

STUDI GEOLOGI, ALTERASI, DAN KONTROL STRUKTUR TERHADAP KESTABILAN LERENG DI PIT B – EAST, TUJUH BUKIT, BANYUWANGI, JAWA TIMUR

Arisa Wahyu Pratama, Sutarto, Heru Sigit Purwanto
Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, UPN “Veteran” Yogyakarta
JL. SWK 104 (Lingkar Utara) Condongcatu, Yogyakarta 55283
Telp. (0274) 486403, 486733 ; Fax. (0274) 487816

SARI – Longsor merupakan bencana yang mungkin terjadi di berbagai tempat. Salah satu tempat tersebut adalah pertambangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi geologi, struktur geologi, perkembangan alterasi, dan tingkat kestabilan lereng di daerah penelitian. Secara administratif daerah penelitian terletak di wilayah pertambangan PT. Bumi Suksesindo yaitu daerah Tujuh Bukit, Kecamatan Pesanggaran, Kabupaten Banyuwangi, Provinsi Jawa Timur pada koordinat X: 174756 - 175108 Y: 9045072 – 9045554 UTM Zona 50S. Metode yang digunakan dalam penelitian ini berupa analisis ASD, analisis petrografi, analisis kinematika, analisis LEM, dan analisis FEM. Geomorfologi daerah penelitian dibagi menjadi dua bentuk asal yaitu bentuk asal struktural dan bentuk asal antropogenik. Stratigrafi daerah penelitian dibagi menjadi dua satuan batuan dari tua ke muda adalah satuan breksi-vulkanik Batuampar (Miosen Awal) yang selaras dengan satuan tuf Batuampar (Miosen Awal). Struktur geologi daerah penelitian terdiri dari 7 sesar dengan 6 sesar dilakukan pengukuran dan 1 sesar yang diperkirakan. Arah sesar relatif utara – selatan dan barat laut – tenggara. Struktur yang berkembang berupa *Normal Right Slip Fault*. Alterasi yang berkembang pada daerah penelitian berdasarkan analisis ASD dibagi menjadi 5 tipe yaitu tipe masif silika, tipe silika + alunit, tipe silika + kaolinit ± dickit ± alunit, tipe kaolinit ± montmorilonit ± illit, dan tipe klorit ± kaolinit ± montmorilonit. Dari perkembangan tipe alterasi dan mineral *gaunge* disimpulkan bahwa tipe endapan mineral daerah penelitian berupa epitermal sulfidasi tinggi. Dalam analisis kestabilan lereng digunakan 2 material yaitu material *hydrothermal clay altered* yang merupakan material hasil alterasi yang dominan lempung dan material *non hydrothermal clay altered* yang memiliki lempung yang sedikit. Hasil analisis kinematika dari 8 sektor didapatkan 6 sektor yang memiliki potensi longsor dan 2 sektor yang tidak berpotensi longsor. Dari 6 sektor tersebut, 2 sektor berpotensi toppling dan 4 sektor dengan tipe toppling dan baji. Hasil analisis LEM menunjukkan nilai faktor keamanan dari 4 sayatan lereng pada kondisi dinamis mulai dari sayatan A-A' hingga D-D' secara berturut – turut didapatkan faktor keamanan 1,831 , 1,322 , 1,598 , dan 2,483 Sedangkan pada kondisi dinamis didapatkan faktor keamanan 1,831 , 1,322 , 1,598 , dan 2,483. Berdasarkan analisis FEM didapatkan nilai faktor keamanan dari 4 sayatan pada kondisi statis mulai dari sayatan A-A' hingga D-D' secara berturut – turut didapatkan faktor keamanan 2,32 , 1,64 , 2,09 , dan 3,10 sedangkan pada kondisi dinamis didapatkan faktor keamanan 1,53 , 1,08 , 1,37 , dan 2,29. Dari berbagai macam fakta lapangan yang ada, dapat disimpulkan proses penambangan pada daerah penelitian aman sehingga dapat digunakan desain seperti sekarang.

Kata-kata Kunci: Geologi, Alterasi, Struktur Geologi, Kestabilan Lereng, Kinematika, *Limit Equilibrium Method*, *Finite Element Method*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Longsor merupakan salah satu bencana yang sering terjadi di berbagai tempat di Indonesia. Umumnya longsor melanda daerah dengan morfologi yang curam – sangat curam, terutama pada musim penghujan. Longsor mengakibatkan kerusakan baik dalam skala kecil hingga skala besar.

Dalam pertambangan juga diperlukan pencegahan terjadi longsor atau keruntuhan pada *tunnel*. Dalam pencegahan tersebut diperlukan analisis geologi teknik untuk mengetahui tingkat kerawanan longsor dan keruntuhan pada tunnel. Dengan analisis geologi teknik kemungkinan terjadi bencana tersebut dapat diminimalisir.

Kegiatan penelitian tugas akhir ini diharapkan dapat menjadi tempat untuk menerapkan ilmu yang telah di dapat saat di bangku perkuliahan dan praktikum. Kegiatan ini juga bertujuan untuk membentuk mental dan pengalaman untuk menjadi ahli geologi yang profesional.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis merumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana geomorfologi daerah penelitian?
2. Bagaimana stratigrafi pada daerah penelitian?
3. Bagaimana tipe alterasi yang muncul pada daerah penelitian?

4. Bagaimana struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian?
5. Bagaimana tingkat keamanan lereng tambang daerah penelitian?
6. Bagaimana rekomendasi untuk keamanan di daerah penelitian?

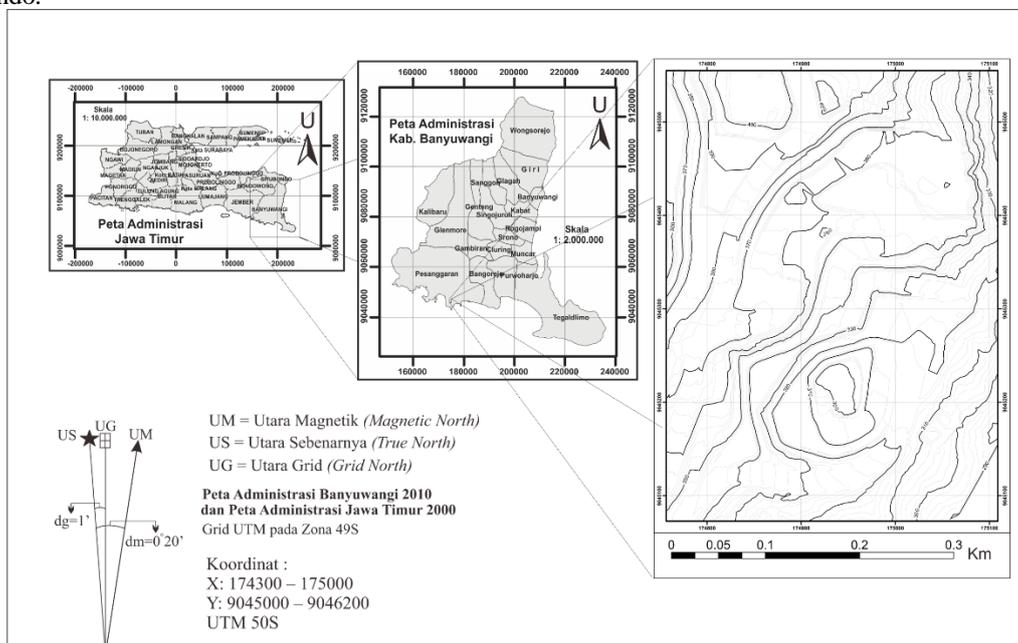
Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian skripsi ini adalah untuk memenuhi kurikulum sebagai syarat kelulusan untuk mendapat gelar kesarjanaan program pendidikan Strata Satu (S1) yang ada di Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, UPN "Veteran" Yogyakarta, tahun ajaran 2019/2020 dengan tujuan:

- Mampu menjelaskan morfologi daerah penelitian.
- Mampu menjelaskan stratigrafi daerah penelitian
- Mampu menjelaskan tipe alterasi yang muncul pada daerah penelitian.
- Mampu mengetahui struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian.
- Mampu mengetahui tingkat keamanan lereng tambang daerah penelitian.
- Mampu mengetahui rekomendasi keamanan daerah penelitian.

Daerah Penelitian

Penelitian ini terletak di PT. Bumi Suksesindo, Tujuh Bukit, Banyuwangi, Jawa timur pada koordinat X: 174756 - 175108 Y: 9045072 – 9045554 UTM Zona 50S. Daerah penelitian ini merupakan Pit B-East PT. Bumi Suksesindo.



Gambar 1. Daerah penelitian yang berada di Pit B – East PT. Bumi Suksesindo.

METODE PENELITIAN

Untuk mencapai tujuan penelitian yang diharapkan, dilakukan 4 tahapan penelitian. Tahapan tersebut yaitu tahapan studi pustaka dan penginderaan jauh, penelitian lapangan, analisis laboratorium, dan pengolahan data.

Penelitian diawal dengan studi pustaka ini bertujuan untuk mengenal daerah penelitian sebelum terjun ke lapangan secara langsung. Studi pustaka ini mengkaji daerah penelitian secara teoritis dan penelitian – penelitian yang telah dilakukan oleh para ahli yang berhubungan dengan kondisi litologi, geologi regional, struktur regional, alterasi, metode geologi teknik dan sebagainya. Penginderaan jauh berguna untuk mengetahui gambaran awal mengenai lapangan seperti medan dan interpretasi penyebaran alterasi.

Penelitian lapangan ini bertujuan untuk pengambilan data lapangan seperti data litologi, struktur, alterasi, dan sebagainya. Penelitian lapangan ini mengkaji daerah penelitian secara praktis dan pembuktian studi pustaka yang telah dipelajari sebelumnya.

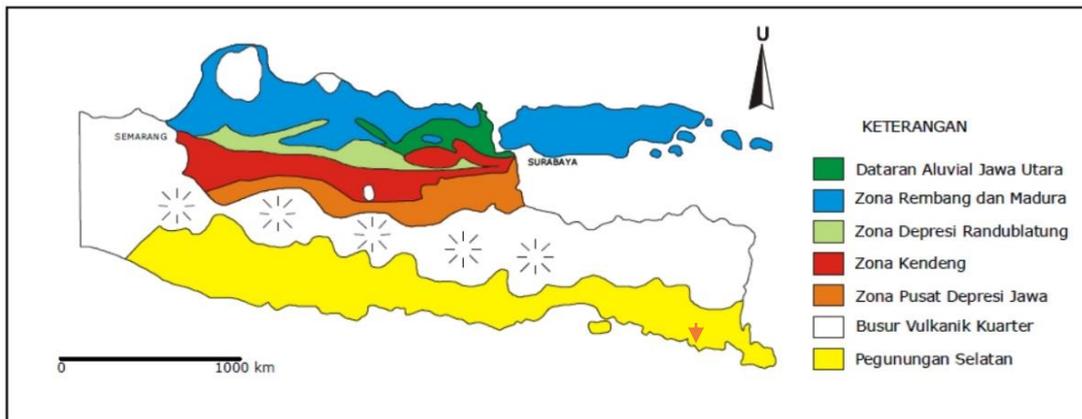
Analisis laboratorium merupakan tahap setelah penelitian lapangan. Sampel dan data lapangan yang telah didapat akan dianalisis untuk mendapatkan data yang lebih valid dan lebih detail. Setelah data didapat kemudian dilakukan pengolahan data.

Tahap pengolahan data dilakukan setelah tahap analisis laboratorium. Pada tahap ini semua data dikumpulkan menjadi suatu *database*. Dari *database* tersebut kemudian diolah dan dianalisis untuk mendapatkan data yang

valid. Dari data – data tersebut kemudian dilakukan interpretasi dan penarikan kesimpulan. Hasil dari pengolahan data ini adalah Peta Lintasan, Peta Geologi, Peta Alterasi, Peta Kinematika, dan faktor keamanan.

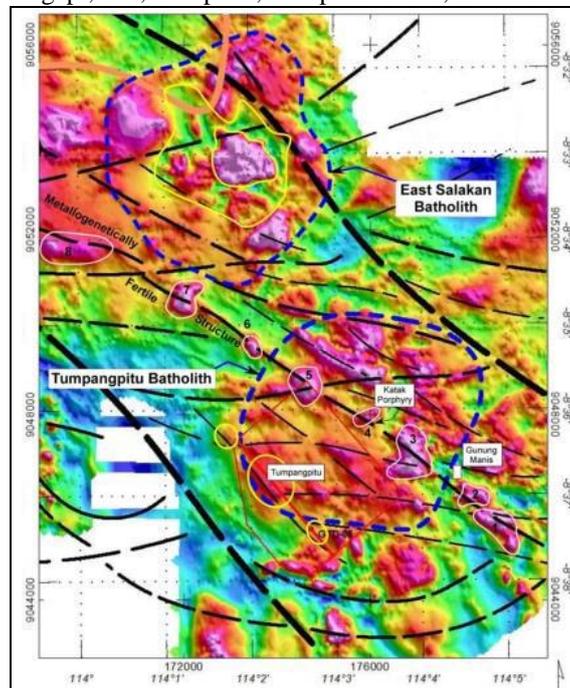
GEOLOGI REGIONAL

Daerah penelitian secara administratif terletak di Kecamatan Pesanggaran, Kabupaten Banyuwangi, Provinsi Jawa Timur. Daerah ini merupakan konsensi penambangan PT. Bumi Suksesindo. Secara geografis terletak pada sistem koordinat UTM pada zona 50 southern hemisphere. Mengacu kepada Van Bemmelen (1949) daerah penelitian termasuk dalam Zona Pegunungan Selatan dimana daerah ini terdapat banyak bukit.



Gambar 2. Peta Fisiografi Jawa Timur (Van Bemmelen, 1949). Daerah penelitian ditunjukkan oleh anak panah.

Penentuan stratigrafi regional didasarkan pada Achdan dan Bachri (1993) pada Peta Geologi Lembar Blambangan, Jawa Timur. Urutan stratigrafi dari tua ke muda adalah Formasi Batuampar, Batuan Intrusif, Formasi Jatén, Formasi Wuni, Formasi Punung, dan Formasi Kalibaru. Daerah penelitian terletak pada Formasi Batuampar. Pada Formasi ini terjadi berbagai macam alterasi. Penulis telah membuktikan terdapat Tuf dan Breksi Vulkanik yang teralterasi. Mengacu kepada Achdan dan Bachri (1993) litologi yang menyusun Formasi Batuampar adalah Breksi Gunungapi, Tuf, Batupasir, Batupasir Tufan, Lava Andesit, dan sisipan Batugamping.



Gambar 3. Struktur regional Tumpangpitu (Hellman ,2011) yang menunjukkan 2 sesar mayor berarah barat laut – tenggara dan diantaranya terdapat sesar sesar.

Terlihat pada peta pola struktur pada daerah Tumpangpitu, terdapat 2 sesar mayor dengan arah barat laut – tenggara. 2 sesar mayor ini adalah pengontrol utama terbentuknya sesar sesar minor pada daerah Tumpangpitu. Sesar – sesar inilah yang nantinya akan menjadi tempat mineralisasi pada Pit B-East

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan klasifikasi oleh Van Zuidam tahun 1983, mengacu pada empat aspek geomorfologi yaitu aspek morfografi, aspek morfologi, aspek morfometri, dan aspek morfogenesis daerah penelitian dibagi menjadi 2 satuan bentuk asal. Satuan bentuk asal yang terdapat pada daerah penelitian yaitu satuan bentuk asal struktural dan satuan bentuk asal antropogenik. Satuan bentuk asal struktural dibagi menjadi 1 bentuk lahan yaitu bentuk lahan perbukitan struktural. Satuan bentuk asal antropogenik dibagi menjadi 4 bentuk lahan yaitu satuan bentuk lahan bukaan tambang, satuan bentuk lahan pit, satuan bentuk lahan *hauling road*, dan satuan bentuk lahan *sump*.

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, stratigrafi daerah penelitian dapat disusun dari tua ke muda adalah satuan breksi vulkanik Batuampar kemudian satuan tuf Batuampar. Dikarenakan terbatasnya kandungan fosil dalam batuan di daerah penelitian, maka dalam penentuan umur satuan batuan yang ada di lapangan penulis mengacu pada penelitian terdahulu yaitu Achdan dan bachri (1993). Disisi lain, penentuan posisi stratigrafi batuan, peneliti melakukan pengamatan dari data lapangan.

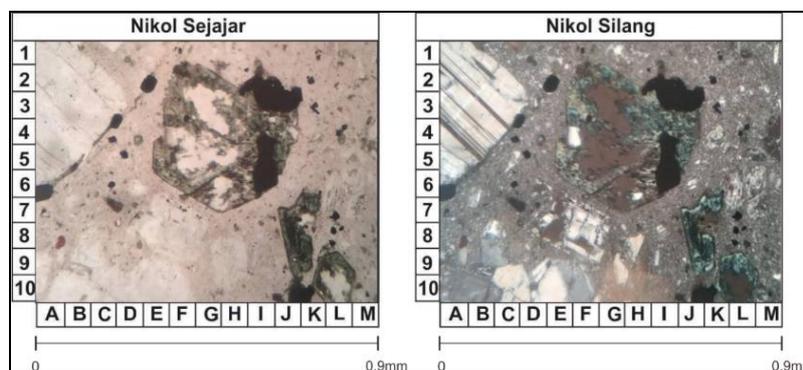
1. Satuan breksi-vulkanik Batuampar

Satuan breksi-vulkanik Batuampar menempati 72% dari luasan daerah penelitian. Umur dari satuan breksi vulkanik Batuampar berdasarkan penelitian terdahulu Achdan dan Bachri (1993) adalah Miosen awal. Satuan ini tersusun atas breksi polimik dengan fragmen batuan vulkanik andesit dan tuf. Di beberapa tempat satuan ini juga ditemukan fragmen karbon dalam jumlah yang sedikit. Satuan batuan ini memiliki ukuran butir fragmen 0,5 – 70cm, derajat pembundaran menyudut, terpilah buruk dengan kemas didukung butiran. Alterasi yang berkembang pada batuan ini cukup kompleks mulai dari tipe alterasi masif silika hingga klorit±kaolinit±montmorilonit.



Gambar 4. A. Foto singkapan breksi vulkanik teralterasi silika + kaolinit ± dickit ± alunit pada LP 81 (azimuth foto N277°E) B. Foto litologi breksi vulkanik (azimuth foto N245°E)

Dalam penelitian ini dilakukan analisis petrografi untuk mengetahui jenis fragmen batuan beku yang ada dalam breksi vulkanik. Analisis petrografi ini dilakukan pada LP 51. Hasil analisis berupa sayatan tipis fragmen breksi vulkanik berupa batuan beku vulkanik yang teralterasi propilitik dengan warna netral hingga kehijauan. Memiliki tekstur derajat kristalinitas hipokristalin, derajat granularitas afanitik - fanerik sedang (<3mm), bentuk kristal subhedral, dan relasi inequigranular vitroverik. Batuan ini disusun oleh mineral hornblende (8%), klorit, plagioklas (21%), mineral opak (11%), kuarsa (8%), K-feldspar (4%), mineral lempung (17%) dan massa dasar gelas (19%). Hasil analisis plagioklas menunjukkan labradorit – andesin.



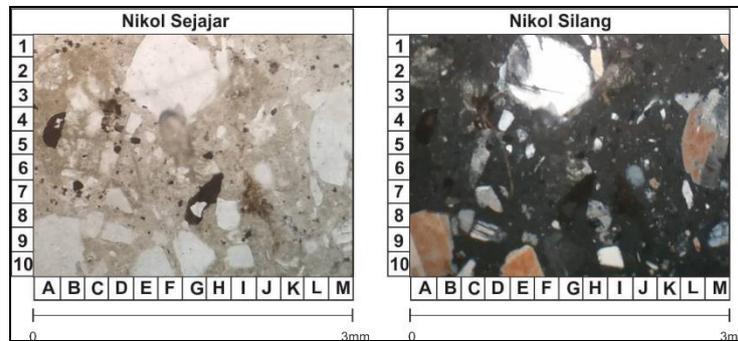
Gambar 5. Hasil analisis petrografi LP 51 berupa andesit teralterasi klorit ± kaolinit ± montmorilonit

2. Satuan tuf Batuampar

Satuan tuf Batuampar menempati 28% dari luasan daerah penelitian. Satuan ini tersusun dari tuf halus dan kasar. Satuan batuan ini memiliki ukuran butir <2mm dengan kemas tertutup. Komposisi terdiri mineral kuarsa, k – feldspar, plagioklas, mineral lempung, mineral opak, dan massa dasar gelas dengan semen silika. Alterasi pada satuan ini mulai dari silika + alunit hingga kaolinit ± montmorilonit ± illit. Hasil analisis petrografi didapatkan nama *vitric tuff*.

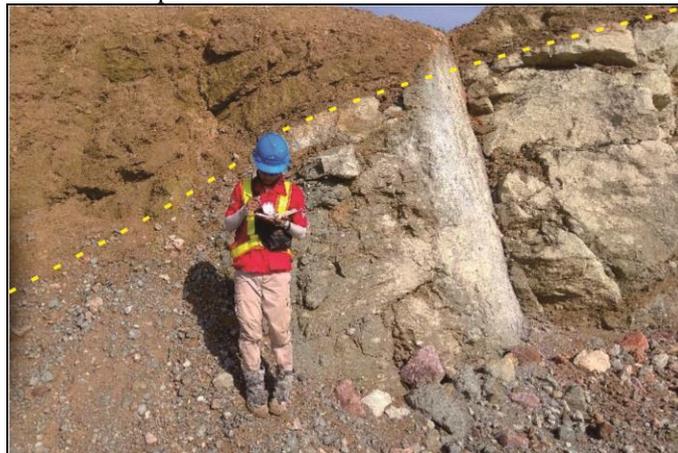


Gambar 6. A. Foto singkapan tuf teralterasi silika + alunit pada LP 85 (Azimuth foto: N112°E). B. Foto litologi tuf teralterasi silika + alunit pada LP 85 (Azimuth foto: N112°E)

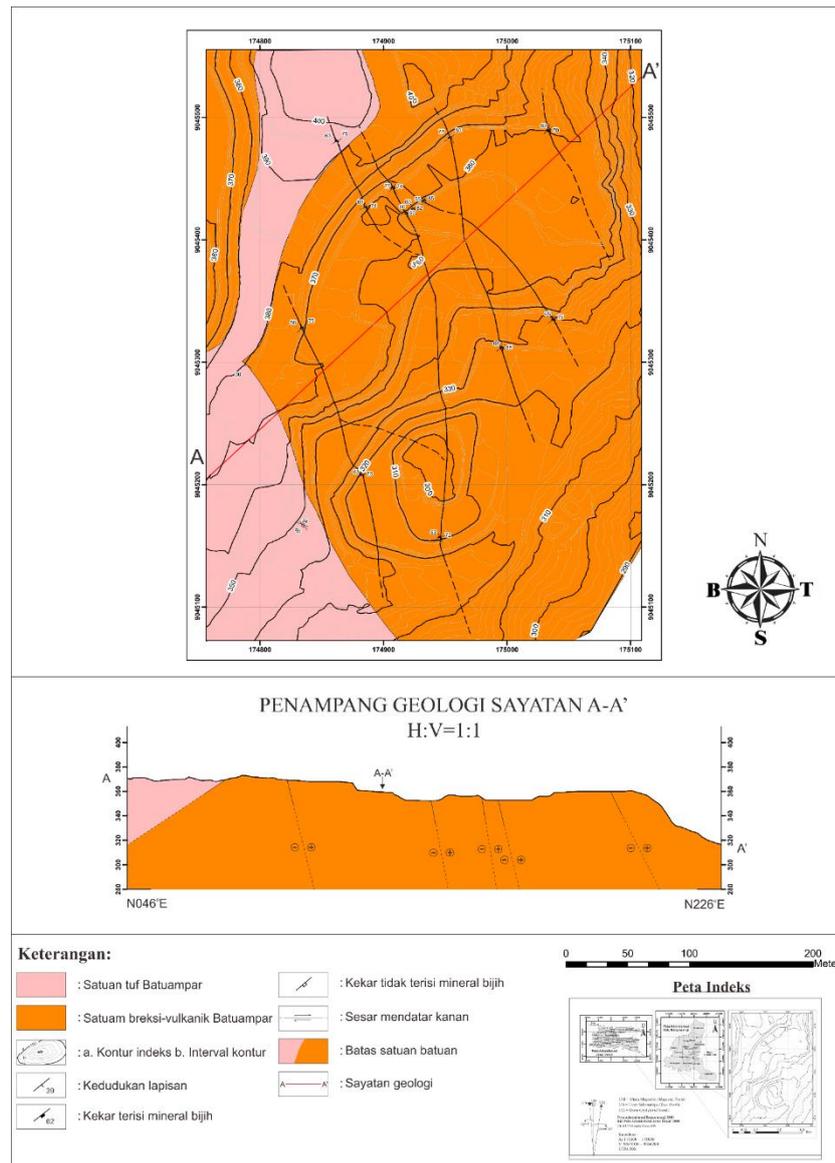


Gambar 7. Hasil analisis petrografi LP 77 berupa tuf teralterasi kaolinit ± montmorilonit ± illit

Hubungan stratigrafi antara satuan batuan tuf Batuampar dengan satuan breksi vulkanik Batuampar adalah selaras. Pada LP 88 ditemukan sebuah kontak dengan kedudukan N130°E/36° dimana tuf Batuampar berada di atas breksi vulkanik Batuampar. Umur dari satuan tuf Batuampar berdasarkan penelitian terdahulu Achdan dan Bachri (1993) adalah Miosen awal. Secara hukum superposisi, umur satuan batuan ini lebih muda dibanding dengan satuan breksi vulkanik Batuampar.



Gambar 8. Foto singkapan LP 88 berupa kontak breksi vulkanik dengan tuf dengan kedudukan N130°E/36° (azimuth foto N314°E)



Gambar 9. Peta geologi daerah penelitian

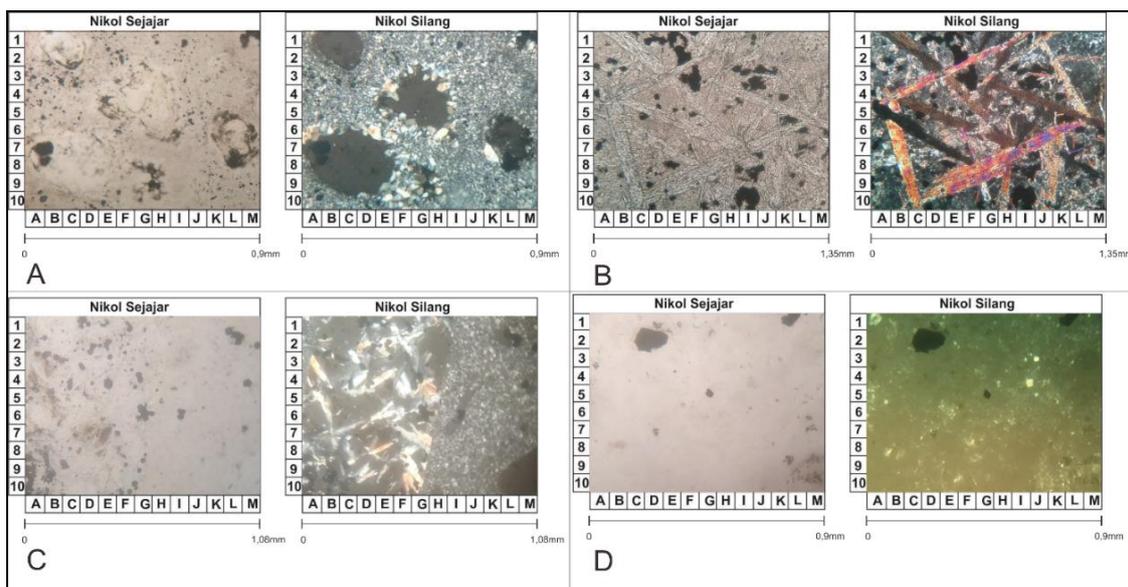
Struktur yang berkembang pada pit B – East berupa sesar – sesar. Sesar – sesar tersebut yang mengontrol proses alterasi dan mineralisasi pada daerah penelitian sebagai *channel way*. Parameter pengukuran data sesar di lapangan adalah shear fracture, gash fracture, dan breksiasi. Kekar – kekar tersebut juga mengontrol kestabilan lereng di pit B-east yang dalam penelitian ini dianalisis menggunakan metode kinematika.

1. Sesar B East (BEF) 001 merupakan sesar oblique mendatar kanan dengan arah umum relatif barat laut - tenggara. Sesar BEF 001 ditentukan dari pengamatan di LP 02. Parameter yang digunakan dalam mengukur sesar ini adalah shear fracture, gash fracture, dan breksiasi. Sesar ini berupa *Normal Right Slip Fault*.
2. Sesar B East (BEF) 002 merupakan sesar oblique mendatar kanan dengan arah umum relatif utara - selatan. Sesar BEF 002 ditentukan dari pengamatan di LP 9 dan LP 53. Parameter yang digunakan dalam mengukur sesar ini adalah shear fracture, gash fracture, dan breksiasi. Sesar ini berupa *Normal Right Slip Fault*.
3. Sesar B East (BEF) 003 merupakan sesar oblique mendatar kanan dengan arah umum relatif barat laut - tenggara. Sesar BEF 003 ditentukan dari pengamatan di LP 49 dan LP 87. Parameter yang digunakan dalam mengukur sesar ini adalah shear fracture, gash fracture, dan breksiasi. Sesar ini berupa *Normal Right Slip Fault*.
4. Sesar B East (BEF) 004 merupakan sesar oblique mendatar kanan dengan arah umum relatif utara - selatan. Sesar BEF 004 ditentukan dari pengamatan di LP 85, LP 14, LP 47, dan LP 72. Parameter yang digunakan dalam mengukur sesar ini adalah shear fracture, gash fracture, dan breksiasi. Sesar ini berupa *Normal Right Slip Fault*.

5. Sesar B East (BEF) 005 merupakan sesar oblique mendatar kanan dengan arah umum relatif barat laut - tenggara. Sesar BEF 005 ditentukan dari pengamatan di LP 18. Parameter yang digunakan dalam mengukur sesar ini adalah shear fracture, gash fracture, dan breksiasi. Sesar ini berupa *Normal Right Slip Fault*.
6. Sesar B East (BEF) 006 merupakan sesar oblique mendatar kanan dengan arah umum relatif barat utara – selatan. Sesar BEF 006 ditentukan dari pengamatan di LP 21 dan LP 86. Parameter yang digunakan dalam mengukur sesar ini adalah shear fracture, gash fracture, dan breksiasi. Sesar ini berupa *Normal Right Slip Fault*.

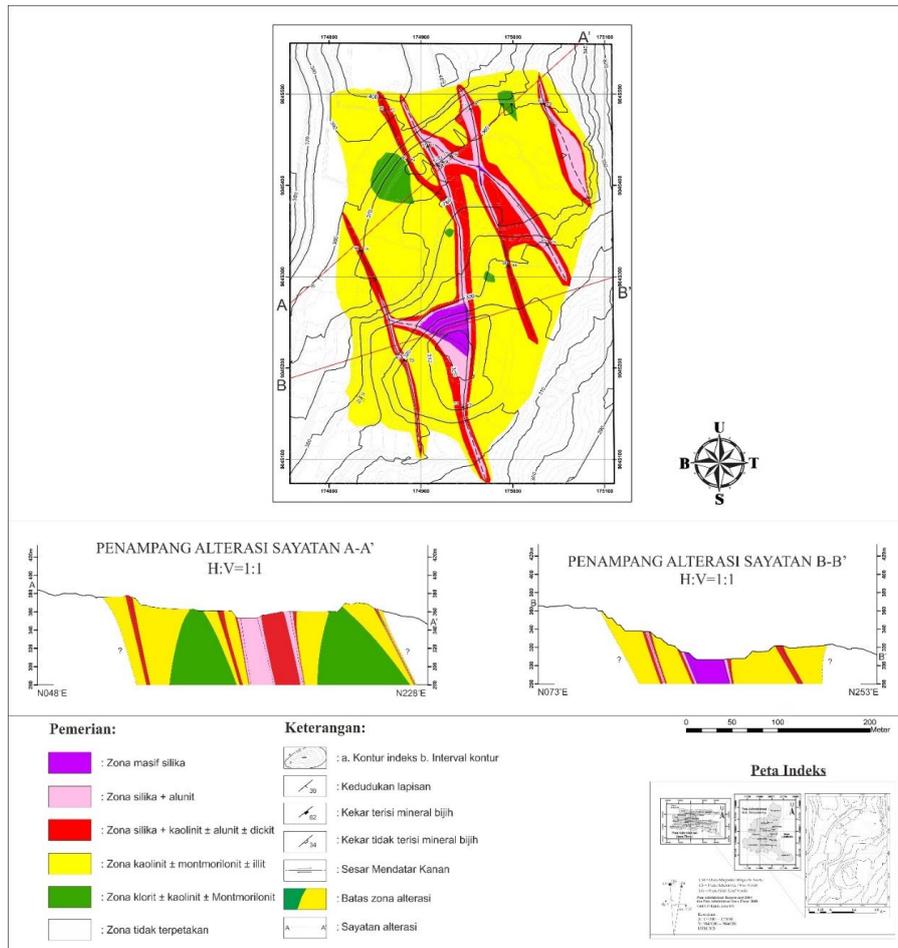
Zona alterasi pada daerah penelitian diawali dengan tipe masif silika, kemudian tipe silika + alunit, kemudian tipe silika +kaolinit ± dickit ± alunit, kemudian tipe kaolinit ± montmorilonit ± illit, yang terakhir adalah tipe klorit ± kaolinit ± montmorilonit. Penentuan jenis alterasi didasarkan pada hasil analisis ASD dan pengamatan lapangan. Hasil pengamatan tersebut dapat dijabarkan menjadi beberapa subbab sebagai berikut:

1. Tipe masif silika ditandai dengan himpunan mineral silika (SiO₂), berupa kuarsa. Penyebaran alterasi ini menepati area 4% dari luas daerah penelitian. Alterasi ini hanya dijumpai di beberapa titik pada daerah penelitian. Alterasi ini terbentuk pada fase fluida asam sehingga terjadi pelindihan (Leaching) sehingga terbentuk tekstur vuggy. (Gambar 10 A)
2. Tipe alterasi silika + alunit ditandai dengan kehadiran himpunan mineral silika dan alunit berdasarkan hasil analisis ASD. Penyebaran alterasi ini menepati 12% dari luasan daerah penelitian. Pada daerah penelitian, alterasi ini ditemukan pada breksi vulkanik dan tuf. Pada alterasi ini masih terdapat tekstur *vuggy*. (Gambar 10 B)
3. Tipe alterasi silika + kaolinit ± dickit ± alunit ditandai dengan kehadiran mineral silika dan kaolinit, terkadang dijumpai dickit dan alunit berdasarkan hasil analisis ASD. Penyebaran alterasi ini menepati 18% dari luasan daerah penelitian. Alterasi ini ditemukan pada litologi breksi vulkanik dan tuf. Pada alterasi ini masih ditemukan tekstur *vuggy* dalam jumlah sedikit. (Gambar 10 C)
4. Tipe alterasi kaolinit ± montmorilonit ± illit ditandai dengan kehadiran mineral kaolinit dan terkadang dijumpai montmorilonit atau illit. Alterasi ini secara megaskopis berwarna putih kehijauan. Warna hijau pada alterasi ini bukan diakibatkan oleh kehadiran klorit melainkan dari mineral montmorilonit dan illit. Untuk membedakan mineral penyusunnya digunakan analisis ASD. Alterasi ini menempati 46% dari luasan daerah penelitian. Alterasi ini cukup menurunkan faktor keamanan dikarenakan alterasi lempungnya yang dominan. Hal ini menyebabkan perlunya kewaspadaan jika berada disekitar alterasi ini. Apabila turun hujan dapat menyebabkan mengembangnya lempung montmorilonit dan illit sehingga becek dan dapat menjebak kaki maupun kendaraan. (Gambar 10 D)
5. Tipe alterasi klorit ± kaolinit ± montmorilonit ditandai dengan kehadiran mineral klorit. Secara megaskopis alterasi ini berwarna abu – abu kehijauan. Warna tersebut juga dikarenakan oleh klorit dan montmorilonit. Hasil analisis ASD menunjukkan kehadiran klorit dan terkadang disertai mineral kaolinit atau montmorilonit. Alterasi ini cukup menurunkan kestabilan lereng. Penurunan kestabilan lereng tersebut dikarenakan alterasi lempung yang dominan. Mineral lempung klorit dan montmorilonit juga perlu diwaspadai ketika musim hujan dikarenakan sifat lempungnya yang ekspansif. (Gambar 5)



Gambar 10. A. Hasil analisis petrografi LP 43 berupa breksi vulkanik teralterasi masif silika. B. Hasil analisis petrografi LP 13 (ASD 41) berupa breksi vulkanik teralterasi silika + alunit. C. Hasil analisis petrografi ASD 50

berupa breksi vulkanik teralterasi silika + kaolinit ± dickit ± alunit. D. Hasil analisis petrografi ASD 45 berupa breksi vulkanik teralterasi kaolinit ± montmorilonit ± illit



Gambar 11. Peta zona alterasi daerah penelitian. Berdasarkan zona alterasi didapatkan tipe endapan mineral berupa epitermal sulfidasi tinggi.

Bahasan mengenai endapan mineral pada daerah penelitian hanya sebatas untuk mengetahui jenis tipe endapan yang terbentuk pada daerah penelitian. Penentuan tipe endapan mineral ditentukan berdasarkan batuan penyusun, struktur geologi, perkembangan alterasi, dan kehadiran mineral bijih. Lokasi penelitian termasuk tipe endapan mineral epitermal sulfidasi tinggi yang didasarkan pada:

- Memiliki zona alterasi dari zona bagian tengah hingga ke zona yang tidak teralterasi secara berurutan zona silisik, zona argilik lanjut, zona argilik, dan zona propilitik.
- Bentuk endapan berupa endapan diseminasi, tekstur replacement vuggy banyak ditemukan pada ore dan terdapat gangue mineral berupa kuarsa dan alunite.
- Logam utama yang dihasilkan berupa Au-Ag, Cu.

Sejarah geologi daerah penelitian didasarkan pada fakta lapangan dan studi dari beberapa literatur, sejarah geologi daerah penelitian adalah sebagai berikut:

- Pada 45 juta tahun lalu Australia mulai bergerak ke utara (Hall dkk., 2009). Akibat dari pergerakan tersebut terjadilah subduksi pada selatan pulau Jawa.
- Pada Miosen Awal, terjadi erupsi eksplosif dengan material yang besar – besar. Tuff dan andesit yang berada di dekat daerah letusan juga ikut menjadi material sehingga terbentuklah breksi vulkanik dengan fragmen polimik andesit dan tuf.
- Masih dalam kala yang sama, terjadi erupsi eksplosif dengan material yang halus berupa debu. Material tersebut terendapkan dan terbentuklah batuan tuf yang selaras dengan breksi vulkanik.
- Pada Miosen Tengah, daerah penelitian dipotong oleh sesar mendatar dengan arah Barat Laut - Tenggara dan Timur Laut – Barat Daya (orde 1). Lalu disusul dengan terjadinya sesar mendatar dengan arah relatif Utara - Selatan (orde 2) (Moody dan Hill, 1956).

- Setelah terbentuk sesar – sesar sebagai jalur fluida hidrothermal, fluida hidrothermal bergerak melalui jalur tersebut dan mengubah batuan sekitar. Ubahan batuan tersebut membentuk suatu pola yang mencirikan endapan epitermal sulfidasi tinggi.

KESTABILAN LERENG DAERAH PENELITIAN

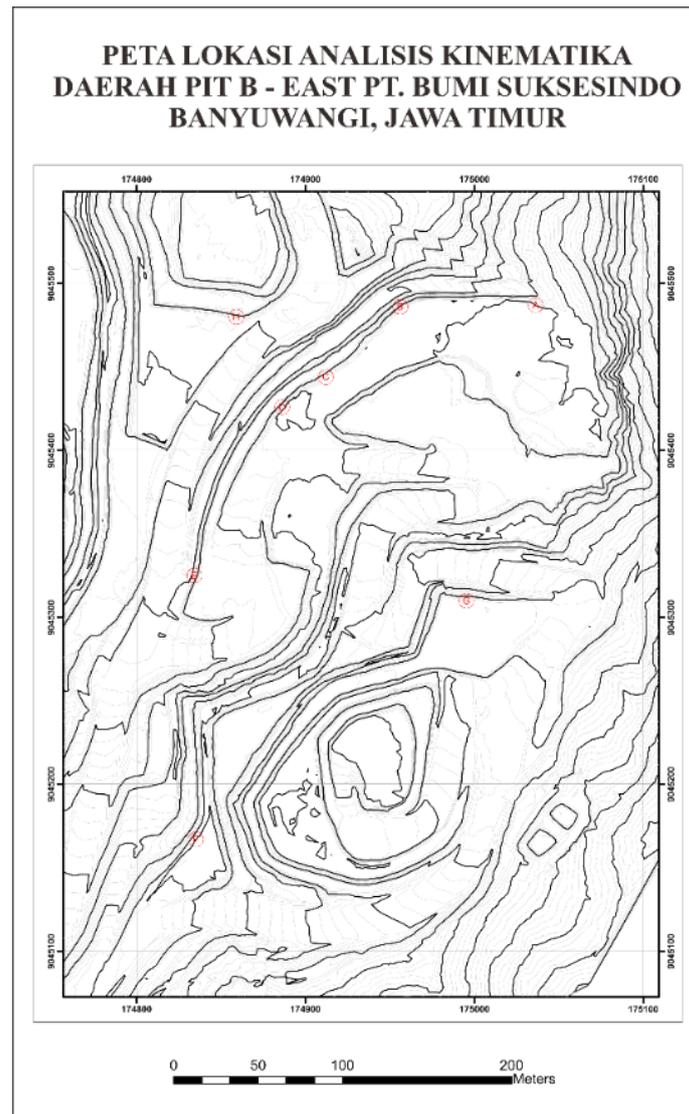
Properti batuan didapatkan dari PT. Bumi Suksesindo. Properti yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi dua yaitu Non Hydrothermal Clay Altered dan Hydrothermal Clay Altered. Non Hydrothermal Clay Altered merupakan material yang mengalami sedikit alterasi yang menghasilkan lempung. Material ini memiliki sifat yang jauh lebih keras daripada Hydrothermal Clay Altered. Properti batuan pada penelitian dapat dilihat di tabel dibawah ini. (Tabel 1)

Tabel 1. Properti batuan yang digunakan untuk analisis kestabilan lereng

Nama Material	Berat Jenis (kN/m^3)	Modulus Young (Mpa)	Kriteria Runtuh	UCS	m	s	a	Tensile Strength (Mpa)	Sudut geser dalam
				(kN/m^3)					
Non Hydrothermal Clay Altered	27	10400	Gen. Hoek & Brown	32000	1.432582	0.00127263	0.502841	0.06	50°
Hydrothermal Clay Altered	21	2400	Gen. Hoek & Brown	8000	0.746624	0.000533404	0.506582	0.01	30°

Untuk analisis keseimbangan batas memerlukan data berupa poisson ratio. Penelitian ini melakukan pendekatan poisson ratio berdasarkan literatur *Poisson's ratio values for rocks* (Gercek, 2007). Dikarenakan batuan dalam daerah penelitian berupa breksi vulkanik yang mengandung dominasi fragmen tuf maka nilai pendekatan *poisson ratio* bernilai 0,2.

Analisis kinematika merupakan suatu proyeksi bidang diskontinuitas pada stereonet. Analisis kinematika bertujuan untuk mengetahui tipe longsor yang akan terjadi. Tipe longsor tersebut berdasarkan orientasi dari bidang diskontinuitas pada daerah penelitian.



Gambar 12. Lokasi analisis kinematika

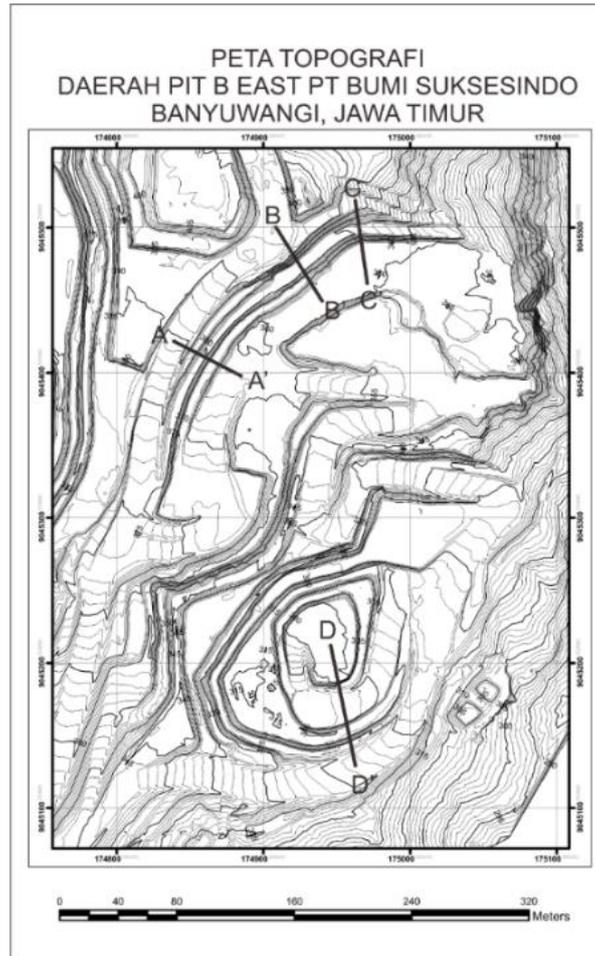
Analisis kinematika dilakukan pada 8 sektor yang tersebar pada Pit B-East. 8 sektor ini diukur pada batuan yang terdapat bidang diskontinuitasnya. Sektor yang dianalisis terdapat pada 7 sektor material *Non Hydrothermal Clay Altered* dengan nilai sudut geser dalam 50° dan 1 sektor pada material *Hydrothermal Clay Altered* dengan nilai sudut geser dalam 30° .

1. Sektor A berada pada bagian timur laut peta. Lereng ini menghadap ke arah selatan. Material pada sektor ini berupa *non hydrothermal clay altered*. Sektor A didapatkan nilai *slope aspect* $N090^\circ E/75^\circ$ dengan arah umum kekar $N005^\circ E/70^\circ (J1)$, $N137^\circ E/70^\circ (J2)$, $N187^\circ E/61^\circ (J3)$, $N230^\circ E/82^\circ (J4)$, $N264^\circ E/80^\circ (J5)$, $N353^\circ E/87^\circ (J6)$, dan sesar dengan kedudukan $N351^\circ E/65^\circ (F1)$. Potensi longsor yang mungkin terjadi adalah potensi baji yang dikontrol oleh J1 dan J2 dengan perkiraan arah longsoran $N152^\circ E$, J2 dan J6 dengan perkiraan arah longsoran $N165^\circ E$, serta potensi toppling yang dikontrol oleh J5 dengan perkiraan arah longsoran $N174^\circ E$.
2. Sektor B berada pada bagian utara peta. Lereng ini menghadap ke arah selatan. Material pada sektor ini berupa *non hydrothermal clay altered*. Sektor B didapatkan nilai *slope aspect* $N059^\circ E/75^\circ$ dengan arah umum kekar $N328^\circ E/80^\circ (J1)$, $N035^\circ E/78^\circ (J2)$, $N142^\circ E/67^\circ (J3)$, $N147^\circ E/88^\circ (J4)$, $N255^\circ E/24^\circ (J5)$, $N236^\circ E/50^\circ (J6)$, $N234^\circ E/77^\circ (J7)$, dan sesar dengan kedudukan $N335^\circ E/82^\circ (F1)$. Potensi longsor yang mungkin terjadi adalah potensi baji yang dikontrol oleh J2 dan J3 dengan perkiraan arah longsoran $N282^\circ E$ serta potensi toppling yang dikontrol oleh J5 dengan perkiraan arah longsoran $N164^\circ E$, J6 dengan perkiraan arah longsoran $N145^\circ E$, dan J7 dengan perkiraan arah longsoran $N143^\circ E$.
3. Sektor C berada pada bagian utara pit. Lereng ini menghadap ke tenggara. Material pada sektor ini berupa *non hydrothermal clay altered*. Sektor C didapatkan nilai *slope aspect* $N054^\circ E/75^\circ$ dengan arah umum kekar $N326^\circ E/79^\circ (J1)$, $N001^\circ E/84^\circ (J2)$, $N121^\circ E/80^\circ (J3)$, $N237^\circ E/22^\circ (J4)$, $N221^\circ E/41^\circ (J5)$, $N243^\circ E/51^\circ (J6)$,

N259°E/44°(J7), N284°E/44°(J8), serta sesar dengan kedudukan N340°E/76°(F1) dan N312°E/79°(F2). Potensi longsor yang mungkin terjadi adalah potensi baji yang dikontrol oleh J1 dan J3 dengan perkiraan arah longsor N136°E serta J2 dan J3 dengan perkiraan arah longsor N160°E. Potensi toppling juga muncul yang dikontrol oleh J4 dengan perkiraan arah longsor N146°E, J5 dengan perkiraan arah longsor N131°E, J6 dengan perkiraan arah longsor N152°E, dan J7 dengan perkiraan arah longsor N169°E.

4. Sektor D berada pada bagian utara pit. Lereng ini menghadap ke tenggara. Material pada sektor ini berupa *non hydrothermal clay altered*. Sektor D didapatkan nilai *slope aspect* N055°E/75° dengan arah umum kekar N339°E/73°(J1), N309°E/76°(J2), N242°E/42°(J3), N248°E/80°(J4), dan sesar dengan kedudukan N335°E/71°(F1). Potensi longsor yang mungkin terjadi adalah potensi toppling yang dikontrol oleh J3 dengan perkiraan arah longsor N151°E dan J4 dengan perkiraan arah longsor N157°E.
5. Sektor E berada pada bagian barat peta. Lereng ini menghadap ke timur. Material pada sektor ini berupa *non hydrothermal clay altered*. Sektor E didapatkan nilai *slope aspect* N015°E/75° dengan arah umum kekar N326°E/79°(J1) dan N001°E/84°(J2) serta sesar dengan kedudukan N340°E/76°(F1). Potensi longsor yang mungkin terjadi adalah potensi toppling yang dikontrol oleh J2 dengan perkiraan arah longsor N137°E.
6. Sektor F berada pada bagian barat daya peta. Lereng ini menghadap ke tenggara. Material pada sektor ini berupa *hydrothermal clay altered*. Sektor F didapatkan nilai *slope aspect* N035°E/75° dengan arah umum kekar N297°E/87°(J1), N290°E/36°(J2), N318°E/26°(J3), N134°E/41°(J4), dan N139°E/61°(J5). Pada sektor ini tidak ditemukan potensi longsor.
7. Sektor G berada pada bagian timur peta. Lereng ini menghadap ke selatan. Material pada sektor ini berupa *non hydrothermal clay altered*. Sektor G didapatkan nilai *slope aspect* N093°E/75° dengan arah umum kekar N350°E/72°(J1), N352°E/54°(J2), N035°E/60°(J3), N237°E/69°(J4), N269°E/71°(J5), N315°E/51°(J6), N328°E/83°(J7), dan sesar dengan kedudukan N342°E/61°(F1). Potensi longsor yang mungkin terjadi adalah potensi baji yang dikontrol oleh J1 dengan J3, J1 dengan J7, dan J3 dengan J3 ketiganya menunjukkan perkiraan arah longsor N135°E serta potensi toppling yang dikontrol oleh J5 dengan perkiraan arah longsor N179°E.
8. Sektor H berada pada bagian barat daya peta. Lereng ini menghadap ke tenggara. Material pada sektor ini berupa *non hydrothermal clay altered*. Sektor H didapatkan nilai *slope aspect* N100°E/75° dengan arah umum kekar N345°E/79°(J1), N010°E/15°(J2), N241°E/63°(J3), dan sesar dengan kedudukan N337°E/78°(F1). Pada sektor ini tidak ditemukan potensi longsor.

Analisis LEM dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai *global minimum safety factor*. Nilai tersebut digunakan untuk memperkirakan tingkat kestabilan lereng. Analisis ini membutuhkan properti material berupa berat jenis, UCS, nilai *m*, nilai *s*, dan nilai *a*. Dalam penelitian ini dilakukan analisis pada 4 sayatan.



Gambar 13. Peta Pit B-east dan sayatan lereng untuk analisis LEM dan FEM

Penelitian ini mengacu standar kriteria keamanan Bowles (1979). Kriteria keamanan ini menjelaskan berapa nilai minimal dari faktor keamanan pada berbagai kondisi. Kondisi tersebut terdiri dari faktor skala lereng, konsekuensi keruntuhan, dan nilai faktor keamanan.

Tabel 2. *Acceptable Criteria* (Bowles, 1979)

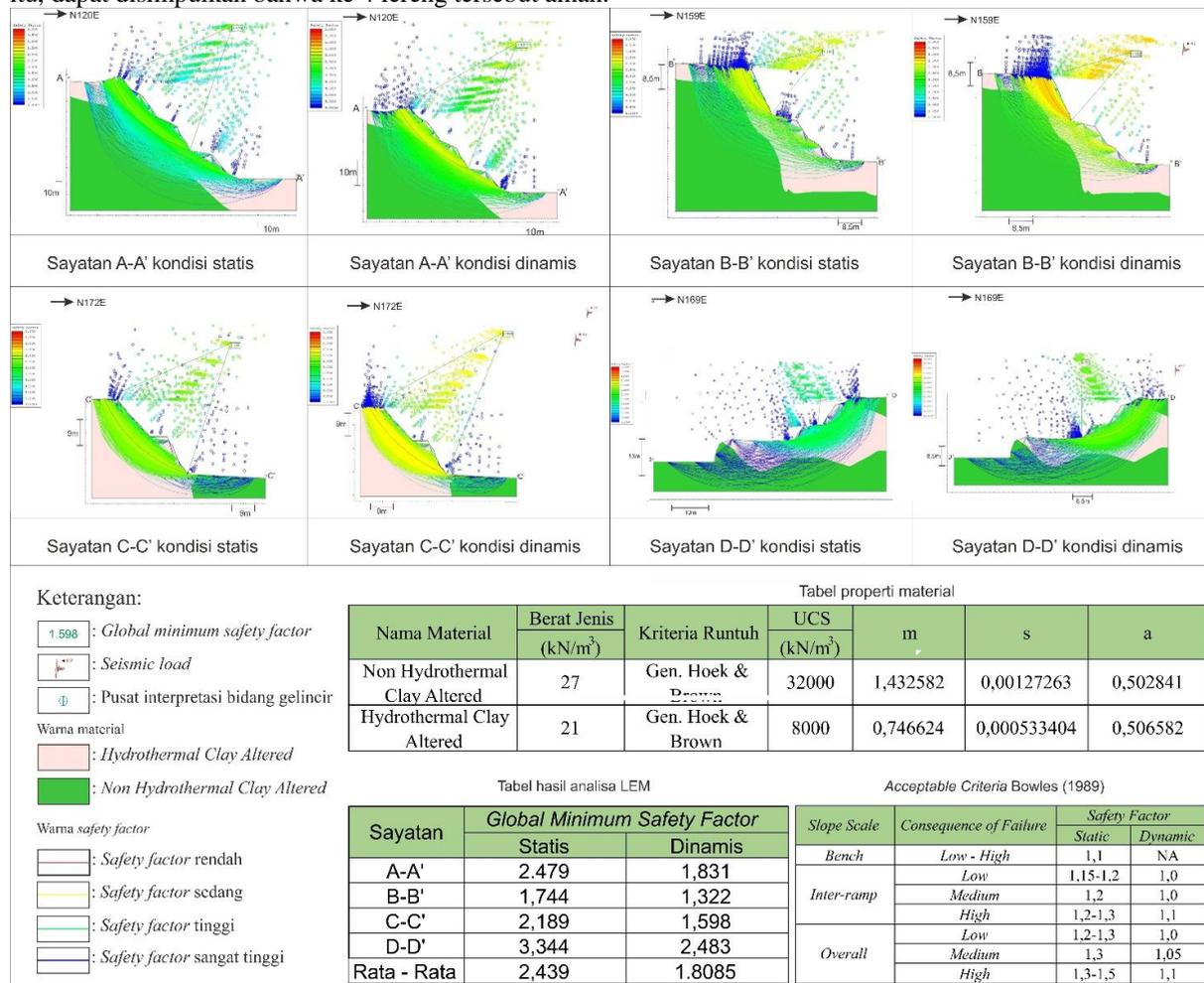
<i>Slope Scale</i>	<i>Consequence of Failure</i>	<i>Safety Factor</i>	
		<i>Static</i>	<i>Dynamic</i>
<i>Bench</i>	<i>Low - High</i>	1,1	NA
<i>Inter-ramp</i>	<i>Low</i>	1,15-1,2	1,0
	<i>Medium</i>	1,2	1,0
	<i>High</i>	1,2-1,3	1,1
<i>Overall</i>	<i>Low</i>	1,2-1,3	1,0
	<i>Medium</i>	1,3	1,05
	<i>High</i>	1,3-1,5	1,1

Hasil dari analisis LEM dari 4 sayatan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Sayatan A-A' memotong pit dengan arah timur – barat daya dengan azimuth N120°E pada dinding pit bagian barat daya. Lereng ini menghadap ke arah barat daya. Lereng ini terdiri dari 3 jenjang, dengan tinggi masing – masing jenjang sekitar 7-8,5m. Besar sudut jenjang pada lereng ini berkisar 49 ° -63° dengan material penyusun *non hydrothermal clay altered* dan *hydrothermal clay altered*. Hasil analisis LEM didapatkan nilai *global minimum safety factor* atau nilai faktor keamanan 2,479 dalam kondisi statis dan 1,831 pada kondisi dinamis.

2. Sayatan B-B' memotong pit dengan arah timur laut – barat daya dengan azimuth N159°E pada dinding pit bagian utara. Lereng ini menghadap ke arah barat daya. Lereng ini terdiri dari 3 jenjang, dengan tinggi masing – masing jenjang sekitar 7-15m. Besar sudut jenjang pada lereng ini berkisar 47 ° -63° dengan material penyusun *non hydrothermal clay altered* dan *hydrothermal clay altered*. Hasil analisis LEM didapatkan nilai *global minimum safety factor* atau nilai faktor keamanan 1,744 dalam kondisi statis dan 1,322 pada kondisi dinamis.
3. Sayatan C-C' memotong pit dengan arah utara – selatan dengan azimuth N172°E pada dinding pit bagian utara. Lereng ini menghadap ke arah selatan. Lereng ini terdiri dari 2 jenjang, dengan tinggi masing – masing jenjang sekitar 13m. Besar sudut jenjang pada lereng ini berkisar 48 ° - 62° dengan material penyusun *non hydrothermal clay altered* dan *hydrothermal clay altered*. Hasil analisis LEM didapatkan nilai *global minimum safety factor* atau nilai faktor keamanan 2,189 dalam kondisi statis dan 1,598 pada kondisi dinamis.
4. Sayatan D-D' memotong pit dengan arah utara – selatan daya dengan azimuth N169°E pada dinding pit bagian selatan. Lereng ini menghadap ke utara. Lereng ini terdiri dari 3 jenjang, dengan tinggi masing – masing jenjang sekitar 5-10m. Besar sudut jenjang pada lereng ini berkisar 57 ° - 75° dengan material penyusun *non hydrothermal clay altered* dan *hydrothermal clay altered*. Hasil analisis LEM didapatkan nilai *global minimum safety factor* atau nilai faktor keamanan 3,344 dalam kondisi statis dan 2,483 pada kondisi dinamis.

Berdasarkan hasil analisis LEM, 4 lereng tersebut memenuhi *acceptable criteria* (Bowles, 1979). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa ke 4 lereng tersebut aman.



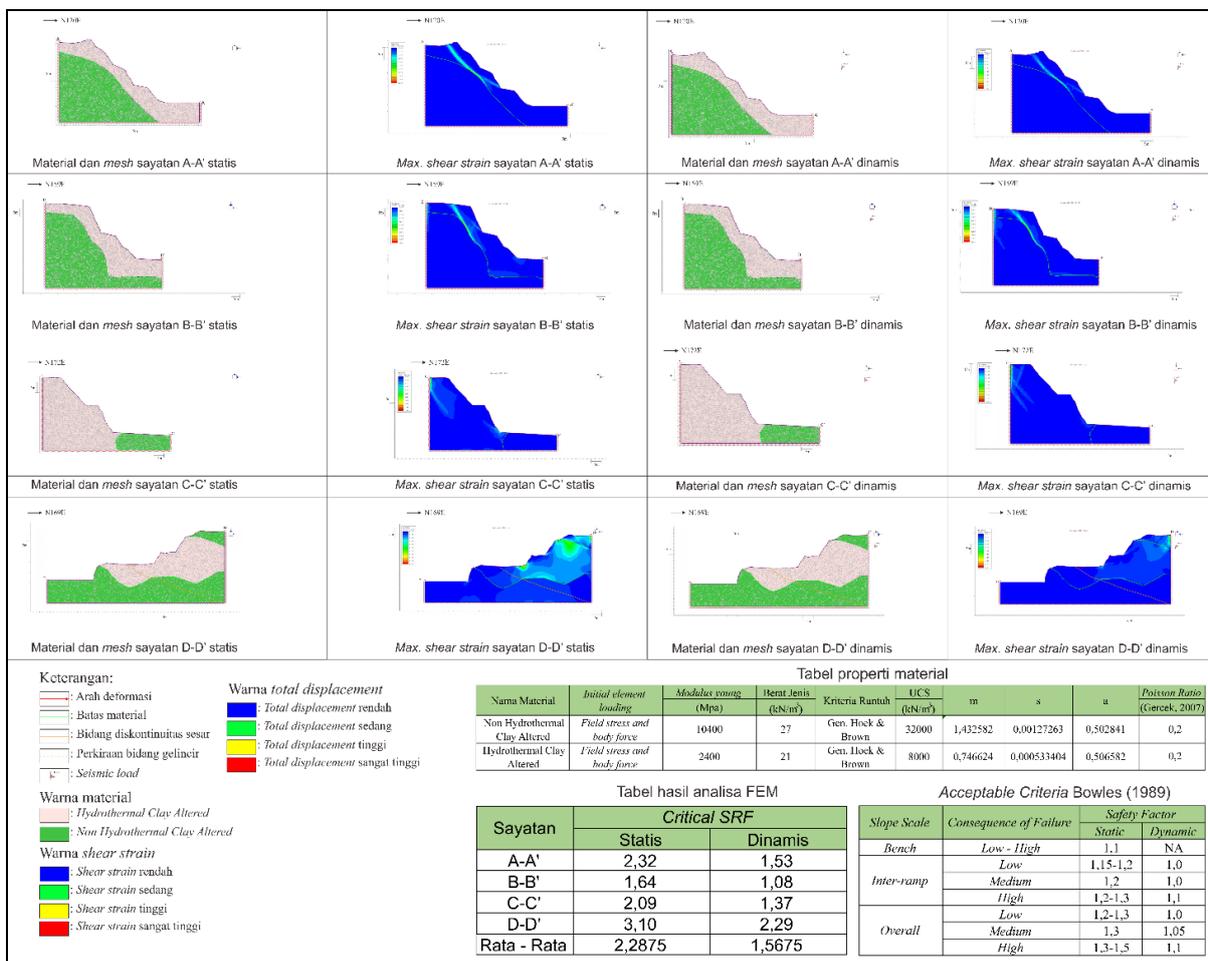
Gambar 14. Hasil analisis LEM menunjukkan 4 sayatan lereng memiliki nilai faktor kermanan sesuai kriteria. Perkiraan bidang gelincir ditandai dengan nilai *safety factor* yang rendah.

Analisis FEM (Finite Element Method)

Selain analisis LEM, analisis FEM juga dilakukan untuk perbandingan dalam studi keseimbangan dinding *final wall* pada pit B-east. Analisis FEM pada prinsipnya digunakan untuk mengetahui faktor keamanan serta perkiraan pergerakan dari massa batuan ketika terjadi kelongsoran. Analisis ini memerlukan beberapa nilai

karakteristik material seperti berat jenis, *modulus young*, nilai UCS, nilai *poisson ratio*, nilai *m*, nilai *s*, dan nilai *a*. Analisis FEM dilakukan di 4 sayatan yang sama dengan analisis LEM. Dalam analisis FEM juga digunakan *acceptable criteria* (Bowles, 1979) sebagai batas minimal dari keamanan lerengnya. Hasil dari analisis FEM adalah sebagai berikut:

1. Pada sayatan A-A', hasil analisis FEM didapatkan nilai *critical SRF (Shear Reduction Factor)* atau faktor keamanan 2,32 pada kondisi statis dan 1,53 pada kondisi dinamis. Nilai faktor kewanaman sebesar 2,32 pada kondisi statis dan 1,53 pada kondisi dinamis memenuhi *acceptable criteria* (Bowles, 1979).
2. Pada sayatan B-B', hasil analisis FEM didapatkan nilai *critical SRF (Shear Reduction Factor)* atau faktor keamanan 1,64 pada kondisi statis dan 1,08 pada kondisi dinamis. Nilai faktor kewanaman sebesar 1,64 pada kondisi statis dan 1,08 pada kondisi dinamis memenuhi *acceptable criteria* (Bowles, 1979).
3. Pada sayatan C-C', hasil analisis FEM didapatkan nilai *critical SRF (Shear Reduction Factor)* atau faktor keamanan 2,09 pada kondisi statis dan 1,37 pada kondisi dinamis. Nilai faktor kewanaman sebesar 2,37 pada kondisi statis dan 1,37 pada kondisi dinamis memenuhi *acceptable criteria* (Bowles, 1979).
4. Pada sayatan D-D', hasil analisis FEM didapatkan nilai *critical SRF (Shear Reduction Factor)* atau faktor keamanan 3,10 pada kondisi statis dan 2,29 pada kondisi dinamis. Nilai faktor kewanaman sebesar 3,10 pada kondisi statis dan 2,29 pada kondisi dinamis memenuhi *acceptable criteria* (Bowles, 1979).



Gambar 15. Hasil analisis FEM menunjukkan 4 sayatan lereng memiliki nilai faktor keamanan yang memenuhi kriteria. Perkiraan bidang gelincir ditandai dengan nilai *maximum shear strain* yang tinggi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan fakta lapangan sebagai berikut:

1. Alterasi yang berkembang pada daerah penelitian dibagi menjadi 5 tipe yaitu tipe masif silika, tipe silika + alunit, tipe silika + kaolinit ± dickit ± alunit, tipe kaolinit ± montmorilonit ± illit, dan tipe klorit ± kaolinit ± montmorilonit. Berdasarkan alterasi yang berkembang, tipe endapan mineral yang berkembang di daerah penelitian merupakan epitermal sulfidasi tinggi.

2. Berdasarkan analisis kinematika dari 8 sektor, didapatkan hasil 6 sektor yang memiliki potensi longsor dan 2 sektor yang tidak berpotensi longsor. Dari 6 sektor tersebut, 2 sektor berpotensi toppling dan 4 sektor dengan tipe toppling dan baji.
3. Berdasarkan analisis LEM dan FEM, nilai faktor keamanan dari 4 sayatan pada kondisi statis dan dinamis memenuhi kriteria.
4. Dari fakta lapangan tersebut dapat disimpulkan pada daerah penelitian merupakan daerah yang aman akan potensi longsor dalam skala besar. Di sisi lain daerah penelitian memiliki potensi longsor skala kecil yang diakibatkan oleh bidang diskontinuitas serta mineral montmorilonit sehingga dapat terjadi longsor baji, toppling, serta *dripping*. Untuk penambangan dapat dilakukan dengan desain lereng yang sama seperti sekarang dikarenakan faktor keamanan yang sesuai kriteria.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Bumi Suksesindo yang telah memberikan kesempatan untuk melaksanakan tugas akhir di perusahaan, Bapak Dr. Dwi Fitri Yudiantoro selaku ketua jurusan yang telah memberikan izin untuk melakukan tugas akhir, Bapak Dr. Ir. Sutarto, M.T. dan Bapak Dr. Ir. Heru Sigit Purwanto, M.T. yang membimbing penulis selama skripsi, serta Bapak Dr. Ir. Purwanto, M.T. dan Bapak Dr. Agus Harjanto, S.T., M.T.p yang telah membahas dan memberikan masukan terhadap skripsi penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- Achdan dan Bachri. 1993. *Peta Geologi Lembar Blambangan, Jawa Timur*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Anonim. 1996. *Sandi Stratigrafi Indonesia*. Jakarta: Ikatan Ahli Geologi Indonesia (IAGI).
- Bemmelen, R.W. Van. 1949. *The Geology of Indonesia, Vol. 1 A*. Amsterdam: Government Printing Office.
- Bowles, J.E. 1979. *Physical and Geotechnical Properties of Soils*. McGraw-Hill International Book Company.
- _____. 1989. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Jakarta: Erlangga.
- Corbett dan Leach. 1997. *Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structures, Alteration and Mineralization*. Australia: Corbett Geological Services Pty. Ltd.
- Corbett G.J. 2002. Epithermal Gold For Explorationists. *AIG Journal-Applied Geoscientific Practice and Research*. Australia. Hal 1-26.
- _____. 1996. *Southwest Pacific Rim Gold Copper Systems: Structures, Alteration, and Mineralization*, Workshop Manual for Exploration Workshop presented at Jakarta August 1996.
- Darman, H. dan Sidi, F.H. 2000. *An Outlined of The Geology of Indonesia*. Indonesian Association of Geologist, Indonesia
- Gercek, H. 2007. Poisson's ratio values for rocks. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*. Department of Mining Engineering, Zonguldak Karaelmas University, Zonguldak, Turkey. Hal 1-13.
- Guilbert J.M. dan Park C.F.Jr. 1986. *The Geology of Ore Deposits*. New York: W.H. Freeman and Company.
- Hall, R., Clements, B., dan Smyth, H. R. 2009. Sundaland: Basement Character, Structure and Plate Tectonic Development. *Indonesian Petroleum Association 33*. Jakarta. Hal 1-28.
- Hedenquist, J.W. dan Arribas, A. 2017. Epithermal ore deposits: First-order features relevant to exploration and assessment.
- Hedenquist, J.W., Arribas, A., Izawa, E., dan White, N. C. 1996. Epithermal Gold Deposits: Styles, Characteristics, and Exploration. *Society of Resource Geology Special Publication Number 1*. Hal 1-19.
- Hedenquist, J.W., Arribas, A., dan Urien, E. G. 2000. Exploration for Epithermal Gold Deposits, Society of Economic Geologists, *Reviews in Society Economic Geology*, vol.13. hal 245-277.
- Hellman, P. L. 2011. *Tujuh Bukit Project Report On Mineral Resources, Located in East Java, indonesia*. Australia: Reported for Intrepid Mines Limited Level 1, 490 Upper Edward St. Spring Hill, Qld 4004.
- Hoek, E. dan Bray, J. W. 1981. *Rock Slope Engineering, 3rd edition* London: The Institution of Mining and Metallurgy.
- Kretz, R. 1983. Symbol for Rock Forming Minerals. *American Mineralogist, Vol. 68*. Hal 277-279.
- Liong, G. T. dan Herman, D. J. G. 2012. Analisa Stabilitas Lereng Limit Equilibrium vs Finite Element Method.
- Moody, J.D. dan Hill, M.J. 1956. *Wrench Fault Tectonics*. Bulletin of the Geological Society of America.
- Morrison, K. 1996. *Magmatic-related Hydrothermal System*. Australia : Short Course Manual.
- Pirajno F. 1992. *Hydrothermal Mineral Deposits, Principles and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist*. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris: Springer Verlag.
- Pratama, A.W., Hady, M. H. M., dan Zuhri, M. J. 2018. Analisis Daerah Rawan Longsor Sebagai Dasar Mitigasi Bencana di Desa Sidoharjo, Kecamatan Samigaluh, Kabupaten Kulonprogo. *Proceeding*

- Implementation Geosciences for National Development*. Himpunan Mahasiswa Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi, Universitas Trisakti. Hal 15-21.
- Pulunggono, dan S. Martodjojo. 1994. Perubahan Tektonik Paleogene-Neogene Merupakan Peristiwa Tektonik Terpenting di Jawa. *Proceedings Geologi dan Geotektonik Pulau Jawa*. Hal 37-50.
- Read, J. dan Stacey, P. 2009. *Guidelines for Open Pit Slope Design*. New Zealand and South Africa: CSIRO PUBLISHING.
- Rickard, M.J. 1972. Fault Classification – Discussion. *Geological Society of America Bulletin*, vol.83. Hal 2545-2546.
- Schmid, R. 1981. Descriptive Nomenclature and Classification of Pyroclastic Deposits and Fragments: Recommendations of The International Union of Geological Sciences Subcommision on The Systematics of Igneous Rocks. *Geology. The Geological Society of America*. Boulder. Vol 9. Hal 41-43
- Sillitoe, R.H. & Hedenquist, J.W. 2003. Linkages between Volcanotectonic Settings, Ore Fluid Compositions, and Epithermal Precious Metal Deposits. *Society of Economic Geologist, Special Publication 10*. London. Hal 1-73.
- Sillitoe, R.H. 2015. Epithermal Paleosurfaces. *Mineralium Deposita*. Vol.50. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Sribudiyani, Muchsin, N., Ryacudu, R., Kunto, T., Astono, P., Prasetya, I., Sapiie, B., Asikin, S., Harsolumakso, A. H., dan Yulianto, I. 2003. The Collision of The East Java Microplate and Its Implication for Hydrocarbon Occurrences in the East Java Basin. *Indonesian Petroleum Association, Proceeding 29th Annual Convergence*, Jakarta. Hal 1-12.
- Van Zuidam, R. A. 1983. *Guide to Geomorphology Ariel Photographic Interpretation and Mapping*. Enschede: ITC.
- Verstappen, H. Th. 1985. *Applied Geomorphological Survey and Natural Hazard Zoning*. Enschede: ITC.
- White, N.C. dan Hedenquist, J.W. 1995. Epithermal Gold Deposits: Styles, Characteristic, and Exploration. *SEG Newsletter*, No 23. Ha