TRIGONOMETRI
ISSN 3030-8496

Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Vol 2 No 1 Tahun 2024.
Prefix DOI : 10.8734/mnmae.v1i2.365

DINAMIKA HIDROTERMAL DI KAWAH IJEN: IMPLIKASI TERHADAP POTENSI BAHAYA DAN PEMANFAATANNYA

Desyana Auralia Azizah[1], Arnita Yulia Sari[1], Griyanora[1], Ahmad Fauzi Hendratmoko
Program Studi Pendidikan Ilmu Pengetahuan Alam, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya
desyanaauralia.22003@mhs.unesa.ac.id, arnitayulia.22009@mhs.unesa.ac.id, griyanora.007@mhs.unesa.ac.id, ahmadhendratmoko@unesa.ac.id*

Abstrak
Artikel ini bertujuan untuk menjelaskan proses pengembangan strategi kreatif dalam memberdayakan masyarakat dan sumber daya lokal untuk mengelola geowisata di kawasan pengembangan geowisata Kawah Ijen di wilayah Bondowoso. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pendekatan kualitatif dan studi literatur untuk mengevaluasi seberapa efektifnya kinerja sumber daya geowisata lokal yang telah bekerja sama dengan institusi di pedesaan dalam menciptakan keunggulan kompetitif yang berkelanjutan dalam pengelolaan geowisata. Salah satu fenomena yang menjadi fokus dalam pengelolaan Geopark Ijen adalah blue fire, yang merupakan salah satu daya tarik utama dalam geowisata di kawasan tersebut.
Kata kunci: Kawah Ijen, Geowisata, Blue Fire

PENDAHULUAN

Kabupaten Bondowoso merupakan salah satu daerah yang sangat kaya akan potensi sumber daya alam berupa pegunungan aktif dan non aktif. di sebelah timur terletak pegunungan Raung dan Ijen. Gunung Raung dan Gunung Ijen yang masih merupakan gunung berapi aktif. Kawah Ijen merupakan salah satu tempat wisata internasional dengan atraksi rakyat Di kawasan Bondowoso banyak terdapat situs megalitikum merupakan peninggalan dari masa megalitikum. Kecamatan Ijen merupakan salah satu kecamatan di Kabupaten Bondowoso yang merupakan pintu masuk kawasan wisata Ijen yang berada di tengah lingkaran raksasa yang dikelilingi oleh pegunungan Kaldera Purba Gunung Ijen, Kecamatan Ijen mempunyai segudang kekayaan tempat wisata, seperti Bukit Para Layang Megasari, Aliran Lava Plalangan, Air Terjun Gentongan, Lava Blawan, Pemandian Air Panas Blawan, Kawah Wurung, dan lain-lain kawasan wisata ini mudah dijangkau, dari arah barat melalui Kota Surabaya (Pusat Kota Jawa Timur), ke arah timur melalui Kabupaten Banyuwangi, dan dari Pulau Bali yang sangat terkenal sebagai destinasi wisata dunia (Mastika et al., 2023).

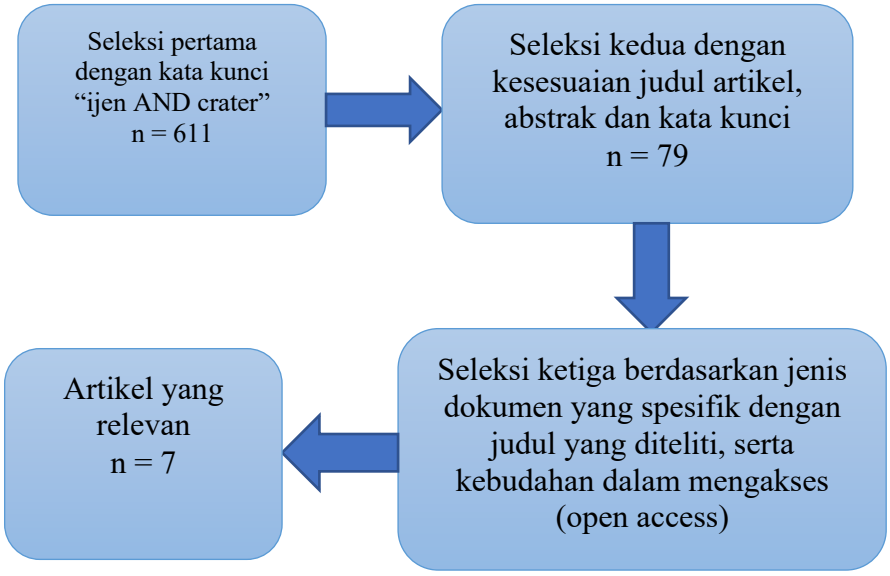
Kawah Ijen, sebagai salah satu situs geologi paling menakjubkan di Indonesia, menawarkan lebih dari sekadar pemandangan yang menakjubkan. Di balik keindahannya, tersembunyi dinamika geokimia yang memikat, salah satunya adalah fenomena bluefire yang mempesona. *Bluefire*, yang terbentuk dari pembakaran gas belerang yang keluar dari kawah, telah menjadi daya tarik unik bagi para pengunjung dan peneliti selama bertahun-tahun. Namun, di balik pesonanya, *bluefire* Kawah Ijen juga membawa implikasi serius terhadap keamanan dan potensi bahaya bagi lingkungan sekitarnya. Pemahaman mendalam tentang dinamika geokimia

TRIGONOMETRI
ISSN 3030-8496
Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Vol 2 No 1 Tahun 2024.
Prefix DOI : 10.8734/mnmae.v1i2.365

bluefire tidak hanya penting untuk keperluan penelitian ilmiah, tetapi juga untuk menginformasikan langkah-langkah mitigasi risiko dan pengembangan pemanfaatan yang berkelanjutan (Hermawan, 2018).

Dalam artikel ini, kami akan mengeksplorasi lebih jauh tentang dinamika hidrotermal di Kawah Ijen, menyoroti implikasi potensialnya terhadap bahaya serta cara-cara pemanfaatannya yang dapat diintegrasikan dengan prinsip-prinsip keberlanjutan. Dengan demikian, artikel ini bertujuan untuk memberikan wawasan yang komprehensif tentang fenomena alam yang menarik ini, sambil merangsang pemikiran tentang upaya-upaya untuk menjaga keseimbangan antara eksplorasi dan perlindungan lingkungan.

METODE PENELITIAN



Dalam artikel ini, peneliti mengadopsi pendekatan kualitatif. Sesuai dengan pandangan (Anggito & Setiawan, 2018) pendekatan kualitatif adalah suatu metode penelitian yang mengeksplorasi fenomena alami dengan tujuan untuk menginterpretasikan kejadian yang terjadi, melibatkan berbagai macam metode penelitian. Metode yang diterapkan dalam penulisan artikel ini adalah studi literatur, yang merupakan salah satu jenis penelitian kualitatif. Menurut Rusmawan (2019:104), studi literatur adalah suatu teknik pengumpulan data yang melibatkan pencarian dan pembacaan sumber-sumber tertulis seperti buku atau literatur yang memuat teori-teori terkait. Pendekatan ini serupa dengan cara mengumpulkan informasi dan pengetahuan dari berbagai sumber, seperti buku, karya tulis, dan sumber lainnya yang relevan dengan objek penelitian, sebagaimana yang dijelaskan oleh (Rusmawan, 2019).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil studi literatur disajikan dalam bentuk grafik, tabel, atau deskriptif. Pencarian artikel menggunakan kata kunci *"ijen AND crater"* pada database SCOPUS dan menemukan 611 artikel. Artikel-artikel tersebut kemudian diseleksi dan disaring berdasarkan judul, kata kunci, dan abstraknya untuk memastikan kesesuaian dengan

TRIGONOMETRI
ISSN 3030-8496
Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Vol 2 No 1 Tahun 2024.
Prefix DOI : 10.8734/mnmae.v1i2.365

topik kajian. Dari proses ini, 7 artikel terpilih untuk dikaji lebih mendalam dan dievaluasi kembali. Daftar artikel yang terpilih disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. *Overview Of The Study*

No	Study	Metode
1	(Inguaggiato et al., 2020)	Metode penelitian yang digunakan melibatkan pengambilan sampel air dan prosedur laboratorium untuk menganalisis Rare Earth Elements (REE), Al, Fe, Ba, Mn, dan Sr yang terlarut dalam air dan mineral. Analisis dilakukan menggunakan Q-ICP-MS 7500ce *(Agilent)* dan dikalibrasi dengan 11 titik kalibrasi pada konsentrasi yang berbeda untuk setiap unsur. Tujuan dari metode ini adalah untuk menentukan kandungan unsur-unsur tersebut dalam air dan mineral dari Danau Kawah Ijen.
2	(Berlo et al., 2020)	Pemantauan fluida *seepage* dari sistem magmatik-hidrotermal Gunung Kawah Ijen, Indonesia. Tujuannya adalah untuk menggunakan komposisi fluida seepage sebagai alat pemantauan
3	(Trunk & Bernard, 2008)	Algoritma two-channel atau split-window yang dirancang untuk mengoreksi kondisi atmosfer dalam mengolah gambar termal yang diambil oleh *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER).* Tujuan dari penggunaan metode ini adalah untuk mengukur suhu dan memantau perubahan termal pada danau kawah gunung berapi. Dengan menggunakan algoritma ini, data suhu yang diperoleh dari gambar ASTER dapat dibandingkan dengan data suhu yang diukur secara langsung di lapangan guna memvalidasi hasilnya.
4	(Rott et al., 2019)	Karakterisasi sifat-sifat litologi dominan dari dinding kawah di *Boiling Lake* lalu mengevaluasi bagaimana proses alterasi yang sedang berlangsung dapat memengaruhi sifat-sifat petrofisika batuan tersebut, seperti porositas dan permeabilitas dan mengkaji bagaimana material batuan dinding yang jenuh air dan tidak terkonsolidasi akan berperilaku saat mengalami dekompresi secara cepat dari kondisi tekanan dan suhu yang sedikit lebih tinggi. Tujuannya untuk memahami mekanisme pemicu dan proses ledakan pada erupsi hidrotermal di danau kawah yang tidak stabil secara umum sehingga dapat mengevaluasi potensi bahaya erupsi hidrotermal di masa depan dan dampaknya terhadap wisatawan dan pemandu wisata.
5.	(Takano et al., 2004)	Survei batimetri dan analisis geo-kimia. Survei

Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Vol 2 No 1 Tahun 2024.
Prefix DOI : 10.8734/mnmae.v1i2.365

		batimetri dilakukan dengan menggunakan teknik pemetaan akustik untuk mengukur morfologi dan volume danau Kawah Ijen. Analisis geo-kimia melibatkan penentuan konsentrasi dan distribusi unsur-unsur dalam air danau pada berbagai kedalaman menggunakan metode ICP-AES, ICP-MS, dan HPLC. Tujuannya untuk menyelidiki aktivitas vulkanik danau Kawah Ijen melalui pemantauan politionat sulfur serta mengidentifikasi dan mengkarakterisasi kolam belerang cair yang sudah tidak aktif di dasar danau yang sebelumnya terbentuk akibat aktivitas vulkanik.
6	(Permanadewi et al., 2024)	Penilaian kuantitatif untuk menilai nilai ilmiah, nilai edukasi potensial, nilai pariwisata potensial, dan risiko kerusakan dari 12 geosite (lokasi bersejarah geologi) di Geopark Ijen, Kabupaten Banyuwangi. Tujuannya untuk menginventarisasi dan melakukan penilaian kuantitatif terhadap geosite-geosite di Geopark Ijen, Kabupaten Banyuwang serta dapat mendukung upaya pemerintah daerah dan nasional dalam mempromosikan pembangunan ekonomi melalui geowisata di Geopark Ijen.
7	(Mastika et al., 2023)	Studi observasi dan pengumpulan data sekunder terkait karakteristik geologi, geomorfologi, geodiversity, biodiversity, dan budaya di Geopark Ijen. Pengumpulan data primer melalui wawancara mendalam dengan subjek penelitian dan informan, seperti Kepala Dinas Pariwisata dan Olahraga, Ketua Pengelola Harian Geopark Ijen, dan aktor lainnya. Konfirmasi dan klarifikasi data dan informasi yang ada secara berkelanjutan untuk memastikan validitas data. Analisis kualitatif, naratif, dan deskriptif untuk memahami realitas sosial masyarakat lokal dalam pemberdayaan masyarakat di setiap komponen *Triple Helix* dan pengelolaan Geopark Ijen. Tujuannya untuk mengeksplorasi strategi kreatif melalui manajemen kolaboratif antara komponen Triple Helix, masyarakat lokal, pengelola Geopark Ijen, dan Dinas Pariwisata dalam pemberdayaan masyarakat dan pengembangan geowisata di area Geopark Ijen.

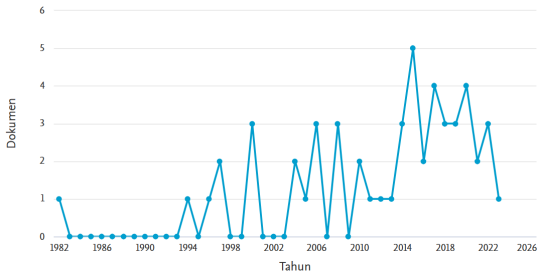
Pencarian artikel menggunakan kata kunci *"ijen AND crater"* pada database SCOPUS menghasilkan beberapa tipe dokumen. Daftar tipe dokumen yang terdeteksi disajikan dalam Tabel 2. Kata Kunci tersebut juga menghasilkan data dokumen yang telah terbit dari tahun 2004 hingga 2023 yang tercantum pada gambar 1, serta terdapat dokumen yang telah terbit berdasarkan wilayah yang telah dicantumkan pada gambar 2.

TRIGONOMETRI
ISSN 3030-8496

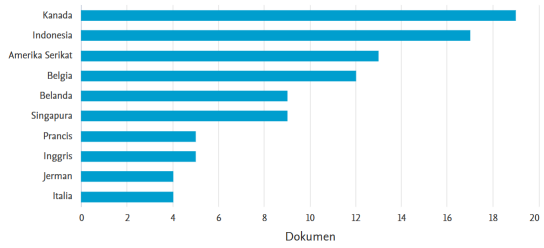
Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Vol 2 No 1 Tahun 2024.
Prefix DOI : 10.8734/mnmae.v1i2.365

Table 1. Tipe Dokumen Terdeteksi Berdasarkan Kata Kunci

No.	Scores
Article	453
Book chapter	57
Review	43
Conference paper	42
Book	9
Letter	2
Editorial	2
Note	1
Data Paper	1
Conference review	1



Gambar 1. Data Penerbit Dokumen Per Tahun Berdasarkan Kata Kunci



Gambar 2. Data Penerbit Artikel Berdasarkan Berdasarkan Kata Kunci Menurut wilayah

Berdasarkan literatur tersebut Kawah ijen merupakan sebuah gunung berapi yang terletak di Jawa Timur, Indonesia. Kawah Ijen memiliki ciri khas yakni terdapat danau kawah yang terbentuk dari kaldera gunung berapi tersebut. Danau Kawah Ijen ini memiliki air yang sangat asam dengan pH sekitar 0 dengan konsentrasi yang cukup tinggi. Kawah Ijen ini memproduksi gas belerang yang terbakar secara alami dan menciptakan pemandangan yang sangat spektakuler pada malam hari. Dinamika hidrotermal di Kawah Ijen ini mulai di teliti pada awal abad ke-20, penelitian oleh Caron (1914) dan Hartmann (1917) telah mengungkapkan karakteristik kimia dan fisika air panas yang ada pada Kawah Ijen (Caudron et al., 2015).

TRIGONOMETRI
ISSN 3030-8496
Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Vol 2 No 1 Tahun 2024.
Prefix DOI : 10.8734/mnmae.v1i2.365

Berdasarkan tinjauan literatur, menurut (Caudron et al., 2015) air kawah ijen berasal dari air hujan dan air tanah yang masuk ke dalam sistem hidrotermal. Air ini berinteraksi dengan gas vulkanik dan batuan disekitarnya, sehingga menyebabkan komposisi air ini menjadi sangat asam dan kaya akan mineral, terutama belerang. Selain itu di bawah permukaan kawah ijen terdapat magma yang memanaskan air menjadi panas dan terionisasi dan memungkinkan terjadi reaksi kimia antara air dan batuan sehingga dapat menghasilkan mineral tertentu.

Kawah Ijen disebut gunung yang berbahaya di Indonesia. Danau Kawah Ijen ini rentan terhadap letusan freatik, letusan freatik ini merupakan letusan uap air dan gas yang terjadi secara tiba-tiba yang diakibatkan oleh tekananan yang meningkat di dalam sistem hidrotermal. Danau Kawah Ijen yang memiliki tingkat keasaman yang tinggi sehingga dapat membahayakan organisme dan manusia, melakukan kontak langsung dengan air danau dapat mengakibatkan iritasi pada kulit, mata dan saluran pernapasan. Selain itu danau Kawah Ijen ini menghasilkan emisi gas beracun terutama gas belerang diokasida, jika terhirup dalam jumlah yang cukup besar maka dapat menyebabkan kesulitan bernafas dan dapat berpotensi membahayakan nyawa. Selain itu berdasarkan tinjauan literatur, menurut (Löhr et al., 2005) terjadi letusan besar pada tahun 1817 yang mengaluarkan aliran lumpur yang mengalir dan menghancurkan kawasan pertanian di dataran pantai Banyuwangi. Terdapat daerah aliran sungai yang dialiri oleh danau kawah ijen, yang dimana mata air hidrotermal dengan pH rendah dan kandungan kimia lainnya dapat memberikan ancaman bagi lingkungan dan ekosistem setempat. Menurut (Rotterdam-Los et al., 2008) tingginya keasaman air yang berasal dari danau kawah ijen dapat mengakibatkan pengasaman tanah yang berat di atmosfer sehingga berdampak pada sifat dan proses tanah. Tingginya keasaman air ini berasal dari interaksi antara air meteorik dan gas yang kaya akan sulfur, klorin, dan fluor yang keluar dari magma yang mendingin. Hal ini telah terbukti bahwa masuknya air asam secara terus menerus dapat menyebabkan ancaman bagi ekosistem, terbukti pada tahun 1999-2001 yang dimana lahan tersebut berieigasi bahkan mengalami penurunan hasil panen (Rotterdam-Los et al., 2008).

Dilain sisi kawah ijen memiliki berbagai manfaat bagi manusia dan lingkungan sekitarnya. Berdasarkan tinjauan literatur, menurut (Inguaggiato et al., 2020) air danau asin hyperacid Kawah Ijen dipilih untuk mereplikasi percobaan. Kawaha Ijen dipilih karena danau yang memiliki nilai pH 0 dan memiliki konsentrasi AI, Fe, SO4 dan Cl yang tinggi. Selain itu menurut (Mastika et al., 2023), Kawah Ijen merupakan tempat wisata internasional dengan atraksi rakyat penambang belerang dan pesona bluefire di malam hari. Masyarakat setempat memanfaatkan lereng pegunungan Kawah Ijen untuk menanam kopi jenis Arabika yang memiliki ciri khas kopi Ijen. Kajian tersebut juga didukung oleh (Permanadewi et al., 2024) menyebutkan bahwa geopark ijen memiliki gas beleraang dengan cahaya biru yang unik, hal ini dapat dinikmati ketika malam dan menjelang fajar. Pengelolaan geopark ijen ini ditetaapkan melalui Keputusan Gubernur Jawa Timur pada tahun 2020 daan ditetapkan oleh UNESCO pada tahun 2023.

KESIMPULAN

Kawah Ijen merupakan gunung berapi di Jawa Timur yang memiliki danau kawah yang terbentuk dari kaldera gunung tersebut. Danau ini memiliki air yang sangat asam dengan pH sekitar 0 dan konsentrasi mineral yang tinggi, terutama belerang. Di bawah permukaan terdapat magma yang memanaskan air tersebut dan

menyebabkan reaksi kimia dengan batuan sekitar, menghasilkan mineral tertentu. Kawah Ijen disebut gunung yang berbahaya karena rentan terhadap letusan freatik dan memiliki air danau serta gas beracun yang dapat membahayakan lingkungan dan makhluk hidup. Keasaman air dari danau dapat mengakibatkan pengasaman tanah dan berdampak pada ekosistem sekitar. Di sisi lain, Kawah Ijen memiliki manfaat seperti menjadi tempat wisata internasional dengan pemandangan api biru dari gas belerang yang terbakar secara alami. Masyarakat setempat juga memanfaatkan lerengnya untuk menanam kopi Arabika. Kawah Ijen telah ditetapkan sebagai geopark oleh Pemerintah Indonesia dan UNESCO pada tahun 2023 karena keunikan alamnya.

REFERENSI

Anggito, A., & Setiawan, J. (2018). Metodologi Penelitian Kualitatif. CV Jejak.

Berlo, K., van Hinsberg, V., Suparjan, Purwanto, B. H., & Gunawan, H. (2020). Using the composition of fluid seepage from the magmatic-hydrothermal system of Kawah Ijen volcano, Indonesia, as a monitoring tool. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 399(March 2018), 106899. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2020.106899

Caudron, C., Syahbana, D. K., Lecocq, T., Van Hinsberg, V., McCausland, W., Triantafyllou, A., Camelbeeck, T., Bernard, A., & Surono. (2015). Kawah Ijen volcanic activity: a review. Bulletin of Volcanology, 77(3). https://doi.org/10.1007/s00445-014-0885-8

Hermawan, H., & Brahmanto, E. (2018). Geotourism: Conservation-based tourism planning. Central Java: PT Nasya Expanding Management

Inguaggiato, C., Pappaterra, S., Peiffer, L., Apollaro, C., Brusca, L., De Rosa, R., Rouwet, D., Caudron, C., & Suparjan. (2020). Mobility of REE from a hyperacid brine to secondary minerals precipitated in a volcanic hydrothermal system: Kawah Ijen crater lake (Java, Indonesia). Science of the Total Environment, 740, 140133. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140133

Löhr, A. J., Bogaard, T. A., Heikens, A., Hendriks, M. R., Sumarti, S., Van Bergen, M. J., Van Gestel, C. A. M., Van Straalen, N. M., Vroon, P. Z., & Widianarko, B. (2005). Natural pollution caused by the extremely acidic crater lake Kawah Ijen, East Java, Indonesia. Environmental Science and Pollution Research, 12(2), 89–95. https://doi.org/10.1065/espr2004.09.118

Mastika, I. K., Harsono, S. S., Khristianto, W., Oktawirani, P., & Hutama, P. S. (2023). Creative strategies of local resources in managing geotourism in the Ijen Geopark Bondowoso, East Java, Indonesia. International Journal of Geoheritage and Parks, 11(1), 149–168. https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2023.01.002

TRIGONOMETRI
ISSN 3030-8496

Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Vol 2 No 1 Tahun 2024.
Prefix DOI : 10.8734/mnmae.v1i2.365

Permanadewi, S., Samodra, H., Irzon, R., Prabowo, A., & Ansori, C. (2024). Quantitative assessment for geosites of the Ijen Geopark in Banyuwangi Regency, East Java, Indonesia. International Journal of Geoheritage and Parks, 12(1), 63–74. https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2024.01.003

Rott, S., Scheu, B., Montanaro, C., Mayer, K., Joseph, E. P., & Dingwell, D. B. (2019). Hydrothermal eruptions at unstable crater lakes: Insights from the Boiling Lake, Dominica, Lesser Antilles. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 381, 101–118. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2019.05.020

Rusmawan, U. (2019). Teknik Penulisan Tugas Akhir dan Skripsi Pemrograman. PT Elex Media Komputindo.

Takano, B., Suzuki, K., Sugimori, K., Ohba, T., Fazlullin, S. M., Bernard, A., Sumarti, S., Sukhyar, R., & Hirabayashi, M. (2004). Bathymetric and geochemical investigation of Kawah Ijen Crater Lake, East Java, Indonesia. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 135(4), 299–329. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2004.03.008

Trunk, L., & Bernard, A. (2008). Investigating crater lake warming using ASTER thermal imagery: Case studies at Ruapehu, Poás, Kawah Ijen, and Copahué Volcanoes. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 178(2), 259–270. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2008.06.020

van Rotterdam-Los, A. M. D., Heikens, A., Vriend, S. P., van Bergen, M. J., & van Gaans, P. F. M. (2008). Impact of acid effluent from Kawah Ijen crater lake on irrigated agricultural soils: Soil chemical processes and plant uptake. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 178(2), 287–296. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2008.06.027

Grandey, A.A., Fisk, G.M., & Steiner, D.D. (2005). Must "Service with a Smile" Be Successful? The Moderating Role of Personal Control for American and French employees. Journal of Applied Psychology, 90 (1), 893-904.