



## KAJIAN LITERATUR BERBASIS SISTEM PERINGATAN DINI MITIGASI BENCANA GUNUNG MELETUS

Adinda Ayu Hudiyana Zamil, Tutut Nurita, Nur Indah Fitriani, Pamellajoan  
Presidena

S1 Program Studi Pendidikan Ilmu Pengetahuan Alam, Fakultas Matematika dan  
Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya

[adinda.22047@mhs.unesa.ac.id](mailto:adinda.22047@mhs.unesa.ac.id), [tututnurita@unesa.ac.id](mailto:tututnurita@unesa.ac.id), [nur.22050@mhs.unesa.ac.id](mailto:nur.22050@mhs.unesa.ac.id),  
[pamellajoan.22060@mhs.unesa.ac.id](mailto:pamellajoan.22060@mhs.unesa.ac.id)

### ABSTRAK

Bencana gunung meletus merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia. Hal ini dikarenakan Indonesia dikelilingi oleh tiga lempeng tektonik yang ada di dunia. Bahaya akibat letusan gunung berapi dapat berupa awan panas, lontaran material, hujan abu, tsunami, dan banjir lahar. Letusan gunung berapi ini dapat menyebabkan adanya korban jiwa dan kerugian harta benda. Oleh karena itu, perlu adanya mitigasi bencana berupa sistem peringatan dini untuk mengurangi risiko dan dampak yang terjadi akibat letusan gunung berapi. Tujuan dari *literatur review* ini adalah untuk memberikan pemahaman pentingnya literasi kebencanaan untuk masyarakat agar mengerti tentang apa yang seharusnya dilakukan pada saat bencana belum terjadi (prabencana), saat bencana terjadi (tanggap darurat), dan saat pasca bencana. *Database* yang digunakan untuk pencarian adalah SCOPUS yang kemudian diseleksi berdasarkan judul, kata kunci, dan abstrak untuk kesesuaian dengan topik kajian sehingga didapatkan 9 artikel yang relevan. Dari *literatur review* yang dilakukan didapatkan hasil bahwa telah banyak dikembangkan sistem peringatan dini untuk mitigasi bencana gunung meletus di berbagai negara. Sistem peringatan dini tersebut mengkombinasikan sensor dan teknologi untuk mendeteksi adanya aktivitas gunung berapi yang memicu adanya letusan sehingga dapat mengurangi risiko dan dampak yang akan terjadi. Sistem-sistem tersebut seperti pemantauan InSAR, aplikasi WebGIS, dan sistem peringatan dini otomatis yang mengkombinasikan data dari kamera termal, radar cuaca, dan sensor infrasonik.

*Kata Kunci* : Gunung Meletus, Mitigasi Bencana, Peringatan Dini

### PENDAHULUAN

Indonesia negara yang dikelilingi oleh tiga lempeng tektonik yang ada di dunia, yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Zona pertemuan antara lempeng Indo Australia dengan lempeng Eurasia di lepas pantai barat Sumatera, selatan Jawa dan Nusa Tenggara, sedangkan dengan lempeng Pasifik di bagian utara pulau Papua dan Halmahera. Sehingga membuat Indonesia menjadi



negara yang rawan akan terjadinya bencana alam seperti gempa bumi dan tsunami. Indonesia juga berada dalam jalur rangkaian gunung api yang aktif di dunia atau biasa disebut "*ring of fire*", sehingga menjadikan Indonesia sebagai negara yang rawan akan gunung meletus juga. Berdasarkan fakta mengenai posisi geografis Indonesia di atas, maka Indonesia terletak di daerah rawan bencana paling aktif di dunia (Permatasari et al., 2022). Setidaknya ada 12 ancaman bencana yang dikelompokkan dalam bencana geologi (gempa bumi, tsunami, gunung api, gerakan tanah/tanah longsor), bencana hidrometeorologi (banjir, banjir bandang, kekeringan, cuaca ekstrem, gelombang ekstrem, kebakaran hutan dan lahan), dan bencana antropogenik (epidemi wabah penyakit dan gagal teknologi-kecelakaan industri).

Wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI) secara geografis sebagian besar terletak pada kawasan rawan bencana alam dan memiliki banyak gunung berapi yang masih aktif. Banyak gunung berapi mempunyai periode dormansi selama beberapa dekade berabad-abad antara letusan dan letusan gunung berapi dengan sedikit catatan sejarah aktivitas yang tinggi bermasalah karena populasi dan keadaan darurat manajer tidak memiliki pengalaman vulkanisme, contohnya termasuk letusan Chaitén (Chili) di 2008, Sinabung (Indonesia) pada tahun 2010 dan Soufrière Hills (Montserrat) pada tahun 1995 (Biggs, et al., 2021). Mengingat hal tersebut tentunya NKRI berpotensi sering tertimpa bencana gunung berapi dan bencana gempa bumi. Pengetahuan akan bahaya gunung meletus perlu dimiliki oleh penduduk Indonesia, pemerintah bisa melakukan sosialisasi tentang bencana alam gunung meletus melalui penyuluhan yang ditujukan kepada penduduk Indonesia. Letusan gunung berapi menimbulkan banyak bahaya langsung dan tidak langsung. Aliran air disebabkan oleh tingginya curah hujan di sisi gunung berapi dapat diubah menjadi aliran puing. Aliran cepat material vulkanik dan campuran air yang dipicu oleh curah hujan merupakan bahaya tidak langsung yang serius dari letusan gunung berapi (Hapsari et al., 2020).

Himbauan ini ditujukan kepada seluruh masyarakat Indonesia, terutama yang tinggal di wilayah dengan aktivitas gunung berapi tinggi. Nasehat ini mencakup pengetahuan tentang letusan gunung berapi, tahapan dari letusan gunung yang akan terjadi hingga letusan, dan cara mempersiapkan diri menghadapi letusan gunung berapi. Jika terjadi letusan gunung berapi, penting untuk mengetahui ciri-ciri letusan gunung berapi. Tidak hanya orang dewasa saja yang perlu mempelajari persiapan dan ciri-ciri letusan gunung berapi, anak-anak juga perlu mempelajari persiapan dan ciri-ciri letusan gunung berapi. Bencana alam seperti letusan gunung berapi bisa terjadi kapan saja, sehingga semua kalangan harus diajarkan bagaimana waspada dan kesiapsiagaan. Prediksi hal ini, pendekatan perencanaan tata ruang berbasis pencegahan bencana digalakkan, terutama untuk mengurangi jumlah kematian dan kerusakan harta benda akibat letusan gunung berapi. Kesiapsiagaan bencana merupakan kebutuhan mendesak bagi masyarakat Indonesia yang tinggal di daerah rawan bencana. Tujuan dari pembatasan kerusakan adalah untuk bersiap menghadapi berbagai bencana alam yang kejadiannya tidak dapat direncanakan. Mitigasi



merupakan serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik dan penyadaran, serta peningkatan kemampuan dalam mengatasi ancaman bencana. Permasalahan yang terkait dengan kesiapsiagaan bencana harus dipertimbangkan secara rutin dari waktu ke waktu untuk meningkatkan ketahanan masyarakat dalam menghadapi bencana. Peningkatan sistem pencegahan bencana di Indonesia memerlukan komunikasi dan koordinasi yang baik dengan masing-masing pemerintah daerah.

Oleh karena itu, perlu adanya kerja sama di daerah dalam menghadapi bencana yang tidak diketahui kapan akan terjadi. Observasi juga dapat dilakukan di beberapa lokasi dan stasiun pemantauan untuk memberikan informasi kepada masyarakat dan memberikan update status aktivitas pegunungan secara berkala. Berdasarkan penjelasan di atas, maka tujuan artikel ini adalah untuk memahami pentingnya literasi bencana bagi masyarakat lokal untuk memahami kapan bencana belum terjadi (prabencana) dan kapan bencana sudah terjadi (respons darurat). Hal ini diharapkan dapat menciptakan rasa tanggung jawab, kesiapsiagaan dan kemandirian masyarakat lokal jika terjadi bencana, mengurangi risiko bencana dan meminimalkan korban jiwa.

## METODE

Metode tinjauan yang digunakan dalam artikel ini adalah sistem *Literatur Review*. Jenis validasi yang digunakan adalah validasi pemetaan (Grant & Booth, 2009). Proses tinjauan pustaka ini dilakukan untuk mencari artikel penelitian yang dipublikasikan dengan menggunakan kajian sistematis yang transparan, mengevaluasinya melalui ekstraksi dan analisis, serta melakukan langkah terakhir yaitu sintesis (Robinson & Lowe, 2015). Pencarian database artikel *Literatur Review* ini dilakukan pada tanggal 21 Maret 2024. Database yang digunakan untuk pencarian artikel adalah SCOPUS. Alasan penggunaan database ini adalah karena aksesnya yang terbuka dan artikelnya mudah diunduh sehingga bisa mendapatkan informasi yang komprehensif tentang mitigasi bencana di era 4.0 guna meningkatkan kualitas pengetahuan, dan mendapatkan informasi yang lebih banyak dan terpercaya.

Pada tahap pertama, seleksi dimulai dengan pencarian artikel menggunakan kata kunci "volcano AND eruption AND mitigation AND system" pada database SCOPUS dan menemukan 93 artikel. Artikel-artikel ini kemudian diseleksi dan disaring berdasarkan judul, kata kunci, dan abstraknya untuk memastikan kesesuaian dengan topik kajian. Dari proses ini, 22 artikel terpilih untuk dikaji lebih mendalam dan dievaluasi kembali. Pada pencarian artikel, yang diseleksi pada penerbitan antara tahun 2019-2024. Perbedaan tahapan pencarian dijelaskan dalam Gambar 1, sedangkan daftar artikel yang terpilih disajikan dalam Tabel 1.



Gambar 1. Tahapan seleksi dan penyaringan artikel

Tabel 1. Overview Of The Study

No.	Study	Metode
1.	Biggs et al. (2021)	Analisis data InSAR, pengembangan sistem klasifikasi gambar, pendekatan otomatis berbasis machine learning, dan penggunaan teknik deep learning untuk memahami dan menginterpretasi data deformasi gunung berapi di Turki.
2.	Permatasari et al. (2023)	Pengembangan dan evaluasi aplikasi WebGIS untuk mendukung mitigasi bahaya vulkanik di sisi selatan Gunung Merapi.
3.	Mereu et al. (2023)	Pengembangan sistem peringatan dini otomatis yang disebut Paroxysmal Early Warning (PEW) yang menggabungkan data dari kamera termal, jaringan infrasonik, dan radar cuaca.
4.	Widiwijayanti et al. (2024)	Pengembangan dan pemeliharaan Global Volcano Monitoring Infrastructure Database (GVMID) sebagai sumber data yang terus diperbarui dan berguna bagi komunitas vulkanologi global.
5.	Hapsari et al. (2020)	Pengembangan sistem peringatan bencana aliran debris menggunakan pendekatan data mining dan algoritma



---

	klasifikasi Naïve Bayes Classifier (NBC) berbasis data curah hujan, radar cuaca polarimetri X-band, faktor topografi, dan jenis tanah sebagai prediktor.
6. Centorrino et al. (2021)	Pengembangan dan penerapan algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) untuk mengoptimalkan konfigurasi penghalang buatan dalam mitigasi risiko aliran lava.
7. Bonaccorso & Aloisi (2021)	Pendekatan yang komprehensif dan terstruktur dalam menganalisis deformasi tanah dan perilaku gunung api Etna selama periode 40 tahun terakhir.
8. Fujita et al. (2020)	Pembangunan sistem basis data vulkanologi Jepang yang terintegrasi, yang disebut Japan Volcanological Data Network (JVDN).
9. Nagahara et al. (2022)	Menggabungkan pengamatan muografi multi-direksional, rekonstruksi densitas 3D dengan inversi linier, serta survei topografi dan geologi untuk menginterpretasikan struktur internal kerucut skoria.

---

Artikel-artikel yang digunakan memiliki fokus pada sistem mitigasi bencana gunung meletus, guna meningkatkan informasi terkait peringatan dini terhadap bencana gunung meletus. Hasil seleksi yang diterima sebanyak 9 artikel. Proses pencarian referensi tambahan untuk kajian tinjauan literatur ini terdiri dari beberapa hal yang diperlukan untuk informasi tambahan dalam *Article Literature Review* yang dibuat untuk kerangka konseptual baru sistem peringatan dini terhadap mitigasi bencana gunung Meletus. Data dikumpulkan dengan menggunakan ekstraksi data, meliputi informasi ukuran sampel/jumlah informan, desain penelitian, dan metode penelitian yang digunakan. Kemudian, data yang dikumpulkan perlu diatur untuk mengidentifikasi jawaban dari literatur ini dan merancang kategori yang lebih luas dengan membandingkan hasil dari literatur.



## HASIL DAN PEMBAHASAN

Kesiapsiagaan bencana merupakan suatu langkah yang sangat perlu dibenahi sebagai titik tolak utama dalam penanggulangan bencana. Sejalan dengan tujuan utama yaitu pengurangan atau penghapusan korban jiwa dan kerugian yang mungkin terjadi, maka penekanan harus diberikan pada tahap prabencana, khususnya pada penekanan atau pengurangan kegiatan yang disebut mitigasi. Pada prinsipnya kerusakan harus dibatasi pada semua bencana, baik bencana alam maupun bencana akibat ulah manusia (man-madebencana). Tujuan kesiapsiagaan bencana pada umumnya adalah untuk mengatasi atau mengurangi kerugian, baik korban jiwa maupun harta benda, akibat kemungkinan terjadinya bencana yang mempengaruhi kehidupan dan aktivitas masyarakat. Penilaian risiko (*risk assessment*) harus dilakukan untuk menentukan rencana atau strategi mitigasi yang tepat dan akurat (Wekke, 2021).

Berdasarkan tinjauan literatur, ada beberapa sistem peringatan dini yang efektif untuk mencegah bencana gunung berapi telah dikembangkan di berbagai negara. Sistem ini biasanya menggunakan kombinasi sensor dan teknologi seperti seismometer, pengukur deformasi tanah, kamera termal, dan radar cuaca. Data dari sensor tersebut diolah dan dianalisis untuk mendeteksi tanda-tanda aktivitas gunung berapi yang dapat memicu letusan. Seperti halnya menurut Biggs et al. (2021) dengan sistem pemantauan InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar). Sistem ini menggunakan data satelit untuk mengukur deformasi tanah di sekitar gunung berapi. Deformasi tanah dapat menjadi tanda awal adanya aktivitas gunung berapi yang dapat memicu terjadinya letusan. Tidak hanya itu, beberapa sistem peringatan dini yang dikembangkan di berbagai negara seperti halnya pembuatan aplikasi WebGIS untuk mendukung mitigasi bahaya vulkanik di sisi selatan Gunung Merapi (Permatasari et al., 2023) menjadi bentuk upaya dalam pencegahan bencana gunung meletus. Penelitian oleh Mereu et al. (2023) menunjukkan bahwa sistem peringatan dini otomatis yang menggunakan kombinasi data dari kamera termal, radar cuaca, dan sensor infrasonik dapat memberikan informasi yang berharga dalam memprediksi aktivitas letusan gunung berapi di Gunung Etna, Italia. Sistem ini mampu mendeteksi pembentukan awal kolom erupsi selama letusan lava setidaknya satu atau dua jam sebelumnya, sementara radar cuaca dapat menilai peningkatan aktivitas letusan secara cepat dan memberikan informasi tentang laju emisi massa. Dengan menggunakan pendekatan Bayesian-weighting, sistem ini dapat menghasilkan tingkat peringatan yang berbeda untuk mengidentifikasi fase letusan yang berbeda dengan lebih baik. Selain itu, penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi sistem peringatan dini yang berbeda memberikan peringatan awal dari aktivitas letusan gunung berapi di Gunung Etna. Sistem ini diharapkan dapat mengubah cara pemantauan gunung berapi dilakukan dan meningkatkan sistem peringatan dini dan ramalan waktu nyata dalam kasus letusan eksplosif. Integrasi data dari berbagai sensor dan teknologi pemantauan dapat membantu dalam memperkirakan kecepatan aliran kolom erupsi, yang merupakan faktor kunci dalam



meramalkan dispersi kolom erupsi gunung berapi dan mengurangi risiko bagi lalu lintas udara.

Dari beberapa hasil kajian literatur terkait sistem peringatan dini yang memungkinkan efektif di Indonesia terhadap mitigasi bencana gunung meletus, beberapa diantaranya menggunakan sistem peringatan dini seperti halnya sistem pemantauan gas vulkanik yang diperlukan untuk mengukur kadar gas vulkanik yang dilepaskan dari gunung berapi. Kemudian, kadar gas vulkanik dapat menjadi indikasi bahwa gunung berapi sedang aktif dan berpotensi erupsi. Selanjutnya, sistem peringatan dini yang efektif digunakan sebagai upaya mitigasi bencana adalah sistem pemantauan seismik, dimana sistem ini menggunakan seismometer untuk mendeteksi gempa bumi di sekitar gunung berapi. Dengan begitu, gempa bumi dapat menjadi indikasi awal aktivitas gunung berapi yang dapat berujung pada erupsi.

Sistem peringatan dini gunung berapi (SPDM) berperan penting dalam mengurangi risiko dan dampak letusan gunung berapi. SPDM memungkinkan deteksi dini aktivitas gunung berapi seperti: Deformasi tanah, pelepasan gas, dan peningkatan aktivitas seismik. Informasi ini dapat digunakan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat dan mempersiapkan diri menghadapi bencana. Hal ini memungkinkan dilakukannya evakuasi dini dan tindakan mitigasi lainnya untuk meminimalkan korban jiwa dan kerusakan. Selain itu, SPDM secara jelas dan cepat menginformasikan kepada masyarakat tentang potensi bahaya gunung berapi. Dengan begitu, akan membuat masyarakat lebih siap dan membantu mereka memahami apa yang harus dilakukan dalam situasi darurat. Selanjutnya, pihak berwenang terkait dapat berkoordinasi dengan lebih baik dalam merespons bencana dan memberikan dukungan kepada masyarakat yang terkena dampak (Sipahutar et al., 2022). Di Indonesia, sistem peringatan dini untuk Gunung Merapi telah terbukti efektif dalam menyelamatkan nyawa dan harta benda saat erupsi tahun 2010. Sementara di Jepang, sistem pemantauan gunung berapi yang canggih telah membantu memprediksi dan memitigasi dampak letusan gunung berapi Sakurajima.

## **SIMPULAN**

Berdasarkan tinjauan literatur yang telah dilakukan, mitigasi bencana gunung meletus menggunakan sistem peringatan dini telah banyak dikembangkan di berbagai negara. Sistem peringatan dini yang digunakan mengkombinasikan sensor dan teknologi yang dapat mendeteksi adanya aktivitas gunung berapi yang memicu letusan. Seperti sistem pemantauan InSAR, aplikasi WebGIS, dan sistem peringatan dini otomatis yang mengkombinasikan data dari kamera termal, radar cuaca, dan sensor infrasonik. Sistem-sistem tersebut memungkinkan deteksi dini aktivitas gunung berapi sehingga dapat mengurangi risiko dan dampak yang terjadi akibat bencana gunung meletus.

## **DAFTAR PUSTAKA**



- Biggs, J., Dogru, F., Dagliyar, A., Albino, F., Yip, S., Brown, S., . . . Atıcı, G. (2021). Baseline monitoring of volcanic regions with little recent activity: application of Sentinel-1 InSAR to Turkish volcanoes. *Journal of Applied Volcanology*, 2-8.
- Bonaccorso, A., & Aloisi, M. (2021). Tracking Magma Storage: New Perspectives from 40 years (1980–2020) of ground deformation source modeling on Etna volcano. *Frontiers in Earth Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.638742>
- Centorrino, V., Bilotta, G., Cappello, A., Ganci, G., Corradino, C., & Del Negro, C. (2021). A particle swarm optimization–based heuristic to optimize the configuration of artificial barriers for the mitigation of lava flow risk. *Environmental Modelling & Software*, 139, 105023. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105023>
- Fujita, E., Ueda, H., & Nakada, S. (2020). A new Japan volcanological database. *Frontiers in Earth Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00205>
- Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information and Libraries Journal*, 26(2), 91–108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>
- Hapsari, R. I., Sugna, B. A., Novianto, D., Asmara, R. A., & Oishi, S. (2020). Nai'Ve Bayes Classifier for Debris Flow Disaster Mitigation in Mount Merapi Volcanic Rivers, Indonesia, Using X-band Polarimetric Radar . *Int J Disaster Risk Sci*, 776.
- Mereu, L., Marzano, F. S., Bonadonna, C., Lacanna, G., Ripepe, M., & Scollo, S. (2023b). Automatic early warning to derive eruption source parameters of paroxysmal activity at Mt. Etna (Italy). *Remote Sensing*, 15(14), 3501. <https://doi.org/10.3390/rs15143501>
- Nagahara, S., Miyamoto, S., Morishima, K., Nakano, T., Koyama, M., & Suzuki, Y. (2022b). Three-dimensional density tomography determined from multi-directional muography of the Omuroyama scoria cone, Higashi-Izu monogenetic volcano field, Japan. *Bulletin of Volcanology*, 84(10). <https://doi.org/10.1007/s00445-022-01596-y>
- Permatasari, A. L., Suherningtyas, I. A., & Wiguna, P. P. (2022). Development And Evaluation Of The Webgis Application To Support Volcanic Hazard Mitigation In The Southern Flank Of Merapi Volcano, Sleman Regency, Yogyakarta Province,Indonesia. *Geography, Environment, Sustainability*, 57.
- Robinson, P., & Lowe, J. (2015). Literature reviews vs systematic reviews. *Public Health Association of Australia*, 39(2), 103. <https://doi.org/10.1111/1753-6405.12393>
- Sipahutar, H., Herlina, M., Wardani, D. K., Sulistyono, D., & Pribadi, M. A. (2022). *PRAKTIK BAIK PELAYANAN MITIGASI BENCANA PEMERINTAH DAERAH*. Pascal Books.



Wekke, I. S. (2021). *Mitigasi Bencana*. Penerbit Adab.

Widiwijayanti, C., Win, N. T. Z., Espinosa-Ortega, T., Costa, F., & Taisne, B. (2024b). The global volcano monitoring infrastructure database (GVMID). *Frontiers in Earth Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/feart.2024.1284889>