

KAJIAN GEOLOGI DAN STABILITAS LERENG DENGAN *FINITE ELEMENT METHODE* (FEM) UNTUK PEMBANGUNAN DAN PENGEMBANGAN PERUMAHAN: BUKIT PANDHAWA GODEAN SLEMAN

Guntor Suryo Putro*¹⁾, Muhammad Nurjati Setiawan¹⁾, Antu Ridha Falkhan Barizi¹⁾, Jatmiko Setiawan¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Geologi UPN "Veteran" Yogyakarta

*e-mail: guntorsp21@gmail.com

Abstrak - Kajian geologi dan stabilitas lereng di Kawasan Bukit Pandhawa, Kecamatan Godean untuk mengetahui gambaran detail geologi wilayah perumahan yang akan dikembangkan. Kajian stabilitas lereng diperlukan karena pengupasan lereng yang beresiko longsor. Litologi yang dijumpai pada daerah ini berupa batupasir dari Formasi Nanggulan berumur Eosen (42-39,4 juta tahun yang lalu), breksi dari Formasi Kebo-Butak yang berumur Oligosen (33.9-23,3 juta tahun yang lalu) dan yang paling muda yaitu batuan beku intrusi diorit berumur Miosen Awal (25,2-16,2 juta tahun yang lalu) dan berdasarkan analisa petrografi didapatkan nama batuan Argilaceous Lithic Wacke (Gilbert, 1954) dan batuan beku diorit. Struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian berupa kekar dan sesar. Struktur geologi berupa kekar memiliki arah umum sekitar barat-timur, utara-selatan, timurlaut-baratdaya dan tenggara-baratlaut. Struktur geologi berupa sesar memiliki arah umum bidang sesar relatif timurlaut-baratdaya. Penelitian Stabilitas lereng ini menggunakan metode elemen hingga (FEM) dengan tujuan mengetahui nilai faktor keamanan, bidang gelincir, model longsor dan desain lereng yang diolah dengan software Phase 2. Setelah mengetahui model longsor peneliti membuat penanggulangan longsor sederhana serta merekomendasikan tindak lanjut bagi pengembang terhadap pembangunan dan pengembangan perumahan.

Kata Kunci: analisa petrografi, kestabilan lereng, metode elemen hingga, struktur geologi

Abstract - Geological studies and slope stability in the Pandhawa Hill Area, Godean District to find out the detailed geological description of the housing area to be developed. Slope stability studies are needed due to stripping of slopes that are at risk of landslides. The lithology found in this area is sandstones from the Eocene Nanggulan Formation (42-39.4 million years ago), breccias from the Oligocene Kebo-Butak Formation (33.9-23.3 million years ago) and the youngest, namely Early Miocene diorite intrusive igneous rock (25.2-16.2 million years ago) and based on petrographic analysis the rock names Argilaceous Lithic Wacke (Gilbert, 1954) and igneous diorite were obtained. The geological structures that develop in the study area are joints and faults. The geological structure such as joints has general directions around west-east, north-south, northeast-southwest and southeast-northwest. The geological structure such as fault has a general direction of the fault plane relatively northeast-southwest. This slope stability study uses the finite element method (FEM) with the aim of knowing the value of the safety factor, slip area, avalanche model and slope design which is processed with Phase 2 software. and housing development.

Keywords: petrographic analysis, slope stability, finite element method, geological structures

PENDAHULUAN

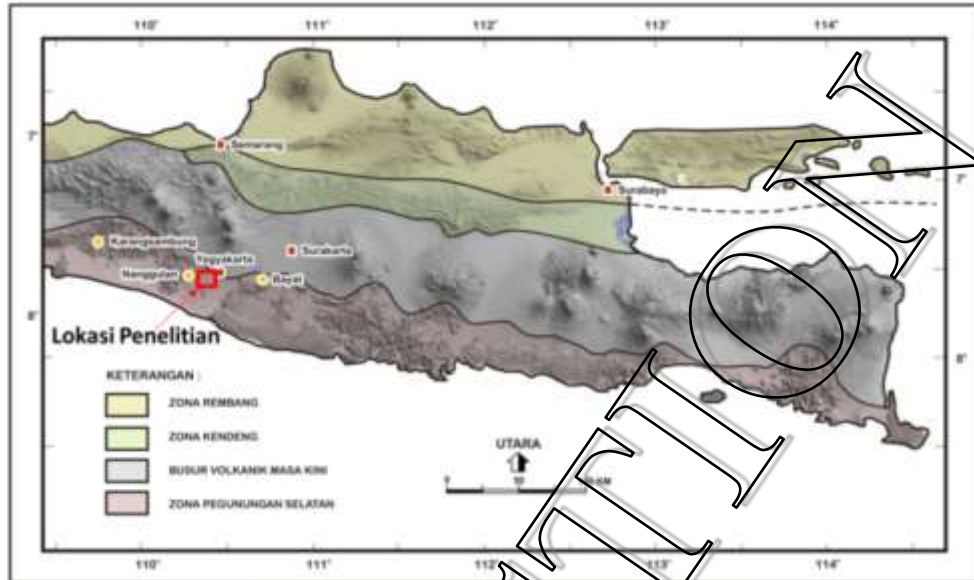
Latar Belakang

Kawasan Bukit Pandhawa berada di Kecamatan Godean dan sekitarnya, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Luas daerah penelitian adalah 3 km². Secara geografis, daerah penelitian terletak di Zona 49 UTM (*Universe Transverse Mercator*) posisi koordinat Xmin : 419500, Xmax : 421500, Ymin : 9142500, Ymax : 9145000.

Kajian geologi dan stabilitas lereng di Kawasan Bukit Pandhawa, Kecamatan Godean dilakukan untuk mengetahui gambaran detail geologi wilayah perumahan yang akan dikembangkan, kajian stabilitas lereng diperlukan karena pengupasan lereng yang beresiko longsor.

Geologi Regional Fisiografi

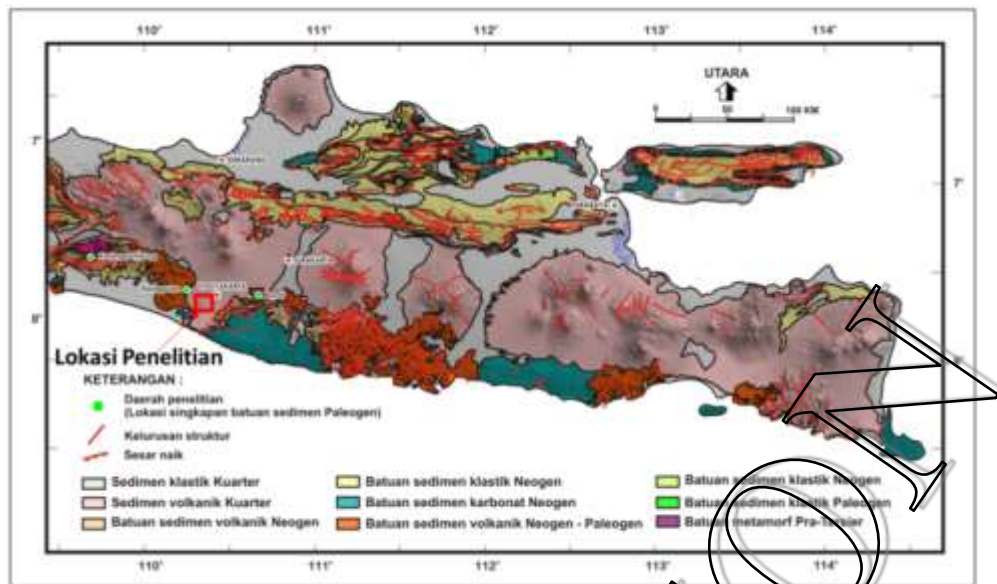
Menurut Van Bemmelen (1949), Pegunungan Kulon Progo dituliskan sebagai *dome* besar dengan bagian puncak datar dan sayap-sayap curam, dikenal sebagai “*Oblong Dome*”. *Dome* ini mempunyai arah utara timurlaut–selatan baratdaya dan diameter 15–20 km dengan arah baratlaut–timurtenggara (Gambar 1).



Gambar 1. Fisiografi Regional Jawa Bagian Timur (Prasetyadi, 2007)

Di bagian utara dan timur, kompleks pegunungan ini dibatasi oleh Lembah Progo, di bagian selatan dan barat dibatasi oleh dataran pantai Jawa Tengah sedangkan di bagian barat laut pegunungan ini berhubungan dengan deretan Pegunungan Serayu.

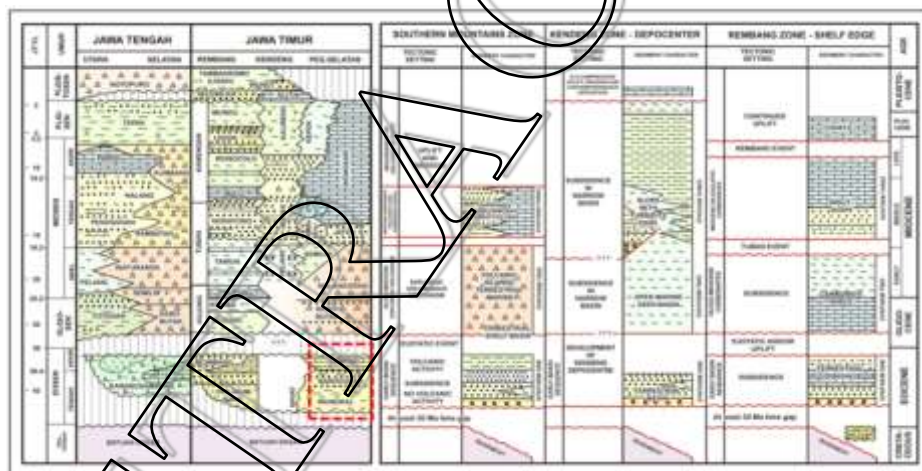
Inti dari *dome* ini terdiri dari 3 gunung api andesit tua yang sekarang telah tererosi cukup dalam, sehingga di beberapa bagian bekas dapur magmanya telah tersingkap. Gunung Gajah yang terletak di bagian tengah *dome* tersebut, merupakan gunungapi tertua yang menghasilkan andesit hiperstein augit basaltik. Gunungapi yang kemudian terbentuk yaitu Gunungapi Ijo yang terletak di bagian selatan. Kegiatan Gunungapi Ijo ini menghasilkan andesit piroksen basaltik, kemudian andesit augit hornblende, sedangkan pada tahap terakhir adalah intrusi dasit pada bagian inti. Setelah kegiatan Gunung Gajah berhenti dan mengalami denudasi, di bagian utara mulai terbentuk Gunung Menoreh, yang merupakan gunung terakhir pada kompleks Pegunungan Kulon Progo. Kegiatan Gunung Menoreh mula-mula menghasilkan andesit augit hornblende, kemudian menghasilkan dasit dan yang terakhir yaitu andesit.



Gambar 2. Peta Geologi Regional Jawa Bagian Timur (Prasetyadi, 2007)

Stratigrafi Regional

Bagian sebelah timur dari Pegunungan Serayu Selatan, secara stratigrafis termasuk ke dalam stratigrafis Pegunungan Kulon Progo. Unit stratigrafis yang paling tua di daerah Pegunungan Kulon Progo dikenal dengan Formasi Nanggulan, kemudian secara tidak selaras di atasnya diendapkan batuan-batuan dari Formasi Jenggangan dan Formasi Sentolo, yang menurut Van Bemmelen (1949), kedua formasi terakhir ini mempunyai umur yang sama, keduanya hanya berbeda fasies (Gambar 3).



Gambar 3. Stratigrafi Regional Kulon Progo (Prasetyadi, 2007)

a. Formasi Nanggulan

Formasi Nanggulan merupakan formasi yang paling tua di daerah pegunungan Kulon Progo. Singkapan batuan batuan penyusun dari Formasi Nanggulan dijumpai di sekitar desa Nanggulan, yang merupakan kaki sebelah timur dari Pegunungan Kulon Progo. Penyusun batuan dari formasi ini menurut Rahardjo dkk (1977) terdiri dari batupasir dengan sisipan lignit, napal pasiran, batulempung dengan konkresi limonit, sisipan napal dan batugamping, batupasir dan tuf serta kaya akan fosil foraminifera dan moluska. Diperkirakan ketebalan formasi ini adalah 30 meter.

b. Formasi Andesit Tua

Batuan penyusun dari formasi ini terdiri atas breksi andesit, tuf, tuf lapili, aglomerat dan sisipan aliran lava andesit. Lava yang memiliki kandungan utama terdiri dari andesit hiperstein dan andesit augit hornblende (Rahardjo dkk, 1977). Formasi Andesit Tua ini dengan ketebalan mencapai 500 meter mempunyai kedudukan yang tidak selaras di atas Formasi Nanggulan. Batuan penyusun formasi ini berasal dari kegiatan vulkanisme di daerah tersebut, yaitu dari

beberapa gunung api tua di daerah Pegunungan Kulon Progo yang oleh Van Bemmelen (1949) disebut sebagai Gunung Api Andesit Tua. Gunung api yang dimaksud adalah Gunung Gajah, di bagian tengah pegunungan, Gunung Ijo di bagian selatan, serta Gunung Menoreh di bagian utara Pegunungan Kulon Progo. Purnamaningsih (1974, Rahardjo, dkk, 1977) menyebutkan telah menemukan kepingan Tuff napalan yang merupakan fragmen breksi. Kepingan tuff napalan ini merupakan hasil dari rombakan lapisan yang lebih tua, dijumpai di kaki gunung Mujil. Dari hasil penelitian, kepingan tuff itu merupakan fosil foraminifera planktonik yang dikenal sebagai *Globigerina ciperoensis bolli*, *Globigerina geguaensis weinzrel*; dan *aplin* serta *Globigerina praebulloides blow*. Fosil-fosil ini menunjukkan umur Oligosen atas. Formasi Andesit Tua secara stratigrafis berada di bawah Formasi Sentolo. Pringgoprawiro (1968) dan Kadar (1975) menyimpulkan bahwa umur Formasi Sentolo berdasarkan penelitian terhadap foraminifera planktonik adalah berkisar antara Awal Miosen sampai Pliosen. Formasi Nanggulan, yang terletak di bawah Formasi Andesit Tua mempunyai kisaran umur Eosen Tengah hingga Oligosen Atas (Hartono, 1969, Rahardjo, dkk, 1977). Jika kisaran umur itu dipakai, maka Formasi Andesit Tua diperkirakan berumur Oligosen Atas sampai Meiosen Bawah. Menurut Purbaningsih (1974, Rahardjo, dkk, 1977) umur Formasi Andesit Tua ini adalah Oligosen.

c. Formasi Jonggrangan

Litologi dari Formasi Jonggrangan ini tersingkap baik di sekitar desa Jonggrangan, suatu desa yang ketinggiannya di atas 700 meter dari muka air laut dan disebut sebagai Plato Jonggrangan. Bagian bawah dari formasi ini terdiri dari Konglomerat yang ditumpangi oleh napal tufan dan batupasir gamping dengan sisipan lignit. Batuan ini semakin ke atas berubah menjadi batugamping koral (Rahardjo, dkk, 1977). Formasi Jonggrangan ini terletak secara tidak selaras di atas Formasi Andesit Tua. Ketebalan dari Formasi Jonggrangan ini mencapai sekitar 250 meter (Bemmelen, 1949). Koolhoven (Bemmelen, 1949) menyebutkan bahwa Formasi Jonggrangan dan Formasi Sentolo keduanya merupakan Formasi Kulon Progo ("Westopo Beds") dan diduga berumur Miosen Tengah.

d. Formasi Sentolo

Litologi penyusun Formasi Sentolo ini di bagian bawah, terdiri dari aglomerat dan napal, semakin ke atas berubah menjadi batugamping berlapis dengan fasies neritik. Batugamping koral dijumpai secara lokal, menunjukkan umur yang sama dengan Formasi Jonggrangan, tetapi di beberapa tempat umur Formasi Sentolo adalah lebih muda (Pringgoprawiro, 1968). Berdasarkan penelitian fosil foraminifera yang dilakukan Kadar (1975) dijumpai beberapa spesies yang khas, seperti : *Globigerina insuet*, dijumpai pada bagian bawah dari Formasi Sentolo. Fosil-fosil tersebut menurut Kadar (1975, Rahardjo, dkk, 1977) mewakili zona N8 (Blow, 1969) atau berumur Miosen Bawah. Menurut Pringgoprawiro (1968) umur Formasi Sentolo ini berdasarkan penelitian terhadap fosil foraminifera planktonik, adalah berkisar antara Miosen Awal sampai Pliosen (zona N7 hingga N21). Formasi Sentolo ini mempunyai ketebalan sekitar 950 meter (Rahardjo, dkk, 1977).

Dari uraian di atas terlihat stratigrafi daerah Pegunungan Kulon Progo, baik itu perbedaan hubungan stratigrafi antar formasi, maupun perbedaan umur dari masing-masing formasi disebabkan oleh adanya perbedaan data fosil yang digunakan untuk penentuan umur, karena sebagian ahli mempergunakan fosil moluska dan foraminifera besar sebagai dasar penelitian, sedangkan ahli lain mempergunakan foraminifera kecil planktonik sebagai penelitian. Tidak lengkapnya data merupakan penyebab utama adanya perbedaan tersebut.

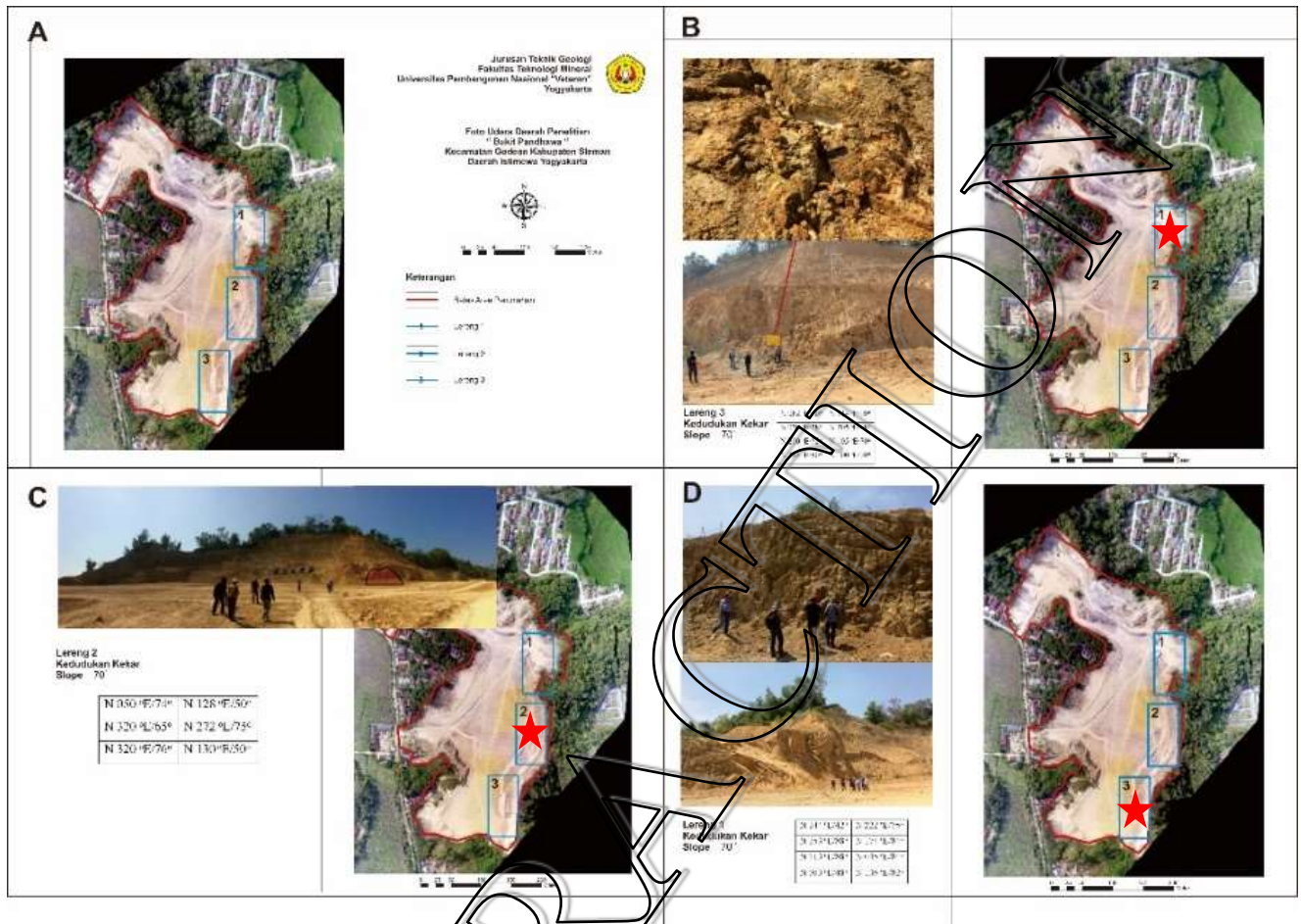
METODE

Metode Penelitian

Penelitian ini menerapkan pendekatan analitik yang didasarkan atas survei dan pemetaan geologi lapangan, serta aplikasi *Finite Element Method* (FEM). Di dalam penelitian ini, ada beberapa kegiatan yang telah dilaksanakan, antara lain:

1. Koleksi data sekunder antara lain hasil penelitian tentang geomorfologi, geologi, dan geologi teknik daerah yang bersangkutan.
2. Survei lapangan untuk memperoleh data geometri lereng di sekitar daerah penelitian.
3. Kajian geologi lapangan untuk mengetahui penyebaran dan ketebalan litologi, pengambilan sampel batuan untuk memperoleh data jenis litologi/formasi kemudian dilanjutkan dengan analisa petrografi, serta mengetahui sifat mekanik batuan tersebut, misalnya sudut geser dalam.
4. Analisis kestabilan lereng dengan menggunakan metode *Finite Element Method* (FEM).
5. Kajian terhadap faktor-faktor geologi yang mempengaruhi kestabilan lereng di daerah penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN
Geologi Lapangan

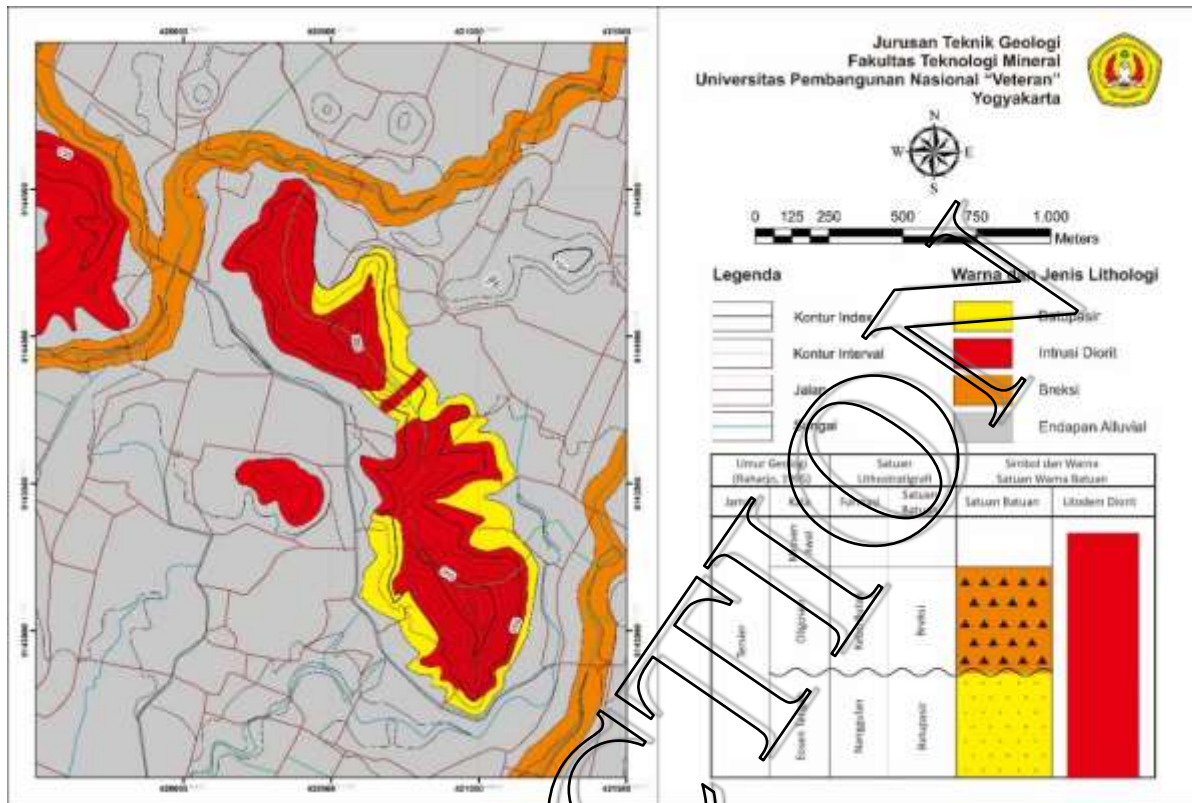


Gambar 4. A. Foto Udara Bukit Pandhaya, B. Data Lapangan Lereng 1, C. Data Lapangan Lereng 2, C. Data Lapangan Lereng 3

Lereng 1 merupakan lereng dengan dimensi tinggi 9m, kemiringan lereng 70°, dan telah dikupas. Litologi berupa intrusi diorit. Terdapat struktur geologi berupa kekar pada lokasi ini berarah tenggara-baratlaut dan timurlaut-baratdaya (Gambar 4B).

Lereng 2 merupakan lereng dengan dimensi tinggi 10m, kemiringan lereng 70°, dan telah dikupas. Litologi berupa batuan beku berupa intrusi diorit yang menerobos batuan dari Formasi Nanggulan. Kekar pada lokasi ini berarah tenggara-baratlaut dan timurlaut-baratdaya dengan struktur geologi berupa sesar yang memiliki kedudukan bidang sesar N 061°E/80° dan N 265°E/85° (Gambar 4C).

Lereng 3 merupakan lereng dengan dimensi tinggi 6m, kemiringan lereng 70°, dan telah dikupas. Litologi berupa batuan beku intrusi diorit yang menerobos batuan pada Formasi Nanggulan. Struktur geologi yang berkembang pada lokasi ini yaitu berupa kekar (rekapan) yang memiliki arah timurlaut-baratdaya dan tenggara-baratlaut (Gambar 4D).



Gambar 5. Peta Geologi Daerah Bukit Pandhawa

Sayatan Petrografi	Hasil Analisis Petrografi
<p>A</p>	<p>Komposisi mineral Kuarsa, Opak, Litik, Massa Gelas, dan Mineral Lempung</p> <p>Argilaceous (Gilbert, 1982) Argilaceous Lithic Wacke (Gilbert, 1954)</p>
<p>B</p>	<p>Komposisi mineral Kuarsa, Hornblende, Opak, Massa Gelas, dan Mineral berukuran lempung</p> <p>Lithic Wacke (Gilbert, 1954)</p>
<p>C</p>	<p>Komposisi mineral Kuarsa, Oligoclase, Piroksen, Opak</p> <p>Quartz Monzodiorite (IUGS, 1974)</p>

Gambar 6. Hasil Sayatan Petrografi Litologi Daerah Penelitian

Model Numerik dengan *Finite Element Method*

Pemodelan numerik merupakan salah satu metode simulasi dalam mekanika tanah dan batuan. Metode elemen hingga (*Finite Element Method*) dipilih dalam penelitian ini untuk menentukan nilai SRF (*Strength Reduction Factor*) dari setiap lereng. Untuk mengolah data hingga menjadi model numerik digunakan aplikasi *Phase2*. Ada 3 lereng yang dianalisa dari Utara ke Selatan. Setiap lereng dianalisa dengan menggunakan kriteria keruntuhan *Generalized Hoek-Brown*, dikarenakan kriteria keruntuhan Hoek & Brown dapat digunakan untuk memperkirakan kekuatan, kohesi, dan sudut gesek dalam massa batuan. Kohesi dan sudut gesek dalam merupakan parameter untuk mengetahui faktor keamanan dalam metode keseimbangan batas. Berikut karakteristik model *Finite Element Method* untuk masing-masing lereng dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3.

Tabel 1. Karakteristik Model *Finite Element Method* Lereng 1

Tipe Element	6 nodes triangle
Jumlah Elemen	1397
Jumlah Node	1500
<i>Semua element memiliki kualitas yang baik di dalam model</i>	
Material	
Kriteria Keruntuhan	Generalized Hoek-Brown
Berat isi	23 (kN/m ³)
Poisson's Ratio	0,27
Young's Modulus	11200 (kPa)
Parameter mb	5.991276
Parameter s	0.011744
Parameter a	0.502841

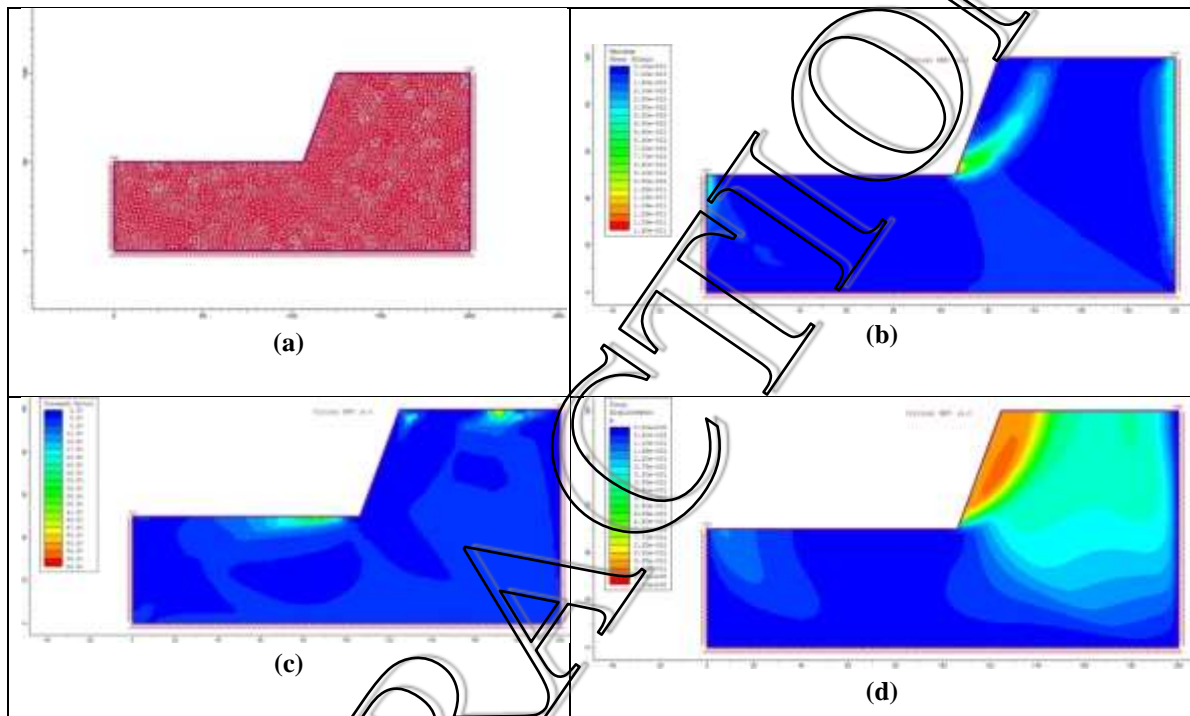
Tabel 2. Karakteristik Model *Finite Element Method* Lereng 2

Tipe Element	6 nodes triangle
Jumlah Elemen	3602
Jumlah Node	1500
<i>Semua element memiliki kualitas yang baik di dalam model</i>	
Material 1	
Kriteria Keruntuhan	Generalized Hoek-Brown
Berat isi	21,1 (kN/m ³)
Poisson's Ratio	0,27
Young's Modulus	11200 (kPa)
Parameter mb	5.99128
Parameter s	0.011744
Parameter a	0.502841
Material 2	
Kriteria Keruntuhan	Generalized Hoek-Brown
Berat isi	27 (kN/m ³)
Poisson's Ratio	0,3
Young's Modulus	20000 (kPa)
Parameter mb	3.79321
Parameter s	0.009404
Parameter a	0.503276

Tabel 3. Karakteristik Model *Finite Element Method* Lereng 3

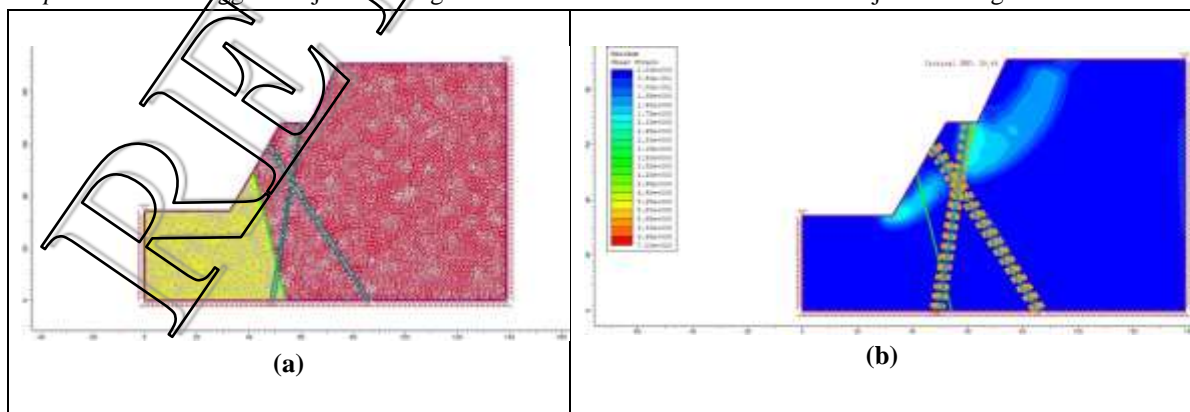
Tipe Element	6 nodes triangle
Jumlah Elemen	1432
Jumlah Node	1500
<i>Semua element memiliki kualitas yang baik di dalam model</i>	

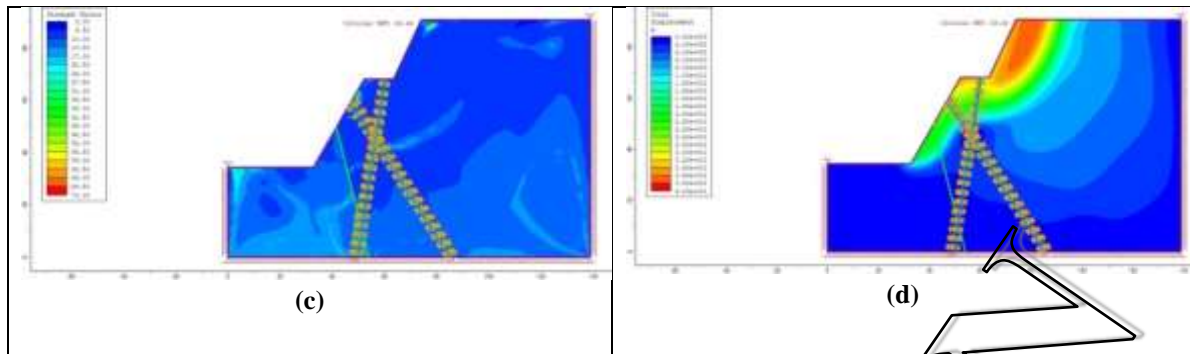
Material	
Kriteria Keruntuhan	Generalized Hoek-Brown
Berat isi	22,45 (kN/m ³)
Poisson's Ratio	0,27
Young's Modulus	11200 (kPa)
Parameter mb	5.991276
Parameter s	0.011744
Parameter a	0.502841



Gambar 6. Permodelan Numerik *Finite Element Method* pada Lereng 1. (a) Model Lereng, (b) Model *Maximum Shear Strain*, (c) Model *Strength Factor*, (d) Model *Total Displacement*.

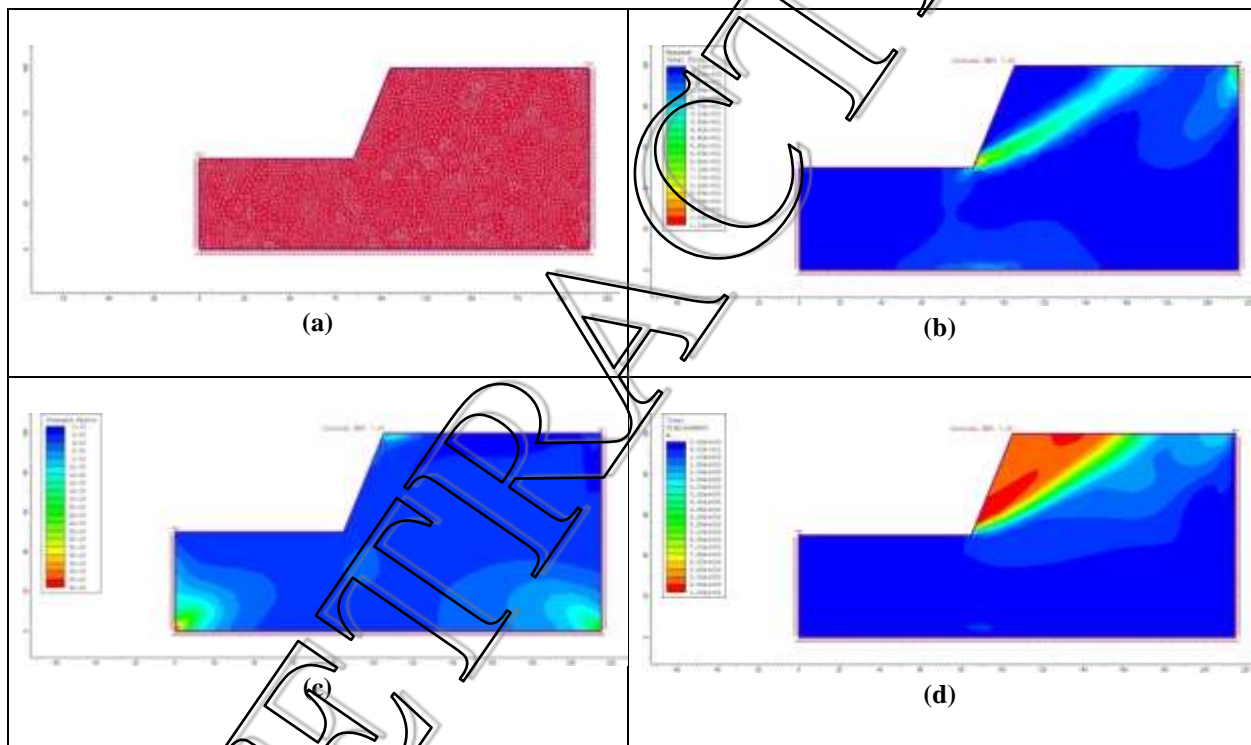
Ketiga lereng dibuat masing-masing 4 model yang terdiri dari model lereng, model *maximum shear strain*, model *strength factor*, dan model *total displacement*. Titik pada lereng yang memiliki nilai *maximum shear strain*, *strength factor*, dan *total displacement* tertinggi ditunjukkan dengan warna merah dan nilai terendah ditunjukkan dengan warna biru tua.





Gambar 7. Permodelan Numerik *Finite Element Method* pada Lereng 2. (a) Model Lereng, (b) Model *Maximum Shear Strain*, (c) Model *Strength Factor*, (d) Model *Total Displacement*.

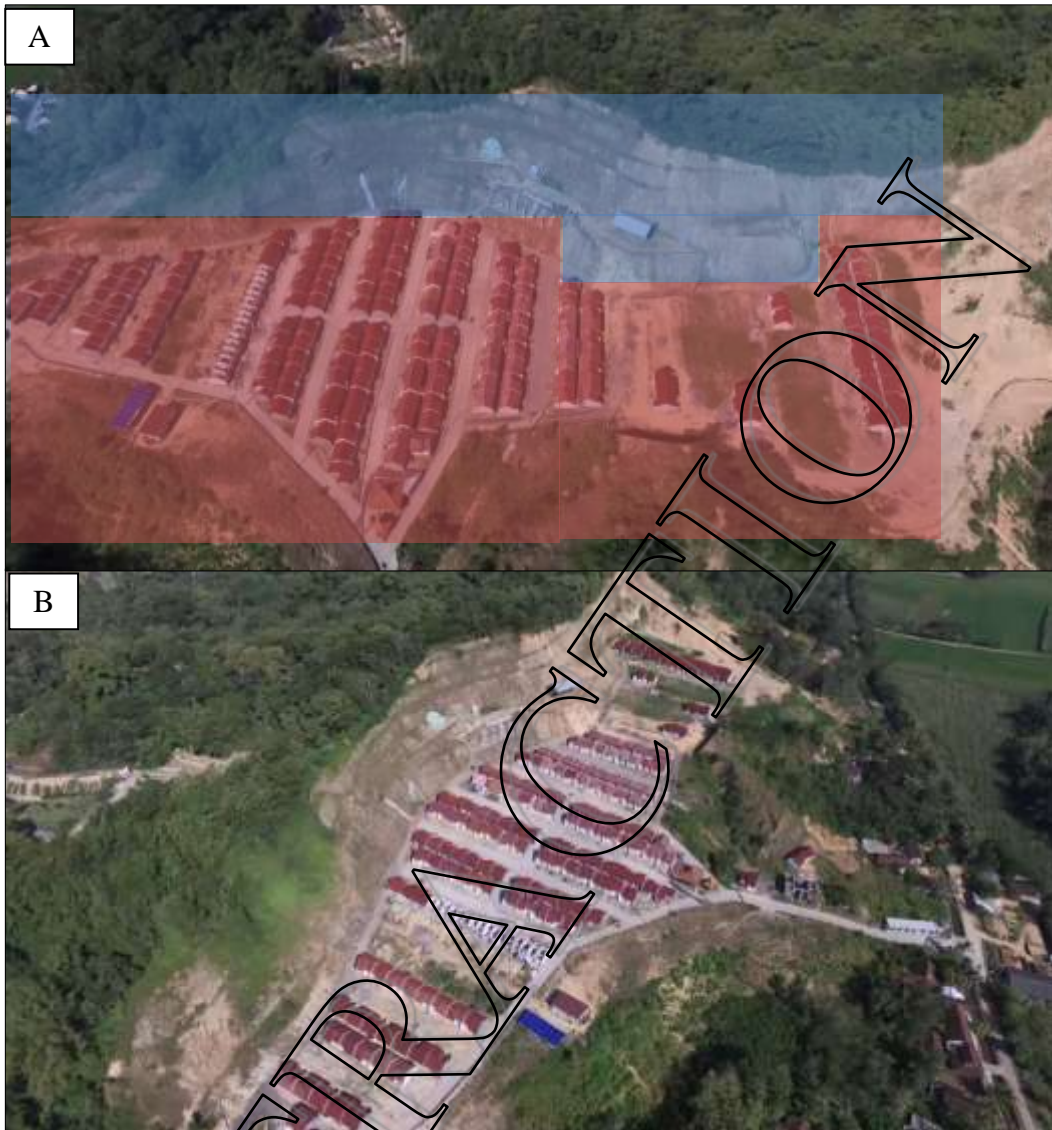
Hasil dari analisis dengan *Finite Element Method* memperlihatkan nilai SRF terendah sampai tertinggi secara berturut-turut yaitu lereng 2 dengan litologi berupa batupasir dan diorit, lereng 1 dengan litologi berupa diorit, dan lereng 3 dengan litologi berupa diorit. Nilai SRF yang diperoleh dari lereng 2 sebesar 29,46, lereng 1 sebesar 14,8, dan lereng 3 sebesar 7,88, memperlihatkan bahwa nilai SRF dari masing-masing lereng tergolong lereng yang aman dikarenakan nilai SRF > 1,25 (Bowles, 1991) dengan intensitas longsor jarang terjadi / termasuk kelas stabil.



Gambar 8. Permodelan Numerik *Finite Element Method* pada Lereng 3. (a) Model Lereng, (b) Model *Maximum Shear Strain*, (c) Model *Strength Factor*, (d) Model *Total Displacement*.

Pengembangan Wilayah

Pada lokasi penelitian terdapat singkapan batuan berumur Eosen dengan litologi berupa batupasir formasi nanggulan dengan intrusi batuan beku diorit yang keberadaannya harus dilindungi dan berpotensi serta dapat dikembangkan menjadi titik *geoheritage*. Karena Proyek ini adalah proyek berkelanjutan (*Sustainable Development*) maka peneliti membuat suatu pengembangan wilayah dengan memperhatikan potensi geologi yang dapat dikembangkan sebagai wisata alam geologi berupa tinggalan alam yang terjadi secara alamiah, dapat dikembangkan sebagai wisata edukasi, bernilai nasional maupun internasional, mempunyai akses yang mudah dijangkau, serta dapat meningkatkan perekonomian bagi masyarakat setempat. Saat ini, kawasan Perumahan Bukit Pandhawa sudah mulai dikembangkan seperti rencana pengembangan wilayah yang sudah ada (Gambar 9).



Gambar 9.A. Keterangan luasan warna biru merupakan lereng yang dikaji sedangkan warna merah merupakan kawasan pengembang saat ini. B. Foto drone kawasan bukit pandawa saat ini.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Kawasan Bukit Pandhawa tersusun atas litologi berupa Batupasir Formasi Nanggulan dengan hasil analisa petrografi berupa Argillaceous Lithic Wacke (Gilbert, 1954) dan Lithic Wacke (Gilbert, 1954), breksi Formasi Kebo-Butak, Litodolit Diorit dengan hasil analisa petrografi *Quartz Monzodiorite* (IUGS, 1974).
2. Struktur geologi struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian berupa kekar dan sesar. Struktur geologi berupa kekar memiliki arah umum sekitar barat-timur, utara selatan, timurlaut-baratdaya dan dan tenggara baratlaut. Struktur geologi berupa sesar memiliki arah umum bidang sesar relatif timurlaut-baratdaya.
3. Hasil dari analisis kestabilan lereng dengan metode *Finite Element Method* menggunakan kriteria keruntuhan *Generalized Hoek-Brown* memperlihatkan nilai SRF secara berturut-turut yaitu lereng 1 sebesar 14,8 , lereng 2 sebesar 29,46 , dan lereng 3 sebesar 7,88. Masing-masing lereng tergolong lereng yang aman dikarenakan nilai SRF > 1,25 (Bowles, 1991) dengan intensitas longoran jarang terjadi / termasuk kelas stabil.
4. Karena Proyek ini adalah Proyek berkelanjutan (*Sustainable Development*) maka peneliti membuat rencana pengembangan wilayah dengan memperhatikan potensi geologi yang dapat dikembangkan sebagai Wisata Alam Geologi berupa tinggalan alam yang terjadi secara alamiah, dapat dikembangkan sebagai wisata edukasi, mempunyai akses yang mudah dijangkau, serta dapat meningkatkan perekonomian bagi masyarakat setempat.

DAFTAR PUSTAKA

- Bemmelen, R., 1970. *The Geology Of Indonesia*. The Hague: Martinus Nijhoff, 732 p.
- Billings, M., 2006. *Structural Geology*. 3rd ed. New Delhi, India: Prentice- Hall of India Private Limited.
- E, Hoek. and J.W, Bray., 1981. *Rock Slope Engineering*. 3rd ed. London: The Institute of Mining and Metalurgy, 358 p.
- Hardiyatmo, H., 2006. *Penanganan Tanah Longsor Dan Erosi*. 1st ed. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Karnawati, D. 2002, Bencana Alam Gerakan Tanah di Indonesia Tahun 2001; Evaluasi dan Rekomendasi. *Prosiding. Simposium Nasional Pencegahan Bencana Sedimen*.
- Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia., 1996. Sandi Stratigrafi Indonesia. Bandung: Ikatan Ahli Geologi Indonesia.
- Kusumayudha, S., 1993. Asia Tenggara Daerah Rentan Longsoran, Kasus Indonesia Malaysia, Filipina, dan Thailand (Southeast Asia, Landslide Prone Area, Cases of Indonesia Malaysia, Filipina, dan Thailand). *Wimaya Journal*, 16, 1-11.
- Prasetyadi. 2007. *Evolusi Tektonik Paleogen Jawa Bagian Timur*. Disertasi. Institut Teknologi Bandung
- Price, D. and Freitas, M., 2009. *Engineering Geology*. Berlin: Springer-Verlag.
- Rickard, M., 1972. Fault Classification: Discussion. *Geological Society of America Bulletin*, 83(8), 2545-2546.
- Suharyadi, M., 2009. *Pengantar Geologi Teknik*. 6th ed. Yogyakarta: Teknik Sipil Universitas Gajah Mada, 132 p.
- Williams, H., Turner, F. and Gilbert, C., 1951. Petrography: An introduction to the study of rocks in thin section. *Geological Journal*, 1(3), 161-229. Freeman and Company, San Francisco

RETRACED