi, *dkk.*, 2006).

Aktivitas kegempaan Gunungapi Ijen secara umum didominasi oleh kemunculan gempa vulkanik tipe B (VB), tektonik jauh, dan gempa hembusan. Jumlah kejadian gempa vulkanik tipe B (VB) yang muncul di Gunungapi Ijen berkisar antara 1 sampai 16 kali kejadian peak to peak berkisar antara 2-43 mm, lama gempa antara 10-37,5 detik. Jumlah kejadian gempa

vulkanik tipe A (VA) per harinya tidak sebanyak vulkanik tipe B (VB), sejak tahun 2005 berkisar antara 1-5 kejadian per hari (Hendrasto, 2006). Dengan menganalisis data rekaman sinyal seismic untuk mengetahui aktifitas vulkanik, kemudian data aktifitas vulkanik dipadukan dengan data parameter fisis berupa suhu, curah hujan, kandungan kimia gas, air dan bau gas. Salah satu metode yang digunakan untuk menganalisis hidrokimia danau kawah adalah dengan metode *giggenbach* dengan sampel langsung diambil dari danau kawah Ijen.

Pada masa sekarang, kelangsungan aktivitas Gunungapi Ijen ditunjukkan oleh adanya gunung api yang masih aktif di Kaldera Ijen yaitu Kawah Ijen. Manifestasi kegempaan juga masih menunjukkan bahwa gunung ini masih aktif. Data seismisitas Gunung api Ijen periode 1989-1998 (Hermawansyah dalam Surmayadi *dkk.*, 2006) menunjukkan bahwa sumber gempa vulkanik berada pada kedalaman antara 3-4 km dibawah dan di sekitar Kawah Ijen. Hal ini menunjukkan bahwa pusat aktivitas vulkanik Komplek Gunungapi Ijen berada di bawah Danau Kawah Ijen.

Bahaya Komplek Gunung api Ijen akibat terjadinya aliran dan jatuhnya piroklastik, aliran lava, lahar letusan dan aliran air kawah dengan keasaman yang sangat tinggi tidak hanya membahayakan daerah sekitar, melainkan juga akan memberikan dampak secara regional terhadap daerah lainnya. Dampak yang disebabkan oleh abu erupsi akan mengancam kesehatan dan lingkungan hidup, abu erupsi akan memberikan dampak negatif terhadap kelancaran transportasi udara di sekitar kawasan Gunung api Ijen.

Pemantauan terhadap aktivitas Gunung api Ijen secara berkala dan terus menerus yang dilakukan saat ini, pada umumnya menggunakan metode seismic, deformasi, geofisika, visual dan geokimia. Dari metode-metode tersebut, metode seismic merupakan metode yang paling banyak digunakan dalam pemantauan dan penelitian karakteristik gunung api. Hal ini disebabkan adanya peningkatan aktifitas kegempaan di bawah gunung api sebelum terjadinya erupsi, karena magma dan gas gunung api harus terlebih dahulu mendorong ke permukaan melalui rekahan dan lorong-lorong. Ketika magma dan gas vulkanik berpindah menyebabkan retakan hingga pecahnya batuan.

Retakan atau pecahnya batuan ini akan menjadi sumber getaran dan diikuti dengan perubahan kondisi hidrokimia danau kawah. Dengan melakukan penelitian ini akan dapat dilihat hubungan antara perubahan

Anggri Sartika Wiguna adalah Dosen F. Saintek Jurusan Teknik Informatika, Unikama, Malang, Indonesia (email: 4n66121@gmail.com).
Hena Dian Ayu adalah Dosen F. Saintek Jurusan Pendidikan Fisika, Unikama, Malang, Indonesia (email: hena_dian@yahoo.com).

kondisi hidrokimia dan perubahan aktifitas vulkanik gunung api serta identifikasi asal usul keberadaan magma berdasarkan lapisan.

II. DASAR TEORI

A. . Gunung api Ijen Jawa Timur

Gunung api 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 $8^{\circ} 03' 30''$ Lintang Selatan dan $114^{\circ} 14' 30''$ 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.

B. 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 dalam Maryanto, 1999).

C. Erupsi Vulkanik

Erupsi gunungapi merupakan gejala suatu kenampakan gejala vulkanisme ke arah permukaan yang disebabkan oleh gaya dari dalam bumi akibat terganggunya sistem kesetimbangan geologi (Alzwar dkk, 1988).

D. 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 penjarannya, 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 :

- a. Gelombang primer (*Primary wave*)

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

- b. 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.

2. Gelombang permukaan (*surface wave*)

- a. Gelombang Love

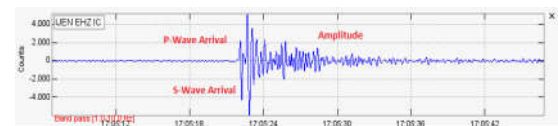
Gelombang ini merupakan gelombang permukaan dan gelombang transversal. Arah rambat partikelnya bergetar melintang terhadap arah penjarannya.

- b. 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.

E. Parameter Fisis Gelombang Gempa Bumi

Beberapa parameter fisis gelombang gempa bumi, yaitu sebagai berikut :



Gambar. 1. Parameter fisis gelombang gempa bumi

- a. (S-P) merupakan selisih antara waktu tiba gelombang Primer dan Sekunder pada seismograf yang dinyatakan dalam detik.
- b. Amplitudo (A) maksimum adalah simpangan terbesar yang terjadi pada gelombang gempa
- c. Durasi gempa, yaitu waktu yang diperlukan oleh suatu kejadian gempa dari saat mulai bergetar sampai berhenti sama sekali yang dinyatakan dalam detik.
- d. Waktu terjadinya gempa (t_0) adalah waktu tiba gelombang P pada seismograf dikurangi hasil perhitungan waktu yang diperlukan oleh getaran untuk mencapai seismograf dari sumber.

F. Penghitungan Posisi Sumber Gempa

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 (Siswamidjono, 1981) :

$$(X_0 - X_1)^2 + (Y_0 - Y_1)^2 + (Z_0 - Z_1)^2 = (t_i - t_0)^2 V_p^2$$

$$(t_i - t_0) V_p = (S - P)_i k$$

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
- t_i = waktu tiba gelombang P
- t_0 = saat terjadinya gempa yang tidak diketahui

G. Hidrokimia dan Geokimia

Hidrokimia dan geokimia merupakan salah satu metode yang digunakan dalam melakukan eksplorasi panas bumi, berdasarkan karakteristik yang diperoleh pada jenis manifestasi, konsentrasi senyawa kimia terlarut dan terabsorpsi dalam fluida panas yang terkandung dalam sampel air dan sampel gas. Adapun parameter yang digunakan meliputi sifat kimia manifestasi, data hasil analisis kimia air dan gas. Pengambilan sampel air panas dan gas kemudian dianalisis dan diinterpretasikan berdasarkan ketentuan seperti penentuan pH, temperatur, konduktivitas dan penentuan kandungan kandungan kimia. (Sutaningsih, 2001).

III. METODE PENELITIAN

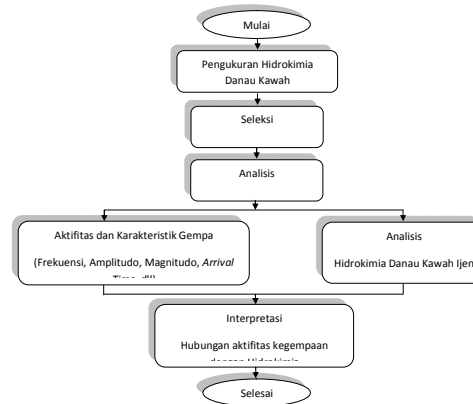
Penelitian yang berjudul “Pengaruh Aktifitas Kegempaan Terhadap Kondisi Hidrokimia Danau Kawah Ijen” ini akan dikerjakan di Pos Pengamatan Gunung Api (PPGA) Ijen Banyuwangi Jawa Timur dan di Laboratorium Fisika Universitas Kanjuruhan Malang. Daerah penelitian adalah Gunungapi Ijen, Banyuwangi, Jawa Timur. Lokasi pengukuran gas dilakukan di Gunung Ijen yang secara administratif masuk kedalam kabupaten Banyuwangi Jawa Timur. Lokasi yang dipilih untuk penelitian ini, yaitu:

- a. Paltuding / referensi (± 3000m dari kawah gunung Ijen)
- b. Pondok Bundar (± 1700m dari kawah gunung ijen)
- c. Cemoro Tunggal (± 500m dari kawah gunung ijen)
- d. Bibir Kawah Ijen (± 300m dari solfatara kawah gunung ijen)
- e. Solfatara (lokasi aktivitas penambangan belerang di Gunung Ijen)
- f. Tepi Danau Kawah Ijen (± 20 m ke bawah dari solfatra Gunung ijen)
- g. Bendungan / Dam (± 900 m dari solfatara kawah gunung ijen arah timur)

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan pengukuran dan analisis terhadap kondisi hidrokimia danau kawah Ijen, serta menganalisis data sekunder yang didapatkan dari Pos Pengamatan Gunungapi (PPGA) Ijen, Banyuwangi. Data yang digunakan merupakan data seismik digital hasil rekaman (seismogram) Gunungapi Ijen. Pengukuran data primer dilakukan oleh stasiun pencatat yang terdapat di beberapa titik sekitar Gunungapi Ijen, yaitu : Stasiun Ijen, Stasiun Terowongan Ijen dan Stasiun Kawah Utara Ijen yang di monitoring oleh PPGA Ijen.

Secara umum langkah penelitian tersebut dituangkan

pada Gambar 2 sbb. :



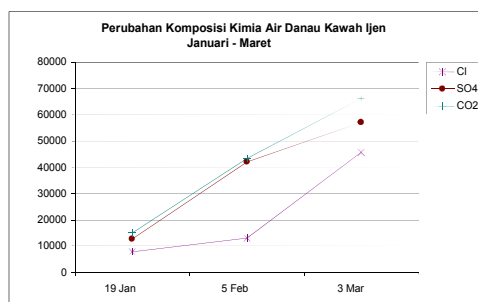
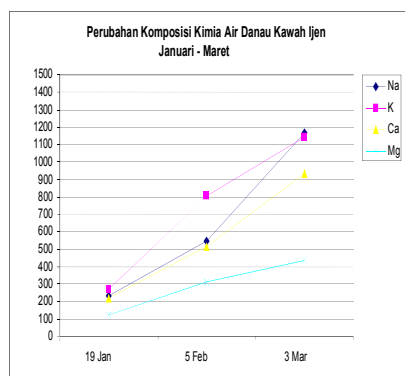
Gambar. 2. Diagram Alir Penelitian

Pengukuran kondisi hidrokimia dilakukan secara langsung pada danau kawah Ijen dengan melakukan pengukuran terhadap kandungan kimia dan konsentrasinya pada air danau kawah. Pengukuran dilakukan berulang dan berkala untuk mengetahui perilaku ataupun perubahan-perubahan yang terjadi. Kemudian untuk aktifitas kegempaan pengukuran dilakukan dengan melakukan analisa terhadap data rekaman seismik Gempa Vulkanik Gunungapi Ijenyang tercatat pada server utama Pos Pengamatan Gunungapi Ijen.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel I Hasil Analisis Komposisi air Kimia Danau Kawah Ijen

LOKASI	SATUAN	Danau Kawah G. Ijen			
		10 Jan	5 Feb	3 Mar	17 Mar
Waktu Pengukuran					
Temperatur air dipermukaan		16.8	19.4	28.8	45.1
Na	mg/liter	591	550	1165	1203
K	mg/liter	825	803	1143	1711
Fe	mg/liter	1495	1270	1959	2557
Al	mg/liter	3006	3407	3560	5960
Ca	mg/liter	552	517	935	1145
Mg	mg/liter	317	316	439	434
Cl	mg/liter	20934	12912	45629	34152
SO4	mg/liter	30078	42118	57017	68418
CO2	mg/liter	33764	43560	66192	82418
pH lab		0.76	0.44	0.34	0.18
Rasio CO2/Cl		1.61	3.37	.45	2.41
Rasio Cl/SO4		0.70	0.31	0.80	0.50
Rasio Mg/Cl		0.015	0.024	0.010	0.013
Agt-05	17.04	Aug-07	18.88	Aug-09	20.73
Sep-05	17.11	Sep-07	18.96	Sep-09	20.73
Okt-05	17.19	Oct-07	19.04	Oct-09	20.89



F. Analisis Pengamatan Danau Kawah Ijen

Hasil pengamatan visual tanggal 24 Maret warna masih tetap hijau keputih-putihan, uap putih tipis (*steam*) terlihat diatas permukaan air. Hasil pengamatan visual 24 Maret tidak memperlihatkan adanya perubahan warna air danau yang signifikan bila dibandingkan dengan 17 Maret. Hasil pengamatan visual pada 24 Maret tidak terlihat adanya gelembung gas yang muncul dipermukaan air danau. Hasil rekaman CCTV tanggal 25 Maret pkl 09.19 WIB terlihat adanya (*sulphur spherules*) atau belerang merica dipermukaan air danau. Hal ini seiring dengan peningkatan aktifitas gunung Ijen.

G. Analisis Perubahan Suhu

Temperatur air danau di permukaan meningkat dari 28,8°C (Maret) menjadi 45,1°C (Maret). Temperatur air danau pada kedalaman 5 meter juga meningkat dari 42,7°C (Maret) menjadi 44,7°C (Maret). Meningkatnya temperatur air danau kawah disebabkan oleh adanya suplai gas-gas magmatik bertemperatur tinggi ke dalam air danau.

H. Analisis Aktifitas Vulkanik

Penentuan sumber gempa vulkanik dilakukan menggunakan software GAD (Nishi, 2003) dengan mengasumsikan lapisan homogen dengan $V_p = 2.8$ km/detik. Episenter sumber gempa menunjukkan bahwa gempa vulkanik berada di sekitar Kawah G. Ijen dengan kedalaman 0.5 – 2.5 km di bawah kawah. Gempa Tektonik Terasa pada 18 Desember 2011 bersumber dari bawah Kawah G. Ijen dengan kedalaman ± 6.7 km.

V. KESIMPULAN

- Berdasarkan hasil pemeriksaan visual, temperatur dan kandungan kimia air Danau Kawah Ijen maka

aktivitas vulkanik Gunung Ijen antara Januari tanggal 17 Maret cenderung meningkat.

- Hasil evaluasi kimia antara Januari sampai tanggal Maret yang memperlihatkan peningkatan temperatur serta kandungan kimia terutama karbon dioksida terlarut (CO₂), klorida (Cl), sulfat (SO₄), serta rasio Cl/SO₄ memberikan indikasi bahwa suplai fluida/gas magmatik bersumber dari fluida hidrotermal dan gas-gas magmatik terutama SO₂ dan HCl yang bersumber dari magma dalam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dana, I.N., 1993. Kawah Ijen kembali normal, Direktorat Vulkanologi, unpublished
- [2] Giggenbach, L., 1974. Chemical Volcanic Eruption: Aspect from Major Present Studies in Indonesia, Paper Presented at The 15-th Annual Convention of The Indonesian Association of Geophysicist, Oktober 8-11, 1990, Yogyakarta
- [3] Hendrasto, M., Mulyana, I., Sulaeman, C., Purwanto, H., 2006. Pemantauan Seismisitas Gunung Ijen, Pusat Vulkanologi Dan Mitigasi Bencana Geologi, Bandung.
- [4] Mac.Donald, G.A., 1972. Volcanoes, Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- [5] Maryanto, S. 1999. Analysis of Seismic Signal of Mt Semeru (East Java, March 1st-21st, 1988) In Order to Determine It's Source and Eruption Mechanism, Tesis, Universitas Gajahmada, Jogjakarta.
- [6] Nicholson, A., 1993. Volcanoes and their activity, John Willey and Sons, Newyork
- [7] Siswoidjoyo, S.S., 1981. Metoda Pengamatan, Analisis Gempa Dan Hubungannya Dengan Tingkat Kegiatan Gunung Api, Sub Direktorat Pengamatan Gunung Api Direktorat Vulkanologi, Bandung.
- [8] Sutaningsih, K., 2001. Volcanic Stratigraphy and Geochemistry of Ijen Caldera Complex, East Java, Unpublished, Master Thesis, Victoria University of Wellington, New Zealand.
- [9] Sumarti, S., Bergen, M. V., Bogaard, T., Sukarnen dan Purwanto, H.B., 2006. Pemantauan Jangka Panjang Kawah Ijen (1922 – 2002) Parameter Fisis : Level Dan Temperatur. Pusat Vulkanologi Dan Mitigasi Bencana Geologi, Bandung.
- [10] Sumarti, S., 1998. Volcanogenic pollutants in hyperacid river water discharged from Ijen crater lake, East Java, Indonesia, Concentrations, seasonal variations and possible environmental consequences, Universitas Utrecht, Belanda.
- [11] Surmayadi, M., Zaennudin, A. dan Abdurachman, E.K., 2006. Prakiraan Bahaya Gunungapi Ijen. Pusat Vulkanologi Dan Mitigasi Bencana Geologi, Bandung.