BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gunung Api Ijen

Gunung api merupakan suatu sistem saluran fluida yang menghubungkan antara tempat penyimpanan materi cair (lava) di kedalaman permukaan bumi sampai permukaan bumi. Material letusan seperti gas, padatan vulkanik (pyroclastics) dan lava keluar melalui kawah gunung berapi. Aktivitas ini lah yang kemudian disebut dengan aktivitas vulkanik (Sheets dan Grayson, 1979).

Aktivitas vulkanik seperti erupsi tentu memiliki dampak pada kerusakan lingkungan dan ekologi. Abu vulkanik yang jatuh dan menumpuk hingga tebal dapat berdampak pada manusia dan lava yang keluar dengan suhu yang sangat tinggi (600 - 1000°C) membahayakan kehidupan meskipun kasus kematian seperti ini sangat jarang terjadi. Secara langsung ataupun tidak langsung manusia telah merasakan dampak dari aktivitas vulkanik selama jutaan tahun. Manfaat yang dirasakan manusia pasca-erupsi gunung berapi contohnya adalah suburnya tanah akibat lava dan abu vulkanik, produksi bahan-bahan mineral vulkanik, dan perubahan lahan. Namun, manusia harus membayar kerusakan yang disebabkan pada jangka waktu singkat (Sheets dan Grayson, 1979) **.**

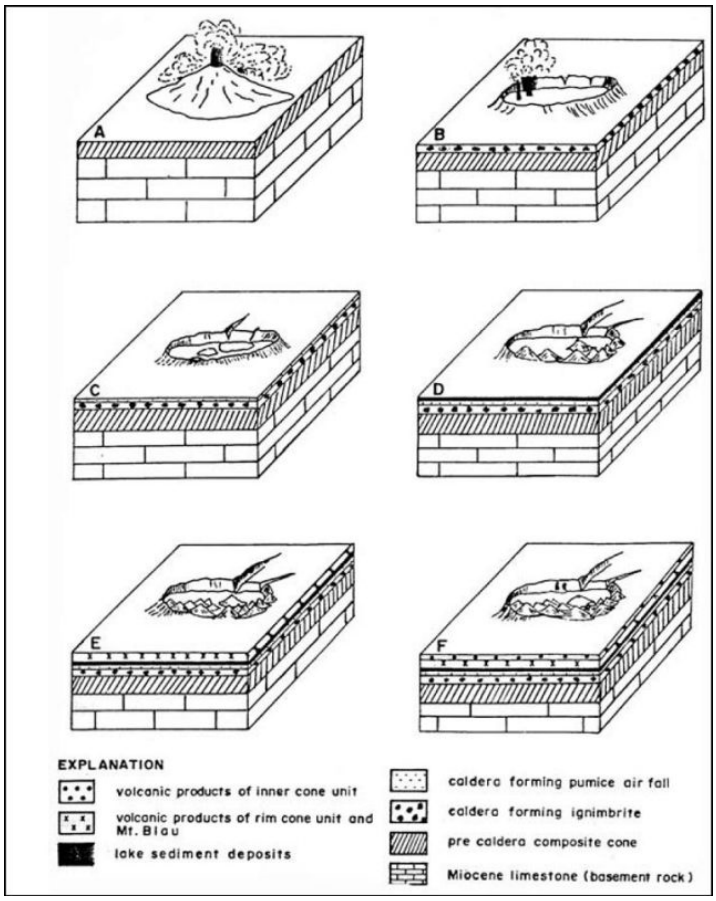
Gunung api Ijen merupakan salah satu gunung dari delapan gunung api yang memiliki danau kawah dengan air danau yang bersifat asam. Letak geografis puncaknya terletak pada 8° 03’ 30’’ Lintang Selatan dan 114° 14’ 30’’ Bujur Timur, dengan ketinggian tepi kawah sebesar 2386 mdpl dan danau kawah 2145 mdpl. Secara administratif Gunung dengan tipe strato ini masuk dalam wilayah Kabupaten Banyuwangi dan Bondowoso, Provinsi Jawa Timur (Sumarti *et al*., 2006).

Pemantauan aktivitas Gunung Ijen terus menerus dilakukan dan secara berkala dilakukan pengamatan terhadap peningkatan status dari gunung api itu sendiri. Tujuan dari pengamatan aktivitas Gunung Ijen adalah agar dapat mengurangi dampak negatif keberadaan gunung api terutama terkait dengan mitigasi bencana. Pemantauan dilakukan dengan menggunakan beberapa metode, seperti metode seismik, deformasi, geofisika, visual dan geokimia. Diantara metode - metode tersebut, metode seismik adalah metode yang paling banyak digunakan karena metode seismik mencatat getaran dari retakan atau pecahnya batuan dalam bentuk sinyal gelombang seismik. Getaran tersebut terjadi karena adanya peningkatan aktivitas kegempaan di bawah gunung api sebelum terjadinya erupsi yang disebabkan oleh adanya dorongan magma dan gas gunung api ke permukaan melalui rekahan dan lorong-lorong. Perpindahan magma dan gas vulkanik menyebabkan retakan hingga pecahnya batuan. Retakan atau pecahnya batuan inilah yang akan menjadi sumber getaran berupa sinyal gelombang seismik. Sebagaimana penelitian Hendrasto (2006), yang telah mengidentifikasi karakteristik Gunung api Ijen berdasarkan aktivitas kegempaannya atau dari hasil analisis sinyal seismik yaitu bahwa Gunung api Ijen secara umum didominasi oleh kemunculan gempa vulkanik tipe B (VB), tektonik jauh, dan gempa hembusan.

Komplek Gunung api Ijen yang terlihat saat ini dihasilkan melalui berbagai proses yang panjang. Proses pembentukan Kompleks Gunung api Ijen dapat diketahui dengan memperhatikan kondisi morfologi permukaan Gunung api Ijen saat ini (Sartohadi, 2014). Kompleks Gunung api Ijen berasal dari satu tubuh Gunung Ijen. Tubuh Gunungapi Ijen sebelum terjadi erupsi eksplosif dimungkinkan berupa kerucut gunung api yang besar dan aktif. Van Bergen *et al*., (2000) memperkirakan ketinggian gunung api purba tersebut mencapai 3.500 mdpl. Berdasarkan adanya perlapisan yang searah dengan kemiringan lereng pada *escarpment* kaldera, Gunung api Ijen dapat dikategorikan

ke dalam tipe gunung api strato. Ilustrasi tubuh Gunungapi Ijen secara utuh sebelum erupsi eksplosif disajikan pada **Gambar 2.1**.

Diperkirakan beberapa ratus tahun kemudian terjadi erupsi besar yang mengakibatkan terbentuknya lubang besar. Erupsi yang terjadi pada Gunung api Ijen dengan total 7 erupsi eksplosif tersebut melontarkan sebagian besar material tubuh gunung api bagian atas dan menciptakan kaldera dengan diameter 14-16 km. Ukuran kaldera yang besar inilah yang mengindikasikan bahwa skala erupsi yang telah terjadi juga sangat besar (Sartohadi 2014).

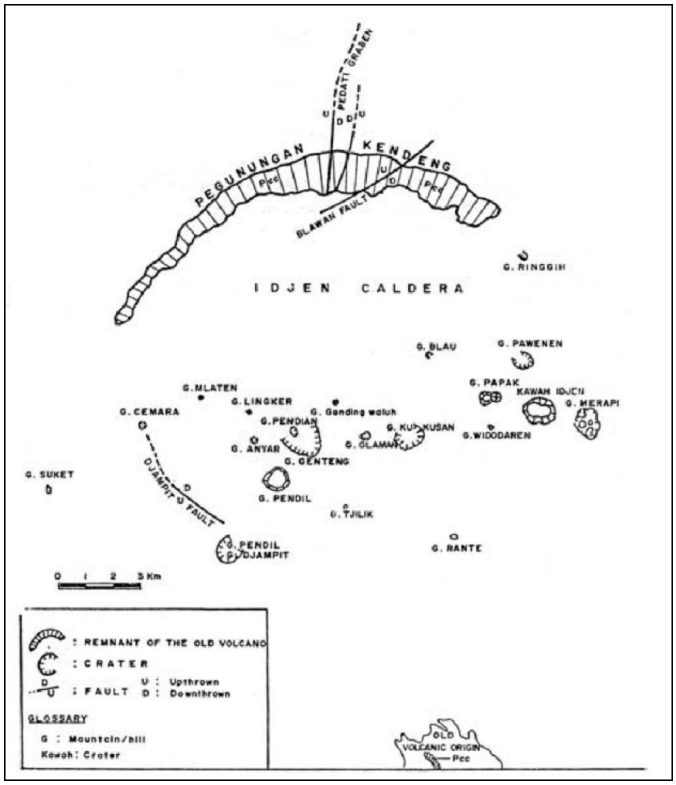


Gambar 2.1 Proses terbentuknya kaldera Ijen (Sartohadi, 2014)

Erupsi besar juga mengakibatkan terbentuknya sesar - sesar di bagian dalam kawah. Proses erosi pada sisa gunung api terjadi karena adanya curah hujan. Daerah - daerah sesar inilah yang menjadi daerah dengan proses erosi yang paling intensif karena daerah tersebut adalah daerah terlemah pada tubuh gunung api. Sesar besar di dekat Blawan kemudian

menjadi sebuah celah yang terus tererosi secara intensif (Gambar 2.1). Lereng bagian utara juga tertoreh karena proses erosi. Sejalan dengan proses erosi yang terjadi, pada dinding bagian selatan mulai bermunculan pusat-pusat aktivitas volkanik baru pasca letusan besar. Adanya sesar di sepanjang dinding bagian selatan menjadikannya sebagai tempat keluarnya magma (Sartohadi 2014).

Gunung api baru mulai muncul pada bekas dinding bagian Selatan. Deretan gunung api di sebelah selatan terlihat mengikuti sebuah pola garis dengan orientasi barat daya - timur laut. Berturut - turut Gunung Raung di sebelah barat sampai Gunung Merapi di sebelah timur (Gambar 2.2). Perbedaan torehan pada lereng kerucut - kerucut gunung api ini mengindikasikan bahwa pertumbuhannya tidak terjadi pada waktu yang bersamaan. Gunung Raung terlihat memiliki torehan yang paling kasar dan semakin ke arah timur semakin halus. Sehingga dapat disimpulkan bahwa Gunung Raung tumbuh dan berkembang terlebih dahulu yang kemudian diikuti oleh gunung - gunung di sebelah timurnya hingga Gunung Merapi di paling timur. Pola garis yang teratur dari deretan gunungapi-gunungapi ini mengindikasikan bahwa terdapat keteraturan pusat aktivitas magmanya (Sartohadi 2014).



Gambar 2.2 Barisan gunung api baru di komplek Ijen tua (Sartohadi, 2014)

2.2 Kawah Ijen

Kawah (*crater*) adalah bagian puncak gunung berapi yang dilewati oleh material letusan yang berbentuk lekukan besar. Material letusan yang berupa bahan - bahan legas (*pyroplastic*) atau aliran lava yang mengendap di seputar kawah dan akan membentuk kerucut, sedangkan di lokasi yang lebih jauh membentuk lereng dan kaki gunung api (Bloom, 1979). Direktorat vulkanologi menyatakan daerah di sekitar kawah dikategorikan sebagai daerah terlarang karena kemungkinan terkena aliran awan panas dan lava sangat besar.

Sementara itu, pembagian zonasi daerah bahaya letusan gunung api dibedakan menjadi dua tingkat. Daerah dengan tingkat bahaya lebih rendah adalah daerah bahaya ke-1 daerah yang tidak dilewati oleh awan panas namun saat letusan besar akan tertimpa hembusan piroklastik (*pyrocfostic*

surge) dan jatuhan piroklastik (hujan abu). Sedangkan daerah bahaya ke-2 adalah daerah yang berdekatan dengan sungai yang berhulu di puncak gunung api yang letaknya secara topografis rendah sehingga pada musim hujan dapat terlanda aliran lahar. Namun, pembagian zonasi daerah bahaya ini dapat berubah oleh perubahan morfologi yang disebabkan oleh adanya aktivitas gunung api atau gaya endogen lain.

Kawah ijen terbentuk setelah letusan yang menghasilkan lubang sangat besar dengan ukuran 19.000 x 21.000 m di bagian alasnya dan 22.000 x 25.000 m pada bagian atasnya (rim crater) yang kemudian dikenal dengan Kaldera Ijen. Dalam perkembangan selanjutnya, di tengah kaldera terbentuk sebuah danau kawah yang menjadi pusat kegiatan vulkanik saat ini. Kawah tersebut berukuran 1.160 x 1.160 m bagian atas dan bagian yang terisi air di dasar kawah seluas 960 x 600 m.

Diperkirakan danau ini merupakan salah satu danau kawah yang paling asam di dunia. Ini disebabkan karena kadar keasaman (pH) airnya mampu mencapai nilai nol (tidak terukur) hingga 0,8. Nilai tersebut bervariasi tergantung kondisi musim. Bila musim hujan pH-nya mencapai antara 0,5 – 0,8, tetapi pada musim kemarau tidak jarang nilai pH-nya di bawah nol. Hal inilah yang membuat Ijen sebagai salah satu gunung api yang tidak lumrah. Air kawah yang sangat asam ini dapat menimbulkan pencemaran lingkungan yang berbahaya bagi kehidupan sekitarnya (Wittiri dan Agusta, 2005).

Air danau Kawah Ijen memiliki kandungan air yang sangat asam dengan pH < 0.3. Air danau Kawah Ijen memiliki warna hijau muda yang berpadu dengan uap air tipis dan gelembung - gelembung kecil dekat sofatara yang memiliki warna putih tipis kekuningan (Badan Geologi 2014). Hal yang menyebabkan air danau sangat asam adalah karena adanya interaksi antara air dan gas magma. Kegiatan formula dengan kandungan SO_2, HCl, HF, dan lain sebagainya menghasilkan kandungan sulfat klorida dan fluorida yang sangat pekat pada air kawah (Sumarti, 1998). Didalam air

danau Kawah Ijen terdapat berbagai macam senyawa terlarut didalamnya, seperti Ca, Al, Fe, Cl, F, SO_4, Na, K, Cu, Zn, Pb, dll. Danau ini mengakibatkan dampak yang sangat signifikan terhadap ekosistem sungai maupun daerah padat penduduk di hilir (Lohr *et al*., 2005).

DAM Kawah Ijen merupakan bendungan beton yang terletak pada tepi barat Kawah Ijen dan dibangun pada jaman penjajahan Belanda tahun 1927 dengan tujuan untuk mengendalikan permukaan air danau agar tidak menyebabkan banjir air asam ke aliran Sungai Banyupahit. Namun, bendungan ini tidak berfungsi karena air tidak pernah mencapai pintu air dan menyebabkan terjadinya rembesan/bocoran di bawah dam (Badan Geologi 2014).

2.3 Fluorida (F)

Fluorida adalah suatu zat non organik, anion monatomik dengan rumus kimia F^- yang biasanya berwarna putih atau tidak berwarna. Fluorida biasanya memiliki rasa pahit yang khas, dan tidak berbau. Fluorida juga sering digunakan sebagai pereaksi kimia dan bahan kimia industri terutama digunakan dalam produksi HF (Hidrogen Fluorida) untuk Fluorokarbon. Pada dasarnya fluorida dikategorikan sebagai basa lemah. Namun fluorida pekat bersifat korosif dan dapat merusak kulit (Dermatitis) dan gigi (Fluorosis) (Wells, 2008).

Fluorida memiliki peran penting bagi kesehatan gigi dan tulang manusia. Jika mengkonsumsi Fluorida dalam dosis yang cukup maka akan meningkatkan kepadatan tulang, mempercepat remineralisasi email gigi, mencegah karies gigi dan osteoporosis (Arlappa, 2013). Sebaliknya, jika Fluorida masuk kedalam tubuh dalam dosis yang banyak akan menyebabkan fluorosis gigi. Perubahan warna email gigi akan semakin jelas terlihat setelah terpapar Fluorida dengan konsentrasi tinggi dan merupakan gejala awal dari Fluorosis gigi (Choubisa, 2001). Sebuah survey yang dilakukan di Rajasthan selatan, India menunjukan bahwa 21% anak – anak dan 36% orang dewasa terkena Fluorosis gigi ketika kandungan Fluorida

yang ada di air minum mencapai 1,5 ppm. Tingkat penderita Fluorosis gigi tertinggi (77,1%) berada di kelompok umur 17-22 tahun (Choubisa, 1996). Sebagai tambahan, dalam sebuah penelitian yang melibatkan 200 orang yang berumur 7 - 40 tahun pada komunitas pedesaan di Lembah Ethiopia, dimana konsentrasi Fluorida pada air berkisar 7,8 sampai 18 mg/L, 100% menunjukan gejala Fluorosis gigi. Menariknya, dalam penelitian ini, konsumsi susu berperan dalam mengurangi gejala Fluorosis (Rango, 2012).

Gejala klinis lain dari Fluorosis termasuk nyeri sendi persisten jangka panjang, gerakan sendi terbatas, dan disfungsi motorik tungkai. Gejala – gejala ini secara signifikan membuat kehidupan pasien menjadi lebih sulit karena masalah kesehatan seperti kelumpuhan (Choubisa, 1996). Fluorosis juga dianggap sebagai masalah kesehatan social public yang berakibat negatif pada kesehatan fisik dan mental pasien serta keluarganya (Kotoky, 2010).

Secara mekanis, Fluorine dapat menurunkan sekresi dosis insulin secara dependen dan menyebabkan resistensi insulin (Chiba, 2012). Respon dari berkurangnya jumlah insulin pada tubuh, kadar osteocalcin juga ikut berkurang yang membuat keadaan Fluorosis tulang yang dialami pasien semakin buruk (Thomas, 1996). Berdasarkan penelitian lain, dilaporkan bahwa 40% pasien dengan Fluorosis endemis menunjukkan gangguan toleransi glukosa dan peningkatan kadar insulin sebagai respon dari konsumsi glukosa secara oral (Trivedi, 1993).

Masuknya Fluorida dalam jumlah besar kedalam tubuh dapat menyebabkan gangguang spesifik pada metabolism otak karena terjadi peningkatan peroksidasi lipid dan penghambatan beberapa enzim neuron penting (Shivarajashankara, 2002). Sebuah studi yang fokus pada masuknya Fluorida selama masa kehamilan menunjukkan bayi yang lahir dari ibu yang terpapar Fluorida dalam jumlah yang banyak selama masa kehamilan menunjukkan perkembangan saraf neonatal yang lebih lambat dibandingkan

dengan bayi yang tidak terpapar Fluorida dalam jumlah banyak (Susheela, 1993). Penelitian juga menunjukkan bahwa anak – anak yang hidup di area dengan kadar Fluorida tinggi memiliki nilai IQ yang secara signifikan lebih rendah dibanding dengan anak – anak yang tinggal di area dengan kadar Fluorida rendah (Choi, 2012).

Masyarakat yang terpapar Fluorida secara terus menerus melalui air dan makanan memiliki risiko terkena penyakit ginjal kronis lebih tinggi (Dharmaratne, 2015). Fluorosis juga telah dikaitkan dengan asma pada pekerja dari pabrik – pabrik aluminium (Søyseth, 1992).

2.4 Baku Mutu Air

Baku mutu air telah diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran air. Air dikelompokkan menjadi empat kelas berdasarkan kualitasnya, yaitu:

- Kelas I: Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku dan air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- Kelas II: Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengaliri pertanamanan, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- Kelas III: Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peterakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- Kelas IV: Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanaman dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

2.5 Analisis Risiko Kesehatan

Analisis risiko adalah sebuah proses untuk mengendalikan situasi atau keadaan dimana organisme, sistim, atau sub/populasi mungkin terpajan bahaya. Proses *risk analysis* meliputi 3 komponen yaitu *risk assessment*, pengelolaan risiko, dan komunikasi risiko. Sedangkan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) adalah sebuah proses yang dimaksudkan untuk menghitung atau memprakirakan risiko pada kesehatan manusia, termasuk juga identifikasi terhadap keberadaan faktor ketidakpastian, penelusuran pada pajanan tertentu, memperhitungkan karakteristik yang melekat pada agen yang menjadi perhatian dan karakteristik dari sasaran yang spesifik. ARKL merupakan pendekatan yang digunakan untuk melakukan penilaian risiko kesehatan di lingkungan dengan output adalah karakterisasi risiko (dinyatakan sebagai tingkat risiko) yang menjelaskan apakah agen risiko/parameter lingkungan berisiko terhadap kesehatan masyarakat atau tidak. Selanjutnya hasil ARKL akan dikelola dan dikomunikasikan kepada masyarakat sebagai tindak lanjutnya (KEMENKES, 2012).

Untuk menghitung intake digunakan persamaan atau rumus yang berbeda. Data yang digunakan untuk melakukan perhitungan dapat berupa data primer (hasil pengukuran konsentrasi agen risiko pada media lingkungan yang dilakukan sendiri) atau data sekunder (pengukuran konsentrasi agen risiko pada media lingkungan yang dilakukan oleh pihak lain yang dipercaya seperti BLH, Dinas Kesehatan, LSM, dll), dan asumsi yang didasarkan pertimbangan yang logis atau menggunakan nilai default yang tersedia. Karakterisasi risiko dilakukan untuk menetapkan tingkat risiko atau dengan kata lain menentukan apakah agen risiko pada konsentrasi tertentu yang dianalisis pada ARKL berisiko menimbulkan gangguan kesehatan pada masyarakat (dengan karakteristik seperti

berat badan, laju ingesti/konsumsi, waktu, frekuensi, durasi pajanan yang tertentu) atau tidak.

2.6 Penelitian Sebelumnya

Analisis Fluorida pada air Sungai Banyupahit, Kecamatan Asembagus telah dilakukan sebelumnya. Hal ini menjadi penting untuk dijadikan rujukan penelitian ini. Adapun hasil dari penelitian sebelumnya antara lain:

No	Peneliti	Judul Penelitian	Hasil dan Pembahasan
1	Huan Zuo, 2018	*Toxic Effects of Fluoride on Organisms*	Jika Fluorida masuk ke dalam tubuh dalam jumlah besar dapat menyebabkan Fluorosis. Gejala klinis dari Fluorosis termasuk nyeri sendi persisten jangka panjang, gerakan sendi terbatas dan disfungsi motorik tungkai.
2	Sri Sumarti, 2017	Formasi Danau Sangat Asam Kawah Ijen, Jawa Timur	Kandungan F pada Kawah Ijen mencapai 1200 ppm. Meski telah dialiri air sungai lain yang bersifat netral, air Sungai Banyuputih dan Banyupahit masih memiliki kadar F yang sangat tinggi. Air sumur warga terkontaminasi F
3	Lohr et al., 2005	*Natural Pollution Caused by the Extremely Acidic Crater Lake* Kawah Ijen*, East Java*, Indonesia	Kandungan F pada air sungai Banyupahit sebesar 11,2 mg/L dan sungai Banyuputih sebesar 18 mg/L