

TESIS

**ANALISIS PROPERTIES GEOMEKANIKA PADA BATUAN
ALTERASI SERTA IMPLIKASINYA TERHADAP
KESTABILAN LERENG TAMBANG TERBUKA, TUJUH
BUKIT, JAWA TIMUR**

*Analysis of Geomechanical Properties in Alteration Rocks and The
Implications for the Open Pit Mine Slope Stability in
Tujuh Bukit, East Java*

**GEDE PRAMAJANA KORAWAN
D062211005**



**PROGRAM STUDI MAGISTER GEOLOGI
DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

PENGAJUAN TESIS

**ANALISIS PROPERTIES GEOMEKANIKA PADA BATUAN
ALTERASI SERTA IMPLIKASINYA TERHADAP
KESTABILAN LERENG TAMBANG TERBUKA, TUJUH
BUKIT, JAWA TIMUR**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister
Program Studi Teknik Geologi

Disusun dan diajukan oleh

**GEDE PRAMAJANA KORAWAN
D062211005**

DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024

TESIS

ANALISIS PROPERTIES GEOMEKANIKA PADA BATUAN ALTERASI SERTA IMPLIKASINYA TERHADAP KESTABILAN LERENG TAMBANG TERBUKA, TUJUH BUKIT, JAWA TIMUR

**GEDE PRAMAJANA KORAWAN
D062211005**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang di bentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 13 Agustus 2024
Dan telah dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Musri Ma'waleda, MT
NIP.19611231 198903 1 019

Pembimbing Pendamping



Dr. Eng. Hendra Pachri, ST., M.Eng
NIP.19771214 200501 1 002

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



**Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran
Ramli, ST., MT., IPM., ASEAN Eng**
NIP.19730926 000121 1 002

Ketua Program Studi Magister Geologi



Dr. Eng. Ir. Meutia Farida, ST., MT
NIP.19731003 200012 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Gede Pramajana Koriawan
Nomor mahasiswa : D062211005
Program studi : Magister Teknik Geologi

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul **“Analisis Properties Geomekanika Pada Batuan Alterasi Serta Implikasinya Terhadap Kestabilan Lereng Tambang Terbuka, Tujuh Bukit, Jawa Timur”** adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Bapak Dr. Ir. Musri Ma’waleda, MT. selaku Pembimbing Utama Penulis dan Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, ST., M.Eng selaku Pembimbing Pendamping Penulis). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Prosiding (GP Koriawan, W Hartman, M Ma’waleda, H Pachri, The 3rd International Slope Stability in Mining Conference https://doi.org/10.36487/ACG_repo/2335_13) SSIM2023. sebagai artikel dengan judul **“The Effect of Hydrothermal Alteration of the Host Rock Mass on the Slope Stability of an Open Pit Mine at Tujuh Bukit, East Java”** dan Prosiding (GP Koriawan, M Ma’waleda, H Pachri, The 3rd International Conference On Mining And Environmental Technology) ICMET 2024, sebagai Artikel dengan Judul **“Slope Stability Analysis Based on Rock Mass Rating (RMR) Method at An Open Pit Mine, East Java, Indonesia”**. Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 13 Agustus 2024

Yang menyatakan,



Gede Pramajana Koriawan

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan Tuhan Yang Maha Esa atas berkat Rahmat dan kuasanya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tesis dengan judul “**Analisis Properties Geomekanika Pada Batuan Alterasi Serta Implikasinya Terhadap Kestabilan Lereng Tambang Terbuka, Tujuh Bukit, Jawa Timur**”. Laporan Tesis ini disusun sebagai syarat untuk mencapai derajat Magister Teknik Geologi pada program studi Magister di Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari dalam penyusunan tesis ini, penulis banyak mendapatkan bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak sehingga penulisan tesis ini dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya dan penghargaan yang setinggi-tingginya dengan mengharapkan semoga Tuhan yang Maha Esa memberikan balasan terbaik kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Musri Ma'waleda, MT. sebagai dosen pembimbing utama dan penasehat akademik yang telah banyak memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis dengan ikhlas selama penyusunan tesis ini.
2. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, ST., M.Eng. sebagai Ketua Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan sebagai pembimbing pendamping yang telah banyak memberikan arahan dan wawasan kepada penulis dengan ikhlas selama penyusunan tesis ini.
3. Bapak Dr. Ir. Hamid Umar, MS. Sebagai dosen penguji tesis yang banyak memberikan saran dan koreksinya dalam melengkapai tesis ini.
4. Ibu Dr. Ulva Ria Irvan, ST., MT. sebagai Ketua Program Studi Doktor Teknik Geologi dan sebagai dosen penguji tesis yang banyak memberikan saran dan koreksinya dalam proses tesis ini.
5. Bapak Ilham Alimuddin, ST.M.GIS. Sebagai dosen penguji tesis yang banyak memberikan saran dan koreksinya dalam melengkapai tesis ini.

6. Ibu Dr. Eng. Meutia Farida, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Geologi, Universitas Hasanuddin.
7. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
8. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc. selaku Rektor Universitas Hasanuddin
9. Segenap Dosen Program Studi Magister Departemen Teknik Geologi, Universitas Hasanuddin.
10. Keluarga besar Pasca Sarjana, Universitas Hasanuddin, khususnya teman-teman seperjuangan penulis di Program Studi Magister Departemen Teknik Geologi atas semua dukungan, semangat serta kerjasamanya selama ini.

Terimakasih penulis juga haturkan untuk semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tesis ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Penulis menyadari bahwa tesis ini tidak luput dari berbagai kekurangan. Penulis berharap saran dan kritik yang membangun dari para pembaca guna menyempurnakan segala kekurangan dalam penyusunan penelitian tesis ini. Akhir kata, penulis berharap semoga hasil penelitian tesis ini berguna bagi para pembaca dan pihak-pihak lain yang berkepentingan khususnya dalam bidang geologi teknik. Semoga Tuhan yang Maha Esa senantiasa melimpahkan Rahmat dan Kuasa-Nya kepada kita semua.

Penulis,

Gede Pramajana Koriawan

ABSTRAK

GEDE PRAMAJANA KORAWAN. Analisis Properties Geomekanika Pada Batuan Alterasi Serta Implikasinya Terhadap Kestabilan Lereng Tambang Terbuka, Tujuh Bukit, Jawa Timur (Dibimbing oleh **Musri Ma'waleda, Hendra Pachri**)

Permasalahan signifikan yang sering muncul di daerah penelitian dalam tambang emas jenis *high sulfidation* adalah ketidakstabilan lereng. Proses hidrotermal dapat mengubah sifat mekanik dan fisik massa batuan asli, sehingga menimbulkan tantangan dalam operasi penambangan terbuka. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis stabilitas lereng batuan yang mengalami alterasi hidrotermal di tambang terbuka di Banyuwangi. Proses pengumpulan data dilakukan melalui investigasi geoteknik untuk memperoleh sampel batuan yang akan diuji di laboratorium. Metode petrografi yang digunakan adalah metode penampang tipis dalam analisis petrografi untuk menentukan jenis mineral yang ada di batuan, serta klasifikasi Rock Mass Rating (RMR) metode empiris untuk mengidentifikasi perubahan kekerasan pada setiap jenis batuan yang mengalami alterasi melalui uji Point Load Index. Berdasarkan hasil pengujian Petrografi, PLI/UCS dan RMR terdapat tiga jenis alterasi yaitu, Argilik (UCS = 3-16 MPa, RMR = 46-50), Argilik Lanjut (UCS = 11-45 MPa, RMR = 49-55), Silika Alunit (UCS = 28-80 MPa, RMR = 61-65). Hasil analisis kestabilan lereng pada kondisi statis 3D (FK 2,316) 2D (FK 1,86 dengan PoF 1,7%) *Total displacement* (0.28m). dan kondisi dinamis 3D (FK 1,4) 2D (FK 1,073 dengan PoF 37,9%) *Total displacement* (26.94m). dengan menggunakan perangkat lunak Rocscience dengan Metode *Limit Equilibrium*, kemudian *Total Displacement* menggunakan Metode Elemen Hingga. Penelitian ini menyoroti pentingnya pemahaman tentang jenis alterasi dan karakteristik massa batuan. Stabilitas lereng tambang terbuka sangat dipengaruhi oleh jenis alterasi yang menghasilkan nilai RMR rendah.

Keyword: Alterasi, Geomekanik, Kestabilan Lereng, *Rock mass Rating*

ABSTRACT

GEDE PRAMAJANA KORAWAN. Analysis of Geomechanical Properties in Alteration Rocks and The Implications for the Open Pit Mine Slope Stability in Tujuh Bukit, East Java (**Supervised by Musri Ma'waleda, Hendra Pachri**)

Significant problems that often arise in the research area in high sulfidation gold mines are slope instability. Hydrothermal processes can change the mechanical and physical properties of the original rock mass, thus creating challenges in open pit mining operations. The purpose of this study was to analyze the stability of rock slopes that experienced hydrothermal alteration in open pit mines in Banyuwangi. The data collection process was carried out through geotechnical investigations to obtain rock samples to be tested in the laboratory. The petrographic method used is the thin section method in petrographic analysis to determine the types of minerals in the rock, as well as the Rock Mass Rating (RMR) classification empirical method to identify changes in hardness in each type of rock that has undergone alteration through the Point Load Index test. Based on the results of Petrography, PLI/UCS and RMR tests, there are three types of alteration, namely, Argillic (UCS = 3-16 MPa, RMR = 46-50), Advanced Argillic (UCS = 11-45 MPa, RMR = 49-55), Silica Alunite (UCS = 28-80 MPa, RMR = 61-65). The results of the slope stability analysis in static conditions 3D (FK 2.316) 2D (FK 1.86 with PoF 1.7%) Total displacement (0.28m). and dynamic conditions 3D (FK 1.4) 2D (FK 1.073 with PoF 37.9%) Total displacement (26.94m). using Rocscience software with the Limit Equilibrium Method, then Total Displacement using the Finite Element Method. This study highlights the importance of understanding the types of alteration and rock mass characteristics. The stability of open pit slopes is greatly influenced by the type of alteration that results in low RMR values.

Keyword: Alteration, Geomechanical, Rock Mass Rating, Slope Stability

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PENGAJUAN TESIS.....	ii
PERSETUJUAN TESIS	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xiii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Permasalahan.....	1
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	2
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Geologi Daerah Penelitian.....	4
2.2 Stratigrafi Regional	5
2.3 Struktur Geologi	7
2.4 Sistem Hidrotermal.....	9
2.5 Alterasi Hidrotermal.....	10
2.6 Kestabilan Lereng.....	13
2.6.1 Hu Coefficient.....	15
2.7 Analisis Kestabilan Lereng	17
2.7.1 Kriteria Keruntuhan Mohr – Coulomb	17
2.7.2 Kriteria Keruntuhan Generalized Hoek - Brown	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Rancangan Penelitian	19
3.2 Lokasi dan Kesampaian Daerah.....	20
3.3 Teknik Pengumpulan data	21
3.3.1 Data Primer	21

3.3.2 Data Sekunder	26
3.4 Pengolahan Data	26
3.4.1. Klasifikasi Batuan (Rock Mass Rating):.....	26
3.4.2 Metode Analisis Kestabilan Lereng.....	35
3.5 Instrument Pengumpulan data dan Analisis	37
3.6 Bagan Alir Penelitian.....	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Kondisi Geologi Penelitian	39
4.2 Pengumpulan dan Pengolahan Data	42
4.2.1 Data Pengeboran	42
4.2.2 Data Petrografi Sampel Pengeboran.....	43
4.2.3 Klasifikasi Batuan Menggunakan Metode Rock Mass Rating (RMR)	46
4.2.4 Hubungan Distribusi GSI dan RQD	53
4.2.5 Parameter Massa Batuan Kriteria (Hoek and Brown).....	54
4.3 Pemodelan dan Analisis Kestabilan Lereng	54
4.3.1 Pemodelan Lereng.....	54
4.3.2 Analisis Kesatbilan Lereng	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA.....	63
LAMPIRAN	

Lampiran 1 Summary of Point Load Test Data

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Fisiografi Jawa Timur (Modifikasi dari Van Bemellen,1949).....	4
Gambar 2.2 Peta Geologi Lembar Blambangan	5
Gambar 2.3 Stratigrafi Peta Geologi Lembar Blambangan	6
Gambar 2.4 Seting Tektonik Jawa Timur (Smyth dkk, 2008)	8
Gambar 2.5 Pola Struktur geologi regional Jawa Timur.....	9
Gambar 2.6 Model endapan hidrotermal porfiri (Corbett, 2002).....	10
Gambar 2.7 Himpunan mineral alterasi berdasarkan suhu	11
Gambar 2.8 Komponen gaya berat di Suatu Benda di atas Bidang Miring	14
Gambar 2.9 Bejana di Isi Air di Atas Bidang Miring	15
Gambar 2.10 Pore Pressure Pada Bawah Irisan	16
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian	20
Gambar 3.2 Struktur dasar bagan GSI	24
Gambar 3.3 Representasi grafis dari profil kekasaran	24
Gambar 3. 4 Inti Pemboran pada Core Tray	26
Gambar 3.5 Alat Uji Point Load Index	28
Gambar 3.6 Tipe dan Syarat Sampel Batuan Uji PLI	29
Gambar 3. 7 Perhitungan RQD	31
Gambar 3.8 Diagram Alir Penelitian	38
Gambar 4. 1 Kenampakan singkapan batuan di daerah penelitan	39
Gambar 4. 2 Peta sebaran batuan di daerah penelitian.....	40
Gambar 4.3 Kenampakan singkapan Breksi pada Lokasi pit C.....	41
Gambar 4.4 Kenampakan singkapan Dasit pada Lokasi pit C.....	41
Gambar 4.5 Peta area pemboran dan pengambilan sampel permukaan.....	42
Gambar 4.6 Kenampakan sayatan Tipis sampel alterasi tipe Argilik Lanjut.....	44
Gambar 4.7 Kenampakan sayatan Tipis dari sampel pada alterasi tipe Argilik ...	45
Gambar 4. 8 Kenampakan sayatan Tipis dari sampel pada alterasi tipe Silika.....	46
Gambar 4.9 Distribusi Alteration terhadap Hasil PLI.....	50
Gambar 4.10 Jenis Batuan Alterasi Yang sudah di sederhanakan	50
Gambar 4.11 Penyebaran nilai RQD.....	51

Gambar 4.12 Penyebaran nilai Jarak Diskontinuitas	52
Gambar 4.13 Penyebaran nilai Kondisi Diskontinuitas	52
Gambar 4.14 Hubungan RQD dan GSI	53
Gambar 4.15 Distribusi nilai GSI terhadap Alterasi	53
Gambar 4.16 Pemodelan Alterasi yang sudah di sederhanakan pada Pit C.....	55
Gambar 4. 17 Faktor keamanan statis penilaian kestabilan lereng 3D	57
Gambar 4.18 Faktor keamanan statis penilaian kestabilan lereng 2D	58
Gambar 4. 19 Total displacement 0.28m pada kondisi statis.....	58
Gambar 4. 20 Faktor keamanan dinamis dalam penilaian kestabilan lereng 3D..	59
Gambar 4.21 Faktor keamanan dinamis yang diperoleh dalam penilaian kestabilan lereng 2D (dengan metode kesetimbangan batas).....	59
Gambar 4.22 Total displacement 26.94m pada kondisi Dinamis	60

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Penentuan tipe dari tipe Diskontinuitas	22
Tabel 3. 2 Tabel 3.2 Penentuan nilai kuat tekan batuan (Hoek-Brown, 2007)	23
Tabel 3.3 Kekuatan Material Batuan Utuh (Sumber: Arif, 2016).....	30
Tabel 3. 4 Rock Quality Designation (Sumber: Arif, 2016).....	32
Tabel 3.5 Klasifikasi Bidang Kekar (Sumber: Arif, 2016)	33
Tabel 3. 6 Kondisi Air Tanah (Sumber: Arif, 2016).....	34
Tabel 3.7 Kelas Massa Batuan Total RMR (Sumber: Arif, 2016).....	34
Tabel 4.1 Himpunan Mineral Alterasi dari Sampel Batuan Inti	43
Tabel 4. 2 Nilai UCS yang di konversi dari Nilai Uji PLI	47
Tabel 4. 3 Nilai UCS konversi dari Nilai Uji PLI dari Data Pengeboran	47
Tabel 4.4 Parameter Massa Batuan.....	54
Tabel 4. 5 Nilai Faktor Keamanan dan Probalitas Longsor Lereng Tambang.....	56
Tabel 5. 1 Hasil Analisis Kestabilan Lereng.....	62

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
FEM	= Finite Element Method
FOS	= Factor of Safety /Faktor Keamanan
POF	= Probability of Failure
GSI	= <i>Geologi strength Index</i>
Is (50)	= Point Load Index 50mm (MPa)
PLI	= Point Load Index
RMR	= Rock Mass Rating
RQD	= Rock Quality Designation
UCS	= Uniaxial Compressive Strength

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Masalah penting yang sering muncul dalam penambangan terbuka adalah ketidakstabilan lereng. Wilayah tambang terbuka di daerah Tujuh Bukit terdapat batuan alterasi yang mengalami perubahan karakteristik batuan dari batuan aslinya. Sifat mekanik dan fisik pada massa batuan asli dapat berubah akibat alterasi hidrotermal. Saat berada di permukaan, sebagian massa batuan di tambang akan mengalami pelapukan dengan cepat, sehingga menyebabkan lereng pit menjadi tidak stabil dan sulit untuk dikelola.

Analisis mendalam dilakukan untuk memahami properties geomekanika dari batuan alterasi yang berada di tambang dengan dilakukan investigasi geoteknik secara detail untuk mengumpulkan sampel yang dapat di uji di laboratorium dengan menggunakan *point load index* (PLI) dan klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) untuk bisa menganalisis perubahan kekerasan pada setiap tipe batuan alterasi.

Hasil analisis geomekanika terhadap properties batuan alterasi digunakan sebagai dasar untuk mengembangkan model geoteknik. Evaluasi kestabilan lereng menggunakan *Limit Equilibrium Method* (LEM) dengan perangkat lunak Rocscience untuk menentukan *Factor of Safety* (FoS), sementara perhitungan perpindahan total menggunakan *Finite Element Method* (FEM). Penelitian ini menekankan pentingnya memetakan zona berdasarkan tipe alterasi dengan menggunakan teknik karakterisasi massa batuan. Perubahan semacam ini berdampak signifikan pada kestabilan lereng tambang terbuka.

1.2 Rumusan Permasalahan

Bedasarkan kajian pustaka dari beberapa peneliti terdahulu dan latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana tipe dan kekuatan batuan alterasi pada area Pit C Tambang Tujuh Bukit?
2. Bagaimana nilai parameter massa batuan alterasi pada pit C Tambang Tujuh Bukit?

3. Bagaimana pengaruh dari nilai parameter masa batuan alterasi dan implikasinya terhadap kestabilan lereng dengan metode *limit equilibrium* (LEM) dan *finite element method* (FEM)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini sebagai berikut:

1. Menganalisis tipe dan kekuatan batuan alterasi pada Pit C Tambang Tujuh Bukit.
2. Menganalisis nilai parameter massa batuan alterasi pada pit C Tambang Tujuh Bukit.
3. Menganalisis pengaruh dari nilai parameter massa batuan alterasi dan implikasinya terhadap kestabilan lereng dengan metode *limit equilibrium* (LEM) dan *finite element method* (FEM).

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi penting bagi lokasi penelitian seperti

1. Penelitian ini membantu dalam memahami sifat-sifat geomekanika dari batuan alterasi yang umumnya memiliki karakteristik fisik dan mekanik yang berbeda dari batuan asli. Ini penting untuk mengevaluasi potensi kestabilan lereng tambang.
2. Penelitian ini dapat mengidentifikasi potensi bahaya seperti longsor atau keruntuhan lereng yang dapat timbul akibat perubahan karakteristik batuan akibat alterasi. Hal ini membantu dalam perencanaan mitigasi risiko.
3. Hasil Penelitian ini juga dapat menjadi dasar untuk penelitian lebih lanjut dalam bidang geomekanika, geoteknik, dan teknik penambangan yang baik dan benar.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini akan difokuskan pada batuan yang mengalami proses alterasi di daerah penelitian. Penelitian akan mencakup tipe alterasi, perubahan sifat fisik dan mekaniknya. Selain itu, analisis akan dilakukan terhadap sifat-sifat geomekanika dari batuan yang mengalami alterasi, termasuk kekuatan batuan dengan menggunakan metode klasifikasi rock mass rating (RMR), evaluasi

kestabilan lereng. Metode-metode analisis geomekanika yang akan digunakan mencakup pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak Rocscience seperti Slide2 dan RS2, yang akan digunakan untuk menentukan faktor keamanan lereng. Studi kasus akan difokuskan pada area Pit C di tambang Tujuh Bukit di Jawa Timur, yang diharapkan dapat memberikan pemahaman mendalam tentang kondisi geomekanika dan kestabilan lereng di lokasi tersebut.

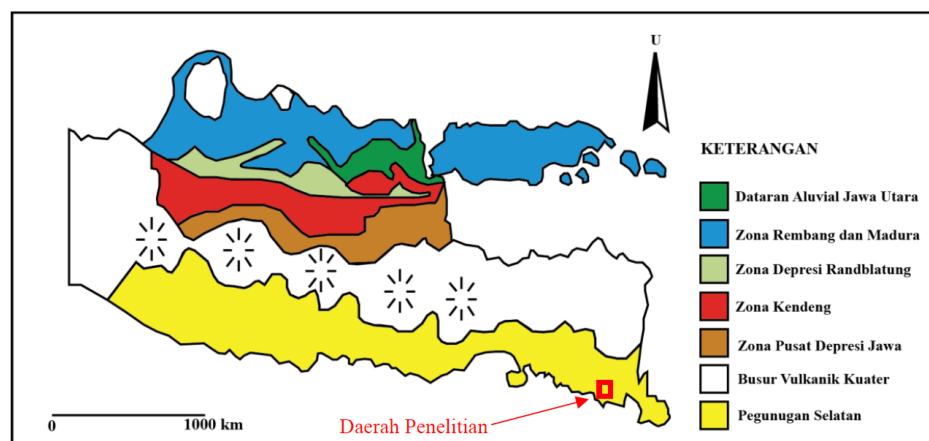
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Daerah Penelitian

Daerah penelitian terletak di Desa Sumberagung, Kecamatan Pesanggaran, Kabupaten Banyuwangi, Provinsi Jawa Timur, Indonesia. Area tersebut berada $8^{\circ}36'46.36''S$ $114^{\circ}02'30.21''E$. Berdasarkan posisi geografisnya daerah penelitian ke dalam zona fisiografi perbukitan. Zona ini dicirikan oleh morfologi perbukitan dengan elevasi > 1550 feet/489m

Menurut Van Bemellen (1949) secara fisiografis Jawa Timur dibagi ke dalam tujuh zona fisografi yang berturut-turut dari Selatan ke Utara yang terdiri dari:

- Pegunungan Selatan
- Busur Vulkanik Kuarter
- Zona Pusat Depresi Jawa
- Zona Kendeng
- Zona Depresi Randublatung
- Zona Rembang Madura
- Dataran Aluvial Jawa Utara



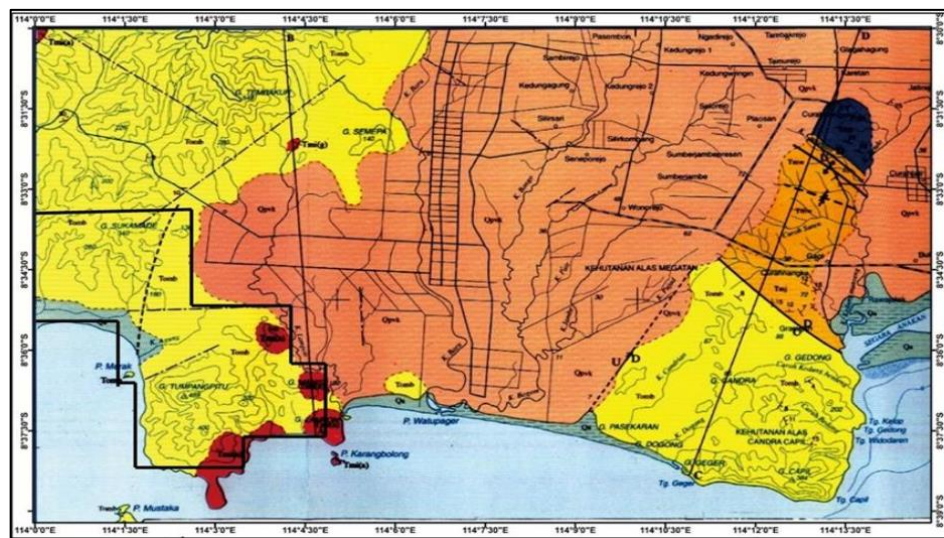
Gambar 2.1 Fisiografi Jawa Timur (Modifikasi dari Van Bemellen, 1949)

Ditinjau dari fisiografisnya, maka daerah penelitian berada di dalam zona Pegunungan Selatan yang berumur Oligo-Miosen dan terdiri dari morfologi

perbukitan. Zona ini terdiri atas batuan silisiklastik, vulkanik klastik, vulkanik dan karbonat. Zona ini dipisahkan menjadi tiga sub-zona yaitu sub-zona Baturagung, sub-zona Wonosari dan sub-zona Gunung Sewu. Zona Pegunungan Selatan yang merupakan sebuah zona gunungapi purba. Zona ini seringkali berasosiasi dengan kehadiran mineral-mineral ekonomis seperti emas, perak, tembaga dan molibdenum. Mineral ekonomis tersebut pada umumnya terendapkan pada sistem endapan porfiri maupun endapan epitermal.

2.2 Stratigrafi Regional

Regional daerah penelitian termasuk ke dalam wilayah pertambangan Tujuh Bukit, Banyuwangi. Daerah penelitian tercakup di dalam peta geologi regional lembar Blambangan, Jawa Timur (Achdan dan Bachri, 1993) yang ditunjukkan pada Gambar 4. Susunan litostratigrafi daerah penelitan sebagai berikut Formasi Batuampar, Formasi Jaten, Formasi Wuni, Batuan Terobosan, Formasi Punung, dan Formasi Kalibaru, sebagaimana ditunjukkan dalam (Gambar 2.2).



Gambar 2.2 Peta Geologi Lembar Blambangan

memiliki umur Miosen Tengah. Hubungan berupa kontak menjari antara Formasi Wuni dengan Formasi Batuampar dapat ditemukan di beberapa lokasi.

2.2.4 Batuan Terobosan

Pada umur Miosen Tengah dapat ditemukan batuan terobosan berupa andesit porfiritik dan granodiorit. Hal ini sesuai dengan umur terjadinya proses vulkanisme besar-besaran yang terjadi di sepanjang pantai selatan Pulau Jawa. Intrusi batuan ini yang kemungkinan besar memicu terjadinya proses hidrotermal sehingga dapat menghasilkan berbagai macam batuan alterasi dan terjadi proses mineralisasi.

2.2.5 Formasi Punung

Formasi Punung merupakan satuan batuan yang terdiri dari litologi berupa batugamping terumbu, batugamping berlapis dan napal. Keberadaan Formasi Punung menjadi penanda berakhirnya proses vulkanisme yang ditandai dengan kehadiran terumbu. Umur dari Formasi Punung adalah akhir Miosen Tengah dan menunjukkan hubungan kontak menjari dengan Formasi Batuampar di beberapa tempat.

2.2.6 Formasi Kalibaru

Formasi Kalibaru merupakan satuan batuan yang terdiri dari litologi berupa breksi, konglomerat, tuf dan batupasir tufan. Formasi Kalibaru ini berumur Plistosen. Persebarannya cukup luas di sebelah timur dari daerah penelitian di daerah Tujuh Bukit, Banyuwangi.

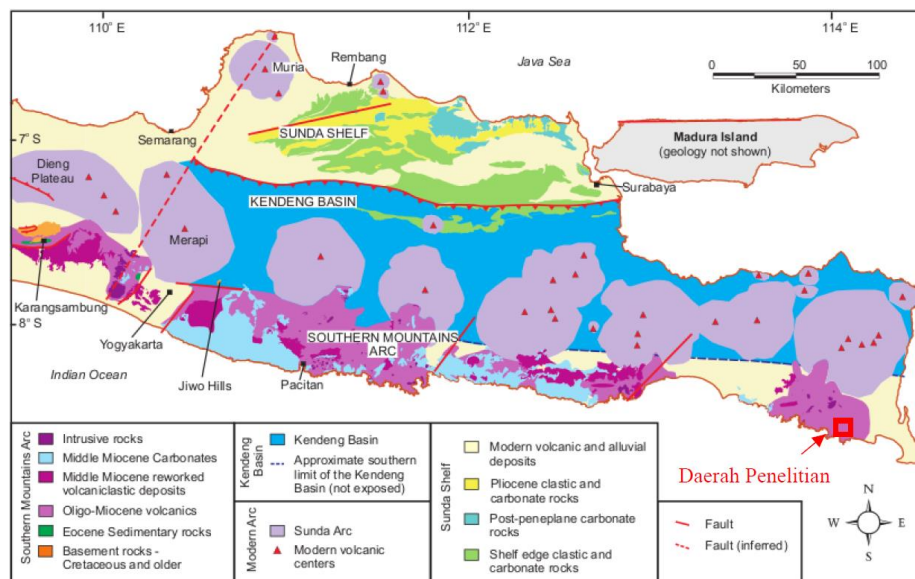
2.3 Struktur Geologi

Bedasarkan Smyth (2005) dan Husein (2015) menjelaskan bahwa terdapat dua busur gunungapi yang berkembang di Pulau Jawa, yaitu busur gunungapi Tersier berumur Oligo-Miosen yang membentuk zona Pegunungan Selatan dan busur gunungapi modern atau Kuartar yang berkembang sejak Miosen Akhir hingga saat ini dan menempati bagian tengah dari Pulau Jawa tepatnya pada sisi selatan zona Kendeng.

Zona Pegunungan Selatan yang merupakan jalur gunungapi purba berumur Oligo-Miosen berasosiasi dengan kehadiran endapan-endapan mineral berharga

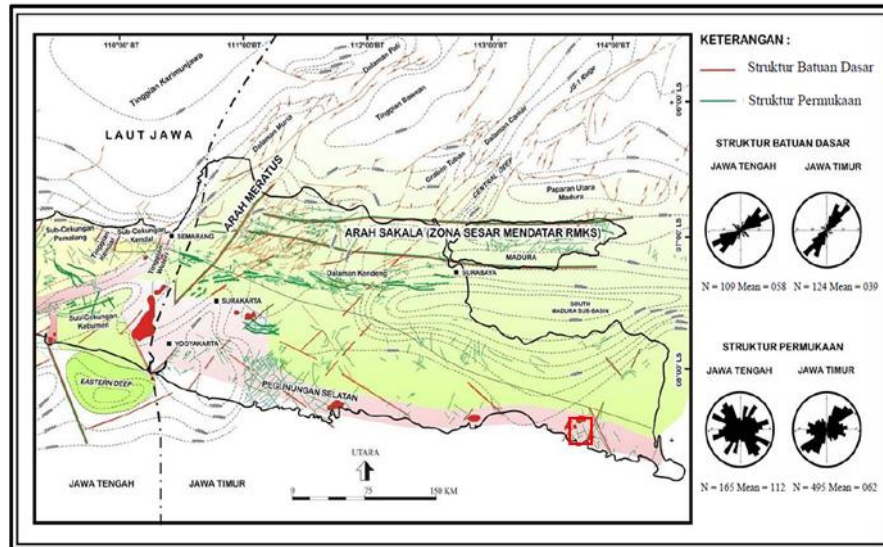
seperti emas, perak dan tembaga. Mineral-mineral berharga tersebut terbentuk pada sistem hidrotermal seperti endapan porfiri dan epitermal. Gunungapi purba yang sudah mati kemudian terjadi proses erosional memungkinkan endapan mineral berharga tersingkap menuju permukaan. Hal tersebut membuat proses eksplorasi dan penambangan lebih mudah untuk dilakukan.

Proses subduksi yang aktif mendorong terjadinya perkembangan struktur geologi di Pulau Jawa. Pulunggono dan Martdjojo (1994) menyebutkan bahwa pola struktur yang dominan berkembang di Pulau Jawa adalah pola Meratus dengan arah Timur Laut-barat daya yang berumur Kapur Akhir – Eosen Awal, pola Sunda dengan arah Utara-Selatan yang berumur Eosen Awal – Oligsen Awal dan pola Jawa yang berarah barat-timur yang terbentuk sejak 32 juta tahun yang lalu (Gambar 2.4).



Gambar 2.4 Tatanan Seting Tektonik Jawa Timur (Smyth dkk, 2008)

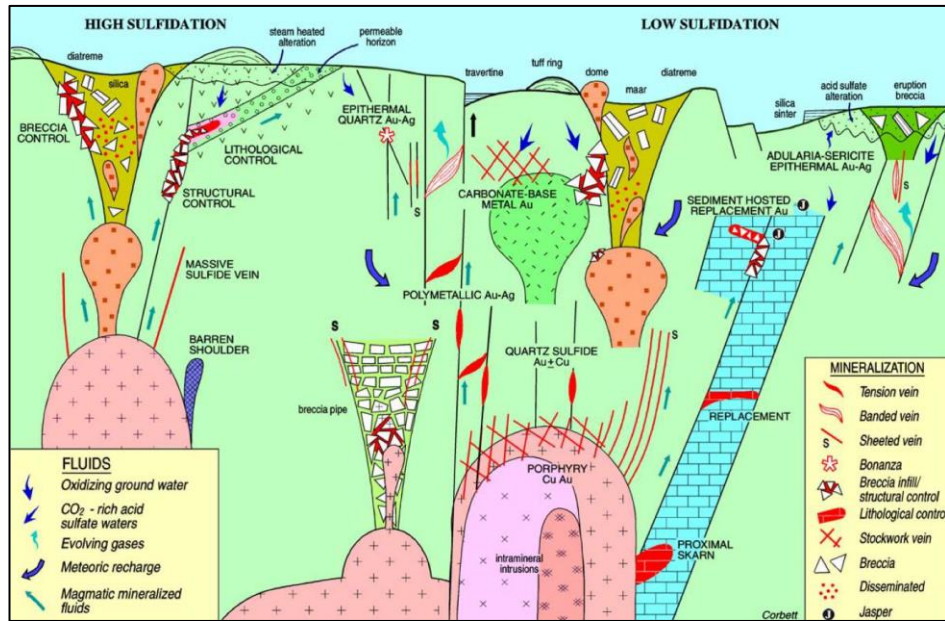
Daerah penelitian termasuk ke dalam wilayah Jawa Timur, oleh Sribudiyani, dkk (2003) dijelaskan bahwa pola struktur utama yang berkembang di wilayah Jawa Timur adalah pola sakala yang berarah barat-timur dan pola meratus yang berarah Timur Laut-barat daya (Gambar 2.5). Daerah tersebut banyak terbentuk struktur geologi berupa sesar, kekar dan lipatan yang berpengaruh terhadap pembentukan sesar, kekar dan lipatan minor disekitarnya.



Gambar 2.5 Pola Struktur geologi regional Jawa Timur (Sribudiyani dkk, 2003)

2.4 Sistem Hidrotermal

Definisi dari sistem hidrotermal sebagai sistem terjadinya sirkulasi fluida panas (50° sampai $>500^{\circ}\text{C}$) secara lateral dan vertikal pada temperatur dan tekanan yang bervariasi dibawah permukaan bumi (Pirajno, 1992). Terdapat beberapa komponen yang harus terpenuhi agar sistem hidrotermal dapat berjalan dengan baik. Komponen tersebut di antaranya adalah sumber panas yang dapat berasal dari magmatik, gradien geotermal, metamorfisme ataupun peluruhan radiogenik. Keberadaan sumber fluida yang dapat berupa fluida magmatik, fluida metamorfik ataupun air formasi juga menjadi komponen yang harus terpenuhi. Keberadaan zona permeabel seperti kekar, sesar ataupun batuan yang bersifat permeabel juga menjadi komponen penting dalam suatu sistem hidrotermal karena berfungsi sebagai jalur lewatnya fluida hidrotermal menuju lokasi pengendapan. Proses alterasi yang diakibatkan oleh adanya reaksi antara batuan sampling dengan fluida hidrotermal yang membuat mineral mengalami perubahan menuju kesetimbangan baru dan mampu memicu terjadinya proses mineralisasi atau proses pembentukan mineral yang bersifat ekonomis seperti mineral pembawa unsur Au, Ag, Cu dan lain sebagainya (Gambar 2.6).



Gambar 2.6 Model endapan hidrotermal porfiri dan keterkaitannya dengan endapan epitermal sulfidasi tinggi dan epitermal sulfidasi rendah (Corbett, 2002).

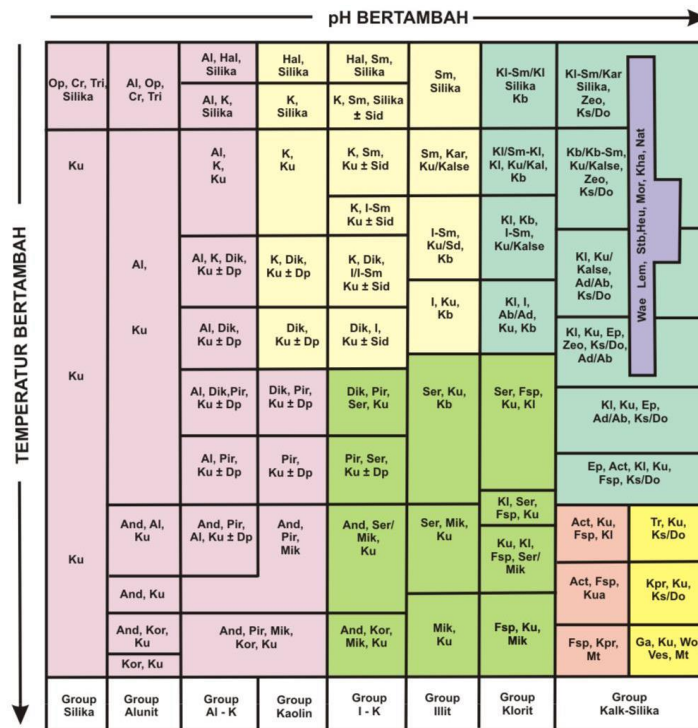
Perkembangan proses mineralisasi dalam sistem hidrotermal dibutuhkan suatu fluida bervolume besar yang berjalan melalui jalur yang lebih kecil secara bertahap menuju lokasi pengendapan. Endapan mineral hidrotermal terbentuk oleh sirkulasi fluida panas (50°C sampai >500°C) yang melarutkan, membawa dan mengendapkan mineral-mineral yang dibawa secara bertahap sebagai respon terhadap perubahan kondisi fisika-kimia (Pirajno, 2009).

2.5 Alterasi Hidrotermal

Alterasi hidrotermal merupakan suatu proses yang sangat kompleks yang disebabkan oleh interaksi antara fluida panas dengan batuan yang dilaluinya dalam kondisi evolusi fisio-kimia yang menyebabkan terjadinya perubahan pada unsur kimiawi, tekstur dan mineraloginya. Proses alterasi merupakan suatu bentuk metasomatisme, yaitu pertukaran komponen kimiawi antara cairan-cairan dengan batuan dinding (Pirajno, 1992). Interaksi antara fluida hidrotermal dengan batuan yang dilewatinya (batuan dinding) akan menyebabkan terubahnya mineral-mineral primer menjadi mineral ubahan (mineral alterasi), maupun fluida itu sendiri (Pirajno, 1992).

Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam terjadinya alterasi hidrotermal adalah sebagai berikut:

- Temperatur dan kimia fluida yang merupakan faktor paling berpengaruh dalam proses alterasi hidrotermal (Corbet dan Leach, 1996)
- Tekanan dan temperatur pada saat reaksi berlangsung.
- Karakter fluida yang direpresentasikan dengan nilai pH dan Eh
- Karakter batuan sampling.
- Konsentrasi dan lamanya aktivitas hidrotermal (Browne, 1991 dalam Corbett dan Leach, 1996).



KETERANGAN :

- Argilik Sempurna
- Argilik
- Philik
- Propilitik
- Propilitik Inti
- Potasik
- Skarn

Ab-Albit; Act-Actinolit; Ad-Adularia; Al-Alunit; And-Andalusit; Do-Dolomit;Dik-Dickit; Dp-Diaspor; Ep-Epidot; Fsp-Feldspar; Ga-Garnet; Hal-Halosit; Heu-Heulandit; I-Illit; K-Kaolinit; Kb-Karbonat; Kab-Kabalit; Kalse-Kalsedon; Kl-Klorit; Kor-Korundum; Ku-Kuarsa; Ks-Kalsit; Lau-Laumonit; Mt-Magnetit; Mor-Mordenit; Mik-Mika; Nat-Natrolit; Op-Opal; Pir-Pirit;Ser-Serisit; Sid-Siderit; Sm-Smektit; Stb-Stilbit; Tr-Tremolit; Tri-Tridimit; Ves-Vesuvianit; Wai-Waerakit; Wo-Wolastonit; Zeo-Zeolit

Gambar 2.7 Himpunan mineral alterasi berdasarkan suhu dan pH pembentukannya (Corbett dan Leach, 1997)

Kondisi pH dan temperatur (Gambar 2.7) tertentu dalam suatu sistem endapan hidrotermal akan menghasilkan himpunan mineral tertentu (Corbet dan

Leach 1997). Mineral pada dasarnya akan terbentuk jika kondisinya sesuai dengan kestabilannya sehingga mineral tertentu hanya akan terbentuk pada kondisi tertentu juga.

Penyebaran suatu himpunan mineral alterasi yang sama di suatu daerah disebut sebagai zona alterasi (Guilbert dan Park, 1986). Berdasarkan pada kumpulan mineral, temperatur dan pH fluida hidrotermal, maka zona alterasi dapat dibagi menjadi:

1. Zona Potasik

Zona alterasi potasik merupakan zona yang keberadaannya paling dekat dengan intrusi. Zona alterasi ini suhu fluida hidrotermal yang dapat mencapai lebih dari 300°C dengan tingkat salinitas yang tinggi. Mineral penciri dari zona potasik adalah k-feldspar, biotit sekunder dan magnetit. Zona ini kehadiran aktinolit, epidot, klorit dan anhidrit rutil dan albit muncul dalam jumlah sedikit.

2. Zona Propilitik

Zona propilitik merupakan zona alterasi yang terbentuk pada suhu antara 200°C - 300°C dengan kondisi pH netral – alkali. Zona ini dicirikan dengan kehadiran mineral klorit, kalsit dan epidot. Kehadiran mineral kuarsa, adularia, albit, serisit dan anhidrit juga terkadang dapat dijumpai pada zona ini.

3. Zona Filik

Zona filik merupakan zona alterasi yang terbentuk pada suhu 200°C – 400°C dengan kondisi pH netral hingga asam. Mineral penciri dari zona filik adalah kehadiran mineral kuarsa, serisit dan pirit. Zona filik umumnya terbentuk dekat dengan terbentuknya mineralisasi seperti pada *vein*.

4. Zona Argilik

Zona argilik merupakan zona alterasi yang terbentuk pada suhu <230°C dengan kondisi fluida dengan pH asam-netral. Zona argilik dicirikan dengan kehadiran mineral-mineral lempung seperti kaolinit, montmorilonit, smektit dan illit.

5. Zona Argilik Lanjut

Zona argilik lanjut merupakan zona alterasi yang terbentuk pada suhu 250°C – 350°C untuk temperatur tinggi dengan penciri himpunan mineral berupa pirofilit, diaspor, andalusit, turmalin dan kuarsa. Temperatur rendah dari zona argilik

lanjut berada pada suhu 180°C dengan mineral penciri berupa mineral kaolinit, alunit, kalsedon, kuarsa dan pirit. Zona ini terbentuk oleh pH fluida asam.

2.6 Kestabilan Lereng

Lereng adalah suatu permukaan tanah atau batuan yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap bidang horizontal dan tidak terlindungi (Das 1985). Lereng yang ada secara umum dibagi menjadi dua katagori lereng tanah, yaitu lereng alami dan lereng buatan. Lereng alami terbentuk secara ilmiah yang biasanya terdapat di daerah perbukitan. Sedangkan lereng buatan terbentuk oleh manusia biasanya untuk keperluan konstruksi, seperti tanggul sungai bendungan, tanggul untuk badan jalan. Secara prinsip, pada suatu lereng sebenarnya berlaku dua macam gaya, yaitu: gaya penahan dan gaya penggerak. Gaya penahan yaitu gaya yang menahan massa dari pergerakan sedangkan gaya penggerak adalah gaya yang menyebabkan massa bergerak. Lereng akan longsor jika gaya penggeraknya lebih besar dari gaya penahan. Secara matematis kemandapan suatu lereng dalam dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan (FK) sebagai berikut:

$$Faktor\ Keamanan = \frac{Gaya\ Penahan}{Gaya\ Penggerak} \dots\dots\dots(1)$$

Faktor yang perlu diperhatikan dalam menganalisis kemandapan lereng adalah sebagai berikut:

1. Penyebaran tanah/batuan
2. Relief permukaan bumi
3. Struktur geologi
4. Iklim
5. Geometri lereng
6. Gaya luar (peledakan, lalu lintas kendaraan, dsb)

Dasar-dasar mekanika longsoran terbagi atas:

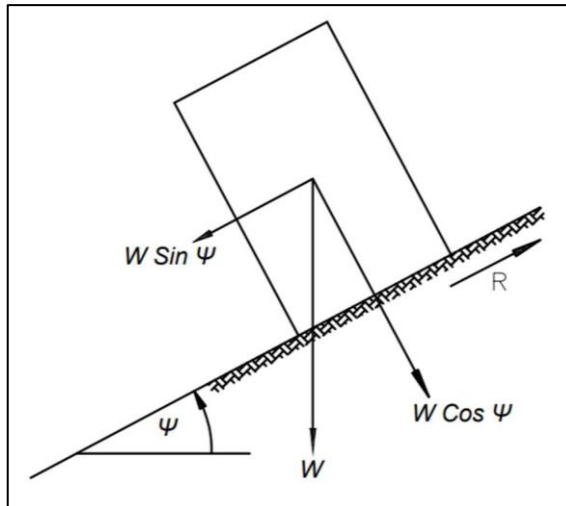
Sudut geser dalam, kohesi dan bobot isi

Sifat-sifat material yang relevan dengan masalah kemandapan lereng ialah sudut geser dalam, kohesi, dan bobot isi. Hubungan tegangan geser dan tegangan normal dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\tau = c' + \sigma \tan \phi' \dots\dots\dots(2)$$

- **Longsor akibat gravitasi**

Pada (Gambar 2.8), memperlihatkan suatu massa dengan berat W berada dalam keadaan setimbang di atas suatu bidang yang membentuk sudut ψ terhadap horizontal.



Gambar 2.8 Komponen gaya berat di Suatu Benda di atas Bidang Miring

Komponen gaya berat yang sejajar bidang miring dan yang cenderung menyebabkan benda menggelincir adalah $W \sin \psi$. Sedangkan komponen yang tegak lurus bidang merupakan gaya yang menahan benda adalah $W \cos \psi$ atau gaya normal. Kemudian tegangan normal dapat diberikan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{\psi' \cos \psi}{A} \dots \dots \dots (3)$$

Jika persamaan 1 disubstitusikan dengan persamaan 2, dihasilkan persamaan sebagai berikut:

$$\pi = c + \frac{(\psi' \cos \psi)}{A} \tan \phi \dots \dots \dots (4)$$

Gaya penahan (R) merupakan perkalian antara tegangan geser terhadap luas dasar benda ($\tau * A$). Maka gaya penahan (R) adalah sebagai berikut:

$$R = c \cdot A + \frac{(\psi' \cos \psi)}{A} \cdot A \tan \phi$$

$$= c \cdot A + W \cos \psi \tan \phi \dots \dots \dots (5)$$

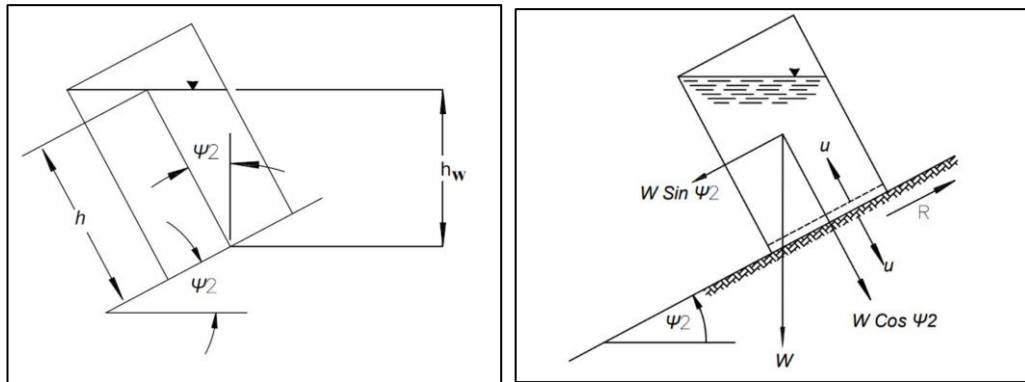
Benda dalam kondisi batas kesetimbangan, jika:

Gaya Penahan = Gaya Penggerak

$$W \sin \psi = c \cdot A + W \cos \psi \tan \phi \dots \dots \dots (6)$$

- **Pengaruh Tekanan Air**

Sebuah bejana diisi air dan diletakan di atas bidang miring seperti terlihat pada (Gambar 2.9). Bejana dan isinya akan mulai tergelincir pada saat $\Psi = \phi$. Dasar bejana saat ini dilubangi sehingga air dapat masuk ke celah antara dasar bejana dan bidang miring memberikan tekanan air sebesar u atau gaya angkat sebesar $U = u \cdot A$ dimana A merupakan luas dasar bejana.



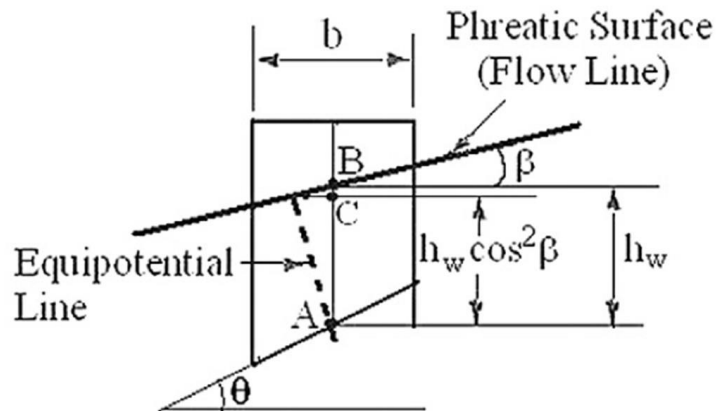
Gambar 2.9 Bejana di Isi Air di Atas Bidang Miring

Gaya angkat U akan mengurangi gaya normal, sehingga gaya yang menahan adalah:

$$R = (W \cos \psi_2 - U) \tan \phi \dots \dots \dots (7)$$

2.6.1 Hu Coefficient

Menurut Huang (2014), tekanan pori di sepanjang permukaan runtuh di bawah kondisi steady state rembesan harus ditentukan dengan menggambar flownet atau lebih tepatnya dengan menggunakan program elemen hingga untuk analisis rembesan.



Gambar 2.10 Pore Pressure Pada Bawah Irisan

(Gambar 2.10) menunjukkan garis permukaan freatik dan garis ekuipotensial yang melalui titik A di dasar irisan. Jika titik B pada permukaan freatik yang terletak tepat di atas titik A berada pada jarak h_w di atas titik A, head tekanan di titik A adalah $h_w \cos^2 \beta$. β adalah kemiringan permukaan di titik B. Ketika piezometer berada di titik A, muka air dalam tabung piezometer akan naik ke titik C pada jarak $h_w \cos 2\beta$ di atas titik A, maka titik C berada pada permukaan piezometer. Tekanan pori di bagian bawah irisan dapat ditulis sebagai berikut:

$$U = \gamma_w \cdot h_w \cdot Hu \dots\dots\dots(8)$$

$$U = \gamma_w \cdot h_w \cdot (\cos^2 \cdot \beta) \dots\dots\dots(9)$$

dimana u = pore pressure, γ_w = unit weight air, h_w = ketinggian air, dan β = kemiringan permukaan freatik. Koefisien Hu dalam software slide dapat dihitung secara otomatis. Untuk permukaan air horizontal maka $\beta=0$ dan $Hu = \cos^2 0 = 1$. Koefisien Hu yang didefinisikan dalam Slide2 hanya lah faktor antara 0 dan 1. $Hu = 1$ akan menunjukkan kondisi hidrostatis, digunakan pada permukaan air horizontal. $Hu = 0$ akan menunjukkan tanah dalam kondisi kering. Penyederhanaan adalah dengan mempertimbangkan permukaan freatik sebagai permukaan piezometer, jadi jika piezometer ditempatkan pada titik A, level air dalam piezometer akan naik ke ketinggian di titik B. Dengan demikian, tekanan pori di titik A dapat dinyatakan secara sederhana sebagai berikut:

$$U = \gamma_w - h_w \dots \dots \dots (10)$$

Mengingat fakta bahwa permukaan freatik sulit untuk memperkirakan dan kadangkadang tidak konservatif, penggunaan persamaan 10 untuk mewakili tekanan pori di bagian bawah irisan sama cocoknya dengan persamaan 9.

2.7 Analisis Kestabilan Lereng

Pada Analisis kestabilan lereng dibutuhkan data-data mengenai sifat-sifat massa batuan secara umum yang terdiri dari berat jenis (*unit weight*), berat jenis jenuh (*saturated unit weight*), tekanan pori dan koefisien getaran/gempa (*sesimic load coefficient*). Selain itu diperlukan juga data-data lainnya, tetapi tergantung pada kriteria kekuatan apa yang digunakan. Pada kriteria Mohr-Coulomb diperlukan data berupa kohesi (*cohesion*) dan sudut geser dalam (*internal friction angle*), dimana kohesi dan sudut geser dalam didapatkan dari pembobotan total kelas massa batuan *rock mass rating*.

2.7.1 Kriteria Keruntuhan Mohr – Coulomb

Kriteria kekuatan massa batuan Mohr Coulomb mengekspresikan kekuatan geser massa batuan pada permukaan bidang digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng. Sudut gesek dalam dan kohesi diperlukan sebagai parameter kuat geser massa batuan pada tiap massa batuan. Kuat geser Mohr-Coulomb (τ) merupakan fungsi dari tegangan normal yang diberikan (σ), didapat dari substitusi kohesi (c') dan sudut gesek dalam (ϕ') pada persamaan berikut:

$$\tau = c' + \sigma \tan \phi' \dots \dots \dots (11)$$

Dalam tegangan utama, plot ekivalen dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\sigma_1' = \frac{2c' \cos \phi'}{1 - \sin \phi'} + \frac{1 + \sin \phi'}{1 - \sin \phi'} \sigma_3 \dots \dots \dots (12)$$

2.7.2 Kriteria Keruntuhan Generalized Hoek - Brown

Hoek and Brown mengembangkan metode empiris untuk menentukan kekuatan pada massa batuan yang terkekarkan. Kriteria tersebut dimulai dari sifat batuan utuh dan faktor reduksi berdasarkan karakteristik kekar pada batuan. Pada

permasalahan geoteknik, analisis kestabilan lereng lebih mudah ditangani dengan tegangan geser dan tahanan normal dibandingkan dengan tegangan utama yang digunakan pada kriteria Hoek-Brown original, dengan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} \right)^{0.5} \dots\dots\dots(13)$$

Dimana, σ_{ci} adalah kuat tekan uniaksial dari batuan utuh, m dan s adalah konstanta material,

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \dots\dots\dots(14)$$

Dimana, m_b adalah nilai reduksi dari batuan utuh, yang diperoleh dari persamaan:

$$m_b = m_i \exp \left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right) \dots\dots\dots(15)$$

Nilai konstanta dari massa batuan yaitu s dan a , diperoleh dari persamaan:

$$S = \exp \left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D} \right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{3}} \right) \dots\dots\dots(16)$$