

Pemetaan Pulau Vulkanik Kecil di Indonesia: Studi Pendahuluan Untuk Manajemen Bencana Erupsinya

Agung Hidayat¹, *Muh Aris Marfai², Danang Sri Hadmoko²

¹Departemen Ilmu Geografi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara, Bulaksumur, 55281 – Yogyakarta

²Departement Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara, Bulaksumur, 55281 – Yogyakarta

*korespondensi: arismarfai@ugm.ac.id

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima: 01-10-2019

Disetujui: 23-10-2019

Kata Kunci:

Pulau vulkanik
Pulau kecil
Erupsi gunungapi
Manajemen bencana
Indonesia

ABSTRAK

Abstrak: Indonesia merupakan salah satu negara yang dilalui oleh Cincin Api Pasifik. Lebih dari 400 gunungapi berada pada jalur tersebut dan 130 diantaranya masih aktif hingga sekarang. Erupsi gunungapi menghasilkan material dari ukuran kecil (abu, pasir, kerikil) hingga ukuran besar (bongkah). Material – material yang keluar dari *vent*, sebagian akan diendapkan di dekat *vent* dan perlahan akan membentuk kerucut gunungapi. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan pulau vulkanik kecil di Indonesia yang memiliki gunungapi aktif sejak era Holosen. Selain itu juga untuk menganalisis jumlah penduduk yang berada di pulau vulkanik dan sekitarnya untuk melihat jumlah orang yang potensial terdampak erupsi. Identifikasi pulau vulkanik dilakukan dengan interpretasi visual citra satelit yang diverifikasi dengan database gunungapi pada pulau vulkanik yang dipetakan. Hasil identifikasi menunjukkan ada 22 pulau vulkanik dengan catatan erupsi sejak era Holosen. Sebanyak 16 pulau teridentifikasi masih terdapat gunungapi aktif dan sebanyak 6 pulau teridentifikasi terdapat gunungapi dalam masa istirahat. Potensi penduduk terpapar bahaya erupsi pada radius 5 kilometer dari pusat erupsi sebanyak 180.434 orang, radius 10 kilometer dari pusat erupsi sebanyak 373.286 orang, dan radius 30 kilometer dari pusat erupsi sebanyak 1.471.995 orang. Ada kebutuhan yang nyata untuk melakukan kajian tentang bahaya erupsi di pulau vulkanik di Indonesia, dimana penduduk dan kegiatan ekonominya terus mengalami perkembangan, sehingga berpotensi tinggi terpapar bahaya erupsi. Untuk menyusun strategi pengurangan risiko bencana di pulau vulkanik diperlukan pemahaman tentang wilayah bahaya dan kejadian – kejadian erupsi serta dampaknya pada pulau vulkanik Indonesia dimasa lalu.

Abstract: Indonesia is one of the countries traversed by the Pacific Ring of Fire. More than 400 volcanoes are on this path, and 130 of them are still active today. Volcanic eruptions produce material from small sizes (ash, sand, gravel) to large sizes (bomb). Material coming out of the vent will be partially deposited near the vent and will slowly form a volcanic cone. This study aims to map the small volcanic islands in Indonesia which have active volcanoes since the Holocene era. Besides, it also analyzes the number of people who are on volcanic islands and surrounding areas to see the number of people potentially affected by the eruption. The identification of small volcanic islands uses a visual interpretation of satellite imagery that is verified by volcanic databases on mapped volcanic islands. Identification results show there are 22 volcanic islands with a record of eruption since the Holocene era. Sixteen islands identified with active volcanoes and six islands identified without active volcanoes (dormant). The potential population exposed to the eruption hazard at a radius of 5 kilometers from the crater was 180,434 people, 10 kilometers radius from the crater as many as 373,286 people, and 30 kilometers radius from the crater as many as 1,471,995 people. There is a real need to conduct a study of the eruption hazard on Indonesia's volcanic islands, where the population and economic activities continue to develop, so that the high potential exposure to eruption hazards. Developing disaster risk management on volcanic islands requires an understanding of hazard zones and eruption events and their impact on Indonesia's volcanic islands in the past.

A. LATAR BELAKANG

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia dan memiliki 17.504 pulau [1]. Terbentuknya ribuan pulau tersebut tidak dapat dipisahkan dari proses geologis dan vulkanis yang terjadi di Indonesia. Proses geologis dan vulkanis terus terjadi di sepanjang zona

tumbukan tiga lempeng tektonik yaitu lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia, dan lempeng Pasifik. Di zona tumbukan antar lempeng tersebut muncul jajaran gunungapi yang jumlahnya mencapai 400 buah, dimana 130 diantaranya tergolong aktif [2].

Pulau vulkanik merupakan salah satu konsekuensi logis dari adanya proses vulkanik di zona tumbukan antar lempeng. Pulau vulkanik sesungguhnya merupakan gunungapi yang mengalami erupsi di dasar laut dan secara berangsur – angsur endapan materialnya menumpuk, sehingga bagian puncaknya muncul di atas permukaan laut sebagai pulau [3]. Pulau vulkanik umumnya terbentuk atau merupakan bagian dari busur pulau dalam sistem tektonik. Menurut Condie [3] pulau-pulau vulkanik umumnya muncul di dekat punggung samudera atau di cekungan samudera.

Ciri-ciri yang mudah dikenali dari pulau vulkanik adalah dari bentuk pulau dan genesis batuaninya. Umumnya bentuk pulau vulkanik menyerupai kerucut, meskipun pada beberapa pulau vulkanik tidak lagi berbentuk kerucut, karena telah hilang pada saat erupsi [4]. Genesis batuan pulau vulkanik dapat dengan mudah dikenali dari singkapan – singkapan batuan yang merupakan produk dari aktivitas vulkanik seperti adanya endapan lava, timbunan lahar, maupun lapisan tefra.

Sebagian pulau vulkanik masih terus tumbuh karena terdapat gunungapi yang masih aktif hingga sekarang. Sebagian lain sudah tidak tumbuh karena sudah tidak terdapat gunungapi aktif baik yang sedang dalam masa istirahat (*dormance*) atau betul – betul sudah tidak aktif / mati. Contoh pulau vulkanik dengan gunungapi aktif Pulau Ternate, Pulau Siau. Sedangkan contoh untuk pulau vulkanik dengan gunungapi yang sudah tidak aktif adalah Pulau Tidore dan Pulau Hiri.

Pulau vulkanik dengan gunungapi aktif, sudah banyak yang dihuni oleh penduduk. Contohnya di Pulau Ternate, Pulau Rokatenda, dan Pulau Una-Una. Pulau vulkanik dengan gunungapi aktif mempunyai risiko terdampak erupsi lebih tinggi dibanding pulau vulkanik dengan gunungapi yang sudah tidak aktif. Sejarah telah banyak mencatat peristiwa erupsi gunungapi di pulau vulkanik yang berdampak luar biasa kepada masyarakat dan lingkungan. Contohnya adalah erupsi Gunungapi Krakatau tahun 1883 yang memicu gelombang tsunami setinggi 40 meter dan mengakibatkan sekitar 36.500 orang meninggal dunia [2, 5 – 7]. Tidak hanya itu, korban jiwa sekitar 29.000 orang juga pernah terjadi karena aliran piroklastik pada saat letusan Gunungapi Mount Pelee di Martinique pada tahun 1902 [8, 9].

Terhitung sejak tahun 1700-an, erupsi di pulau-pulau vulkanik di seluruh dunia telah mengakibatkan kematian lebih dari 100.000 orang [10]. Penyebab langsung hilangnya nyawa adalah aliran piroklastik, lahar, *landslide / flank collaps*, sedangkan penyebab tidak langsung adalah tsunami vulkanik. Salah satu yang meningkatkan risiko terdampak erupsi pada komunitas di pulau vulkanik adalah keterbatasan ruang untuk penyelamatan. Keterbatasan ruang itu berkaitan dengan ukuran pulau vulkanik yang umumnya kecil. Meskipun secara global ukuran pulau vulkanik sangat beragam, mulai dari <1 hingga 10.000 km² [3].

Dalam rangka memudahkan pengelolaan pulau – pulaunya, Pemerintah Indonesia mengategorikan pulau berdasarkan ukurannya menjadi 2 yaitu pulau besar dan pulau kecil. Definisi pulau kecil sebagaimana tercantum dalam Undang – Undang Nomor 1 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Pesisir dan Pulau – Pulau Kecil, yaitu sebuah pulau dengan luas kurang dari atau sama dengan 2000 km² yang mencakup kesatuan ekologisnya (UU No. 1 tahun 2014). Sedangkan pulau besar adalah pulau dengan luas lebih dari 2000 km². Dengan merujuk pada ukuran – ukuran tersebut maka pulau vulkanik kecil dapat didefinisikan sebagai pulau yang memiliki luas kurang dari atau sama dengan 2000 km² yang mayoritas bentang lahannya tersusun oleh material vulkanik.

Penelitian pada pulau vulkanik kecil di Indonesia dalam spektrum topik dan metodologi yang luas telah banyak dilakukan, diantaranya di Pulau Siau tentang kapasitas dalam menghadapi bencana alam [11]; tentang *agroforestry* di pulau vulkanik kecil [12]. Penelitian lain pernah dilakukan di Pulau Ternate tentang karakteristik erupsi Gunungapi Gamalama [13]; kerentanan fisik dan social masyarakat di Pulau Ternate [14]; dan pemodelan jalur evakuasi karena erupsi Gunungapi Gamalama [15]. Kajian pulau vulkanik paling banyak adalah tentang Pulau Krakatau / Anak Krakatau dengan Gunungapi Krakatau baik dari segi sejarah, dampak, potensi bahaya erupsi, dan potensi bahaya tsunaminya [5, 6, 16, 17].

Penelitian – penelitian yang sudah dilakukan bersifat parsial di beberapa pulau vulkanik. Penelitian – penelitian tersebut sesungguhnya adalah bentuk kesadaran akan bahaya pulau vulkanik. Namun demikian eksplorasi mengenai pulau apa saja yang tergolong pulau vulkanik dengan gunungapi yang aktif sejak era Holosen belum pernah dilakukan. Padahal penelitian seperti ini sangat penting untuk dilakukan, mengingat pulau – pulau vulkanik dengan gunungapi aktif di era Holosen masih mempunyai potensi bahaya erupsi dikemudian hari. Ditambah lagi dengan semakin meningkatnya jumlah penduduk yang tinggal di pulau vulkanik, yang dapat meningkatkan risiko terdampak erupsi bagi komunitas yang sesungguhnya tinggal di lereng puncak gunungapi.

Penelitian ini bertujuan untuk memetakan pulau – pulau vulkanik kecil di Indonesia yang memiliki gunungapi aktif sejak era Holosen. Selain itu juga memetakan jumlah penduduk di pulau vulkanik kecil dan sekitarnya yang berpotensi terdampak erupsi. Dengan pemetaan ini diharapkan lokasi pulau-pulau vulkanik kecil di Indonesia yang memiliki potensi mengalami erupsi dimasa mendatang dapat diketahui sehingga dapat meningkatkan pengetahuan tentang bencana erupsi di pulau vulkanik kecil. Hasil pemetaan ini diharapkan dapat menjadi data awal untuk melakukan manajemen bencana erupsi di pulau vulkanik kecil.

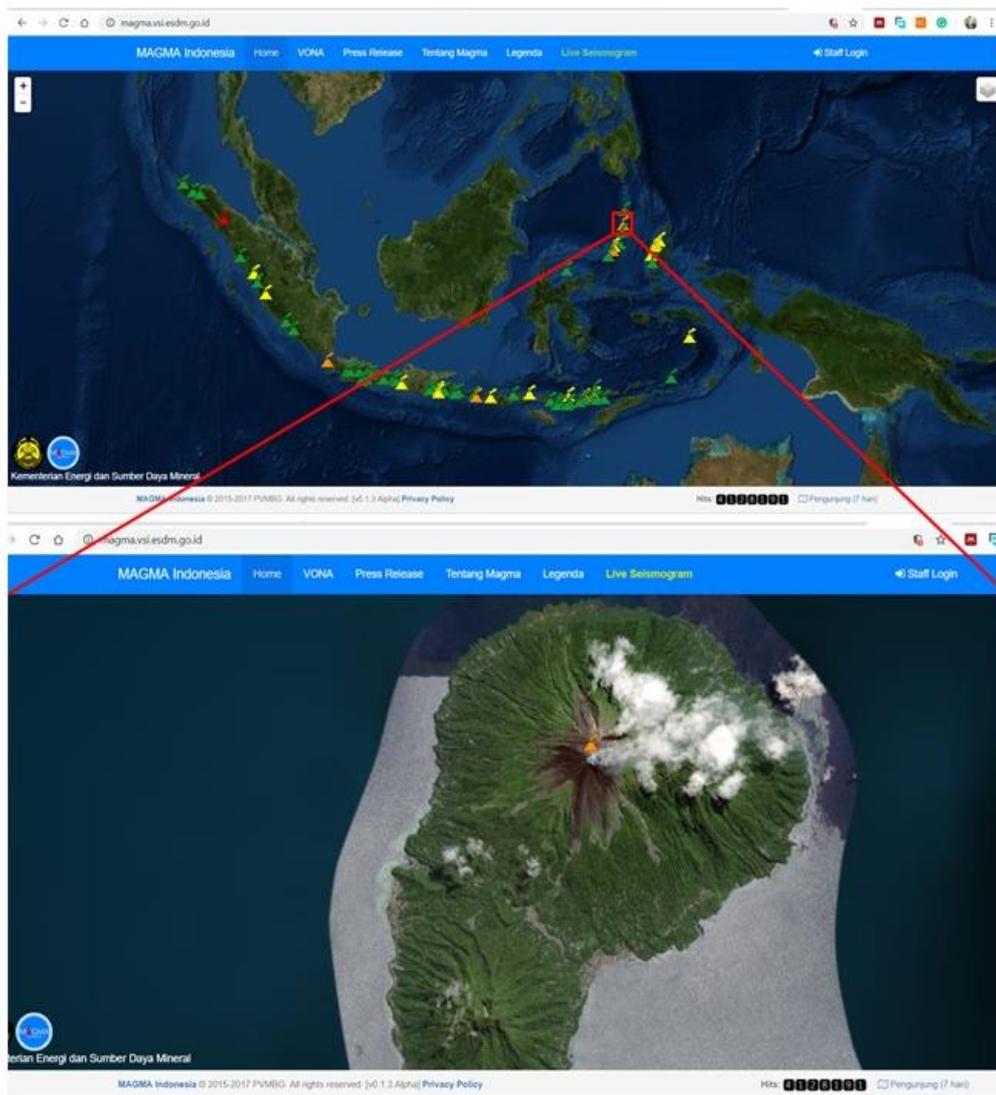
B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksploratif. Eksplorasi pulau vulkanik kecil diawali dengan pengumpulan data gunungapi dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi [18] dan data dari Simkin dan Siebert [20] terutama yang berkaitan dengan lokasi, nama, dan profil gunungapi. Dari database gunungapi yang ada kemudian dilakukan pengecekan pada aplikasi MAGMA Indonesia (<https://magma.vsi.esdm.go.id/>) untuk melihat lebih detail situasi dan kondisi gunungapi. Setelah diketahui lokasinya kemudian dilakukan eksplorasi dengan melakukan interpretasi visual pada Citra yang ada pada website MAGMA Indonesia (Gambar 1). Selain itu untuk memudahkan dalam mengidentifikasi pulau vulkanik kecil juga dilakukan pengumpulan data dari Database Gunungapi Dunia yang ada pada website <http://volcano.si.edu/> [19] terutama yang berkaitan dengan sejarah erupsi gunungapi, karakteristik, dan jumlah penduduk yang berada sekitar gunungapi. Pemetaan dilakukan dengan bantuan software ArcGIS 10.2.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pulau vulkanik di Indonesia

Hasil identifikasi terhadap pulau – pulau di Indonesia dengan memperhatikan genesis serta keberadaan gunungapi yang pernah erupsi sejak era Holosen maka teridentifikasi ada 22 pulau vulkanik kecil di Indonesia (Gambar 2). Dari 22 pulau vulkanik kecil yang diidentifikasi, sebanyak 73 % (16 pulau) masih terdapat gunungapi aktif dan sisanya sebanyak 27 % (6 pulau) terdapat gunungapi dalam masa *dormance* (Tabel 1). Sebenarnya pulau vulkanik kecil di Indonesia jumlahnya lebih banyak dari itu, terutama pulau – pulau vulkanik dengan gunungapi yang mengalami erupsi sebelum era Holosen. Namun demikian, fokus kami adalah memetakan pulau vulkanik yang mengalami erupsi sejak era Holosen, karena mempertimbangkan adanya potensi yang tinggi untuk kembali erupsi dikemudian hari.



Gambar 1. Aplikasi MAGMA Indonesia (<https://magma.vsi.esdm.go.id/>) yang menampilkan kondisi terkini gunungapi – gunungapi yang ada di Indonesia. Citra pada aplikasi ini diinterpretasi secara visual untuk mengidentifikasi pulau vulkanik dengan gunungapi aktif di Indonesia

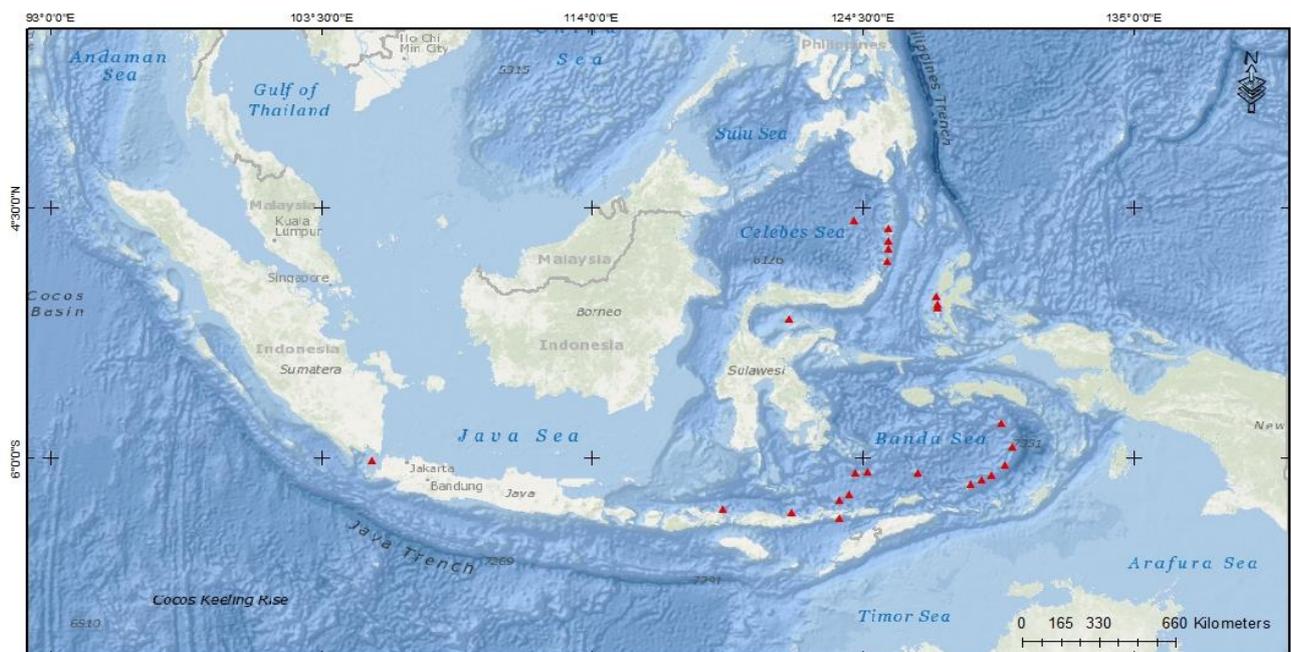
Tabel 1. Pulau vulkanik kecil di Indonesia dengan gunungapi yang mengalami erupsi sejak era Holosen

No	Pulau	Koordinat	Nama gunungapi	Ketinggian (mdpl)	Tipe Gunungapi	Tectonic Settings
1	Ternate	0.8 °LU, 127,33 °BT	Gamalama	1715	SV; MA	SZ, OC (<15 km)
2	Hiri	0.9 °LU, 127,32 °BT	Hiri	630	SV	SZ, OC (<15 km)
3	Makian	0.32 °LU, 127,4 °BT	Makian	1357	SV; PC	SZ, OC (<15 km)
4	Mare	0.57 °LU, 127,4 °BT	Mare	308	SV	SZ, OC (<15 km)
5	Moti	0.45 °LU, 127,4 °BT	Moti	927	SV	SZ, OC (<15 km)
6	Tidore	0.66 °LU, 127,4 °BT	Tidore	1730	SV. CD	SZ, OC (<15 km)
7	Kayoa	0.07 °LU, 127,4 °BT	Tigalalu	422	SV	SZ, OC (<15 km)
8	Banda	4.52 °LS, 129,9 °BT	Banda Api	596	CD. SV; TC	SZ, OC (<15 km)
9	Manuk	5.54 °LS, 130,3 °BT	Manuk	257	SV	SZ, OC (<15 km)
10	Serua	6.31 °LS, 130,0 °BT	Legatala	608	SV; LD	SZ, OC (<15 km)
11	Nila	6.73 °LS, 129,5 °BT	Nila	781	SV. CD. PC	SZ, OC (<15 km)
12	Damar	7.12 °LS, 128,6 °BT	Wurlali	868	SV	SZ, OC (<15 km)
13	Teun	6.97 °LS, 129,1 °BT	Teon	728	SV	SZ, OC (<15 km)
14	Gunungapi	6.64 °LS, 126,6 °BT	Wetar	282	SV	SZ, OC (<15 km)
15	Una Una	0.16 °LS, 121,6 °BT	Colo	404	SV; CD	SZ, OC (<15 km)
16	Sangihe	2.3 °LU, 125,37 °BT	Ruang	725	SV; LD	SZ, OC (<15 km)
17	Api Siau	2.78 °LU, 125,4 °BT	Karangetang	1797	SV	SZ, OC (<15 km)
18	Siau	3.69 °LU, 125,4 °BT	Awu	1318	SV; CD	SZ, OC (<15 km)
19	Komba	7.79 °LS, 123,6 °BT	Batu Tara	633	SV	SZ, OC (<15 km)
20	Palue	8.32 °LS, 121,7 °BT	Rokatenda	875	SV; LD	SZ, CT (?)
21	Sangiang	8.2 °LS, 119,07 °BT	Sangeangapi	1949	C.; SV	SZ, CC (<15 km)
22	Anak Krakatau	6.10 °LS, 105,42 °BT	Anak Krakatau	813	CD; SV; PC	SZ, CC (>25 km)

Tectonic settings: Subduction Zone (SZ), Oceanic Crust (OC); Crustal Thickness (CT); Continental Crust (CC),

Types of volcano: Stratovolcano (SV), Caldera (CD), Pyroclastic cone (PC); Lava Dome (LD); Tuff Cone (TC); Maar (MA); Complex (CX)

Sumber: Global Volcanism Programs [19]



Red Triangle is Major Volcanoes of Indonesia with eruptions since 1900 A.D.

Volcanoes from: Simkin and Siebert, 1994

Gambar 2. Sebaran Pulau vulkanik kecil di Indonesia dengan gunungapi (segitiga merah) yang mengalami erupsi sejak era Holosen

Pulau – pulau vulkanik yang berada di bagian selatan Indonesia terbentuk di zona subduksi antara lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Sedangkan pulau – pulau vulkanik yang berada di bagian timur Indonesia terbentuk di zona subduksi antara Lempeng Pasifik dan Eurasia (Gambar 2). Pulau – pulau vulkanik itu sebagian besar terbentuk tidak jauh dari *oceanic crust* (<15 km). Beberapa terbentuk pada lokasi yang jaraknya lebih dari 25 km dari *oceanic crust*. Pulau – pulau vulkanik di Indonesia beserta gunungapinya disajikan pada Tabel 1.

Pulau – pulau vulkanik di Indonesia umumnya terbentuk dari gunungapi dengan tipe strato (*strato volcano*). Puncak – puncak gunungapi pada pulau vulkanik mempunyai ketinggian dari atas permukaan laut bervariasi. Pulau vulkanik paling tinggi adalah Pulau Sangiang dengan puncak Gunungapi Sangiangapi pada ketinggian 1.949 mdpl. Nomor dua ada Pulau Api Siau dengan puncak Gunungapi Karangetang pada ketinggian 1.797 mdpl. Pulau vulkanik paling rendah adalah Pulau Manuk dengan puncak Gunungapi Manuk pada ketinggian 257 mdpl. Ketinggian masing – masing pulau vulkanik disajikan pada Tabel 1.

2. Dinamika penduduk di pulau vulkanik kecil

Masyarakat yang tinggal di wilayah pulau vulkanik dengan gunungapi aktif dapat memperoleh sesuatu yang

positif (tanah subur, keindahan bentanglahan gunungapi, dan material hasil erupsi) dan sesuatu yang negatif seperti erupsi [10]. Hal-hal positif itulah yang menyebabkan banyak masyarakat yang tetap tinggal di wilayah gunungapi, meskipun mereka tahu ada bahaya yang mengancam sewaktu-waktu. Erupsi gunungapi sekecil apapun kejadiannya tetap berbahaya bagi orang dan sekitarnya. Di Indonesia umumnya pulau vulkanik itu tidak luas, sehingga tidak banyak tempat yang dapat dikembangkan untuk permukiman. Masyarakat yang menempati pulau vulkanik secara otomatis tinggal tidak jauh dari mulut gunungapi (*vent*). Semakin dekat dengan mulut gunungapi maka semakin tinggi risikonya terdampak erupsi. Data jumlah penduduk yang tinggal di pulau vulkanik kecil dan sekitarnya pada radius 5 kilometer, 10 kilometer, dan 30 kilometer dari pusat erupsi disajikan pada Tabel 2.

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa jumlah penduduk Indonesia yang tinggal pada radius 5 kilometer dari pusat erupsi di pulau vulkanik sebanyak 180.434 jiwa. Jumlah penduduk yang tinggal pada radius 10 kilometer sebanyak 373.286 jiwa dan jumlah penduduk yang tinggal pada radius 30 kilometer sebanyak 1.471.995 jiwa. Jumlah penduduk di Indonesia secara umum dari tahun ke tahun trennya selalu mengalami peningkatan. Tidak terkecuali pada wilayah pulau vulkanik dan sekitarnya.

Tabel 2. Jumlah penduduk di pulau vulkanik kecil dan sekitarnya

No	Nama pulau	Nama Gunungapi	Terahir erupsi	Status	Jumlah Penduduk (dari <i>crater</i>)		
					Radius 5 km	Radius 10 km	Radius 30 km
1	Ternate	Gamalama	2018	Aktif	103,429	204,820	308,691
2	Hiri	Hiri	?	Istirahat	5,65	11,454	295,487
3	Makian	Makian	1988	Aktif	4,986	8,466	21,36
4	Mare	Mare	?	Istirahat	889	20,821	300,717
5	Moti	Moti	?	Istirahat	3,19	5,051	89,568
6	Tidore	Tidore	?	Istirahat	37,379	74,12	320,483
7	Kayoa	Tigalalu	?	Istirahat	621	2,35	7,396
8	Banda	Banda Api	1988	Aktif	5,682	5,682	5,81
9	Manuk	Manuk	?	Istirahat	0	0	0
10	Serua	Legatala	1921	Aktif	58	58	58
11	Nila	Nila	1968	Aktif	200	200	200
12	Damar	Wurlali	1892	Aktif	219	365	720
13	Teun	Teon	1904	Aktif	19	102	102
14	Gunungapi	Wetar	1699	Aktif	2	2	2
15	Una Una	Colo	1983	Aktif	1,897	2,025	2,025
16	Sangihe	Ruang	2002	Aktif	878	1,652	2,766
17	Api Siau	Karangetang	2019	Aktif	892	4,478	11,066
18	Siau	Awu	2004	Aktif	6,409	22,655	52,725
19	Komba	Batu Tara	2015	Aktif	207	207	207
20	Palue	Rokatenda	2013	Aktif	446	446	5,284
21	Sangiang	Sangeangapi	2019	Aktif	204	1,155	39,301
22	Anak Krakatau	Krakatoa	2019	Aktif	7,177	7,177	8,027
Total					180,434	373,286	1,471,995

Sumber: *Global Volcanism Program* [19]

Peningkatan jumlah penduduk membawa konsekuensi pada peningkatan sarana dan prasarana penunjang seperti permukiman, fasilitas umum, dan lain-lain. Menurut Gaudru [10] ketika terjadi erupsi sejumlah besar penduduk dan sarana - prasarana yang berada disekitar gunungapi mempunyai risiko yang tinggi terdampak. Maka dari itu pada kondisi tertentu diperlukan evakuasi ke lokasi yang lebih aman ketika terjadi erupsi di pulau vulkanik. Bahkan, pada beberapa kasus dibutuhkan evakuasi melalui jalur laut ke pulau lain karena wilayah pulau vulkanik yang kecil sudah tidak aman lagi dari ancaman erupsi.

Evakuasi karena bahaya vulkanik memiliki perbedaan yang signifikan jika dibandingkan dengan evakuasi dari bahaya alam lain, karena durasinya yang jauh lebih tidak pasti. Belum lagi, seringkali pulau vulkanik adalah wilayah yang sempit yang mempunyai sejumlah keterbatasan seperti keterbatasan ruang pengembangan, keterbatasan sumberdaya alam, lokasinya yang sulit dijangkau, kesulitan dalam hal transportasi dan komunikasi, keterbatasan jaringan internet, keterbatasan pasar, keterbatasan suplai air bersih, dan ketergantungan tinggi terhadap impor [21].

D. SIMPULAN DAN SARAN

Ada 22 pulau vulkanik di Indonesia dengan gunungapi yang tercatat mengalami erupsi sejak era Holosen. Dari 22 pulau vulkanik yang diidentifikasi ada 16 pulau (73%) yang masih terdapat gunungapi aktif dan ada 6 pulau (27%) terdapat gunungapi dalam masa istirahat (*dormance*). Jumlah penduduk Indonesia yang tinggal pada radius 5 kilometer dari puncak gunungapi di pulau vulkanik sebanyak 180.434 jiwa. Jumlah penduduk yang tinggal pada radius 10 kilometer dari sebanyak 373.286 jiwa dan jumlah penduduk yang tinggal pada radius 30 kilometer dari puncak sebanyak 1.471.995 jiwa.

Ada kebutuhan yang nyata untuk melakukan kajian lebih mendalam tentang bahaya erupsi di pulau vulkanik di Indonesia, dimana penduduk dan kegiatan ekonominya terus mengalami perkembangan, yang mempunyai potensi tinggi terdampak erupsi. Untuk menyusun strategi pengurangan risiko bencana di pulau vulkanik diperlukan pemahaman tentang wilayah bahaya dan kejadian – kejadian erupsi serta dampaknya pada pulau vulkanik Indonesia dimasa lalu.

E. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis pertama mengucapkan terimakasih kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) atas anugerah Beasiswa LPDP untuk menempuh Pendidikan S3 di Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, melalui kontrak nomor PRJ-2912/LPDP.3/2016. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi untuk dukungan penelitian dan publikasi melalui Hibah Bersaing Nasional skema Penelitian Diseratasi Doktor (PDD).

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Martha, S. (2017). The Analysis of Geospatial Information for Validating Some Numbers of Islands in Indonesia. *Indonesian Journal of Geography*, 49(2), 204 – 211.
- [2] Mutaqin, B.W., Lavigne, F., Hadmoko, D.S., Malawani, M.N. (2018). Volcanic Eruption-Induced Tsunami in Indonesia: A Review. *The 2nd International Conference on Environmental Resources Management in Global Region*, at Yogyakarta, Indonesia.
- [3] Condie, K.C. (2016). *The Crust* (Chapter 2 in *Earth as an Evolving Planetary System* (Third Edition).
- [4] Velmurugan, A. (2008). The Nature and Characters of Tropical Islands (Chapter 1), in Editor(s): Sivaperuman, C., Velmurugan, A., Singh, A.K., Jaisankar, I., *Biodiversity and Climate Change Adaptation in Tropical Islands*. Academic Press, 2008. Pages 3-30, ISBN 9780128130643, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813064-3.00001-6>.
- [5] Latter, J. H. (1981). Tsunamis of volcanic origin: Summary of causes, with particular reference to Krakatoa, 1883. *Bulletin Volcanologique*. 44(3), 467–490. <https://doi.org/10.1007/BF02600578>.
- [6] Paris, R., Switzer, A. D., Belousova, M., Belousov, A., Ontowirjo, B., Whelley, P. L., and Ulvrova, M. (2014). Volcanic tsunami: A review of source mechanisms, past events and hazards in Southeast Asia (Indonesia, Philippines, Papua New Guinea). *Natural Hazards*, 70(1), 447–470. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0822-8>
- [7] Brown, S. K., Jenkins, S. F., Sparks, R. S. J., Odbert, H., and Auker, M. R. (2017). Volcanic fatalities database: analysis of volcanic threat with distance and victim classification. *Journal of Applied Volcanology*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s13617-017-0067-4>
- [8] Doocy, S., Daniels, A., Dooling, S., Gorokhovich, Y. (2013). The Human Impact of Volcanoes: a Historical Review of Events 1900-2009 and Systematic Literature Review. *PLOS Currents Disasters*. Edition 1. [doi: 10.1371/currents.dis.841859091a706efebf8a30f4ed7a1901](https://doi.org/10.1371/currents.dis.841859091a706efebf8a30f4ed7a1901)
- [9] NGDC/WDS (National Geophysical Data Center / World Data Service). (2019). Significant Volcanic Eruptions Database. National Geophysical Data Center, NOAA. [doi:10.7289/V5JW8BSH](https://doi.org/10.7289/V5JW8BSH) [14 May 2019].
- [10] Gaudru, H. (2005). Potential Impacts of Eruption on Volcanic Islands: Global Approach for Volcanic Risk Mitigation. SVEUROP, Geneve
- [11] Rampengan, M. M. F., Boedhihartono, A. K., Law, L., Gaillard, J. C., and Sayer, J. (2014). Capacities in Facing Natural Hazards: A Small Island Perspective. *International Journal of Disaster Risk Science*, 5(4),

- 247–264. <https://doi.org/10.1007/s13753-014-0031-4>
- [12] Rampengan, M. M. F., Boedhihartono, A. K., Margules, C., Sayer, J., Law, L., Gaillard, J. C., Linh, T. T. M. (2016). Agroforestry on an Active Volcanic Small Island in Indonesia: Prospering with Adversity. *Geographical Research*, 54(1), 19–34. <https://doi.org/10.1111/1745-5871.12148>
- [13] Hendrajaya, L., Surono, Handayani, G. (1996). A short note on basic behavior of the mount Gamalama's eruption. *Jurnal Matematika dan Sains*, 1(2), 1 – 14.
- [14] Mei, E.T.W., Sari, I.M., Fajarwati, A., Safitri, D. (2017). Assessing the Social Economic and Physical Vulnerabilities to Gamalama Volcano. *Proceeding 1st International Conference on Geography and Education (ICGE 2016)*, Atlantis Press, 33–40. <https://doi.org/10.2991/icge-16.2017.7>
- [15] Syiko, S. F., Ayu R. T., and Yudono, A. (2013). Evacuation Route Planning in Mount Gamalama, Ternate Island-Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*, 17, 344–353. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.02.047>
- [16] Camus, G., Gourgaud, A., and Vincent, P. M. (1987). Petrologic evolution of Krakatau (Indonesia): Implications for a future activity. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 33(4), 299–316. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(87\)90020-5](https://doi.org/10.1016/0377-0273(87)90020-5)
- [17] Giachetti, T., Paris, R., Kelfoun, K., Ontowirjo, B. (2012). Tsunami hazard related to a flank collapse of Anak Krakatau Volcano, Sunda Strait, Indonesia. Geological Society, London, Special Publications 2012, 361, 79–90. doi: 10.1144/SP361.7
- [18] PVMBG (Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geolog), (2011). *Data Dasar Gunungapi Indonesia* (edisi 2). Jakarta: Badan Geologi.
- [19] Global Volcanism Program (2013). *Volcanoes of the World*, v. 4.7.6. Venzke, E (ed.). Smithsonian Institution. Downloaded 25 Mar 2019. <https://doi.org/10.5479/si.GVP.VOTW4-2013>
- [20] Simkin, T., and Siebert, L. (1994). *Volcanoes of the World, Second Edition, A Regional Directory, Gazetteer, and Chronology of Volcanism During the Last 10,000 Years*, Geoscience Press, Inc., Tucson, Arizona, in association with Smithsonian Institution, Global Volcanism Program, Washington, D.C., 164–176.
- [21] Wilkinson, E., Lovell, E., Carby, B., Barclay, J. and Robertson, R. E. A. (2016). The Dilemmas of Risk-Sensitive Development on a Small Volcanic Island. *Resources* (5) 21. DOI :10.3390/resources5020021. Licensee MDPI, Basel, Switzerland.