

Prakiraan bahaya letusan Gunung Api Ijen Jawa Timur

Hazard assessment of Ijen volcanic eruption East Java

A. Zaennudin, Deden Wahyudin, Mamay Surmayadi, dan E. Kusdinar

Badan Geologi
Jln. Diponegoro 57 Bandung

ABSTRAK

Gunung Ijen di ujung timur Pulau Jawa, merupakan salah satu gunung api yang mempunyai danau kawah di puncaknya dengan ukuran kawah 600x900 m, Ijen menjadi salah satu objek wisata menarik di Jawa Timur. Selain pemandangan yang indah, kawah Ijen menjanjikan belerang yang berlimpah. Tak heran kalau Kawah Ijen selalu ramai dikunjungi wisatawan dan para penambang belerang. Seperti gunung api lainnya Ijen juga sewaktu-waktu dapat menimbulkan bahaya bagi para pengunjung dan masyarakat yang tinggal di sekitar Gunung Ijen. Oleh karena itu, untuk mencegah dan mengurangi risiko yang mungkin terjadi, diperlukan mitigasi bencana melalui prakiraan bahaya gunung api berupa kajian ilmiah untuk mengetahui karakteristik vulkanisme gunung api tersebut. Kajian ini didasarkan pada sifat alamiah gunung api melalui telaahan data geologi, geofisika, dan geokimia serta data terkait lainnya secara komprehensif dan terintegrasi. Telaahan data tersebut diharapkan dapat memberikan gambaran karakteristik erupsi gunung Ijen sebagai acuan dalam menentukan jenis potensi ancaman bahayanya. Berdasarkan hasil analisis produk erupsi Gunung Ijen pada masa lampau dan interpretasi sejarah geologi, Gunung Ijen sering meletus hebat. Oleh karena itu, perlu diantisipasi bila gunung api tersebut meletus kembali. Disamping volume air danau kawah yang cukup besar dan sangat asam, juga kemungkinan dapat terjadi awan panas bercampur air danau yang tumpah memasuki sungai-sungai yang berhulu di danau kawah. Bila ini terjadi maka akan menjadi lahar letusan yang lebih berbahaya karena selain panas juga bersifat asam. Kuatnya alterasi di daerah lereng bagian atas dan dinding sekitar kawah dapat menyebabkan kegagalan lereng (sector failure) maka bila terjadi erupsi besar dapat memicu terjadinya longsoran puing vulkanik (“volcanic debris avalanche”).

Kata kunci: Prakiraan, Bahaya Letusan, Ijen, Jawa Timur

ABSTRACT

Mt. Ijen in the eastern tip of Java Island, is a volcano that has a crater lake on its summit. Its crater lake which is about 600 X 900 m in size, Ijen becomes an interesting tourists attraction in East Java. Apart from having a beautiful scenery, Ijen crater produces promising abundant of sulphur deposits. No wonder that the crater of Ijen is always crowded by tourists and sulphur miners. As well as other volcanoes, may at any time can cause hazards to the visitors and the people who live around the volcano. Therefore, to prevent and reduce the risks that may occur, a mitigation effort through a volcanic hazard assessment in the form of scientific

study to determine the characteristics of volcanism of the volcano is required. This study is based on the nature of the volcano through an integrated research of geological, geophysical, geochemical and other relevant data comprehensively. The data study is hoped can illustrate the characteristics of Ijen eruption as a reference in determining the kind of potential hazard threat. Based on analysis results of previous eruption products of Ijen volcano and interpretation of its geologic history, this volcano erupted frequently. Therefore, future eruption of this volcano should be anticipated. Apart from the large volume and high acidity of the lake water, the possibility of the occurrence of pyroclastic flows mixed up with the lake water spills into the rivers originating from the crater lake may take place. When this matter happens, an eruption lahars may occur and it would be more dangerous because the lahars not only hot but it is also very acid. The strong alteration in the upper slopes and walls around the crater may cause slope failure (sector failure), then if a large eruption occurs it can trigger a volcanic debris avalanche.

Keywords: Hazard assessment, eruption, Ijen, East Java

PENDAHULUAN

Kompleks Gunung Ijen merupakan gunung api strato yang terletak di ujung timur Pulau Jawa, dengan karakteristik yang berbeda dengan gunung api lainnya di Indonesia. Kompleks Gunung Ijen adalah suatu gunung api yang terdiri atas beberapa gunung api yang tumbuh di sekitar dinding dan di dalam kaldera Ijen Tua. Kawah Ijen adalah salah satu gunung api yang sampai saat ini masih aktif yang tumbuh di dalam Kaldera Ijen Tua. Kaldera tersebut merupakan depresi gunung api besar berdiameter 14-16 km dan berbentuk elips.

Keunikan Kompleks Gunung Ijen dibandingkan dengan gunung api lainnya di Indonesia adalah sebagai model perpaduan antara pertumbuhan gunung api poligenetik dan monogenetik yang tumbuh di dalam dan di pinggir kaldera. Pada umumnya aktivitas gunung api pasca pembentukan kaldera membentuk kompleks gunung api monogenetik tetapi pada gunung api yang berukuran besar membentuk gunung api poligenetik

yang umumnya tumbuh pada dinding kaldera. Selain itu, keunikan Kompleks Gunung Ijen adalah gunung api yang mempunyai danau kawah dengan kedalaman sekitar 190 m dan mempunyai derajat keasaman yang sangat tinggi ($\text{pH} < 0,2$) serta volume air danau yang sangat besar, sekitar 36 juta m^3 . Sejarah pembentukan gunung api ini pada masa lampau menjadikan Kawah Ijen memiliki potensi untuk menghasilkan lahar letusan, selain potensi ancaman bahaya erupsi lainnya. Jumlah populasi yang cukup padat di kawasan rawan bencana gunung api dan jumlah wisatawan yang cukup banyak menimbulkan permasalahan yang sangat penting dalam mitigasi bencana Gunung Ijen.

Geologi Regional

Kompleks Gunung Ijen secara fisiografi berada dalam Zona Solo di bagian timur Pulau Jawa (Bemmelen, 1949). Zona Solo merupakan zona depresi memanjang berarah barat – timur yang secara tektonik terbentuk karena terpatahkan pada saat pembentukan geantiklin Jawa, sehingga pada batas antara

Zona Solo dengan Zona Pegunungan Selatan yang berada di bagian selatan Zona Solo, membentuk struktur patahan dengan dinding terjal. Proses depresi Zona Solo menghasilkan sesar tangga (*block faulting*) yang memungkinkan terbentuknya gunung api muda di Pulau Jawa, khususnya di Jawa Timur termasuk Kompleks Gunung Ijen.

Kompleks Gunung Ijen tumbuh di atas batuan sedimen Kenozoikum. Vulkanismenya diperkirakan mulai terbentuk dalam periode waktu yang bersamaan dengan vulkanisme Gunung Iyang (Argopuro) pada kala Plistosen Atas (Bemmelen, 1949), atau sekitar 700.000 tahun yang lalu, bahkan lebih muda. Pada akhir kala Plistosen, sebagian tubuh Gunung Tengger Tua, Iyang, dan Ijen Tua (Gunung Kendeng) menggelincir ke arah cekungan geosinklin di sebelah utaranya sehingga menyebabkan terjadinya perlipatan endapan batuan sedimen Plio-Plistosen (Bemmelen, 1949). Gaya kompresi dan perlipatan di utara ini dikompensasikan oleh pergerakan sesar tarikan di Zona Solo. Selama Holosen gunung api muda pada Zona Solo terbentuk seperti Semeru, Lamongan, kerucut muda Kompleks Iyang-Argopuro, Ijen Tua (Kendeng), dan Raung. Gunung api muda ini tumbuh menutupi sesar mendatar, rekahan, dan gejala tensional lainnya yang terbentuk pada fase tektonik pendahuluan.

Geologi Kompleks Gunung Ijen

Kompleks Kaldera Ijen merupakan kompleks gunung api yang mempunyai kaldera berdiameter sekitar 15 - 16 km berbentuk elips yang hanya menyisakan dinding kaldera bagian utara melengkung ke arah selatan. Dinding

kaldera selatan sebagian besar telah tertutupi oleh endapan vulkanik hasil erupsi kerucut-kerucut gunung api yang aktif pasca kaldera. Gunung Kendeng merupakan gunung api tunggal dan besar dengan ketinggian sekitar 4.000 m dpl, karena suatu letusan paroksisma mengakibatkan bagian puncaknya hilang.

Berdasarkan umur mutlak dan umur relatif dari beberapa endapan batuan yang terdapat di wilayah ini, kompleks Kaldera Ijen dapat dibagi menjadi tiga fase pembentukan gunung api sesuai dengan tahap kegiatan vulkanismenya, yaitu: fase Gunung Ijen Tua (Gunung Kendeng), fase non vulkanisme dengan terbentuknya Danau Blawan, dan fase vulkanisme pasca Kaldera Ijen (Zaennudin drr., 2004).

Gunung Kendeng merupakan gunung api strato terbentuk pada zaman Plistosen (Bemmelen, 1949). Aktivitas gunung api ini berakhir setelah terbentuk kaldera pada kisaran waktu antara 300.000-50.000 tahun yang lalu, menghasilkan endapan aliran piroklastika (ignimbrit) dan jatuhnya piroklastika. Endapan batuan ini tersebar sangat luas menutupi hampir seluruh permukaan gunung api tersebut dengan ketebalan lebih dari 50 m di sekitar dinding dan dasar kaldera serta lebih dari 15 m di sekitar dam Liwung, Asembagus. Dalam pencapaian keseimbangan setelah terbentuknya kaldera terbentuklah sesar Pedati di dinding kaldera utara dan sesar Jampit di dinding kaldera barat daya.

Setelah terbentuknya kaldera dan sesar-sesar tersebut, maka aktivitas vulkanik Gunung Kendeng terhenti sama sekali. Kemudian disusul oleh proses erosi dan sedimentasi

material-material vulkanik hasil pembentukan kaldera. Lahar terbentuk pertama kali sebagai *reworked* dari material lepas endapan piroklastika. Lahar tersebut diendapkan di daerah-daerah yang relatif mempunyai morfologi rendah pada saat itu, khususnya di dalam Kaldera Ijen yang menyelimuti dasar kalderanya. Setelah endapan lahar terbentuk dan membatu, maka endapan lahar ini tidak dapat ditembus oleh air. Curah hujan yang tinggi dalam kurun waktu yang sangat lama menyebabkan air tersebut terakumulasi di dalam Kaldera Ijen. Air tersebut tidak mempunyai saluran keluar terhalang oleh dinding kaldera dan tidak dapat merembes ke dasar akhirnya membentuk danau kaldera yang dinamakan Danau Blawan. Proses erosi dan sedimentasi berlangsung terus, baik yang terjadi di dalam kaldera maupun di luar dinding kaldera.

Erosi yang terjadi di bagian luar kaldera mengerosi material lepas mencapai bagian yang keras dari endapan ignimbrit hasil pembentukan kaldera. Hasil erosi dari material lepas di wilayah ini kemudian diendapkan di Selat Madura dan Selat Bali. Sedangkan erosi yang terjadi di dalam Kaldera Ijen terangkut dan terendapkan di Danau Blawan membentuk endapan sedimen klastika danau. Endapan sedimen klastika danau ini didominasi oleh material-material vulkanik berlimpahan batu apung halus membentuk batu pasir, dan batu lanau. Dengan berjalannya waktu, pada akhirnya tidak ada lagi material lepas yang dapat dierosi dan ditransport karena sudah mencapai endapan yang keras dari ignimbrit.

Aliran sungai yang mengalir ke danau sudah semakin baik, tidak mengandung material

vulkanik, sehingga air Danau Blawan menjadi jernih. Hal ini memungkinkan binatang-binatang yang hidup di lingkungan air danau berkembang dengan baik dan subur. Terbentuklah endapan batu gamping pada beberapa tempat yang memungkinkan untuk tumbuh menjadi terumbu. Endapan batu gamping ini terdapat di sekitar Desa Kapuran dan gua kapur Damarwulan, yaitu daerah bagian paling utara dari Kaldera Ijen. Wilayah ini diduga sebagai bagian danau yang paling dalam pada saat itu. Endapan sedimen klastika Danau Blawan ini berumur sekitar 50.000 tahun yang lalu (Sitorus, 1990).

Proses erosi terus berlangsung di kompleks Kaldera Ijen, begitu pula di zona lemah sesar Pedati di dinding kaldera utara yang pada akhirnya mencapai permukaan air Danau Blawan. Air danau mengalir melewati sesar Pedati menuju ke Selat Madura di sebelah utara. Peranan aliran air dari danau semakin lama semakin besar mengakibatkan erosi di sesar Pedati semakin intensif dan akhirnya mencapai dasar Danau Blawan. Danau Blawan kering setelah ada jalan keluarnya air melewati sesar tersebut, bahkan endapan sedimen klastika danau Blawan yang dekat dengan aliran sungai Banyupait, Kali Sat, dan Kali Sengon tererosi lagi membentuk lembah-lembah yang cukup dalam. Proses ini berlangsung cukup lama disertai proses litifikasi endapan-endapan sedimen klastika danau.

Setelah sedimen klastik danau membatu kemudian terjadi peristiwa tektonik yang cukup besar menghasilkan sesar-sesar Blawan, Watucapil, dan Kukusan yang berarah relatif timur laut – barat daya serta kemungkinan sesar terpendam di bagian selatan Kal-

dera Ijen yang berarah relatif timur – barat. Peristiwa tektonik inilah yang diduga sebagai pemicu aktivitas vulkanik yang berlangsung pasca kaldera. Pusat-pusat erupsi kerucut gunung api pasca kaldera muncul pada zona lemah tersebut membentuk suatu kelurusan timur – barat yang dimulai dari Gunung Merapi, Gunung Ijen di bagian timur sampai Gunung Raung di sebelah barat.

Aktivitas vulkanik pertama yang terjadi pasca kaldera tidak dapat diketahui secara pasti, tetapi berdasarkan umur endapan batuan yang telah dilakukan, pentarikannya adalah sebagai berikut: Gunung Blau berumur sekitar 50.000 tahun, kemudian disusul oleh aktivitas Gunung Jampit yang berumur sekitar 45.000 tahun, atau kedua gunung api tersebut bererupsi pada kurun waktu yang hampir bersamaan. Setelah aktivitas kedua gunung api tersebut kemudian muncul Gunung Suket di dinding kaldera barat laut berumur 37.900 tahun yang umurnya hampir bersamaan dengan Gunung Rante di dinding kaldera selatan (30.000 tahun), Gunung Ringgih di dinding kaldera timur laut (29.800 tahun), dan Gunung Pawenan di dinding timur (24.400 tahun). Bila melihat lokasinya Gunung Blau dan Gunung Jampit terletak pada sesar-sesar yang terbentuk dalam generasi pertama setelah terbentuknya kaldera, kemudian disusul aktivitas-aktivitas gunung api yang muncul di dinding kaldera seperti Gunung Suket, Gunung Ringgih, Gunung Pawenan, Gunung Merapi, dan Gunung Rante.

Generasi berikutnya adalah gunung-gunung api yang muncul berarah timur - barat, seperti Gunung Papak, Gunung Kukusan, Gunung Widodaren, Gunung Gending Waluh, Gunung

Malang, Gunung Anyar, Gunung Ijen, dan sebagainya. Kerucut-kerucut tersebut relatif lebih kecil dari gunung api yang muncul di dinding kaldera. Gunung Ijen merupakan gunung api yang saat ini masih aktif. Gunung api ini membangun tubuhnya sekitar 6.000 tahun yang lalu berdasarkan penanggalan umur dari arang yang terdapat dalam endapan aliran abu.

Sejarah Erupsi Dalam Kehidupan Manusia

Sejarah erupsi Kawah Ijen dalam kehidupan manusia mulai tercatat pada tahun 1796 dan letusan-letusan yang pernah terjadi terlihat dalam catatan di bawah ini:

- 1796: Letusan pertama yang tercatat, dan dianggap merupakan letusan freatik.
- 1817: 16 Januari, penduduk di sekitar Banyuwangi mendengar suara gemuruh dahsyat seperti dentuman meriam, disertai dengan gempa bumi. Pada tanggal 15 Januari terjadi banjir lumpur menuju Banyuwangi, (Junghuhn,1853, p.1022), sedangkan Taverne (1926, p. 102) menduga kemungkinan pada waktu letusan 1817 sebagian besar air danau dialirkan oleh Kali Banyupait.
- 1917: Taverne (1926, p. 102) Menulis bahwa pada waktu itu air danau kelihatan mendidih bercampur lumpur dan uap, kadang-kadang letusan terjadi di danau kawah, lumpur dilemparkan ke atas sampai 8 – 10 m di atas muka air. Hal yang sama terulang lagi pada 7 – 14 Maret. Neuman Van Padang (1951,

- p 158), menganggapnya letusan di danau kawah pada 25 Februari dan 13 Maret sebagai letusan freatik.
- 1936: Neuman van Padang (1951, p. 158), menganggap pada 5 – 25 November terjadi letusan freatik dan letusan di danau kawah yang menghasilkan lahar seperti letusan pada tahun 1796 dan 1817. Saat itu korban jiwa tidak ada.
- 1952: Pada 22 April pukul 6.30, terjadi letusan asap setinggi 1 km dan suara guguran terdengar dari Sempol. Di dalam kawah terjadi letusan lumpur setinggi 7 m, hampir sama dengan peristiwa letusan tahun 1936. Saat itu Korban jiwa tidak ada. (Hadikusumo, 1950 – 1957, p. 184 dalam Kusumadinata dr., 1979).
- 1962: Pada tanggal 13 April di bagian tengah permukaan Danau Ijen terjadi bualan gas di dua tempat, yang masing-masing berdiameter sekitar 10 m. Pada tanggal 18 April jam 07.42 terjadi bualan air di bagian utara danau kawah, berdiameter sekitar 6 m. Kemudian bualan air tersebut membesar menjadi 15 – 20 m. Pada jam 12.15 bualan air menyemburkan air setinggi sekitar 10 m. Warna air danau yang semula hijau muda berubah menjadi hijau keputihan.
- 1976: 30 Oktober, jam 09.44 tampak bualan air pada dua tempat dekat Silenong selama 30 menit.
- 1991: Pada 15, 21, dan 22 Maret terjadi bualan air berdiameter sekitar 5 m disertai perubahan warna air kawah dari hijau muda menjadi coklat. Menurut para penambang belerang terjadi semburan gas setinggi 25 – 50 m dengan kecepatan tinggi. Bualan ini tercatat oleh seismograf dalam bentuk gempa tremor terus menerus dari 16 – 25 Maret 1991.
- 1993: Pada tanggal 3 Juli jam 08.45 terjadi letusan freatik di tengah danau disertai tekanan kuat dan bunyi yang keras dengan semburan setinggi 75 m, Warna air dari hijau keputihan berubah menjadi kecoklatan dan permukaan danau menjadi gelap. Tanggal 4 Juli, jam 08.35 terjadi letusan freatik ditandai dengan menyemburkan air setinggi sekitar 35 m. Tanggal 7 Juli jam 02.15 terjadi letusan freatik disertai suara yang cukup keras dan terdengar sampai sejauh 1 km. Pada 1 Agustus jam 16.35, terjadi letusan freatik disertai dua suara letusan yang terdengar sampai 1 km. Letusan ini didahului oleh gempa yang terasa di sekitar puncak. Gumpalan asap berwarna putih tebal dengan tekanan kuat terlihat mencapai ketinggian sekitar 500 m.
- 1999: Pada tanggal 28 Juni sampai 28 Juli terjadi kenaikan aktivitas di danau kawah yang ditandai dengan kenaikan suhu air yang mencapai 46° C (3 Juli) dan pada waktu yang bersamaan suhu solfatara 1, 4, dan 5 masing-masing 198° C, 176° C, dan

168° C. Pada tanggal 8 Juli terjadi penurunan suhu air danau kawah pada lokasi yang sama menjadi 40° C, sedangkan suhu solfatara mengalami peningkatan masing-masing menjadi 210° C, 221° C, dan 207° C.

2000: Pada tanggal 6 Juni 2000 terjadi peningkatan aktivitas yang ditandai dengan adanya kenaikan suhu danau kawah Ijen mencapai 55° C dan terjadi letusan freatik. Dari data seismic tercatat adanya peningkatan jumlah gempa, berupa gempa vulkanik dan tremor yang kemudian jumlahnya meningkat pada akhir bulan Juli. Tinggi asap di atas kawah yang semula 25 m pada akhir pertengahan September naik menjadi 50 m. Seminggu kemudian aktivitas menurun antara lain ditandai oleh tinggi asap yang kembali menjadi 25 m dan suhu air danau kawah turun menjadi kurang dari 40° C.

2001: Tanggal 8 Januari terjadi peningkatan aktivitas vulkanik ditandai dengan adanya buaran air danau seperti mendidih, gas solfatara tercium sangat tajam, terdengar suara blaser yang nyaring, asap putih tebal dengan tekanan yang kuat, arah asap tegak lurus, dan pada lokasi penambangan belerang terjadi kebakaran belerang. Menurut pekerja tambang belerang bahwa telah terjadi letusan di air danau kawah, kemungkinan letusan frea-

tik. Pada tanggal 14 Januari suhu permukaan air danau kawah di Dam mencapai 48° C.

Dari sejarah kegiatannya, sejak tahun 1991 terjadi letusan freatik setiap satu sampai tiga tahun. Sedangkan tahun 1917 sampai 1991 periode letusan tercatat 6 sampai 16 tahun. Letusan besar yang menelan korban manusia adalah letusan tahun 1817.

ANALISIS DATA DAN INTERPRETASI

Metodologi

Pemahaman aktivitas vulkanisme suatu gunung api dalam proses pembentukannya merupakan syarat mutlak untuk mengetahui ancaman bahaya gunung api pada masa yang akan datang, yang sering disebut sebagai prakiraan bahaya gunung api. Prakiraan bahaya gunung api merupakan suatu kajian ilmiah untuk mengetahui karakteristik vulkanisme suatu gunung api sebagai acuan dalam penentuan potensi ancaman bahayanya. Kajian ini didasarkan pada sifat alamiah gunung api melalui telaahan data geologi, geofisika, dan geokimia serta data terkait lainnya secara komprehensif dan terintegrasi. Telaahan data tersebut dapat memberikan gambaran karakteristik letusan gunung api sebagai acuan penentuan jenis dan model potensi ancaman bahaya gunung api.

Gunung api sebagai suatu fenomena alam yang terbentuk dari dinamika geologi yang berevolusi sering memperlihatkan aktivitas vulkanismenya secara tidak menentu yang dikenal dengan istilah *stochastic processes*. Dalam dunia kegunungapian, pemahaman

stochastic processes dalam ruang dan waktu geologi merupakan suatu hal mutlak dalam penentuan prakiraan bahaya gunung api pada masa yang akan datang. Pemahaman sifat alamiah suatu gunung api yang dipadukan dengan data sejarah letusan pada masa lampau dapat dijadikan dasar dalam menentukan model ancaman bahaya gunung api tersebut, baik secara kualitatif, kuantitatif, atau perpaduan keduanya.

Ruang dan waktu geologi dalam kajian prakiraan bahaya gunung api perlu dipertimbangkan. Ruang memiliki pengertian terhadap estimasi lokasi atau sumber potensi ancaman bahaya, luas, dan jarak jangkauan dari setiap jenis potensi bahaya gunung api sebagai implikasi besaran kekuatan letusan gunung api. Waktu dalam skala geologi memiliki implikasi terhadap probabilitas atau kemungkinan waktu kejadian letusan gunung api pada masa yang akan datang. Analisis statistik data sejarah letusan pada masa lampau dapat memberikan gambaran rentang waktu fase istirahat dan reaktivasi vulkanisme suatu gunung api, sehingga gambaran umum periodisitasnya dapat diperkirakan.

Prakiraan potensi bahaya gunung api dilakukan melalui pendekatan deterministik dan probabilistik. Pendekatan deterministik didasarkan pada data - data geologi, geofisika, dan geokimia, serta data penunjang lainnya sebagai identifikasi karakteristik vulkanisme dalam penentuan potensi ancaman bahaya letusan gunung api pada masa yang akan datang. Sementara itu, pendekatan probabilistik lebih ditekankan pada analisis statistik data sejarah letusan sebagai gambaran besaran letusan pada masa yang akan datang dalam

ruang dan waktu geologi. Semua komponen penting yang terkait dengan prakiraan bahaya gunung api ini akan diproses ke dalam pemodelan komputer sebagai bentuk simulasi prakiraan bahaya gunung api. Salah satu model komputer yang dapat dipergunakan adalah sistem informasi geografis (SIG).

SIG merupakan suatu sistem komputer yang dipergunakan dalam penyimpanan dan pemutakhiran informasi geografis. SIG diciptakan untuk mendukung atau mempermudah pekerjaan; meliputi penyimpanan, pengaturan, pemutakhiran, analisis, pemodelan, serta penampilan data dan informasi secara spasial, sebagai solusi dalam pemecahan masalah-masalah perencanaan dan manajemen. Aplikasi SIG dapat dipergunakan dalam keperluan mitigasi bencana gunung api, termasuk prakiraan bahayanya. Prakiraan bahaya gunung api, SIG memperkenalkan perspektif baru dalam peningkatan akurasi analisis dan pemodelan sebagai pengganti metoda konvensional. Beberapa tahapan pekerjaan yang dilakukan secara konvensional akan diganti secara komputer dengan parameter dan prosedur yang diperlukan untuk sebuah pekerjaan.

Morfologi

Kompleks Gunung Ijen merupakan model pertumbuhan gunung api poligenetik (stratovolcano) dan monogenetik yang terbentuk di dasar dan dinding kaldera, pasca pembentukan kaldera. Sebagian kerucut gunung api strato tumbuh di dasar kaldera dan sebagian besar lainnya tumbuh di pinggir kaldera sehingga mengakibatkan hanya sebagian dinding Kaldera Ijen yang terlihat masih utuh (Gambar 1).



Gambar 1. Dinding Kaldera Ijen bagian utara yang masih dapat dikenali.

Foto: M. Surmayadi, PVMBG.

Berdasarkan urutan arah jarum jam, kerucut gunung api strato di Kompleks Gunung Ijen adalah Gunung Kukusan, Gunung Merapi, Gunung Rante, Gunung Pendil – Jampit, dan Gunung Suket. Sementara itu, kerucut gunung api strato yang tumbuh di dasar kaldera, yaitu Gunung Blau, Gunung Pawenan, dan Gunung Ijen sebagai kerucut gunung api termuda, berada di bagian timur laut Kaldera Ijen. Berdasarkan dimensi tubuh gunung apinya, kerucut gunung api strato yang tumbuh di bagian pinggir kaldera lebih besar dibandingkan dengan yang tumbuh di dasarnya. Pola lereng tubuh gunung api ini yang cenderung berkembang ke arah luar kaldera mencerminkan distribusi bahan letusan gunung api menjauhi kaldera. Hal ini diinterpretasikan bahwa pertumbuhan kerucut gunung api strato ini berada di dinding luar kaldera.

Sedikitnya terdapat 17 kerucut sinder sebagai gunung api monogenetik yang terkonsentrasi di dasar Kaldera Ijen (Gambar 2). Dimensi tubuh kerucut sinder yang bervariasi menunjukkan variasi fase erupsinya. Secara umum, dimensi tubuh kerucut sinder di Kompleks Gunung Ijen dikelompokkan ke dalam dimensi kerucut besar dan kecil. Kerucut sinder berdimensi besar, seperti Kukusan, Genteng, dan Jampit, berbentuk agak memanjang dengan ketinggian rata - rata 100 m dari bagian dasar dan panjang lereng bawah mencapai 2-5 km. Pada umumnya, tipe kerucut sinder ini memiliki fase erupsi yang lebih panjang dengan variasi material letusan berupa jatuhnya piroklastika dan aliran lava. Sementara itu, kerucut sinder dengan dimensi kecil, seperti Gending Waluh, Anyar, Lingkar, dan Melatan, memiliki rata - rata ketinggian dan diameter 50 m



Gambar 2. Kerucut sinder Anyar (kiri) dan Linkar (kanan) di dasar Kaldera Ijen.
Foto: Zaennudin, PVMBG.

dan 500 m. Produk letusan pada umumnya hanya jatuhnya piroklastika yang kemungkinan terbentuk melalui satu fase letusan dalam kurun waktu yang tidak terlalu lama.

Pola sebaran kerucut sinder dan lerengnya di antara kerucut di dasar kaldera menghasilkan morfologi perbukitan rendah bergelombang. Kondisi ini menyebabkan jaranginya dijumpai lembah sungai permanen, kecuali Kali Banyupait dan Kali Sengon yang berhulu di lereng atas Kawah Ijen. Kedua sungai ini mengalir ke arah utara kaldera dan keluar kaldera melalui celah sempit (Gambar 3), di sekitar kampung Balawan, yang diduga terbentuk karena proses tektonik.

Vulkanisme Kompleks Gunung Ijen

Data geologi menunjukkan bahwa Kompleks Gunung Ijen merupakan model gunung api

campuran antara tipe monogenetik dan poligenetik yang tumbuh setelah pembentukan Kaldera Ijen. Gunung api monogenetik terbentuk oleh material suatu erupsi atau fase erupsi gunung api, sedangkan gunung api poligenetik menghasilkan beberapa kali erupsi atau fase erupsi yang sering dibatasi oleh jeda waktu antar erupsi yang panjang dan sering memperlihatkan adanya evolusi magmatik selama fase vulkanismenya.

Vulkanisme Gunung Ijen Tua (Gunung Kendeng) berlangsung kira – kira selama 400.000 tahun dengan asumsi awal vulkanisme sekitar 700.000 tahun yang lalu berdasarkan studi regional. Fase vulkanisme ini berasal dari diferensiasi magma yang menghasilkan produk erupsi berupa aliran lava dan endapan piroklastika berkomposisi basaltik hingga dasitik (Sujanto dr., 1988). Endapan aliran piroklastika dan jatuhnya piroklastika se-



Gambar 3. Celah sempit di sekitar Blawan yang diduga terbentuk oleh proses tektonik yang membelah dinding Kaldera Ijen bagian utara. Foto: Zaennudin, PVMBG.

cara dominan tersusun oleh batu apung dan sebagian litik andesit dan basalt. Aliran lava berkomposisi sangat variatif mulai dari basalt, andesit hingga dasit. Berdasarkan variasi komposisi kimia batuanannya, vulkanisme Ijen Tua berlangsung secara dinamis dalam kurun waktu yang diduga cukup panjang.

Setelah vulkanisme berlangsung selama kurang lebih 400.000 tahun, erupsi berskala sangat besar yang identik dengan tipe letusan plinian yang terjadi antara 300.000-50.000 tahun yang lalu, menghasilkan kaldera dengan diameter 14 – 16 km. Pembentukan kaldera tersebut disertai dengan pembentukan endapan aliran piroklastika berbatuapung yang tersebar ke bagian lereng utara dari sumber erupsi.

Vulkanisme lanjutan pasca pembentukan kaldera berlangsung sekitar 50.000 tahun yang lalu, terjadi di dasar dan dinding kaldera. Vul-

kanisme lanjutan ini dapat dikelompokkan ke dalam 2 tipe, yaitu monogenetik dan poligenetik yang tumbuh secara simultan. Sebagian besar gunung api poligenetik, seperti Ringgih – Kukusan, Merapi, Rante, Jampit – Pendil, dan Suket, tumbuh pada bagian dinding kaldera. Sementara itu 3 gunung api poligenetik Blau, Pawenan, dan Kawah Ijen, tumbuh di dasar kaldera membentuk kelompok yang terpisah dari 12 buah gunung api monogenetik. Kelompok gunung api poligenetik menghasilkan variasi produk letusan yang terdiri atas aliran lava, aliran piroklastika, dan jatuhnya piroklastika berkomposisi basaltik hingga andesitik. Sementara itu, gunung api monogenetik membentuk kerucut sinder dengan aliran lava berkomposisi basaltik dan andesit basaltik. Kerucut sinder berdimensi besar, seperti Kukusan, Genteng, dan Jampit. Pada umumnya memiliki fase erupsi yang lebih panjang dengan variasi material letusan berupa jatuh-

an piroklastika dan aliran lava (Gambar 4 dan Gambar 5). Sementara itu, kerucut sinder dengan dimensi kecil, seperti Gending Waluh, Anyar, Lingkar, dan Melatan, pada umumnya hanya tersusun atas jatuhan piroklastika yang kemungkinan terbentuk melalui satu fase letusan dalam kurun waktu yang tidak terlalu lama.

Kawah Ijen sebagai gunung api termuda dan masih aktif hingga saat ini secara stratigrafi tersusun atas aliran lava, endapan aliran piroklastika, dan jatuhan piroklastika. Endapan termuda Kawah Ijen yang teridentifikasi di lapangan adalah endapan hasil letusan freatik (Gambar 6). Letusan freatik memiliki potensi besar terjadi di Kawah Ijen, sehubungan dengan kondisi kawah yang terisi air. Danau Kawah Ijen ini memiliki derajat keasaman yang sangat tinggi dengan pH 0,2 yang di-

sebabkan adanya interaksi antara air dan gas magma (Sumarti, 1998). Fumarola dengan kandungan SO_2 , HCl, HF, dan lain sebagainya menghasilkan kandungan sulfat, klorida, dan fluorida yang sangat pekat pada air danau kawah.

Prakiraan Erupsi Masa Mendatang

Data letusan pra sejarah menunjukkan bahwa erupsi Kompleks Gunung Ijen bersifat efusif dan eksplosif. Tidak diketahui secara pasti kapan vulkanisme Kompleks Gunung Ijen mulai berlangsung. Berdasarkan data geologi regional, awal vulkanisme Kompleks Gunung Ijen diasumsikan mulai terjadi pada kala Plis-tosen Akhir (Bemmelen, 1949) atau sekitar 700.000 tahun yang lalu. Berdasarkan rekonstruksi data geologi, durasi vulkanisme Kompleks Gunung Ijen dari awal hingga kondisi



Gambar 4. Endapan aliran piroklastika berbatuapung hasil pembentukan Kaldera Ijen.



Gambar 5. Aliran lava yang dihasilkan dari erupsi kerucut sinder Genteng.



Gambar 6. Endapan batuan berwarna keputih-keputihan hasil letusan freatik Kawah Ijen. Lapisan berwarna kehitaman (bagian bawah) merupakan endapan jatuhnya piroklastika skorean yang dihasilkan dari erupsi magmatik Gunung Ijen.

sekarang diawali sebagai gunung api strato yang telah mengalami penghancuran dan pembentukan kaldera, serta kembali menjadi gunung api strato (poligenetik) dan monogenetik. Jika data pentarikhan umur 294.400 tahun diasumsikan sebagai fase akhir vulkanisme Ijen Tua, maka sistem Kaldera Ijen kemungkinan terbentuk sekitar 300.000 tahun yang lalu, setelah berlangsung vulkanisme selama kurang lebih 400.000 tahun.

Tidak diketahui secara pasti durasi vulkanisme suatu gunung api poligenetik dan monogenetik di Kompleks Gunung Ijen. Meskipun demikian, perkiraan statistika kasar berdasarkan data umur batuan di Kompleks Gunung Ijen (Sujanto drr., 1988), durasi sistem poligenetik kemungkinan berkisar antara 15.000 – 35.000 tahun, sedangkan durasi sistem monogenetik kemungkinan sekitar 10.000 tahun untuk satu fase monogenetik. Bila dibandingkan dengan data durasi rata – rata dan durasi terpanjang vulkanisme sistem strato (poligenetik) berkomposisi intermedier – mafik di dunia selama 240.000 dan 1.300.000 tahun (Ferrari, 1995), maka vulkanisme Kompleks Gunung Ijen dengan sistem strato atau poligenetik diperkirakan masih akan terus berlangsung. Sistem monogenetik memiliki durasi vulkanismenya antara 2.987.000 hingga 5.700.000 tahun secara rata-rata di dunia (Ferrari, 1995).

Vulkanisme Kompleks Gunung Ijen pasca kaldera telah berlangsung sekitar 50.000 tahun yang lalu. Pertumbuhan vulkanisme poligenetik dan monogenetik secara simultan terbentuk pasca pembentukan kaldera. Apabila diasumsikan bahwa vulkanisme poligenetik dan monogenetik tumbuh bersamaan sekitar 50.000 tahun lalu, maka durasi vulkanisme-

nya masih memiliki probabilitas tinggi untuk erupsi pada masa mendatang. Sehubungan dengan keterbatasan data, terutama umur batuan, maka sulit untuk memperkirakan perubahan vulkanisme dari poligenetik ke monogenetik dan lokasi vulkanisme yang baru seandainya terjadi perubahan sistem vulkanisme. Meskipun demikian, diperhitungkan secara kasar aktivitas vulkanik Kompleks Gunung Ijen masih berlangsung di Kawah Ijen yang diperkirakan telah berlangsung selama 20.000 tahun, sedikitnya dalam 10.000 tahun ke depan. Statistika kasar ini tanpa memperhitungkan faktor tektonik yang kemungkinan mempengaruhi perubahan sistem vulkanisme.

Data seismisitas Kompleks Gunung Ijen periode 1989-1997 (Hermawansyah, 1997) menunjukkan bahwa sumber gempa vulkanik berada pada kedalaman antara 3-4 km di bawah dan di sekitar Kawah Ijen. Hal ini menunjukkan bahwa pusat aktivitas vulkanik Kompleks Gunung Ijen berpusat di bawah Danau Kawah Ijen.

Data geokimia batuan menunjukkan bahwa evolusi kimia magma Kompleks Gunung Ijen berkisar antara andesit hingga basaltik. Jika tidak terjadi perubahan mendasar pada sistem magmatiknya, maka erupsi Gunung Ijen pada masa mendatang diasumsikan bersifat andesit atau basaltik dengan energi letusan lebih rendah.

PRAKIRAAN BAHAYA GUNUNG API

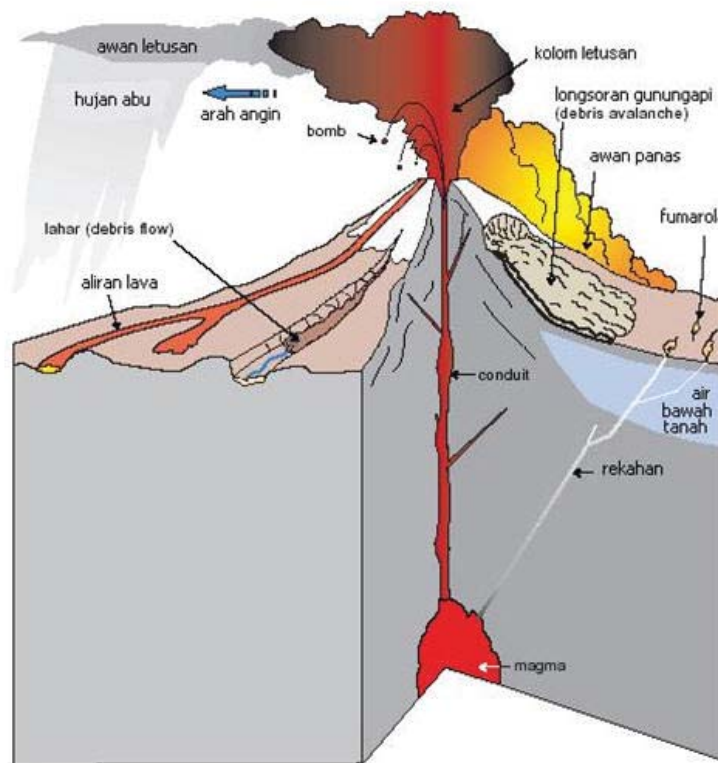
Fenomena Bahaya Gunung api

Bahaya gunung api merupakan fenomena yang memiliki potensi untuk mengancam manusia dan kehidupannya serta lingkungannya

(Gambar 7). Data deterministik pada masa pra sejarah yang terangkum dalam peta geologi gunung api Kompleks Gunung Ijen dijadikan dasar dalam evaluasi fenomena gunung api dan asosiasi ancaman bahayanya. Bahaya gunung api Kompleks Gunung Ijen yang berasosiasi dengan aktivitas gunung api dan erupsinya tidak hanya mengancam kawasan di sekitar Kompleks Gunung Ijen, tetapi akan berpengaruh secara regional terhadap daerah lainnya terutama yang disebabkan oleh abu erupsi. Selain mengancam kesehatan dan lingkungan hidup manusia, abu erupsi Kompleks Gunung Ijen juga memungkinkan akan menjadi ancaman serius terhadap kelancaran

transportasi udara yang melintasi kawasan sekitar Kompleks Gunung Ijen .

Analisis geologi, geokimia, dan geofisika secara terintegrasi menyimpulkan bahwa erupsi Kompleks Gunung Ijen pada masa mendatang diperkirakan terjadi di sekitar Kawah Ijen sebagai kawah aktif di Kompleks Gunung Ijen sekarang. Ancaman bahaya gunung api Kawah Ijen berupa aliran piroklastika, jatuhnya piroklastika, aliran lava, dan lahar letusan. Kawasan Kompleks Gunung Ijen yang memiliki potensi ancaman tergambar dalam ilustrasi peta prakiraan bahaya gunung api. Batas pelamparan zona bahaya didasarkan pada pendekatan deterministik semi kuantita-



Gambar 7. Fenomena bahaya gunung api (Myers *et al.*, 1997).

tif dan kondisi morfologinya. Selain bahaya gunung api yang dihasilkan erupsi, bahaya lainnya datang dari air danau Kawah Ijen dengan derajat keasaman yang sangat tinggi sehingga dapat mengancam kesehatan dan lingkungan hidup manusia.

Bahaya Erupsi Kawah Ijen

Aliran Piroklastika

Meskipun data deterministik memperlihatkan pelamparan aliran piroklastika Kawah Ijen dalam jangkauan terbatas, namun dalam pembentukan endapan aliran piroklastik di masa yang akan datang memiliki potensi cukup signifikan. Prakiraan bahaya aliran piroklastika Kawah Ijen sangat dipengaruhi oleh faktor morfologi dikarenakan posisi Kawah Ijen berada di antara himpitan tubuh gunung api lainnya.

Pelamparan aliran piroklastika Kawah Ijen memiliki potensi kuat untuk melanda Banyuwangi. Aliran piroklastik tersebut akan melalui celah-celah antara kerucut Blau dan Pawenan, antara Pawenan dan Gunung Merapi, dan Kali Bendo sebagai lembah antara Gunung Rante dan tubuh Gunung Merapi (Gambar 8A).

Jatuhan Piroklastika

Prakiraan bahaya jatuhan piroklastika dapat dikelompokkan menjadi hujan abu dan lontaran batu pijar. Kedua produk erupsi gunung api ini terbentuk melalui mekanisme dan waktu yang sama. Pergerakan dan sebaran abu vulkanik sangat dipengaruhi oleh arah dan kecepatan angin, sedangkan lontaran batu (pijar) tidak dipengaruhi angin karena beratnya. Erupsi gunung api Kompleks Gunung Ijen

pada masa prasejarah kehidupan manusia sering kali menghasilkan lontaran batu dan hujan abu lebat. Identifikasi singkapan lontaran batu yang berasal dari erupsi prasejarah banyak dijumpai di lereng barat dan kawasan puncak.

Berdasarkan data deterministik, lontaran batu (pijar) dan hujan lumpur atau lontaran material rombakan hasil letusan freatik menghasilkan jangkauan sebaran dengan radius lebih kurang 2,5 km dari Kawah Ijen (Gambar 8B). Data deterministik ini dijadikan dasar prakiraan bahaya lontaran batu dan hujan lumpur atau lontaran material rombakan hasil letusan freatik pada masa yang akan datang.

Berdasarkan pada data deterministik prakiraan bahaya hujan abu lebat akibat erupsi Kawah Ijen pada masa yang akan datang, tidak dapat dilakukan karena tidak adanya data kondisi arah dan kecepatan angin pada beberapa kilometer di atas Kawah Ijen. Dengan demikian prakiraan potensi ancaman bahaya hujan abu lebat diduga dalam radius jangkauan terjauh, sekitar 7 km dari kawah, sehingga dalam kondisi umum merupakan suatu kawasan berbentuk lingkaran.

Aliran Lava

Aliran lava Kompleks Gunung Ijen terbentuk selama prasejarah dengan jarak pelamparan berkisar antara 5 km sampai hampir 17 km dari sumber erupsi. Kawah Ijen menghasilkan aliran lava dengan jangkauan antara 4-15 km. Aliran lava prasejarah Kawah Ijen berkomposisi basaltik. Sehubungan dengan viskositasnya yang rendah, pelamparan aliran lava dapat mencapai jarak yang jauh dari

sumber erupsinya. Meskipun demikian, pengalirannya dikontrol oleh kondisi morfologi.

Prakiraan ancaman bahaya aliran lava dari Kawah Ijen pada erupsi yang akan datang dilakukan berdasarkan pada perpaduan data deterministik dan simulasi dengan parameter aliran lava basaltik yang diadopsi dari beberapa sumber pustaka dan kondisi morfologi di Kompleks Gunung Ijen. Prakiraan bahaya aliran lava mengarah ke utara melalui Kali Banyupait dan Kali Senon dan berhenti mendekati celah kaldera di sekitar Blawan. Jarak pelamparan aliran lava ini mendekati 13 km. Sementara itu, kecenderungan aliran lava ke arah selatan melalui Kali Bendo dapat mencapai sekitar 9 km dari sumber erupsi (Gambar 8C).

Lahar Letusan

Lahar letusan merupakan lahar yang terbentuk bersamaan dengan terjadinya letusan pada gunung api berdanau kawah. Volume air danau dengan jarak pelemparan lahar letusan memiliki hubungan yang sangat signifikan. Semakin besar volume air semakin jauh jarak pelamparan lahar letusan, dan sebaliknya. Sedikitnya terjadi 3 kali pembentukan lahar letusan di Kawah Ijen, yaitu tahun 1817, 1936, dan 1952 (Kusumadinata drr., 1979). Lahar letusan menyebar ke arah utara dan selatan melalui Kali Banyupait dan kali Bendo. Sebagian informasi menyebutkan lahar letusan ke arah selatan mendekati Banyuwangi pada tahun 1817 (Junghuhn,1853, dikutip oleh Kusumadinata drr., 1979).

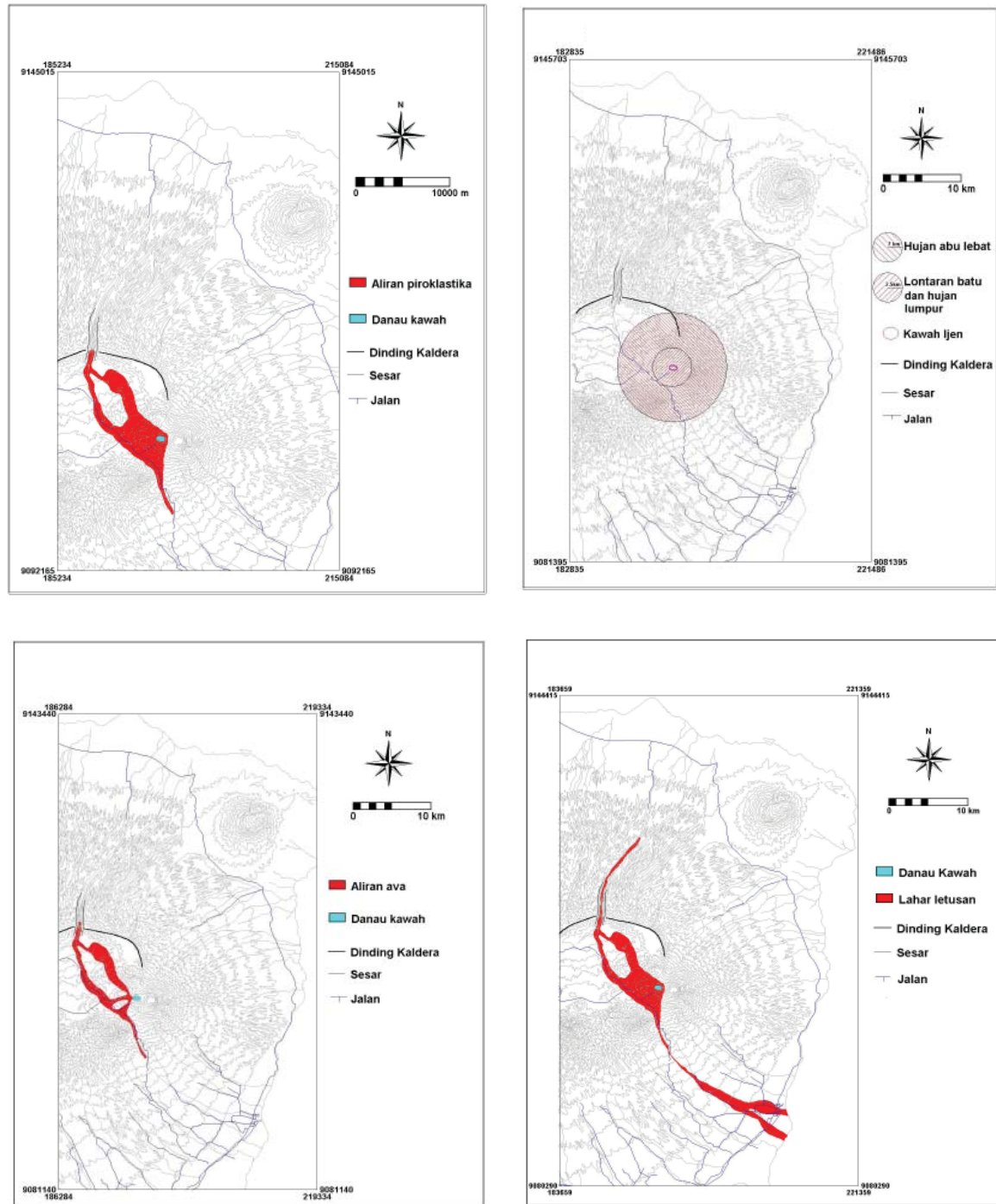
Simulasi bahaya lahar letusan Kawah Ijen didasarkan atas beberapa parameter, seperti vo-

lume air danau kawah kurang lebih 36.000.000 m³, radius dan kecepatan aliran air, rheologi batuan yang diadopsi dari beberapa pustaka, dan kondisi morfologi melalui model elevasi digital berdasarkan intrapolasi data ketinggian pada peta topografi AMS tahun 1964. Radius dan kecepatan aliran air menggambarkan hubungan linier antara peningkatan radius aliran air dan peningkatan kecepatan aliran masa. Kecepatan awal aliran danau yang tumpah dalam simulasi ini diasumsikan pada mekanisme yang sama dengan aliran piroklastika dengan tinggi kolom letusan 7 m sesuai dengan data sejarah (Junghuhn,1853, dikutip oleh Kusumadinata drr., 1979).

Hasil simulasi memperlihatkan bahwa aliran lahar letusan apabila diarahkan ke utara melalui Kali Banyupait dan Kali Sengon mencapai jarak sekitar 23 km dari sumber erupsi. Sementara itu, apabila simulasi diarahkan ke selatan melalui Kali Bendo dapat mencapai jarak 27 km (Gambar 8D).

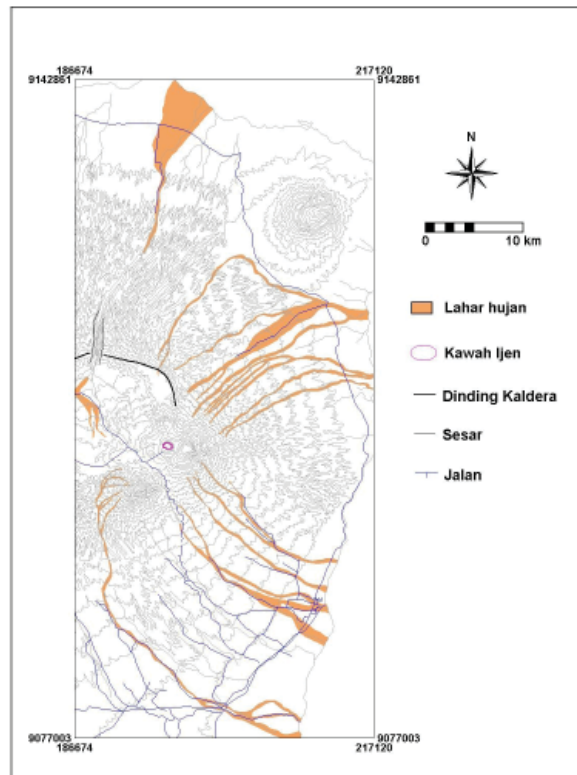
Lahar

Lahar hujan di Kompleks Gunung Ijen kemungkinan terjadi setelah terjadi erupsi berdasarkan data deterministik geologi pada masa lampau. Material potensi lahar yang berasal dari endapan aliran piroklastika dan abu letusan memiliki potensi untuk menjadi lahar melalui Kali Banyupait dan Kali Sengon (Gambar 9). Sementara itu, material potensi lahar yang berasal dari abu letusan memiliki potensi untuk menjadi lahar melalui sungai – sungai yang berpola radial yang berhulu di kawasan puncak.



Gambar 8. Prakiraan bahaya Erupsi Kawah Ijen berdasarkan jenis endapan yang dihasilkan.

- A: Aliran awan panas
- B: Jatuhan piroklastika
- C: Aliran lava
- D: Lahar letusan yang bersumber dari kawah Ijen (erupsi freatik)



Gambar 9. Prakiraan bahaya aliran lahar yang bersumber dari Kawah Ijen.

Bahaya Gunung api Lainnya

Ancaman bahaya yang berasal dari Kawah Ijen, selain material hasil erupsi adalah air danau kawah dengan derajat keasaman yang sangat tinggi (pH 0,2). Kondisi keasaman air danau (*hyper-acid water*) disebabkan adanya interaksi antara air dan gas yang bersumber dari magma (Sumarti, 1998). Fumarola dengan kandungan SO_2 , HCl, HF, dan sebagainya menghasilkan kandungan sulfat klorida dan fluorida yang sangat pekat pada air danau kawah.

Sebuah bendungan di bagian barat Kawah Ijen dibuat untuk mengatur regulasi pengelu-

aran air. Akan tetapi beberapa rembesan pada bagian lereng menyebabkan air danau kawah mengalir melalui Kali Banyupait – Banyu-putih sepanjang kurang lebih 40 km. Sepanjang alirannya terjadi pencampuran dengan air yang lebih segar dan lebih basa sehingga terjadi pengurangan derajat keasaman air yang berasal dari danau kawah Ijen ini. Survei kimia air di sekitar Asembagus menunjukkan bahwa sumur - sumur penduduk di sekitar pantai yang digunakan secara intensif untuk kebutuhan hidup dan pertanian memiliki derajat keasaman masih cukup tinggi dengan pH 3 - 4 (Sumarti, 1998). Analisis kimia air menunjukkan tingginya kandungan flourida

yang dapat menyebabkan kerusakan gigi penduduk di sekitarnya yang mengkonsumsi air tersebut. Rasio elemen – elemen di dalam air sumur di Asembagus memiliki kandungan kimia yang relatif sama dengan air sungai di kawasan hulu dan air danau kawah Ijen (Sumarti, 1998). Dengan demikian air sumur di kawasan Asembagus telah terinfiltrasi oleh air danau kawah Gunung Ijen.

DISKUSI DAN PEMBAHASAN

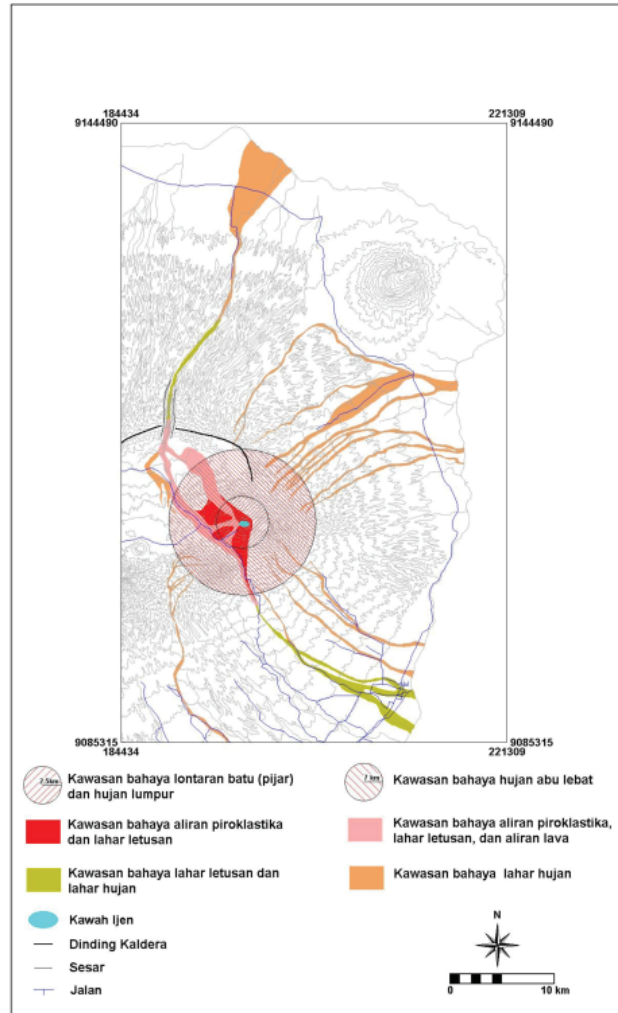
Kompleks Gunung Ijen adalah suatu kumpulan gunung api yang terdiri dari beberapa gunung api yang tumbuh di sekitar dinding dan di dalam kaldera Ijen Tua. Gunung Ijen adalah salah satu gunung api yang sampai saat ini masih aktif tumbuh di dalam Kaldera Gunung Ijen Tua, yang merupakan depresi vulkanik besar dengan diameter lebih kurang 16 km berbentuk elips. Keunikan Kompleks Gunung Ijen dibandingkan dengan gunung api lainnya di Indonesia adalah merupakan model perpaduan gunung api poligenetik dan monogenetik yang tumbuh di dalam dan pinggir kaldera. Selain itu Kompleks Gunung Ijen mempunyai air danau Kawah Ijen dengan derajat keasaman yang sangat tinggi. Dengan volume air danau yang sangat besar sekitar 36 juta m³. Pengalaman masa lampau menjadikan Gunung Ijen memiliki potensi untuk menghasilkan lahar letusan dan kemungkinan terbentuknya *debris avalanche*, selain potensi ancaman bahaya erupsi lainnya.

Analisis probabilitistik dan deterministik dalam interpretasi karakteristik vulkanisme Kompleks Gunung Ijen pada masa yang akan datang menunjukkan bahwa:

- Tidak diketahui secara pasti kapan vulkanisme Kompleks Gunung Ijen mulai berlangsung. Berdasarkan data geologi regional, awal vulkanisme Kompleks Gunung Ijen diasumsikan mulai terjadi pada kala Plistosen Akhir (Bemmelen, 1949) atau sekitar 700.000 tahun yang lalu (Sitorus, 1990). Jika data pentarikan umur 294.400 tahun diasumsikan sebagai fase akhir vulkanisme Ijen Tua, maka sistem Kaldera Ijen kemungkinan terbentuk sekitar 300.000 tahun yang lalu, setelah berlangsung vulkanisme selama lebih kurang 400.000 tahun.
- Tidak diketahui secara pasti durasi vulkanisme suatu gunung api poligenetik dan monogenetik di Kompleks Gunung Ijen. Perkiraan statistika kasar berdasarkan data umur batuan di Kompleks Gunung Ijen (Sujanto dr., 1988), durasi sistem poligenetik kemungkinan berkisar antara 15.000 – 35.000 tahun, sedangkan durasi sistem monogenetik kemungkinan sekitar 10.000 tahun. Bila dibandingkan dengan data durasi rata – rata dan durasi terpanjang vulkanisme sistem strato (poligenetik) berkomporsi intermedier – mafik di dunia, maka vulkanisme Kompleks Gunung Ijen dengan sistem strato atau poligenetik dan monogenetik diperkirakan masih akan terus berlangsung.
- Asumsi vulkanisme poligenetik dan monogenetik tumbuh bersamaan sekitar 50.000 tahun lalu, maka durasi vulkanismenya masih memiliki probabilitas tinggi untuk erupsi pada masa mendatang. Hitungan secara kasar aktivitas vulkanik Kompleks Gunung Ijen diperkirakan telah

berlangsung selama 10.000 tahun, diduga kegiatan akan berlangsung sedikitnya dalam 10.000 tahun ke depan. Statistika kasar ini tanpa memperhitungkan faktor tektonik yang kemungkinan mempengaruhi perubahan sistem vulkanisme.

- Evolusi magmatik gunung api Kompleks Gunung Ijen yang bercirikan dengan variasi kandungan silika, memiliki variasi berbeda yang berkisar dari basalt, andesit basaltik, dan andesit (SiO_2 48,21 - 62,32%). Variasi batuan Kompleks Gunung Ijen pasca pembentukan kaldera yang berkisar dari basalt hingga andesit kemungkinan masih berasal dari satu sumber magma berdasarkan analisis pola diagram $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$. Interpretasi ini didukung dengan pola korelasi antara SiO_2 terhadap Sr dan Br yang tidak memperlihatkan pola bimodal atau klastering yang cukup signifikan. Rendahnya harga Ni, Sr, dan Cr semakin memperkuat interpretasi bahwa magma Kompleks Gunung Ijen pasca kaldera berasal dari satu sumber magma turunan yang telah mengalami fase differensiasi (Sitorus, 1990). Jika tidak terjadi perubahan mendasar pada sistem magmatiknya, erupsi Gunung Ijen pada masa mendatang diasumsikan bersifat andesit atau basaltik dengan energi letusan lebih rendah.
 - Data seismisitas Kompleks Gunung Ijen periode 1989 – 1998 menunjukkan sumber gempa vulkanik berada pada kedalaman antara 3 – 4 km di bawah dan sekitar danau kawah Gunung Ijen. Hal ini menunjukkan bahwa pusat aktivitas vulkanik Kompleks Gunung Ijen berpusat di Kawah Gunung Ijen.
- Analisis geologi, geokimia, dan geofisika secara terintegrasi menyimpulkan bahwa erupsi di Kompleks Gunung Ijen pada masa mendatang terjadi di Kawah Gunung Ijen sebagai kawah aktif Kompleks Gunung api tersebut. Ancaman bahaya gunung api dari Gunung Ijen berupa aliran piroklastika, jatuhnya piroklastika, aliran lava, lahar letusan dan hujan, serta bahaya lainnya yang ditimbulkan oleh air danau kawah yang bersifat sangat asam. Kawasan gunung api Kompleks Gunung Ijen yang memiliki potensi ancaman tergambar dalam ilustrasi peta prakiraan bahaya gunung api Kompleks Gunung Ijen (Gambar 10). Batas pelamparan zona bahaya didasarkan pada pendekatan deterministik kuantitatif dan semi kuantitatif.
- Kawasan yang kemungkinan terkena lontaran batu jika terjadi erupsi berada dalam radius 2,5 km dari danau kawah Gunung Ijen.
 - Kawasan akumulasi abu jika terjadi letusan berskala besar berada dalam radius 7 km dari kawah Gunung Ijen dengan ketebalan lebih dari 15 cm.
 - Kawasan yang kemungkinan terlanda aliran piroklastika dalam erupsi berskala besar hampir mencapai 12 km dari sumbernya.
 - Kawasan yang kemungkinan menjadi landaan terjauh aliran lava mendekati 15 km.
 - Kawasan aliran lahar letusan apabila mengarah ke utara mengalir melalui Kali Banyupait dan Kali Sengon mencapai jarak sekitar 23 km, sedangkan apabila si-



Gambar 10. Prakiraan bahaya gunung api Kompleks Kawah Ijen.

mulasi diarahkan ke selatan lahar mengalir melalui Kali Bendo hingga sejauh 27 km.

- Kawasan yang kemungkinan menjadi landaan aliran lahar hujan berada pada sungai – sungai berpola radial yang berhulu di kawasan puncak.

Keterbatasan data penunjang yang diperlukan dalam prakiraan bahaya gunung api

Kompleks Gunung Ijen menjadi kendala utama. Untuk menambah akurasi hasil analisis diperlukan beberapa penelitian lainnya berupa:

- Pentarikhan umur batuan dari gunung api strato dan monogenetik yang terbentuk paska Kaldera Ijen sebagai gambaran durasi fase vulkanisme kedua jenis gunung api tersebut.

- Melakukan survei potensial diri (SP), terutama di dasar kaldera sebagai gambaran kemungkinan terbentuknya sistem gunung api monogenetik pada masa yang akan datang.

KESIMPULAN

Gunung api Ijen adalah kerucut gunung api strato yang tumbuh pada tepi Kaldera Ijen bagian tenggara yang mempunyai danau kawah di puncaknya. Danau kawah ini terisi air yang sangat asam bervolume sekitar 36.000.000 m³. Gunung api ini dalam pembentukan tubuhnya pernah terjadi letusan-letusan eksplosif yang hebat dengan jejaknya berupa kawah berdiameter 600 x 900 m. Sedikitnya ada empat kawah besar terdapat di puncaknya yang saling memotong. Letusan-letusan yang tercatat dalam sejarah hanya berupa letusan-letusan freatik yang kadangkala menumpahkani isi danau kawahnya seperti yang terjadi pada abad ke-19. Letusan ini merupakan letusan freatik terbesar yang tercatat dalam sejarah. Air danau tumpah ke arah utara sampai mencapai Asembagus dan ke arah tenggara mencapai Rogojampi. Sejarah geologi Gunung Ijen maupun Gunung Kendeng (Gunung Ijen Tua) menunjukkan sering meletus hebat, maka tidak menutup kemungkinan pada masa mendatang dapat meletus dengan hebat seperti yang pernah terjadi sebelumnya. Bila hal ini terjadi dapat merupakan ancaman serius bagi lingkungan sekitarnya, termasuk penduduk yang bermukim di sekitar gunung api dan di sepanjang sungai yang berhulu di danau kawah ini dan merupakan malapetaka. Bencana dapat sangat besar karena volume air danau

kawah yang cukup besar dan sangat asam, di samping hasil letusan seperti awan panas, erupsi freatik berupa lahar letusan, dan mungkin dapat terjadi *debris avalanche*.

ACUAN

- Bemmelen, R.W. van., 1949, The Geology of Indonesia, Vol. I A, Government Printing Office, The Hague.
- Hermawansyah, 1997, Analisis Kegempaan Gunung Ijen, Jawa Timur tahun 1989 – 1997. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi, tidak dipublikasikan.
- Junghun, F., 1853, Landschap Banjowangi en omtreken van den Idjen, Java, II. P. 997 - 1047
- Kusumadinata, K., Hadian, R., Hamidi, S., dan Reksowirogo, L., D., 1979, Data Dasar Gunung api Indonesia, Direktorat Vulkanologi, Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral, Departemen Pertambangan dan Energi, RI.
- Myers, B., Steven R., Stauffer P., Hendley II, and James W., 1997, What are Volcano Hazards ? U.S. Geological Survey Fact Sheet 002-97.
- Neumann van Padang, M., 1951. Catalogue of the active volcanoes of the world including solfatara fields, v.1, Indonesia, p. 156 – 159.
- Sitorus, K., 1990, Volcanic Stratigraphy and Geochemistry of Ijen Caldera complex, East-Java, Unpublished, Master Thesis, Victoria University of Wellington, New Zealand.
- Sujanto, Syarifudin, M.Z., dan Sitorus, K., 1988, eta Geologi Gunung api Komplek Kaldera Ijen, Jawa Timur. Bandung: Direktorat Vulkanologi.
- Sumarti, S., 1998, Volcanogenic Pollutants in Hyperacid River Discharge from Ijen Crater Lake, East Java, Indonesia, Thesis of Doctorandus-Degree in Geochemistry, Faculty of Earth Sciences, Utrecht University.

Taverne, N.J.M., 1926. Vulkaanstudien op Java, Vulkanol. Med., n. 7, p 99 – 102.

Zaennudin, A., Sumarti S., Sutaningsih, E.N., dan Sukarnen, 2005, Genetic of an Ancient Lake

Blawan, Ijen Caldera, East Java, Annual Meeting of Geological Association of Indonesia, Surabaya – Indonesia.