



Potensi *Geosite* Kawasan Gunung Penanggungan, Kabupaten Mojokerto, Jawa Timur Sebagai Landasan Penentuan Kawasan Geokonservasi

Bagaskara Wahyu Purnomo Putra^{1*}, Agus Hendratno², Didit Hadi Barianto², Hasnan Luthfi Dalimunthe¹

¹Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Sudarto, SH, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275

²Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika Bulaksumur No.2, Senolowo, Sinduadi, Kec. Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55284

Abstrak

Gunung Penanggungan merupakan gunungapi Kuarter di Jawa Timur yang unik karena memiliki *geosite* berkaitan dengan situs cagar budaya. Namun, eksistensi Kawasan Gunung Penanggungan berada di ambang kerusakan karena kegiatan ekstraksi bahan galian C dan pembangunan kawasan pabrik di sekitarnya. Untuk melindungi Kawasan Gunung Penanggungan, perlu dilakukan identifikasi potensi *geosite* sebagai landasan penentuan kawasan geokonservasi. Identifikasi potensi *geosite* menggunakan Standar Nasional inventarisasi dan identifikasi *geosite* dari Pusat Survei Geologi, Badan Geologi dan perhitungan kelayakan *geosite* dengan metode *analytical hierarchy process* (AHP) serta mempertimbangkan hasil survei lapangan. Berdasarkan hasil penelitian, Kawasan Gunung Penanggungan terbagi menjadi lima satuan geomorfologi yang tersusun atas tujuh satuan litologi. Hasil inventarisasi dan identifikasi *geosite* menghasilkan 29 *geosite* diantaranya *geosite* Candi Kendalisodo, *geosite* Petirtaan Jolotundo, dan *geosite* Candi Wayang yang memiliki nilai saintifik, nilai konservasi dan nilai kebudayaan menonjol, sehingga *geosite* pada Kawasan Gunung Penanggungan termasuk dalam *stone heritage*. Hasil perhitungan AHP potensi *geosite* Kawasan Gunung Penanggungan menunjukkan tingkat potensi sedang hingga tinggi untuk mendukung Kawasan Gunung Penanggungan sebagai kawasan geokonservasi.

Kata kunci: *geosite*; Gunung Penanggungan; geokonservasi; *Analytical Hierarchy Process*.

Abstract

Mount Penanggungan is a Quaternary volcano in East Java that is unique because it has *geosites* related to cultural heritage sites. However, the existence of the Mount Penanggungan area is on the verge of destruction due to the extraction of quarry activity and the construction of factory areas around it. To protect the Mount Penanggungan area, it is necessary to identify *geosite* potential as a basis for determining geoconservation areas. Identification of *geosite* potential uses the National Standard for *geosite* inventory and identification from the Geological Survey Centre, Geological Agency and calculation of *geosite* feasibility using the *analytical hierarchy process* (AHP) method and considering the results of field surveys. Based on the results of the study, the Penanggungan Mountain area is divided into five geomorphological units composed of seven lithological units. The results of *geosite* inventory and identification resulted in 29 *geosites* including Candi Kendalisodo *geosite*, Petirtaan Jolotundo *geosite*, and Candi Wayang *geosite* which have scientific value, conservation value and prominent cultural value, so that *geosites* in the Mount Penanggungan area are included in *stone heritage*. The results of the AHP calculation of the *geosite* potential of the Mount Penanggungan area show a medium to high level of potential to support the Mount Penanggungan area as a geoconservation area.

Keywords: *geosite*; Mount Penanggungan; geoconservation; *Analytical Hierarchy Process*.

* Korespondensi: bagaskarawpp@live.undip.ac.id

Diajukan : 12 Maret 2024

Diterima : 15 Oktober 2024

Diterbitkan : 24 Oktober 2024

DOI: 10.14710/jgt.7.2.2024.143-164

PENDAHULUAN

Indonesia adalah satu dari sekian banyak negara dengan kekayaan geologi yang melimpah hingga disebut sebagai negara *Mega-Geodiversity* (Hendratno, 2004). Sebagai bagian dari Indonesia, Pulau Jawa yang terbentuk dari proses amalgamasi mikro-kontinen *South-West Borneo* dan *East Java-West Sulawesi* (Hall, 2002) (Husein dan Nukman, 2015) memiliki potensi keanekaragaman sumberdaya geologi (batuan, mineral, fosil) yang menjanjikan. Objek geologi yang terbentuk secara alami mengandung komponen keragaman geologi tertentu yang khas, unik, dan bernilai keilmuan tinggi dengan tetap memiliki nilai edukasi, estetika, dan budaya, serta penggunaan oleh masyarakat disebut sebagai *geosite* (Komoo, 2003) (Kusumahbrata, 2015) (Brilha, 2016). Salah satu kawasan yang memiliki potensi situs geologi (*geosite*) namun belum banyak dikaji adalah Kawasan Gunung Penanggungan, Kabupaten Mojokerto.

Secara administratif, Gunung Penanggungan merupakan bagian dari dua kabupaten yakni sisi barat bagian dari Kabupaten Mojokerto dan sisi timur bagian dari Kabupaten Pasuruan. Secara geologi, Gunung Penanggungan merupakan gunung api bagian dari zona gunungapi Kuarter (van Bemmelen, 1949) yang tersusun atas batuan gunungapi basal - andesit. Setyawan (2018) membagi stratigrafi Gunung Penanggungan berdasarkan sumber, litologi dan periode erupsinya menjadi satu khuluk, yakni Khuluk Penanggungan dengan empat gumuk yakni Gumuk Penanggungan yang tersusun oleh lava basal dan breksi piroklastik; Gumuk Gajahmungkur tersusun oleh lava basal; Gumuk Kedungudi tersusun dari intrusi andesit; dan Gumuk Bekel tersusun atas lava andesit.

Selain dikenal sebagai kawasan gunungapi, Kawasan Gunung Penanggungan merupakan Kawasan Cagar Budaya Peringkat Provinsi berdasarkan Keputusan Gubernur Jawa Timur Nomor 188/18/KPTS/013/2015. Pada Gunung Penanggungan terdapat beberapa peninggalan kebudayaan dari masa Kerajaan Medang Kamulan (abad 10) hingga Kerajaan Majapahit (abad 15). Peninggalan tersebut berupa candi, petirtaan, dan goa (ceruk) yang memiliki keterkaitan erat dengan kondisi geologi Kawasan Gunung Penanggungan (Paripurno dkk. 2016). Sayangnya *geosite* kompleks ini berada pada ambang kerusakan karena adanya aktivitas penambangan galian C pada kaki Kawasan

Gunung Penanggungan. Keterkaitan situs cagar budaya dan kondisi geologi Gunung Penanggungan merupakan hal yang unik dan berpotensi untuk menjadikan Kawasan Gunung Penanggungan sebagai kawasan geologi-kebudayaan. Untuk itu perlu dilakukan upaya perlindungan agar kelestarian dari *geosite* yang ada di Gunung Penanggungan dapat terjaga. Salah satu upaya perlindungan yang dapat dilakukan adalah dengan menggalakkan aktivitas pemanfaatan suatu objek geologi dengan mengedepankan faktor konservasi yang disebut sebagai geokonservasi (*geoconservation*) (Gray, 2004).

Upaya untuk melihat potensi Kawasan Gunung Penanggungan sebagai kawasan geokonservasi berbasis cagar budaya da belum pernah dilakukan sebelumnya. Oleh karena itu, langkah awal untuk menjadikan Kawasan Gunung Penanggungan menjadi suatu kawasan geokonservasi adalah dengan melakukan inventarisasi dan identifikasi potensi situs geologi berdasarkan panduan yang diterbitkan oleh Badan Geologi (2017) serta melihat keterkaitan antara *geosite* dengan objek cagar budaya yang ada. Berdasarkan penyelidikan tersebut dilakukan karakterisasi, pembobotan parameter, dan perhitungan potensi *geosite* menggunakan metode perbandingan antar bobot parameter yang disebut sebagai *analytical hierarchy process* (AHP) (Saaty, 1990) untuk mendukung penentuan Kawasan Gunung Penanggungan sebagai kawasan geokonservasi.

METODOLOGI

Penelitian ini menitikberatkan pada upaya mengkaji dan menginventarisir aspek geologi tapak, geologi bangunan dan arkeologis yang ada pada Kawasan Gunung Penanggungan. Aspek geologi tapak meliputi morfologi lokasi *geosite*, litologi penyusun lokasi (tapak) *geosite* dan bahaya geologi yang mampu mengganggu eksistensi *geosite*. Sedangkan aspek geologi bangunan ditinjau berdasarkan batuan penyusun bangunan atau situs arkeologi pada *geosite* serta unsur geologi lain yang mungkin ditemukan pada bangunan. Oleh karena itu penelitian ini terdiri atas 3 tahapan.

Tahap pertama studi literatur mengenai kondisi geologi, latar belakang sejarah arkeologi dan pengumpulan data sekunder meliputi: Citra DEMNas, Peta Rupa Bumi Indonesia, dan peta geologi regional. Tahap kedua observasi,

inventarisasi dan identifikasi, serta pengambilan data primer berupa sampel batuan tapak *geosite* dan dokumentasi foto batuan penyusun candi. Proses inventarisasi dan identifikasi dilakukan dengan mendata nama *geosite*, lokasi geografis dan koordinat *geosite*, dan deskripsi aspek geologi baik geologi tapak maupun geologi bangunan. Hasil inventarisasi dan identifikasi ini kemudian menjadi dasar analisis karakterisasi keragaman geologi masing-masing *geosite*. Teknis inventarisasi, identifikasi dan karakterisasi yang dilakukan mengacu pada standar nasional Indonesia (SNI) mengenai inventarisasi objek geologi yang dikeluarkan oleh Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2017).

Tahap ketiga berupa analisis laboratorium berupa analisis petrografi sampel batuan, analisis karakterisasi keragaman geologi tiap *geosite* dan analisis potensi kelayakan *geosite* menggunakan

metode *analytical hierarchy process*. Analisis karakterisasi yang dilakukan meliputi klasifikasi, pemeringkatan, penilaian, pemaknaan dan klasterisasi *geosite* (Badan Geologi, 2017). Untuk analisis kelayakan menggunakan metode AHP dilakukan dengan mempertimbangkan bobot dari parameter *geosite* geokonservasi. Perhitungan bobot tersebut menggunakan prinsip *comparative judgement* (Saaty, 1990) untuk menentukan besaran bobot prioritas masing-masing parameter. Parameter yang digunakan disusun berdasarkan parameter yang telah dibuat oleh Reynald dkk. (2007), Kubalikova (2013) dan Badan Geologi (2017). Parameter nilai atau faktor yang dipertimbangkan pada parameter penilaian sebagaimana pada **Tabel 1**. Hasil dari perhitungan bobot tersebut kemudian dikelompokkan tingkat potensinya berdasarkan klasifikasi pada **Tabel 2**.

Tabel 1. Parameter Penilaian Kelayakan *Geosite* (Reynald dkk., 2007; Kubalikova, 2013; Badan Geologi, 2017 dengan modifikasi)

Parameter	
Nilai Saintifik (A)	
<i>Geosite</i> mewakili kerangka geologi (A1)	0 – <i>Geosite</i> merupakan contoh umum untuk menggambarkan proses geologi terkait kerangka geologi yang sedang dipertimbangkan
	0,5 – <i>Geosite</i> merupakan contoh bagus untuk menggambarkan proses geologi terkait kerangka geologi yang sedang dipertimbangkan
	1 – <i>Geosite</i> merupakan contoh terbaik untuk menggambarkan proses geologi terkait kerangka geologi yang sedang dipertimbangkan
Lokasi kunci penelitian (A2)	0 – lokasi <i>geosite</i> digunakan sebagai rujukan penelitian terkait dengan kerangka geologi, dipublikasi ilmiah skala nasional
	0,5 – lokasi <i>geosite</i> digunakan sebagai rujukan penelitian terkait dengan kerangka geologi, dipublikasi ilmiah skala internasional
	1 – lokasi <i>geosite</i> dikenal sebagai GSSP atau ASSP oleh IUGS atau sebagai lokasi rujukan IMA
Pemahaman Keilmuan (A3)	0 – Abstrak yang dipresentasikan pada kegiatan sains nasional mengenai lokasi <i>geosite</i>
	0,5 – Artikel pada publikasi sains skala nasional mengenai lokasi <i>geosite</i> terkait kerangka geologi
	1 – Artikel pada jurnal sains skala internasional mengenai lokasi <i>geosite</i> terkait kerangka geologi

Tabel 1. Lanjutan

Kondisi <i>Geosite</i> (A4)	0 – <i>Geosite</i> tidak terjaga dengan baik 0,5 – <i>Geosite</i> terjaga dengan baik 1 – <i>Geosite</i> terjaga dengan sangat baik
Keragaman Geologi (A5)	0 – <i>Geosite</i> memiliki 1 fitur geologi yang berhubungan 0,5 – <i>Geosite</i> memiliki 2-3 fitur geologi yang berhubungan 1 – <i>Geosite</i> memiliki 4 atau lebih fitur geologi yang berhubungan
Keberadaan <i>geosite</i> serupa dalam satu wilayah (A6)	0 – Terdapat 4 atau lebih <i>geosite</i> serupa pada lokasi penelitian 0,5 – Terdapat 2-3 <i>geosite</i> serupa pada lokasi penelitian 1 – <i>Geosite</i> merupakan satu-satunya contoh pada lokasi penelitian
Hambatan penggunaan lokasi <i>geosite</i> (A7)	0 – kegiatan lapangan dan <i>sampling</i> tidak dapat dilakukan pada <i>geosite</i> 0,5 – kegiatan lapangan dan <i>sampling</i> dapat dilakukan pada <i>geosite</i> setelah menyelesaikan hambatan 1 – kegiatan lapangan dan <i>sampling</i> dapat dilakukan pada <i>geosite</i> dan tanpa hambatan
Nilai Edukasi (B)	
Kejelasan/ tingkat dari proses pada <i>geosite</i> (B1)	0 – bentuk dan proses dari <i>geosite</i> kurang terepresentasikan 0,5 – bentuk dan proses pada <i>geosite</i> terepresentasikan, dan dapat diamati oleh saintis 1 – terepresentasikan dengan baik, dan dapat diamati oleh saintis secara luas
Percontohan dan kegunaan <i>geosite</i> (B2)	0 – contoh dan kegunaan dari <i>geosite</i> masih sangat sedikit 0,5 – Kehadiran contoh, namun dengan kegunaannya yang masih terbatas 1 – contoh yang baik dari <i>geosite</i> untuk dapat digunakan, hingga dalam bentuk geowisata
Kehadiran produk edukasi (B3)	0 – tidak ada produk 0,5 – brosur, peta, halaman web 1 – panel info, dan informasi secara langsung pada <i>geosite</i>
Kegunaan dari <i>geosite</i> sebagai wahana edukasi (B4)	0 – belum ada kegunaan edukatif dari <i>geosite</i> 0,5 – situs sebagai tempat ekskursi/lokasi penelitian bagi pelajar 1 – tur edukasi bagi publik
Nilai Ekonomi (C)	
Aksesibilitas (C1)	0 – lebih dari 1000 m dari area parkir 0,5 – kurang dari 1000 m dari area parkir 1 – lebih dari 1000 m dari pemberhentian transportasi umum
Ketersediaan Infrastruktur Turis (C2)	0 – lebih dari 10 km dari fasilitas turis yang tersedia 0,5 – 5–10 km dari fasilitas turis yang tersedia 1 – kurang dari 5 km dari fasilitas turis
Produk Lokal (C3)	0 – belum ada produk berkaitan dengan situs 0,5 – kehadiran beberapa produk 1 – kehadiran produk yang menjadi kebanggaan dari situs

Tabel 1. Lanjutan

Nilai Konservasi (D)	
Bahaya dan resiko dari <i>geosite</i> (D1)	0 – bahaya alami dan atrofik (penurunan kualitas) bagi <i>geosite</i> yang tinggi, 0,5 – kehadiran resiko bahaya yang dapat mengganggu <i>geosite</i> , 1 – resiko rendah dan tidak ada bahaya
Potensi ancaman dan resiko bahaya (D2)	0 – Potensi bahaya alami dan atrofik (penurunan kualitas) bagi <i>geosite</i> yang tinggi, 0,5 – Potensi resiko bahaya yang dapat mengganggu <i>geosite</i> , 1 – Potensi resiko rendah dan tidak ada bahaya
Status Kondisi dari <i>geosite</i> (D3)	0 – Terjadi proses penghancuran <i>geosite</i> yang terus menerus 0,5 – <i>geosite</i> mengalami kehancuran, namun tetap dimanajemen dengan baik untuk mengurangi dampaknya 1 – tidak terdapat kehancuran
Perlindungan Hukum (D4)	0 – tidak adanya perlindungan hukum 0,5 – adanya proses permintaan untuk perlindungan hukum 1 – adanya perlindungan hukum dalam bentuk situs nasional, dll
Status Kepemilikan Lahan (D5)	0 – Status kepemilikan lahan tidak jelas atau dalam sengketa 0,5 – Status kepemilikan lahan dimiliki oleh masyarakat, 1 – Status kepemilikan lahan dimiliki oleh pemerintah atau negara
Nilai Kebudayaan (E)	
Nilai Keagamaan (E1)	0 – tidak ada fitur keagamaan, pada <i>geosite</i> 0,5 – ketersediaan fitur agama, namun kurang berhubungan dengan <i>geosite</i> , 1 – ketersediaan fitur agama dengan hubungan yang erat dengan <i>geosite</i>
Nilai Sejarah (E2)	0 – tidak ada fitur sejarah manusia pada <i>geosite</i> 0,5 – ketersediaan fitur sejarah manusia, namun kurang berhubungan dengan <i>geosite</i> 1 – ketersediaan fitur sejarah manusia dengan hubungan yang erat dengan <i>geosite</i>
Nilai Seni atau keindahan (E3)	0 – tidak ada fitur seni atau keindahan pada <i>geosite</i> 0,5 – ketersediaan fitur seni atau keindahan, namun kurang berhubungan dengan <i>geosite</i> 1 – ketersediaan fitur seni atau keindahan dengan hubungan yang erat dengan <i>geosite</i>
Nilai Sosial (E4)	0 – tidak ada pengaruh <i>geosite</i> terhadap kehidupan sosial masyarakat 0,5 – terdapat pengaruh terhadap kehidupan masyarakat, namun kurang berhubungan dengan <i>geosite</i> 1 – terdapat pengaruh terhadap kehidupan masyarakat dan berkaitan erat dengan <i>geosite</i>

Tabel 2. Klasifikasi Nilai Potensi Kelayakan *Geosite*

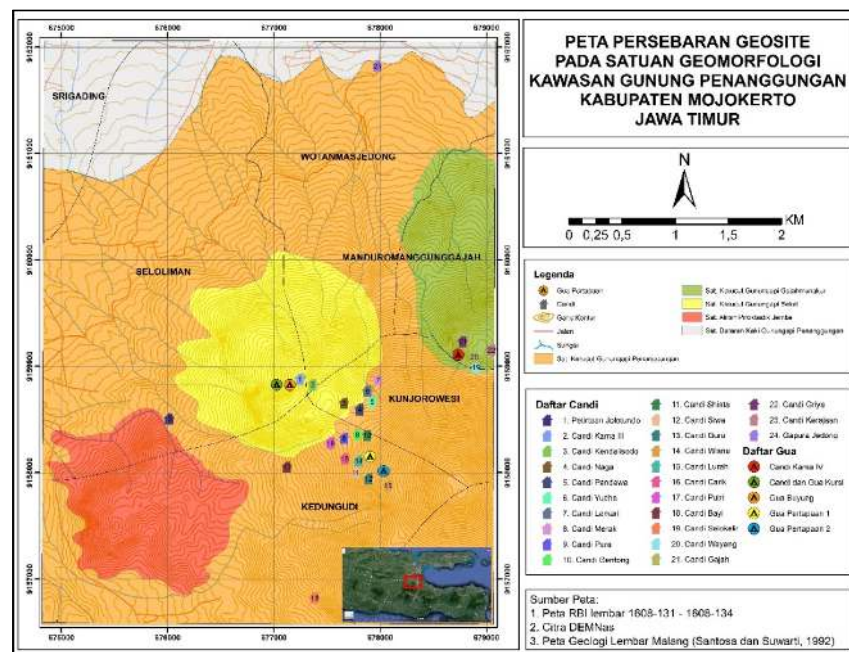
Nilai Persentase	Tingkat Potensi
0 – 20,99 %	Kurang
21 % - 40,99 %	Cukup
41 % - 60,99 %	Sedang
> 61 %	Tinggi

DATA DAN HASIL

Geologi Daerah Penelitian

Secara regional Kawasan Gunung Penanggungan berada pada zona fisiografi busur gunungapi kuarter (van Bemmelen, 1949) dengan litologi termasuk ke dalam Formasi Batuan Gunungapi Kuarter Atas berdasarkan Peta Geologi Regional Lembar Malang, Jawa Timur (Santosa dan Suwarti, 1992). Berdasarkan analisis morfologi menggunakan DEMNas dan pengamatan lapangan, satuan morfologi yang ada pada Kawasan Gunung Penanggungan mengacu pada klasifikasi Brahmantyo dan Bandono (2006) terbagi menjadi enam satuan, yakni: Satuan Kerucut Gunungapi Penanggungan; Satuan Kerucut Gunungapi Bekel; Satuan Kerucut Gunungapi Bekel; Satuan Kerucut Gunungapi Gajahmungkur, Satuan Punggungan Aliran Piroklastik Jembe dan Satuan Dataran Kaki Gunungapi Penanggungan (**Gambar 1**).

Berdasarkan analisis morfostratigrafi dan mengacu pada vulkanostratigrafi Setyawan (2018) Kawasan Gunung Penanggungan terdiri atas satu khuluk gunungapi yaitu Khuluk Penanggungan yang terdiri oleh empat gumuk dengan urutan dari yang tua ke muda: Gumuk Penanggungan, Gumuk Jembe, Gumuk Gajahmungkur dan Gumuk Bekel. Berdasarkan observasi lapangan dan analisis laboratorium yang dilakukan, Kawasan Gunung Penanggungan tersusun oleh tujuh satuan stratigrafi tidak resmi (**Gambar 2**) yakni: Satuan Breksi Piroklastik Penanggungan; Satuan Aliran Lava Andesit Penanggungan; Satuan Aliran Lava Andesit Bekel 2; Satuan Aliran Lava Andesit Gajahmungkur; Satuan Aliran Lava Andesit Bekel 1, Satuan Breksi Piroklastik Jembe, dan Satuan Breksi Lahar Penanggungan.



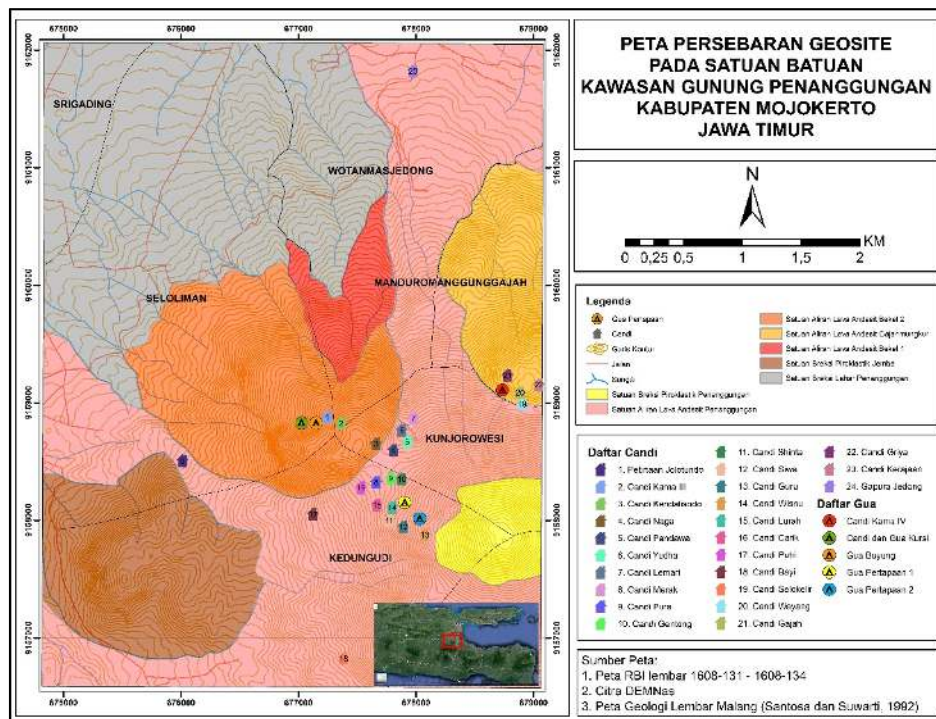
Gambar 1. Persebaran *geosite* di atas satuan geomorfologi Kawasan Gunung Penanggungan. Terlihat adanya dominasi *geosite* yang mengelompok pada satuan Kerucut Gunungapi Penanggungan.

Geosite Kawasan Gunung Penanggungan

Penentuan titik *geosite* pada penelitian ini menitik beratkan pada keberadaan objek arkeologis yang memiliki keterkaitan dengan kondisi geologi Kawasan Gunung Penanggungan. Hal ini dikarenakan *geosite* dengan keterkaitan erat antara objek geologi dan arkeologis sangat jarang di Indonesia sehingga menjadi suatu keunikan tersendiri. Mengingat status Kawasan Gunung Penanggungan merupakan kawasan cagar budaya provinsi. Berdasarkan observasi lapangan, setidaknya ditemukan 29 *geosite* pada Kawasan Gunung Penanggungan. *Geosite-geosite* tersebut berdiri pada 3 kerucut gunungapi pada Kawasan Gunung Penanggungan yakni: 19 *geosite* pada kerucut Gunung Penanggungan, 5 *geosite* pada kerucut Gunung Bekel dan 5 *geosite* pada kerucut Gunung Gajahmungkur (**Gambar 1**).

Berdasarkan bentuknya, *geosite* pada Kawasan Gunung Penanggungan dapat dibedakan menjadi 3 kelompok, yakni:

- Geosite* gua pertapaan yakni situs yang berbentuk cerukan pada dinding batuan gunungapi yang dahulunya berfungsi sebagai tempat untuk menyepi dan meditasi. Contoh kelompok *geosite* ini adalah *Geosite* Goa Buyung (**Gambar 3**), *Geosite* Goa Kursi, dan *Geosite* Goa Pertapaan 1 dan 2.
- Geosite* candi berundak, yakni kelompok *geosite* dengan situs yang berbentuk bangunan candi dengan struktur berundak. Dengan struktur berundak candi-candi tersebut berdiri pada bagian lereng dengan kemiringan hingga $<45^\circ$. *Geosite* kelompok ini merupakan yang terbanyak ditemukan pada Kawasan Gunung Penanggungan. Beberapa contoh dari *geosite* ini adalah *Geosite* Candi Kendalisodo, *Geosite* Candi Yudha (**Gambar 4**), *Geosite* Candi Pandawa, *Geosite* Candi Merak, *Geosite* Candi Naga 1, *Geosite* Candi Guru, *Geosite* Candi Siwa.



Gambar 2. Persebaran *Geosite* di Kawasan Gunung Penanggungan Pada Peta Satuan Batuan. Nampak dominasi *geosite* berdiri di atas satuan batuan aliran lava andesit Penanggungan.



Gambar 3. *Geosite* Goa Buyung, salah satu *geosite* pada kelompok *geosite* goa pertapaan. Merupakan cerukan pada dinding lava andesit dengan bagian depan tertutupi oleh susunan balok andesit *in-situ*.

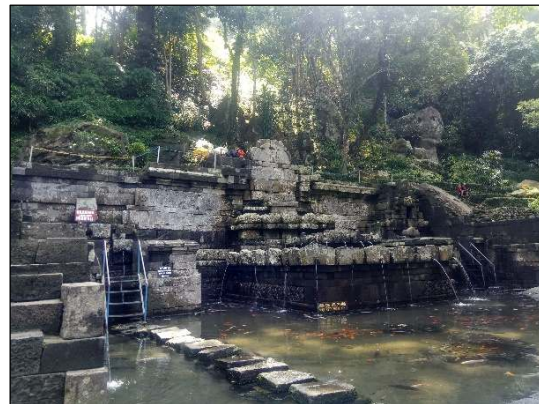


Gambar 4. *Geosite* Candi Yudha dengan latar belakang lereng kerucut gunungapi Bekel, salah satu *geosite* kelompok *geosite* bangunan berundak yang tersusun oleh balok andesit *in-situ* dan dibangun pada lereng.



Gambar 5. *Geosite* Candi Wayang berdiri diatas kerucut gunungapi Gajahmungkur, salah satu *geosite* kelompok *geosite* candi non berundak dan tak berbentuk yang berupa panel relief diukir pada singkapan andesit.

- c. *Geosite* candi non berundak dan tak berbentuk, kelompok *geosite* ini merupakan situs dengan bentuk yang tidak menyerupai bangunan berundak maupun cerukan goa. Kelompok ini ada yang berbentuk ukiran relief pada batuan seperti *Geosite* Candi Wayang (**Gambar 5**) dan *Geosite* Candi Gajah; dan *Geosite* yang berbentuk bangunan namun dengan struktur tidak berundak seperti *Geosite* Petirtaan Jolotundo (**Gambar 6**), *Geosite* Candi Gentong, dan *Geosite* Gapura Jedong.



Gambar 6. *Geosite* Petirtaan Jolotundo, *geosite* dengan bentuk paling baik dari keseluruhan *geosite* pada Kawasan Gunung Penanggungan. Berbentuk kolam petirtaan yang memiliki banyak pancuran air. Secara umum, struktur bangunan Petirtaan Jolotundo tersusun oleh balok andesit *in-situ*.

Berdasarkan pengamatan lapangan kondisi geologi Kawasan Gunung Penanggungan memberikan pengaruh pada aspek bangunan dan aspek tapak bangunan pada kesemua *geosite* dari tiga kelompok tersebut. Sehingga sangat terlihat adanya keterkaitan yang sangat erat antara kondisi geologi Kawasan Gunung Penanggungan dengan ketersediaan *geosite* yang tersebar pada lereng Gunung Penanggungan.

Hasil Analisis Kelayakan *Geosite*

Analisis kelayakan *geosite* Kawasan Gunung Penanggungan mengacu pada parameter kelayakan *geosite* (**Tabel 1**). Berdasarkan hasil observasi lapangan didapatkan poin nilai dari parameter kelayakan dengan rincian seperti pada **Tabel 3** hingga **Tabel 7** yang nantinya digunakan dalam perhitungan persentase potensi kelayakan menggunakan metode AHP.

Tabel 3. Hasil pembobotan masing-masing parameter nilai saintifik pada *geosite* Kawasan Gunung Penanggungan

Nama <i>Geosite</i>	Nilai Saintifik							Total
	<i>Geosite</i> mewakili kerangka geologi	Lokasi kunci penelitian	Pemahaman keilmuan	Kondisi <i>geosite</i>	Keragaman geologi	<i>Geosite</i> serupa dalam satu wilayah	Hambatan penggunaan lokasi <i>geosite</i>	
Petirtaan Jolotundo	1	0,5	1	1	0,5	1	0,5	5,5
Candi dan Gua Kursi	1	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	3,5
Gua Buyung	1	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5	4,5
Candi Kama III	0	0	0	0,5	0	0	0,5	1
Candi Kendalisodo	1	0,5	1	1	0,5	0,5	0,5	5
Candi Naga	0,5	0	0	1	0,5	0,5	0,5	3
Candi Pandawa	0	0	0	0,5	0	0	0,5	1
Candi Yudha	0	0	0	0,5	0	0	0,5	1
Candi Lemari	0	0	0	0,5	0	0	0,5	1
Candi Merak	0	0	0	0,5	0	0	0,5	1
Candi Pura	0	0	0	0,5	0	0	0,5	1
Candi Gentong	0	0	0	0,5	0	0,5	0,5	1,5
Candi Shinta	0	0	0	0,5	0	0	0,5	1
Gua Pertapaan 1	1	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	3
Candi Siwa	0	0	0	0,5	0	0	0,5	1
Candi Guru	0	0	0	0,5	0	0	0,5	1
Gua Pertapaan 2	1	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	3
Candi Wisnu	0	0	0	0,5	0	0	0,5	1
Candi Lurah	0	0,5	0	0,5	0	0	0,5	1,5
Candi Carik	0	0,5	0	0,5	0	0	0,5	1,5
Candi Putri	0	0	0	0,5	0	0	0,5	1
Candi Bayi	0	0	0	0,5	0	0	0,5	1
Candi Selokelir	0	0	0	1	0,5	0	0,5	2
Candi Wayang	1	0,5	1	1	0,5	0,5	0,5	5
Candi Gajah	1	0	0,5	1	0,5	0,5	0,5	4
Candi Kama IV	1	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	3
Candi Griya	0	0	0	0,5	0	0	0,5	1
Candi Kerajaan	0,5	0,5	1	1	0,5	0	0,5	4
Gapura Jedong	0	0	0	1	0	0	0,5	1,5

Tabel 4. Hasil pembobotan masing-masing parameter nilai edukasi pada *geosite* Kawasan Gunung Penanggungan

Nama <i>Geosite</i>	Nilai Edukasi				Total
	Kejelasan dari proses pada <i>geosite</i>	Percontohan dan kegunaan <i>geosite</i>	Kehadiran produk edukasi	Kegunaan aktual sebagai wahana edukasi	
Petirtaan Jolotundo	1	1	1	1	4
Candi dan Gua Kursi	1	1	0,5	0,5	3
Gua Buyung	1	1	0,5	0,5	3
Candi Kama III	0	0,5	0,5	0,5	1,5
Candi Kendalisodo	1	1	0,5	0,5	3
Candi Naga	0,5	0,5	0,5	0,5	2
Candi Pandawa	0	0,5	0,5	0,5	1,5
Candi Yudha	0	0,5	0,5	0,5	1,5
Candi Lemari	0	0,5	0,5	0,5	1,5
Candi Merak	0	0,5	0,5	0,5	1,5
Candi Pura	0	0,5	0,5	0,5	1,5
Candi Gentong	0	0,5	0,5	0,5	1,5
Candi Shinta	0	0,5	0,5	0,5	1,5
Gua Pertapaan 1	0,5	1	0,5	0,5	2,5
Candi Siwa	0	0,5	0,5	0,5	1,5
Candi Guru	0	0,5	0,5	0,5	1,5
Gua Pertapaan 2	0,5	1	0,5	0,5	2,5
Candi Wisnu	0	0,5	0,5	0,5	1,5
Candi Lurah	0	0,5	0,5	0,5	1,5
Candi Carik	0	0,5	0,5	0,5	1,5
Candi Putri	0	0,5	0,5	0,5	1,5
Candi bayi	0	0,5	0,5	0,5	1,5
Candi Selokelir	0	0,5	0,5	1	2
Candi Wayang	1	1	0,5	0,5	3
Candi Gajah	1	1	0,5	0,5	3
Candi Kama IV	0,5	1	0,5	0,5	2,5
Candi Griya	0	0,5	0,5	0,5	1,5
Candi Kerajaan	0,5	0,5	0,5	0,5	2
Gapura Jedong	0	1	1	1	3

Tabel 5. Hasil pembobotan masing-masing parameter nilai ekonomi pada *geosite* Kawasan Gunung Penanggungan

Nama <i>Geosite</i>	Nilai Ekonomi			Total
	Aksesibilitas	Ketersediaan infrastruktur turis	Produk lokal	
Petirtaan Jolotundo	0,5	1	0,5	2
Candi dan Gua Kursi	0	0,5	0	0,5
Gua Buyung	0	0,5	0	0,5
Candi Kama III	0	0,5	0	0,5
Candi Kendalisodo	0	0,5	0	0,5
Candi Naga	0	0,5	0	0,5
Candi Pandawa	0	0,5	0	0,5
Candi Yudha	0	0,5	0	0,5
Candi Lemari	0	0,5	0	0,5
Candi Merak	0	0,5	0	0,5
Candi Pura	0	0,5	0	0,5
Candi Gentong	0	0,5	0	0,5
Candi Shinta	0	0,5	0	0,5
Gua Pertapaan 1	0	0,5	0	0,5
Candi Siwa	0	0,5	0	0,5
Candi Guru	0	0,5	0	0,5
Gua Pertapaan 2	0	0,5	0	0,5
Candi Wisnu	0	0,5	0	0,5
Candi Lurah	0	0,5	0	0,5
Candi Carik	0	0,5	0	0,5
Candi Putri	0	0,5	0	0,5
Candi Bayi	0	0,5	0	0,5
Candi Selokelir	0	0,5	0	0,5
Candi Wayang	0	0,5	0	0,5
Candi Gajah	0	0,5	0	0,5
Candi Kama IV	0	0,5	0	0,5
Candi Griya	0	0,5	0	0,5
Candi Kerajaan	0	0,5	0	0,5
Gapura Jedong	1	0	0	1

Tabel 6. Hasil pembobotan masing-masing parameter nilai konservasi pada *geosite* Kawasan Gunung Penanggungan

Nama <i>Geosite</i>	Nilai Konservasi					Total
	Risiko aktual <i>geosite</i>	Potensi risiko bahaya	Status kondisi <i>geosite</i>	Perlindungan hukum	Status kepemilikan lahan	
Petirtaan Jolotundo	0,5	0,5	1	1	1	4
Candi dan Gua Kursi	0	0,5	1	1	1	3,5
Gua Buyung	0	0,5	1	1	1	3,5
Candi Kama III	0	0,5	1	1	1	3,5
Candi Kendalisodo	0,5	0,5	1	1	1	4
Candi Naga	0,5	0,5	1	1	1	4
Candi Pandawa	0	0,5	1	1	1	3,5
Candi Yudha	0	0,5	1	1	1	3,5
Candi Lemari	0	0,5	1	1	1	3,5
Candi Merak	0	0,5	1	1	1	3,5
Candi Pura	0	0,5	1	1	1	3,5
Candi Gentong	0	0,5	1	1	1	3,5
Candi Shinta	0	0,5	1	1	1	3,5
Gua Pertapaan 1	0	0,5	1	1	1	3,5
Candi Siwa	0	0,5	1	1	1	3,5
Candi Guru	0	0,5	1	1	1	3,5
Gua Pertapaan 2	0	0,5	1	1	1	3,5
Candi Wisnu	0	0,5	1	1	1	3,5
Candi Lurah	0	0,5	1	1	1	3,5
Candi Carik	0	0,5	1	1	1	3,5
Candi Putri	0	0,5	1	1	1	3,5
Candi Bayi	0	0,5	1	1	1	3,5
Candi Selokelir	0	0,5	1	1	1	3,5
Candi Wayang	0	0,5	0,5	1	1	3
Candi Gajah	0	0,5	0,5	1	1	3
Candi Kama IV	0	0,5	1	1	1	3,5
Candi Griya	0	0,5	1	1	1	3,5
Candi Kerajaan	0	0,5	1	1	1	3,5
Gapura Jedong	0	0,5	1	1	1	3,5

Tabel 7. Hasil pembobotan masing-masing parameter nilai kebudayaan pada *geosite* Kawasan Gunung Penanggungan

Nama <i>Geosite</i>	Nilai Kebudayaan				Total
	Nilai Keagamaan	Nilai Sejarah	Nilai Seni atau Keindahan	Nilai Sosial	
Petirtaan Jolotundo	1	1	1	1	4
Candi dan Gua Kursi	1	1	1	0,5	3,5
Gua Buyung	1	1	1	0,5	3,5
Candi Kama III	1	1	0,5	0,5	3
Candi Kendalisodo	1	1	1	0,5	3,5
Candi Naga	1	1	1	0,5	3,5
Candi Pandawa	1	1	1	0,5	3,5
Candi Yudha	1	1	1	0,5	3,5
Candi Lemari	1	1	1	0,5	3,5
Candi Merak	1	1	1	0,5	3,5
Candi Pura	1	1	0,5	0,5	3
Candi Gentong	1	1	0,5	0,5	3
Candi Shinta	1	1	1	0,5	3,5
Gua Pertapaan 1	1	1	1	0,5	3,5
Candi Siwa	1	1	1	0,5	3,5
Candi Guru	1	1	1	0,5	3,5
Gua Pertapaan 2	1	1	1	0,5	3,5
Candi Wisnu	1	1	1	0,5	3,5
Candi Lurah	1	1	1	0,5	3,5
Candi Carik	1	1	1	0,5	3,5
Candi Putri	1	1	1	0,5	3,5
Candi Bayi	1	1	1	0,5	3,5
Candi Selokelir	1	1	1	0,5	3,5
Candi Wayang	1	1	1	0,5	3,5
Candi Gajah	1	1	1	0,5	3,5
Candi Kama IV	1	1	1	0,5	3,5
Candi Griya	1	1	0,5	0,5	3
Candi Kerajaan	1	1	1	0,5	3,5
Gapura Jedong	0	1	1	0,5	2,5

Poin masing-masing *geosite* berdasarkan tiap parameter nilai yang telah ditentukan diatas kemudian akan dikalikan dengan bobot dari tiap parameter. Perhitungan bobot tersebut didasarkan pada *comparative judgement* (Saaty,1990) yang menunjukkan prioritas penilaian parameter tersebut (**Tabel 8**). Selanjutnya, hasil tersebut dilakukan normalisasi dan diperoleh masing-masing bobot parameter seperti pada **Tabel 9**.

Setelah bobot tiap parameter diketahui, kemudian dilakukan perhitungan persentase kelayakan *geosite* dengan cara mengalikan bobot prioritas parameter AHP yang telah dihitung sebelumnya dengan nilai total masing-masing parameter tiap *geosite*. Hasil perhitungan kelayakan sebagaimana pada **Tabel 10**.

Tabel 8. Skala perbandingan parameter kelayakan *geosite*

Parameter	Nilai Saintifik	Nilai Konservasi	Nilai Kebudayaan	Nilai Edukasi	Nilai Ekonomi
Nilai Saintifik	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
Nilai Konservasi	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00
Nilai Kebudayaan	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00
Nilai Edukasi	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00
Nilai Ekonomi	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00
Jumlah	2,28	4,08	6,83	10,50	15,00

Tabel 9. Normalisasi skala perbandingan kelayakan *geosite*

Parameter	Nilai Saintifik	Nilai Konservasi	Nilai Kebudayaan	Nilai Edukasi	Nilai Ekonomi	Jumlah	Bobot Parameter	Persentase Bobot (%)
Nilai Saintifik	0,44	0,49	0,44	0,38	0,33	2,08	0,416	41,60
Nilai Konservasi	0,22	0,25	0,29	0,28	0,27	1,31	0,262	26,20
Nilai Kebudayaan	0,14	0,12	0,15	0,19	0,20	0,80	0,160	16,00
Nilai Edukasi	0,11	0,08	0,07	0,10	0,13	0,49	0,098	9,80
Nilai Ekonomi	0,09	0,06	0,05	0,05	0,07	0,32	0,064	6,40
Jumlah	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	5,00	1,00	100,00

Tabel 10. Perhitungan kelayakan *geosite* Kawasan Gunung Penanggungan

Nama Situs	Parameter Kelayakan															Total Persentase (%)
	Nilai Saintifik			Nilai Konservasi			Nilai Kebudayaan			Nilai Edukasi			Nilai Ekonomi			
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
	Skala Nilai	Nilai A / Maks A	B x Bobot Parameter	Skala Nilai	Nilai A / Maks A	B x Bobot Parameter	Skala Nilai	Nilai A / Maks A	B x Bobot Parameter	Skala Nilai	Nilai A / Maks A	B x Bobot Parameter	Skala Nilai	Nilai A / Maks A	B x Bobot Parameter	
Petirtaan Jolutundo	5,50	0,786	32,69	4,00	0,800	20,96	4,00	1,000	16,00	4,00	1,000	9,80	2,00	0,667	4,27	83,71
Candi dan Gua Kursi	3,50	0,500	20,80	3,50	0,700	18,34	3,50	0,875	14,00	3,00	0,750	7,35	0,50	0,167	1,07	61,56
Gua Buyung	4,50	0,643	26,74	3,50	0,700	18,34	3,50	0,875	14,00	3,00	0,750	7,35	0,50	0,167	1,07	67,50
Candi Kama III	1,00	0,143	5,94	3,50	0,700	18,34	3,00	0,750	12,00	1,50	0,375	3,68	0,50	0,167	1,07	41,02
Candi Kendalisodo	5,00	0,714	29,71	4,00	0,800	20,96	3,50	0,875	14,00	3,00	0,750	7,35	0,50	0,167	1,07	73,09
Candi Naga	3,00	0,429	17,83	4,00	0,800	20,96	3,50	0,875	14,00	2,00	0,500	4,90	0,50	0,167	1,07	58,76
Candi Pandawa	1,00	0,143	5,94	3,50	0,700	18,34	3,50	0,875	14,00	1,50	0,375	3,68	0,50	0,167	1,07	43,02
Candi Yudha	1,00	0,143	5,94	3,50	0,700	18,34	3,50	0,875	14,00	1,50	0,375	3,68	0,50	0,167	1,07	43,02
Candi Lemari	1,00	0,143	5,94	3,50	0,700	18,34	3,50	0,875	14,00	1,50	0,375	3,68	0,50	0,167	1,07	43,02
Candi Merak	1,00	0,143	5,94	3,50	0,700	18,34	3,50	0,875	14,00	1,50	0,375	3,68	0,50	0,167	1,07	43,02
Candi Pura	1,00	0,143	5,94	3,50	0,700	18,34	3,00	0,750	12,00	1,50	0,375	3,68	0,50	0,167	1,07	41,02
Candi Gentong	1,50	0,214	8,91	3,50	0,700	18,34	3,00	0,750	12,00	1,50	0,375	3,68	0,50	0,167	1,07	44,00
Candi Shinta	1,00	0,143	5,94	3,50	0,700	18,34	3,50	0,875	14,00	1,50	0,375	3,68	0,50	0,167	1,07	43,02
Gua Pertapaan I	3,00	0,429	17,83	3,50	0,700	18,34	3,50	0,875	14,00	2,50	0,625	6,13	0,50	0,167	1,07	57,36
Candi Siwa	1,00	0,143	5,94	3,50	0,700	18,34	3,50	0,875	14,00	1,50	0,375	3,68	0,50	0,167	1,07	43,02
Candi Guru	1,00	0,143	5,94	3,50	0,700	18,34	3,50	0,875	14,00	1,50	0,375	3,68	0,50	0,167	1,07	43,02

Tabel 10. Lanjutan
Parameter Kelayakan

Nama Situs	Nilai Saintifik			Nilai Konservasi			Nilai Kebudayaan			Nilai Edukasi			Nilai Ekonomi			Total Persentase (%)
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
	Skala Nilai	Nilai A / Maks A	B x Bobot Parameter	Skala Nilai	Nilai A / Maks A	B x Bobot Parameter	Skala Nilai	Nilai A / Maks A	B x Bobot Parameter	Skala Nilai	Nilai A / Maks A	B x Bobot Parameter	Skala Nilai	Nilai A / Maks A	B x Bobot Parameter	
Gua Pertapaan 2	3,00	0,429	17,83	3,50	0,700	18,34	3,50	0,875	14,00	2,50	0,625	6,13	0,50	0,167	1,07	57,36
Candi Wisnu	1,00	0,143	5,94	3,50	0,700	18,34	3,50	0,875	14,00	1,50	0,375	3,68	0,50	0,167	1,07	43,02
Candi Lurah	1,50	0,214	8,91	3,50	0,700	18,34	3,50	0,875	14,00	1,50	0,375	3,68	0,50	0,167	1,07	46,00
Candi Carik	1,50	0,214	8,91	3,50	0,700	18,34	3,50	0,875	14,00	1,50	0,375	3,68	0,50	0,167	1,07	46,00
Candi Putri	1,00	0,143	5,94	3,50	0,700	18,34	3,50	0,875	14,00	1,50	0,375	3,68	0,50	0,167	1,07	43,02
Candi Bayi	1,00	0,143	5,94	3,50	0,700	18,34	3,50	0,875	14,00	1,50	0,375	3,68	0,50	0,167	1,07	43,02
Candi Selokelir	2,00	0,286	11,89	3,50	0,700	18,34	3,50	0,875	14,00	2,00	0,500	4,90	0,50	0,167	1,07	50,19
Candi Wayang	5,00	0,714	29,71	3,00	0,600	15,72	3,50	0,875	14,00	3,00	0,750	7,35	0,50	0,167	1,07	67,85
Candi Gajah	4,00	0,571	23,77	3,00	0,600	15,72	3,50	0,875	14,00	3,00	0,750	7,35	0,50	0,167	1,07	61,91
Candi Kama IV	3,00	0,429	17,83	3,50	0,700	18,34	3,50	0,875	14,00	2,50	0,625	6,13	0,50	0,167	1,07	57,36
Candi Griya	1,00	0,143	5,94	3,50	0,700	18,34	3,00	0,750	12,00	1,50	0,375	3,68	0,50	0,167	1,07	41,02
Candi Kerajaan	4,00	0,571	23,77	3,50	0,700	18,34	3,50	0,875	14,00	2,00	0,500	4,90	0,50	0,167	1,07	62,08
Gapura Jedong	1,50	0,214	8,91	3,50	0,700	18,34	2,50	0,625	10,00	3,00	0,750	7,35	1,00	0,333	2,13	46,74

PEMBAHASAN

Aspek Geologi *Geosite*

Berdasarkan hasil observasi lapangan, *geosite* pada Kawasan Gunung Penanggungan dapat dimasukkan kepada golongan *stone heritage*, dimana fitur litologi (*stone*) adalah fitur geologi yang paling menonjol pada *geosite* dan memiliki keterkaitan erat dengan aspek budaya (*heritage*) sehingga berkontribusi pada penyebaran pengetahuan tentang ilmu bumi dan meningkatkan kesadaran publik (Palacio-Prieto, 2015 dalam De Wever dkk, 2017).

Pembahasan mengenai aspek geologi *geosite* pada Kawasan Gunung Penanggungan ditinjau berdasarkan dua aspek yakni, aspek geologi tapak dan aspek geologi bangunan. Aspek geologi tapak ini meliputi morfologi lokasi *geosite*, litologi penyusun lokasi (tapak) *geosite* dan bahaya geologi yang mampu mengganggu eksistensi *geosite*. Sedangkan aspek geologi bangunan ditinjau berdasarkan batuan penyusun bangunan atau situs arkeologi pada *geosite* serta unsur geologi lain yang mungkin ditemukan pada bangunan.

Aspek Geologi Tapak

Aspek kondisi geologi dimana *geosite* berdiri disebut sebagai aspek geologi tapak *geosite*. Aspek geologi tapak meliputi morfologi lokasi *geosite*, litologi tumpuan *geosite* dan bahaya geologi yang ada pada lokasi *geosite*. Berdasarkan analisis DEMNas dan observasi lapangan, *geosite* pada Kawasan Gunung Penanggungan terkonsentrasi pada bagian proksimal dari 3 morfologi kerucut gunungapi pada Kawasan Gunung Penanggungan. Dimana, zona proksimal menurut Bronto (2006) umumnya berasosiasi dengan perselingan aliran lava dan breksi piroklastik serta aglomerat. Tentunya hal ini berdampak pada litologi tumpuan dari *geosite* yang tidak jauh dari salah satu litologi tersebut.

Berdasarkan observasi lapangan *geosite* pada Kawasan Gunung Penanggungan seluruhnya bertumpu pada satuan aliran lava andesit (**Gambar 1**). *Geosite* pada kerucut Gunungapi Penanggungan berdiri diatas batuan andesit piroksen satuan aliran lava andesit Penanggungan. Untuk *Geosite* pada kerucut Gunungapi Bekel bertumpu diatas batuan andesit hornblend satuan aliran lava andesit Bekel 2. Sedangkan *geosite* pada kerucut Gunungapi Gajahmungkur berdiri pada batuan hornblend satuan aliran lava andesit Gajahmungkur.

Untuk aspek bahaya geologi pada *geosite*, mayoritas *geosite* pada Kawasan Gunung Penanggungan berada pada lahan yang miring dan lereng yang terjal sehingga bencana geologi yang paling berpotensi terjadi adalah gerakan massa. Hal ini didukung dengan kondisi batuan tapak pada beberapa *geosite* kondisinya telah lapuk dan proses perkembangan tanah terjadi dengan signifikan.

Aspek Geologi Bangunan

Pada aspek geologi bangunan, aspek batuan penyusun dan aspek bentuk bangunan merupakan hal mendasar yang dibahas. Pada *geosite* Kawasan Gunung Penanggungan, aspek geologi bangunan merupakan daya tarik yang sangat jarang ditemui pada lokasi lain di Indonesia maupun dunia. Hal ini karena aspek geologi bangunan pada *geosite* sangat berkaitan dengan aspek geologi tapak *geosite*.

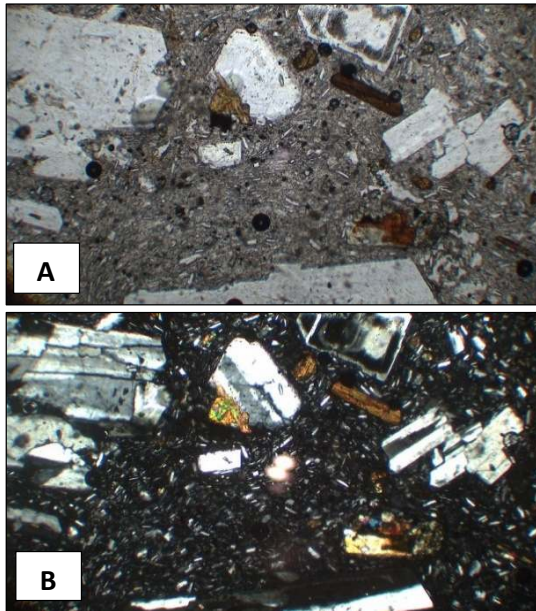
Berdasarkan pengamatan makroskopis petrologi batuan penyusun bangunan *geosite*, keseluruhan bangunan pada *geosite* Kawasan Gunung Penanggungan tersusun oleh batuan beku andesit. Batuan andesit tersebut sangat mungkin berasal dari sekitar lokasi *geosite* (*in-situ*) yang artinya batuan andesit tersebut merupakan aliran lava yang membeku. Hal ini didukung dengan kenampakan mineral hornblend dan piroksen pada batuan penyusun bangunan di beberapa *geosite* menunjukkan adanya orientasi arah tertentu (**Gambar 8**).



Gambar 8. Kenampakan Batuan Penyusun *Geosite* Candi Selokelir yang menunjukkan adanya orientasi mineral ke arah tertentu sebagai indikasi batuan penyusun candi merupakan lava yang membeku.

Selain itu, kenampakan petrografi batuan tapak dimana lokasi *geosite* tersebut berdiri juga menunjukkan hal yang serupa dengan kenampakan makroskopisnya. Dimana pada petrografi batuan tapak (**Gambar 9**) menunjukkan adanya mineral plagioklas,

hornblend, dan piroksen yang memiliki orientasi arah tertentu atau bertekstur trakhitik yang menjadi ciri khas dari aliran lava yang mendingin.



Gambar 9. Kenampakan foto sayatan tipis batuan penyusun *Geosite* Candi Selokelir yang menunjukkan adanya orientasi mineral ke arah tertentu sebagai indikasi batuan penyusun candi merupakan lava yang membeku. Foto A menunjukkan pengamatan polarisasi sejajar, foto B pengamatan polarisasi bersilang.

Aspek lain dari aspek geologi bangunan *geosite* ada pada struktur bangunan pada *geosite* yang memiliki keterkaitan dengan kondisi lahan dan lokasi berdirinya *geosite*. Pada *geosite* berbentuk gua pertapaan sangat jelas bentuk gua yang memanfaatkan cerukan pada tebing batuan andesit menjadi aspek geologi bangunan yang sangat menonjol (**Gambar 10**). Sedangkan pada *geosite* berbentuk candi, struktur candi yang berundak-undak merupakan keunikan yang tidak banyak ditemui di lokasi lain (**Gambar 11**). Struktur berundak merupakan bentuk adaptasi masyarakat pembangun candi dengan kondisi lahan berdirinya candi yang memiliki kemiringan 30° - 40° . Selain itu, bentuk berundak memiliki makna filosofis sebagai manifestasi Gunung Maha Meru yakni gunung suci dan tingkatan dunia pada kepercayaan agama Hindu (Munandar, 2016). Bentuk berundak juga memiliki fungsi mitigasi yakni untuk

memperkuat lereng dan menahan lereng lokasi candi agar tidak mudah longsor.



Gambar 10. Kenampakan *geosite* Gua Buyung salah satu *geosite* gua pertapaan dimana aspek bangunan dan aspek geologi tapak *geosite* karena ruangan gua memanfaatkan cerukan pada singkapan tebing andesit.



Gambar 11. Kenampakan *geosite* Candi Kendalisodo dengan struktur bangunan candi yang berundak sebagai aspek geologi bangunan yang menarik karena beradaptasi dengan kondisi lahan dimana *geosite* berdiri.

Karakteristik Keragaman Geologi *Geosite*

Karakterisasi keragaman geologi pada *geosite* meliputi: klasifikasi, pemeringkatan, penilaian, pemaknaan dan klasterisasi *geosite* (Badan Geologi, 2017). Hal ini bertujuan untuk mengidentifikasi keunikan dan nilai tambah dari *geosite* pada Kawasan Gunung Penanggungan. Sehingga dapat diketahui potensi *geosite* untuk geokonservasi maupun geowisata. Berdasarkan Klasifikasi *Geosite* oleh badan geologi, *geosite* pada Kawasan Gunung Penanggungan termasuk ke dalam *geosite* dengan bentang alam vulkanik yang tersusun oleh aliran lava andesit. Proses geologi yang mempengaruhi keberadaan *geosite* berupa proses vulkanisme dan proses eksogenik berupa gerakan massa serta pelapukan.

Untuk pemeringkatan *geosite*, didasarkan pada parameter yang terpenuhi dalam klasifikasi *geosite* yang telah dilakukan sebelumnya. Merujuk pada pemeringkatan *geosite* oleh badan geologi, *geosite* Kawasan Gunung Penanggungan termasuk pada *geosite* berperingkat tinggi karena memenuhi 3 parameter yakni bentang alam umum, ranah batuan, dan proses geologi.

Penilaian keragaman geologi *geosite* Kawasan Gunung Penanggungan berdasarkan panduan dari badan geologi, menunjukkan *geosite* pada Kawasan Gunung Penanggungan memiliki nilai tinggi hingga terkemuka. Hal ini dikarenakan mayoritas *geosite* yang ada pada Kawasan Gunung Penanggungan mengandung unsur rekaman ilmiah dan bentang alam spesifik disertai adanya *stone heritage* yang tidak ditemukan pada tubuh gunungapi lain sehingga berpotensi mendukung kegiatan pariwisata dan aspek ekologi sekitar lokasi *geosite*.

Untuk pemaknaan *geosite*, berdasarkan panduan oleh badan geologi, keseluruhan *geosite* pada Kawasan Gunung Penanggungan mengandung makna dan nilai kebudayaan karena *geosite* pada Kawasan Gunung Penanggungan berjenis *stone heritage* dimana *geosite* tersebut terdiri atas bangunan candi berundak dan gua pertapaan hasil budaya masyarakat di masa lalu. Selain makna budaya, terdapat makna ilmiah karena keterdapat singkapan batuan pada *geosite* seperti pada *geosite* Gua Kursi dan *geosite* Candi Kendalisodo, juga makna estetika karena keterdapat ragam hias dan pemandangan yang indah pada *geosite* seperti pada *geosite* Candi Wayang dan *geosite* Candi Gajah, serta makna rekreasi seperti pada *geosite* Petirtaan Jolotundo.

Berdasarkan panduan klasterisasi *geosite* oleh Badan Geologi, klasterisasi *geosite* Kawasan Gunung Penanggungan terbagi menjadi dua klaster yakni klaster artefak sejarah bumi dan klaster pendukung ekologi. Hal ini dikarenakan pada *geosite* Kawasan Gunung Penanggungan terdapat singkapan batuan dan bentuk morfologi sebagai objek geologi yang dapat menceritakan sejarah proses geologi Kawasan Gunung Penanggungan serta adanya bangunan arkeologis menjadi bukti fungsi ekologis yang nyata karena Kawasan Gunung Penanggungan merupakan kawasan yang penting dan sakral menurut masyarakat pada masa itu.

Kelayakan *Geosite* Sebagai Landasan Geokonservasi

Perhitungan kelayakan *geosite* Kawasan Gunung Penanggungan sebagai landasan penentuan kawasan geokonservasi didasarkan pada perkalian antara poin *geosite* pada tiap parameter nilai dikali dengan bobot dari tiap parameter nilai untuk geokonservasi (**Tabel 10**). Berdasarkan hasil perhitungan potensi tersebut diperoleh persentase kelayakan dan tingkat potensi *geosite* pada Kawasan Gunung Penanggungan terdiri dari dua kelompok yakni berpotensi sedang sebanyak 22 *geosite* dan tinggi sejumlah 7 *geosite* (**Tabel 11**).

Tabel 11. Persentase kelayakan *geosite* Kawasan Gunung Penanggungan dalam mendukung penetapan kawasan geokonservasi

No.	Nama Situs	Persentase Kelayakan (%)	Predikat
1	Petirtaan Jolotundo	83,71	Tinggi
2	Candi Kendalisodo	73,09	Tinggi
3	Candi Wayang	67,85	Tinggi
4	Gua Buyung	67,50	Tinggi
5	Candi Kerajaan	62,08	Tinggi
6	Candi Gajah	61,91	Tinggi
7	Gua Kursi	61,56	Tinggi
8	Candi Naga	58,76	Sedang
9	Gua Pertapaan 1	57,36	Sedang
10	Gua Pertapaan 2	57,36	Sedang
11	Candi Kama IV	57,36	Sedang
12	Candi Selokelir	50,19	Sedang
13	Gapura Jedong	46,74	Sedang

No.	Nama Situs	Persentase Kelayakan (%)	Predikat
14	Candi Lurah	46,00	Sedang
15	Candi Carik	46,00	Sedang
16	Candi Gentong	44,00	Sedang
17	Candi Pandawa	43,02	Sedang
18	Candi Yudha	43,02	Sedang
19	Candi Lemari	43,02	Sedang
20	Candi Merak	43,02	Sedang
21	Candi Shinta	43,02	Sedang
22	Candi Siwa	43,02	Sedang
23	Candi Guru	43,02	Sedang
24	Candi Wisnu	43,02	Sedang
25	Candi Putri	43,02	Sedang
26	Candi Bayi	43,02	Sedang
27	Candi Kama III	41,02	Sedang
28	Candi Pura	41,02	Sedang
29	Candi Griya	41,02	Sedang

Adanya variasi tingkat potensi *geosite* Kawasan Gunung Penanggungan dikarenakan adanya perbedaan nilai parameter kelayakan *geosite*, terutama pada parameter kelayakan Nilai Edukasi dan Nilai Ekonomi. Nilai Edukasi mencakup potensi *geosite* sebagai objek studi untuk mempelajari sejarah geologi Gunung Penanggungan sekaligus studi mengenai sejarah peradaban manusia di Kawasan Gunung Penanggungan. Dalam hal nilai ekonomi, *geosite* Kawasan Gunung Penanggungan dengan keunikannya memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai suatu kawasan wisata berbasis konservasi dan edukasi geologi (geowisata) dan sejarah. Dengan menjadi suatu kawasan wisata akan memberikan peluang adanya sumber ekonomi baru bagi masyarakat sekitar Kawasan Gunung Penanggungan dengan mengambil peran sebagai pengusaha atau pedagang makanan maupun souvenir.

Pada semua *geosite* Kawasan Gunung Penanggungan juga memiliki nilai intrinsik, nilai konservasi dan nilai Kebudayaan dengan porsi nilai yang cukup tinggi. Hal ini semakin menunjukkan bahwa selain sebagai kawasan cagar budaya yang telah diakui dan dibuktikan dengan nilai kebudayaan pada masing-masing situs yang cukup tinggi, *geosite* pada Kawasan Gunung Penanggungan sangat berpotensi dan mendukung untuk menjadi landasan penentuan

Kawasan Gunung Penanggungan sebagai kawasan geokonservasi.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, *geosite* pada Kawasan Gunung Penanggungan termasuk ke dalam *stone heritage* yang berdasarkan bentuknya dapat dibedakan menjadi 3 kelompok, yakni: *geosite* gua pertapaan, *geosite* candi berundak, *geosite* candi non berundak dan tak berbentuk. Berdasarkan aspek geologi tapak keseluruhan *geosite* tersebut berada pada bagian proksimal kerucut gunungapi pada Kawasan Gunung Penanggungan dan berdiri diatas satuan aliran lava andesit dengan potensi bencana geologi berupa gerakan massa. Berdasarkan aspek geologi bangunan, keseluruhan *geosite* tersusun oleh batuan andesit dengan struktur bangunan berupa teras berundak dan gua pertapaan

Karakterisasi *geosite* Kawasan Gunung Penanggungan, menunjukkan keseluruhan *geosite* memiliki nilai keunikan dan kekhasan yang tidak dimiliki oleh *geosite* lain di Indonesia bahkan dunia karena adanya keterkaitan antara objek arkeologis dan objek geologi yang sangat erat. Hal tersebut di dukung oleh hasil analisis kelayakan *geosite* sebagai landasan penentuan kawasan geokonservasi yang menunjukkan *geosite* Kawasan Gunung Penanggungan memiliki tingkat potensi sedang hingga tinggi. Dengan demikian, keberadaan *geosite* pada Kawasan Gunung Penanggungan dapat dijadikan sebagai alasan utama untuk menetapkan Kawasan Gunung Penanggungan sebagai kawasan geokonservasi dan kedepannya dapat berkembang menjadi kawasan geowisata.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada BPCB Trowulan, Jawa Timur (sekarang BPK X Jawa Timur) atas izin melakukan penelitian. Kepada Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada yang menyediakan fasilitas untuk menunjang proses penelitian, dukungan, dan semangat kepada penulis. Selain itu terimakasih juga penulis sampaikan pada seluruh pihak yang telah membantu pengambilan data dan penyusunan hasil penelitian sehingga dapat terselesaikan dengan tepat waktu.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Geologi. (2017). *Standar Teknis Inventarisasi Keragaman Geologi dan Identifikasi Warisan Geologi*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta, p. 1-11.
- Badan Informasi Geospasial. (2018). *DEMNAS Seamless Digital Elevation Model (DEM) Nasional*.
<https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/unduh/demnas>. Diakses tanggal 10 Februari 2025
- Badan Informasi Geospasial. (2018). *Rupa Bumi Indonesia Skala 25K Wilayah Mojokerto dan Pasuruan*.
<https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/unduh/rbi-wilayah>. Diakses tanggal 10 Februari 2025
- Brahmantyo, B., dan Bandono, S. (2006), Klasifikasi Bentuk Muka Bumi (Landform) untuk Pemetaan Geomorfologi pada Skala 1:25.000 dan Aplikasinya untuk Penataan Ruang. *Jurnal Geoaplika*, Vol. 1 No. 2, p.71–79. <https://doi.org/10.31227/osf.io/8ah6v>
- Brilha, J. (2016), Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review. *Geoheritage*, 8(2), 119–134. <https://doi.org/10.1007/s12371-014-0139-3>
- Bronto, S. (2006), Fasies gunung api dan aplikasinya. *Indonesian Journal on Geoscience*, 1(2), 59–71. <https://doi.org/10.17014/ijog.vol1no2.20061>
- De Wever, P., Baudin, F., Pereira, D., Cornée, A., Egoroff, G., Page, K. (2017). The Importance of Geosites and Heritage Stones in Cities—a Review. *Geoheritage*, 9(4), p.561–575. <https://doi.org/10.1007/s12371-016-0210-3>
- Gray, M. (2004). *Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature*. John Wiley & Sons, Chichester, U.K., 402 p.
- Hall, R. (2002). Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific: computer - based reconstructions, model and animations. *Journal of Asian Earth Science*, 20, pp. 353-434. [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(01\)00069-4](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(01)00069-4)
- Hendratno, A. (2004). Peluang pemanfaatan data geologi dan sumberdaya mineral dalam pembangunan wilayah. *Seminar Geologi Nuklir dan Sumberdaya Tambang Tahun 2004*, 184–200.
- Husein, S., Nukman, M. (2015). Rekonstruksi Tektonik Mikrokontinen Pegunungan Selatan Jawa Timur: Sebuah Hipotesis Berdasarkan Analisis Kemagnetan Purba. *Prosiding, Seminar Nasional Kebumihan*, 8, Geoweeek: Yogyakarta, Departemen Teknik Geologi, FT, Universitas Gadjah Mada, 235-240 p.
- Komoo, I. (2003). *Conservation geology: protecting hidden treasures of Malaysia*. Institute for Environment and Development, Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Kubalíková, L. (2013). Geomorphosite assessment for geotourism purposes. *Czech Journal of Tourism*, 2(2), 80–104. <https://doi.org/10.2478/cjot-2013-0005>
- Kusumahbrata, Y. (2015). *Konservasi Geologi Dan Geowisata: Alternatif Pengembangan Potensi Sumber Daya Geologi Secara Berkesinambungan*. Museum Geologi Bandung, p. 1-11.
- Munandar, A.A. (2016). *Arkeologi Pawitra Cetakan I*. Wedatama Widya Sastra, Jakarta, 175 p.
- Paripurno, E.T., Wahyuni, P., Pradhana, G. (2016). Belajar dari Perencanaan Regional Purba Situs-situs Arkeologis G. Penanggungan, Jawa Timur (Pengaruh Vulkanostratigrafi pada Pola Sebaran dan Kondisi Situs Arkeologis di G. Penanggungan, Jawa Timur). *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Riset Kebencanaan ke-3-2016*, Bandung.
- Reynard, E., Fontana, G., Kozlik, L., Pozza, C. S. (2007). Besinne: Une methode d'évaluation des valeurs scientifique et additionnelles des geomorphosites. *Geographica Helvetica*, 62(3), p. 148–158. <https://doi.org/10.5194/gh-62-148-2007>
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48, p 9-26, https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6281-2_31
- Santosa, S., dan Suwarti, T. (1992). *Peta Geologi Lembar Malang, Jawa, skala 1:100.000*. Direktorat Geologi, Bandung.
- Setyawan, R.F.A. (2018). *Vulkanostratigrafi Dan Petrogenesis Gunung Penanggungan, Kabupaten Mojokerto dan Kabupaten Pasuruan, Provinsi Jawa Timur*. Tugas Akhir. Program Studi Sarjana Teknik Geologi, FITB, Institut Teknologi Bandung, Bandung (Tidak Dipublikasikan).

van Bemmelen, R. W. (1949). *The Geology of Indonesia, Vol 1A*. Government Printing Office, The Hague, Amsterdam.