

**STUDI KEMANTAPAN LERENG JALAN PADA KM 42.00 ± 500
BERDASARKAN PENDEKATAN PROBABILISTIK KECAMATAN
PARANGLOE KABUPATEN GOWA.**

*STUDY OF ROAD SLOPE STABILITY AT KM 42.00 ± 500 BASED ON
PROBABILITY OF FAILURE METHODE APPROACH OF PARANGLOE
DISTRICT, GOWA REGENCY.*

HEDIANTO



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

GOWA

2020

**STUDI KEMANTAPAN LERENG JALAN PADA KM 42.00 ± 500
BERDASARKAN PENDEKATAN PROBABILISTIK KECAMATAN
PARANGLOE KABUPATEN GOWA.**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister

Program studi

Teknik geologi

Disusun dan diajukan oleh

HEDIANTO

Kepada

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2020

TESIS

**STUDI KEMANTAPAN LERENG JALAN PADA KM 42.00 ± 500
BERDASARKAN PENDEKATAN PROBABILISTIK KECAMATAN
PARANGLOE KABUPATEN GOWA**

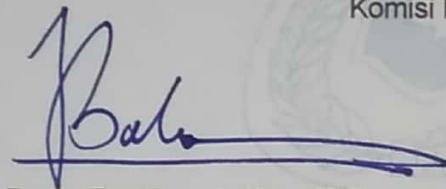
Disusun dan diajukan oleh

HEDIANTO
Nomor Pokok P3000216001


telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
Pada tanggal, 02 Januari 2020
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Penasihat,

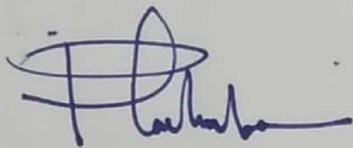


Dr. Ir. Busthan Azikin. M.T
Ketua



Dr. Ir. Hj. Ratna Husain L. M.T
Anggota

Ketua Program Studi
Magister Teknik Geologi
Universitas Hasanuddin,



Dr. Ir. Hj. Ratna Husain L. M.T

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin,



Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Hedianto
Nomor mahasiswa : P3000216001
Program studi : Teknik Geologi

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa hasil penelitian yang saya tulis ini benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis penelitian ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 02 – Januari – 2020

HEDIANTO

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga tesis dengan judul “Studi Kemantapan Lereng Jalan Pada Km 42.00 ± 500 Berdasarkan Pendekatan Probabilistik Kecamatan Parangloe Kabupaten Gowa.”, dapat diselesaikan.

Pemikiran yang melatarbelakangi permasalahan ini yakni banyaknya kejadian tanah longsor yang menyebabkan gangguan akses pada ruas jalan. Penulis bermaksud untuk menjelaskan secara detail satu contoh lereng yang memiliki potensi mengalami tanah longsor sehingga membuka wawasan kita dalam bahaya bencana alam ini.

Pada kesempatan ini penulis tidak lupa mengucapkan rasa hormat dan terima kasih kepada Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T sebagai Pembimbing Utama Dr. Ir. Hj. Ratna Husain, L., M.T. sebagai Pembimbing Pendamping dan sebagai Ketua Program Studi Pascasarjana Teknik Geologi, atas segala curahan ilmu, saran pemikiran, motivasi dan nasehatnya sehingga tesis ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya. Terimakasih kepada Dr.Eng. Asri Jaya HS, ST., M.T sebagai Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas bantuan yang telah diberikan kepada penulis dalam rangka pengumpulan informasi mengenai permasalahan terkait penelitian ini. Terimakasih kepada Dr.Eng. Hendra Pachri. S.T., M.Eng., Dr.Eng. Asri Jaya HS, S.T., M.T., dan Dr. Sufriadin,

S.T., M.T., selaku penguji. Terimakasih kepada para Staf Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin yang telah memberikan bimbingannya. Terimakasih kepada para Staf Administrasi Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin. Terimakasih kepada kedua orang tua penulis atas segala dukungan yang telah diberikan kepada penulis dan juga istri tercinta penulis selama menjalani pendidikan dan penelitian. Terimah kasih kepada teman-teman mahasiswa Magister Teknik Geologi Universitas Hasanuddin angkatan 2016, 2017, dan 2018, serta seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, atas segala bantuan dan motivasi yang diberikan selama ini.

Akhir kata, semoga penyusunan tesis ini dapat bermanfaat bagi seluruh pembaca, khususnya bagi penulis. Amin.

Gowa, 02 Januari 2020

Hedianto

ABSTRAK

HEDIANTO. *Studi Karakteristik Kemantapan Lereng Jalan Pada Km 42.00 ± 500 Berdasarkan Pendekatan Probabilistik Kecamatan Parangloe Kabupaten Gowa..* (dibimbing oleh Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T dan Dr. Ir. Hj. Ratna Husain L, M.T)

Penelitian ini bertujuan mengkaji (1) Mengkaji karakteristik kualitas massa batuan dan menentukan tipe longsoran pada area penelitian menggunakan software Dips 6.0. (2) Mengkaji probabilitas kelongsoran dan nilai faktor keamanan serta estimasi kecepatan maksimum yang terjadi pada saat terjadi gerakan tanah menggunakan software Risk 7.6, Slide 6, dan Origin 2019. (3) Melakukan proses trial and error, dengan metode relieving bench high dan relieving bench slope untuk menentukan variabel yang paling sensitif terhadap perubahan nilai faktor keamanan lereng.

Penelitian ini dilaksanakan di Kawasan/Kecamatan Parangloe KM 42.00 ± 500 Kabupaten Gowa. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah pengumpulan data atau referensi yang terkait dengan penelitian. Survey lapangan dan pengambilan data lapangan berupa data geometri lereng, kekar, litologi, dan sampel tanah dan batuan. Data dianalisis dengan menggunakan dua cara, pertama metode empirik yakni pengamatan, pengukuran, dan interpretasi kondisi geologi yang sebenarnya di lapangan, kedua metode analitik hasil pengambilan data lapangan kemudian dianalisis menggunakan *software* Slide 6.0, Dips 6.0, Microsoft excel dan Risk 7.

Hasil penelitian menunjukkan jenis longsoran pada daerah penelitian adalah bidang. Massa batuan melalui klasifikasi *slope mass rating* menunjukkan lereng tersebut bersifat jelek karena masuk dalam kategori massa batuan kelas II dengan nilai 33 yang rentan terjadi gerakan tanah. Nilai probabilitas kelongsoran pada lereng rata-rata nilainya di atas 50% dan FK 0.9, estimasi kecepatan maksimal ketika terjadi longsor yakni 12.48 m/s, dan sudut gesek dalam batuan basal merupakan parameter yang paling sensitif terhadap perubahan nilai faktor keamanan (FK).

ABSTRACT

HEDIANTO. Study of the Characteristics of Road Slope Stability at Km 42.00 ± 500 Based on Probabilistic Approach in Parangloe District, Gowa Regency (guided by Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T and Dr. Ir. Hj. Ratna Husain L, M.T)

This study aims to examine (1) Assess the characteristics of rock mass quality and determine the type of avalanche in the study area using Dips 6.0 software. (2) Assess the probability of landslide and safety factor values and the estimated maximum speed that occurs during ground motion using the matlab software R15, Slide 6, and Origin 2019. (3) Carry out trial and error processes, using the relieving bench high and relieving bench methods slope to determine which variable is most sensitive to changes in the value of the slope safety factor.

This research was conducted in the Region / District of Parangloe KM 42.00 ± 500 Gowa Regency. The method used in this study is the collection of data or references related to research. Field survey and field data collection in the form of slope, burly geometry, lithology and rock sample data. Data were analyzed using two methods, first the empirical method of observation, measurement, and interpretation of actual geological conditions in the field, the second analytic method of field data collection results were then analyzed using Slide 6.0 software, Dips 6.0, Microsoft Excel and Risk 7.

The results showed the type of avalanche in the study area is a field. Rock mass through the slope mass rating classification shows that the slope is ugly because it falls into the category of class II rock mass with a value of 33 that is prone to ground movement. The probability of landslides on the slope has an average value above 50% and FK 0.9, the estimated maximum speed when landslides occur at 12.48 m / s, and the friction angle in the basalt rock is the most sensitive parameter for changes in the value of safety factor (FK).

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN TUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	iv
PRAKATA	v
ABSTRAK	vii
ABTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	3
E. Ruang Lingkup Penelitian	4
F. Defenisi dan Istilah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Geologi Lokal Daerah Penelitian	6
B. Geomorfologi Daerah Penelitian	6
C. Stratigrafi Daerah Penelitian	7
D. Gerakan Tanah	7
E. Jenis-Jenis Longsoran	11
F. Klasifikasi Massa Batuan	16
G. Klasifikasi Massa Batuan Untuk Lereng	20
H. Stereonet	22
I. Metode Kesetimbangan Batas	23

J.	Distribusi Probabilitas	27
K.	Metode Probabilitas Dan Sensitivitas	29
L.	Model Fisika Longsor	37
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	39
A.	Lokasi Penelitian	39
B.	Tahapan Dan Metode Penelitian	40
1.	Tahapan studi pendahuluan	41
2.	Tahapan pekerjaan lapangan	41
3.	Tahapan pekerjaan laboratorium	45
4.	Tahapan pengolahan dan analisis data	52
5.	Tahapan penulisan hasil penelitian	53
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	55
1.	Litologi area penelitian	55
2.	Analisis bidang kekar	56
3.	<i>Slope Mass Rating (SMR)</i> dan <i>Rock Mass Rating (RMR)</i>	59
4.	Probabilitas Kelongsoran (PK)	70
5.	Estimasi kecepatan maksimal	82
6.	<i>Relieving bench slope and relieving bench high</i>	84
7.	Analisis Sensitivitas	88
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	92
A.	Kesimpulan	92
B.	Saran	93
	DAFTAR PUSTAKA	94
	LAMPIRAN A	98
	LAMPIRAN B	104
	LAMPIRAN C	105

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
1. Kondisi umum longsoran bidang (Hoek & Bray .1981)	12
2. Geometri longsoran baji (Hoek & Bray .1981)	14
3. Model longsoran guling untuk model kesetimbangan batas	14
4. Geometri longsoran busur (Hoek & Bray, 1981)	16
5. Tipikal profil kekasaran kekar dan rekomendasi penamaannya	19
6. Pengukuran strike dan dip (Wyllie dan Mah, 2004)	22
7. Kriteria runtuh Mohr-Coulomb	25
8. Konsep probabilitas kelongsoran dan besaran ketidakpastian	30
9. Studi kasus kestabilan lereng (Hoek dan Bray, 1974)	32
10. Flow chart simulasi Monte Carlo guna perhitungan PK	36
11. Simulasi model fisika longsor sederhana	37
12. Peta geologi daerah penelitian	39
13. Peta topografi daerah penelitian	40
14. Keadaan lereng daerah penelian	42
15. Pengukuran kekar di lapangan	43
16. Keadaan kekar dilapangan	44
17. <i>Direct shear</i> batuan	49
18. <i>Uniaxial compressive strength</i> .	51
19. Bagan alir penelitian	54

20. Singkapan batuan di lapangan	55
21. Dimensi lereng	56
22. Bidang diskontinuitas JS 1 pada lereng	57
23. Bidang diskontinuitas JS 2 pada lereng	58
24. Pengujian UCS	69
25. Rangkaian nilai parameter berat volume	72
26. Rangkaian nilai parameter kohesi	73
27. Rangkaian nilai parameter sudut gesek dalam	75
28. Hasil simulasi Monte Carlo	78
29. Hubungan antara nilai PK dan jumlah iterasi	80
30. Hubungan antara nilai FK dan jumlah iterasi	81
31. Estimasi kecepatan maksimum longsoran	83
32. Model Relieving bench slope and relieving bench high	84
33. Grafik hubungan probabilitas lereng dan kemiringan lereng	86
34. Sensitivitas material	91
35. Densitas material	91

DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
1. Derajat Pelapukan Batuan	11
2. <i>Rock Mass Rating</i> (Bieniawski, 1973)	18
3. Bobot pengaturan untuk kekar, F1, F2 dan F3	21
4. Rekomendasi FK minimum	24
5. Cara analisis kestabilan lereng	26
6. Ambang batas PK lereng tambang (SRK, 2010)	33
7. Kriteria PK pada lereng secara umum	33
8. Parameter uji properties material	52
9. Klasifikasi kuat tekan (Bieniawski, 1973)	60
10. Klasifikasi kualitas batuan berdasarkan RQD (Deree, 1964)	61
11. Klasifikasi spasi kekar (Attewell, 1993)	62
12. Klasifikasi persistensi (ISRM, 1981)	63
13. Hasil pembobotan RMR	65
14. Deskripsi untuk setiap kelas SMR (Romana, 1985)	68
15. Rekomendasi sistem penyangga untuk kestabilan lereng	69
16. Rekapitulasi masing-masing fungsi distribusi berat volume	73
17. Rekapitulasi masing-masing fungsi distribusi kohesi	74
18. Rekapitulasi masing-masing fungsi distribusi SGD	76

19. Data statistik tiap parameter berdasarkan hasil pengolahan dengan software Risk 7.6	76
20. Derajat kepercayaan kritis	77
21. Variasi kemiringan lereng dan tinggi lereng diposisi 17 meter	84
22. Variasi kemiringan lereng dan tinggi lereng diposisi 14 meter	85
23. Variasi kemiringan lereng dan tinggi lereng diposisi 11 meter	85
24. Variasi kemiringan lereng dan tinggi lereng diposisi 9 meter	85

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor

Halaman

1. Lampiran A	92
2. Lampiran B	99
3. Lampiran C	100

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Zaman ini pendirian suatu konstruksi terus berkembang seiring dengan kebutuhan manusia terhadap kegiatan tersebut yang terus meningkat. Lebih lanjut lagi, kegiatan konstruksi tersebut pada umumnya mengredisain lereng batuan agar sesuai dengan rencana yang telah ditetapkan sebelumnya. Namun perlu dipahami bahwa dengan adanya kegiatan ekskavasi pada lereng, batuan cenderung menjadi kurang atau bahkan tidak stabil (Lenusa, 2018). Potensi keruntuhan lereng batuan (*rock slope failure*) semakin meningkat, antisipasi yang dilakukan yakni pemasangan dinding beton disekitar lereng tapi faktanya antisipasi dalam mencegah terjadinya gerakan tanah pada lereng sangat tidak efektif seperti halnya beberapa kasus di Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan.

Pada kasus kestabilan lereng terdapat beberapa parameter yang patut ditinjau secara empirik dan analitik, yakni keadaan pada bidang diskontinuitas, massa batuan, litologi, air tanah, pelapukan, *material properties*, dan keadaan topografi. Pada era 1990an hingga sekarang analisis perancangan berbagai kemantapan lereng tanah dan batuan didasarkan pada analisis model secara deterministik, meskipun pendekatan

secara deterministik telah dipakai secara luas, pada kenyataannya, hampir seluruh propertis tanah dan batuan sangat bervariasi dan kemungkinan bersifat homogen sangat jarang terjadi (Listyawan, 2006). Konsep analisis dengan pendekatan probabilitas kelongsoran menjadi solusi mutakhir untuk mengatasi kurang telitinya model deterministik. Berbeda dengan cara deterministik yang hanya menggunakan satu nilai propertis tanah dan batuan tertentu yang dianggap mewakili, konsep probabilitas kelongsoran memakai semua data propertis tanah dan batuan yang ada mengakomodasi setiap variasi yang terjadi. Kecamatan Parangloe di Kabupaten Gowa merupakan daerah yang tingkat pelapukan tinggi disebabkan tingginya intensitas hujan pada daerah tersebut (Chalid, 2015). Gerakan tanah terjadi karena tingginya pelapukan pada batuan tufa dan brekasi vulkanik (Imran, dkk., 2012).

Suatu hal yang mengundang berbagai peneliti untuk membahas mengenai geoteknik khususnya kestabilan lereng ialah suatu ketidakpastian berupa variabilitas diberbagai material yang melekat pada sifat geoteknik (Arif, 2017). Hal ini juga membuat peneliti untuk mengkaji mengenai karakteristik kemantapan lereng berdasarkan konsep probabilitas kelongsoran.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik lereng dan potensi longsoran yang ditinjau kualitas massa batuan?

2. Bagaimana potensi longsoran pada lereng yang ditinjau dari probabilitas kelongsoran dan estimasi kecepatan maksimum?
3. Bagaimana proses *treatment* dan analisis sensitivitas pada lereng.

C. Tujuan Penelitian

1. Mengkaji karakteristik kualitas massa batuan dan menentukan tipe longsoran pada area penelitian menggunakan *software Dips 6.0*.
2. Mengkaji probabilitas kelongsoran dan nilai faktor keamanan serta estimasi kecepatan maksimum yang terjadi pada saat terjadi gerakan tanah menggunakan *software Risk 7, Slide 6, dan Origin 2019*
3. Melakukan proses *trial and error*, dengan metode *reliefing bench high* dan *reliefing bench slope* untuk menentukan variabel yang paling sensitif terhadap perubahan nilai faktor keamanan lereng.

D. Manfaat penelitian

1. Teoritis

Penelitian ini menjelaskan mengenai potensi gerakan tanah pada ruas Jalan Poros Malino secara empirik dan analitik, untuk dapat menentukan sistem prefentif yang dapat dipakai dalam menurunkan potensi terjadinya gerakan tanah pada kawasan tersebut.

2. Praktis

Data dalam penelitian ini dapat memberi manfaat mengenai kajian tentang mitigasi bencana geologi kepada dinas-dinas terkait, serta memberi manfaat dari sektor ekonomi dan sosial.

E. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup/batasan dari studi atau penelitian ini yakni pada satu lereng dengan jenis lereng yaitu lereng tunggal. Pengambilan data berupa data kekar, geometri lereng, litologi, dan sampel batuan. Menganalisis kondisi lereng dan kestabilan lereng tanpa memperhitungkan pengaruh dari laju infiltrasi, keberadaan air tanah, beban statik, dan beban dinamik pada lereng.

F. Defenisi dan Istilah

Probabilistic of failure = Presentase dari *trial slip surface* yang memiliki nilai faktor keamanan dibawah 1.0, nilai probabilitas kelongsoran memberikan koreksi terhadap nilai faktor keamanan lereng.

Safety factor = Perbandingan antara gaya penahan terhadap gaya penggerak, bila faktor penahan lebih besar daripada faktor penggerak maka lereng stabil. Sebaliknya jika faktor penggerak lebih besar dari faktor penahan maka lereng tidak stabil.

Sensitivity = Parameter suatu material yang memberikan pengaruh besar terhadap kenaikan nilai faktor keamanan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Geologi Lokal Daerah Penelitian

Penjelasan tentang tinjauan geologi lokal pada daerah penelitian didasari oleh peta geologi lokal daerah Kecamatan Parangloe, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan. Daerah Parangloe merupakan daerah yang memiliki ciri batuan beku yang khas yaitu basal porphyri (Sukanto, dkk.,1982). Basal porphyri termasuk batuan dari formasi baturappe yang berasal dari lelehan lava gunung api Baturappe. Dapat dikatakan basal porphyri karena komposisi mineral yang menjadi penokris adalah piroksin yang sebagaimana terbentuk terlebih dahulu saat proses magmatik di dalam bumi. Setelah itu terjadi erupsi yang sangat besar sehingga magma yang mengandung piroksin keluar dan terbawa oleh air ke Sungai Jeneberang. Karena proses pembekuan secara tiba-tiba sehingga kristal-kristalnya tidak dapat menyusun dengan baik dan terbentuk struktur batuan dengan granularitas faneritik.

B. Geomorfologi Daerah Penelitian

Geomorfologi Parangloe merupakan daerah dataran tinggi pegunungan yang memiliki aliran sungai dengan berbagai stadia, dan merupakan juga area perbukitan.

C. Stratigrafi Daerah Penelitian

Satuan batuan berumur Pliosen tengah menyusun formasi gunung api Baturape Cindako, terdiri atas lava dan breksi dengan sisipan sedikit tufa dan konglomerat bersusunan basal. Sebagian besar porfiri dengan fenokris piroksen besar-besar sampai 1 cm.

D. Gerakan Tanah

Gerakan tanah yakni berpindahnya massa tanah atau batuan pada arah tegak, mendatar atau miring dari kedudukannya semula (Hadiwidjono, 1992). Berbagai jenis gerakan tanah menurut Varnes (1978) dapat disebut longoran, jika bahan yang bergerak itu seakan akan dengan tiba-tiba meluncur ke bawah. Runtuhan, jika bahan itu ibaratnya jatuh bebas, seperti massa batuan pada dinding yang curam (mendekati tegak), yang sekonyong-konyong jatuh. Kita berhadapan dengan nendatan jika tanah atau batuan yang tersangkut adalah massa yang belum terlepas dari ikatannya; jadi seakan-akan masih merupakan gumpalan-gumpalan besar. Amblasan sering dapat kita saksikan pada jalan yang tadinya rata tiba-tiba menurun, entah karena di bawah ada rongga, atau karena di bagian lain ada yang terdesak. Rayapan yaitu gerakan massa tanah atau batuan secara perlahan lahan. Sedangkan aliran yaitu campuran gerakan dan transportasi massa tanah atau batuan.

Longsoran memiliki berbagai dasar yang terdapat didalamnya, klasifikasi longsoran dapat diurutkan sebagai berikut:

1. Jenis dari material
2. Morfologi dari material
3. Karakteristik geomekanik
4. Kecepatan dan lama dari gerakan
5. Bentuk dari permukaan longsoran (bidang, baji, busur)
6. Volume yang dilibatkan
7. Umur dari longsoran
8. Penyebab longsoran
9. Mekanisme longsoran

Gerakan tanah memiliki berbagai pemicu sehingga tanah tersebut berpotensi untuk bergerak. Dalam berbagai kajian diantaranya Terzaghi (1950) dalam Arif (2017), menyatakan bahwa untuk mengklasifikasikan penyebab sebagai pemicu adalah tidak bijaksana apabila kejadian perpindahan tergantung pada kondisi dan kejadian tersebut sudah berlangsung selama beberapa hari atau beberapa minggu. Sebagai gambaran, penulis ini hanya mengklasifikasikan penyebab gerakan massa tanah atau batuan sebagai penyebab eksternal, internal dan kombinasi keduanya.

Secara umum di daerah tropis seperti Indonesia, penyebab utama longsoran lereng adalah air, baik tekanan air dalam rekahan, alterasi mineral

maupun erosi dari lapisan lunak (Hantz, 1988). Selanjutnya penyebab utama lainnya diperkirakan oleh adanya kekar yang mengalami pelapukan. Dari uraian di atas dapat disimpulkan penyebab dari longsor dapat dikategorikan dalam tiga faktor, yakni: geometrik, hidraulik, dan mekanik.

Menurut Terzaghi (1950) dalam Arif (2017) penyebab gerakan massa tanah dan batuan yaitu:

1. Penyebab eksternal
 - a. Perubahan geometri lereng: pemotongan kaki lereng, erosi, perubahan sudut kemiringan, panjang, dll.
 - b. Pembebasan beban: erosi, penggalian.
 - c. Pembebanan: penambahan material, penambahan tinggi.
 - d. *Shock* dan vibrasi: buatan, gempa bumi, dll.
 - e. Penurunan permukaan air.
 - f. Perubahan kelakuan air: hujan, tekanan pori, dll.
2. Penyebab internal
 - a. Longsor, progresif: mengikuti ekspansi lateral, *fissuring* dan erosi.
 - b. Pelapukan.
 - c. Erosi (*seepage*): solution, pemipaan (piping).

Kemantapan lereng, baik lereng alami maupun lereng buatan (oleh kerja manusia), dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dapat dinyatakan secara sederhana sebagai gaya-gaya penahan dan gaya-gaya penggerak yang

bertanggung jawab terhadap kemantapan lereng tersebut. Dalam keadaan gaya penahan (terhadap longsoran) lebih besar dari gaya penggerakannya, maka lereng tersebut akan berada dalam keadaan yang mantap (stabil). Tetapi apabila gaya penahan menjadi lebih kecil dari gaya penggerakannya, maka lereng tersebut menjadi tidak mantap dan longsoran akan terjadi. Sebenarnya, longsoran tersebut merupakan suatu proses alam untuk mendapatkan kondisi kemantapan lereng yang baru (keseimbangan baru), dimana gaya penahan lebih besar dari gaya penggerakannya. Untuk menyatakan/memberikan bobot (tingkat) kemantapan suatu lereng dikenal apa yang disebut dengan Faktor Keamanan (*safety factor*), yang merupakan perbandingan antara besarnya gaya penahan dengan gaya penggerak longsoran; dan dinyatakan sebagai berikut: apabila harga F untuk suatu lereng > 1.0 ; yang artinya gaya penahan $>$ gaya penggerak, maka lereng tersebut berada dalam keadaan mantap/aman. Tetapi apabila harga $F < 1.0$; yang artinya gaya penahan $<$ gaya penggerak, maka lereng tersebut berada dalam kondisi tidak mantap dan mungkin akan terjadi longsoran pada lereng yang bersangkutan (Arif, 2017).

Pelapukan adalah proses perubahan dan penghancuran batuan dan tanah dipermukaan bumi atau dekat permukaan bumi oleh proses fisika, kimia dan biologi (Zhao, dkk., 1994). Keterdapatannya batuan yang mengalami pelapukan dapat dilihat dari tekstur fisik batuan tersebut. Hal ini dapat dilihat dari derajat pelapukan pada tabel 2.1:

Tabel 2.1. Derajat Pelapukan Batuan Menurut (Wyllie dan Mah, 2004)

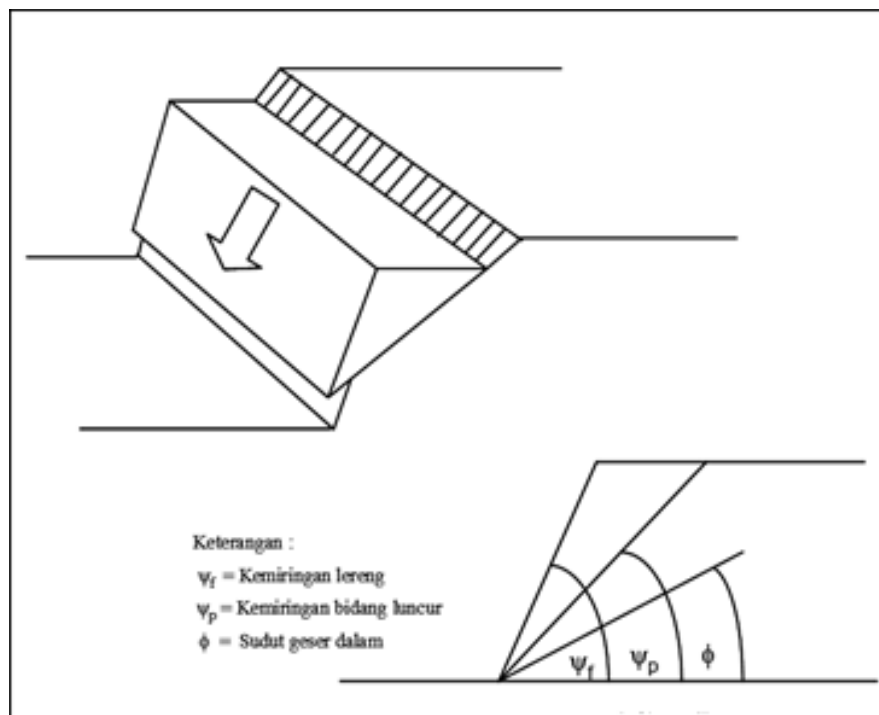
Tingkat (<i>grade</i>)	Istilah	Keterangan
I	Belum lapuk	Tidak tampak gejala adanya pelapukan permukaan batuan dan belum tampak perubahan.
II	Agak lapuk	Sebagian telah terjadi perubahan warna pada batuan dan permukaan rekahan
III	Lapuk sedang	Kurang dari setengah tubuh batuan telah berubah warna menjadi abu-abu
IV	Lapuk tinggi	Lebih dari setengah tubuh batuan telah berubah warna, berubah komposisi menjadi tanah
V	Lapuk sempurna	Semua tubuh batuan telah berubah komposisi atau telah tersintegrasi menjadi tanah
VI	Tanah residu	Semua tubuh batuan telah menjadi tanah, tekstur dan struktur sudah tidak tampak. Belum tampak gejala material mengalami transportasi.

E. Jenis-jenis Longsoran

1. Longsoran bidang

Longsoran bidang ini, bila dibandingkan dengan longsoran lainnya relatif jarang terjadi. Namun bila kondisi yang menunjang terjadinya longsoran bidang ada, maka longsoran yang terjadi mungkin akan lebih besar (secara volume) daripada longsoran baji. Oleh karena itu, pengetahuan akan analisis longsoran bidang sangat diperlukan. Adapun beberapa kondisi yang dapat menyebabkan longsoran bidang terjadi dapat diurutkan sebagai berikut:

- a. bidang gelincir mempunyai *strike* sejajar atau hampir sejajar (maksimal 20) dengan *strike* lereng;
- b. jejak bagian bawah bidang lemah yang menjadi bidang gelincir harus muncul di muka lereng, dengan kata lain kemiringan bidang gelincir lebih kecil dari pada kemiringan lereng;
- c. kemiringan bidang gelincir lebih kecil dari pada kemiringan lereng;
- d. kemiringan bidang gelincir lebih besar dari pada sudut gesek dalamnya;
- e. harus ada bidang *release* yang menjadi pembatas di kanan kiri blok yang menggelincir.



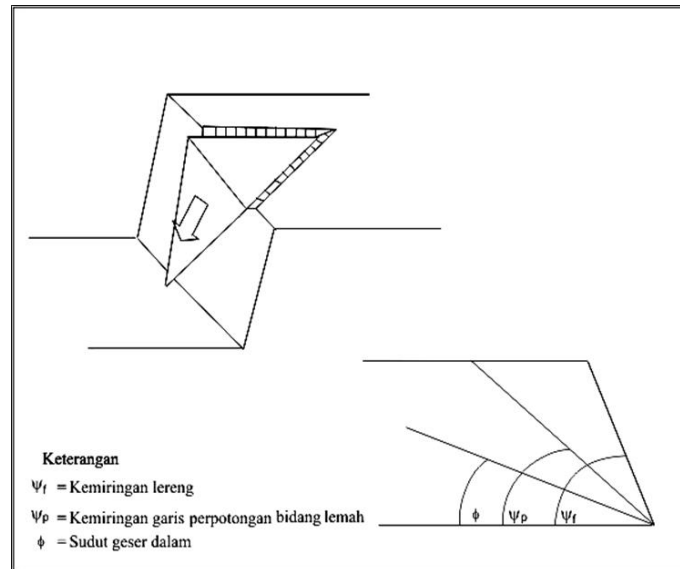
Gambar 2.1. Kondisi umum longsor bidang (Hoek & Bray, 1981)

2. Longsoraji

Berbeda dengan longsoraji bidang, longsoraji baji akan terjadi bila ada dua bidang lemah atau lebih berpotongan sedemikian rupa sehingga membentuk baji terhadap lereng. Persyaratan lain yang harus terpenuhi untuk terjadinya longsoraji baji adalah bila sudut lereng lebih besar dari pada sudut garis potong kedua bidang lemah tersebut ($\Psi_f > \Psi_i$) dan sudut garis potong kedua bidang lemah lebih besar dari pada sudut gesek dalamnya.

Syarat terjadinya longsoraji baji dijelaskan sebagai berikut:

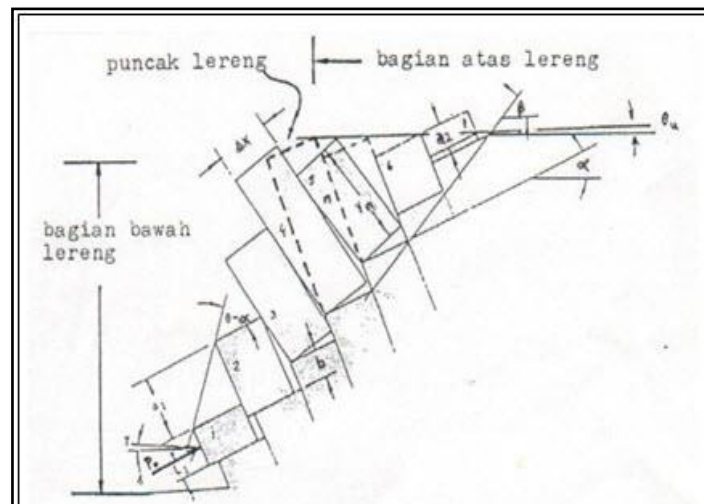
- a. Terdapat dua bidang lemah yang saling berpotongan (joint set 1 dan joint set 2)
- b. Sudut menunjang garis perpotongan bidang lemah (dip kekar) lebih kecil dari sudut kemiringan lereng ($\Psi_f > \Psi_p$)
- c. Sudut menunjang garis perpotongan bidang lemah (dip kekar) lebih besar dari sudut gesek dalamnya ($\Psi_p > \emptyset$)



Gambar 2.2. Geometri longsor baji (Hoek & Bray, 1981)

3. Longsoran guling

Longsoran guling ini terjadi apabila bidang-bidang lemah yang hadir di lereng mempunyai kemiringan yang berlawanan dengan kemiringan lereng. Adapun longsoran guling dapat dilihat pada gambar 2.3



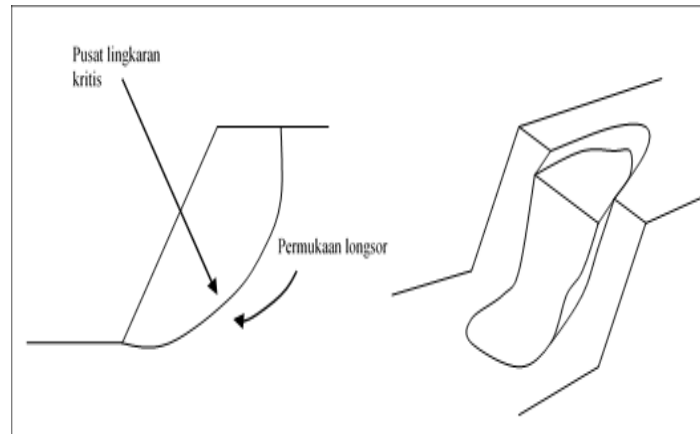
Gambar 2.3. Model longsoran guling untuk model kesetimbangan batas (Hoek & Bray, 1981)

4. Longsoran busur

Longsoran jenis ini banyak terjadi pada lereng batuan lapuk atau sangat terkekarkan dan di lereng-lereng timbunan. Bentuk bidang gelincir pada longsoran jenis ini akan menyerupai busur bila digambarkan pada penampang melintang.

Metode yang paling banyak untuk menganalisa longsoran jenis ini adalah metode Fellenius atau Swedia dan metode Bishop. Namun untuk keperluan praktis, Hoek dan Bray (1981) telah menuangkan dalam bentuk diagram. Cara ini merupakan cara yang sangat mudah, cepat, dan hasilnya masih dapat dipertanggungjawabkan. Cara ini terutama tergantung pada:

- a. Jenis tanah/batuan, dalam hal ini tanah/batuan dianggap homogen dan kontinyu;
- b. Longsoran yang terjadi menghasilkan bidang luncur berupa busur lingkaran;
- c. Tinggi permukaan air tanah pada lereng.



Gambar 2.4. Geometri longsor busur (Hoek & Bray, 1981)

F. Klasifikasi Massa Batuan

Klasifikasi massa batuan yang terdiri dari beberapa parameter sangat cocok untuk mewakili karakteristik massa batuan. Khususnya sifat-sifat bidang lemah atau kekar dan derajat pelapukan massa batuan. Atas dasar ini sudah banyak usulan atau modifikasi klasifikasi massa batuan yang dapat digunakan untuk merancang kemantapan lereng. Pada umumnya klasifikasi tersebut mencoba menghubungkan parameter sudut kemantapan lereng dengan bobot klasifikasi massa batuan untuk berbagai tinggi lereng. Romana (1985) menekankan deskripsi detail dari kekar untuk melihat potensi kelongsorannya dan pengaruh cara penggalian terhadap kemantapan lereng.

Rock Mass Rating (RMR) disebut juga *Geomechanics Classification* dibuat oleh Bieniawski (1973). Klasifikasi ini sudah dimodifikasi beberapa kali sesuai dengan adanya data baru agar dapat digunakan untuk berbagai kepentingan dan sesuai dengan standar Internasional. RMR terdiri dari lima

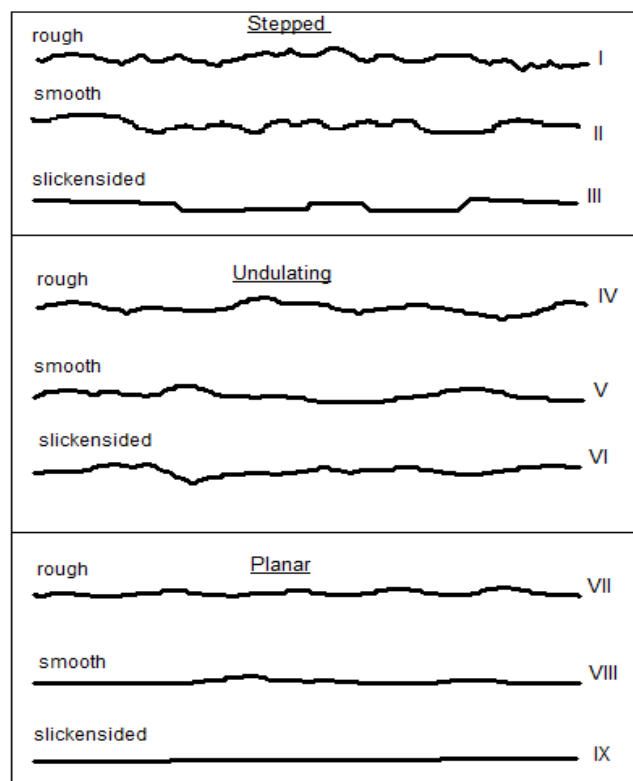
parameter untuk mengklasifikasi massa batuan (Tabel 2.2) yaitu, UCS, RQD, jarak kekar (*discontinuity*), kondisi kekar, dan kondisi air tanah. Pada dasarnya pembuatan klasifikasi massa batuan bertujuan;

1. Mengidentifikasi parameter-parameter penting yang mempengaruhi perilaku massa batuan.
2. Membagi formasi massa batuan ke dalam grup yang mempunyai perilaku sama menjadi kelas massa batuan.
3. Memberikan dasar-dasar untuk pengertian karakteristik dari setiap kelas massa batuan.
4. Menghubungkan pengalaman dari kondisi massa batuan di satu lokasi dengan lokasi lainnya.
5. Mengambil data kuantitatif dan pedoman untuk rancangan rekayasa (*engineering*).

Tabel 2.2. *Rock Mass Rating* (Bieniawski, 1973)

Parameter			Selang pembobotan						
1	Kuat tekan	PLI (MPa)	> 10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	Gunakan nilai UCS		
	batuan utuh	UCS (MPa)	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5-25	1-5	<1
	Bobot		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
	Bobot		20	17	13	8	3		
3	Jarak kekar		> 2 m	0.6-2 m	0.2-0.6 m	0.06-0.2 m	< 0.06 m		
	Bobot		20	15	10	8	5		
4	Kondisi kekar		muka sgt kasar, tak menerus, tak terpisah, dinding tak lapuk	muka agak kasar pemisahan < 1 mm, dinding agak lapuk	muka agak kasar pemisahan < 1 mm, dinding sangat lapuk	muka sliksided gouge < 5 mm, pemisahan 1-5 mm, menerus	gouge lunak > 5 mm pemisahan > 5 mm, menerus		
	Bobot		30	25	20	10	0		
5	Air tanah	Aliran per 10 m panjang singkapan (Lt/men)	kosong	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		Tekanan air/tegangan utama major	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Kondisi umum	Kering	Lembab	Basah	Netes	Mengalir		
	Bobot		15	10	7	4	0		

Karena isian kekar bisa terdiri dari kuarsa, lempung, karbonat, kaolin, khlorit atau sedimen serta kekasarannya juga berbeda maka evaluasi kondisi kekar harus mengikuti standar yang sudah ada yang diberikan oleh ISRM (1981) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Tipikal profil kekasaran kekar dan rekomendasi penamaannya (ISRM, 1981). Panjang profil antara 1 hingga 10 m; skala vertikal dan horizontal sama.

Kondisi air tanah yang ditemukan pada survey data kekar harus diidentifikasi sesuai dengan penjelasan pada Tabel 2.2 yaitu, kering (*completely dry*), lembab (*damp*), basah (*wet*), menetes (*dripping*) dan mengalir (*flowing*).

G. Klasifikasi Massa Batuan Untuk Kemantapan Lereng

Persamaan mengenai parameter-parameter yang sering digunakan untuk persoalan kemantapan lereng. Bieniawski (1973) pada saat membuat RMR tidak bermaksud untuk digunakan pada evaluasi kemantapan lereng. Alasannya mungkin karena tingginya bobot pengatur orientasi kekar, yaitu bervariasi dari 60 hingga 100.

Penggunaan sistem RMR memerlukan penentuan bobot pada orientasi kekar, melalui sifat-sifat kekar yang ada pada massa batuan. Menggunakan klasifikasi massa batuan untuk evaluasi kemantapan lereng harus memperhatikan berbagai model longsoran yang tentunya berdasarkan oleh karakteristik kekar.

Garis putus-putus dari lingkaran utama mewakili bidang kekar rata-rata yang tersingkap pada muka lereng, garis menerus lingkaran utama mewakili bidang muka lereng. Maka untuk menyertakan bobot pengatur orientasi kekar, Romana (1993) memodifikasi RMR yang disebut *Slope Mass Rating* (SMR). Berdasarkan pengamatan Romana pada 28 lereng dengan berbagai derajat potensi kelongsoran, ditemukan bahwa 6 lereng longsor. SMR pada dasarnya tidak memperhatikan kelongsoran tanah dan longsoran baji secara langsung, dan didefinisikan sebagai:

$$SMR = RMR - (F1 \times F2 \times F3) + F4 \quad (1)$$

Nilai SMR diperoleh dari perhitungan bobot menurut klasifikasi RMR dan pengertian serta besarnya bobot F1, F2, F3 dan F4 diberikan berikut ini pada Tabel 2.6.

F1 tergantung pada paralelisme antara kekar dan kemiringan muka lereng (*strike*).

F2 berhubungan dengan sudut *dip* kekar pada longsoran bidang.

F3 menunjukkan hubungan antara kemiringan lereng dan kemiringan kekar.

F4 tergantung pada kondisi apakah lereng alamiah, digali dengan peledakan *presplit*, peledakan *smooth*, penggalian mekanis atau peledakan buruk.

Tabel 2.3. Bobot pengaturan untuk kekar, F1, F2 dan F3 (Romana, (1985), dalam Sayed (2011))

Kasus	Kriteria faktor koreksi	Sangat menguntungkan	Menguntungkan	Sedang	Tak menguntungkan	Sangat tak menguntungkan
P	$ aj - as $	> 30	$30 - 20$	$20 - 10$	$10 - 5$	< 5
T	$ aj - as - 180 $					
P/T	F1	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
P	$ bj $	< 20	$20 - 30$	$30 - 35$	$35 - 45$	> 45
P	F2	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
T	F2	1	1	1	1	1
		Kuat tak mudah longsor				Lemah mudah longsor
P	$bj - bs$	> 10	$10 - 0$	0	$0 - (-10)$	< -10
T	$bj + bs$	< 100	$110 - 120$	> 120		
P/T	F3	0	-6	-25	-50	-60

aj = Arah dip kekar
bs = *Dip* lereng

as = Kemiringan lereng
P = Longsoran bidang

bj = Dip kekar

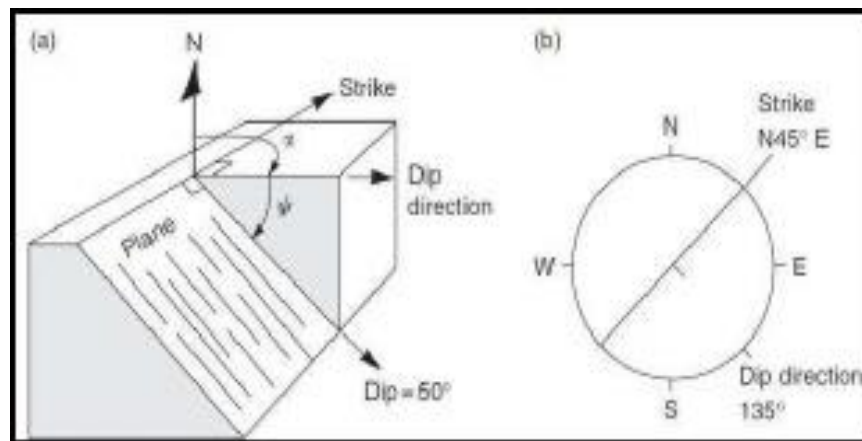
T = Longsoran *toppling*

Bobot pengatur untuk metode penggalian, F4:

Lereng alamiah	= 15
Peledakan presplitting	= 10
Peledakan smooth	= 8
Peledakan normal	= 0
Peledakan buruk	= -8
Penggalian mekanis	= 0

H. Stereonet

Teknik Stereografis adalah metode grafis yang digunakan untuk menunjukkan *strike* dan *dip* dari suatu bidang, sebelum melakukan pengeplotan pada struktur, perlu dipahami dahulu beberapa istilah yang harus diketahui dalam pengukuran bidang lemah (Gambar 2.6).



Gambar 2.6. Pengukuran *strike* dan *dip* (Wyllie dan Mah, 2004)

Strike : Arah garis horizontal yang terletak pada suatu bidang lemah yang miring.

Dip : Kecondongan dengan sudut kemiringan terbesar, dibentuk oleh bidang lemah miring dengan bidang horizontal.

Dip Direction: Arah Kemiringan bidang lemah miring, diukur pada bidang horizontal dan tegak lurus strike.

Plunge : Kemiringan suatu garis miring, diukur dari bidang horizontal.

Trend : Arah dan garis pada bidang horizontal yang terbentuk dari proyeksi suatu garis miring.

I. Metode Kesetimbangan Batas

Metode kesetimbangan batas adalah metode yang sangat populer digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng dengan tipe longoran *traslasi* dan *rotasi*. Pada metode ini perhitungan kestabilan lereng hanya menggunakan kondisi kesetimbangan statik dan mengabaikan adanya hubungan tegangan dan regangan pada lereng. Asumsi lainnya ialah geometri dalam bentuk runtuh harus diketahui atau ditentukan terlebih dahulu (Arif, 2017).

Kondisi kestabilan lereng pada metode ini dinyatakan dalam indeks faktor keamanan, faktor keamanan dihitung berdasarkan kesetimbangan gaya, kesetimbangan momen (Hoek & Bray, 1991 dalam Arif, 2017).

$$FK = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}} \quad (2)$$

Menurut Arif (2017) Apabila FS untuk suatu lereng > 1.25 yang berarti gaya penahan lebih besar daripada gaya penggerak, maka lereng tersebut berada

dalam keadaan stabil. Tetapi, bila nilai $FS < 1.07$ yang artinya gaya penahan lebih kecil dari gaya penggerak, maka lereng tersebut berada dalam keadaan tidak stabil dan rawan terjadi longsor. Akan tetapi, jika nilai kestabilan lerengnya $1.07 < FS < 1.25$ maka lereng tersebut berada dalam keadaan kritis.

Dimana :

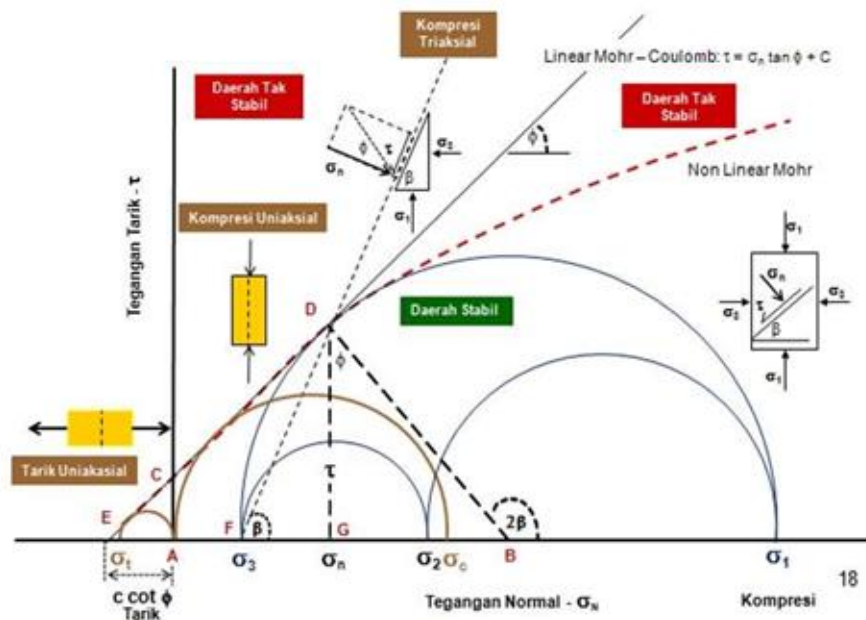
$FK > 1.25$ = lereng dianggap stabil

$FK 1.07 < 1.25$ = lereng pernah terjadi longsor

$FK < 1.07$ = lereng tidak stabil

Tabel 2.4. Rekomendasi FK minimum (SNI 03-3997-1995)

Resiko	Rekomendasi FK minimum
Diabaikan	1.1
Rendah	1.2
Tinggi	1.5



Gambar 2.7: Kriteria runtuh Mohr-Coulomb

Kriteria runtuh mohr-coulomb, proses analisis kestabilan lereng yang dilakukan menggunakan kriteria runtuh mohr-coulomb. Kriteria runtuh ini cukup sederhana dan sering digunakan dalam analisis kestabilan lereng, serta cocok diterapkan pada jenis batuan yang telah mengalami pelapukan yang tinggi. Sudut gesek dalam ditentukan dari sudut yang dibentuk oleh garis regresi dan garis horizontal, sementara kohesi diperoleh dari titik perpotongan garis regresi dengan garis ordinat tegangan geser (t) pada sistem koordinat $\sigma - t$. Garis linier pada Gambar 2.7 menunjukkan garis selubung Mohr-Coulomb. Lingkaran pada grafik memperlihatkan kondisi beban kritis dengan tegangan utama σ_1 dan σ_3 yang bersifat kompresif.

Tabel 2.5: Cara analisis kestabilan lereng (sumber pusat pendidikan dan pelatihan sumber daya air dan konstruksi kementerian pekerjaan umum dan perumahan rakyat, 2017)

No	Analisis	Cara	Bid. longsoran	Tanah	Batuan	Keterbatasan
I	analisis berdasarkan pengamatan visual dan simulasi sederhana	membandingkan kestabilan lereng yang ada dan menggunakan metode konvensional menggunakan alat ukur sederhana (jangka, bolpoin, blok milimeter dan penggaris)	L, P, B	O	O	1. kurang teliti 2. bergantung dari pengamatan seseorang 3. disarankan digunakan bila tidak ada resiko
II	menggunakan komputasi	fellinius	L	O	X	fellinius kurang teliti hanya bisa menghitung faktor keamanan tapi tidak bisa menghitung deformasi
		bishop	L, P, B	O	O	
		janbu	L, P, B	O	O	
III	menggunakan model grafik	cousins	L	O	X	material homogen
		janbu	L	O	O	
		duncan	P	O	O	
		steward	L, P	O	O	pada umumnya struktur sederhana
		hoek & bray	P, B	X	O	
Keterangan *)		L : lingkaran P : planar B : baji		**) O : digunakan X : tidak digunakan		

J. DISTRIBUSI PROBABILITAS

Probabilitas dalam statistik adalah Memperkirakan terjadinya peluang yang dihubungkan dengan terjadinya peristiwa tersebut dalam keadaan. Fungsi distribusi probabilitas (PDF) atau $f(x)$ mengacu pada fungsi yang memiliki tipe variabel acak yang bersifat kontinyu. PDF dapat digunakan untuk berbagai macam propertis (x) , nilai dari $f(x)$ sebanding dengan kemungkinan x . Daerah yang berada di bawah fungsi distribusi probabilitas adalah kesatuan (Ramadhani, 2017).

Distribusi Normal

Distribusi kontinyu yang paling penting dan yang paling banyak digunakan di lapangan adalah distribusi normal. Distribusi normal dapat dijadikan gambaran banyak fenomena dialam dan penelitian. Distribusi normal sering disebut juga dengan distribusi Gauss yang mempunyai persamaan fungsi X .

Distribusi Gamma

Distribusi Gamma mendapat namanya dari fungsi Gamma yang sudah dikenal luas, dan dipelajari dalam banyak bidang matematika. Fungsi kepadatan probabilitas untuk distribusi gamma.

Distribusi log-normal

Distribusi log-normal dipakai dalam banyak aplikasi di lapangan. Distribusi ini digunakan ketika transformasi logaritma natural (\ln) menghasilkan distribusi normal (Limpert et al.2001). Distribusi log-normal memiliki fungsi kepadatan probabilitas.

Metode pencocokan terhadap fungsi distribusi parameter yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain: Chi-Squared, dan Kolmogorov-Smirnov. Metode tersebut akan menghasilkan nilai parameter statistik. Nilai parameter yang paling kecil mencerminkan fungsi distribusi terbaik.

a). Chi-Squared (C-S)

Metode Chi-Squared (Ramadhani, 2017) dapat digunakan untuk sampel data yang kontinyu ataupun diskret. Nilai parameter Chi-Squared diawali dengan memecah nilai sumbu x menjadi beberapa interval (bin). Persamaan untuk menghitung nilai parameter Chi-Squared dilihat pada persamaan berikut:

$$X^2 = \sum_{i=1}^k (n_i - e_i)^2 / e_i$$

dengan :

K = jumlah interval

N_i = jumlah sampel observasi dalam interval ke-i

E_i = jumlah sampel ekspektasi dalam interval ke-i

b). Kolmogorov-Smirnov (K-S)

Metode Kolmogorov-Smirnov digunakan untuk sampel data kontinyu dengan tidak perlu memecah nilai sumbu x menjadi beberapa interval. Persamaan nilai parameter Kolmogorov-Smirnov ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$D_n = \sup [| F_n(x) - f(x) |]$$

dengan :

n = banyak data

$f(x)$ = distribusi fungsi kumulatif

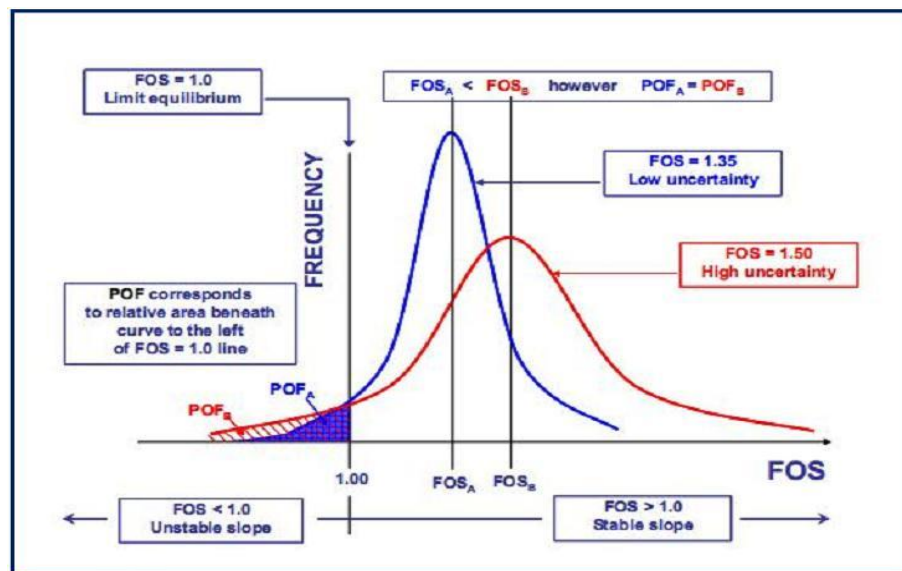
$F_n(x) = NX/n$

NX = banyaknya data X_i yang kurang dari x .

K. Metode Probabilitas dan Sensitivitas

Probabilistik adalah suatu cara untuk menentukan nilai faktor keamanan suatu sistem rekayasa salah satunya kestabilan lereng dengan memperlakukan nilai masukan sebagai variabel acak, dengan demikian nilai faktor keamanan sebagai rasio antara gaya penahan dan gaya penggerak merupakan juga variabel acak. Pada proses ini nilai parameter masukan dan faktor keamanan akan dikarakterisasi distribusi nilai masing-masing. Selain itu pendekatan ini juga dapat melihat faktor yang paling mempengaruhi kestabilan lereng melalui analisis sensitivitas perubahan nilai setiap parameter masukan terhadap nilai faktor keamanan (Masagus, 2011). Penentuan sudut kemiringan lereng yang dapat diterima (*acceptable angle of slope*) adalah suatu parameter paling penting dalam perencanaan tambang terbuka. Namun ketidakpastian yang terkait dengan geometri lereng, sifat fisik dan mekanik batuan. Kondisi pembebanan dan reliabilitas model mengakibatkan proses pemilihan sudut kemiringan lereng yang sesuai menjadi lebih sulit (Masagus, 2011).

Secara defenisi ada hubungan linier antara nilai PK dengan peluang (*likelihood*) kelongsoran, sementara tidak berlaku untuk hubungan FK dengan peluang kelongsoran. FK yang besar tidak menggambarkan lereng yang lebih stabil, karena besaran ketidakpastian yang implisit tidak ditangkap oleh nilai FK. Lereng dengan nilai FK 3 bukan berarti 2 kali lebih stabil daripada FK 1.5, sementara lereng dengan nilai PK 5% menunjukkan 2 kali lebih stabil dari lereng dengan nilai PK 10%.

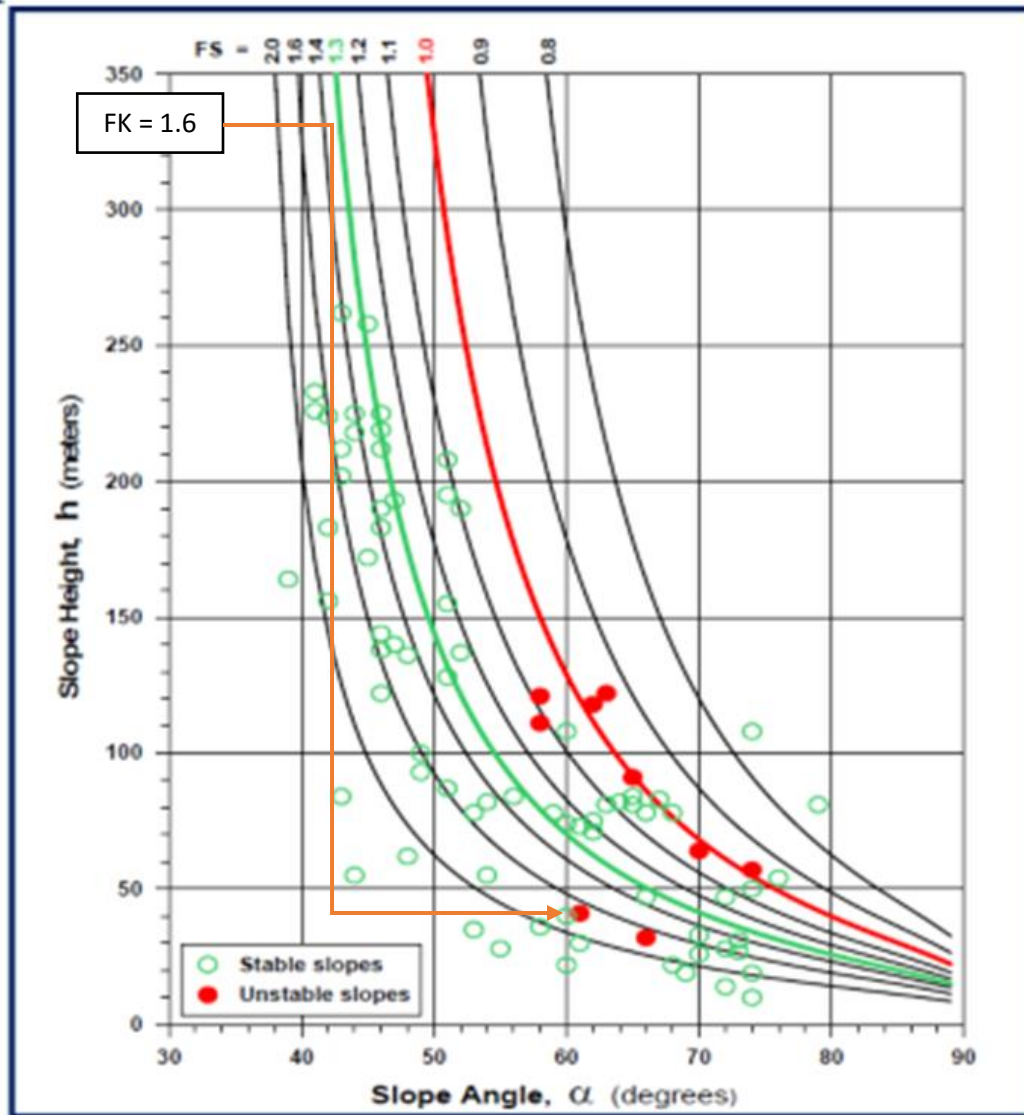


Gambar 2.8. Konsep probabilitas kelongsoran dan besaran ketidakpastian (Steffen, 1976)

SRK (2010) dan Kirsten (1983) mengeluarkan nilai ambang batas PK lereng pada beberapa kategori lereng yang dapat dijadikan acuan dalam disain lereng (Tabel 2.4 dan Tabel 2.5). Pada kasus yang dibahas dalam penelitian ini, maka lereng yang dimaksud adalah termasuk kategori lereng

tunggal sehingga ambang batas PK maksimum sebesar 25%. Artinya bila dalam analisis kestabilan lereng diperoleh PK lereng di atas 25 %, maka lereng tersebut tidak stabil.

Berdasarkan gambar 2.9, kriteria nilai kemampooterimaan faktor keamanan untuk disain lereng yang ditetapkan 1.3. Kriteria ini berdasarkan hasil analisis balik dari beberapa lereng yang diteliti oleh Hoek & Bray (1974) dalam Steffen (1976) . Namun dari grafik tersebut terlihat bahwa masih ada lereng batuan yang longsor di atas kriteria faktor keamanan yang dapat diterima yakni FK 1.6, sehingga criteria ini tidak dapat diberlakukan secara umum dan bersifat kasuistis.



Gambar 2.9. Studi kasus kestabilan lereng (Hoek dan Bray, 1974) dalam (Steffen, 1976)

Tabel 2.6. Ambang batas PK lereng tambang (SRK, 2010)

Jenis Lereng	Dampak Longsoran	FK (min) (Statik)	FK _{min} (Dinamik)	PK _{max} P FK<1
Tunggal/Jenjang (<i>Bench</i>)	Low-High	1.1	NA	25-50%
Multi Jenjang (<i>Interramp</i>)	Low	1.1.5-1.2	1.0	25%
	Medium	1.2	1.0	20%
	High	1.2-1.3	1.1	10%
Keseluruhan (<i>Overall</i>)	Low	1.2-1.3	1.0	15-20%
	Medium	1.3	1.05	5-10%
	High	1.5	1.1	≤5%

Table 2.7. Kriteria PK pada lereng secara umum Kirsten (1983)

Probabilitas kelongsoran (%)	Aspek situasi berdasarkan probabilitas kelongsoran	
	Kegagalan pada lereng	Pergerakan
50 sampai 100	Kegagalan pada lereng umumnya terjadi	Terjadi pergerakan yang cepat
20 sampai 50	Kegagalan pada beberapa lereng terjadi secara signifikan	Terjadi pergerakan rayapan
10 sampai 20	Kegagalan pada lereng hanya sedikit	Pergerakan lambat
5 sampai 10	Tidak ada bukti terjadi kegagalan lereng	Pergerakan sangat lambat dan tidak mudah dilihat
1,5 sampai 5	Tidak ada lereng yang tidak stabil	Hampir tidak terjadi pergerakan
Kurang dari 0,5	Lereng stabil	Tidak ada pergerakan

Ambang batas ini bervariasi bergantung jenis lereng yang diamati apakah lereng tersebut merupakan lereng tunggal, multi jenjang dan keseluruhan. Dampak yang dihasilkan juga berbeda-beda. SRK (2010) mengkhususkan klasifikasi ini digunakan di area pertambangan. Suatu alternatif selain

pendekatan FK untuk disain lereng adalah metode probabilistik yang didasarkan pada perhitungan probabilitas kelongsoran (PK) lereng.

- Simulasi Monte Carlo

Simulasi Monte Carlo adalah semua teknik sampling statistik yang digunakan untuk memperkirakan solusi terhadap masalah-masalah kuantitatif. Dalam simulasi Monte Carlo sebuah model dibangun berdasarkan sistem yang sebenarnya. Setiap variabel dalam model tersebut memiliki nilai yang memiliki probabilitas yang berbeda, yang ditunjukkan oleh distribusi probabilitas atau biasa disebut dengan *probability distribution function* (pdf) dari setiap variabel. Metode Monte Carlo menyimulasikan sistem tersebut berulang-ulang kali, ratusan bahkan sampai ribuan kali tergantung sistem yang ditinjau, dengan cara memilih sebuah nilai random untuk setiap variabel dari distribusi probabilitasnya. Hasil yang didapatkan dari simulasi tersebut adalah sebuah distribusi probabilitas dari nilai sebuah sistem secara keseluruhan (Adnan, 2008).

Algoritma ini digunakan sebagai landasan simulasi bilangan acak untuk menentukan fungsi distribusi probabilitas yang sesuai. Beberapa keuntungan metode Monte Carlo yakni sederhana, lebih fleksibel dalam menggabungkan suatu varietas distribusi probabilitas yang cukup besar tanpa banyak penafsiran, dan kemampuan untuk memodelkan korelasi diantara variabel dengan mudah. Umumnya analisis stabilitas lereng dengan metode

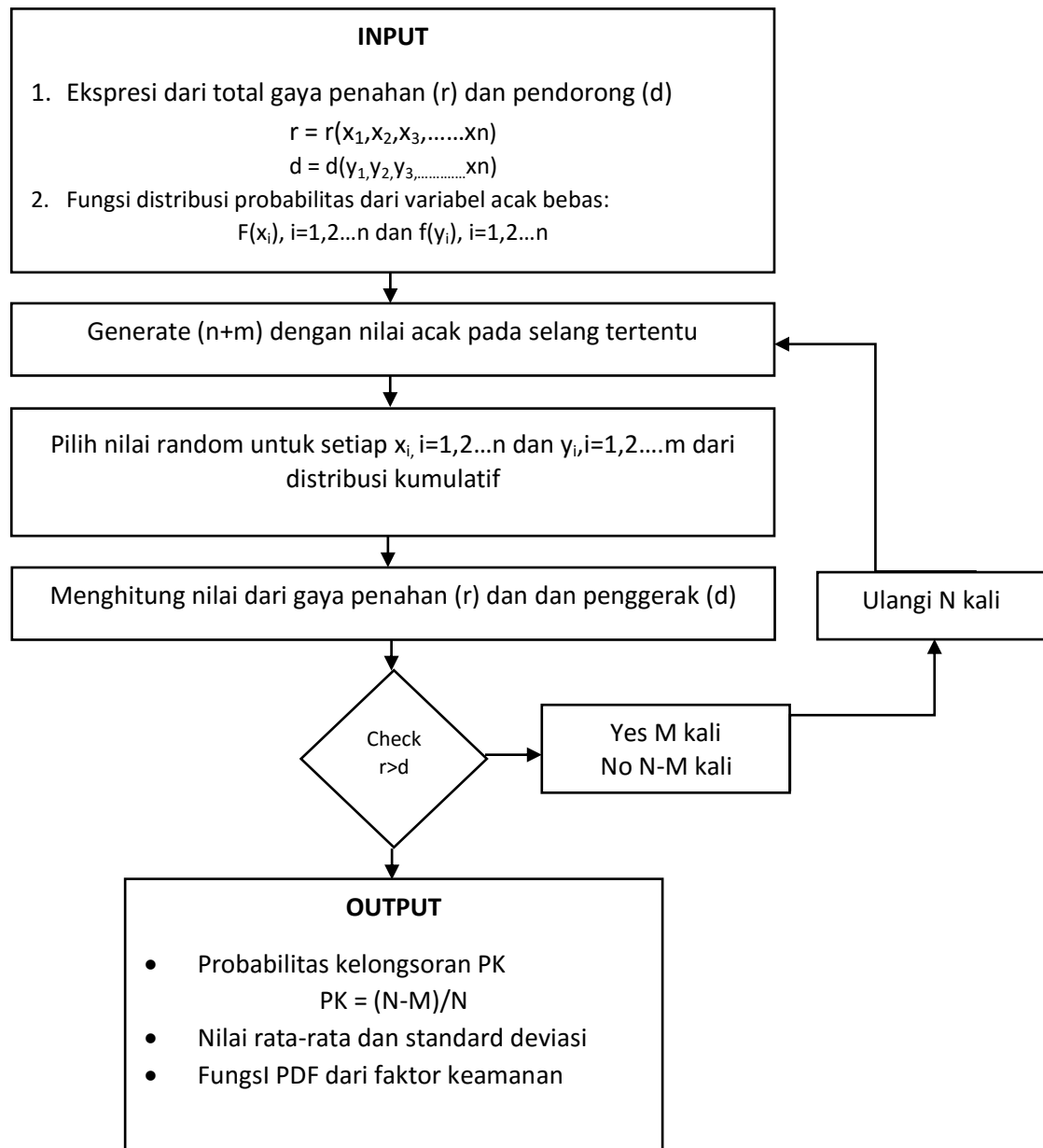
kesetimbangan batas menggunakan simulasi Monte Carlo untuk menghitung probabilitas kelongsoran.

Menggunakan metode Monte Carlo akan memperbanyak data secara acak mengikuti fungsi yang ditentukan. Cara menentukan fungsi yang cocok, maka dapat ditentukan dari hasil proses pencocokan.

Tahapan perhitungan probabilitas kelongsoran dengan metode Monte Carlo menurut Wyllie dan Mah (2004) adalah sebagai berikut:

1. Estimasi distribusi probabilitas pada setiap variabel acak input parameter kestabilan lereng.
2. Meng-*generate* nilai acak (*random*) untuk setiap parameter jika distribusi *uniform* menggunakan interval 0 dan 1 yang dikalikan dengan *range* tiap parameter (*range* antara nilai maksimum dan nilai minimum). Untuk setiap fungsi lain diperlukan distribusi kumulatif pada setiap variabel acaknya.
3. Menghitung masing-masing nilai gaya penahan dan nilai gaya penggerakannya, kemudian menghitung berapa (M) kali kemunculan nilai gaya penahan dan nilai gaya penggerakannya.
4. Ulangi proses tersebut sebanyak N kali ($N > 100$) kemudian hitung probabilitas kelongsoran dengan persamaan berikut:

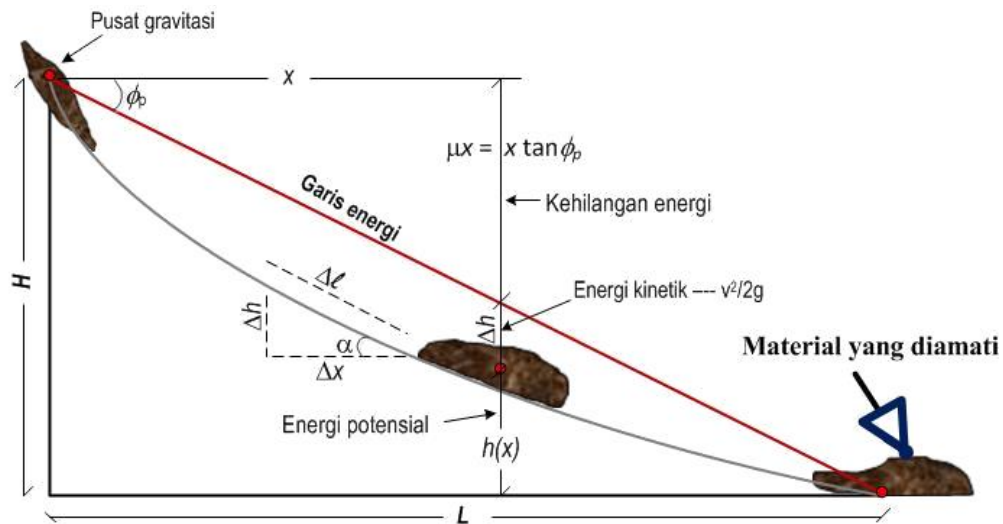
$$PK = \frac{N-M}{N} \quad (3)$$



Gambar 2.10. *Flow chart* simulasi Monte Carlo guna perhitungan PK (Athanasίου-Grivas, 1980)

L. MODEL FISIKA LONGSOR

Jika longsor debris mewakili massa dari slide potensial berupa *lumped mass model*. *Lumped mass model* merupakan model sederhana yang menganggap massa longsor konstan sepanjang lintasan. Gesekan diantara material longsor dan bidang gelincir akan menghambat penggelinciran dibawah beberapa sudut kemiringan kritis.



Gambar 2.11: Simulasi model fisika longsor sederhana

Berdasarkan Gambar 2.11, posisi awal suatu massa debris terkandung energi potensial, massa ini mulai bergerak sepanjang lereng ada terjadi pergantian energi potensial menjadi energi kinetik, dan selama gelinciran terdapat energi yang hilang akibat gesekan (E_f). Disini energi rotasi tidak dipertimbangkan demi penyederhanaan. Oleh karena itu, pada lokasi longsor dengan ketinggian H bergerak massa debris di atas bidang gelincir sejauh x , maka mengacu pada hukum kekekalan energi berdasarkan persamaan berikut:

$$mgH - mgh(x) = \frac{1}{2}mv(x)^2 + mgx\mu \quad (1)$$

Persamaan (1) disederhanakan untuk menghitung kecepatan longsor di posisi x pada persamaan dua:

$$v(x) = \sqrt{2g(H - h(x) - x \tan\phi_p)} \quad (2)$$

Keterangan:

$v(x)$ = kecepatan longsor (m/s)

g = percepatan gravitasi bumi (m/s^2)

H = tinggi lereng (m)

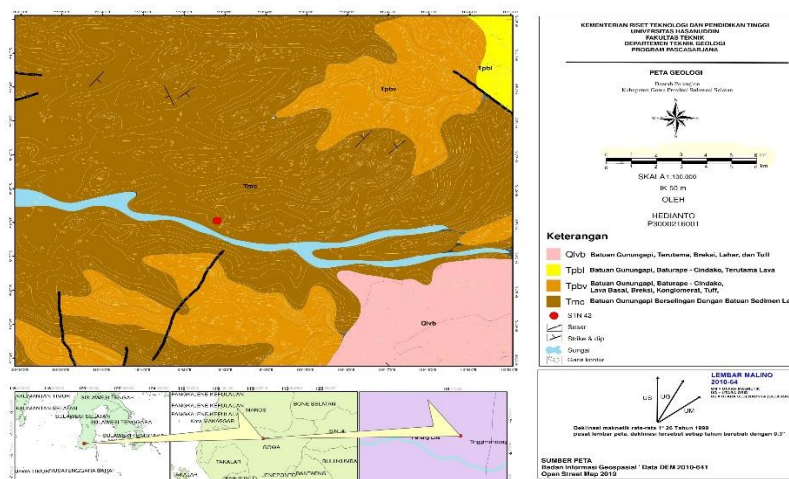
$h(x)$ = tinggi pusat massa

$\tan\phi_p$ = sudut gesek semu

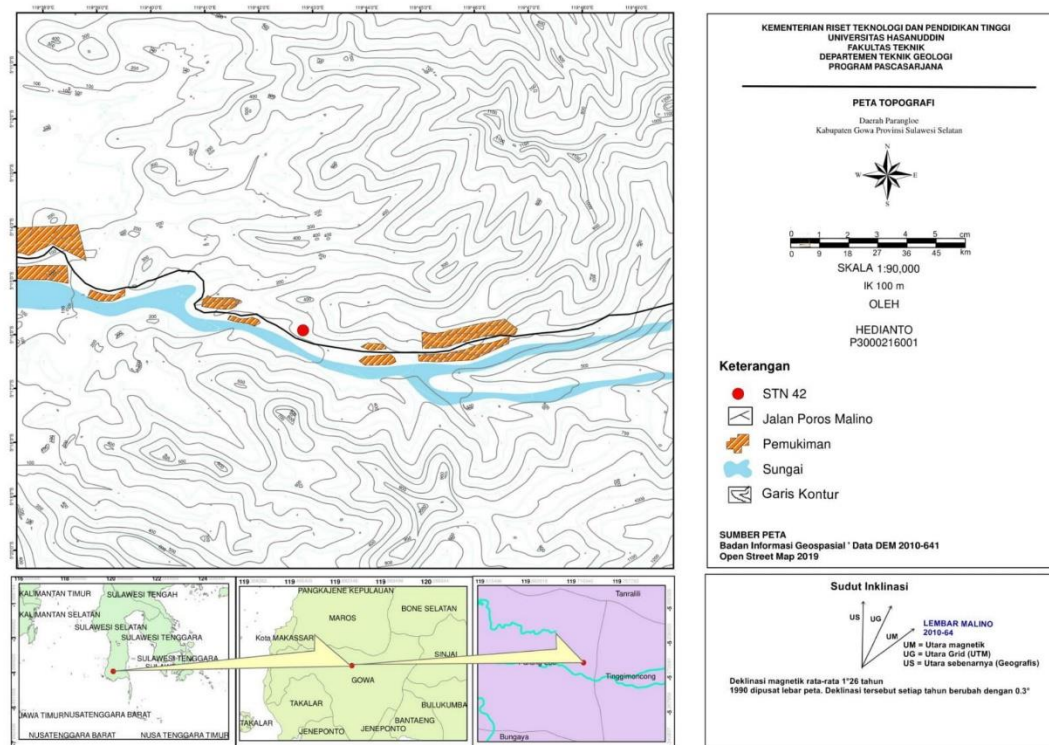
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Kecamatan Parangloe, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan yang digambarkan peta lokasi daerah penelitian yang terdapat pada lampiran. Lokasi penelitian dapat dicapai menggunakan kendaraan roda dua (motor) maupun roda empat (mobil). Kecamatan Parangloe terletak di dataran tinggi dengan batas-batas sebagai berikut: wilayah sebelah utara berbatasan dengan Kabupaten Maros, sebelah selatan berbatasan dengan Kecamatan Manuju, sebelah barat berbatasan dengan Kecamatan Pattallasang dan Kecamatan Bontomarannu, sebelah timur berbatasan dengan Kecamatan Tinggimoncong, dengan ketinggian 92 – 750 meter dari permukaan laut.



Gambar 3.1: Peta geologi daerah penelitian



Gambar 3.2: Peta topografi lokasi penelitian

B. Tahapan dan Metode Penelitian

Kegiatan yang dilakukan pada penelitian ini meliputi beberapa tahap diantaranya:

1. Tahap studi pendahuluan
2. Tahap pekerjaan lapangan
3. Tahap pekerjaan laboratorium
4. Tahap pengolahan dan analisis data
5. Tahap penulisan tugas akhir

Penjelasan mengenai tahapan-tahapan penelitian yang sesuai dengan diagram alur penelitian (Gambar 3.6) akan diuraikan satu persatu sebagai berikut:

1. Tahapan Studi Pendahuluan

Tahap studi pendahuluan merupakan tahap pengumpulan data atau referensi (jurnal penelitian, buku, dan *website*) mengenai kondisi geologi daerah penelitian, karakteristik fisik dan mekanik berhubungan dengan kondisi dan performa batuan itu di alam yang dapat mempengaruhi faktor keamanan lereng. Metode empirik merupakan pendekatan yang mengedepankan analisis secara visual dari keadaan yang sebenarnya, sedangkan metode analitik lebih kepada analisis dari material yang telah diuji kondisi fisik dan mekaniknya. Terdapatnya bidang-bidang diskontinuitas berupa kekar dapat memberikan pengaruh terhadap kualitas massa batuan, dan teori – teori tentang probabilitas kelongsoran serta probabilitas kelongsoran Monte Carlo, serta Romana (1985)

2. Tahapan Pekerjaan Lapangan

Survey lapangan atau secara empirik merupakan pengamatan, pengukuran dan analisis keadaan sebenarnya (*real*) di lapangan, secara detail pekerjaan lapangan diantaranya:

- a) Pengamatan dan pengukuran terhadap geometri lereng yakni:
 - i) Tahap pertama ialah pengukuran geometri lereng berupa tinggi lereng dan lebar dimensi jalan menggunakan alat ukur meteran

roll (100 meter). Titik pengukuran dimulai pada titik pusat (pertemuan antara garis lereng dan garis jalan).



Gambar 3.2: Keadaan lereng daerah penelitian

- ii) Tahap kedua pengukuran dan pencatatan arah *strike*, kemiringan lereng/sudut lereng menggunakan kompas brunton, *clipboard* A4 dan ATK. Proses pengukuran mengikuti kaidah tangan kiri, posisi kompas dengan simbol E untuk mengukur *strike* dan posisi kompas dengan simbol W untuk mengukur *dip* lereng.
- b) Pengukuran bidang – bidang kekar serta pengamatan kondisi berupa kondisi spasi antar kekar, deskripsi kondisi kekar, dan kondisi air tanah.
 - i) Tahap pertama pengukuran arah dan kemiringan kekar (*strike* dan *dip*) menggunakan kompas brunton, *clipboard* A4 dan ATK,

proses pengukuran kekar, posisi *clipboard* ditempatkan pada bukaan kekar sebagai bidang bantu, tempelkan sisi kompas bersimbol W pada bidang bantu, goyangkan sampai nipo tabung berada pada posisi di tengah, selanjutnya tandai posisi tersebut pada bidang bantu. Tempelkan kompas kembali pada posisi tegak lurus pada garis yang telah di tandai agar dapat mengetahui arah kemiringan. Pasang kompas kembali pada posisi permukaan atas pada *clipboard* lalu gunakan kaidah tangan kiri untuk mengukur *strike* dan *dip* kekarnya.



Gambar 3.3: Pengukuran kekar di lapangan

- ii) Tahap kedua pengukuran spasi kekar menggunakan pita meter. Pengukuran spasi kekar dihitung berdasarkan jarak antara kekar satu dengan kekar dua, begitu seterusnya hingga kekar terakhir.



Gambar 3.4: Keadaan kekar di lapangan

- iii) Tahap ketiga deskripsi isi kekar dan luas bukaan dari kekar. Pengukuran luas bukaan kekar menggunakan pita meter dengan mengukur luas bukaan tiap-tiap kekar, dan proses deskripsi isi kekar dilakukan berdasarkan pengamatan langsung pada kekar.
- c) Pengambilan sampel batuan yang bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik pada material.
 - i) Tahap pengambilan sampel menggunakan palu geologi dan palu godam, tabung sampel, oli, koran, plastik, dan tali. Proses pengambilan sampel batuan basal dilakukan menggunakan palu

geologi dan palu godam, sampel batuan basal lapuk diambil menggunakan tabung sampel yang lebih dulu diolesi oli agar dapat lengket pada tabung, kemudian dibungkus menggunakan koran dan plastik selanjutnya diikat agar sampel tersebut masih *fresh* atau masih kategori sampel tak terganggu.

3. Tahapan Pekerjaan Laboratorium

3.1 Pengujian sifat fisik dasar tanah dan batuan

- a. Prosedur kerja uji kadar air untuk tanah dan batuan (SNI 1965:2008)
 - i) Timbang dan catat berat cawan kering yang kosong tempat benda uji.
 - ii) Masukkan benda uji ke dalam cawan. Tentukan berat cawan yang berisi material basah menggunakan timbangan. Catat nilainya.
 - iii) Masukkan cawan yang berisi benda uji basah ke dalam oven pengering. Keringkan benda uji hingga beratnya konstan pada temperatur ($110^{\circ} \pm 5^{\circ}$) C.
 - iv) Setelah benda uji dikeringkan hingga beratnya konstan, keluarkan cawan dari dalam oven. Biarkan benda uji dan cawannya menjadi dingin pada temperatur ruangan. Tentukan berat cawan dan berat material

kering oven menggunakan timbangan yang sama dengan yang digunakan dan catat nilainya.

b. Prosedur kerja sifat fisik batuan

- i) Siapkan contoh batuan yang akan dipreparasi
- ii) Penimbangan berat contoh batuan: W_n
- iii) Kemudian contoh batuan dimasukkan kedalam desikator
- iv) desikator dibersihkan kemudian bibir dan tutupnya diolesi vaselin Isi desikator dengan air hingga penuh dan udara dalam eksikator dihisap dengan bantuan pompa vakum sampai tidak ada gelembung udara yang keluar dari contoh batuan.
- v) Timbang berat contoh batuan jenuh: W_w , (setelah contoh batuan dijenuhkan dengan air didalam eksikator yang hampa udara selama 24 jam).
- vi) Timbang berat contoh batuan jenuh tergantung didalam air: W_s
- vii) Timbang berat contoh batuan kering: W_o , (setelah contoh batuan dikeringkan didalam oven selama 24 jam pada temperatur oven 90°).

$$1. \text{ Bobot isi asli (natural density)} = \frac{W_n}{W_w - W_s}$$

2. Bobot isi kering (*dry desity*) = $\frac{W_o}{W_w - W_s}$
3. Bobot isi jenuh (*saturated density*) = $\frac{W_s}{W_w - W_s}$
4. *Apparent specific gravity* = $\frac{W_o}{W_w - W_s}$ / bobot isi air
5. *True specific gravity* = $\frac{W_o}{W_o - W_s}$ / bobot isi air
6. Kadar air asli (natural water content) = $\frac{W_n - W_o}{W_o} \times 100\%$
7. Saturated water content (absorption) = $\frac{W_w - W_o}{W_o} \times 100\%$
8. Derajat kejenuhan = $\frac{W_n - W_o}{W_w - W_o} \times 100\%$
9. Porositas $n = \frac{W_w - W_o}{W_w - W_s} \times 100\%$
10. Void ratio : $e = \frac{n}{1 - n}$

3.2 Pengujian kuat gesek pada tanah dan batuan untuk mendapatkan nilai kohesi dan sudut gesek dalam.

- a. Prosedur kerja uji kuat gesek langsung batuan (SNI 2826:2011)
 - i) Letakkan benda uji batu yang telah dibungkus dengan adukan ke dalam alat gesek.
 - ii) Pasang penutup dan pasang selang-selang hidraulis ke alat pemberi tekanan normal dan gesek.

- iii) Pasang alat ukur pergerakan horizontal atau gesekan dan alat ukur pergerakan vertikal.
- iv) Berikan tekanan normal yang masing-masing merupakan kelipatan dua pada benda uji pertama, kedua dan ketiga, sehingga tekanan normal maksimum yang diberikan tidak melebihi nilai kuat tekan satu sumbu benda uji batu (nilai kuat tekan ini diperoleh dari hasil pengujian kuat tekan satu sumbu pada benda uji batu yang sama dan sejenis).
- v) Berikan gaya gesek dengan kenaikan secara bertahap dan setelah gaya gesek puncak dicapai, lanjutkan sampai diperoleh gaya gesek sisa.
- vi) Catat tekanan normal, tekanan gesek dan pergesekan selama pengujian.
- vii) Hentikan pengujian setelah gaya gesek sisa tercapai, yaitu setelah angka pembacaan tetap (konstant), minimal pembacaan dilakukan 10 kali.
- viii) Lepaskan penutup dan keluarkan benda uji berikut pembungkusnya dari dalam alat.
- ix) Ukur luas bidang permukaan benda uji yang mengalami keruntuhan.



Gambar 3.5: *Direct shear* batuan di Laboratorium Geomekanika Teknik Pertambangan Universitas Muslim Indonesia

3.3 Pengujian kuat tekan batuan utuh untuk mendapatkan nilai kekuatan batuan. (ASTM D 2938-95)

- i) Prosedur kerja uji kuat tekan batuan gunakan *safety glasses* dan *safety shoes*.
- ii) Siapkan formulir data jika pengambilan data dilakukan secara manual.
- iii) Contoh uji harus memenuhi syarat $L/D = 2$.
- iv) Lakukan persiapan alat mesin tekan, letakkan contoh batuan dipusat antara plat atas dan plat bawah mesin tekan. Contoh batuan diletakkan

dengan permukaan bawah menempel pada plat bawah.

- v) Pada mesin tekan dipasang *dial gauge* untuk mengukur deformasi lateral.
- vi) Pompa dihidupkan, sehingga oli yang bertekanan tinggi akan masuk kedalam silinder. Piston dalam silinder bergerak kebawah sampai permukaan contoh batuan menyentuh plat tekan bagian atas. Karena kedua permukaan contoh batuan telah menyentuh plat tekan menyebabkan kenaikan piston terhambat sehingga gaya didalam contoh batuan meningkat. Besarnya gaya yang ada di dalam contoh batuan ini ditransmisikan ke sistem alat pengukur gaya. Matikan pompa.
- vii) Atur nilai digital pada *dial gauge* pada posisi nol.
- viii) Hidupkan kembali pompa dan mulai lakukan pembacaan gaya setiap interval 2 kN hingga terjadi *failure* dan dicatat proses pembebanan deformasi lateralnya.
- ix) Matikan motor dan catat juga lamanya waktu percobaan. Lakukan cara yang sama untuk contoh batuan yang lain.



Gambar 3.6: *Uniaxial compressive strength* di Laboratorium Geologi Teknik.

Analisis parameter geoteknik menggunakan beberapa alat dalam menganalisis sampel yang digunakan dalam penelitian, prosesnya dilakukan seperti pengujian batuan di laboratorium diberbagai laboratorium yakni laboratorium mekanika tanah, laboratorium geomekanika, laboratorium fisika dasar, dan laboratorium geologi teknik (Tabel 3.1). Instrumen utama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

Table 3.1 Parameter uji propertis material

Pengujian	Nama alat
Sifat fisik	
Kadar air	a. Oven b. Cawan kadar air c. Timbangan ketelitian 0.1 gr d. Desicator
Berat volume	a. Timbangan b. Oven c. Eksikator dan pompa d. Bak air dan air
Pengujian	Nama alat
Sifat mekanik	
a. <i>Direct shear</i> batuan b. <i>Uniaxial compressive strength</i>	<i>Automatic controls</i>
Bahan	
a. Material (tanah dan batuan) b. Peta topografi c. Peta geologi	

4. Tahapan Pengolahan dan Analisis Data

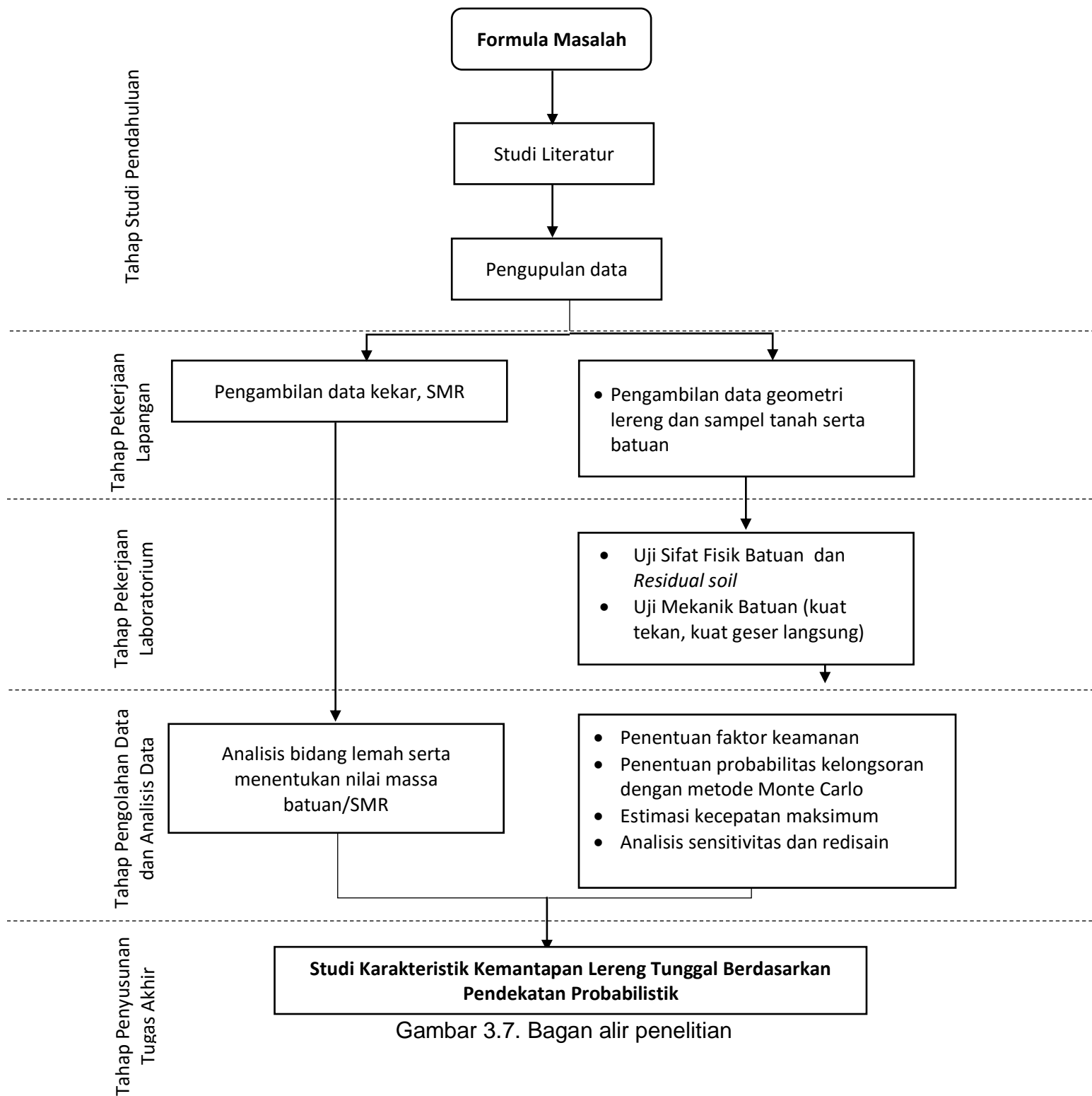
- a. Analisis data pengukuran di lapangan berupa data kekar yang dilampirkan pada lampiran A dianalisis menggunakan *software Dips 6.0* untuk mendapatkan *joint set*, arah longsoran pada lereng dan kemiringan kekar (*dip kekar*) kemudian diinterpretasi jenis longsoran yang dihasilkan.
- b) Menganalisis kelas massa batuan yang menggunakan klasifikasi massa batuan *slope mass rating*, melalui pengamatan dan pengukuran langsung melalui pemberian nilai atau bobot yang terdiri

dari, spasi kekar, luas bukaan kekar, material pengisi kekar, kekerasan kekar, dan kondisi air tanah.

- c) Menganalisis probabilitas pada lereng yang bertujuan untuk mengetahui parameter yang paling berpengaruh pada faktor keamanan lereng, serta seberapa besar kemungkinan lereng tersebut akan mengalami pergerakan. Analisis ini menggunakan parameter masukan berupa data berat isi, sudut gesek dalam, dan kohesi masing-masing sampel, kemudian diuji kecocokan fungsi distribusi probabilitas dan uji chi-kuadrat sehingga didapatkan nilai rata-rata, dan standar deviasi dari tiap sampel, selanjutnya diolah menggunakan *software Slide 6, Risk 7, dan Origin 2019*.
- d) Menghitung estimasi kecepatan maksimum pada lereng dengan kondisi ideal berdasarkan model fisika longsor.
- e) Melakukan proses *trial and error* untuk memperoleh hasil PK dan FK dengan kategori aman melalui proses *reliefing bench slope* dan *reliefing bench high* serta mencari variabel yang paling sensitive terhadap kenaikan nilai faktor keamanan melalui analisis sensitifitas.

5. Tahapan Penyusunan Hasil Penelitian

Pada tahapan ini merupakan tahapan terakhir dari penelitian, semua data yang telah diolah dan dianalisis kemudian disusun dalam bentuk suatu laporan dengan sistematika penulisan ilmiah.



Gambar 3.7. Bagan alir penelitian

BAB IV

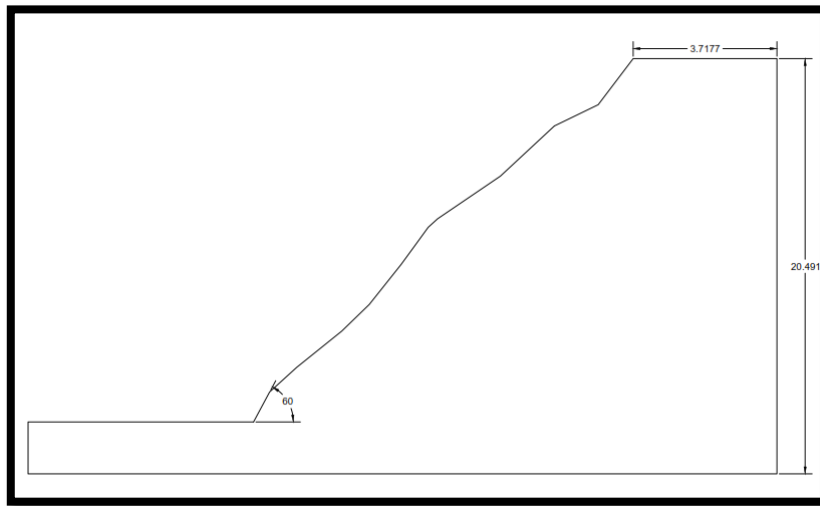
Hasil Penelitian dan Pembahasan

1) Litologi area penelitian

Berdasarkan kenampakan pada lereng yang diteliti jenis batuan di daerah penelitian adalah batuan basal dengan arah orientasi $N101^{\circ}E/58^{\circ}$ dan kimiringan lereng 60° .



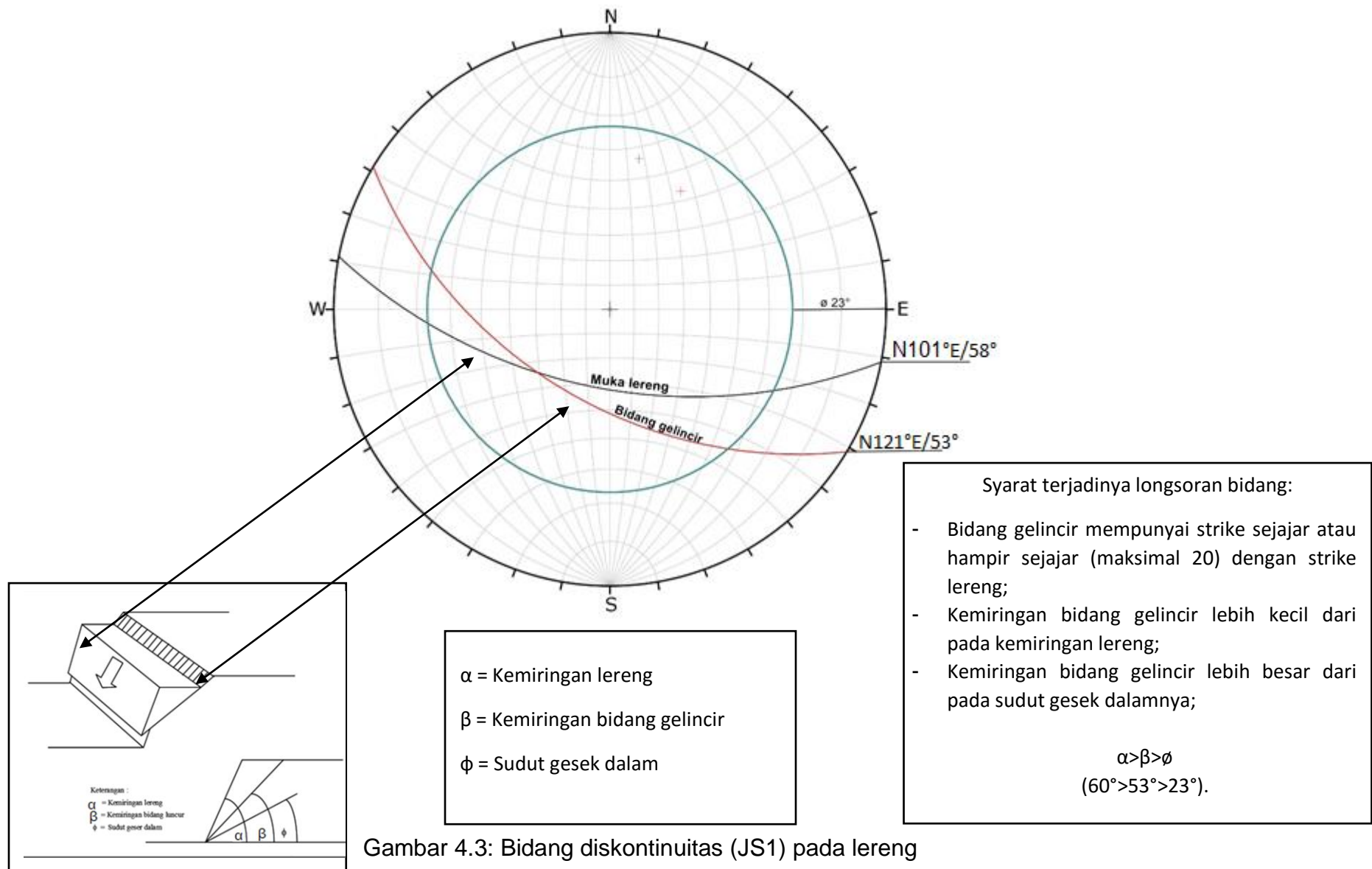
Gambar 4.1. Singkapan batuan di lapangan



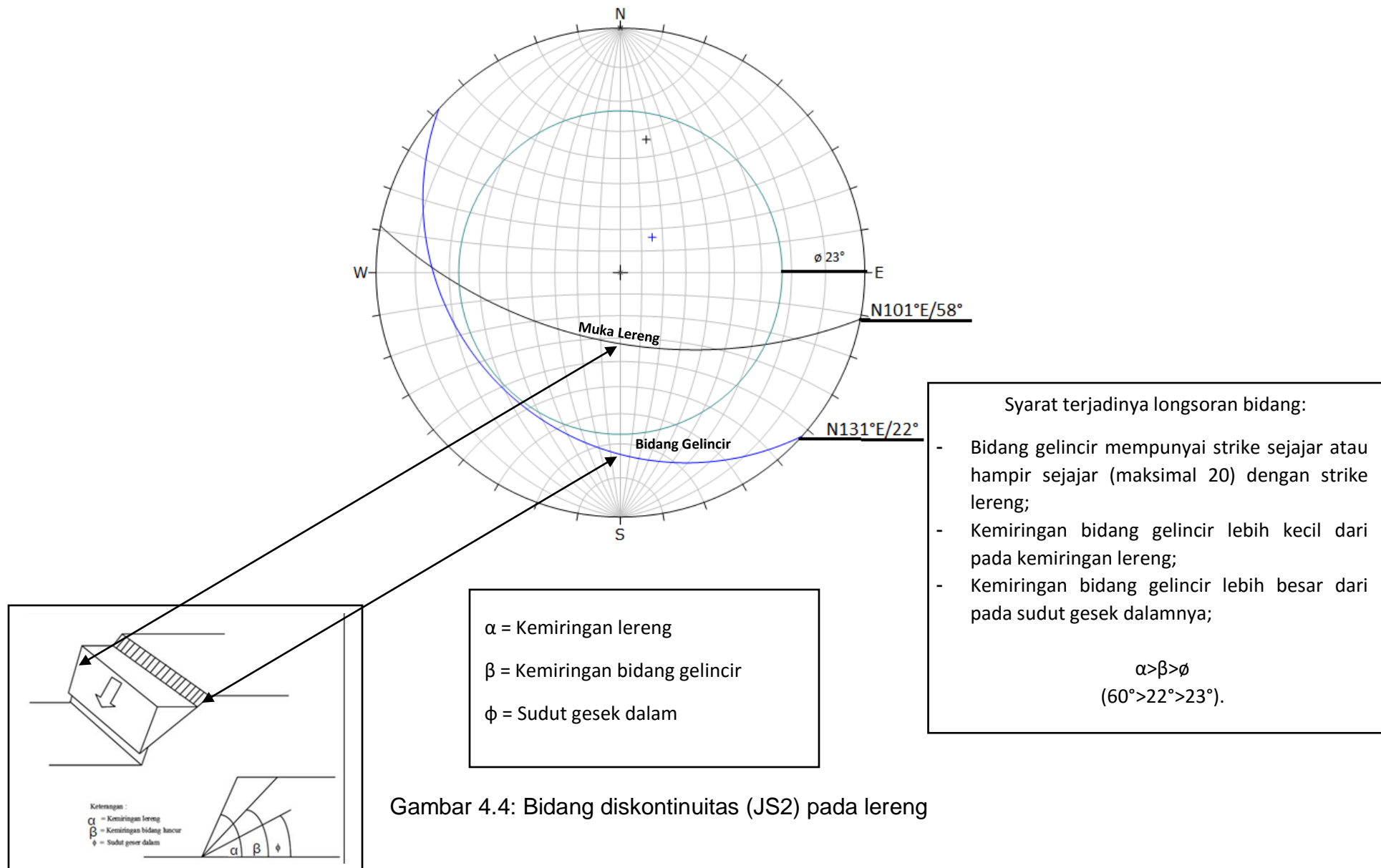
Gambar 4.2: Dimensi lereng

2) Analisis bidang kekar

Pada prinsipnya terdapat dua cara untuk melakukan suatu evaluasi pada suatu lereng khususnya batuan, yang pertama adalah dengan cara menganalisis pola-pola bidang atau orientasi diskontinuitas yang menyebabkan suatu lereng menjadi tidak stabil dan yang kedua ialah menganalisis lereng itu sendiri menggunakan metode komputasi. Proses tersebut umumnya menggunakan analisis kinematika, kemudian langkah kedua ialah melakukan analisis kestabilan lereng itu sendiri. Berdasarkan pengukuran data kekar di lapangan didapatkan *joint set* yakni $N121^{\circ}E/53^{\circ}$ dan $N132^{\circ}E/22^{\circ}$. Hasil analisis kinematika diperoleh jenis longsoran yakni longsoran bidang pada *joint set 1* sedangkan *joint set 2* tidak memenuhi syarat terjadinya longsoran bidang. Berdasarkan syarat kinematika longsoran bidang yakni: $\alpha > \beta > \phi$ ($60^{\circ} > 53^{\circ} > 23^{\circ}$).



Gambar 4.3: Bidang diskontinuitas (JS1) pada lereng



Gambar 4.4: Bidang diskontinuitas (JS2) pada lereng

3) *Slope mass rating* (SMR) dan *Rock mass rating* (RMR)

a) *Slope mass rating* (SMR) dan *Rock mass rating* (RMR)

Sistem penentuan massa batuan pada lereng menggunakan sistem *slope mass rating* (SMR). Hal itu didasari oleh analisis kimenatika dan juga klasifikasi massa batuan *rock mass rating* sehingga perlu dikaji satu persatu parameter masukan guna menentukan berapa nilai dari massa batuan oleh karena itu pentingnya penggunaan disain empirik dan juga klasifikasi massa batuan untuk melakukan analisis kestabilan lereng (Franklin, 1996) rumus dari pada klasifikasi massa batuan dengan *slope mass rating* adalah:

$$\text{SMR} = \text{RMR} - (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

F1= Tergantung pada paralelisme antara kekar dan kemiringan muka lereng (strike)

F2= Berhubungan dengan sudut dip kekar pada longsoran bidang

F3= Menunjukkan hubungan antara kemiringan lereng dan kemiringan kekar

F4= Tergantung pada kondisi apakah lereng alami, digali dengan peledakan *presplit*, peledakan *smooth*, penggalian mekanis.

Klasifikasi massa batuan dengan sistem *Rock Mass Rating* (RMR) memiliki parameter sebagai berikut:

- Kekuatan Batuan Utuh (*Intact Rock*)

Kekuatan batuan utuh (*intact rock*) dalam RMR dinyatakan dengan *Uniaxial Compressive Strength* (UCS).

UCS adalah kekuatan dari batuan utuh yang diperoleh dari hasil uji kuat tekan uniaksial.

Tabel 4.1. Klasifikasi kuat tekan (Bieniawski, 1973) dan ditambahkan oleh penulis

Klasifikasi	Kuat tekan uniaksial (MPa)	Kg/cm ²
	Bieniawski, 1973	
Sangat keras	250-700	2549-7138
Keras	100-250	1019-2549
Keras sedang	50-100	509-1019
Lunak	25-50	254-509
Sangat lunak	1-25	10-254

Rumus menghitung kuat tekan:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (4)$$

P = tekanan

A = luas permukaan $A = \pi r^2$

- *Rock Quality Designation* (RQD)

Parameter RQD diperoleh melalui pengamatan inti bor yang terambil dengan mengabaikan inti bor yang memiliki panjang kurang dari 10 cm dan menunjukkan sisanya sebagai persentase terhadap panjang pemboran. Namun jika

menggunakan sistem *scanline sampling*, dapat menggunakan sistem atau aturan Palmstrong (1982), dan Hudson (1979)

$$RQD = 115 - 3.3 JV$$

Ket: jv adalah jumlah kekar (Palmstrong, 1982)

$$RQD = 100 e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1) \text{ (Hudson, 1979)}$$

$$\lambda = \frac{n}{l}$$

L = panjang scaline
n = jumlah kekar

Tabel 4.2. Klasifikasi kualitas batuan berdasarkan RQD (Deree, 1964)

RQD (%)	Kualitas
0 – 25	Sangat buruk
25 – 50	Buruk
50 – 75	Sedang
75 – 90	Baik
90 – 100	Baik sekali

- Spasi kekar

Jarak tegak lurus antar kekar. Pengukuran spasi kekar harus dilakukan sepanjang garis bentangan pada singkapan massa batuan.

Tabel 4.3. Klasifikasi spasi kekar (Attewell, 1993)

Deskripsi	Struktur bidang diskontinuitas	Jarak pisah - mm
Spasi sangat lebar	Bukaan sangat lebar	>2000
Spasi lebar	Bukaan lebar	600-2000
Spasi cukup luas	Bukaan cukup lebar	200-600
Spasi dekat	Bukaan tipis	60-200
Spasi sangat dekat	Bukaan sangat tipis	20-60
	Laminasi tebal (batuan sedimen)	6-20
	Sempit (batuan metamorf dan batuan beku)	6-20
	Foliasi (tertutup)	6-20
Spasi sangat erat	Laminasi tipis (batuan sedimen)	<20
	Sangat tertutup	<6

- Kondisi Diskontinuitas/Kekar

Kondisi diskontinuitas ditentukan dari deskripsi tiap bidang diskontinuitas, berupa tingkat pelapukan, kekasaran permukaan bidang diskontinuitas, kemenerusan bidang kekar atau diskontinuitas, lebar bukaan, dan material pengisi bidang diskontinuitas.

Tabel 4.4. Klasifikasi persistensi (ISRM, 1981)

Deskripsi	Panjang kekar (m)
Sangat rendah	<1
Rendah	1-3
Menengah	3-10
Tinggi	10-20
Sangat tinggi	>20

Deskripsi kekasaran kekar menggunakan rujukan yang diberikan oleh ISRM (1981). Kondisi relatif kekasaran kekar permukaan bidang kekar dinyatakan sebagai berikut:

- I. Sangat kasar, jika jenjang-jenjang yang terjadi dipermukaan bidang kekar yang hampir vertikal.
- II. Kasar, jika kekasaran dapat dilihat dengan jelas dan apabila diraba masih terasa agak abrasif.
- III. Kekasaran rendah, jika kekasaran dipermukaan bidang kekar baru dapat diketahui dengan jelas jika diraba dengan tangan.
- IV. Halus, jika permukaan rekahan menjadi halus dan terasa halus ketika disentuh.
- V. Licin, jika permukaan rekahan terlihat halus dan terasa halus ketika disentuh.

- Kondisi Air tanah

Keberadaan air ini akan mengurangi kuat gesek antara kedua permukaan diskontinuitas. Bobot parameter air tanah dapat ditentukan dengan beberapa cara yaitu pengamatan langsung di lapangan dan menentukan kondisi umum air.

Hasil dari penentuan massa batuan berdasarkan pengamatan dan pengujian dapat dilihat pada tabel 4.6

1. Kekuatan batuan utuh

Berdasarkan pengujian kuat tekan batuan UCS di Laboratorium Geologi Teknik diperoleh nilai kuat tekan batuan sebesar:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$A = A = \pi r^2$$

$$= 3,14 \times 2.25^2$$

$$= 15,88 \text{ cm}$$

$$\sigma = \frac{100 \text{ kN}}{15,88 \text{ cm}^2} = \frac{100000 \text{ N}}{1588 \text{ mm}^2} = 63 \text{ N/mm}^2 \text{ atau } 640 \text{ Kg/cm}^2$$

2. *Rock quality designation* RQD

Nilai RQD didapatkan berdasarkan perhitungan dengan aturan Hudson (1979) yaitu: $RQD = 100 e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1)$

$$\lambda = 100/6$$

$$\lambda = 16.6$$

$$RQD = 100 e^{-0.1 \cdot 16.6} (0.1 \cdot 16.6 + 1)$$

$$RQD = 50$$

3. Spasi kekar

Terdapat dua *joint set* pada area penelitian dimana rata-rata spasi kekar pada lereng tersebut adalah 9 cm.

4. Kondisi kekar

Permukaan pada kekar agak kasar dan menerus rata-rata panjang kekaranya 1 m material pengisinya berupa pasir kasar dan pelapukan yang tinggi.

5. Kondisi air tanah

Kondisi air tanahnya atau permukaan pada lereng masih keadaan lembab.

Tabel 4.5. Hasil pembobotan RMR

No	Parameter	Selang pembobotan	Point
1	Kuat tekan UCS	63 Mpa	7
2	RQD	50 %	8
3	Spasi kekar	9 cm	8
4	Kondisi rekahan	lapuk dan menerus	20
5	Air tanah	lembab	10

Keterangan:

1. Pada tabel 4.2 (*Rock Mass Rating*, Bieniawski, 1973) menunjukkan nilai kuat tekan 50-100 pada UCS merupakan batuan dengan tingkat kekerasan yang sifatnya keras sedang.
2. RQD menurut Deere (1964) (Tabel 4.3) persentase 25-50% memiliki kualitas yang buruk.
3. Hasil pengukuran kekar di lapangan jika dilihat pada tabel 4.4 (Attewell, 1993), spasi kekarnya dikategorikan “spasi lebar” dan struktur bidang kekarnya dikategorikan “bukaan lebar”. Hal ini menyebabkan bobot dari kekar pada lereng bernilai kecil.
4. Kondisi rekahan pada area penelitian (tabel 4.5 Klasifikasi persistensi, ISRM, 1981), menunjukkan panjang kekar $1 > 3$ meter masuk kategori rendah dan kekasarannya masuk dalam kategori kasar (kekasaran dapat dilihat dengan jelas dan apabila diraba masih terasa agak abrasif).
5. Kondisi air tanah pada area penelitian tidak terlihat namun bila diraba permukaannya terasa lembab.

Nilai *rock mass rating* RMR

$$\begin{aligned} \text{RMR} &= 7 + 8 + 8 + 20 + 10 \\ &= 53 \end{aligned}$$

Menghitung nilai SMR

$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

Nilai SMR adalah faktor penyesuaian terhadap arah orientasi lereng dan metode ekskavasi yang digunakan pada nilai RMR. F1 = memiliki bobot 0,40, F2 memiliki bobot 1, F3 memiliki bobot -50, dan F4 merupakan bobot pengaturan dengan metode penggalian mekanis maka bobotnya 0, deskripsi pembobotannya dapat dilihat pada tabel 4.6 yang diberi tanda kuning.

Keterangan:

$$F1 = \text{Arah kemiringan kekar} - \text{arah kemiringan lereng} \quad (5)$$

$$= 121^\circ - 101^\circ = 20^\circ$$

Hasil perhitungan F1 jika dicocokkan pada tabel 2.6 (Bobot pengaturan untuk kekar, F1, F2 dan F3, Romana, 1993), maka nilai bobot yang didapatkan yakni 0.40

$$F2 = \text{Penilaian bobot pada F2 mengacu pada kemiringan kekar atau dip kekar, dan didapatkan dip kekar sebesar } 53^\circ, \text{ jika dicocokkan pada tabel 2.6, didapatkan bobot } F2 = 1$$

$$F3 = \text{kemiringan kekar} - \text{kemiringan lereng} \quad (6)$$

$$= 53^\circ - 58^\circ = -5^\circ$$

Hasil perhitungan F3 jika mengacu pada tabel 2.6, maka didapatkan bobot massa batuan sebesar -50.

F4 = Pembobotan pada F4 melihat dari teknik dari penggalian pada lereng, penggalian lereng dengan peralatan gali, hanya dapat dilakukan pada batuan lemah dan terkekarkan, metode ini dapat bertambah dan berkurang tingkat kemantapan lerengnya maka bobot F4 = 0

$$\text{SMR} = 53 + (0.40 \times 1 \times -50) + 0$$

$$\text{SMR} = 33 \text{ (Rating = Kelas II)}$$

Tabel 4.6. Deskripsi untuk setiap kelas SMR (Romana, 1985, dalam Sayed, 2011)

Profil massa batuan		Deskripsi			
Nomor massa	V	IV	III	II	I
SMR rating	81-100	61-80	41-60	21-40	0-20
Kelas massa batuan	Sanagat baik	Baik	Sedang	Jelek	Sangat jelek
Kestabilan	Sangat stabil	Stabil	Stabil sedang	Tidak stabil	Sangat tidak stabil
Longsoran	Tidak ada	Beberapa blok	Baji	Bidang	Bidang besar seperti tanah
Penyangga	Tidak ada	Sewaktu-waktu	Sistematis	Sangat perlu perbaikan	<i>Re-excavation</i>
Probabilitas kelongsoran	0.1	0.2	0.4	0.6	0.9

Tabel 4.7. Rekomendasi sistem penyangga untuk kestabilan lereng (Romana,1985 dalam Sayed, 2011)

SMR	Sistem penyangga
65 – 100	None, scalling
45 – 75	Fences, net
30 – 75	Bolting, anchoring
20 – 60	Shotcrete, concrete
30 – oct	Total wall re-excavation normal in soil slopes, but less practical in rock slopes, except if the instability mode is planar through a big continuous joint



Gambar 4.5: Pengujian UCS di Laboratorium Geologi Teknik Jurusan Teknik Geologi Universitas Hasanuddin

Nilai *slope mass rating* didapatkan 33 dengan kategori kelas II massa batuan jelek, dan lereng tidak stabil. Hal ini menandakan lereng tersebut tidak stabil dan probabilitas kelongsoran mencapai 0,6 atau 60%. Mengingat

pengambilan data dilakukan saat musim kemarau. Pada saat musim penghujan parameter dari perhitungan *slope mass rating* akan berubah. Berdasarkan pengalaman atau kejadian tanah longsor di area penelitian selalu terjadi pada musim penghujan.

4) Probabilitas kelongsoran (PK) dengan Simulasi Monte Carlo

Tujuan utama probabilitas ini untuk mengurangi faktor ketidakpastiaan pada analisis kestabilan lereng. Probabilitas kelongsoran secara umumnya ialah seberapa besar (%) suatu lereng akan mengalami kelongsoran berdasarkan parameter masukan sifat fisik dan mekanik batuan, dengan menggunakan simulasi Monte Carlo dan metode Kesetimbangan Batas.

Fungsi distribusi probabilitas menggambarkan penyebaran suatu variabel acak yang digunakan untuk memperkirakan nilai probabilitas kemunculan suatu parameter. Fungsi distribusi probabilitas memiliki sifat-sifat penyebaran yang khas dan unik yang menjadikan fungsi yang satu akan berbeda dengan fungsi yang lainnya. Metode Kesetimbangan Batas dapat menunjukkan beberapa nilai yaitu *SF (Safety Factor)*, *PF (Probability Failure)*.

Penentuan fungsi distribusi dilakukan menggunakan software risk dan Microsoft excel, nilai terkecil pada dari fungsi distribusi yang diamati merupakan fungsi distribusi yang paling cocok digunakan, kemudian dilakukan uji chi-square guna untuk mengetahui apakah fungsi distribusi yang digunakan dapat diterima atau tidak. Uji chi-square didasarkan pada sejauh

mana kesesuaian antara frekuensi-frekuensi yang diamati dengan frekuensi-frekuensi yang diharapkan muncul (Listyawan, dkk, 2009).

a) Pencocokan (fitting) distribusi data

Program Risk 7.6 digunakan untuk mengetahui *best fit distribution* langkah awal ialah menentukan jumlah kelas pada data menggunakan rumus *sturges*, yaitu:

$$K = 1 + 3.3 \log n$$

$$K = 1 + 3.3 \log 12$$

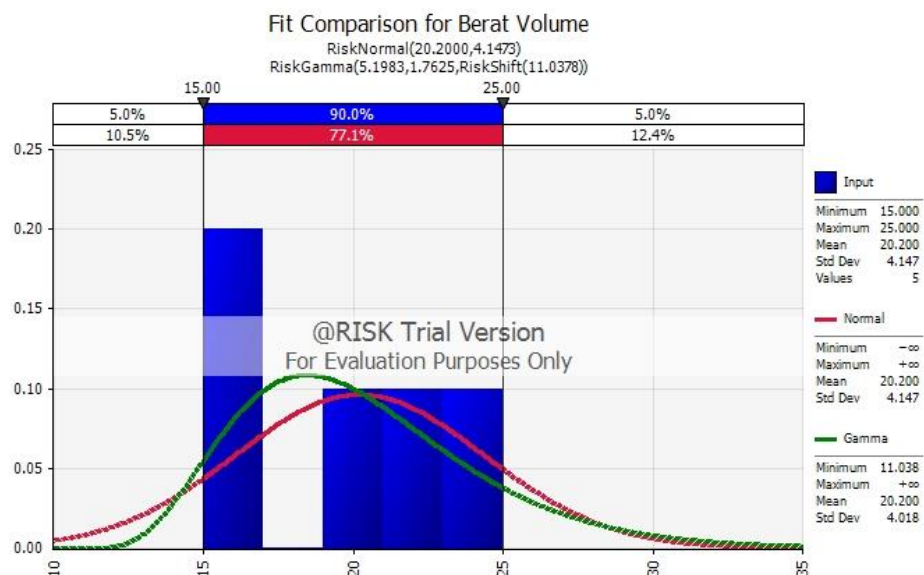
$$K = 5$$

Proses pencocokan distribusi data atau fitting menggunakan data material properties dan Analisis menggunakan program Risk untuk memudahkan dalam proses pencocokan secara akurat. Hal yang perlu diperhatikan saat pencocokan adalah pastikan tipe distribusi yang digunakan adalah tipe distribusi yang tersedia dalam program. Slide 6 memiliki banyak tipe distribusi namun dalam penelitian ini hanya menggunakan tiga tipe distribusi yaitu: normal, lognormal, gamma dan weibull. Penelitian ini menggunakan dua metode pencocokan data untuk perbandingan nilai distribusi masing-masing parameter tanah dan batuan°, yaitu Chi-Squared, dan Kolmogorov-Smirnov. Nilai distribusi yang paling kecil diantara kedua metode tersebut menjadi parameter distribusi yang paling cocok / fit kemudian dilakukan pencocokan terhadap derajat

kepercayaan melalui tabel derajat kepercayaan. Berikut adalah hasil pencocokan distribusi masing-masing parameter.

a) Berat volume/isi

Hasil pencocokan distribusi dari program @RISK berupa grafik perbandingan antar pola distribusi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 berikut.



@RISK - Fit Results:4		
Rank By	Fit	Value
Chi-Sq	<input checked="" type="checkbox"/> Normal	0.2000
	<input checked="" type="checkbox"/> Gamma	0.2000
	<input type="checkbox"/> Lognorm	N/A
	<input type="checkbox"/> Weibull	N/A

@RISK - Fit Results:4		
Rank By	Fit	Value
K-S	<input checked="" type="checkbox"/> Normal	0.1798
	<input checked="" type="checkbox"/> Gamma	0.2328
	<input type="checkbox"/> Lognorm	N/A
	<input type="checkbox"/> Weibull	N/A

Gambar 4.6: Hasil pencocokan data dan ranking nilai parameter berat volume

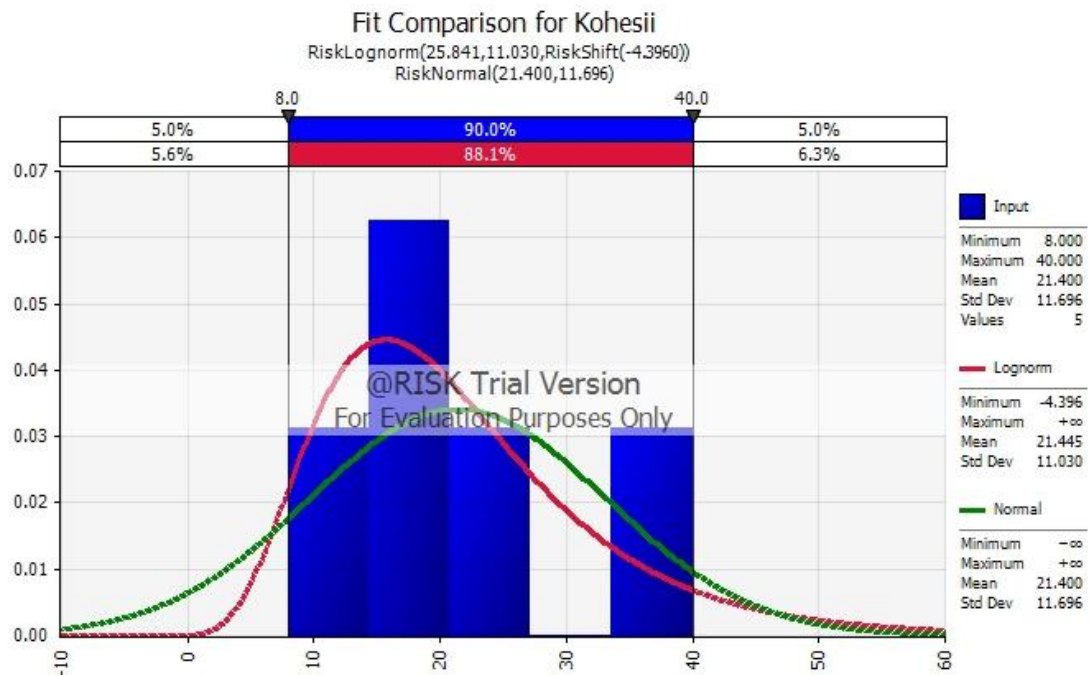
Berdasarkan gambar 4.6 untuk warna merah merupakan grafik dengan distribusi normal, dan untuk yang warna hijau merupakan grafik distribusi gamma. Dari ketentuan yang cocok untuk digunakan adalah distribusi yang paling kecil yaitu distribusi normal.

Tabel 4.8 Rekapitulasi masing-masing fungsi distribusi berat volume

Metode pencocokan	Normal	Lognormal	Gamma	Wiebull
Chi-squared	0.2	N/A	0.2	N/A
Kolmogorv-shirnov	0.1798	N/A	0.2328	N/A

b) Kohesi

Hasil pencocokan distribusi dari program @RISK berupa grafik perbandingan antar pola distribusi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7 berikut:



@RISK - Fit Results:3			@RISK - Fit Results:3		
Rank By: Chi-Sq			Rank By: K-S		
	Fit	Value		Fit	Value
<input checked="" type="checkbox"/>	Normal	0.2000	<input checked="" type="checkbox"/>	Lognorm	0.1988
<input checked="" type="checkbox"/>	Lognorm	0.2000	<input checked="" type="checkbox"/>	Normal	0.2795
<input type="checkbox"/>	Gamma	N/A	<input type="checkbox"/>	Gamma	N/A
<input type="checkbox"/>	Weibull	N/A	<input type="checkbox"/>	Weibull	N/A

Gambar 4.7: Hasil pencocokan data dan rangking nilai parameter kohesi

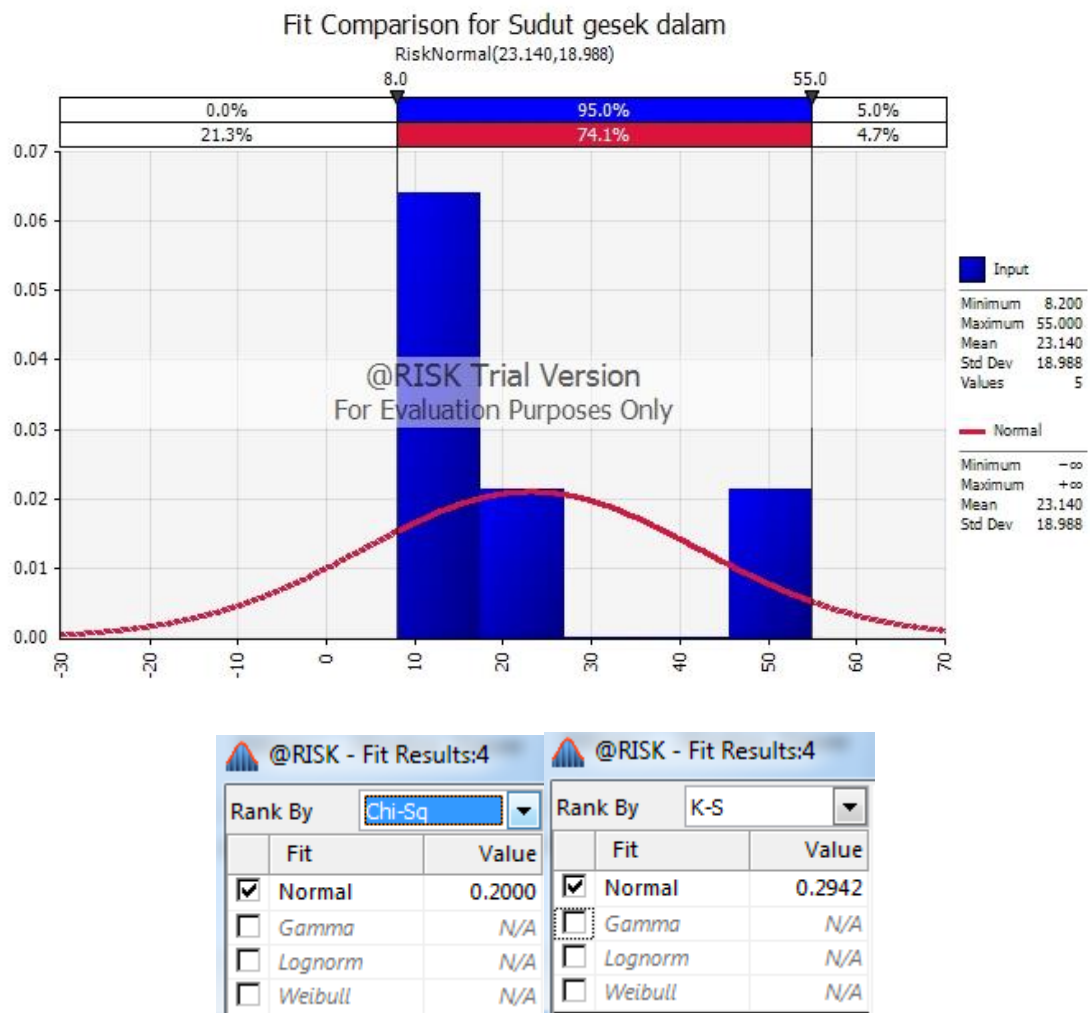
Berdasarkan gambar 4.7 untuk warna merah merupakan grafik dengan distribusi lognormal, dan untuk yang warna hijau merupakan grafik distribusi normal. Dari ketentuan yang cocok untuk digunakan adalah distribusi yang paling kecil yaitu distribusi lognormal.

Tabel 4.9 Rekapitulasi masing-masing fungsi distribusi kohesi

Metode pencocokan	Normal	Lognormal	Gamma	Wiebull
Chi-squared	0.2	0.2	N/A	N/A
Kolmogorv-shirnov	0.2795	0.1988	N/A	N/A

c) Sudut gesek dalam

Hasil pencocokan distribusi dari program @RISK berupa grafik perbandingan antar pola distribusi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 berikut:



Gambar 4.8: Hasil pencocokan data dan ranking nilai parameter sudut gesek dalam

Berdasarkan gambar 4.8 untuk warna merah merupakan grafik dengan distribusi normal. Hasil fitting data atau kecocokan data khusus untuk parameter sudut gesek dalam hanya dapat dilakukan dengan fungsi distribusi normal.

Tabel 4.10: Rekapitulasi masing-masing fungsi distribusi sudut gesek dalam

Metode pencocokan	Normal	Lognormal	Gamma	Wiebull
Chi-squared	0.2	N/A	N/A	N/A
Kolmogorv-shirnov	0.2942	N/A	N/A	N/A

Tabel 4.11: Data statistik tiap parameter berdasarkan hasil pengolahan dengan software Risk 7.6

Parameter	Kohesi (kN/m ²)	Berat isi (kN/m ³)	Sudut gesek dalam
Min	8	15	8.2
Max	40	25	55
Tipe distribusi	Lognormal	Normal	Normal
Rata-rata	21.4	20.2	23.14
Stan.dev	11.696	4.147	18.988

d) Derajat kepercayaan

Pada uji derajat kepercayaan nilai atau suatu analisa fungsi distribusi dapat dikatakan diterima apabila nilai empirik atau nilai hitungnya lebih kecil daripada nilai chi-square atau nilai kritis pada tabel derajat kepercayaan, umumnya *margin error* yang digunakan pada proses karakteristik ini ialah $\alpha = 0,05$

Derajat kepercayaan artinya jumlah total pengamatan dikurangi banyaknya kendali bebas atau pembatasan, menurut Listyawan dkk, 2009 pada model distribusi normal angka kebebasan merupakan banyaknya pengamatan bebas dari total pengamatan sehingga rumus derajat kepercayaan.

$$(dk) = N - 1 - m$$

$$dk = 5 - 1 - 2 = 2$$

keterangan nilai $m = 2$ merupakan nilai tetap untuk distribusi normal

Tabel 4.12 Derajat kepercayaan kritis

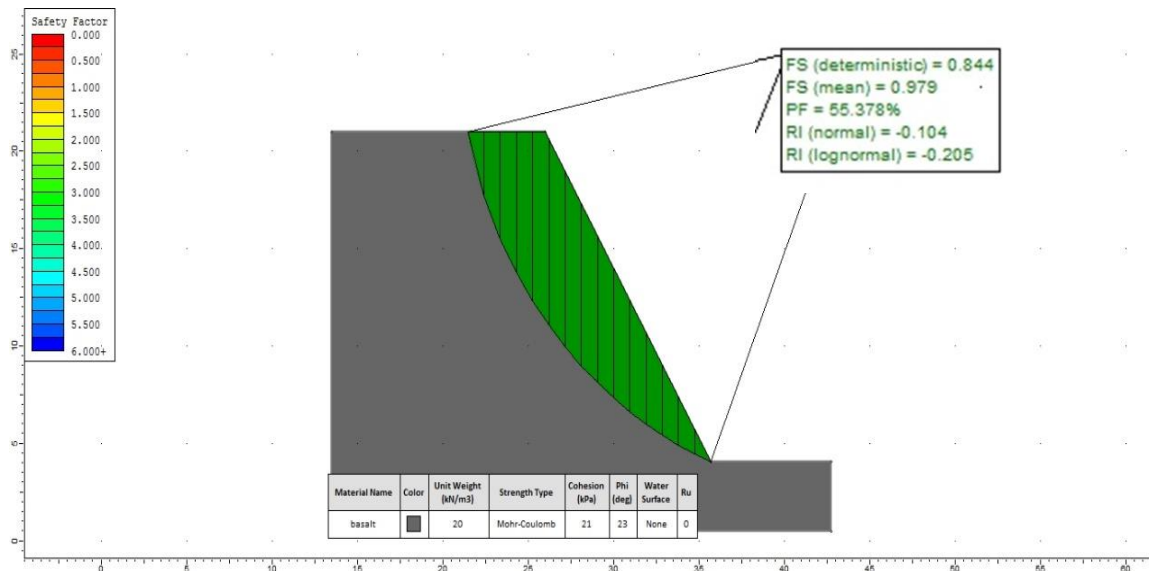
dk	derajat kepercayaan α							
	0.995	0.99	0.975	0.95	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0.0000393	0.000157	0.000982	0.00393	3.841	5.024	6.635	7.879
2	0.01	0.0201	0.0506	0.103	5.991	7.378	9.21	10.597
3	0.0717	0.115	0.216	0.352	7.815	9.348	11.345	12.838
4	0.207	0.297	0.484	0.711	9.488	11.143	13.277	14.86
5	0.412	0.554	0.831	1.145	11.07	12.832	15.086	16.75
6	0.676	0.872	1.237	1.635	12.592	14.449	16.812	18.548
7	0.989	1.239	1.69	2.167	14.062	16.013	18.475	20.278
8	1.344	1.646	2.18	2.733	15.507	17.535	20.09	21.955
9	1.735	2.088	2.7	3.325	16.919	19.023	21.666	23.589
10	2.156	2.558	3.247	3.94	18.307	20.483	23.209	25.188

Hasil uji derajat kepercayaan pada tabel derajat kepercayaan menunjukkan nilai kritis yang didapatkan ialah 5.991 artinya nilai empirik atau nilai hitung lebih kecil daripada nilai kritis ($0.2 < 5.991$) sehingga Analisa fungsi distribusi normal dapat diterima atau dapat mewakili data keseluruhan dalam proses analisis lanjutan.

e) Analisis kemandapan lereng dengan simulasi Monte Carlo

Analisis kemandapan lereng merupakan tahap akhir pada model komputasi. Proses karakterisasi data menggunakan program Risk 7.6 telah didapatkan, dapat dilihat pada tabel 4.11 dan fungsi distribusi yang sesuai ialah distribusi normal dan lognormal sehingga proses akhir ialah

menganalisis lereng tersebut menggunakan software *slide 6* dengan percobaan sebanyak 4500 iterasi atau angka acak.



Gambar 4.9: Hasil simulasi Monte Carlo

Keterangan:

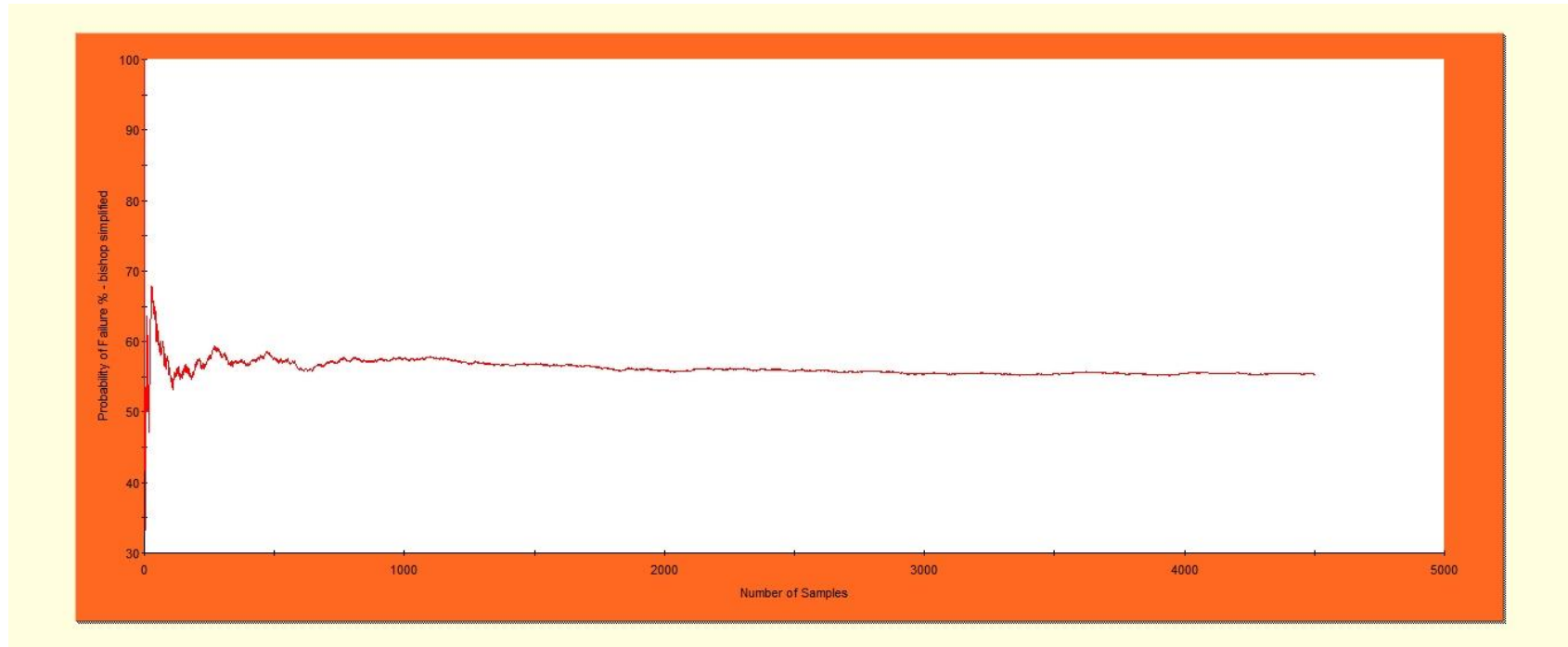
- Deterministic safety factor* (*FS deterministic*) adalah nilai faktor keamanan yang sama ketika melakukan analisis tanpa menggunakan probabilitas.
- Mean safety factor* (*FS mean*) adalah nilai rata-rata dari semua faktor keamanan yang didapat dari analisis menggunakan skema Monte Carlo.
- Probability of failure* (*PF*) adalah Probabilitas Kelongsoran (*PK*) didefinisikan sebagai rasio antara jumlah lereng longsor hasil

analisis ($FK < 1$) dengan jumlah total analisis (sampel atau simulasi) yang dinyatakan dalam persen

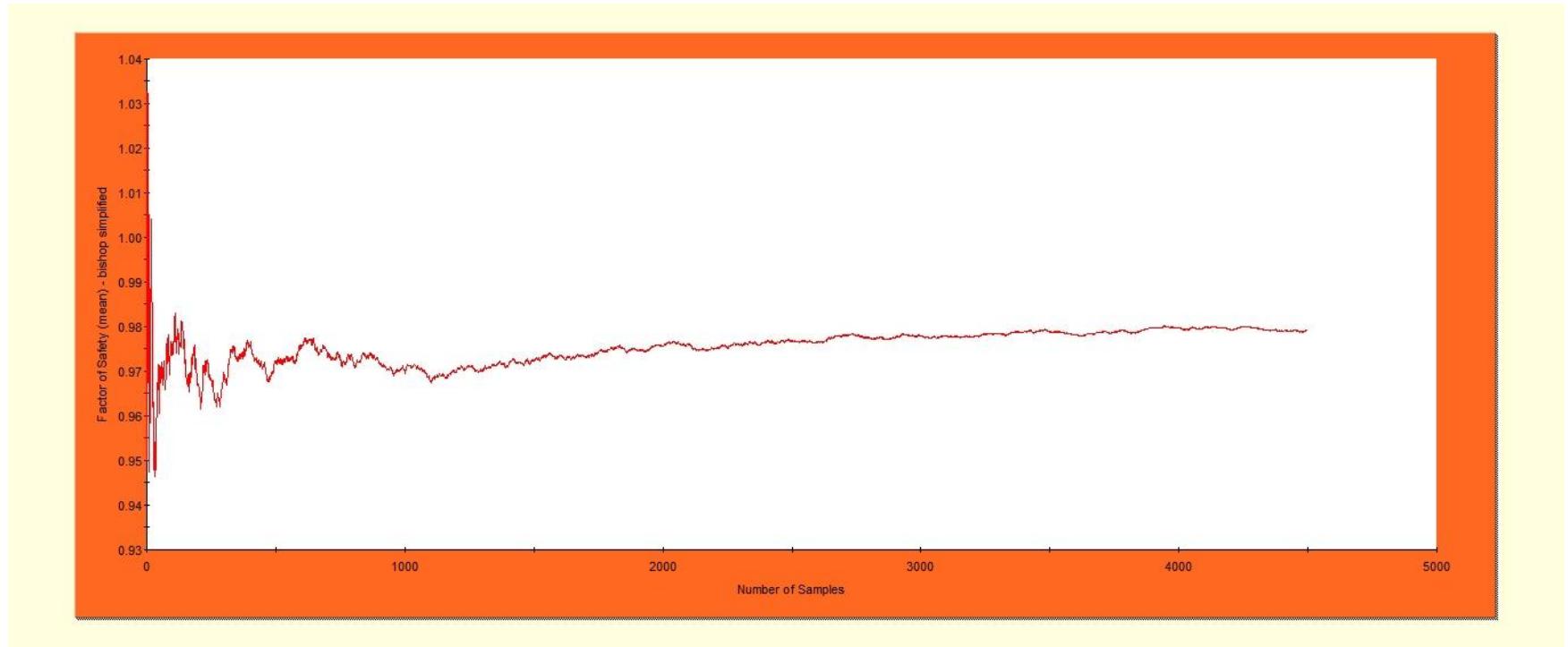
d) *Reability index* (RI) adalah Cara lain menilai keamanan lereng dalam analisis probabilitas adalah dengan menghitung nilai indeks reliabilitasnya. RI merupakan ukuran seberapa jauh nilai FK hasil hitung terhadap nilai kritisnya ($FK = 1$). Dari persamaan di atas dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Untuk tingkat keyakinan yang baik RI harus lebih besar atau sama dengan tiga ($RI = 3$).
- $RI = 0$ menunjukkan nilai rata-rata faktor keamanan sama dengan satu ($FK_{mean} = 1$).
- RI negatif menunjukkan rata-rata nilai FK kurang dari satu ($FK_{mean} < 1$).

Hasil pendekatan statistik menggunakan simulasi Monte Carlo menunjukkan nilai rata-rata faktor keamanan adalah 0.97 dengan nilai probabilitas kelongsoran 55.387 %.



Gambar 4.11: Hubungan antara nilai PK dan jumlah iterasi



Gambar 4.12: Hubungan antara nilai FK dan jumlah iterasi

5) Estimasi kecepatan maksimal

Penentuan kecepatan maksimal pada longsor didasari oleh energi yang digunakan. Secara konservatif energi terbagi menjadi dua, yaitu energi kinetik dan energi potensial. Menurut hukum kekekalan energi, energi yang dibutuhkan untuk melakukan suatu kerja akan selalu sama di setiap titik. Yang artinya jika energi potensial semakin rendah, karena dipengaruhi oleh ketinggian, maka konsekuensinya energi kinetiknya akan meningkat yang berakibat pada peningkatan nilai kecepatan (persamaan dasar terdapat di bab II) (Souisa, dkk, 2019)

Pada umumnya massa longsor yang bergerak pada bidang gelincir diakibat oleh adanya gaya tarik gravitasi bumi dan komponen gaya berat yang sejajar permukaan bidang miring. Pada daerah penelitian, komponen-komponen ini berasal dari batuan yang lapuk dan mudah luruh jika terkena air hujan. Oleh karena permukaan bidang miring kasar, maka terdapat gaya gesekan yang arahnya berlawanan dengan arah gerakan luncuran massa longsor. Mengandalkan tiap-tiap model irisan pada metode kesetimbangan batas dimana diasumsikan tiap slide memiliki pusat massa dan ketinggian masing – masing yang menyebabkan adanya energi potensial dan energi kinetik yang berkerja sehingga dapat menghitung estimasi kecepatan maksimum pada lereng melalui persamaan berikut:

$$v(x) = \sqrt{2g(H - h(x) - x \tan \phi_p)}$$

keterangan =

$v(x)$ = kecepatan maksimum

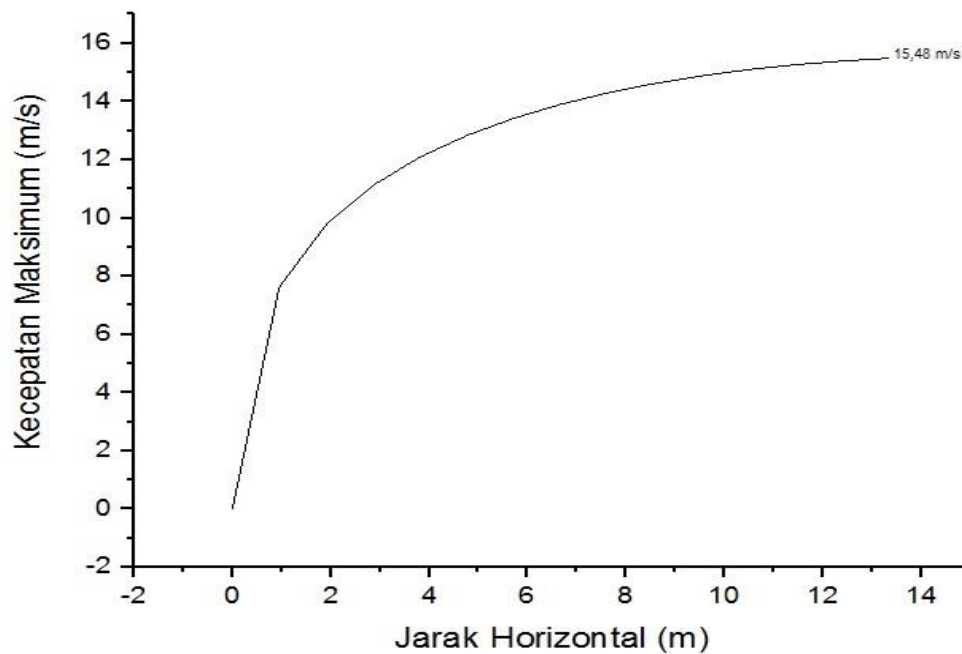
g = gravitasi (9.8)

H = tinggi bidang gelincir

$h(x)$ = tinggi pusat massa tiap slice

x = jarak antar slice

$\tan \phi_p$ = sudut gesek semu

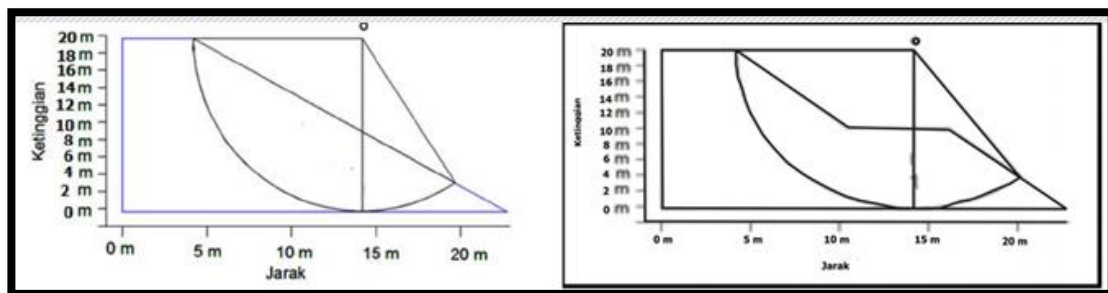


Gambar 4.13: Estimasi kecepatan maksimum longsor

Hasil simulasi menunjukkan bahwa estimasi kecepatan maksimum saat terjadi longsor mencapai 15.48 m/s, perhitungan detail mengenai simulasi perhitungan kecepatan maksimum terdapat pada lampiran B.

6) *Relieving bench slope and relieving bench high*

Analisa ini merupakan percobaan atau *trial and error* kemantapan lereng dengan melakukan pemotongan pada sudut lereng dan tinggi lereng guna membuat bench baru serta bertujuan mendapatkan sudut yang lebih kecil dari kemiringan geometri awal pada lereng (Gultom, dkk, 2018) . Proses analisis ini dilakukan guna mendapatkan hubungan antara probabilitas dan kemiringan lereng serta mengimpulkan geometrik lereng yang paling sesuai dalam analisis.



Gambar 4.14: Model *Relieving bench slope and relieving bench high*

Tabel 4.13. Variasi kemiringan lereng dan tinggi lereng diposisi 17 meter

variasi	tinggi lereng	sudut kemiringan lereng (°)	FK deterministik	FK rata-rata	Probabilitas kelongsoran
1	17	25	1.75	2.04	0
2	17	30	1.482	1.725	0.489
3	17	40	1.193	1.387	9.244
4	17	50	0.996	1.155	27.733
5	17	60	0.844	0.979	55.378

Tabel 4.14. Variasi kemiringan lereng dan tinggi lereng diposisi 14 meter

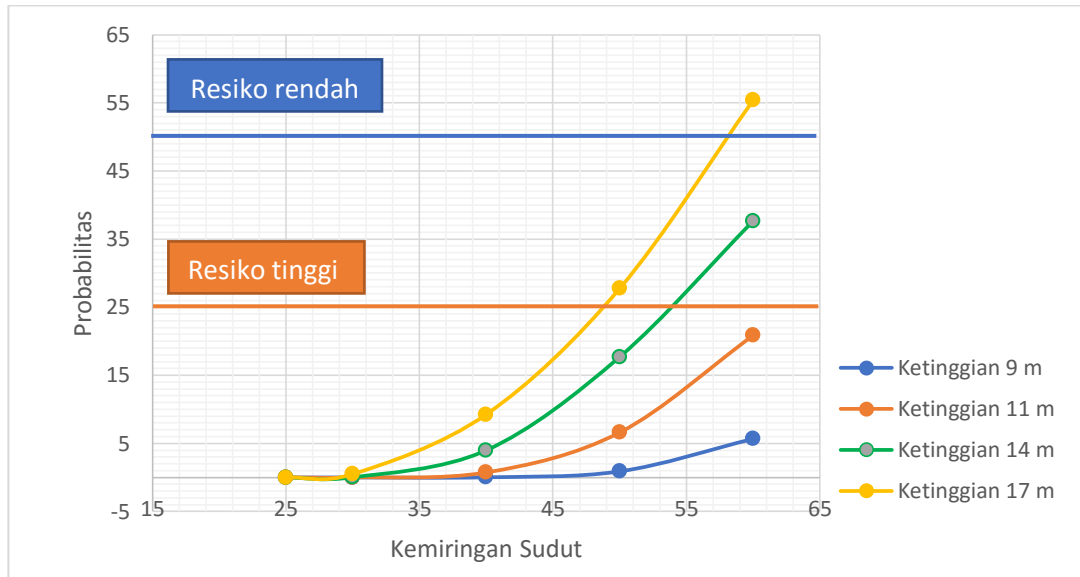
variasi	tinggi lereng	sudut kemiringan lereng (°)	FK deterministik	FK rata-rata	Probabilitas kelongsoran
1	14	25	1.824	2.123	0
2	14	30	1.606	1.868	0.022
3	14	40	1.299	1.508	3.978
4	14	50	1.088	1.26	17.689
5	14	60	0.93	1.079	37.644

Tabel 4.15. Variasi kemiringan lereng dan tinggi lereng diposisi 11 meter

variasi	tinggi lereng	sudut kemiringan lereng (°)	FK deterministik	FK rata-rata	Probabilitas kelongsoran
1	11	25	1.992	2.315	0
2	11	30	1.774	2.061	0
3	11	40	1.458	1.691	0.733
4	11	50	1.235	1.43	6.6
5	11	60	1.053	1.22	20.844

Tabel 4.15. Variasi kemiringan lereng dan tinggi lereng diposisi 9 meter

variasi	tinggi lereng	sudut kemiringan lereng (°)	FK deterministik	FK rata-rata	Probabilitas kelongsoran
1	9	25	2.279	2.646	0
2	9	30	2.048	2.375	0
3	9	40	1.718	1.99	0.02
4	9	50	1.461	1.691	0.889
5	9	60	1.264	1.461	5.667



Gambar 4.15: Grafik hubungan probabilitas lereng dan kemiringan lereng

Gambar 4.15 menunjukkan grafik antara probabilitas kelongsoran (sumbu y) dan keseluruhan variasi model lereng penelitian, dimana sumbu x adalah sudut kemiringan lereng sedangkan tinggi lereng ditandai dengan notasi simbol. Garis solid warna biru pada gambar menunjukkan standar resiko rendah yang merujuk pada SRK 2010 dengan batas maksimal probabilitas kelongsoran yang diperbolehkan sebesar 50%, sedangkan garis solid warna oranye menunjukkan standar resiko tinggi dengan batas maksimal probabilitas kelongsoran yang diperbolehkan sebesar 25%.

Berdasarkan gambar, untuk lereng berkategori resiko tinggi memiliki rekomendasi sebagai berikut:

1. Lereng dengan tinggi 9 meter aman hingga sudut kemiringan lereng 60°

2. Lereng dengan tinggi 11 meter aman hingga sudut kemiringan lereng 60°
3. Lereng dengan tinggi 14 meter aman hingga sudut kemiringan lereng 54°
4. Lereng dengan tinggi 9 meter aman hingga sudut kemiringan lereng 49°
maka sebaiknya lereng dibuat hingga sudut 45°

Berdasarkan gambar, untuk lereng berkategori resiko rendah memiliki rekomendasi sebagai berikut:

1. Lereng dengan tinggi 9 meter, 11 meter, dan 14 meter aman hingga sudut kemiringan lereng 60°
2. Lereng dengan tinggi 17 meter aman hingga sudut kemiringan lereng 58°

Hasil probabilitas kelongsoran apabila dibandingkan dengan standar angka aman (FK) adalah sebagai berikut :

1. Kategori lereng resiko tinggi yang memiliki probabilitas kelongsoran yang paling kritis (mendekati batas yang disyaratkan = 25%) adalah lereng tinggi 11 m dan sudut 60° dengan probabilitas kelongsoran sebesar 20,84%. Nilai FK rerata pada lereng tersebut adalah sebesar 1,22. Hal ini berarti bahwa lereng memenuhi batas probabilitas kelongsoran yang disyaratkan, akan tetapi tidak memenuhi SF minimum berdasarkan SNI 03-3997-1995 dengan rekomendasi SF minimum sebesar 1,5).
2. Kategori lereng resiko rendah yang memiliki probabilitas kelongsoran yang paling kritis (mendekati batas yang disyaratkan = 50%) adalah lereng tinggi 14 m dan sudut 60° dengan probabilitas kelongsoran sebesar 37.64 %. Nilai SF rerata pada lereng tersebut adalah sebesar

1,07. Hal ini berarti bahwa lereng memenuhi batas probabilitas kelongsoran yang disyaratkan, akan tetapi tidak memenuhi FK minimum berdasarkan SNI 03-3997-1995 dengan rekomendasi FK minimum sebesar 1,2).

7) Analisis sensitivitas

Tiga parameter material yang paling umum yang digunakan sebagai dasar dari perhitungan kestabilan lereng yaitu, *unit weight*, kohesi dan sudut gesek dalam. Ketiga material tersebut mempunyai pengaruh dan dampak khusus pada tiap-tiap model lereng. Umumnya kohesi merupakan parameter yang paling penting dan berdampak pada material lempung yang dominan lempung, apabila nilai kohesi berubah maka kekuatan material lempung tersebut otomatis akan berubah, artinya material pada lereng tersebut sensitif terhadap perubahan nilai kohesi. Begitu juga sebaliknya dengan material tanah yang dominan pasir, sudut gesek dalam merupakan parameter yang paling berdampak pada kesensitivan material.

Material penyusun suatu lereng tanah, tidaklah dapat dipastikan bahwa lereng tersebut terdiri dari 100% material pasir dan lempung, terdapat pencampuran kedua material tersebut. Oleh karena itu, terciptalah *sensitivity analysis* pada analisis kestabilan lereng, untuk membantu parameter apa yang paling sensitif pada model lereng yang akan dianalisis.

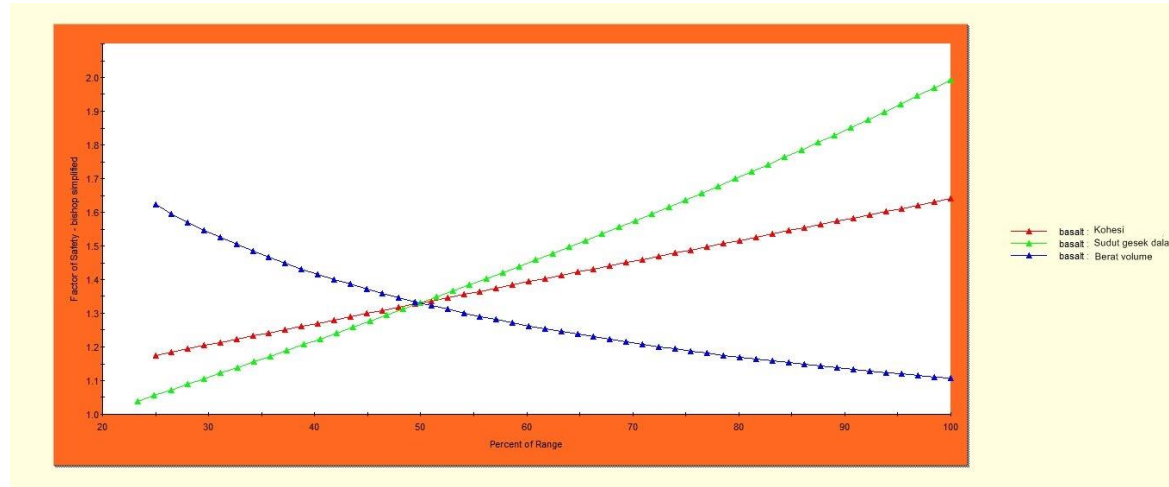
Konsep dari perhitungan sensitivitas ini adalah dengan melakukan perhitungan nilai FK deterministik berdasarkan variasi perubahan nilai

parameter material. Pada saat satu parameter sedang dihitung variasinya, parameter lainnya tetap pada nilai yang konstan dan diganti secara linear (Lenusa, 2018).

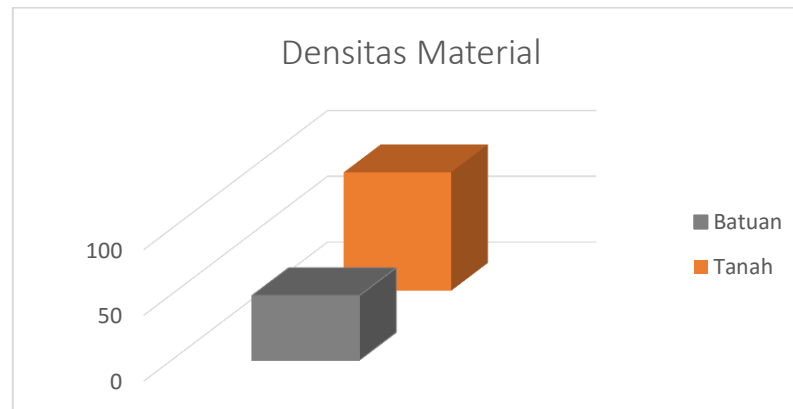
Mengetahui parameter apa yang paling sensitif, dapat dilihat melalui sensitivity plot. Apabila kurva dari parameter relatif datar, maka parameter tersebut relatif tidak sensitif, sebaliknya apabila parameter tersebut grafiknya naik, parameter tersebutlah yang paling sensitif terhadap model yang dianalisis, seperti hasil yang dilakukan oleh peneliti pada Gambar 4.15. sensitivity plot.

Hasil yang pengolahan data dapat dilihat pada Gambar 4.15, menunjukkan bahwa parameter berat volume membuat nilai FK menjadi turun seiring dengan berkurangnya nilai berat volume. Parameter kohesi dan sudut gesek dalam, membuat nilai FK semakin naik seiring dengan naiknya nilai pada rentang parameter kohesi dan sudut geser dalam. Hal ini terjadi karena berat volume batuan pada lereng menjadi gaya peruntuh, sedangkan kohesi dan sudut gesek dalam menjadi kekuatan pada material sebagai gaya penahan lereng. Apabila berat volume material semakin besar, maka beban sendiri tanah yang harus ditanggung lereng menjadi bertambah dan nilai FK menjadi menurun. Apabila nilai kohesi dan sudut gesek dalam semakin bertambah, maka nilai FK lereng menjadi meningkat. Kohesi dan sudut gesek dalam merupakan unsur *strength* parameter yang memberikan kekuatan pada material untuk menahan keruntuhan. Naiknya nilai berat volume di

dasarkan karena tingginya nilai kejenuhan pada material yang terdapat pada hasil analisis laboratorium di fisika material yang mencapai 50% menyebabkan tinggi berat volume pada tanah dan batuan.



Gambar 4.15: Grafik sensitivitas



Gambar 4.16. Densitas material

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan mengenai studi karakteristik kemantapan lereng berdasarkan pendekatan probabilistik dapat disimpulkan bahwa:

A. Kesimpulan

1. Berdasarkan pengukuran langsung di lapangan, tipe longsor yang terjadi ialah jenis longsor bidang. Berdasarkan klasifikasi massa batuan yakni *slope mass rating* diperoleh massa batuan yang buruk yang menunjukkan tanda ketidakstabilan pada lereng.
2. Karakteristik pada proses analisis probabilistik nilai PK (probabilitas kelongsoran) dan FK (faktor keamanan) menunjukkan hal yang selaras yakni mengidentifikasi ketidakstabilan pada lereng dimana hasil FK rata-rata menunjukkan nilai FK 0.9, serta estimasi kecepatan longsor yang terjadi mencapai 15,48 m/s.
3. Proses treatment dengan mengurangi tinggi lereng hingga 9 m dan sudut lereng hingga 25° dapat menurunkan nilai PK hingga mencapai 0.0% dan nilai FK naik hingga 1.3, namun lereng yang memiliki resiko yang tinggi terdapat pada lereng dengan tinggi 11 meter dan lereng yang memiliki resiko rendah terdapat pada lereng dengan tinggi 14 meter serta dalam proses analisis sentifitas menunjukkan sudut

gesek dalam merupakan parameter yang paling sensitif seiring naiknya nilai faktor keamanan dan turunnya nilai FK disebabkan oleh naiknya berat volume dikarenakan tingkat kejenuhan pada berat volume naik mencapai 50%.

B. Saran

1. Analisis lanjutan untuk mendapatkan nilai yang lebih kompleks ialah dengan memasukkan data laju infiltrasi, air permukaan dan curah hujan yang diambil pada saat musim penghujan.
2. Untuk mendapatkan seberapa besar dampak dari pada tanah longsor dapat, dilakukan analisis lanjutan berupa *digital analysis image* yang bertujuan untuk mendapatkan jumlah volume tanah atau batuan yang terdistribusi.

Daftar Pustaka

- Adnan, Fadjar, 2008. "Aplikasi Simulasi Monte Carlo Dalam Estimasi Biaya Proyek", Universitas Diponegoro.
- Arif, I. 2017. Geoteknik Tambang. PT. Gramedia pustaka utama. Jakarta.
- Athanasiou, Grivas, D. 1980. *A Reliability Approach to The Design of Geotechnical System*. Resselaeer Polytechnic Institute Research Paper, Transportation Researchboard Conference, Washington.
- Attewell, P.P. 1993. *The Role Engineering Geology in The Design of Surface and Underground Structures*. In *Comprehensive Rock Engineering*. Ed. J.A. Hudson. Permagon Press.
- Bieniawski, Z.T. 1973. *Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling*. The Pennsylvania State University, Boston.
- Chalid, I. 2015. Analisis Kestabilan Lereng Tabbingjai Area Km 114 +460. Kecamatan Tombolopao. Kabupaten Gowa. Universitas Hasanuddin Makassar. Makassar.
- Franklin, J. A. dan Maerz., N. H., 1996. *Empirical Design And Rock Mass Characterizatton*. Proccedings of the FRAGBLAST 5 Workshop on Measurement of Blast Fragmentation, hal. 193-201.
- Gultom, M, dkk. 2018. Karakteristik Kemantapan Lereng Tambang Batubara. Sekolah Tinggi Energi Dan Mineral Cepu, Jawa Barat.
- Imran, A.M., Azikin B., dan Sultan. 2012, Peran Aspek Geologi Sebagai Penyebab Terjadinya Longsoran Pada Ruas Jalan Poros-Malino Sinjai, Buletin Geologi Tata Lingkungan, Vol, 22, No. 3 Desember 2012, 183 – 196. Bandung.
- Hadiwidjoyo, Purbo. 1992. Falsafah Kemantapan Lereng. Online. <http://www.scribd.com/doc/101827515/falsafah-kemantapan-lereng>. (Diakses 20 februari 2019).
- Hantz, D. 1988. *Bounlonnage Et Reinforcement Der Terrains- Nation Elementaries Poue Le Calcur De La Stabillite Des Talus*. Laboraoire DeMacanique Des Terrains, Ecole Des Mines De Nancy, France.

- Hoek, E., and Bray J. W. 1981. *Rock Slope Engineering*, Third Edition, The Institution Of Mining Ang Metalurgical. London : The Institute Mining And Metallurgy.
- Hudson, J.A., and Priest S.D. 1979. *Discontinuities And Rock Mass Geometry*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci & Geomech. Abstr., Vol 16, 1979, pp 339 - 362.
- International Society For Rock Mechanics Suggested Method. 1981. *Rock characterization, testing, and monitoring*. Ed. E. T. Brown.
- Javankhoshdel, S., dan Bathurst, R. 2014. “*Simplified Probabilistic Slope Stability Design Charts for Cohesive and c-φ Soils*”. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 51, No. 9, Februari 2014, Hal. 1033 –1045.
- Lenusa Consulting, 2018. *Slope Stability for Geoscience. A Software Integration Workshop*. Jakarta.
- Listyawan, A, B., Harbaeni, S, R., dan Chahyono, B., 2009, *Slope Stability Probabilistic Analysis On Saturated Clay*. Departemen teknik sipil. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.
- Luthfan, H.A. 2015. *Probability of Failure based on Morphometric Characteristic of Slope in Padang Pariaman, West Sumatera, Indonesia*.
- Masagus, A., dan Harimuke., Eko., 2011. “Karakteristik Parameter Masukan Untuk Analisis Kestabilan Lereng Tunggal”, Prosiding Semina Nasional Avoer-3, Palembang.
- Palmstrom, A., 2005. *Measurement Of And Correlation Between Block Size And Rock Quality Designation (RQD)*. Tunnel And Underground Space Technology. Hal 362-367.
- Phoon, K.K., dan Kulhawy, F.H. 1999. “*Characterization of Geotechnical Variability*”. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 36, No. 4, Hal. 612 – 624.
- Rahmadhani, F. 2017. Analisis Balik Kestabilan Lereng Blok Iii-S Pit Warute Area Lowwallpanel10 Dan Panel 15siteida Manggalapt. Antang Gunung Meratus Kecamatan Sungai Raya Kabupaten Hulu Sungai Selatan Provinsi Kalimantan Selatan.

- Romana, M. 1993. *Geomechanical Classification for Slopes: Slope Mass Rating. Comprehensive Rock Engineering*. Editor: Hudson, J.A. Pergamon.
- Sayed, V., A., 2011. *Assesment On Blasting-Induced Rock Slope Instability At Johor, Malaysia*. Birjad University Of Technology.
- Singh, R., Umrao, R. K., dan Singh, T. N. 2013. "Probabilistic analysis of slope in Amiyam landslide area, Uttarakhand". *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, Vol. 4, No. 1, Hal. 13-29, Taylor & Francis.
- SRK Cosulting. 2010. Ambang Batas Nilai FK Dan PK Lereng Tambang Terbuka. [Http//Www.Scribd.Com/Doc/134464137/Probabilitas](http://www.Scribd.Com/Doc/134464137/Probabilitas). (Diakses 11 Maret 2019).
- Steward, T., Sivakugan, N., Shukla, S.K., dan Das, B.M. 2011. "Taylor's Slope Stability Charts Revisted". *International Journal of Geomechanics*, Vol. 11, No. 4. Agustus 2011, Hal. 348–352, ASCE, USA.
- Standar nasional Indonesia. 1974 – 2011. Cara Uji Kuat Geser Batuan Dengan Benda Uji Silinder.
- Standar Nasional Indonesia. 2813 – 2008. Cara Uji Kuat Geser Langsung Tanah Terkonsolidasi dan Terdrainase.
- Standar Nasional Indonesia. 1965 – 2008. Cara Penentuan Kadar Air Tanah dan Batuan Di Laboratorium.
- Standar Nasional Indonesia. 03-4804-1998. Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat.
- Steffen, O. K. H. 1976. *Research And Development Meeds In Data Collecting for Rock Engineering*. Proceesing Symposium an Exploration for Rock Engineering. Johannesberg. Netherlans. Balkema.
- Sukamto R., dan Supriatna S. 1982. Peta Geologi Lembar Ujung Pandang, Benteng Dan Sinjai, Puslitbang Geologi Departemen Pertambangan Dan Energi. Bandung.
- Terzaghi. 1950. "Mechanisms of Landslides," *Geotechnical Society of America, Berkeley*, Pp. 83-125.

- Varnes, D.J., 1978. *Slope Movement Types and Process, Special Report 176; Landslides; Analysis and Control*, Eds: R.L. Schuster and R.J. Krizek, Transport Research Board, National Research Council, Washigton, DC.
- Zhao, J., Broms, B.B., Zhou, Y., Dan Choa, V. 1994. *A Study of The Weathering of The Bukit Timah Granit*, Part A: Review, Field Observations And Geophysical Survey. *Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.*, 49: 97-106.

LAMPIRAN A

TABEL PENGAMATAN KEKAR							
NAMA : HEDIANTO							
STB : P3000216001							
KONSENTRASI : GEOLOGI TEKNIK							
Slope: 60°							
NO	JARAK (cm)	DIP/D	STRIKE	DIP	<i>INFILING MATERIAL</i>	KONDISI AIR	KONDISI PELAPUKAN
1	0	134	231	49	pasir kasar	lembab	tinggi
2	9	156	134	21	pasir kasar	lembab	tinggi
3	15	112	156	65	pasir kasar	lembab	tinggi
4	8	145	112	56	pasir kasar	lembab	tinggi
5	9	217	145	70	pasir kasar	lembab	tinggi
6	7	110	217	55	pasir kasar	lembab	tinggi
7	8	105	123	20	pasir kasar	lembab	tinggi
8	16,1	231	105	76	pasir kasar	lembab	tinggi
9	19	200	231	46	pasir kasar	lembab	tinggi
10	3	192	200	27	pasir kasar	lembab	tinggi
11	4	241	192	54	pasir kasar	lembab	tinggi
12	15	211	241	45	pasir kasar	lembab	tinggi
13	11	245	211	56	pasir kasar	lembab	tinggi
14	2	234	245	57	pasir kasar	lembab	tinggi
15	4	124	234	76	pasir kasar	lembab	tinggi

TABEL PENGAMATAN KEKAR							
NAMA : HEDIANTO							
STB : P3000216001							
KONSENTRASI : GEOLOGI TEKNIK							
Slope: 60°							
NO	JARAK (cm)	DIP/D	STRIKE	DIP	<i>INFILING MATERIAL</i>	KONDISI AIR	KONDISI PELAPUKAN
16	6	245	124	21	pasir kasar	lembab	tinggi
17	9	255	245	57	pasir kasar	lembab	tinggi
18	24	321	255	60	pasir kasar	lembab	tinggi
19	13	214	321	76	pasir kasar	lembab	tinggi
20	15	156	214	46	pasir kasar	lembab	tinggi
21	7	112	123	45	pasir kasar	lembab	tinggi
22	6	105	112	52	pasir kasar	lembab	tinggi
23	8	112	105	57	pasir kasar	lembab	tinggi
24	11	213	112	56	pasir kasar	lembab	tinggi
25	15	101	213	61	pasir kasar	lembab	tinggi
26	11	134	101	43	pasir kasar	lembab	tinggi
27	4	211	134	21	pasir kasar	lembab	tinggi
28	15	125	211	50	pasir kasar	lembab	tinggi
29	8	231	125	57	pasir kasar	lembab	tinggi
30	9	124	231	70	pasir kasar	lembab	tinggi
31	7	121	124	57	pasir kasar	lembab	tinggi
32	8	245	121	65	pasir kasar	lembab	tinggi
33	16,1	123	245	34	pasir kasar	lembab	tinggi
34	19	123	123	45	pasir kasar	lembab	tinggi
35	3	154	123	55	pasir kasar	lembab	tinggi

TABEL PENGAMATAN KEKAR							
NAMA : HEDIANTO							
STB : P3000216001							
KONSENTRASI : GEOLOGI TEKNIK							
Slope: 60°							
NO	JARAK (cm)	DIP/D	STRIKE	DIP	<i>INFILING MATERIAL</i>	KONDISI AIR	KONDISI PELAPUKAN
36	4	109	154	67	pasir kasar	lembab	tinggi
37	15	67	109	45	pasir kasar	lembab	tinggi
38	11	75	121	89	pasir kasar	lembab	tinggi
39	2	145	135	61	pasir kasar	lembab	tinggi
40	4	89	145	57	pasir kasar	lembab	tinggi
41	6	32	89	62	pasir kasar	lembab	tinggi
42	9	109	32	53	pasir kasar	lembab	tinggi
43	24	105	109	56	pasir kasar	lembab	tinggi
44	13	156	105	46	pasir kasar	lembab	tinggi
45	15	186	156	45	pasir kasar	lembab	tinggi
46	7	183	186	65	pasir kasar	lembab	tinggi
47	9	151	183	55	pasir kasar	lembab	tinggi
48	8	112	151	22	pasir kasar	lembab	tinggi
49	11	213	112	43	pasir kasar	lembab	tinggi
50	15	116	213	46	pasir kasar	lembab	tinggi
51	3	118	116	45	pasir kasar	lembab	tinggi
52	4	98	118	55	pasir kasar	lembab	tinggi
53	6	114	98	17	pasir kasar	lembab	tinggi
54	10	124	114	57	pasir kasar	lembab	tinggi
55	3	141	124	21	pasir kasar	lembab	tinggi

TABEL PENGAMATAN KEKAR							
NAMA : HEDIANTO							
STB : P3000216001							
KONSENTRASI : GEOLOGI TEKNIK							
Slope: 60°							
NO	JARAK (cm)	DIP/D	STRIKE	DIP	<i>INFILING MATERIAL</i>	KONDISI AIR	KONDISI PELAPUKAN
56	7	146	141	59	pasir kasar	lembab	tinggi
57	3	132	128	40	pasir kasar	lembab	tinggi
58	6	124	132	59	pasir kasar	lembab	tinggi
59	7	100	124	58	pasir kasar	lembab	tinggi
60	8	112	121	40	pasir kasar	lembab	tinggi
61	7	134	125	56	pasir kasar	lembab	tinggi
62	5	11	134	23	pasir kasar	lembab	tinggi
63	7	16	11	56	pasir kasar	lembab	tinggi
64	11	46	16	21	pasir kasar	lembab	tinggi
65	9	111	46	31	pasir kasar	lembab	tinggi
66	12	120	111	55	pasir kasar	lembab	tinggi
67	8	112	120	31	pasir kasar	lembab	tinggi
68	9	123	121	21	pasir kasar	lembab	tinggi
69	12	34	123	22	pasir kasar	lembab	tinggi
70	10	23	34	30	pasir kasar	lembab	tinggi
71	13	75	23	45	pasir kasar	lembab	tinggi
72	19	145	75	35	pasir kasar	lembab	tinggi
73	2	111	145	59	pasir kasar	lembab	tinggi
74	4	152	111	36	pasir kasar	lembab	tinggi

TABEL PENGAMATAN KEKAR							
NAMA : HEDIANTO							
STB : P3000216001							
KONSENTRASI : GEOLOGI TEKNIK							
Slope: 60°							
75	7	121	152	59	pasir kasar	lembab	tinggi
76	9	12	121	50	pasir kasar	lembab	tinggi
77	8	21	12	46	pasir kasar	lembab	tinggi
78	10	35	21	31	pasir kasar	lembab	tinggi
79	3	121	35	34	pasir kasar	lembab	tinggi
80	4	21	121	41	pasir kasar	lembab	tinggi
81	9	167	21	24	pasir kasar	lembab	tinggi
82	7	132	167	35	pasir kasar	lembab	tinggi
83	9	135	132	20	pasir kasar	lembab	tinggi
84	10	18	135	37	pasir kasar	lembab	tinggi
85	16	21	181	23	pasir kasar	lembab	tinggi
86	11	215	21	54	pasir kasar	lembab	tinggi
87	10	245	215	60	pasir kasar	lembab	tinggi
88	6	142	245	89	pasir kasar	lembab	tinggi
89	12	127	142	59	pasir kasar	lembab	tinggi
90	17	100	127	34	pasir kasar	lembab	tinggi
91	15	110	100	34	pasir kasar	lembab	tinggi
92	10	199	110	57	pasir kasar	lembab	tinggi
93	11	185	199	20	pasir kasar	lembab	tinggi
94	9	172	185	20	pasir kasar	lembab	tinggi
95	3	147	172	31	pasir kasar	lembab	tinggi
96	11	136	147	25	pasir kasar	lembab	tinggi

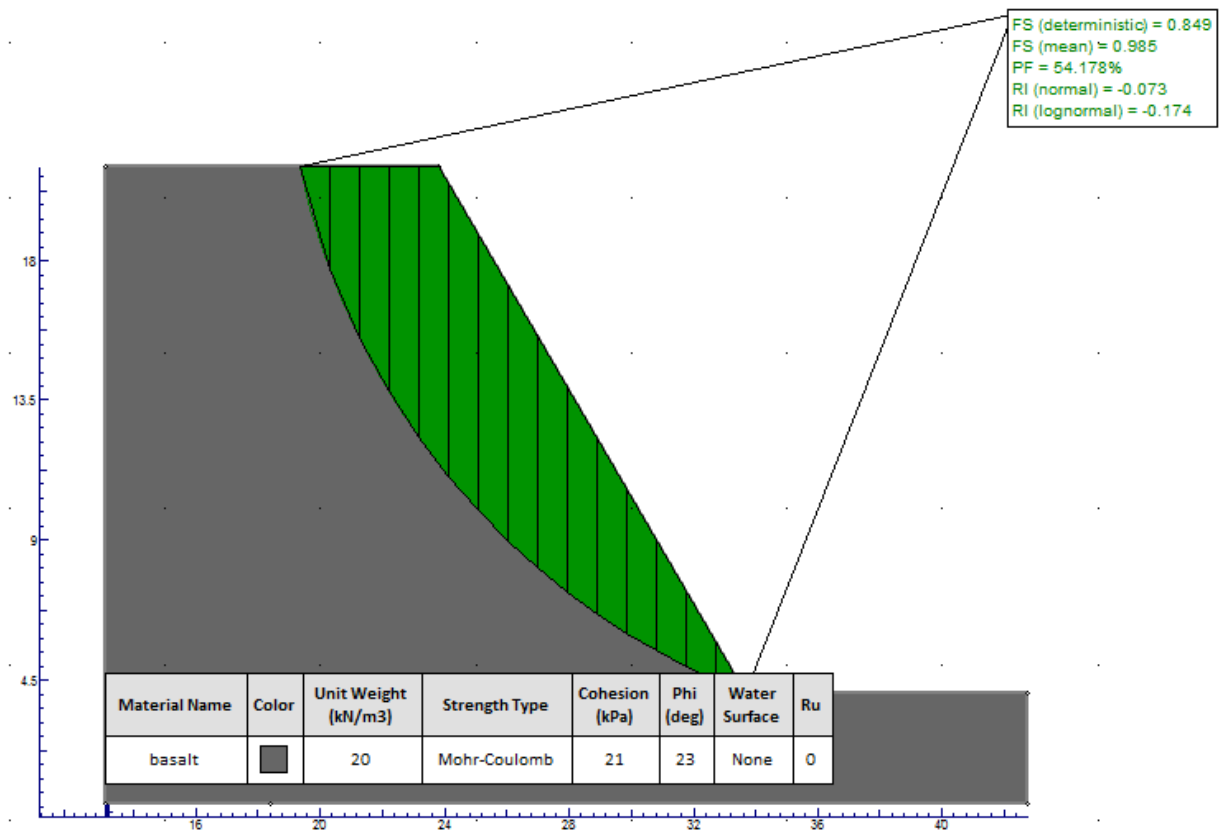
TABEL PENGAMATAN KEKAR							
NAMA : HEDIANTO							
STB : P3000216001							
KONSENTRASI : GEOLOGI TEKNIK							
Slope: 60°							
97	3	123	136	37	pasir kasar	lembab	tinggi
98	6	215	123	34	pasir kasar	lembab	tinggi
99	9	243	215	61	pasir kasar	lembab	tinggi
100	10	221	140	67	pasir kasar	lembab	tinggi

LAMPIRAN B

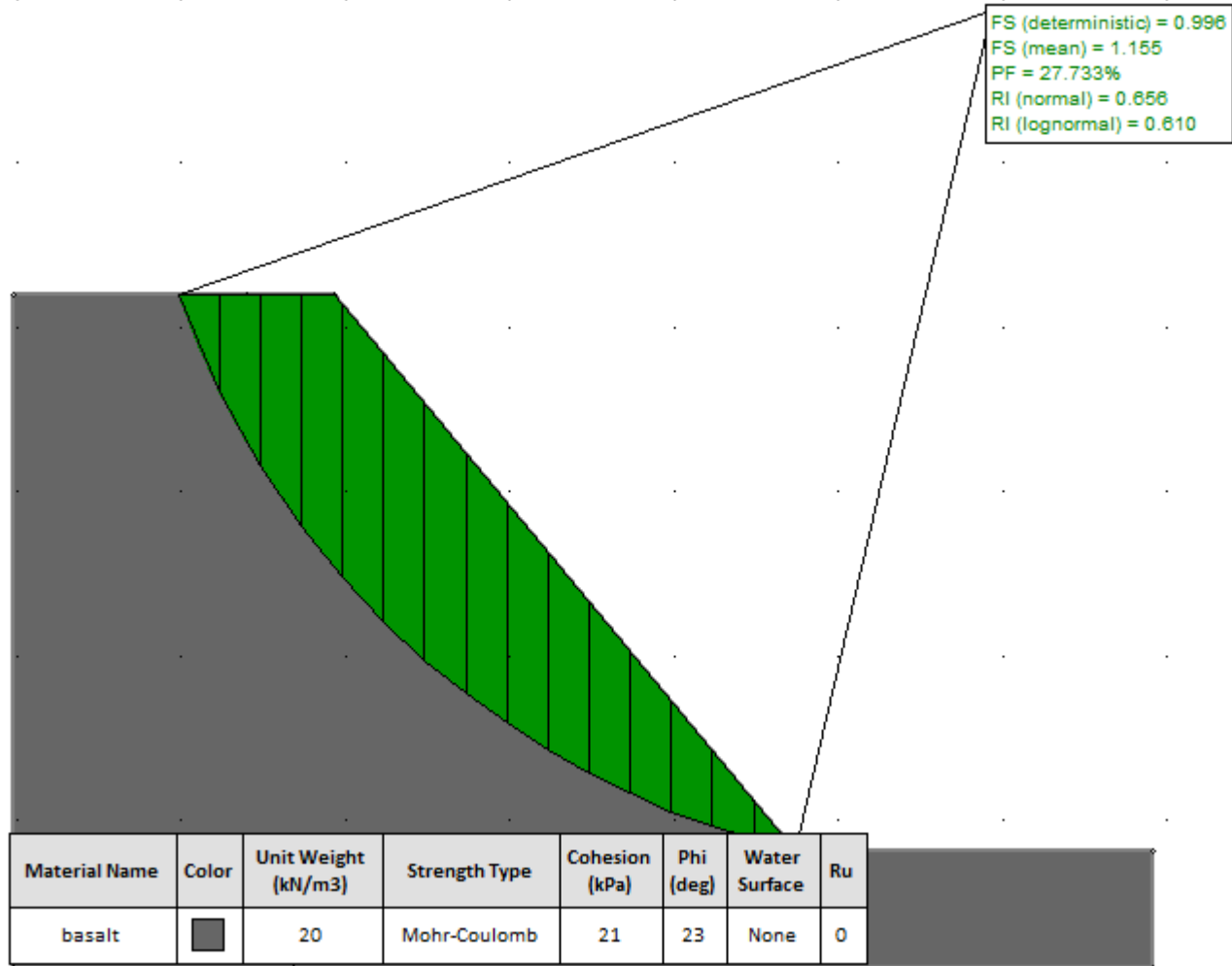
Tabel Lampiran B: estimasi kecepatan longsor

Nomor	H	$h(x)$	x	g	$\tan^{-1}(\phi)$	V_x	$\sqrt{V_x}$
1	16.915	16.915	0	9.8	0.32004	0	0
2	16.915	13.641	0.953	9.8	0.32004	58.19243	7.628396
3	16.915	11.431	1.906	9.8	0.32004	95.53046	9.773968
4	16.915	9.69	2.859	9.8	0.32004	123.6761	11.12098
5	16.915	8.236	3.812	9.8	0.32004	146.1965	12.09118
6	16.915	6.984	4.765	9.8	0.32004	164.7577	12.8358
7	16.915	5.887	5.718	9.8	0.32004	180.281	13.42688
8	16.915	4.914	6.671	9.8	0.32004	193.3738	13.90589
9	16.915	4.046	7.624	9.8	0.32004	204.4086	14.29715
10	16.915	3.266	8.577	9.8	0.32004	213.7187	14.61912
11	16.915	2.566	9.53	9.8	0.32004	221.4607	14.88156
12	16.915	1.935	10.483	9.8	0.32004	227.8503	15.09471
13	16.915	1.368	11.436	9.8	0.32004	232.9856	15.26386
14	16.915	0.86	12.389	9.8	0.32004	236.9644	15.39365
15	16.915	0.407	13.342	9.8	0.32004	239.8652	15.48758

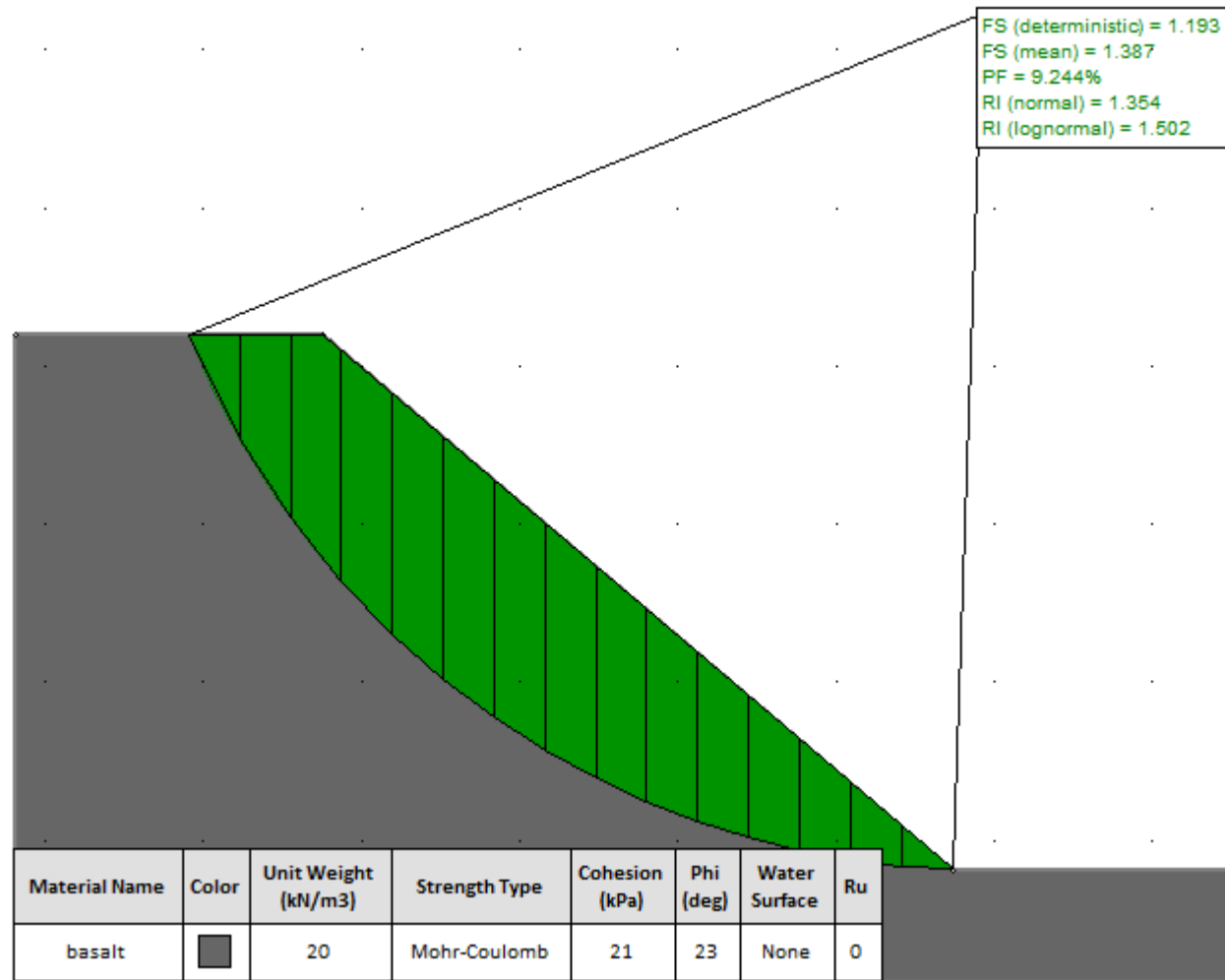
LAMPIRAN C



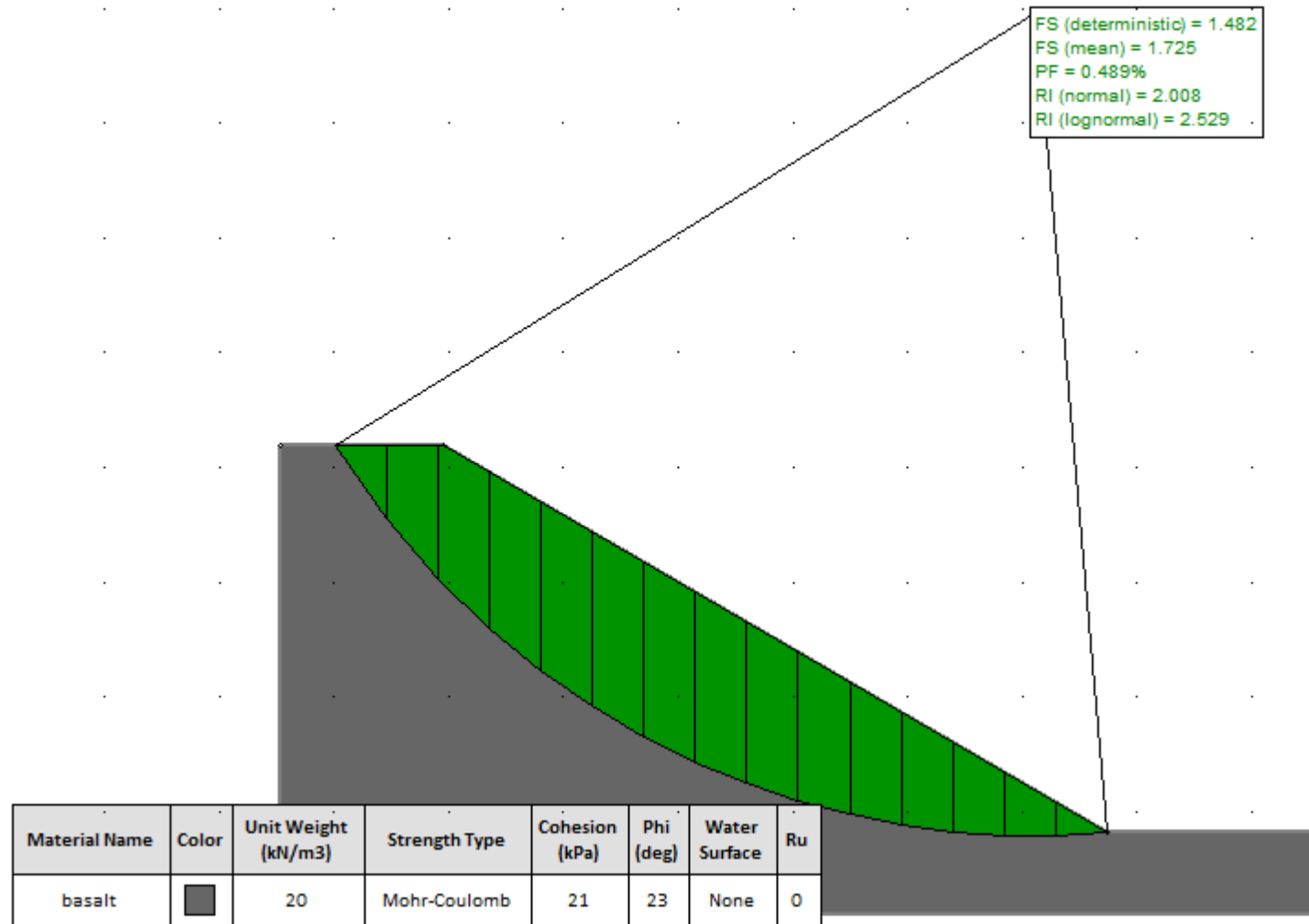
Gambar modifikasi lereng dengan sudut 60° dan tinggi 17 meter



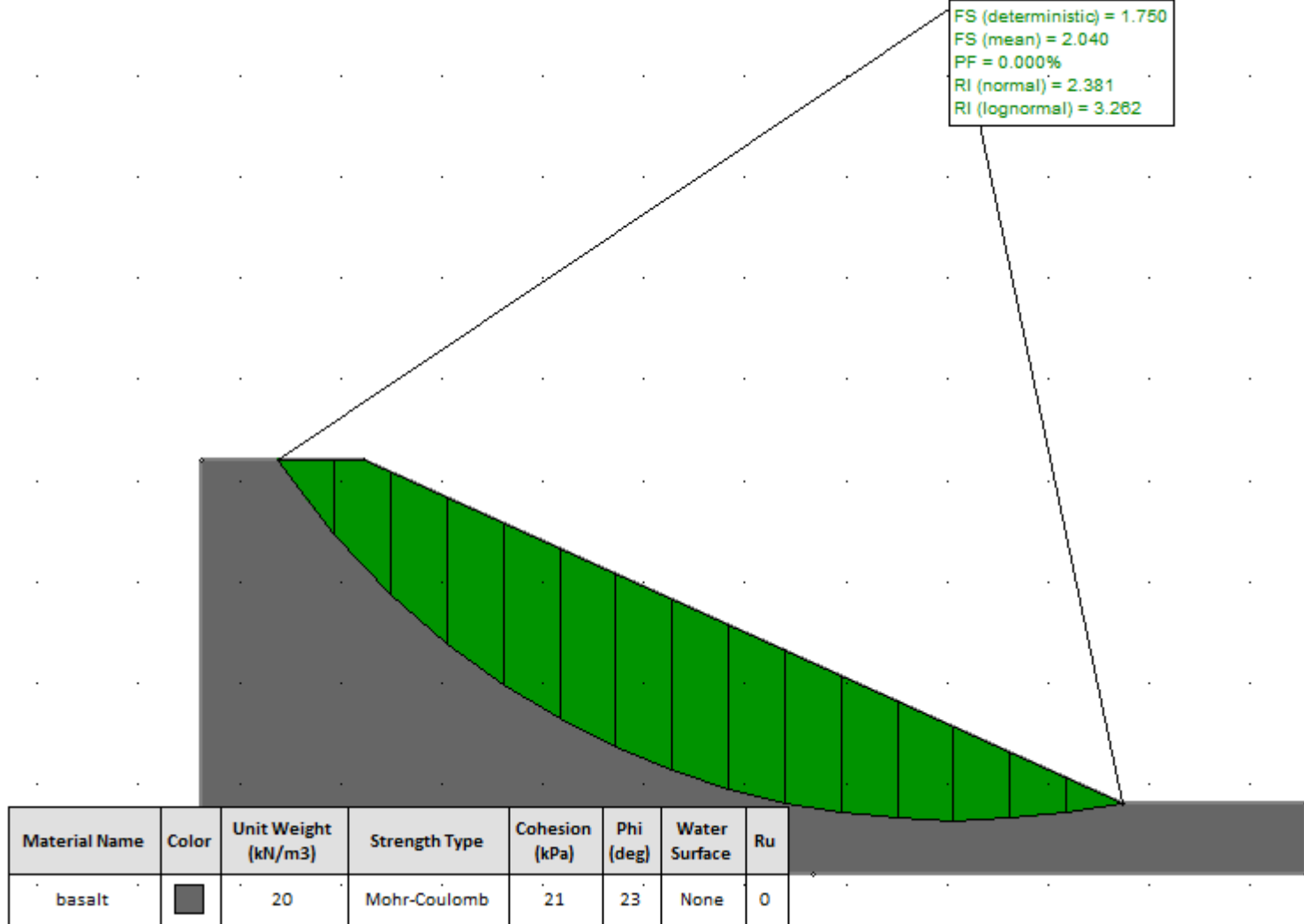
Gambar modifikasi lereng dengan sudut 50° dan tinggi 17 meter



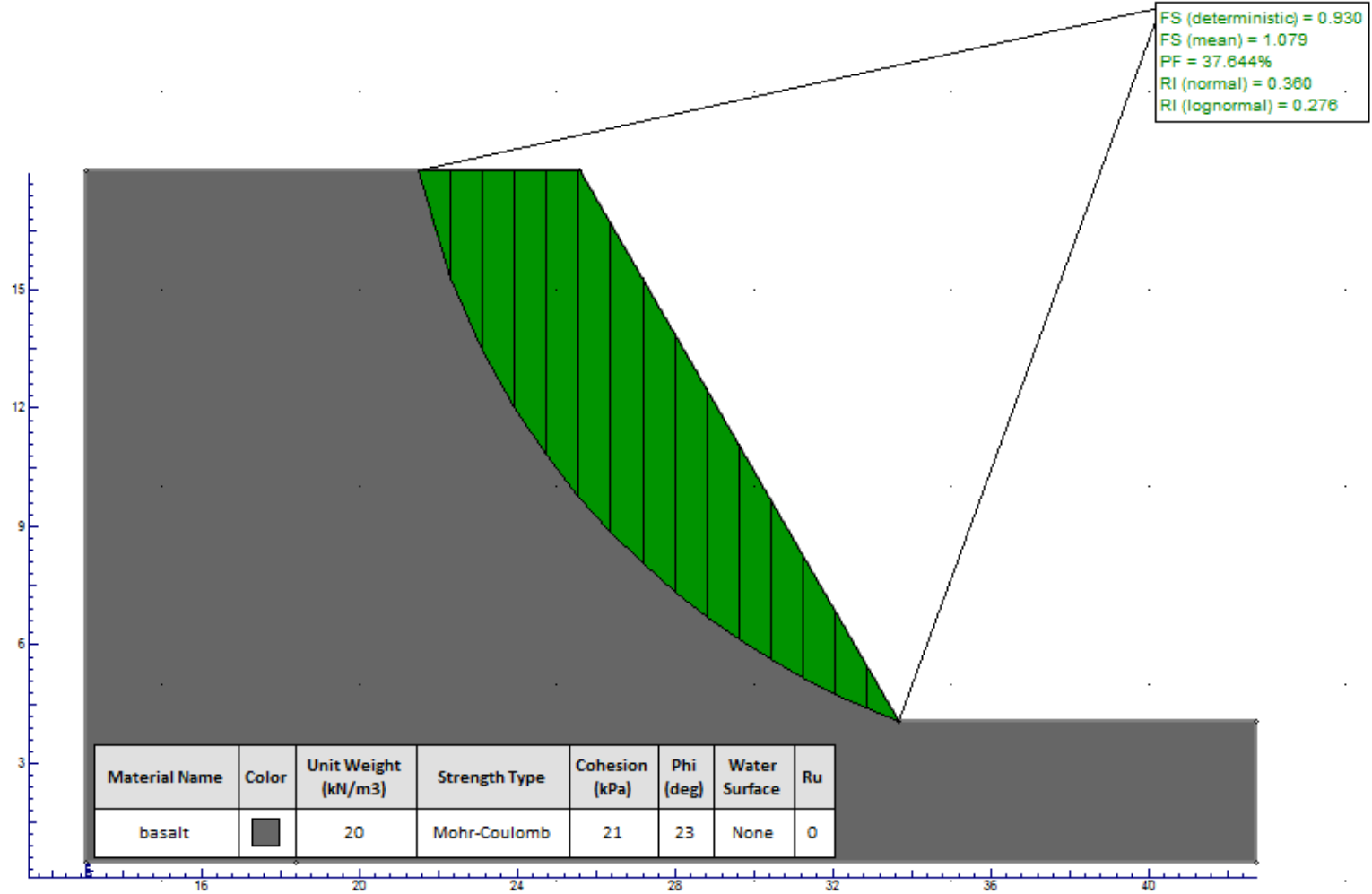
Gambar modifikasi lereng dengan sudut 40° dan tinggi 17 meter



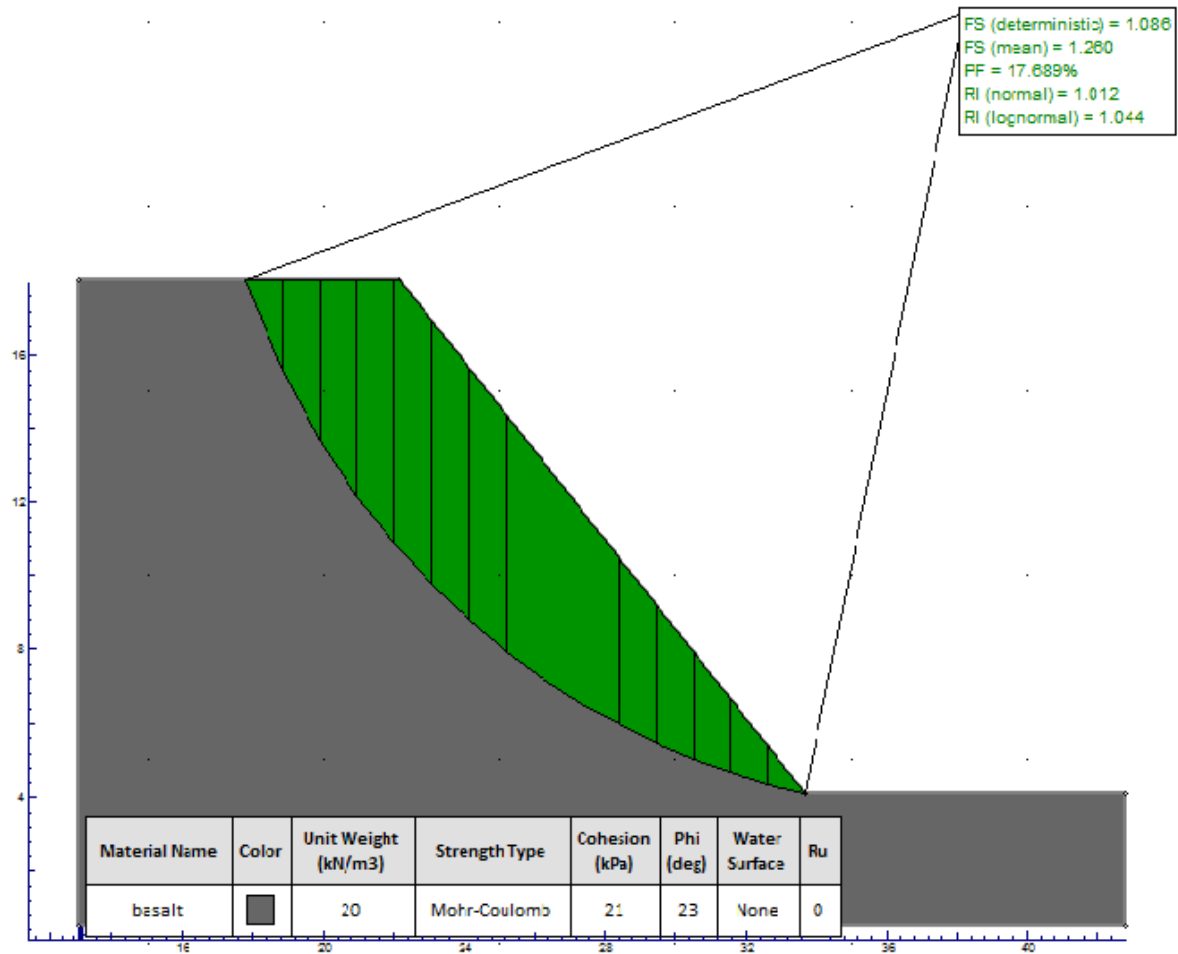
Gambar modifikasi lereng dengan sudut 30° dan tinggi 17 meter



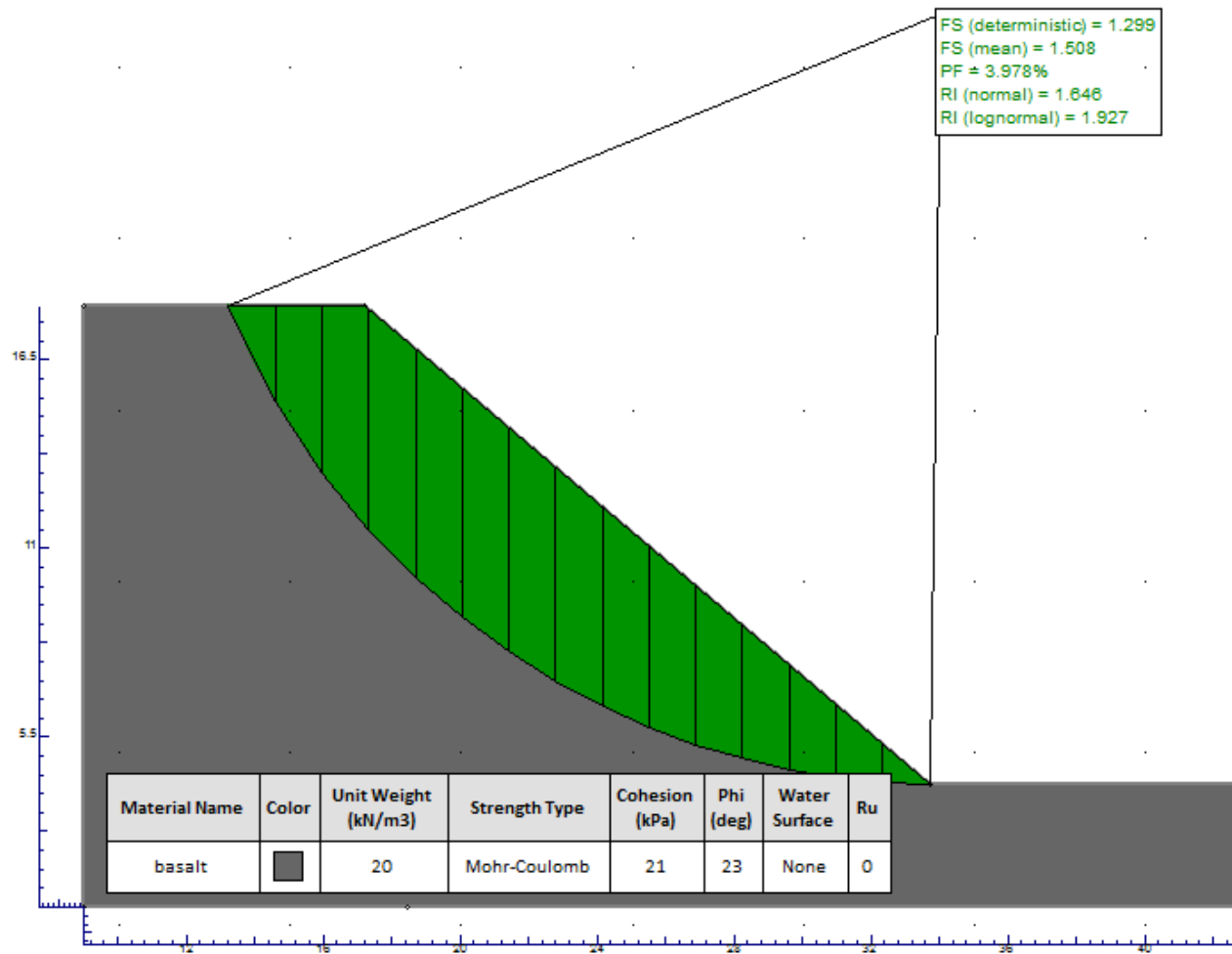
Gambar modifikasi lereng dengan sudut 25° dan tinggi 17 meter



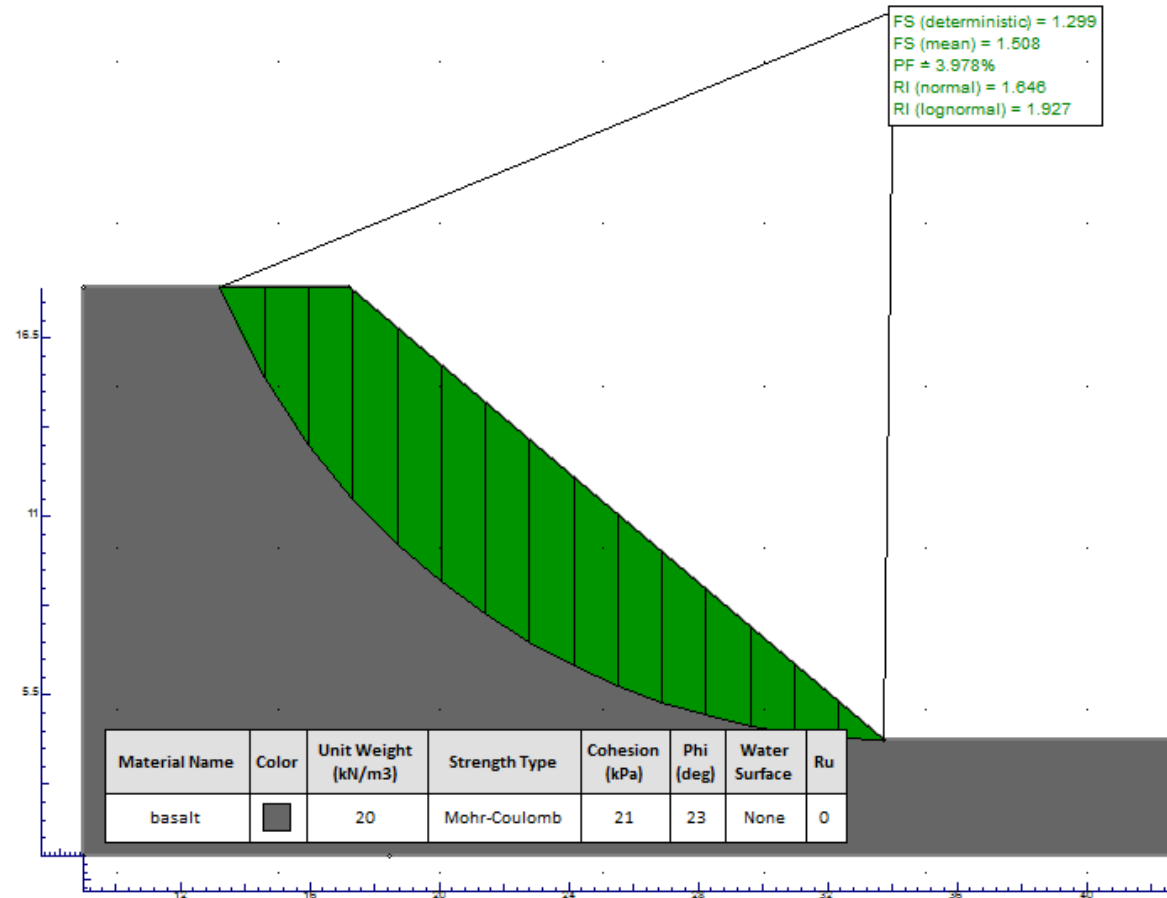
Gambar modifikasi lereng dengan sudut 60° dan tinggi 14 meter



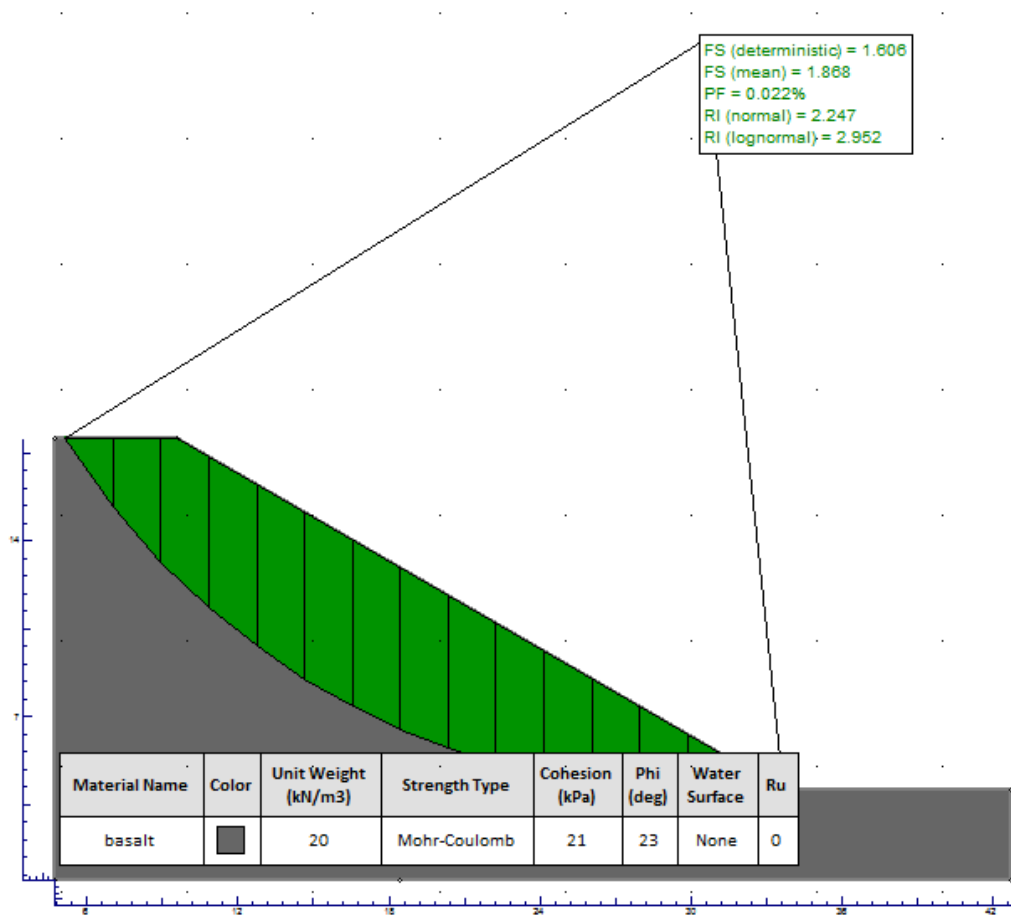
Gambar modifikasi lereng dengan sudut 50° dan tinggi 14 meter



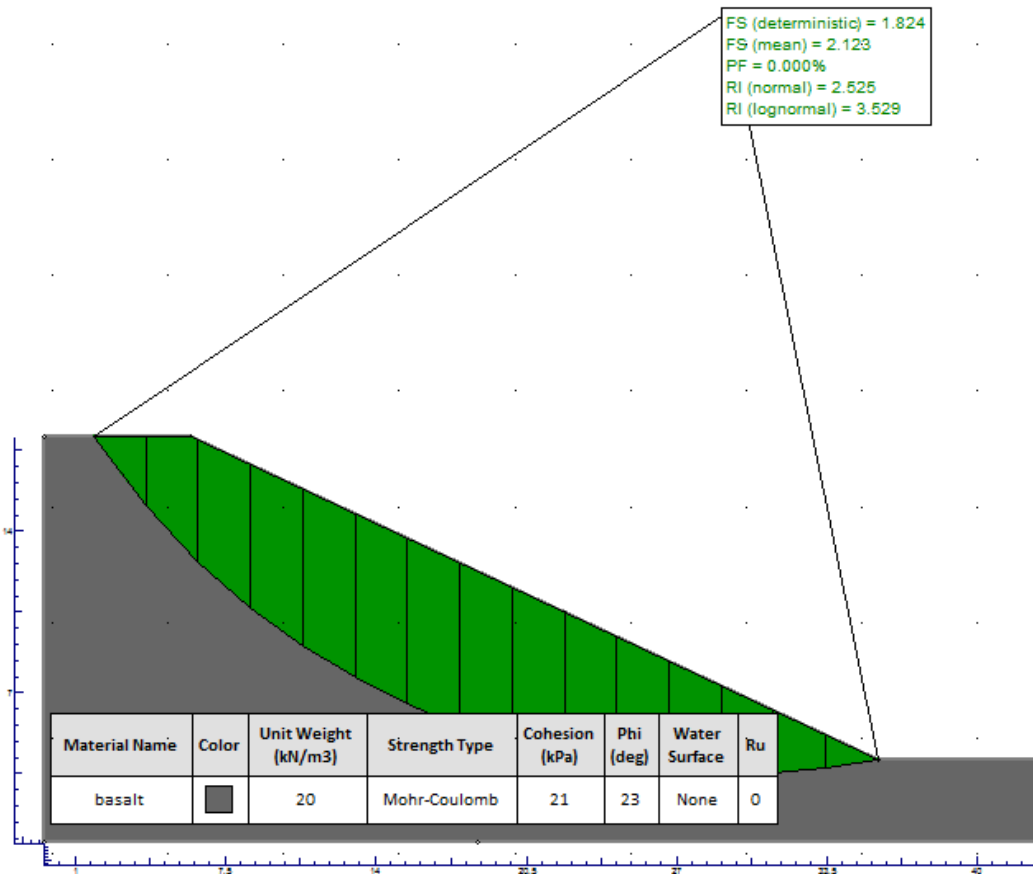
Gambar modifikasi lereng dengan sudut 50° dan tinggi 14 meter



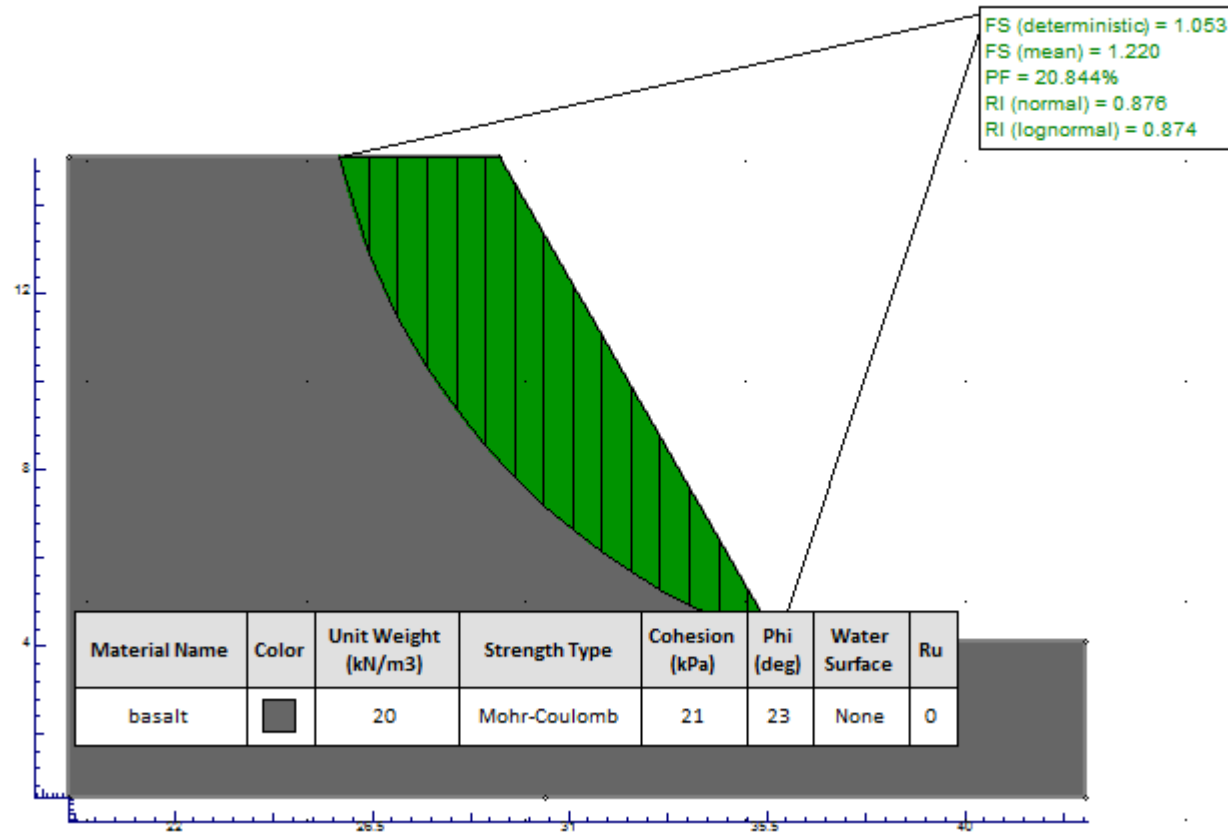
Gambar modifikasi lereng dengan sudut 40° dan tinggi 14 meter



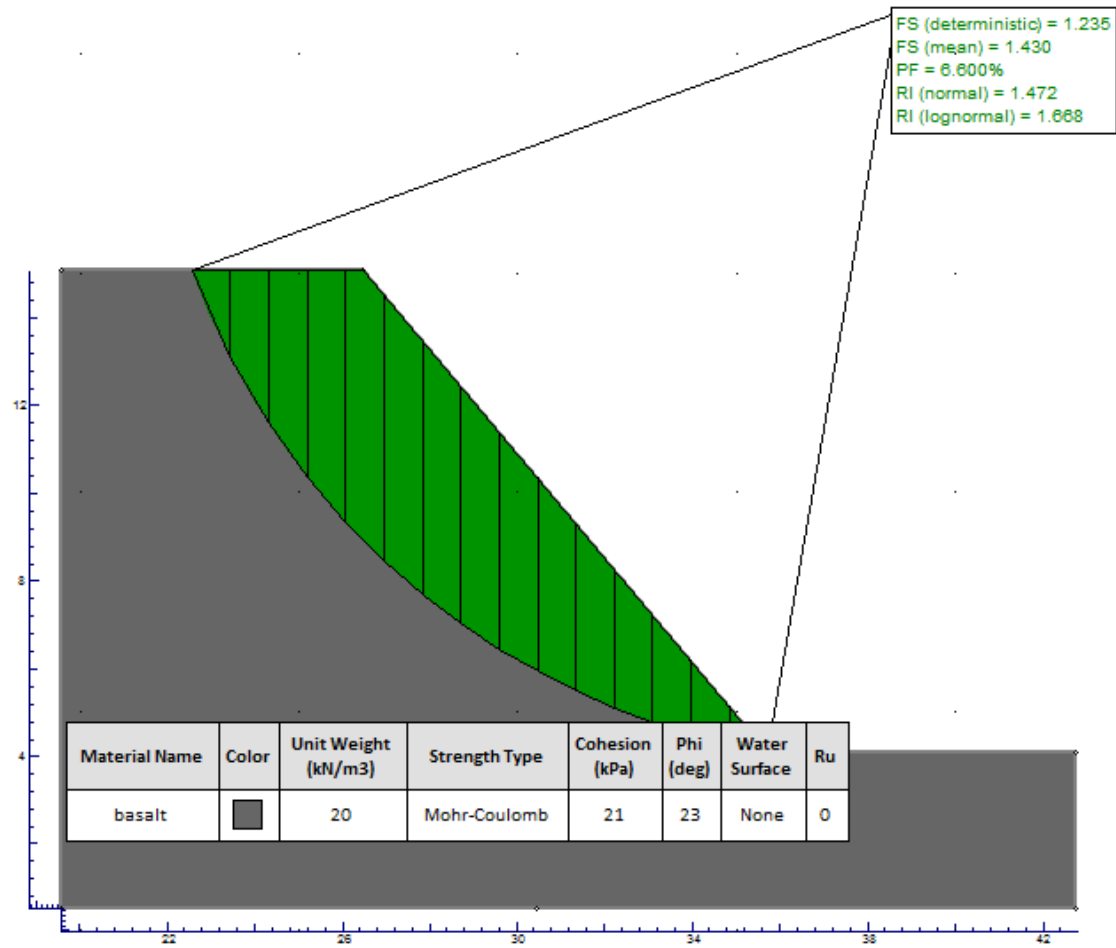
Gambar modifikasi lereng dengan sudut 30° dan tinggi 14 meter



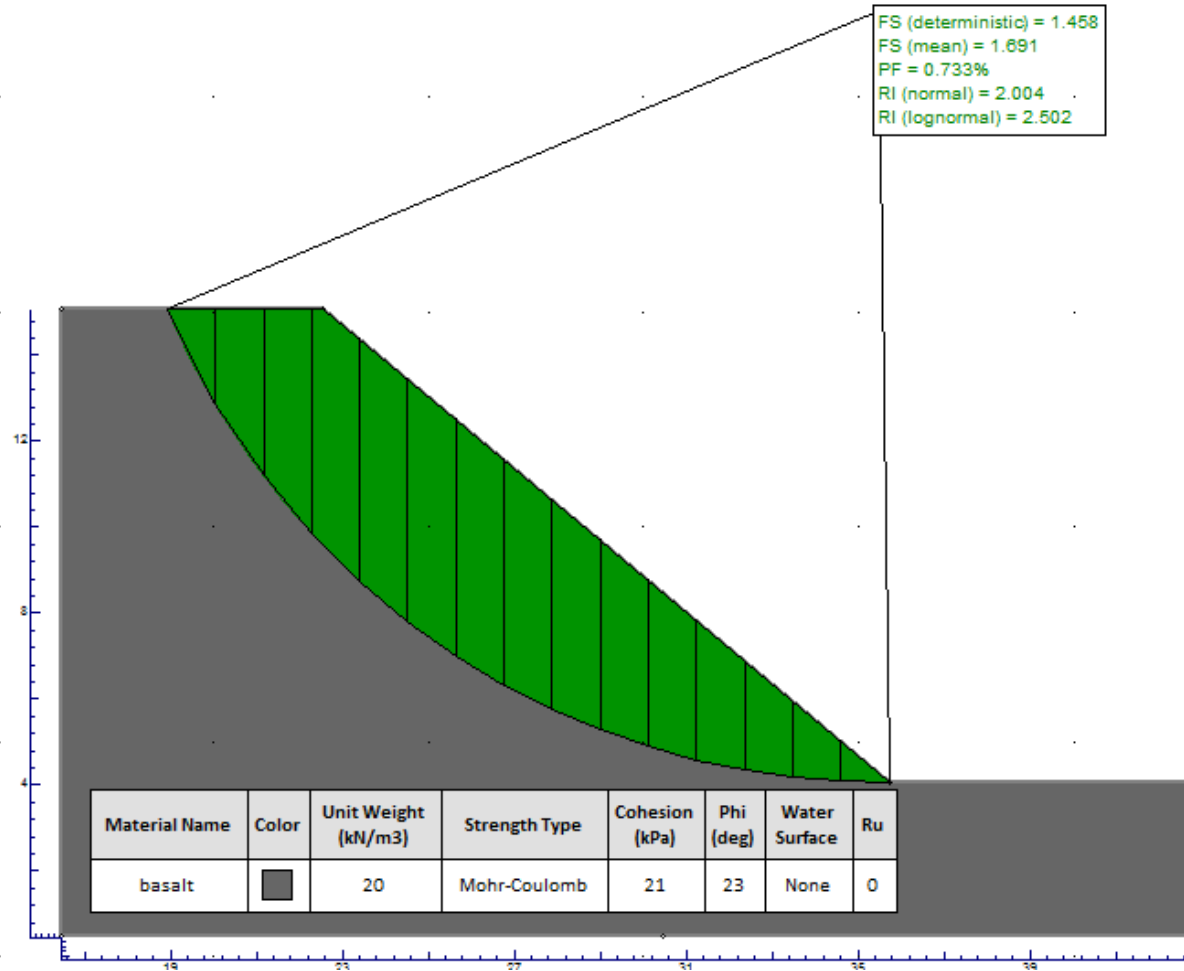
Gambar modifikasi lereng dengan sudut 25° dan tinggi 14 meter



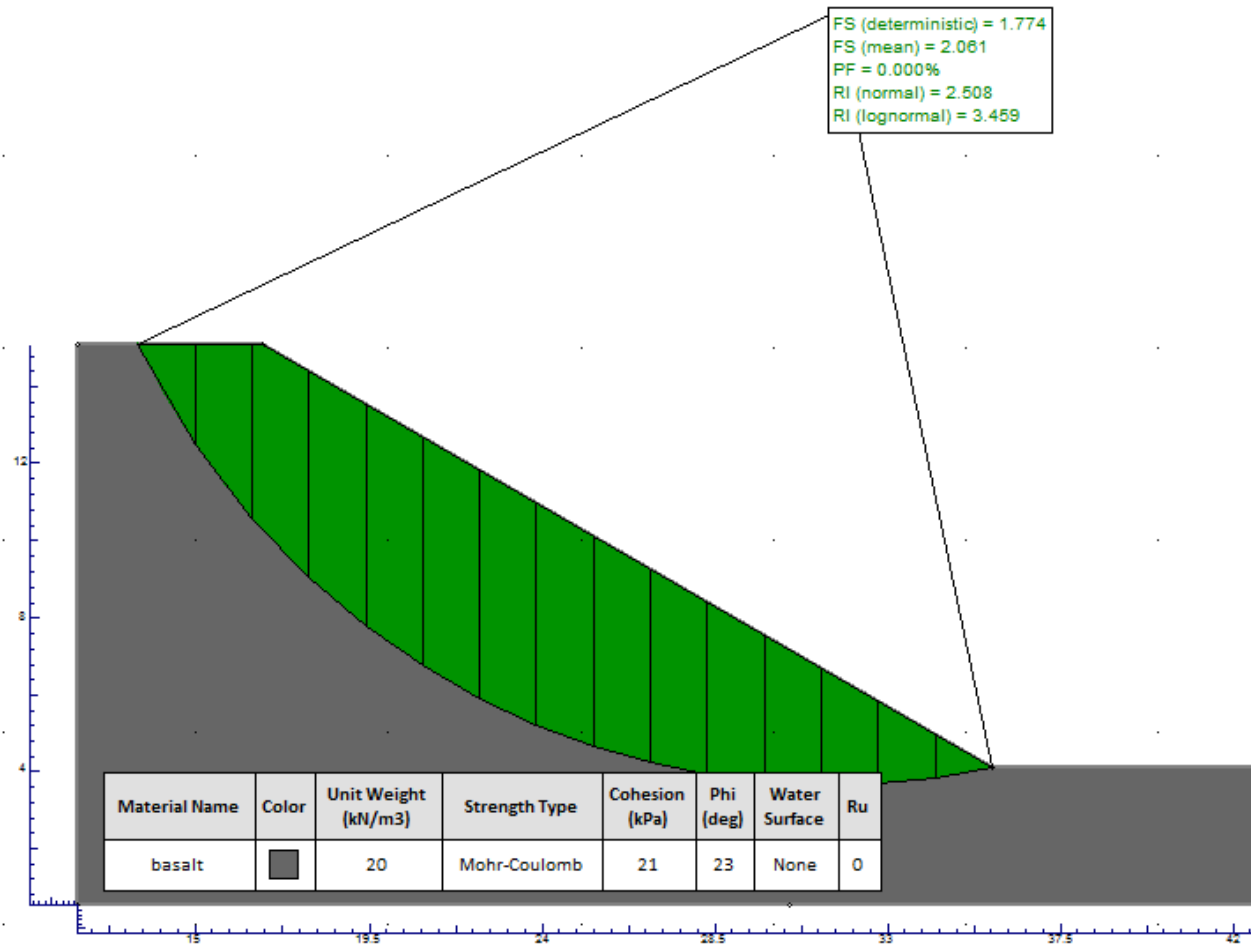
Gambar modifikasi lereng dengan sudut 60° dan tinggi 11 meter



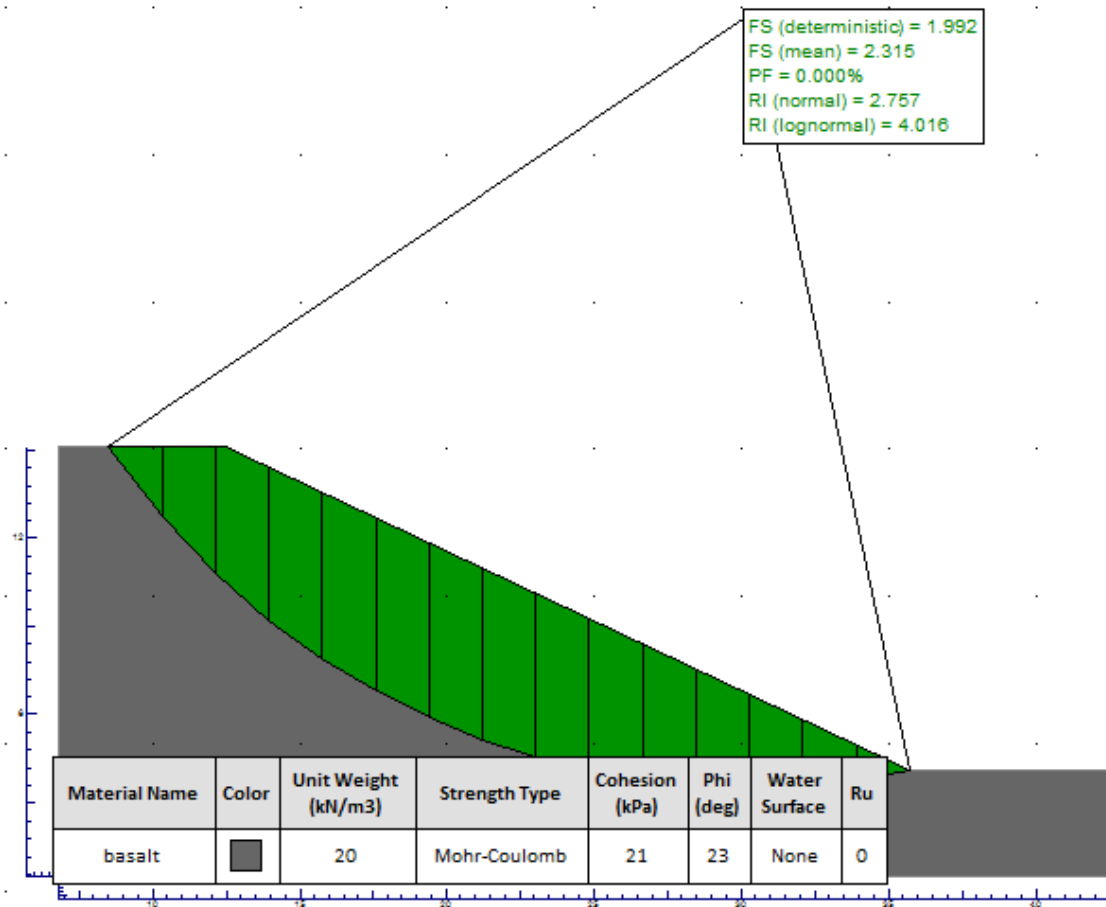
Gambar modifikasi lereng dengan sudut 50° dan tinggi 11 meter



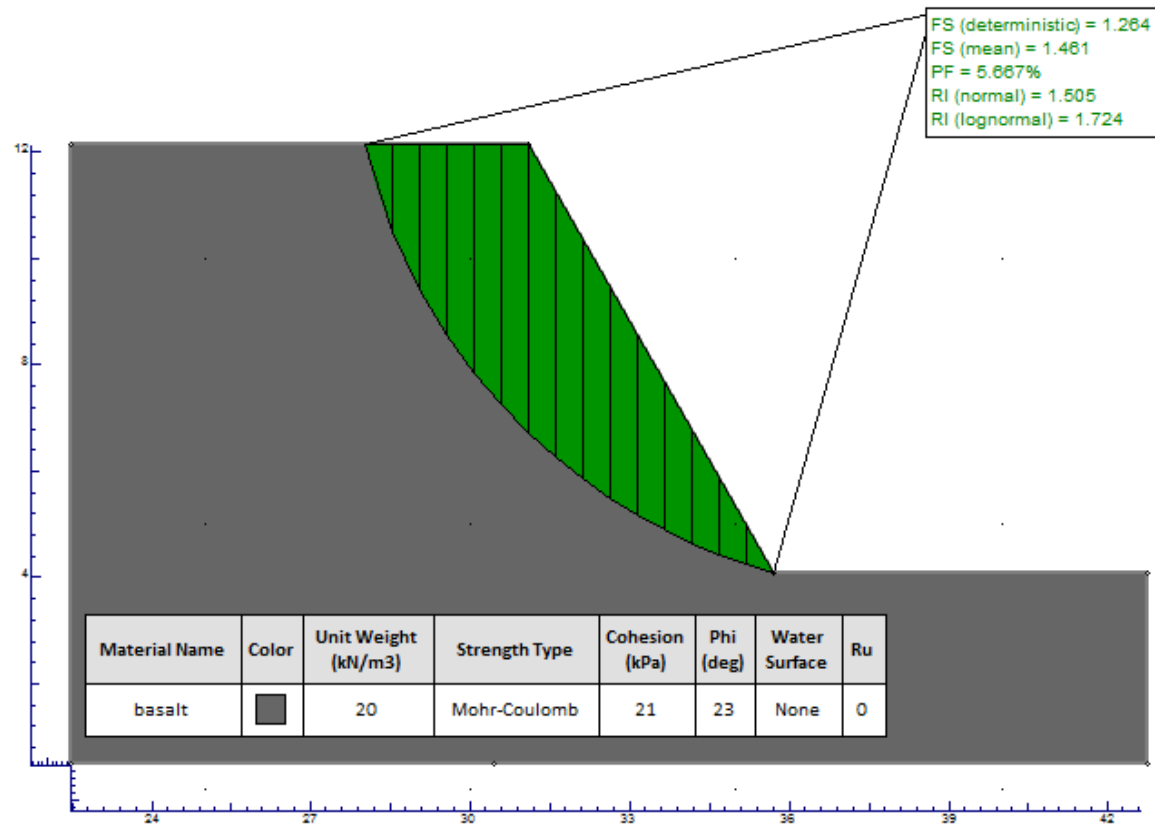
Gambar modifikasi lereng dengan sudut 40° dan tinggi 11 meter



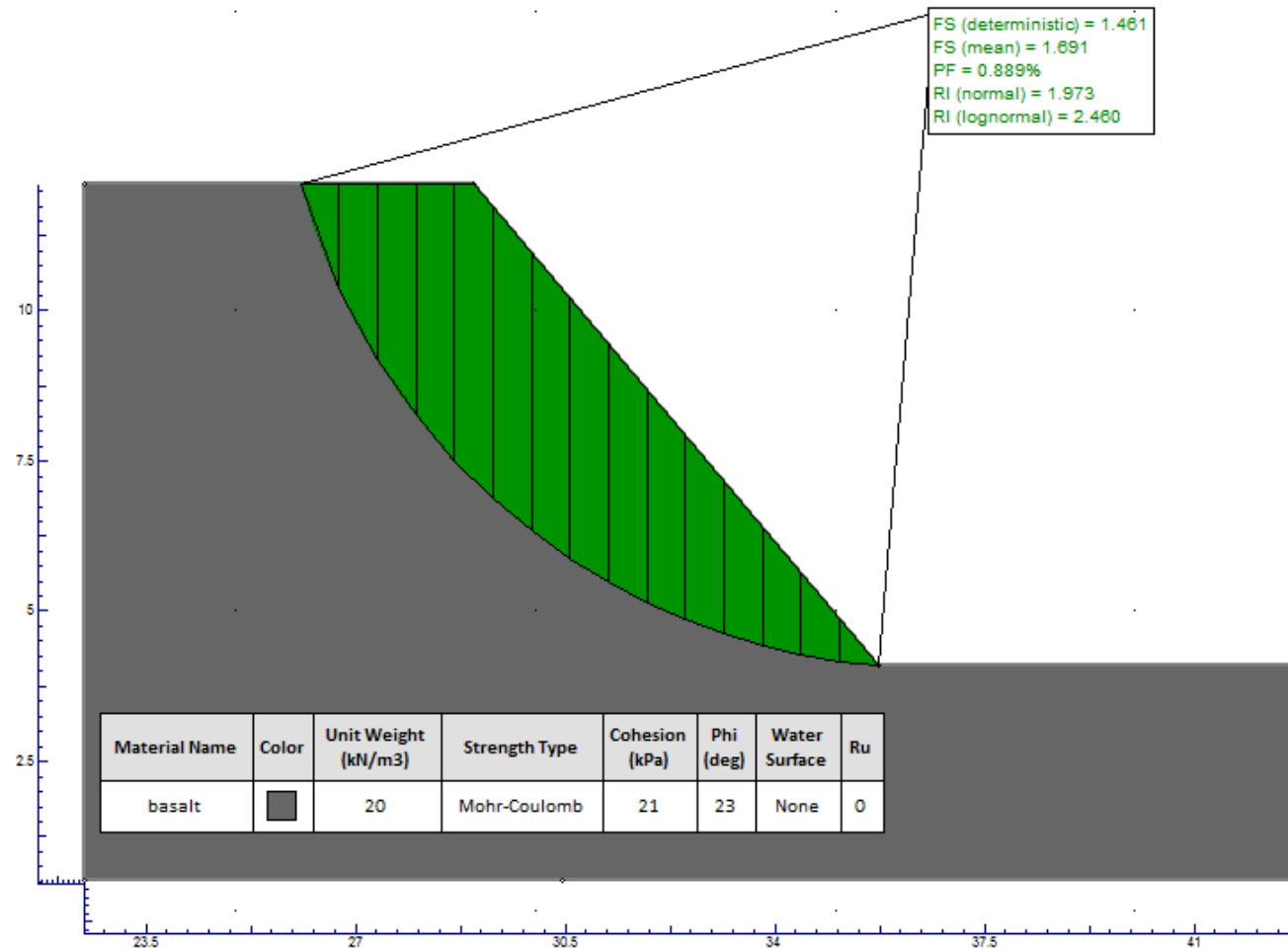
Gambar modifikasi lereng dengan sudut 30° dan tinggi 11 meter



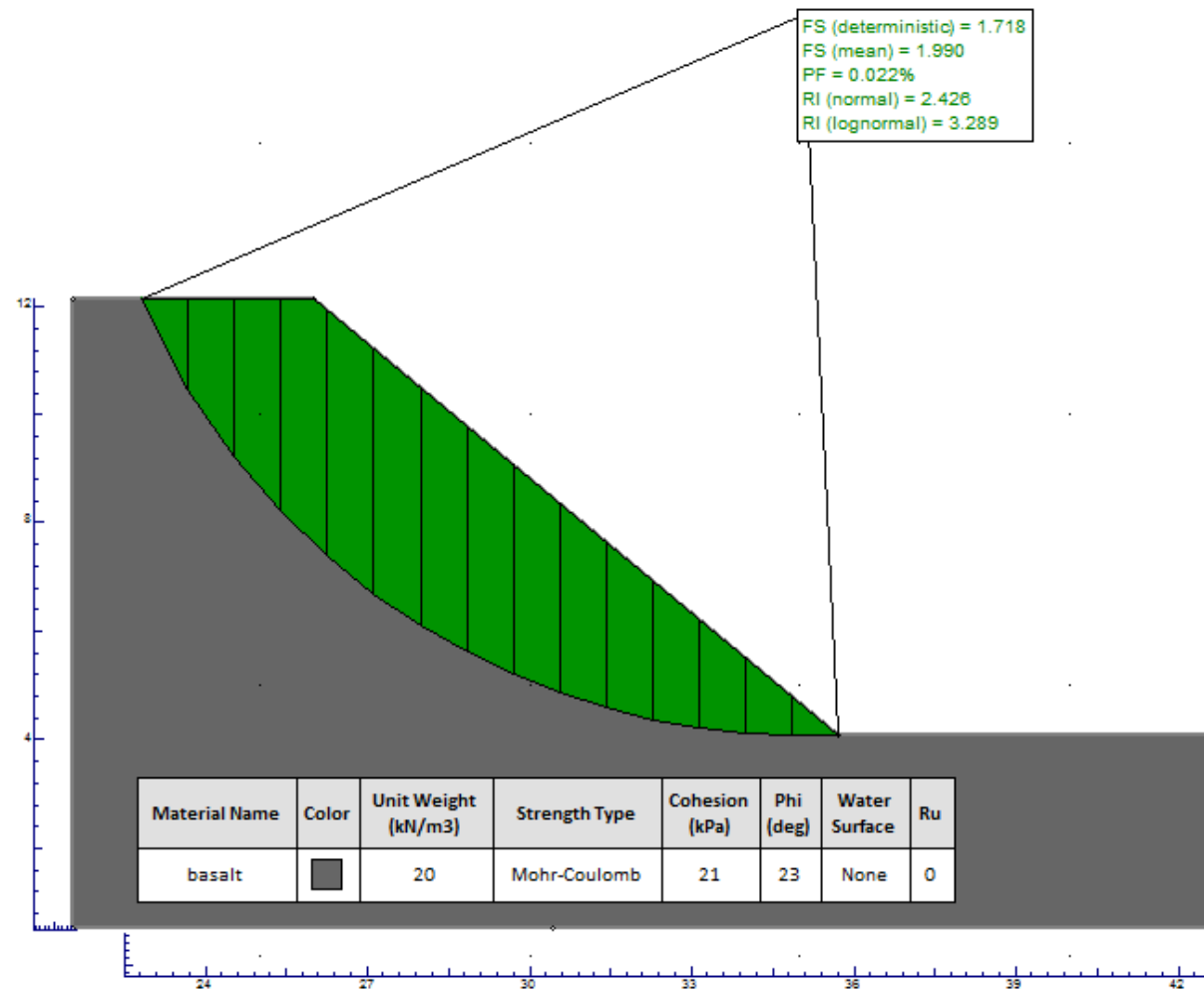
Gambar modifikasi lereng dengan sudut 25° dan tinggi 11 meter



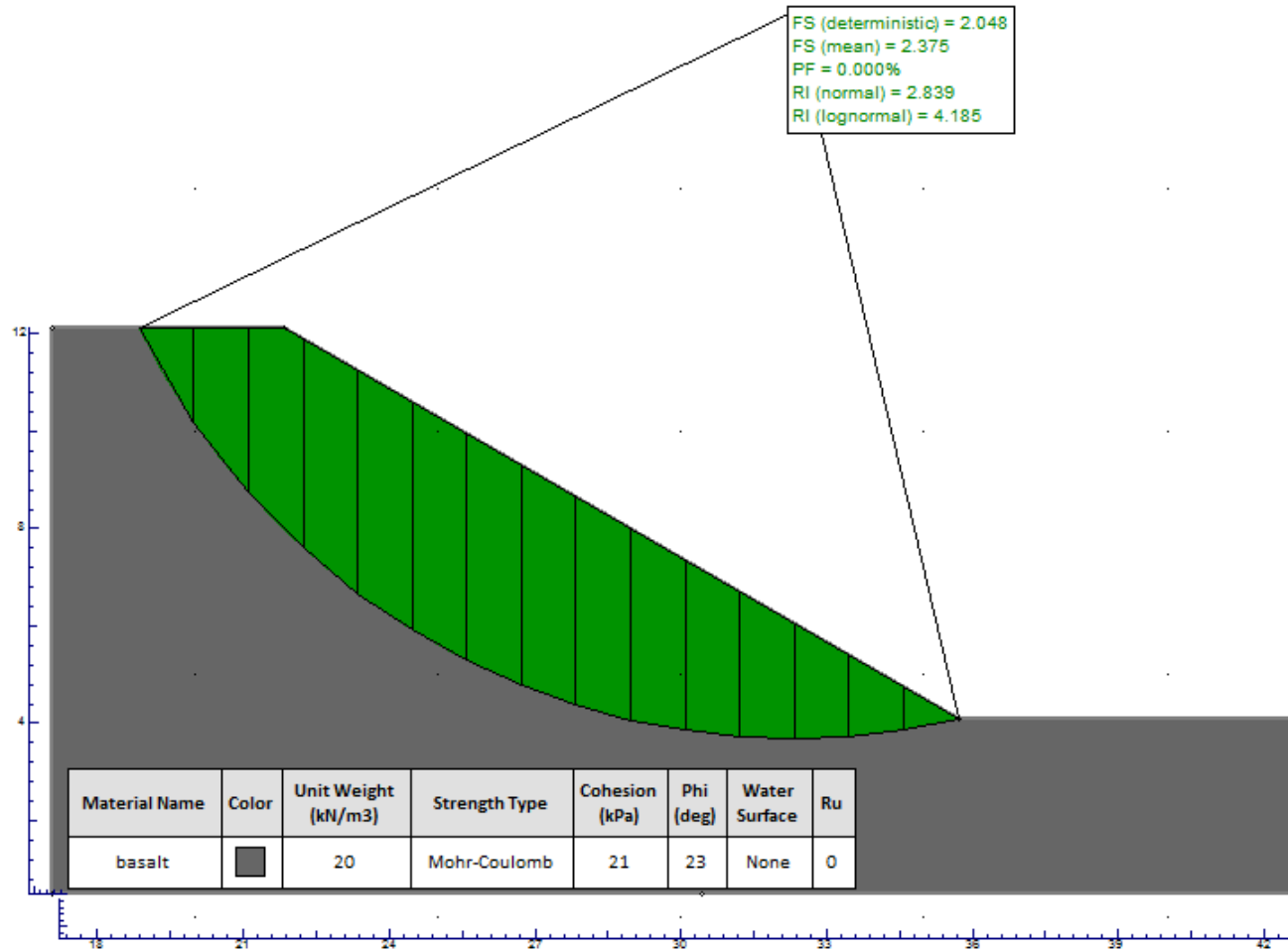
Gambar modifikasi lereng dengan sudut 60° dan tinggi 9 meter



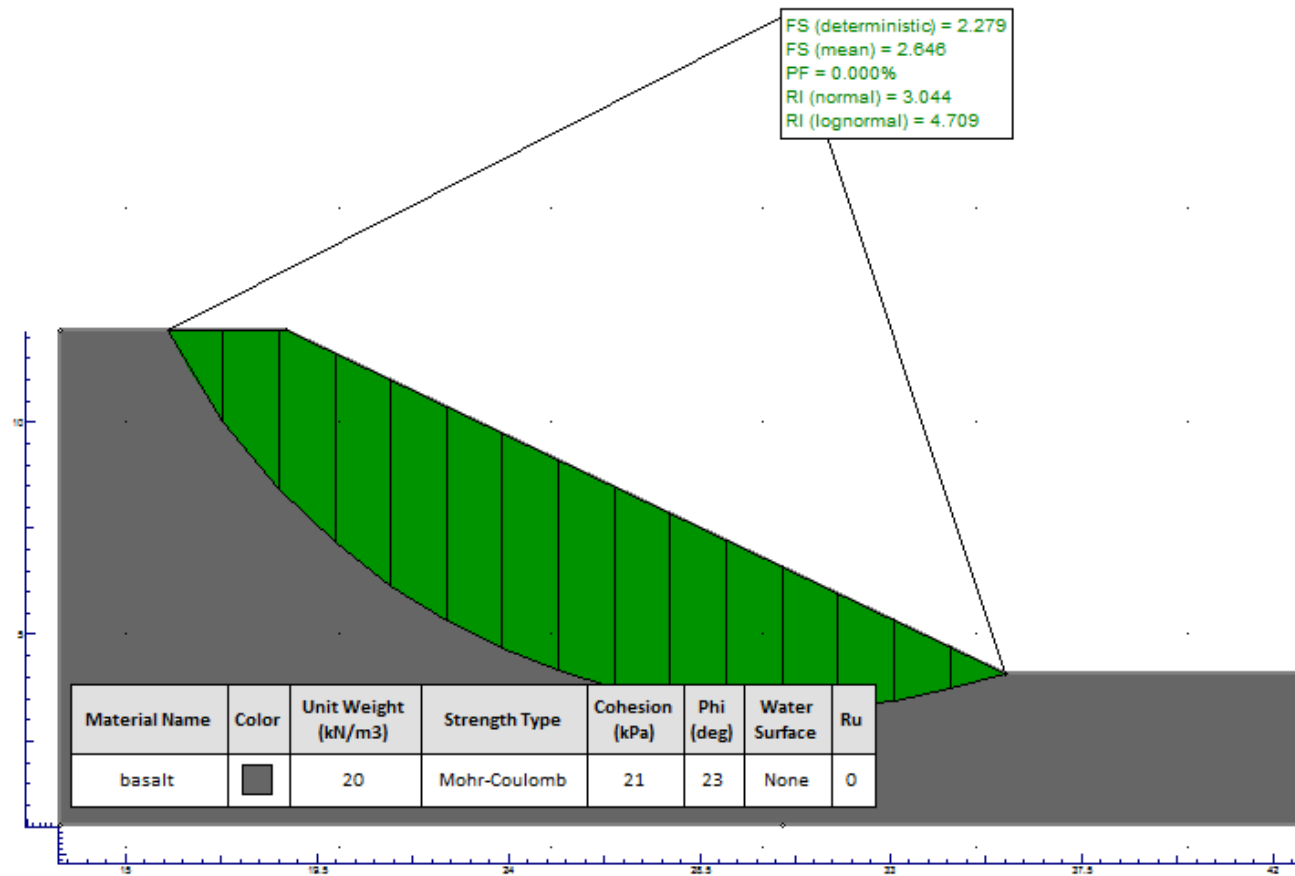
Gambar modifikasi lereng dengan sudut 50° dan tinggi 9 meter



Gambar modifikasi lereng dengan sudut 40° dan tinggi 9 meter



Gambar modifikasi lereng dengan sudut 30° dan tinggi 9 meter



Gambar modifikasi lereng dengan sudut 25° dan tinggi 9 meter

