



RESEARCH ARTICLE



Pemanfaatan Penginderaan Jauh Untuk Penentuan Potensi Area Rawan Bahaya Letusan Gunung Api: Studi Kasus Gunung Gede Dan Sekitarnya, Kabupaten Cianjur, Provinsi Jawa Barat

The Use of Remote Sensing to Determine the Potential Hazardous Areas of Volcanic Eruptions: Case Study of Mount Gede and Its Surroundings, Cianjur Regency, West Java Province

Abdurrahman Hanif Albaihaqi¹ and Budhi Setiawan²

¹Department of Geological Engineering, Universitas Sriwijaya

²Department of Geological Engineering, Universitas Sriwijaya

Article History

Received 14 August 2023

Revised 5 December 2023

Accepted 6 May 2024

Keywords

Buffer, GIS, Mountain, Potential, Prone.

ABSTRAK

Bencana alam merupakan suatu kejadian yang tidak dapat dihindari namun dapat dilakukan suatu mitigasi. Dalam hal ini diantaranya upaya untuk memberikan informasi yang visualitatif mengenai potensi daerah rawan bahaya yakni dengan berupa peta kerawanan bencana. Salah satu daerah dengan tingkat rawan bencana yang cukup tinggi yaitu daerah pegunungan. Daerah Kabupaten Cianjur, Provinsi Jawa Barat merupakan salah satu daerah yang memiliki pemukiman dekat dengan salah satu gunung berapi aktif yaitu Gunung Gede. Aktivitas vulkanik tentunya menjadi hal yang umum bagi wilayah tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menampilkan bagaimana penggunaan sistem informasi geografis dalam melakukan analisis rawan bencana terhadap suatu wilayah. Parameter dalam melakukan pembagian zona rawan potensi bahaya juga dilakukan dengan acuan Kawasan Rawan Bencana Gunung Api. Hasil yang diperoleh yakni daerah dengan tingkat kerentanan terhadap potensi bencana akibat Gunung Gede.

ABSTRACT

Natural disasters are unavoidable events but can be mitigated. In this case, among others, efforts to provide visual information about potential hazard-prone areas, namely disaster vulnerability maps. One area with a relatively high level of disaster vulnerability is the mountainous area. Cianjur Regency, West Java Province, is one area with settlements close to one of the active volcanoes, Mount Gede. Volcanic activity is undoubtedly typical for the region. This study aims to show how the use of geographic information systems in conducting disaster-prone analysis of an area. Parameters in dividing potential hazard-prone zones are also carried out concerning Volcano Disaster Prone Areas. The results obtained are areas vulnerable to potential disasters due to Mount Gede.

Pendahuluan

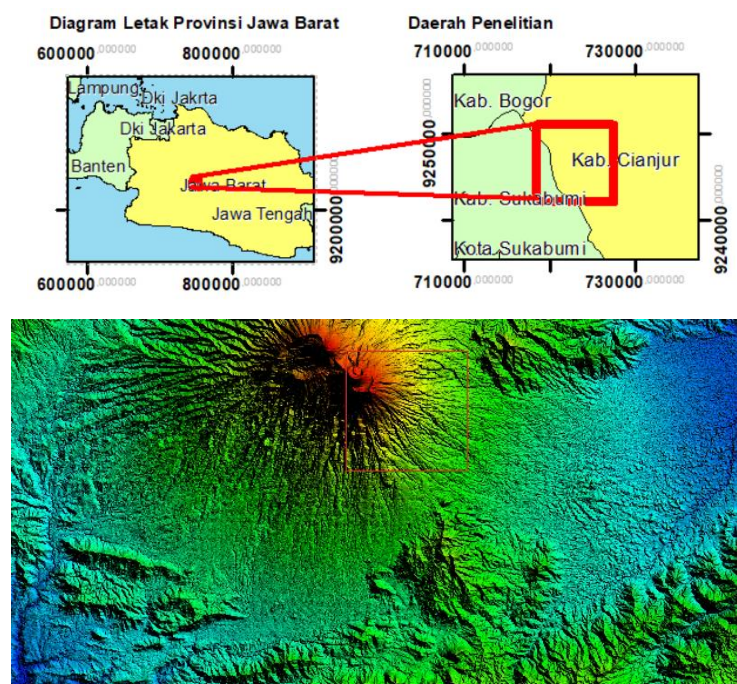
Secara geologis, Indonesia memiliki 127 (seratus dua puluh tujuh) gunungapi aktif, terdiri atas 76 (tujuh puluh enam) gunungapi tipe A, 30 (tiga puluh) gunungapi tipe B, dan 21 (dua puluh satu) gunungapi tipe C. Erupsi gunung api merupakan salah satu jenis bencana alam yang menghasilkan sejumlah bencana. Banyaknya gunungapi aktif dengan sifat dan ciri erupsi yang berlainan menyebabkan diperlukannya antisipasi kemungkinan timbulnya bencana akibat erupsi gunungapi tersebut dalam upaya pengurangan risiko bencana. Bahaya dan risiko vulkanik adalah konsep yang telah dipertimbangkan lebih sering dalam beberapa dekade terakhir, terutama sejak terjadinya beberapa letusan bencana dan dampak sosial dan fisik yang terkait (Reyes-Hardy dkk., 2021).

Pemanfaatan data penginderaan jauh untuk mendukung sistem peringatan dini bencana alam dianggap sebagai teknologi yang dapat membuat dampak positif cukup besar (Lin dkk., 2021). Di sisi lain, variasi dan detail informasi yang diperoleh melalui penggunaan data ini relatif banyak, hal ini bergantung pada keterampilan pengguna. GIS telah menyediakan teknik untuk pengumpulan data, pembuatan basis data, dan manipulasi data baik dengan biaya maupun cara yang efektif waktu (Rehman dkk., 2021).

Zonasi bahaya harus menjadi dasar untuk setiap proyek manajemen bencana dan harus menyediakan perencanaan dan pengambil keputusan dengan informasi yang memadai dan dapat dimengerti (Fatih, 2021). Analisis yang dilakukan bertujuan untuk dapat menentukan potensi daerah rawan bencana yang terdapat di daerah penelitian dengan menggunakan metode penginderaan jauh. Dalam penelitian ini diharapkan bahwasanya pemanfaatan tersebut memiliki dampak yang besar terhadap tingkat kewaspadaan bagi masyarakat yang tinggal di daerah gunung api aktif. Faktor bencana termasuk dalam penilaian potensi lahan bersama faktor relief, litologi, tanah dan hidrologi. Sehingga mitigasi bencana sangat penting dalam potensi lahan suatu wilayah (Ihsan, 2017)..

Metode Penelitian

Lokasi Penelitian

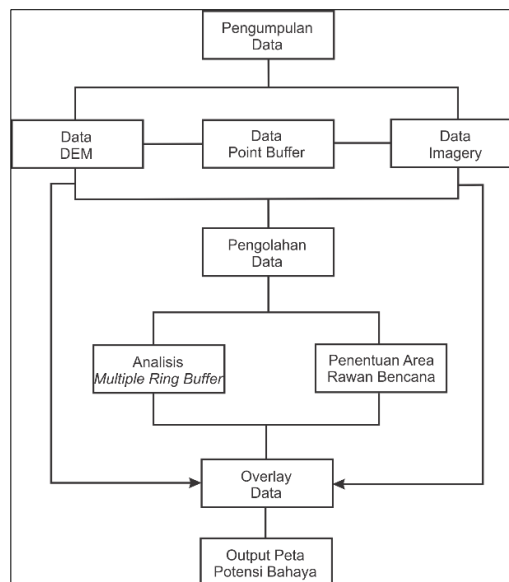


Gambar. Peta Lokasi penelitian dan Fisiografis daerah penelitian berdasarkan data DEM (*Digital Elevation Model*).

Lokasi penelitian secara administratif terletak di Gunung Gede dan Sekitarnya, Kabupaten Cianjur, Provinsi Jawa Barat. dengan luas daerah penelitian 81 km². Secara astronomis daerah penelitian terletak berdasarkan *Universal Transverse Mercator* (UTM) 48S. Gunung Gede sendiri dijadikan sebagai suatu pemukiman yang tinggal dekat dengan wilayah gunung tersebut, hal ini menjadi penting untuk melihat bagaimana masyarakat yang ada di sana melakukan persiapan dan kesiapsiagaan menghadapi potensi bencana (Kurniawati et al., 2023).

Metode Pengumpulan Data

Penelitian yang dilakukan yaitu berupa penelitian kuantitatif karena menghasilkan sesuatu yang terukur yaitu dengan melakukan analisis menggunakan software ArcGis 10.8 dengan analisis spasial berupa dan memanfaatkan metode Buffer. Pada penelitian ini, data yang digunakan merupakan data sekunder, yaitu menggunakan fungsi Multiple Ring Buffer. Proses analisis dilakukan dengan jenis analisis proximity yakni suatu teknik analitik yang digunakan untuk menentukan hubungan antara titik yang dipilih dan titik yang berada disekitarnya.



Gambar. Diagram Alir Penelitian

Adapun tahapan pada diagram alir penelitian yaitu:

1. Tahap Pengumpulan data yang terdiri atas tiga jenis data.
 - a) Data DEM (DEMNAS_1209-21_v1.0 dan DEMNAS_1209-22_v1.0, 2023).
 - b) Data Rupa Bumi Indonesia (Badan Informasi Geospasial, 2023).
 - c) Data Imagery (ArcGis, 2023).
2. Pengolahan Data (terdiri atas analisis *multiple ring buffer* dan *plot* area rawan bencana).
3. Overlay Data (menghasilkan *output* berupa peta potensi bahaya).

Pada dasarnya *Buffer* berfungsi membuat fitur area pada jarak tertentu (atau beberapa jarak tertentu) di sekitar obyek. *Multiple Ring Buffer* memiliki fungsi untuk membuat lebih dari satu *buffer* dengan jarak interval tertentu dari suatu obyek. Dengan kata lain dapat untuk mengklasifikasikan area di sekitar fitur ke dalam kelas jarak dekat, jarak sedang, dan jarak jauh untuk analisis.

Lokasi penelitian secara fisiografis kompleks Gunung Gede dan sekitarnya memperlihatkan morfologi kerucut gunungapi dengan bentukan kawah melingkar di bagian atasnya sebagai manifestasi dari bentukan asal gunungapi. Gunung Gede merupakan gunung api yang masih aktif dan sedang istirahat namun pada waktu yang cukup lama sekitar kurang lebih 45 tahun, masyarakat yang tinggal di daerah potensi bahaya letusan gunung gede sudah terbiasa tanpa aktivitas vulkanik. Oleh karena itu sebelum dampak bencana menjadi besar dan banyak pihak yang dirugikan, maka penting mencegah sejak dini untuk meminimalisir dampak yang akan terjadi.

Ledakan vulkanik umumnya berbahaya karenanya pengamatan langsung merupakan suatu tantangan (Walter dkk., 2020). Tata ruang yang baik seharusnya dapat membantu mengurangi dampak suatu bencana alam (Anggara & Pramono, 2018). Literatur terkait persepsi risiko menunjukkan pentingnya pengalaman bahaya dan penduduk dari lokasi penelitian hidup dengan ancaman bahaya gunung berapi (Horan & Meinhold, 2022).

Potensi bahaya letusan gunung api dapat berupa awan panas, lontaran material (pijar), hujan abu, lava, gas racun dan banjir lahar. Adapun penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Agustin & Bronto, 2019) dalam penelitiannya yang berjudul “Volkanostratigrafi Inderaan Jauh Kompleks Gunungapi Gede dan Sekitarnya, Jawa Barat, Indonesia”. Penelitian tersebut membahas bagaimana volkanostratigrafi yang terdapat pada Gunung Gede. Gunung Gede memiliki tipe Stratovulkano dan tipe letusan eksplosif yang memiliki erupsi kecil dan relatif singkat dan hanya menghasilkan debu dan abu halus (Yudiantoro, 2023). Penggunaan serta

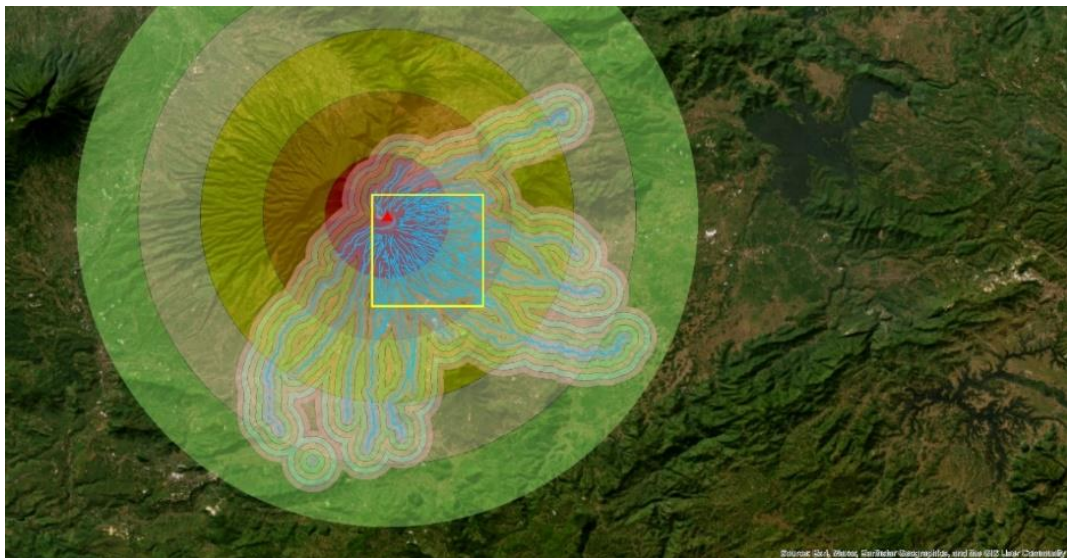
pemanfaatan data penginderaan jauh maupun citra satelit menjadi salah satu metode mitigasi terhadap aktivitas gunung api. Hal ini yang menjadi dasar penelitian ini dilakukan. Gunung Api Gede bertipe strato dan mempunyai beberapa kawah, yaitu Kawah Gumuruh, Kawah Gede, Kawah Sela, Kawah Ratu, Kawah Lanang, Kawah Wadon, dan Kawah Baru. Pada bagian barat dan utara, gunung ini dibatasi oleh Gunung Pangrango yang membentuk gunung api kembar dengan Gunung Gede.

Hasil dan Pembahasan

Multiple Ring Buffer

Hasil analisa dengan pengamatan penginderaan jarak jauh (*remote sensing*). Diawali dengan melakukan metode *buffering* terhadap data *shapefile* daerah penelitian yang telah diperoleh sebelumnya. Salah satu fitur karakteristik citra satelit adalah parameter yang disebut frekuensi spasial yang didefinisikan sebagai jumlah perubahan nilai kecerahan per satuan jarak untuk bagian tertentu dari suatu gambar. Sistem informasi spasial mitigasi bencana gunung api mengintegrasikan data mitigasi melalui pembangunan basis data mitigasi di dalam sistem (Septianto, 2019).

Buffering mempunyai fungsi untuk mengidentifikasi daerah yang berada di sekitar kenampakan geografis; mengidentifikasi kenampakan yang termasuk di dalam atau berada di luar daerah *buffer*; dan untuk menyediakan ukuran perkiraan yang dekat dengan suatu kenampakan. Hampir semua perangkat lunak GIS memiliki seperangkat fungsi jarak khusus yang dirancang untuk secara selektif menghitung jarak di sekitar fitur geografis yang ada. Perangkat lunak ini mengukur jarak tertentu dari titik, garis, atau poligon (bahkan dasar fitur topografi), dan kemudian mengubah seluruh area itu menjadi poligon. SIG memungkinkan untuk menerapkan kondisi dan aturan ini dalam beberapa cara yang berbeda (DeMers, 2009).



Gambar 1. Hasil analisis *multiple ring buffer* terhadap data citra satelit dan area penelitian dengan pengelompokkan zona daerah potensi bahaya

Analisis *multiple ring buffer* ini dilakukan dengan menggunakan Arctoolbox pada bagian proximity lalu digunakan tool *multiple ring buffer*. Data yang digunakan diantaranya seperti data *shapefile* berupa *polyline* dari sungai pada daerah penelitian serta data berupa point pada puncak Gunung Gede yang masuk ke dalam daerah penelitian.

Shapefile yang digunakan berupa *point* (titik), dimana pada hal ini *point* (titik) akan memberikan visualisasi *multiple ring buffer* sebagai pusat potensi bahaya erupsi dari Gunung Gede.

Sementara itu, untuk data *shapefile* sungai yang berada disekitar Gunung Gede serta daerah penelitian berfungsi untuk memberikan informasi mengenai potensi kemungkinan aliran dari material – material vulkanik yang akan membahayakan daerah sekitar. *Plotting* titik puncak didasarkan elevasi tertinggi pada daerah penelitian yang memiliki potensi sebagai keluarnya bahaya dari erupsi Gunung Gede.

Analisis buffer pada puncak Gunung Gede dilakukan dengan penentuan Kawasan Rawan Bencana gunung api (KRB). Dalam hal ini KRB gunung api mengelompokkan area yang berpotensi berbahaya dengan menggunakan radius (jarak). Berdasarkan (Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia,

2016) tentang Penetapan Kawasan Rawan Bencana Geologi, Kawasan Rawan Bencana (KRB) gunung api merupakan kawasan yang pernah terlanda atau diidentifikasi berpotensi terancam bahaya erupsi gunung api baik secara langsung maupun tidak langsung.

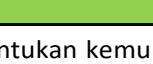
Penentuan Zona Rawan Bahaya

Penetapan KRB dilakukan sebagai acuan bagi pemerintah pusat atau daerah dan masyarakat untuk pelaksanaan mitigasi bencana gunung api dan penyusunan rencana tata ruang wilayah. KRB dibagi menjadi tiga kawasan, yakni:

1. Rawan Bencana Gunung api III atau disebut juga Kawasan Rawan Bencana Gunung api Tinggi
2. Rawan Bencana Gunung api II atau disebut juga dengan Kawasan Rawan Bencana Gunung api Menengah
3. Rawan Bencana Gunung api I atau disebut juga Kawasan Rawan Bencana Gunung api rendah.

Tingkatan risiko bencana dapat dinilai berdasarkan pada besar kecilnya tingkat ancaman dan juga kerentanan pada suatu wilayah (Wibowo, 2021).

Tabel 1. Nilai parameter yang digunakan dalam pengolahan data titik puncak gunung

Parameter Buffer Rawan Erupsi		
Simbol	Radius	Status
	5 Kilometer	Sangat Bahaya
	10 Kilometer	Bahaya
	15 Kilometer	Waspada
	20 Kilometer	Siaga
	25 Kilometer	Rendah

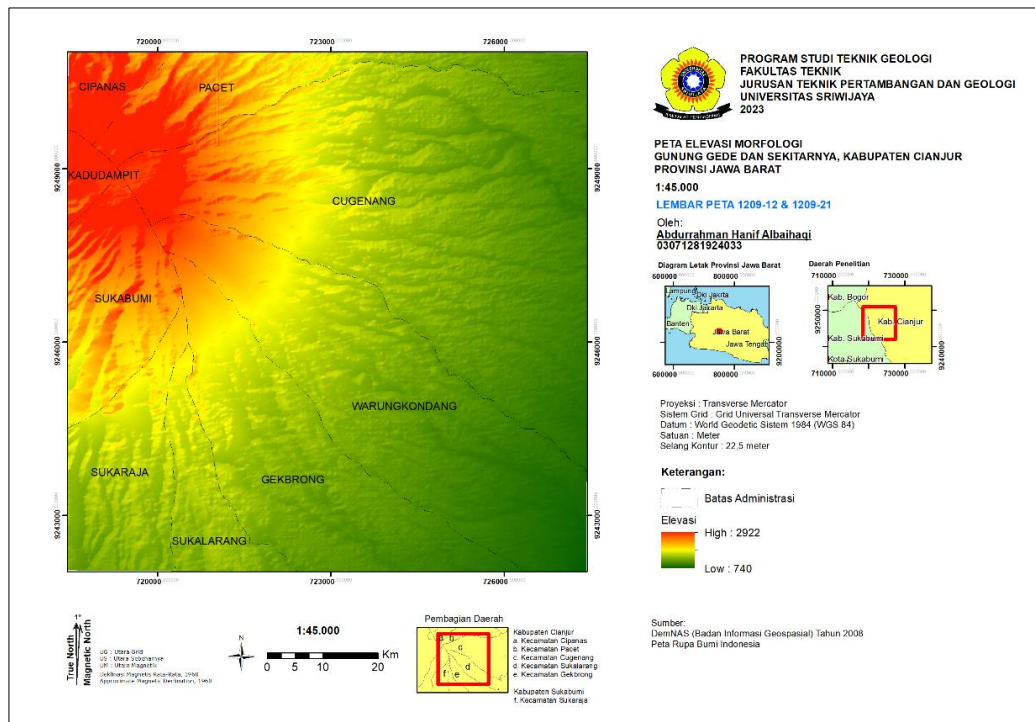
Sementara dalam menentukan kemungkinan aliran material erupsi, analisis dilakukan terhadap data shapefile berupa polyline sungai yang berada disekitar Gunung Gede.

Tabel 2. Nilai parameter yang digunakan dalam pengolahan data aliran sungai

Parameter analisis multiple ring buffer aliran sungai (Radius) (m)
500 Meter
1000 Meter
1500 Meter
2000 Meter
2500 Meter

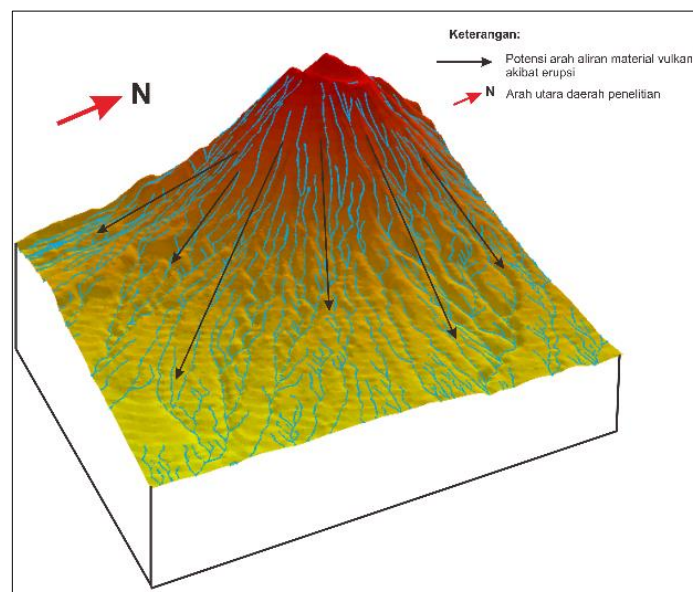
Perencanaan pengurangan risiko multi-bahaya sering melibatkan keputusan yang kompleks, mengingat ketidakpastian dalam kondisi masa depan dan ketidakpastian yang melekat dalam pemahaman ilmiah tentang potensi ancaman (Wood dkk., 2022). Penginderaan jauh dan GIS menyediakan database dari bukti yang ditinggalkan oleh bencana yang telah terjadi sebelumnya. Zonasi bahaya harus menjadi dasar untuk setiap proyek manajemen bencana dan harus menyediakan perencana dan pengambil keputusan dengan informasi yang memadai dan dapat dimengerti.

Bentuk representasi terhadap potensi daerah rawan bahaya pada daerah penelitian merupakan visualisasi kondisi kebencanaan di masa lampau baik dalam format peta maupun sistem informasi terintegrasi. Selain itu, visualisasi juga dapat bersifat pemodelan atau prediksi berdasarkan rekaman data masa lampau dan masa kini untuk menggambarkan skenario kejadian bencana di masa depan (Wahyuningrum dkk., 2022).



Gambar 2. Peta Elevasi Morfologi Area Penelitian

Bentuk lahan gunung api memiliki morfologi yang khas, yaitu mempunyai relief cenderung menjulang hingga ribuan kilometer di atas permukaan laut, berbentuk kerucut, dan pola aliran yang berkembang di atasnya merupakan pola radial. Berdasarkan morfologi gunung api yang khas inilah maka identifikasi aspek morfologi dapat dilakukan dari penginderaan jauh. Gunung api memiliki pola kontur yang spesifik dalam peta topografi. Berdasarkan analisis melalui peta elevasi morfologi daerah penelitian, kenampakan elevasi morfologi penelitian memiliki elevasi tertinggi dengan 2922 mdpl serta elevasi terendah berada pada 740 mdpl. Adapun beberapa kecamatan yang masuk pada daerah penelitian terdiri atas 6 Kecamatan yaitu, diantaranya Kecamatan Cipanas, Pacet, Cugenang, Sukalarang, Gekbrong, dan Sukaraja. Berdasarkan peta elevasi morfologi, daerah penelitian termasuk ke dalam klasifikasi pegunungan >1000 mdpl (Widyatmanti dkk., 2016).



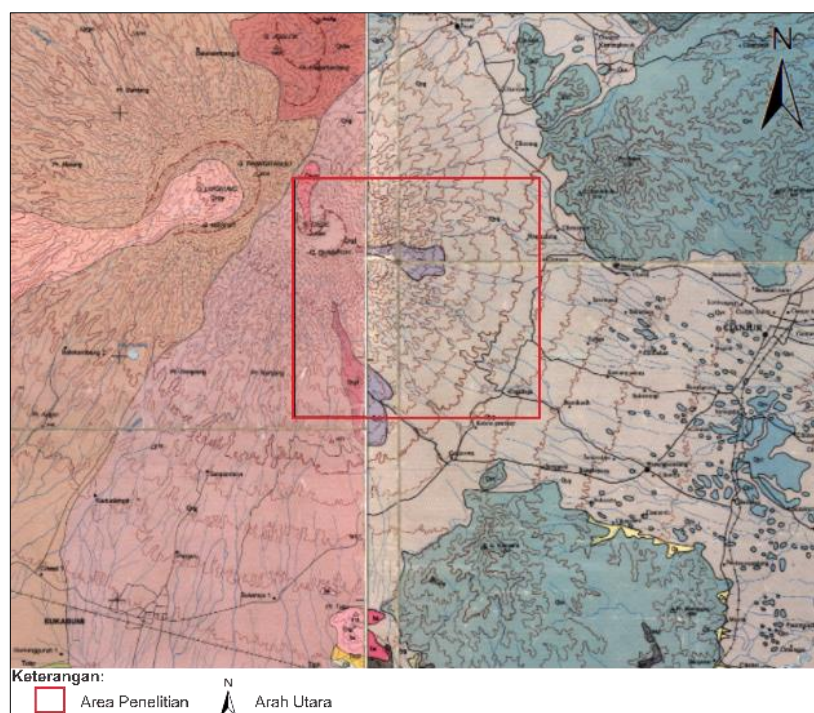
Gambar 3. Model 3D Potensi Aliran Lahar

Gunung api merupakan salah satu bentang lahan yang mempunyai kenampakan khas di permukaan bumi, sehingga bentukan-bentukan yang ada akan tampak khas pula pada citra penginderaan jauh satelit.

Bahaya letusan gunungapi sangat beragam, selain tergantung pada karakter letusan juga tergantung pada jarak dari pusat letusan. Aliran piroklastik merupakan yang paling mematikan dari semua bahaya letusan gunung berapi dan dihasilkan oleh letusan eksplosif. Aliran piroklastik umumnya menyentuh tanah, meluncur di sepanjang lereng gunung berapi, dan dapat menyebar ke samping di bawah pengaruh gravitasi. Kecepatannya tergantung pada kerapatan arus, laju erupsi material vulkanik dan kemiringan lereng.

Sementara untuk awan panas sendiri merupakan bagian dari aliran piroklastik. Awan panas ini bisa sangat berbahaya dibandingkan aliran piroklastik lainnya. Awan panas ini dapat meluas ke wilayah yang lebih luas dikarenakan materialnya berupa debu dan gas vulkanik yang mudah terbawa angin karena kerapatannya yang rendah. Aliran lava merupakan peluapan lava selama erupsi efusif. Lava dapat mengalir dalam jarak yang jauh sebelum mengalami pendinginan dan mengeras karena terpapar udara yang dengan cepat.

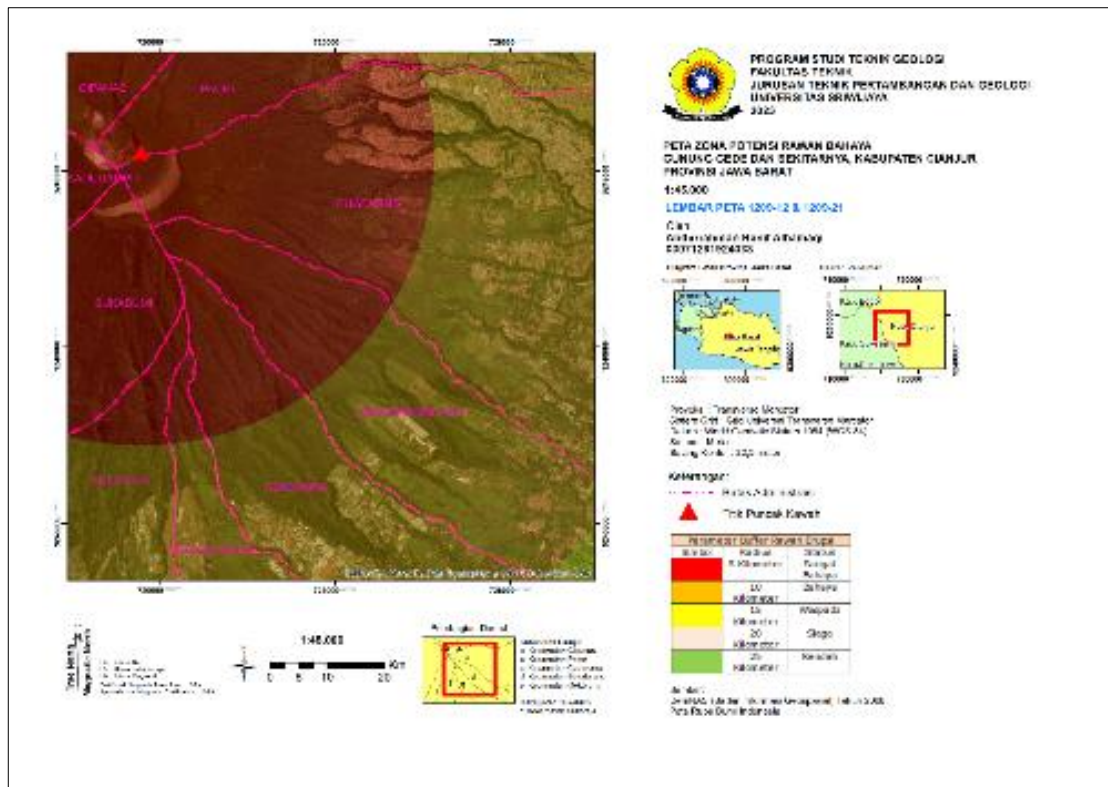
Aliran lahar hujan merupakan aliran air yang bercampur dengan material vulkanik yang berasal dari bagian atas gunung api mengalir dengan kecepatan tinggi. Saat terjadi erupsi, banyak material vulkanis yang tidak ikut tergelincir dan turun ke bawah, menumpuk di daerah dekat puncak gunung.



Gambar 4. Modifikasi Peta Geologi Regional Lembar Bogor (Effendi, 1998) dan Cianjur (Sudjarmiko, 1972) berdasarkan area penelitian

Adapun secara geologis, pada area penelitian terdiri atas formasi geologi, dimana formasi ini mencirikan material yang berasal dari Gunung Api Gede tersebut. Berdasarkan modifikasi terhadap peta geologi lembar Bogor dan Cianjur, area penelitian didominasi oleh Formasi berumur quarter, yakni tersusun dari litologi berupa breksi dan lahar dari Gunung Api Gede (Qyg) dengan material yang tersusun berupa batupasir tufan, serpih tufan, breksi tufaan dan aglomerat tufaan. Sementara selain itu juga terdapat material lainnya yakni terdiri atas formasi berumur quarter berupa aliran lava yang berasal dari Gunung Api Gede (Qyl) (Sudjarmiko, 1972).

Perkiraan daerah yang terkena bahaya vulkanik umumnya didasarkan pada letusan masa lalu dari gunung berapi yang dipertimbangkan dan dampaknya yang direkonstruksi dari peristiwa atau kejadian sebelumnya.

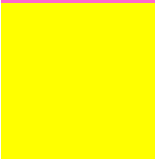


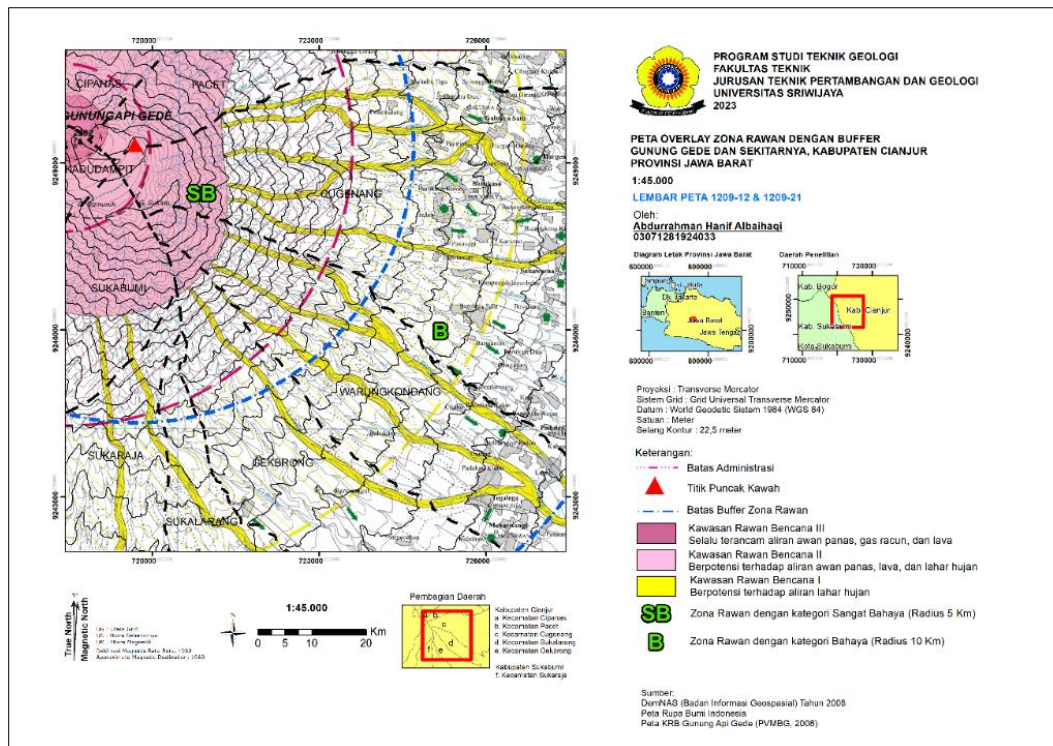
Gambar 5. Peta zona potensi rawan bahaya berdasarkan data citra satelit *imagery* dan kumpulan analisis *multiple ring buffer*.

Overlay Peta Kawasan Rawan Bencana Dengan Hasil Analisis *Multiple Ring Buffer*

Berdasarkan hasil overlay Peta Kawasan Rawan Bencana Gunung Gede, Jawa Barat yang dibuat oleh PVMBG pada tahun 2008 dengan hasil analisis *multiple ring buffer* dari data yang telah diolah sebelumnya, dihasilkan suatu peta zona rawan. Selain itu terdapat perbedaan terhadap cakupan Kawasan rawan bencana dari gunung gede yang ditinjau dari analisis *multiple ring buffer* menunjukkan areah yang cenderung lebih besar..

Tabel 3. Klasifikasi potensi material kawasan rawan bencana berdasarkan data sekunder Peta Kawasan Rawan Bencana Gunung Gede (Hadisantono, 2008).

Tabel Kawasan Rawan Bencana	
Simbol	Keterangan
	Kawasan Rawan Bencana III, selalu terancam dengan aliran awan panas, gas racun, dan lava.
	Kawasan Rawan Bencana II, berpotensi terhadap aliran awan panas, lava, dan lahar hujan.
	Kawasan Rawan Bencana I, berpotensi terhadap aliran lahar hujan



Gambar 6. Overlay Peta Kawasan Rawan Bencana Gunung Gede dengan Analisis *Multiple Ring Buffer* pada daerah penelitian.

Potensi Bahaya Aliran Material Piroklastik Daerah Penelitian

Material yang kemungkinan memberikan potensi bahaya pada daerah penelitian yakni berupa material piroklastik. Material tersebut didominasi oleh aliran lahar yang tentunya akan menyebar ke area dengan potensi bahaya. Adapun lahar yang akan mengalir dari titik pusat erupsi lalu membahayakan daerah pemukiman. Aliran lahar merupakan aliran air yang bercampur dengan material vulkanik yang berasal dari bagian atas gunung api mengalir dengan kecepatan tinggi. Selain lahar terdapat juga jenis aliran lain yang memiliki potensi membahayakan daerah pemukiman yakni berupa aliran rombakan (*debris flow*) yang merupakan hasil campuran air, lumpur, dan kerikil. Lahar dan *debris flow* merupakan aliran yang memiliki sifat destruktif terhadap sesuatu, hal ini kedua aliran tersebut mengalami transportasi dari titik puncak gunungapi dan akan mengalir dengan kecepatan tinggi (Thouret dkk., 2020).

Kesimpulan

Berdasarkan hasil *multiple ring buffer* dari data yang telah diolah sebelumnya, dihasilkan suatu peta zona potensi rawan bahaya Gunung Gede terkhusus pada wilayah area penelitian. Berdasarkan hasil analisa spasial dengan menggunakan metode *multiple ring buffer*, diperoleh bahwasanya beberapa daerah pemukiman yang dijadikan wilayah penelitian terdapat pada beberapa zona dengan status yang berbeda. Adapun beberapa kecamatan yang masuk pada daerah penelitian terdiri atas 6 Kecamatan yaitu, diantaranya Kecamatan Cipanas, Pacet, Cugenang, Sukalarang, Gekbrong, dan Sukaraja. Sebagian besar daerah penelitian termasuk ke dalam zona rawan bahaya berjarak 5 Kilometer dari puncak gunung dengan status sangat bahaya serta berjarak 10 Kilometer dari puncak gunung dengan status bahaya. Analisa dengan metode *multiple ring buffer* juga dilakukan dengan memasukkan data sungai yang radiusnya berkisar 500-2500 meter. Hal tersebut akan memberikan penjelasan bahwasanya sewaktu-waktu terjadi suatu peristiwa erupsi dari Gunung Gede, keberadaan sungai berpengaruh akan dampak bencana tersebut. Bencana umum yang kemungkinan terjadi yakni saat terjadinya erupsi, dengan adanya potensi aliran lahar yang melalui sungai dekat kawah. Diharapkan dengan adanya visualisasi dalam bentuk peta ini mampu memberikan pengetahuan bagi khalayak umum terutama masyarakat yang bermukim di dekat daerah dengan potensi rawan bahaya.

Daftar Pustaka

- Agustin, F., & Bronto, S. (2019). Volkanostratigrafi Inderaan Jauh Kompleks Gunungapi Gede dan Sekitarnya, Jawa Barat, Indonesia Remote sensing volcanostratigraphy Gede Volcanic Complex and Surrounding area, West Jawa, Indonesia. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, 20, 9–16.
- DeMers, M. N. (2009). *GIS for dummies*. Wiley.
- Effendi, A. C. (1998). *Peta Geologi Lembar Bogor*.
- Fatih, G. El. (2021). Penentuan Jalur Evakuasi Bencana Erupsi Gunung Api Menggunakan Metode Network Analysis dan Penginderaan Jauh: Studi Kasus di Gunung Berapi Soputan Sulawesi Utara. *Seminar Nasional Geomatika 2021*.
- Habib Anggara, I., & Retno Widodo Dwi Pramono. (2018). INTEGRASI INFORMASI GEOSPASIAL TEMATIK UNTUK MENDUKUNG EVALUASI RENCANA TATA RUANG BERBASIS MITIGASI BENCANA DI KABUPATEN BANTUL, PROVINSI DIY (Integration of Thematic Geospatial Information to Support Evaluation of Spatial Plan Based on Disaster Mitigation in Bantul Regency, DIY Province). *Seminar Nasional Geomatika 2018*.
- Hadisantono. (2008). *PETA KAWASAN RAWAN BENCANA GUNUNGAPI GEDE, PROVINSI JAWA BARAT*.
- Horan, J. E., & Meinhold, S. S. (2022). Living with hazards: Prediction uncertainty and personal protective behavior at frequently and infrequently erupting Volcanoes—Tungurahua and Cotopaxi, Ecuador. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 79.
- Ihsan, H. M. (2017). Pemanfaat Sistem Informasi Geografis Untuk Pemetaan Risiko Bencana Gunung Api Dari Aspek Sosial Di Kabupaten Sleman. *Seminar Nasional Geografi 2017*.
- Kurniawati, R. A., Fahmi, A., Nur, R., & Ophiyandri, T. (2023). Geo Image (Spatial-Ecological-Regional) Analisis Hazard Di Kabupaten Banyuwangi Dan Kesiapsiagaan Masyarakat Dalam Menghadapi Bencana Info Artikel. In *Geo Image* (Vol. 12, Issue 1).
- Lin, J., Chen, W., Qi, X., & Hou, H. (2021). Risk assessment and its influencing factors analysis of geological hazards in typical mountain environment. *Journal of Cleaner Production*, 309.
- Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2016). *Permen ESDM No. 11 Tahun 2016*.
- Rehman, A., Song, J., Haq, F., Ahamad, M. I., Sajid, M., & Zahid, Z. (2021). Geo-physical hazards microzonation and suitable site selection through multicriteria analysis using geographical information system. *Applied Geography*, 135.
- Reyes-Hardy, M. P., Aguilera Barraza, F., Sepúlveda Birke, J. P., Esquivel Cáceres, A., & Inostroza Pizarro, M. (2021). GIS-based volcanic hazards, vulnerability and risks assessment of the Guallatiri Volcano, Arica y Parinacota Region, Chile. *Journal of South American Earth Sciences*, 109.
- Septianto, D. I. (2019). Sistem Informasi Spasial untuk Mitigasi Bencana Gunung Berapi. *Applied Information Systems and Management (AISM)*, 2, 23–27.
- Sudjatkiko. (1972). *Peta Geologi Lembar Cianjur*.
- Thouret, J. C., Antoine, S., Magill, C., & Ollier, C. (2020). Lahars and debris flows: Characteristics and impacts. In *Earth-Science Reviews* (Vol. 201). Elsevier B.V.
- bbbbbb
- Agustin, F., & Bronto, S. (2019). Volkanostratigrafi Inderaan Jauh Kompleks Gunungapi Gede dan Sekitarnya, Jawa Barat, Indonesia Remote sensing volcanostratigraphy Gede Volcanic Complex and Surrounding area, West Jawa, Indonesia. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, 20, 9–16.
- DeMers, M. N. (2009). *GIS for dummies*. Wiley.
- Effendi, A. C. (1998). *Peta Geologi Lembar Bogor*.
- Fatih, G. El. (2021). Penentuan Jalur Evakuasi Bencana Erupsi Gunung Api Menggunakan Metode Network Analysis dan Penginderaan Jauh: Studi Kasus di Gunung Berapi Soputan Sulawesi Utara. *Seminar Nasional Geomatika 2021*.
- Habib Anggara, I., & Retno Widodo Dwi Pramono. (2018). INTEGRASI INFORMASI GEOSPASIAL TEMATIK UNTUK MENDUKUNG EVALUASI RENCANA TATA RUANG BERBASIS MITIGASI BENCANA DI KABUPATEN BANTUL, PROVINSI DIY (Integration of Thematic Geospatial Information to Support Evaluation of Spatial Plan Based on Disaster Mitigation in Bantul Regency, DIY Province). *Seminar Nasional Geomatika 2018*.
- Hadisantono. (2008). *PETA KAWASAN RAWAN BENCANA GUNUNGAPI GEDE, PROVINSI JAWA BARAT*.
- Horan, J. E., & Meinhold, S. S. (2022). Living with hazards: Prediction uncertainty and personal protective behavior at frequently and infrequently erupting Volcanoes—Tungurahua and Cotopaxi, Ecuador. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 79.
- Ihsan, H. M. (2017). Pemanfaat Sistem Informasi Geografis Untuk Pemetaan Risiko Bencana Gunung Api Dari Aspek Sosial Di Kabupaten Sleman. *Seminar Nasional Geografi 2017*.

- Kurniawati, R. A., Fahmi, A., Nur, R., & Ophiyandri, T. (2023). Geo Image (Spatial-Ecological-Regional) Analisis Hazard Di Kabupaten Banyuwangi Dan Kesiapsiagaan Masyarakat Dalam Menghadapi Bencana Info Artikel. In *Geo Image* (Vol. 12, Issue 1).
- Lin, J., Chen, W., Qi, X., & Hou, H. (2021). Risk assessment and its influencing factors analysis of geological hazards in typical mountain environment. *Journal of Cleaner Production*, 309.
- Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2016). Permen ESDM No. 11 Tahun 2016.
- Rehman, A., Song, J., Haq, F., Ahamad, M. I., Sajid, M., & Zahid, Z. (2021). Geo-physical hazards microzonation and suitable site selection through multicriteria analysis using geographical information system. *Applied Geography*, 135.
- Reyes-Hardy, M. P., Aguilera Barraza, F., Sepúlveda Birke, J. P., Esquivel Cáceres, A., & Inostroza Pizarro, M. (2021). GIS-based volcanic hazards, vulnerability and risks assessment of the Guallatiri Volcano, Arica y Parinacota Region, Chile. *Journal of South American Earth Sciences*, 109.
- Septianto, D. I. (2019). Sistem Informasi Spasial untuk Mitigasi Bencana Gunung Berapi. *Applied Information Systems and Management (AISM)*, 2, 23–27.
- Sudjatmiko. (1972). Peta Geologi Lembar Cianjur.
- Thouret, J. C., Antoine, S., Magill, C., & Ollier, C. (2020). Lahars and debris flows: Characteristics and impacts. In *Earth-Science Reviews* (Vol. 201). Elsevier B.V.
- Wahyuningrum, D., Alfiani, O. D., Srinarbita, A., Pembangunan, U., Veteran, N. ", & Yogyakarta, ". (2022). Pemanfaatan Informasi Geospasial Untuk Manajemen Bencana. In *Jurnal Ilmiah Geologi Pangea* (Vol. 9, Issue 1sp).
- Walter, T. R., Belousov, A., Belousova, M., Kotenko, T., & Auer, A. (2020). The 2019 eruption dynamics and morphology at Ebeko volcano monitored by unoccupied aircraft systems (UAS) and field stations. *Remote Sensing*, 12(12).
- Wibowo, R. C. (2021). Analisis Peta Kerentanan Bencana Erupsi Gunung Patah Berbasis Geospasial Dengan Metode Weighting Overlay Di Kabupaten Kaur. *Jurnal Teknologi Dan Inovasi Industri*, 02, 7–12.
- Widyatmanti, W., Wicaksono, I., & Syam, P. D. R. (2016). Identification of topographic elements composition based on landform boundaries from radar interferometry segmentation (preliminary study on digital landform mapping). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 37(1).
- Wood, N., Pennaz, A., Marineau, J., Jones, J., Jones, J., Ng, P., & Henry, K. (2022). Multi-hazard risk analysis for the U.S. Department of the Interior: An integration of expert elicitation, planning priorities, and geospatial analysis. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 82.
- Yudiantoro, D. F. (2023). Interpretasi Morfostratigrafi Berdasarkan Citra Penginderaan Jauh Gunung Gede dan Sekitarnya, Jawa Barat, Indonesia. *Jurnal Ilmiah Geologi Pangea*, 10, 61–69.