

ANALISIS SKENARIO DAMPAK BENCANA ERUPSI GUNUNGAPI ROKATENDA DENGAN MENGGUNAKAN *PLUGIN INASAFE*

(*Scenario Impact Analysis of the Rokatenda Volcano Eruption by Using the InaSAFE Plugin*)

Syafrudin Fathoni, Sobar Sutisna, Makmur Supriyatno

Program Studi Manajemen Bencana, Universitas Pertahanan Republik Indonesia
Jalan Bougenville 2 no. 24 Cikarang Barat, Kabupaten Bekasi
Email: sfthoni93@gmail.com

Diterima: 24 April 2022; Direvisi: 9 November 2023; Disetujui untuk Dipublikasikan: 27 November 2023

ABSTRAK

Bencana akibat letusan Gunungapi Rokatenda di Pulau Palue, Kabupaten Sikka, Nusa Tenggara Timur (NTT) masih menjadi ancaman masyarakat di sana karena status gunungapi yang masih aktif. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui luasan potensi sebaran bahaya erupsi Gunungapi Rokatenda dan menganalisis dampak erupsi terhadap bangunan, luas wilayah, dan panjang jalan dengan menggunakan *plugin Indonesia Scenario Assessment for Emergencies (InaSAFE)*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis data sekunder. Data yang digunakan meliputi data bahaya (sebaran awan panas dan aliran lahar), data keterpaparan (data bangunan dan jalan), serta data agregasi (peta administrasi Pulau Palue). Analisis data tersebut dilakukan dengan menggunakan *plugin InaSAFE* yang terdapat pada aplikasi QGIS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa luas potensi bahaya erupsi akibat letusan Gunungapi Rokatenda yakni 16,35 km² yang terbagi menjadi tiga kawasan rawan bencana mulai dari tingkat rendah hingga tinggi. Total bangunan yang terdampak erupsi Gunungapi Rokatenda berjumlah 547 bangunan. Jalan yang terdampak oleh erupsi gunungapi mencapai 18 km. Wilayah desa yang paling terdampak erupsi Gunungapi Rokatenda adalah Desa Nitunglea, Desa Rokirole, dan Desa Tuanggeo. Bahaya sebaran awan panas tersebut dipengaruhi oleh angin, sedangkan bahaya aliran lahar disebabkan oleh kemiringan lereng dan tutupan lahan karena dapat mempengaruhi jalur persebaran lahar. Melalui hasil analisis *plugin InaSAFE*, diharapkan dapat menjadi acuan dalam pembuatan kebijakan oleh pihak-pihak yang terlibat dalam upaya mitigasi bencana erupsi gunungapi atau bencana lainnya guna meminimalkan risiko yang berpotensi mengancam kehidupan dan penghidupan masyarakat Indonesia.

Kata kunci: bencana, erupsi, Gunungapi Rokatenda, InaSAFE, SIG

ABSTRACT

The disaster caused by the eruption of the Rokatenda Volcano on Palue Island, Sikka Regency, East Nusa Tenggara (NTT) is still a threat to the local community because of the active status of the volcano. The purpose of this study was to determine the potential distribution area of the eruption hazard of the Rokatenda Volcano and to analyze the impact of the eruption on buildings, area, and roads length using the Indonesia Scenario Assessment for Emergencies (InaSAFE) plugin. The method used in this research was the secondary data analysis method. The data used include hazard data (distribution of hot clouds and lava flows), exposure data (data on buildings and roads), and aggregation data (administrative map of Palue Island). The data analysed using the InaSAFE plugin in the QGIS application. The results showed that the potential hazard area due to the eruption of the Rokatenda Volcano was 16.35 km² which divided into three disaster-prone areas ranging from low to high levels. The total number of buildings affected by the eruption of the Rokatenda Volcano is 547 buildings. The road affected by the volcanic eruption reaches 18 km. The village areas most affected by the Rokatenda Volcano eruption were Nitunglea Village, Rokirole Village, and Pourgeo Village. The danger of hot cloud distribution is influenced by the wind, while the hazard of lava flow is driven by slope and land cover because it can affect the path of lava distribution. Through the analysis of the InaSAFE plugin, hopefully it can be a reference in policy-making by parties involved in mitigating volcanic eruptions or other disasters to minimize risks that have the potential to threaten the lives and livelihoods of Indonesian people.

Keywords: disaster, eruption, Rokatenda Volcano, InaSAFE, GIS

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan sebuah negara kepulauan yang memiliki bentang alam luas dan kondisi geografis yang sangat unik. Memiliki beragam bentuk

keanekaragaman hayati serta sumberdaya alam yang melimpah, namun masih banyak pula menyimpan berbagai misteri yang belum diketahui. Indonesia

tidak hanya kaya akan potensi sumberdaya namun juga kaya akan potensi bencana. Ancaman bencana di Indonesia meliputi bencana alam, bencana nonalam, dan bencana sosial sehingga Indonesia juga dikenal sebagai laboratorium bencana. Salah satu potensi ancaman bencana alam di Indonesia adalah bencana akibat letusan gunungapi. Indonesia memiliki banyak gunungapi yang masih aktif karena wilayah Indonesia terletak di sepanjang busur Cincin Api Pasifik (*Pacific Ring of Fire*). Menurut data Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) (2015), Indonesia memiliki 129 gunung berapi aktif dan 271 titik erupsi. Sementara itu, terdapat 69 gunungapi yang saat ini masih dilakukan pemantauan secara terus menerus. Berdasarkan laporan di laman Magma Indonesia milik Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2022), gunungapi di Indonesia yang masuk ke dalam kategori level 1 (normal) sejumlah 47 gunungapi termasuk Roketenda. Sementara itu, sebanyak 17 gunungapi berada di level 2 (Waspada) dan 4 gunungapi berada pada level 3 (Waspada) yakni Anak Krakatau, Ili Lewotolok, Merapi, dan Semeru. Selebihnya belum ada gunungapi yang masuk kategori level 4 (Awas).

Undang-undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana mengartikan bencana sebagai rangkaian peristiwa yang bersifat mengancam dan mengganggu kehidupan maupun penghidupan masyarakat yang biasanya disebabkan oleh faktor alam, nonalam, maupun manusia (R.I, 2007). Bencana merupakan hasil dari munculnya kejadian luar biasa (*hazard*) pada komunitas yang rentan (*vulnerable*) sehingga masyarakat tidak dapat mengatasi berbagai implikasi dari kejadian luar biasa tersebut (Purnama, 2017). Meletusnya gunungapi merupakan salah satu bencana yang disebabkan oleh peristiwa alami. Akibat dari peristiwa bencana cenderung menyebabkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, serta dampak psikologis kepada para korban (Husein & Onasis, 2017).

Berdasarkan mekanismenya, bahaya yang disebabkan oleh gunungapi dibedakan menjadi bahaya primer dan bahaya sekunder. Bahaya primer merupakan bahaya yang diakibatkan secara langsung oleh produk letusan gunungapi, yaitu aliran lava, aliran piroklastik, jatuhnya piroklastik berupa lontaran batu pijar dan hujan abu, gas beracun, serta lahar letusan (Edmonds, Grattan, & Michnowiez, 2018). Bahaya sekunder merupakan bahaya yang diakibatkan secara tidak langsung oleh produk letusan gunungapi, yaitu lahar dan longsoran gunungapi (Priatna & Primulyana, 2020).

Salah satu upaya mitigasi bencana yang diakibatkan oleh letusan gunungapi, selain membuat peta kawasan rawan bencana juga melakukan pemantauan aktivitas atau gejala peningkatan aktivitas gunungapi. Teknologi pemantauan gunungapi sekarang sudah semakin berkembang

karena kini teknologinya sudah berbasis digital (Gunawan & Haerani, 2020).

Pembuatan peta kawasan rawan bencana dapat menggunakan bantuan aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG). SIG memiliki kemudahan dalam penggunaan serta pengelolannya. SIG juga mempunyai kemampuan yang cukup handal dalam mengorganisasi data-data geografis yang sesuai dengan zamannya (*up to date*) terutama bila diperlukan dalam hal pengambilan keputusan yang cepat dan tepat (Setiyawidi, Setiawan, & Somantri, 2016). Beberapa aplikasi SIG telah dipakai dalam berbagai kajian seputar kebencanaan seperti pemetaan kawasan bahaya rawan bencana, pembuatan jalur evakuasi dan pertolongan akibat bencana, serta pemetaan risiko bencana (banjir, letusan gunungapi, longsor, gempa, tsunami, dan likuifaksi) (Rahayu et.al., 2018).

SIG dapat digunakan dalam upaya mengurangi risiko bencana yang diakibatkan oleh alam ataupun nonalam. SIG adalah suatu sistem yang cukup lengkap untuk menganalisis, memodelkan, dan menampilkan kerentanan pada suatu komunitas tertentu. Sehingga pemanfaatan SIG sangat berguna dalam mengantisipasi berbagai ancaman bencana di masa depan. Melalui SIG dapat memberikan kerangka bagi pegiat penanggulangan bencana untuk dapat menggunakan peta berbasis komputer dalam mengenali konteks spasial daerah yang rawan bencana (Peiris, 2020). Selain mudah dalam penggunaan dan pengelolannya, pemanfaatan aplikasi SIG juga mempunyai kemampuan yang cukup handal dalam mengolah data geografis yang sesuai dengan zamannya terutama bila dibutuhkan dalam pengambilan keputusan ketika terjadi suatu bencana (Ihsan et.al., 2018).

Wilayah Kabupaten Sikka memiliki kerawanan bencana, baik yang disebabkan oleh faktor alam, nonalam maupun oleh akibat kegiatan manusia. Ancaman bencana meletusnya Gunungapi Roketenda di Pulau Palue, sampai detik ini masih menjadi ancaman masyarakat sekitar karena status gunung tersebut yang masih aktif. Gunungapi Roketenda mengalami letusan cukup hebat sekitar 200 tahun silam yang kemudian membentuk lima buah kawah dan satu kubah lava (*lava dome*). Erupsi tahun 2012 – 2013 diawali pembentukan kubah lava pada 8 Oktober 2012 dan diikuti dengan erupsi abu dan lontaran batu (>6 cm) hingga jarak 3.000 m dari pusat erupsi. Tinggi asap/abu erupsi antara 800–4.000 m di atas puncak kubah lava (Asriningrum, 2015).

Melalui pemanfaatan SIG diharapkan dapat membantu pemerintah Kabupaten Sikka dalam upaya pembuatan rencana mitigasi bencana letusan Gunungapi Roketenda di masa yang akan datang. Pembuatan peta kawasan rawan bencana dapat menggunakan bantuan aplikasi SIG salah satunya dengan menggunakan *plugin* InaSAFE (*Indonesia Scenario Assessment for Emergencies*).

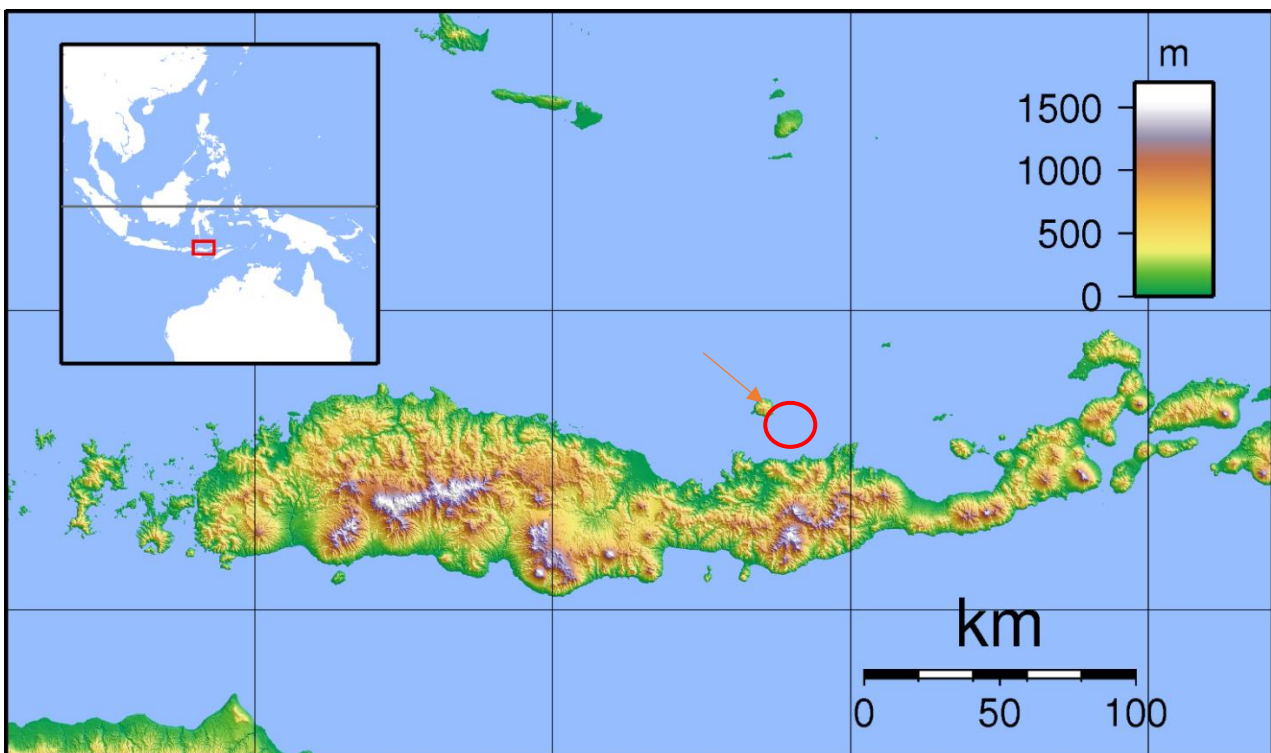
InaSAFE merupakan sebuah *plugin* untuk perangkat lunak *Quantum GIS* (QGIS) yang bertujuan untuk menghasilkan skenario dampak ancaman bencana alam (HOT, 2015). Tujuannya untuk perencanaan mitigasi bencana yang lebih baik, kesiapsiagaan, dan kegiatan tanggap bencana, dengan menggunakan data geografis untuk berbagai ancaman bencana dan keterpaparannya (Fitri & Priyana, 2017). *Plugin* ini mampu memetakan daerah-daerah yang terdampak letusan, bangunan terpapar, serta dapat menghitung kerugian berdasarkan pada zona kawasan rawan bencana gunungapi. InaSAFE memiliki kemampuan yang sangat baik dalam mengestimasi jumlah kebutuhan dasar minimum yang diperlukan selama masa pengungsian akibat bencana letusan gunungapi yang terjadi. Estimasi kebutuhan dasar minimum ini didasarkan pada jumlah penduduk terdampak (Jacob, Kumaat, & Tewal, 2020). Aplikasi ini terbuka dan gratis sehingga siapapun dapat menggunakannya. InaSAFE mula-mula dimanfaatkan dan dikembangkan oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) Indonesia bersama dengan *Australian Agency for International Development*, melalui *Australia-Indonesia Facility for Disaster Reduction (AIFDR)*, *World Bank - Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (World Bank- GFDRR)*. Cara kerja InaSAFE adalah dengan menggabungkan data-data yang berasal dari para ilmuwan/akademisi, pemerintah daerah, dan masyarakat untuk memberikan wawasan kemungkinan dampak dari peristiwa bencana di waktu mendatang.

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui luasan potensi bahaya erupsi yang meliputi sebaran awan panas dan aliran lahar dan

menganalisis dampak yang meliputi jumlah bangunan, luas bangunan, dan panjang jalan yang terdampak Gunungapi Rokatenda menggunakan *plugin* InaSAFE. Berdasarkan hasil penelitian ini diharapkan dapat diketahui desa yang memiliki tingkat kerawanan tinggi, sedang, dan rendah terhadap ancaman letusan gunungapi. Melalui hasil ini, dapat ditentukan lokasi pengungsian serta jalur evakuasi yang dapat menjadi acuan Pemerintah Daerah Kecamatan Palue ketika peristiwa tersebut kembali terjadi di masa yang akan datang.

METODE

Lokasi penelitian berada di wilayah Kecamatan Palue, Kabupaten Sikka, Nusa Tenggara Timur yang dapat dilihat pada **Gambar 1**. Gunungapi Rokatenda berada di tengah-tengah Pulau Palue yang memiliki delapan desa yakni Desa Nitunglea, Desa Lidi, Desa Reruwairere, Desa Maluriwu, Desa Kesokoja, Desa Ladolaka, Desa Tuanggeo, dan Desa Rokirole. Penelitian ini dilakukan dengan cara analisis data sekunder. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa Citra Landsat 8 OLI/TIRS yang diambil pada tahun 2013. Kemudian data citra satelit diolah menjadi data *shapefile* (.shp) yang terdiri dari data potensi bahaya erupsi, data jumlah dan luasan bangunan, dan data jalan. Dibutuhkan pula data peta administrasi Pulau Palue yang didapatkan langsung dari laman: <http://data.inasafe.org> secara gratis. Dibutuhkan juga data dari instansi BPS Kabupaten Sikka sebagai data sekunder. Beberapa tambahan data lainnya terdiri dari jurnal, buku, dan berbagai literatur terkait bencana yang pernah terjadi di wilayah Gunungapi Rokatenda.



Gambar 1. Peta lokasi Pulau Palue, Kab. Sikka, Provinsi NTT

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan perangkat komputer/laptop yang telah terpasang aplikasi QGIS Desktop v3.20 dengan bantuan *plugin* dari InaSAFE v5.30. Aplikasi QGIS dapat diunduh pada laman <https://qgis.org/en/site/> secara gratis. Sementara *plugin* InaSAFE dapat langsung diunduh melalui menu tambahan yang terdapat di dalam aplikasi QGIS. Hasil pengolahan data citra satelit sebelumnya didapatkan data potensi sebaran awan panas dan lahar yang dikategorikan sebagai data bahaya (*hazard*). Selanjutnya data mengenai panjang jalan, jumlah, dan luasan bangunan yang memiliki kemungkinan terpapar dikategorikan sebagai data keterpaparan (*exposure*). Data administrasi Pulau Palue digunakan sebagai batasan/ruang lingkup kajian (*aggregation*) untuk mengetahui jumlah bangunan dan jalan yang terpapar. Ketiga data tersebut nantinya akan dilakukan analisis spasial dengan menggunakan teknik tumpang tindih (*overlay*) melalui *plugin* InaSAFE. Analisis statistik pada penelitian ini menggunakan metode statistik deskriptif.

Berdasarkan hasil pengolahan tersebut kemudian dilakukan analisis dan interpretasi data mengenai jumlah wilayah yang memiliki keterpaparan paling tinggi maupun rendah. Kemudian akan didapatkan hasil berupa luas potensi bahaya erupsi. Selanjutnya akan diketahui lokasi yang dapat disarankan sebagai tempat pengungsian penduduk beserta jalur evakuasi yang dapat disarankan. Hasil analisis data pada penelitian ini juga akan dibandingkan dengan dokumen rencana kontigensi yang telah dibuat oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) dan Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Sikka pada tahun 2013 lalu serta literatur pendukung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peta Potensi Bahaya Letusan Gunungapi Rokatenda

Gunungapi Rokatenda atau juga disebut Gunungapi Palue, merupakan sebuah gunung berapi yang terletak di Pulau Palue dan terletak di sebelah utara Pulau Flores. Secara administratif Pulau Palue termasuk wilayah Kecamatan Awa, Kabupaten Sikka, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Gunungapi yang bertipe strato ini sebenarnya merupakan pulau gunungapi soliter yang merupakan lokasi tertinggi di Pulau Palue dengan ketinggian daratan mencapai 875 mdpl dan memiliki diameter pulau kurang lebih 7,2 km atau luas daratan sekitar 41 km². Gunungapi ini secara geografis terletak di koordinat 121° 42' bujur timur and 8° 19' lintang selatan dan koordinat UTM berada pada kordinat 51S (BPS, 2021).

Estimasi bangunan dan jalan yang terdampak pada setiap kelas bahaya sebaran erupsi akibat letusan gunungapi dilakukan dengan menggunakan *plugin* InaSAFE. Data diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya pada tahun 2013 menggunakan citra

satelit Landsat 8 OLI/TIRS yang diolah dengan algoritma pendekatan penginderaan jauh multispektral yang terdapat di QGIS. Kelas bahaya sebaran erupsi pada *plugin* InaSAFE dikelompokkan berdasarkan pada tiga klasifikasi bahaya, yaitu kelas tinggi, kelas menengah/sedang, dan kelas rendah. Kelas tinggi mewakili wilayah dengan tingkat keterpaparan erupsi dengan kategori sangat rawan dan rawan. Kelas menengah/sedang mewakili wilayah dengan tingkat keterpaparan berkategori potensial dan agak rawan. Sedangkan kelas rendah mewakili wilayah dengan tingkat keterpaparan penyebaran bahaya dari erupsi yang termasuk ke dalam kategori tidak rawan.

Karakteristik topografi wilayah Pulau Palue didominasi oleh wilayah dengan ketinggian 100–500 mdpl yaitu seluas 2.731,27 ha atau 27,31 km² yakni sekitar 66,62% dari total luas wilayah di Kecamatan Palue. Pada ketinggian tersebut merupakan wilayah lereng dan atau perbukitan yang berada cukup dekat dengan puncak Gunung Rokatenda. Kondisi kemiringan tanah (kelerengan) di wilayah Kecamatan Palue cukup bervariasi dan didominasi oleh kemiringan tanah/lahan yang lebih besar dari 40% dengan luas 3.705,26 ha atau 37,05 km² yakni sekitar 90,37% dari total luas wilayah di Kecamatan Palue seperti yang tertulis di dalam **Tabel 1** dan **Tabel 2**.

Tabel 1. Klasifikasi luasan ketinggian Pulau Palue.

Ketinggian (mdpl)	Pulau Palue	
	Luas (km ²)	Persentase
0–25	4,12	10,06%
25–100	5,94	14,48%
100–500	27,31	66,62%
500–1000	3,63	8,85%
Total	41	100%

Tabel 2. Klasifikasi luasan kemiringan Pulau Palue.

Tingkat Kemiringan	Pulau Palue	
	Luas (km ²)	Persentase
0–2 %	0,07	0,18%
2–15 %	0,05	0,11%
15–40 %	3,83	9,34%
>40 %	37,05	90,37%
Total	41	100%

Berdasarkan data BNPB (2013), masyarakat di Pulau Palue sebagian besar tinggal di kawasan pesisir dan berprofesi sebagai nelayan. Sementara, masyarakat yang tinggal di dataran 100–500 mdpl memiliki profesi sebagai petani. Hal ini disebabkan karena kondisi tanah vulkanik pada sekitar wilayah gunungapi memiliki tingkat kesuburan yang bagus. Jika dinilai dari segi kawasan, menurut Sukarman, Dariah, & Suratman (2020) menerangkan bahwa tanah vulkanik dengan kondisi paling bagus terdapat pada lahan di daerah pergunungan dengan kemiringan lereng >30% dan daerah perbukitan dengan kemiringan lereng sekitar 15-30%. Berdasarkan karakteristik biofisik terutama lereng, minimal terdapat 2,05 juta ha (38%) tanah vulkanik

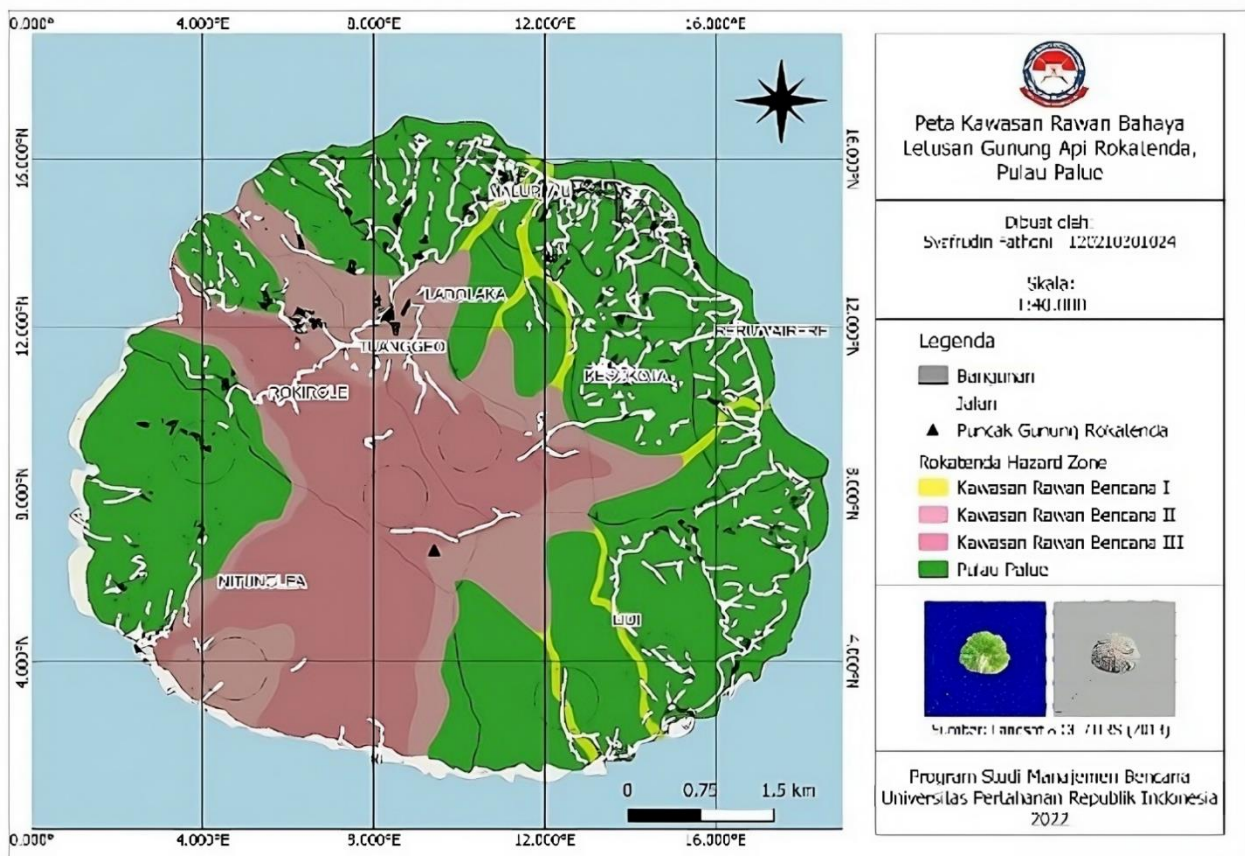
yang potensial untuk pertanian di Indonesia. Lahan potensial tersebut mampu mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal. Jika lahan tersebut dikelola dengan baik maka tidak akan mengganggu kelestarian sumber daya dan lingkungan. Namun, masyarakat yang bermukim di dataran tinggi yang dekat dengan puncak Gunung Rokatenda setidaknya perlu meningkatkan kewaspadaannya karena status Gunung Rokatenda yang sampai saat ini masih dalam kondisi aktif dan kemungkinan besar dapat meletus sewaktu-waktu.

PVMBG telah membuat Peta Kawasan Rawan Bencana (KRB) yang identik dengan peta daerah bahaya gunungapi. Peta tersebut merupakan peta petunjuk yang dapat menggambarkan tingkat kerawanan bencana suatu daerah bila terjadi letusan gunungapi. Peta KRB biasanya disusun berdasarkan sejarah erupsi, kondisi geologi, demografi, dan perkiraan/model kejadian erupsi yang akan datang, sehingga dalam peta ini kita dapat memperoleh informasi mengenai jenis dan tipe bahaya gunungapi, kawasan rawan bencana, arah pengungsian, lokasi pengungsian, dan pos-pos penanggulangan bencana (Gunawan & Haerani, 2020). Peta KRB kemudian dapat diklasifikasikan menjadi tiga kawasan yakni KRB tingkat 3, KRB tingkat 2, dan KRB tingkat 1.

KRB tingkat 3 merupakan kawasan yang paling sering dilanda awan panas, aliran lava, lontaran atau

guguran batu pijar, dan gas beracun dengan radius lontaran sekitar 2 km dari puncak. Wilayah ini memiliki tingkat kerawanan yang sangat tinggi. Selanjutnya KRB tingkat 2 adalah kawasan yang berpotensi dilanda aliran lava, lontaran batu pijar, termasuk hasil letusan freatik, hujan abu lebat, kemungkinan gas racun, awan panas/aliran piroklastik, dan longoran puing vulkanik dengan radius sekitar 5 km dari puncak. Wilayah ini memiliki tingkat kerawanan yang cenderung sedang/menengah. Sementara untuk KRB tingkat 1 merupakan kawasan yang berpotensi dilanda aliran massa berupa lahar dan lontaran berupa hujan abu serta kemungkinan terkenal lontaran batu pijar dengan radius sekitar 8 km dari puncak. Pada wilayah ini memiliki tingkat kerawanan yang dapat dikatakan rendah.

Hasil pengolahan data potensi bahaya sebaran erupsi letusan Gunungapi Rokatenda didapatkan luasan dari hasil digitasi letusan Gunungapi Rokatenda pada tahun 2013 lalu. Luas potensi sebaran bahaya diklasifikasikan menjadi tiga tingkatan yakni tingkat tinggi, sedang, dan rendah. Hasil visualisasi dalam bentuk peta dapat dilihat pada **Gambar 2**. Hasil perhitungan luasan bahaya juga dapat dilihat pada **Tabel 3**.



Gambar 2. Peta potensi sebaran bahaya erupsi Gunungapi Rokatenda.

Tabel 3. Luas potensi bahaya erupsi Gunungapi Rokatenda.

Kawasan Rawan Bencana	Luas (km ²)
Tingkat 1 (Rendah)	0,88
Tingkat 2 (Sedang)	6,82
Tingkat 3 (Tinggi)	8,65
Total	16,35

Hasil pemetaan wilayah potensi kerawanan bahaya akibat letusan Gunungapi Rokatenda menunjukkan bahwa wilayah yang kemungkinan akan terdampak seluas 16,35 km². Hasil erupsi cenderung bergerak ke arah barat daya dan barat laut. Hal ini tentunya berkaitan dengan kondisi kemiringan lereng yang cenderung lebih curam sehingga kemungkinan besar potensi aliran lahar bergerak ke arah tersebut. KRB tingkat 1 (rendah) hanya sekitar 0,88 km² dengan potensi desa yang terdampak adalah Desa Kesokoja, Desa Lidi, Desa Maluriwu, dan Desa Reruwairere. Sementara untuk KRB tingkat 2 (sedang) seluas 6,82 km² berpotensi melanda wilayah Desa Tuanggeo, Desa Ladolaka, Desa Lidi, Desa Kesokoja, Desa Rokirole, dan Desa Nitunglea. Sedangkan untuk KRB tingkat 3 (tinggi) sebesar 8,65 km² yang sebagian besar melanda Desa Rokirole, Desa Nitunglea, dan Desa Tuanggeo. Potensi bahaya erupsi meliputi sebaran awan panas dan serpihan debu vulkanik disebabkan oleh kondisi cuaca dan angin. Sementara untuk potensi bahaya aliran lahar disebabkan oleh kemiringan lereng serta kondisi tutupan lahan.

National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP) menjelaskan terkait kemiringan lereng dapat mempengaruhi kecepatan aliran lahar dan kemungkinan terjadinya aliran lahar. Lereng yang sangat curam dapat meningkatkan kecepatan aliran lahar karena gravitasi, sehingga memperbesar potensi bahaya yang ditimbulkan untuk masyarakat sekitar wilayah terdampak. Ketika gunungapi meletus, material vulkanik yang dilepaskan dapat merosot ke bawah melalui aliran lahar. Kemiringan lereng yang curam memungkinkan material tersebut bergerak dengan lebih cepat dan merusak segala yang ada di jalurnya. Kondisi tersebut membuat aliran lahar sulit untuk diredakan atau dikendalikan (NEHRP, 2005).

Jenis tutupan lahan juga berpengaruh terhadap aliran lahar. Menurut Pierson, Wood, & Driedger (2014) menjelaskan bahwa jenis tutupan lahan, seperti vegetasi atau tanah yang padat, dapat mempengaruhi resistensi aliran lahar. Tanah yang ditutupi oleh vegetasi yang rapat dapat mengurangi laju erosi dan menahan material vulkanik, serta mengurangi potensi bahaya aliran lahar. Sebaliknya, lahan yang terdiri dari batuan kasar atau tanah yang

longsor dan tidak memiliki tutupan vegetasi dapat memfasilitasi pergerakan material vulkanik secara bebas dan meningkatkan potensi bahaya akibat aliran lahar. Vegetasi juga dapat berfungsi sebagai penghalang fisik terhadap aliran lahar untuk mengurangi kecepatan dan dampaknya terhadap lingkungan sekitar.

Estimasi Dampak Keterpaparan Bangunan dan Wilayah Permukiman

Hasil analisis data didapatkan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak QGIS dan *plugin* InaSAFE. Data yang digunakan meliputi data bahaya yang disebabkan oleh letusan Gunungapi Rokatenda dengan data titik bangunan yang terdapat di Kawasan Gunungapi Rokatenda, Pulau Palue. Total bangunan yang kemungkinan besar dapat terdampak akibat bencana letusan gunungapi berjumlah 547 dengan jumlah bangunan yang aman dari ancaman sebanyak 2.700 bangunan. Sekitar 10 bangunan berada pada tingkat bahaya yang tinggi. Kemudian sebagian besar bangunan berada dalam tingkat bahaya menengah yaitu sebanyak 442 bangunan. Kondisi tingkat bahaya yang tinggi dan menengah cenderung memberikan efek yang sangat mempengaruhi lingkungan di sekitarnya. Tipe bangunan yang terdampak didominasi oleh tanah permukaan yang biasa digunakan masyarakat untuk membangun rumah dan kini menjadi kawasan permukiman. Hasil analisis InaSAFE dapat dilihat pada **Tabel 4** dan **Tabel 5**.

Menurut Asriningrum, Noviar, & Suwarsono (2004), berdasarkan tingkat bahayanya, klasifikasi gunungapi terbagi menjadi 3 zona, yaitu zona 1 (tinggi), zona 2 (menengah), dan zona 3 (rendah). Bagi masyarakat berisiko rendah atau di zona 3, terdapat 95 titik bangunan yang kondisinya cenderung tidak berpengaruh. Dari 8 desa yang terdapat di Pulau Palue, hanya 5 desa yang berpotensi terkena langsung dampak dari letusan Gunungapi Rokatenda di antaranya Desa Kesokoja, Desa Ladolaka, Desa Nitunglea, Desa Rokirole, dan Desa Tuanggeo.

Tabel 5. Dampak bangunan yang terdampak erupsi di tingkat desa.

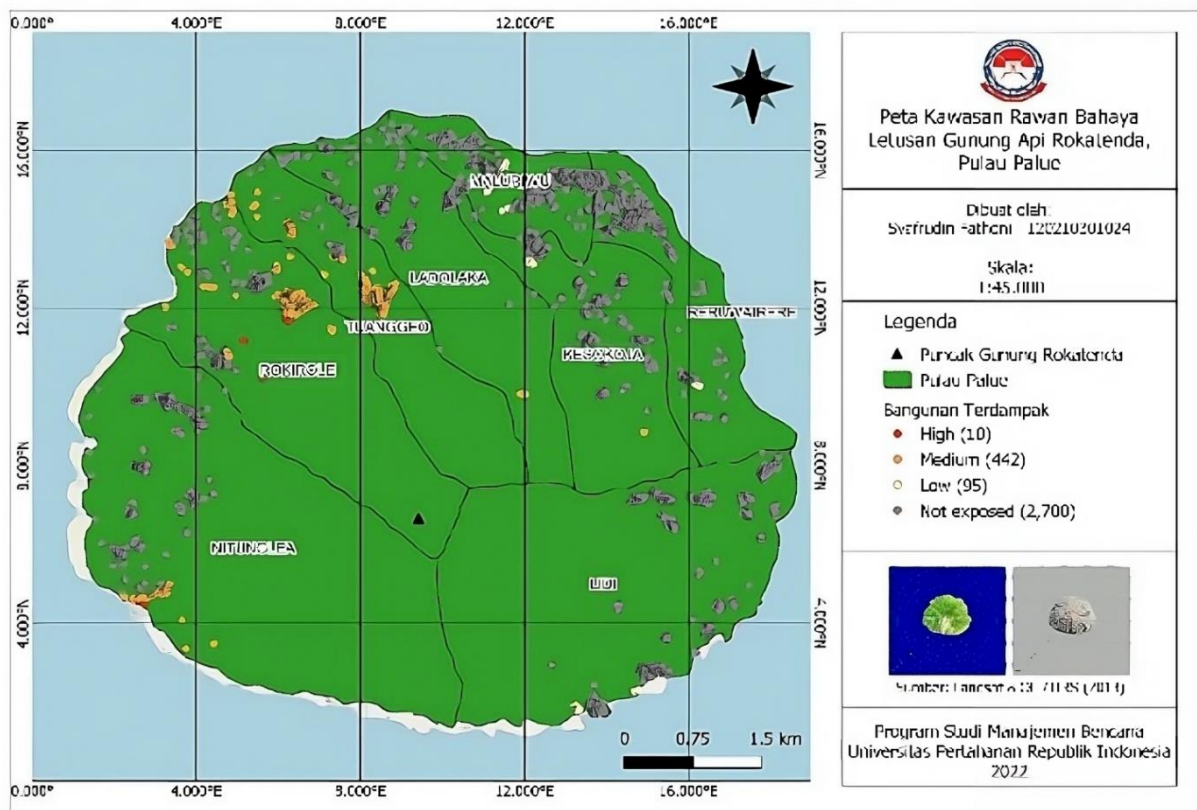
Aggregation Area	Permukiman	Total
Kesokoja	1	1
Ladolaka	2	2
Nitunglea	36	36
Rokirole	159	159
Tuanggeo	254	254
Total	452	452

Tabel 4. Hasil analisis InaSAFE bangunan yang terdampak erupsi.

Tipe Bangunan	Terdampak			Tidak Terdampak		Tidak Terekspos	Total
	Tinggi	Sedang	Total	Rendah	Total		
Permukiman	10	442	452	95	95	2.700	3.300
Total	10	442	452	95	95	2.700	3.300

Pada data analisis InaSAFE tersebut, wilayah Desa Tuanggeo menjadi desa yang paling terdampak oleh bencana erupsi Gunungapi Rokatenda dengan sejumlah 254 bangunan permukiman masyarakat yang terdampak. Permukiman terdampak sisanya di Desa Rokirole sebanyak 159 titik bangunan dan Desa Nitunglea sebanyak 36 titik bangunan. Sementara itu, Desa Kesokoja dan Desa Ladolaka memiliki jumlah bangunan yang paling sedikit terdampak. Namun, ketiga bangunan di dua desa tersebut berada pada KRB tingkat 2 atau berada di zona dengan potensi bahaya sedang/menengah. Hal ini disebabkan oleh posisi bangunan yang berada cukup dekat dengan puncak Gunungapi Rokatenda. Faktor lain berupa sebaran angin dan kondisi kemiringan lereng sehingga aliran lahar dan awan panas berpotensi mengarah ke bangunan-bangunan tersebut. Hasil analisis InaSAFE dalam bentuk peta dapat dilihat pada peta bangunan yang terdampak erupsi di **Gambar 3**.

Hanya ada tiga desa yang mengalami dampak dari letusan Gunungapi Rokatenda yaitu Desa Nitunglea, Desa Rokirole, dan Desa Tuanggeo. Desa Rokirole dan Desa Tuanggeo memiliki nilai luasan dampak yang paling besar dibandingkan wilayah desa lainnya yaitu sebesar 2 ha bangunan permukiman yang terdampak oleh bencana letusan Gunungapi Rokatenda. Berdasarkan data yang dihimpun oleh Badan Pusat Statistik Kabupaten Sikka, total penduduk yang ada di Kecamatan Palue pada data terakhir 2018 yaitu sekitar 10.333 jiwa. Satu bangunan rumah biasanya ditempati oleh sekitar 3-4 orang. Maka dapat diperkirakan apabila jumlah bangunan yang memiliki kerawanan tinggi/ sedang totalnya adalah 452 bangunan, maka jumlah penduduk yang harus siap untuk diungsikan sekitar 1.808 jiwa. Tim evakuasi tentunya dapat menyiapkan jalur dan lokasi yang menjadi prioritas dalam melaksanakan evakuasi apabila Gunungapi Rokatenda kembali erupsi.



Gambar 3. Peta bangunan terdampak erupsi Gunungapi Rokatenda.

Tabel 6. Hasil analisa InaSAFE jalan yang terdampak erupsi.

Tipe Jalan	Terdampak			Tidak Terdampak		Tidak Terekspos	Total (m)
	Tinggi	Sedang	Total	Rendah	Total		
Jalan Utama	0	0	0	0	0	563	563
Jalan Sekunder	0	0	0	0	0	670	670
Lokal	552	3.200	3.752	906	906	30.800	35.456
Jalur Setapak	5.300	6.900	12.200	1.900	1.900	36.900	51.000
Lainnya	0	303	303	399	399	3.200	3.902
Total	5.852	10.403	16.255	3.205	3.205	72.133	91.638

Tabel 7. Dampak jalan yang terdampak erupsi di tingkat desa.

Aggregation Area	Lokal	Jalur Setapak	Lainnya	Total (m)
Ladolaka	1.100	590	0	1.690
Lidi	0	233	0	233
Nitunglea	716	1.800	0	2.516
Rokirole	700	6.400	113	7.213
Tuanggeo	1.300	3.200	190	4.690
Total	3.816	12.223	303	16.342

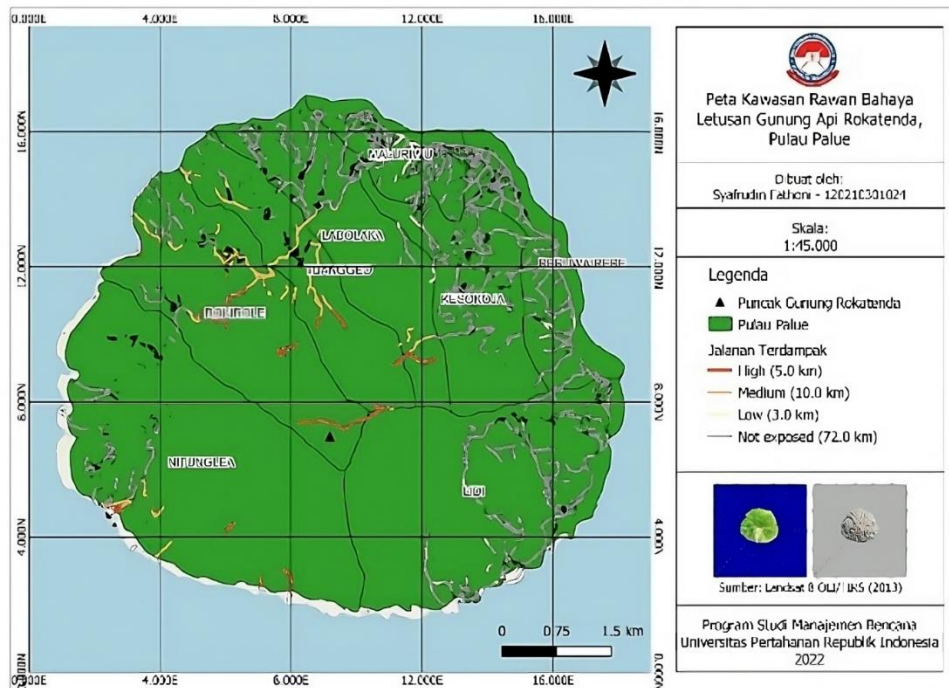
Estimasi Dampak Keterpaparan Jalan dan Jalur Evakuasi

Data yang sudah didapatkan kemudian diolah dengan menggunakan bantuan perangkat lunak QGIS dan *plugin* InaSAFE. Data yang digunakan meliputi data bahaya yang disebabkan oleh letusan Gunungapi Rokatenda dengan data jalan yang terdapat di Pulau Palue. Hasilnya menunjukkan bahwa dari total panjang jalan yang ada di Pulau Palue yaitu 91,6 km hanya 19,3 km jalan di wilayah Pulau Palue yang terkena dampak oleh bahaya dari letusan Gunungapi Rokatenda. Tipe jalan yang paling terdampak adalah jalan lokal dan jalur setapak.

Hasil perhitungan analisis jalan yang terdampak yakni sepanjang 5,9 km berada di tingkat bahaya tinggi (tingkat 1), 10 km berada di tingkat bahaya menengah (tingkat 2), 3 km di tingkat bahaya rendah (tingkat 3), dan 72 km di wilayah yang tidak terdampak. Hasil analisa jalan yang terdampak erupsi Gunungapi Rokatenda menggunakan *plugin* InaSAFE dapat dilihat pada **Tabel 6** dan **Tabel 7**.

Infrastruktur jalan yang terdampak oleh erupsi Gunungapi Rokatenda meliputi Desa Ladolaka, Desa Lidi, Desa Nitunglea, Desa Rokirole, dan Desa Tuanggeo. Desa Rokirole merupakan wilayah yang infrastruktur jalannya paling banyak terdampak

kurang lebih 7,2 km. Tipe jalan yang terdampak merupakan jalur setapak yang biasanya digunakan oleh masyarakat sekitar untuk beraktivitas masyarakat sehari-hari dengan total panjang 6,4 km. Berdasarkan penentuan KRB Desa Rokirole berada di tingkat 3 dan tingkat 2. Kemudian jalan yang terdampak di wilayah Desa Tuanggeo sepanjang 4,6 km, dengan 1,3 km adalah jalan lokal. Desa Tuanggeo merupakan wilayah yang memiliki potensi dampak paling tinggi pada jalan lokal dibandingkan dengan desa lainnya. Hal ini tidak mengherankan karena wilayah Desa Tuanggeo merupakan kawasan permukiman, sehingga banyak terdapat bangunan di sekitar jalan permukiman dan jumlah bangunan yang terkena dampak merupakan yang tertinggi dibandingkan desa lainnya. Untuk wilayah Desa Lidi jalan yang terdampak hanya sepanjang 233 m, namun itu hanya pada jalan yang dekat dengan puncak gunung dan bukan pada wilayah permukimannya. Berdasarkan hasil analisis, terdapat empat desa yang memiliki jalur evakuasi yang aman, yaitu Desa Kesokoja, Desa Maluriwu, Desa Reruwairere, dan Desa Lidi. Hasil analisis InaSAFE perihal jalan yang terdampak oleh erupsi Gunungapi Rokatenda dalam bentuk peta dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Peta jalan yang terdampak erupsi Gunungapi Rokatenda.

Berdasarkan dokumen rencana kontijensi yang telah dibuat oleh BNPB (2013), ketiga desa yang termasuk ke dalam tingkat kerawanan tinggi yakni Desa Nitunglea, Desa Rokirole, dan Desa Tuanggeo. Penduduk yang tinggal di ketiga desa tersebut termasuk ke dalam KRB tingkat 3. Karena posisi Gunungapi Rokatenda yang berada di sebuah pulau, maka cara evakuasi paling tepat adalah dengan meninggalkan Pulau Palue. Masyarakat yang tinggal di Desa Nitunglea dapat menuju ke lokasi evakuasi yang terletak di Pantai Oka Cere atau Pantai Cua. Sementara penduduk di Desa Rokirole dapat menuju ke Pantai Punge. Kemudian penduduk di Desa Tuanggeo dapat melakukan evakuasi menuju pantai Tepetetu.

Jarak Pulau Palue dari lokasi Dermaga Kerica dengan Pelabuhan Sikka memiliki jarak sejauh 64,3 km dengan waktu tempuh sekitar 3 sampai 4 jam menggunakan kapal laut. Sementara jarak dari Pulau Palue dengan pelabuhan terdekat yaitu Pelabuhan Maurole hanya sekitar 23,4 km dengan waktu tempuh sekitar 2 sampai 3 jam. Kondisi tersebut tentunya membutuhkan waktu yang cukup lama untuk kapal evakuasi dari Pelabuhan Sikka atau Pelabuhan Maurole mencapai Pulau Palue, belum lagi kondisi lautan yang sangat dinamis menyebabkan banyak faktor yang menjadi kendala dalam proses evakuasi masyarakat yang terdampak di Pulau Palue. Maka dari itu perlu adanya koordinasi yang baik antara petugas pemantau gunungapi dengan petugas PVMBG sehingga apabila terjadi erupsi, tim evakuasi dapat bergerak cepat sebelum timbul adanya korban jiwa.

Apabila dilihat dari data BNPB (2013) pada letusan Gunungapi Rokatenda tahun 2013, perkiraan korban akibat letusan Gunungapi Rokatenda mencapai 1.665 orang dengan korban meninggal sebanyak 11 orang, luka berat 39 orang, dan sisanya luka ringan. Selain itu, sarana dan prasarana di Pulau Palue juga mengalami kerusakan. Selain jalan yang tertutup material vulkanik, beberapa bangunan lain juga mengalami kerusakan, antara lain sekolah, kantor pemerintahan, lembaga keagamaan, puskesmas, hingga rumah warga yang semuanya mengalami kerusakan sedang hingga berat akibat erupsi. Perkebunan yang berada di lereng gunung juga mengalami kerusakan akibat terjangan aliran lahar vulkanik. Kerusakan berat terdapat di Desa Nitunglea, Desa Kesokoja, dan Desa Lidi. Sementara kerusakan kebun ringan terletak di Desa Tuanggeo, Desa Rokirole, dan Desa Ladolaka.

Wilayah Pulau Palue didominasi oleh wilayah dataran tinggi, oleh sebab itu upaya evakuasi yang disarankan adalah penduduk dapat segera menuju kawasan pesisir dan sedapat mungkin menjauh dari pulau menggunakan perahu/kapal laut untuk menghindari lontaran material atau terjangan lahar hasil erupsi Gunungapi Rokatenda. Selain dari ketiga desa yang memiliki tingkat kerawanan tinggi, untuk para penduduk di Desa Ladolaka, Desa Lidi, Desa

Kesokoja, Desa Maluriwu, dan Desa Reruwairere juga diharapkan juga dapat bergerak menuju wilayah pesisir (Pelabuhan Kerica) meskipun kelima desa tersebut memiliki tingkat kerawanan sedang hingga rendah. Pelabuhan Kerica merupakan Pelabuhan utama di Pulau Palue dan di sana terdapat kapal-kapal penumpang yang dapat membantu proses evakuasi penduduk.

Aktivitas Gunungapi Rokatenda masih terus berlangsung hingga saat ini, dan belum ada tanda-tanda erupsi akan berhenti. Desa yang berada dalam radius 3 km dari pusat erupsi dan dapat segera menuju pantai Rokatenda dan mengungsi ke luar pulau. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, penggunaan *plugin* InaSAFE cukup mempermudah analisis spasial dalam menentukan potensi dampak yang ditimbulkan oleh erupsi.

Hasil dari pengoperasian *plugin* INASAFE menggambarkan dampak yang kemungkinan akan terjadi berdasarkan data yang sudah didapatkan dari peristiwa sebelumnya. Kelebihan analisis skenario dampak menggunakan InaSAFE memungkinkan integrasi data geografis yang kompleks, termasuk data peta dan informasi spasial lainnya. Hal ini memungkinkan analisis dampak yang lebih akurat dan relevan secara spasial. Melalui analisis *real-time* dan pemodelan skenario, InaSAFE dapat memberikan peringatan dini yang cepat terkait dengan potensi bahaya dan dampak bencana. Hal ini memungkinkan tindakan tanggap darurat yang lebih cepat. InaSAFE menyediakan visualisasi data yang mudah dipahami, baik dalam bentuk peta, grafik, atau tabel. Hal ini dapat membantu pengambil keputusan untuk dengan cepat memahami kompleksitas situasi sehingga mampu memfasilitasi kolaborasi dan koordinasi antara berbagai pemangku kepentingan dan instansi terkait dalam manajemen bencana.

Meskipun demikian, terdapat kekurangan pada analisis InaSAFE yang sangat bergantung pada data *input*. Keterbatasan atau ketidakakuratan data dapat menghasilkan hasil yang kurang representatif. Analisis dengan InaSAFE mungkin tidak menyertakan semua variabel atau faktor yang relevan dalam memahami dampak bencana secara menyeluruh. Hasil analisis InaSAFE perlu divalidasi dengan data lapangan dan pengamatan langsung untuk memastikan ketepatan hasil dan memperbaiki model jika diperlukan.

Para pemangku kepentingan dapat membuat berbagai kebijakan dalam rangka mengurangi dampak risiko bencana akibat erupsi Gunungapi Rokatenda di masa yang akan datang. Tentunya apabila dengan data yang lebih banyak, maka hasil analisis diharapkan akan lebih akurat. Perlu ada verifikasi estimasi keterpaparan itu dengan data bencana historisnya, sehingga akurasi sistem InaSAFE ini dapat diperkirakan.

KESIMPULAN

Bencana letusan Gunungapi Rokatenda yang terjadi di Pulau Palue tahun 2013 lalu memberikan dampak yang cukup besar bagi kawasan permukiman warga dan infrastruktur jalan desa. Sebanyak 452 rumah warga yang berada di zona KRB tingkat 1 dan tingkat 2. Paling banyak berasal dari Desa Tuanggeo dengan total 254 bangunan terdampak. Sementara untuk luasan bangunan atau permukiman warga yang terdampak kurang lebih sebanyak 5 ha. Sedangkan pada infrastruktur jalan, sekitar 16,1 km berada di zona KRB tingkat 1 dan tingkat 2. Tipe jalanan yang terdampak berupa jalan lokal dan jalan setapak yang berada di Desa Rokirole (7,2 km), Desa Tuanggeo (4,7 km), dan Desa Nitunglea (2,5 km). Berdasarkan ketiga parameter tersebut wilayah desa yang paling terdampak oleh bencana letusan Gunungapi Rokatenda adalah Desa Nitunglea, Desa Rokirole, dan Desa Tuanggeo. Disarankan apabila erupsi kembali terjadi, maka para warga diharapkan untuk segera meninggalkan dan menjauhi Pulau Palue dan mengungsi di pelabuhan terdekat (Pelabuhan Maurole) hingga kondisi Gunungapi Rokatenda kembali normal.

Pemanfaatan sistem informasi geografis melalui *plugin* InaSAFE sangat membantu pemerintah dalam menganalisis skenario dampak yang disebabkan oleh bencana. Namun untuk memaksimalkan analisis dari *plugin* InaSAFE, diperlukan data yang lengkap terutama data keterpaparan. Bencana merupakan sebuah peristiwa yang membahayakan dan mengancam manusia. Pada kasus erupsi gunungapi, InaSAFE dapat membantu mengidentifikasi zona-zona yang mungkin terkena dampak aliran lahar atau abu vulkanik, serta jumlah penduduk yang berpotensi terdampak. InaSAFE juga dapat membantu pihak berwenang menentukan rute evakuasi yang aman dari zona bahaya dan mengevaluasi kemampuan tempat pengungsian di berbagai lokasi. Pusat manajemen bencana dapat menggunakan program InaSAFE untuk berkoordinasi dengan pihak terkait dalam menyusun rencana tanggap darurat yang terkoordinasi. Nantinya pihak berwenang dapat melihat dampak yang mungkin terjadi pada wilayah tertentu dan membuat keputusan tentang alokasi sumber daya dan upaya penanggulangan bencana.

Melalui kontribusinya dalam menyediakan analisis dan informasi yang terintegrasi, InaSAFE membantu dalam menyusun kebijakan manajemen bencana yang lebih efektif dan responsif. InaSAFE juga telah digunakan dalam situasi nyata bencana di Indonesia, seperti erupsi Gunung Merapi dan gempa bumi di Lombok, membuktikan kegunaannya dalam mendukung pengambilan keputusan dan tindakan tanggap darurat *top of form*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak-pihak yang telah banyak memberikan saran, dukungan, motivasi, serta bimbingan dalam pembuatan artikel ilmiah ini. Terima kasih juga kepada Fakultas Keamanan Nasional Universitas Pertahanan RI atas fasilitas yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan pembuatan artikel ini. Tidak lupa pula penulis mengucapkan terimakasih kepada para instansi terkait yaitu Badan Informasi Geospasial (BIG), Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), dan Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Sikka atas ketersediaan data yang dibutuhkan peneliti dalam pembuatan artikel ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Asriningrum, W. (2015). Analisis Daerah Terdampak Letusan Gunungapi Rokatenda. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan XX dan Kongres VI Masyarakat Ahli Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN)*, 801-807.
- Asriningrum, W., & Noviar, H. (2010). Pengembangan Metode Zonasi Daerah Bahaya Letusan Gunung Api Studi Kasus Gunung Merapi. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 1(1).
- BNPB. (2013). *Rencana Kontinjensi Menghadapi Ancaman Bencana Letusan Gunungapi Rokatenda Kabupaten Sikka Dan Kabupaten Ende Provinsi Nusa Tenggara Timur*. Ntt: Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- BPS. (2021). *Kecamatan Palue Dalam Angka 2021*. Sikka: Badan Pusat Statistik Kabupaten Sikka.
- Edmonds, M., Grattan, J., & Michnowicz, S. (2018). Volcanic gases: silent killers. *Observing the Volcano World: Volcano Crisis Communication*, 65-83.
- Fitri, A. N. A., & Priyana, Y. (2017). Analisis Skenario Dampak Keterpaparan Dan Mitigasi Bencana Banjir Genangan Di Provinsi DKI Jakarta. *Publikasi Ilmiah UMS* 1(1):1-25.
- Gunawan, H., & Haerani, N. (2020). *Gunungapi Indonesia Dan Karakteristik Bahayanya*. Cetakan Pertama. Bandung: Pusat Vulkanologi Dan Mitigasi Bencana Geologi, Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral.
- HOT. (2015). *Modul Panduan Menganalisis Data Dengan Quantum GIS Dan INASAFE*. Jakarta: Humanitarian Openstreetmap Team.
- Husein, A., & Onasis, A. (2017). *Manajemen Bencana*. 1st Ed. Jakarta: Pusat Pendidikan Sumber Daya Manusia Kesehatan, Kementerian Kesehatan Ri.
- Ihsan, M. H., Lutfiananda, H., Rhosadi, I., & Fariz, T. R. (2018). Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis Untuk Pemetaan Risiko Bencana Gunungapi Dari Aspek Sosial di Kabupaten Sleman. *Prosiding Seminar Nasional Geografi Ugm* 1(1):598-607.
- Jacob, D., Kumaat, J.C., & Tewal, S.T.R. (2020). Peta Digital Berbasis Komunitas Dengan Inasafe. *Jurnal Episentrum* 1(1):7. Doi: 10.36412/Jepst.V1i1.1804.
- NEHRP. (2005). Lahar Hazards Mitigation: The Role of Engineering and Land-Use Planning.
- Peiris, P. S. H. 2020. Geographical Information System (GIS) For Disaster Management. *University Of Moratuwa* 1(1):1-10.

- Pierson, T. C., Wood, N. J., & Driedger, C. L. (2014). Reducing risk from lahar hazards: concepts, case studies, and roles for scientists. *Journal of Applied Volcanology* 3(16): 1-25.
- Priatna, P., & Primulyana, S. (2020). *Memahami Gas Gunungapi*. Cetakan Pertama. Bandung: Pusat Vulkanologi Dan Mitigasi Bencana Geologi, Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral.
- Purnama, S. G. (2017). *Modul Manajemen Bencana*. Bali: Universitas Udayana.
- PVMBG (Ed). (2015). *Booklet Gunungapi*. Bandung: Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral.
- Rahayu, R., Ariyanto, D.P., Komariah,K., Hartati, S., Syamsiyah, J., & Widyatmani S. D. (2014). Dampak Erupsi Gunung Merapi Terhadap Lahan dan Upaya-upaya Pemulihannya. *Caraka Tani: Journal Of Sustainable Agriculture* 29(1):61. Doi: 10.20961/Carakatani.V29i1.13320.
- R.I. (2007). Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana
- Setiyawidi, S., Setiawan, I., & Somantri, L. (2011). Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis untuk Zonasi Tingkat Kerawanan Bencana Letusan Gunung Api Tangkubanparahu. *Jurnal Geografi Gea*, 11(2). Doi: 10.17509/Gea.V11i2.1635.
- Sukarman, S., Dariah, A., & Suratman, S. (2020). Tanah Vulkanik Di Lahan Kering Berlereng Dan Potensinya Untuk Pertanian Di Indonesia. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian* 39(1):21-34. Doi: 10.21082/Jp3.V39n1.2020.P21-34.

Halaman ini sengaja kami kosongkan