TUGAS AKHIR

ANALISIS PERKUATAN LERENG BATUAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE BANGUNAN PROTEKSI *ROCK SHED* DI KABUPATEN GUNUNGKIDUL, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

(ANALYSIS OF ROCK SLOPE REINFORCEMENT BY USING ROCK SHED AS A PROTECTED BUILDING IN GUNUNGKIDUL DISTRICT, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA)

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil

Rikky Prianggara
13511315

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2018

TUGAS AKHIR

ANALISIS PERKUATAN LERENG BATUAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE BANGUNAN PROTEKSI *ROCK SHED* DI KABUPATEN GUNUNGKIDUL, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

(ANALYSIS OF ROCK SLOPE REINFORCEMENT BY USING ROCK SHED AS A PROTECTED BUILDING IN GUNUNGKIDUL DISTRICT, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA)

Disusun oleh

Rikky Prianggara
13511315

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 11 Januari 2018

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
M. Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng.	**Akhmad Marzuko, Ir., M.T.**	**Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T.**
NIK: 135111101	**NIK: 885110107**	**NIK: 045110407**

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.
NIK: 955110103

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

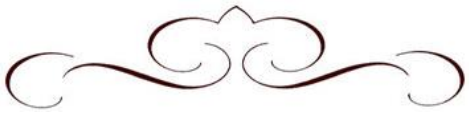
Yogyakarta, 12 Januari 2018

Yang membuat pernyataan,



Rikky Prianggara

(13511315)



THIS RESEARCH PAPER IS PROUDLY DEDICATED TO

MY PARENTS

WITHOUT YOU, SUCCESS WOULD NOT BE POSSIBLE



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Analisis Perkuatan Lereng Batuan Dengan Menggunakan Metode Bangunan Proteksi *Rock Shed* di Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Bapak Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini,
2. Bapak Ir. Akhmad Marzuko, M.T. selaku dosen penguji 1 dan Ibu Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T. selaku dosen penguji 2 yang telah memberikan masukan dan saran yang membangun untuk perbaikan Tugas Akhir ini,
3. Ibu Miftahul Fauziah, ST., MT., Ph.D., selaku Ketua Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,
4. kedua orang tua tercinta Ayahanda Suatno dan Ibunda Suendang Murni Rita yang telah menjadi motivasi dan selalu memberikan dukungan, baik secara material maupun spiritual hingga selesainya Tugas Akhir ini,
5. Adinda Dinda Atriana dan Shany Fadillah ER yang telah memberikan dan menjadi motivasi hingga selesainya Tugas Akhir ini,
6. saudara dan saudari seperjuangan (Apa Aja Bole) Shabirin, Sumaiyah Ohorella, Akbar Zainuri, Dillah Nurfathiyah Mufti, Fadullah Iqsan, Rezkitha Firmani Bara dan Trisna Novty sebagai sahabat yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini,

7. teman-teman dan saudara-saudara Teknik Sipil angkatan 2013 yang telah mendukung penelitian Tugas Akhir ini,
8. semua pihak yang ikut membantu kelancaran Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhirnya penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, Januari 2018
Penulis,

Rikky Prianggara
13511315

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
DEDIKASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGATAN	xv
ABSTRAK	xvii
ABSTRACT	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Lokasi Penmelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Analisis Stabilitas Lereng	6
2.2 Bangunan Proteksi, *Rock Shed*	
2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian yang Akan Dilakukan	7
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 Longsor	12
3.1.1 Pengertian Longsor	12
3.1.2 Penyebab Longsor	12

3.2 Kriteria Keruntuhan Batuan 13
3.2.1 Modulus Deformasi 17
3.2.2 Pendekatan Persamaan Mohr-Coulumb 17
3.3 Analisis Stabilitas Lereng 19
3.3.1 Analisis Stabilitas Lereng Dengan *Plaxis* 19
3.4 Analisis Stabilitas Lereng Terhadap Pengaruh Beban Dinamis 20
3.4.1 *Peak Ground Acceleration (PGA)* 20
3.4.2 Pseudostatic 20
3.5 Faktor Aman 22
3.6 Penanganan Perkuatan Lereng Batuan 24
3.7 Penanganan Jatuhan Batuan Dengan *Rock Shed* 24
3.7.1 Kriteria Desain *Rock Shed* 24
3.7.2 Perencanaan Desain *Rock Shed* 25
3.7.2 Sifat Lapisan Peredam 26
3.7.3 *Static Equivalen Force* 29
3.8 Pemodelan Jatuhan Batuan 31
3.8.1 Simulasi Jatuhan Batuan dengan Program *RocFall* 31
3.8.2 Kecepatan Jatuhan Batuan 32
3.8.3 Kekasaran Permukaan 33
3.8 Klasifikasi Batuan 34
BAB IV METODE PENELITIAN 38
4.1 Umum 38
4.2 Tahapan Penelitian 38
4.2.1 Studi Literatur 40
4.2.2 Pengumpulan Data 40
4.2.3 Simulasi Pemodelan Stabilitas Lereng 40
4.2.4 Pemodelan Jatuhan Batuan 41
4.2.6 Perancangan Bangunan Pelindung 41
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 42
5.1 Parameter Kekuatan Batuan 42
5.2 Hail Uji Laboratorium 43

5.3 Data Beban Gempa 44
5.4 Analisis Stabilitas Lereng Kondisi Eksisting 44
5.4.1 Pemodelan Geometri Lereng 44
5.4.2 Input Parameter Pemodelan Stabilitas Lereng 47
5.4.3 Analisis Stabilitas Lereng Awal 46
5.5 Pemodelan Jatuhan Batuan Kondisi Eksisting 48
5.5.1 Analisis Pemodelan 48
5.5.2 Input Parameter 49
5.5.3 Hasil Pemodelan Jatuhan Batuan 49
5.6 Desain *Rock Shed* 56
5.6.1 Analisis Beban Statis Jatuhan Batu 56
5.6.2 Asumsi Dimensi *Rock Shed* 58
5.6.3 Pemodelan Rock Shed Dalam SAP2000 59
5.6.4 Analisis Pelat Atap *Rock Shed* 61
5.6.5 Analisis Balok *Rock Shed* 64
5.6.6 Analisis Kolom *Rock Shed* 67
5.6.7 Analisis Kekuatan Pondasi Rock Shed 69
5.7 Analisis Stabilitas Lereng Akhir 73
5.8 Pemodelan Jatuhan Batuan dengan Bangunan Proteksi *Rock Shed* 74
5.9 Pembahasan Hasil Akhir 75
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 78
6.1 Kesimpulan 78
6.2 Saran 78
DAFTAR PUSTAKA 80
LAMPIRAN 82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Lokasi Penelitian Perkuatan Lereng Batuan	4
Gambar 1.2	Penampakan Lereng Batuan Pada Sisi Sebelah Ruas Jalan Baron, Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta	4
Gambar 2.1	Salah Satu *Rock Shed* Yang Ada di Jepang	6
Gambar 3.1	Hubungan Major Dan Minor Principal Stresses Dari Hoek-Brown Dan Mohr-Coulumb	18
Gambar 3.2	Peta Zona Gempa Indonesia Tahun 2012	20
Gambar 3.3	Pendekatan Pseudostatic Analisis	21
Gambar 3.4	Jenis Penanganan Perkuatan Lereng Batuan	24
Gambar 3.5	Potongan Melintang *Rock Shed* Untuk Rel Kereta Api Satu Lajur	25
Gambar 3.6	Perilaku Lapisan Peredam Menahan Jatuhan Batuan	27
Gambar 3.7	Kekuatan Dampak Dan Deformasi Untuk Tiga Lapisan Peredam	28
Gambar 3.8	Instrumen Yang Digunakan Untuk Emngukur Berat Badan Kekuatan Dampak Dan Ditransmisikan Kekuatan Dampak Uji Batu Jatuh	29
Gambar 3.9	Ilustrasi Gaya Yang Bekerja Pada Batuan	31
Gambar 3.10	Hubungan Antara Kekasaran Permukaan Dan Jari-Jari Batuan	34
Gambar 4.1	Diagram Alur Penelitian	39
Gambar 5.1	Hasil Output Perangkat Lunak RocData	43
Gambar 5.2	Pemodelan Geometri Lereng pada Program Plaxis 8.2	45
Gambar 5.3	Daerah Potensi Kelongsoran Pada Lereng Kondisi Eksisting yang Telah Diberi Retakan (*Interface*)	47

Gambar 5.4	Daerah Potensi Kelongsoran Pada Lereng Dengan Beban Dinamis	48
Gambar 5.5	Simulasi Jatuhan 1 Batu Ketinggian 20 m	50
Gambar 5.6	Simulasi Jatuhan 1 Batu Ketinggian 40 m	50
Gambar 5.7	Energi Kinetik dari Jatuhan 1 Batu dari Ketinggian 20 m	51
Gambar 5.8	Energi Kinetik dari Jatuhan 1 Batu dari Ketinggian 40 m	51
Gambar 5.9	Kecepatan Jatuhan 1 Batu dari Ketinggian 20 m	52
Gambar 5.10	Kecepatan Jatuhan 1 Batu dari Ketinggian 40 m	52
Gambar 5.11	Simulasi Jatuhan 10 Batu Ketinggian 20 m	53
Gambar 5.12	Simulasi Jatuhan 10 Batu Ketinggian 40 m	54
Gambar 5.13	Energi Kinetik dari Jatuhan 10 Batu dari Ketinggian 20 m pada x = 50 m	54
Gambar 5.14	Energi Kinetik dari Jatuhan 10 Batu dari Ketinggian 40 m pada x = 50 m	55
Gambar 5.15	Kecepatan Jatuhan 10 Batu Ketinggian 20 m pada x = 50	55
Gambar 5.16	Kecepatan Jatuhan 10 Batu Ketinggian 40 m pada x = 50	56
Gambar 5.17	Tampak Samping *Rock Shed*	59
Gambar 5.18	Hasil Pengujian Desain SAP2000	60
Gambar 5.19	Detail Penulangan Pelat *Rock Shed*	64
Gambar 5.20	Luasan Kebutuhan Tulangan *Rock Shed* Tebal Pasir 0,9m	65
Gambar 5.21	Detail Penulangan Balok *Rock Shed*	67
Gambar 5.22	Detail Penulangan Kolom *Rock Shed*	69
Gambar 5.23	Detail Penulangan Pondasi *Rock Shed*	72
Gambar 5.24	Kondisi Lereng Eksisting Dengan Adanya *Rock Shed*	73
Gambar 5.25	Kondisi Lereng Setelah Adanya *Rock Shed* Dengan Beban Gempa	74
Gambar 5.26	Simulasi Jatuhan 10 Batuan Ketinggian 20 m dengan *Rock Shed*	74
Gambar 5.27	Simulasi Jatuhan 10 Batuan Ketinggian 40 m dengan *Rock Shed*	75

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tabel Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	8
Tabel 3.1	Nilai Konstanta *mi* Untuk Batuan Utuh	14
Tabel 3.2	Nilai GST pada Massa Batuan	15
Tabel 3.3	Faktor Ketergangguan Pada Dinding Lereng (*Disturbance Factor*), D	16
Tabel 3.4	Rekomendasi Koefisien Gempa Horizontal	22
Tabel 3.5	Kriteria Faktor Aman Menurut Hoek	23
Tabel 3.6	Nilai Koefisien Gesekan Efektif μ untuk Karakteristik Bahan Lereng	33
Tabel 3.7	Klasifikasi Massa Batuan Utuh	35
Tabel 3.8	*Physical Properties* Berdasarkan Jenis Batuan	36
Tabel 3.9	*Mechanical Properties* Berdasarkan Jenis Batuan	37
Tabel 5.1	Rangkuman Hasil Uji Laboratorium	43
Tabel 5.2	Input Parameter Pemodelan Stabilitas Lereng	46
Tabel 5.3	Input Parameter Pemodelan Jatuhan Batu	49
Tabel 5.4	Hasil Simulasi Jatuhan 1 Batu	53
Tabel 5.5	Hasil Simulasi Jatuhan 10 Batu pada Lokasi x = 50 m	56
Tabel 5.6	Hasil Perhitungan Beban Statis	58
Tabel 5.7	Asumsi Ukuran *Rock Shed*	59
Tabel 5.8	Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Pelat *Rock Shed*	64
Tabel 5.9	Gaya yang Bekerja Pada Balok	65
Tabel 5.10	Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Balok *Rock Shed*	66
Tabel 5.11	Gaya Yang Bekerja Pada Kolom	68
Tabel 5.12	Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Kolom *Rock Shed*	68
Tabel 5.13	Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Pondasi *Rock Shed*	72
Tabel 5.14	Rangkuman Hasil Analisis Stabilitas Lereng	75
Tabel 5.15	Rangkuman Pemodelan Jatuhan Batuan	76

Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Analisis Tulangan *Rock Shed* 77

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	*Input* dan *Output* Program RocData v.4
Lampiran 2	Hasil Pengujian Tanah Permukaan Lereng di Laboratorium Universitas Islam Indonesia
Lampiran 3	Proses Analisis Stabilitas Lereng Pada Program Plaxis 8.2
Lampiran 4	Proses Anaisis Desain Rock Shed Pada Program SAP2000
Lampiran 5	Proses Simulasi Jatuhan Batuan Pada Program RocFall v.4.0

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

ϕ = Sudut gesek internal tanah

γ = Berat volume

λ = Parameter Lame

a = Konstanta material Hoek-Brown

a = Percepatan

c = Kohesi

C = Koefisien daktail

D = Diameter batu

D = Diameter Tulangan

e = Angka pori

E = Modulus Young

FS = Faktor aman

g = Percepatan gravitasi

G_S = Berat jenis tanah

GSI = *Geological Strength Index*

H = Tinggi lereng

M = Berat batu

M_b = Nilai konstanta dari Hoek-Brown

M_i = Nilai konstanta batuan utuh

P = Beban statis

qa = Daya dukung pondasi yang diijinkan

Rn = *Coefficient of normal restitution*

Rt = *Coefficient of tangential restitution*

S = Konstanta material Hoek-Brown

T = Tebal lapisan peredam

V = Kecepatan

v_u = Gaya geser

w	= Kadar air tanah
β	= Perbandingan T dan D
γb	= Berat volume lembab atau basah
γd	= Berat volume kering
γsat	= Berat volume jenuh
γw	= Berat volume air
v	= *Poisson's ratio*
σ	= Tegangan normal
σci	= Kuat Tekan (*Uniaxial Compressive Strength*)
τ	= Kuat geser
Ψ	= Sudut dilatasi

ABSTRAK

Peristiwa longsor batuan dan jatuhan batuan merupakan salah satu bencana alam yang menyebabkan banyak kerugian. Sebagian besar akses jalan di wilayah Gunungkidul melewati perbukitan dan pengunungan kapur, sehingga daerah tersebut memiliki potensi terjadinya bencana. Pada penelitian ini dilakukan analisis stabilitas lereng dan memberikan rekomendasi bangunan proteksi terhadap jatuhan batuan.

Penelitian ini dimulai dengan studi literatur dilanjutkan dengan penyelidikan lapangan dan pengujian laboratorium. Tahapan analisis dimulai dengan pemodelan lereng kondisi asli menggunakan perangkat lunak Plaxis 2.4 untuk mengetahui faktor aman pada lereng yang ditinjau. Kemudian dilakukan pemodelan jatuhan batu menggunakan perangkat lunak RocFall untuk mengetahui kecepatan jatuhan batu, besaran energi akibat jatuhan batu dan distribusi dari jatuhan batu. Dari hasil pemodelan tersebut didesain bangunan proteksi *rock shed*.

Lereng pada kondisi eksisting telah memenuhi persyaratan faktor aman pergerakan batuan. Dengan penambahan beban gempa sebesar 0,3g faktor aman lereng menjadi 1,146. Lereng menjadi rawan terhadap pergerakan batuan. Oleh karena itu didesain *rock shed* sebagai bangunan proteksi terhadap jatuhan batu. *Rock shed* didesain dengan tebal lapisan peredam 0,9 m dan mampu menahan gaya akibat jatuhan batu maksimum 725 kN. Pada kondisi setelah adanya bangunan proteksi *rock shed*, lereng memiliki faktor aman sebesar 1,676. Menurut Hoek, lereng batuan tersebut dapat dikatakan aman terhadap longsoran batuan. Pada pemodelan jatuhan batuan, *rock shed* mampu menahan gaya akibat jatuhan batuan dan membuang jatuhan batuan ke sisi lembah sehingga jalan aman terhadap jatuhan batuan. Hasil ini menunjukkan bahwa lereng pada kondisi adanya bangunan proteksi *rock shed* aman terhadap bencana longsoran batuan dan jatuhan batuan.

Kata kunci: jatuhan batu, longsor batuan, Plaxis, RocFall, *rock shed*

ABSTRACT

Rock landslide events and rock fall is one of the natural disasters that cause many disadvantages. Most of the access roads in the Gunungkidul region through hills and limestone mountains, so that the area has the potential for disaster. In this research, the slope stability analysis and the recommendation of building protection against rock fall.

The study began with a literature study followed by field investigation and laboratory testing. The analytical step begins with the slope modeling of the original condition using Plaxis 2.4 software to determine the safety factor on the slopes being reviewed. Then modeled the fall of stone using RocFall software to determine the speed of falling rocks, the amount of energy due to rock fall and the distribution of rock fall. From the modeling results are designed buildings rock shed protection.

The slopes in the existing condition have met the requirements of safe factor of rock movement. With the addition of earthquake loads of 0.3g the safety factor slope to 1.146. Slopes become vulnerable to rock movement. Therefore designed rock shed as a protective building against the fall of stone. Rock shed is designed with a thick layer of 0.9 m absorbers and is able to withstand forces due to maximum rock fall of 725 kN. In conditions after the existence of rock shed protection buildings, the slope has a safe factor of 1.676. According to Hoek, the slope of the rock can be said to be safe against rock avalanches. In rock fall modeling, rock shed is able to withstand the force due to rock fall and throw the rock fall to the side of the valley so that the road is safe against the fall of rocks. These results indicate that slopes under conditions of rock shed protection are safe against rock landslides and rock fall.

Keywords: rock fall, rock landslide, Plaxis, RocFall, rock shed

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gunungkidul merupakan salah satu kabupaten di Daerah Istimewa Yogyakarta yang terkenal dengan wisata alamnya. Akses jalan yang baik sangat dibutuhkan sebagai sarana lalu lintas bagi pengunjung dan masyarakat sekitar untuk mobilisasi barang dan jasa secara aman dan nyaman. Pelayanan yang optimal pada arus lalu lintas merupakan fungsi dasar jalan yang diharapkan dalam suatu perencanaan jalan.

Peristiwa longsor batuan dan jatuhan batuan merupakan salah satu bencana alam yang menyebabkan banyak kerugian. Longsor batuan menyebabkan jalan tidak dapat berfungsi dengan baik dan menghambat mobilisasi barang ataupun jasa. Peristiwa jatuhan batuan dapat mempengaruhi kekuatan dari lapis perkerasan yang menyebabkan rusaknya jalan tersebut. Longsor batuan dan jatuhan batuan yang terjadi mengakibatkan jalan tidak dapat melaksanakan fungsinya sesuai dengan umur rencana yang telah direncanakan (Simbolon, 2015). Selain itu masih banyak kerugian yang dapat terjadi baik secara material maupun non-material.

Sebagian besar akses jalan di wilayah Gunungkidul melewati perbukitan dan pengunungan kapur, sehingga daerah tersebut memiliki potensi terjadinya bencana. Upaya mitigasi telah dilakukan di beberapa daerah di wilayah tersebut. Salah satunya dengan penanganan menggunakan metode vegetatif dan pemotongan lereng. Upaya mitigasi yang telah dilakukan belum mampu mengurangi potensi bahaya yang terjadi di ruas jalan tersebut dan terdapat beberapa daerah yang memiliki potensi terjadinya longsor. Keadaan lereng pada ruas jalan akses Gunungkidul tersebut memerlukan evaluasi untuk mengetahui kondisi perkuatan dari lereng tersebut. Tingginya tingkat kepentingan jalan ini mewajibkan jalan aman terhadap bencana longsor dan jatuhan batuan. Pada penelitian ini dilakukan

analisis perkuatan lereng untuk selanjutnya didesain bangunan proteksi terhadap jatuhan batuan berupa *rock shed*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang diuraikan pada bagian latar belakang, dapat dirumuskan masalah sebagai berikut ini.

1. Bagaimana tingkat stabilitas lereng batuan yang terdapat di ruas jalan Pantai Selatan Jawa, Kabupaten Gunungkidul?
2. Bagaimana besaran energi akibat jatuhan batu yang terjadi dan kecepatan jatuhan batu pada ruas jalan Pantai Selatan Jawa, Kebupaten Gunungkidul?
3. Bagaimana penanganan yang dilakukan untuk mengurangi risiko dari batuan jatuh pada ruas jalan Pantai Selatan Jawa, Kabupaten Gunungkidul?
4. Bagaimana tingkat stabilitas lereng yang terdapat di ruas jalan Pantai Selatan Jawa, Kabupaten Gunungkidul setelah dilakukan penanganan untuk menguarangi resiko dari batuan jatuh?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Mengetahui tingkat stabilitas dari lereng yang terdapat di ruas jalan Pantai Selatan Jawa, Kabupaten Gunungkidul.
2. Mengetahui besaran energi akibat jatuhan batu yang terjadi dan kecepatan jatuhan batu pada ruas jalan Pantai Selatan Jawa, Kebupaten Gunungkidul
3. Memberi suatu alternatif penanganan jatuhan batu berupa bangunan proteksi *rock shed* yang dapat melindungin jalan Pantai Selatan Jawa, Kabupaten Gunungkidul.
4. Mengetahui tingkat stabilitas lereng yang terdapat di ruas jalan Pantai Selatan Jawa, Kabupaten Gunungkidul setelah dilakukan penanganan untuk menguarangi resiko dari batuan jatuh berupa pembangunan *rock shed*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai bahan masukan bagi pemerintah daerah setempat dalam upaya penaggulangan bencana longsor dan jatuhan batuan serta sebagai bahan rekomendasi dan referensi dalam penyusunan rencana teknis penanganan jatuhan batuan. Dengan adanya alternatif penanganan jatuhan batuan, kerusakan yang timbul pada sarana dan prasarana jalan serta munculnya korban jiwa dapat dihindari.

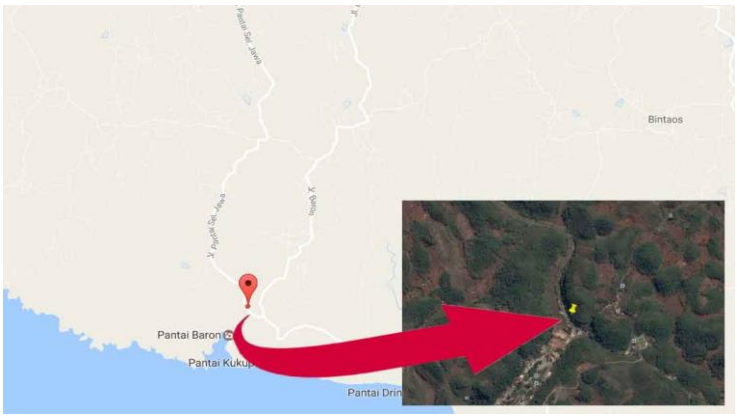
1.5 Batasan Masalah

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut:

1. lokasi penelitian berada di ruas Jalan Pantai Selatan Jawa Kabupaten Gunungkidul,
2. lereng didesain dengan menambahkan perlemahan (*interface*) di beberapa bagian,
3. data batuan yang digunakan dibantu dengan program RocData v.3 dari Roscience,
4. *input* parameter data batuan pada program RocData v.3 menggunakan asumsi sesuai kriteria Hoek dan Brown,
5. data tanah permukaan yang digunakan merupakan hasil dari pengujian laboratorium Mekanika Tanah Universitas Islam Indonesia,
6. analisis stabilitas lereng dihitung dengan menggunakan program Plaxis 8.2,
7. *input* data material pada program Plaxis 8.2 menggunakan data batuan hasil *output* dari program RocData v.3,
8. analisis pemodelan jatuhan batu dihitung menggunakan program RocFall 4.0,
9. perencanaan desain rock shed yang digunakan adalah standar desain *rock shed* Jepang,
10. perencanaan desain *rock shed* menggunakan beton dengan kekuatan (*fc'*) 30, berat jenis (γ) 24 kN/m^3, dan
11. analisis desain *rock shed* dibantu dengan program SAP2000,
12. desain *rock shed* pada program SAP2000 tidak menggunakan beban gempa.

1.6 Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi pada ruas jalan akses Kabupaten Gunungkidul, D.I.Yogyakarta, yang bertepatan pada Jalan Pantai Selatan. Berikut peta lokasi yang dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Lokasi Penelitian Perkuatan Lereng Batuan
(Sumber: Google Maps)

Pada sisi sebelah jalan di Jalan Pantai Selatan Jawa ini, terdapat lereng yang tersusun atas pelapukan dari lapisan batuan penyusun lereng tersebut dan memiliki kemiringan yang curam sehingga berpotensi terjadi jatuhan batuan seperti pada Gambar 1.2 berikut ini.



Gambar 1.2 Penampakan Lereng Batuan pada Sisi Sebelah Jalan Pantai Selatan, Kabupaten Gunungkidul

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Stabilitas Lereng

Amalia (2015) melakukan penelitian analisis stabilitas lereng kawasan ratu boko akibat tambahan beban bangunan dan pengaruh perubahan kadar air. Adapun tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kelayakan rencanan pengembangan infrastruktur yang ditinjau dari stabilitas lereng dan mengetahui alternatif perbaikan pada lereng alam di komplek Situs Istana Ratu Boko. Penelitian ini menganalisis faktor aman lereng alam dengan berbagai kondisi akibat rencana pengembangan infrastruktur dan perubahan kadar air tanah dengan menggunakan software Slope/W. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan bahwa pembangunan *cottage* dianggap layak untuk dilakukan dengan faktor aman lereng yang sama dengan kondisi semula sebesar 1,381 dan pada kondisi akibat perubahan kadar air tanah faktor aman diperoleh sebesar 1,168 menunjukkan adanya potensi gerakan tanah maupun batuan sehingga rekomendasi perbaikan yang disarankan yaitu menghilangkan bagian lereng yang rentang terjadi pergerakan (*soil removal works*).

Penelitian yang dilakukan oleh Siregar (2015) adalah analisis kestabilan lereng batuan Dusun Ngablak, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah menentukan kestabilan lereng batuan di Dusun Ngablak, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Analisis kestabilan lereng yang dilakukan adalah dengan menggunakan sistem *Slope Mass Rating* (SMR). Berdasarkan hasil analisis kinematika pada bidang diskontinuitas di lereng perbukitan didapatkan bahwa lereng pada blok 1 memiliki tipe keruntuhan *planar failure*, blok 2 dan 3 memiliki tipe keruntuhan *wedge failure* dan blok 4 memiliki tipe keruntuhan *toppling failure*.

Sari (2016) melakukan penelitian analisis kinematik dan stabilitas lereng batuan pada Desa Bokohardjo, Kecamatan Prambanan, Kabupaten Sleman, daerah Istimewa Yogyakarta. Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi tingkat

stabilitas dan mode keruntuhan pada lereng yang terdapat di Desa Bokohardjo serta memberi suatu alternatif penanganan jatuhan batuan menggunakan metode proteksi. Metode penelitian dengan menggunakan program *Stereonet Apps* dan *Dips* untuk analisis kinemtik dan program *Plaxis 8.2* untuk analisis numerik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa lereng dalam kondisi kritis setelah adanya beban tambahan berupa beban gempa, sehingga disarankan metode perlindungan, yaitu dengam memberi pagar perlindungan dan galian pada ujung bawah lereng sebelum pemukiman warga.

2.2 Bangunan Proteksi, *Rock Shed*

Rock shed merupakan salah satu metode pengendalian jatuhan batuan pada jalur transportasi sebagai pencegahan atau tindakan perlindungan. Metode ini biasanya digunakan di daerah yang berpotensi terjadinya jatuhan batuan dan dibutuhkan tingkat perlindungan yang tinggi, seperti gedung, jalan raya dan rel kereta api. Berikut salah satu rock shed yang ada di Jepang pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Salah satu *rock shed* yang ada di Jepang

(Sumber: Hiroshi dkk, 2007)

Simbolon (2015) melakukan penelitian analisis stabilitas lereng batuan dengan *rock shed* sebagai bangunan proteksi. Penelitian ini menganalisis stabilitas

lereng batuan di ruas jalan Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan menggunakan program *Slide Ver.6* dan *Phase2 Ver.8* dari *Roscience*. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui tingkat stabilitas lereng yang terdapat di ruas jalan akses Kabupaten Muara Enim dan memberi penanganan jatuhan batu menggunakan *rock shed*. Berdasarkan hasil penelitian, peniliti mendapatkan hasil bahwa lereng pada ruas jalan akses Kabupaten Muara Enim memiliki faktor aman pada kondisi eksisting sebesar 1,328 dan pada kondisi diberi beban dinamis sebesar 1,048 dan *rock shed* yang di desain mampu menahan beban statis maksimum sebesar 815 kN akibat jatuhan batuan.

2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Perbandingan penelitian atau tugas akhir ini dengan beberapa penelitian diatas disajikan dalam bentuk tabel yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Topik	Tujuan	Metode	Obyek	Hasil
Amalia (2015)	Analisis Stabilitas Lereng Kawasan Ratu Boko Akibat Tambahan Beban Bangunan Dan Pengaruh Perubahan Kadar Air	Mengetahui kelayakan rencanan pengembangan infrastruktur yang ditinjau dari stabilitas lereng dan mengetahui alternatif perbaikan pada lereng alam di komplek situs istana ratu boko	Analisis faktor aman lereng alam dan perubahan kadar air tanah dengan menggunakan program *Slope/W*	Lereng di Komplek Situs Istana Ratu Boko	Dari kondisi lereng, pembangunan infrastruktur dianggap layak dan kondisi akibat perubahan kadar air tanah menunjukkan adanya potensi gerakan tanah sehingga disarankan perbaikan yaitu menghilangkan bagian lereng yang rentang terjadi pergerakan.
Siregar (2015)	Analisis Kestabilan Lereng Batuan Dusun Ngablak,	Menentukan kestabilan lereng batuan di Dusun Ngablak, Kecamatan	Analisis kestabilan lereng menggunakan	Lereng batuan di Dusun Ngablak,	Area lereng dibagi dalam 4 blok, pada blok 1 memiliki tipe keruntuhan

Sumber : Amalia (2015), Siregar (2015), Sari (2016), Simbolon (2015)

Lanjutan Tabel 2.1 perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Topik	Tujuan	Metode	Obyek	Hasil
	Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta	Piyungan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta	sistem Slope Mass Rating (SMR)	Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta	*planar failure*, blok 2 dan 3 memiliki tipe keruntuhan *wedge failure* dan blok 4 memiliki tipe keruntuhan *toppling failure*
Simbolon (2015)	Analisis Stabilitas Lereng Batuan Dengan *Rock Shed* Sebagai Bangunan Proteksi	Mengetahui stabilitas lereng yang terdapat di jalan akses Kabupaten Muara Enim dan memberi penanganan jatuhan batu menggunakan *rock shed*	Analisis metode keseimbangan batas menggunakan program *Slide Ver.6* dan analisis metode elemen hingga *Phase2 Ver.8* dan metode bangunan proteksi *Rock Shed*	Lereng pada jalan akses Kabupaten Muara Enim	Lereng memiliki faktor aman pada kondisi eksisting sebesar 1,33 dan pada kondisi diberi beban dinamis sebesar 1,05 dan desain *rock shed* mampu menahan beban statis maksimum sebesar 815 kN akibat jatuhan batuan.

Sumber : Amalia (2015), Siregar (2015), Sari (2016), Simbolon (2015)

Lanjutan Tabel 2.1 perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Topik	Tujuan	Metode	Obyek	Hasil
Sari (2016)	Analisis Kinematik dan Stabilitas Lereng Batuan pada Desa Bokohardjo, Kecamatan Prambanan, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta	Mengidentifikasi tingkat stabilitas dan mode keruntuhan pada lereng yang terdapat di Desa Bokohardjo serta memberi suatu alternatif penanganan jatuhan batuan menggunakan metode proteksi	Analisis kinemtik menggunakan program *StereonetApps* dan *Dips* dan analisis numerik menggunakan program *Plaxis 8.2*	Lereng batuan pada Desa Bokohardjo, Kecamatan Prambanan, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta	Lereng dalam kondisi kritis setelah adanya beban tambahan berupa beban gempa, sehingga disarankan metode perlindungan, yaitu dengam memberi pagar perlindungan dan galian pada ujung bawah lereng sebelum pemukiman warga
Prianggara (2018)	Perkuatan Lereng Batuan Menggunakan Metode Bangunan Proteksi Rock Shed di Ruas Jalan Pantai	Mengetahui tingkat stabilitas lereng batuan dan tingkat energi jatuhan batuan pada lereng di ruas Jalan Pantai Selatan Jawa,	Analisis stabilitas lereng menggunakan program *Plaxis 8.2* dan simulasi jatuhan batuan	Lereng di ruas Jalan Pantai Selatan Jawa, Kabupaten Gunungkidul, Daerah	Lereng memiliki faktor aman pada kondisi eksisting sebesar 1,675 dan pada kondisi diberi beban gempa 0,3 g faktor aman lereng menjadi 1,146, energi

Sumber : Amalia (2015), Siregar (2015), Sari (2016), Simbolon (2015)

Lanjutan Tabel 2.1 perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Topik	Tujuan	Metode	Obyek	Hasil
	Selatan Jawa, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta	Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta serta penanganan yang dilakukan untuk mengurangi resiko dari batuan jatuh	menggunakan program RocFall Ver.4 serta menggunakan metode bangunan proteksi *Rock Shed*	Istimewa Yogyakarta	kinetik yang dihasilkan batu cukup tinggi sehingga didesain rock shed yang mampu menahan beban statis maksimum sebesar 850 kN.

Sumber : Amalia (2015), Siregar (2015), Sari (2016), Simbolon (2015)

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Longsor

3.1.1 Pengertian Longsor

Menurt Cruden (1991) longsoran (landslide) adalah pergerakan massa batuan, tanah atau bahan rombakan material penyusun lereng. Selain itu Varnes (1978) dalam Karnawati (2005) mengusulkan terminologi gerakan lereng (*slope movement*) yang dianggap lebih tepat untuk mendefenisikan longsoran, yaitu sebagai gerakan material penyusun lereng ke arah bawah atau keluar lereng di bawah pengaruh gravitasi bumi.

Bencana tanah longsor ini terjadi akibat perubahan parameter pada lereng. Perubahan ini disebutkan oleh pengaruh alam seperti kemiringan lereng, tanah pembentuk lereng, kandungan air, tipe material pembentuk lereng, pelapukan tanah, serta perubaan iklim/cuaca. Selain akibat dari pengaruh alam, tanah longsor juga diakibatkan oleh aktivitas manusia seperti pekerjaan penggalian dan timbunan pada lereng untuk jalan, pemukiman yang mengakibatkan penambahan beban pada lereng, kegiatan pembukaan lahan untuk pertanian dan perkebunan di lereng-lereng terjal serta adanya pengaruh gaya eksternal seperti getaran kendaraan bermtor, pelefakan, mesin pabrik dan gempa bumi. Perubahan parameter tanah inilah yang menimbulkan terjadinya ketidak seimbangan antara tegangan geser sepanjang satu atau lebih pada permukaan bidang longsor, sehigga terjadi gerakan massa tanah atau longsor.

3.1.2 Penyebab Longsor

Vernes (1960 dalam Sayogo, 2007), mengemukakan bahwa penyebab gerakan massa dikelompokkan menjadi dua faktor utama, yaitu faktor yang menambah tekanan geser dan faktor yang mengurangi atau menurunkan hambat geser. Gerakan massa yang terjadi pada suatu wilayah dipengaruhi oleh

karakteristik lingkungan fisik daerah tersebut, dan tata guna lahan. Faktor fisik yang mempengaruhi gerakan massa tanah atau batuan antara lain kemiringan lereng, kondisi geologi yang meliputi jenis batuan, tingkat pelapukan batuan tekstur, permeabilitas dan iklim.

3.2 Kriteria Keruntuhan Batuan

Hoek dan Brown (1980) mengusulkan sebuah metode untuk menduga kekuatan massa batuan terkekarkan. Metodenya kemudia dimodifikasikan kembali (Hoek, 1983; Hoek dan Brown, 1997). Aplikasi kriteria runtuh ini kualitas massa batuan sangat perlu dilakukan perubahan (Hoek, dkk, 1992). Dan pengembang klasifikasi baru tersebut disebut geological strength index-GSI (Hoek, 1994; Hoek, dkk., 1995; Hoek dan Brown, 1997) kemudian dimodifikasi (Hoek, dkk., 2002) dengan pengembangan Persamaan 3.1 berikut ini.

$$\sigma_{1'} = \sigma_{3'} + \sigma_{ci}\left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s\right)^a \qquad 3.1$$

Nilai $\sigma_{1'}$ dan $\sigma_{3'}$ adalah nilai maksimum dan minimum tegangan efektif pada saat mengalami keruntuhan. Nilai σ_{ci} adalah nilai Kuat Tekan (*Uniaxial Compressive Strength*) pada batuan utuh (*intact roc*). m_b adalah nilai konstanta dari Hoek-Brown untuk massa batuan dan merupakan penurunan konstanta material mi yang berasal dari pengujian triaksial batuan utuh di laboratorium.

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI-100}{28-14D}\right) \qquad 3.2$$

Pada penentuan kekuatan massa batuan dengan metode GSI adanya masukkan parameter konstanta massa batuan berupa *m* dan *s* semakin besar. GSI adalah suatu system yang menentukan pelemahan massa batuan yang merupakan hubungan antara derajat kekar dan kondisi permukanaa kekar (Tabel 3.3). *s* dan *a* adalah konstanta untuk massa batuan, dan dicari dengan Persamaan 3.3 sebagai berikut ini.

$$s = \exp\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right) \quad 3.3$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}\left(e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{3}}\right) \quad 3.4$$

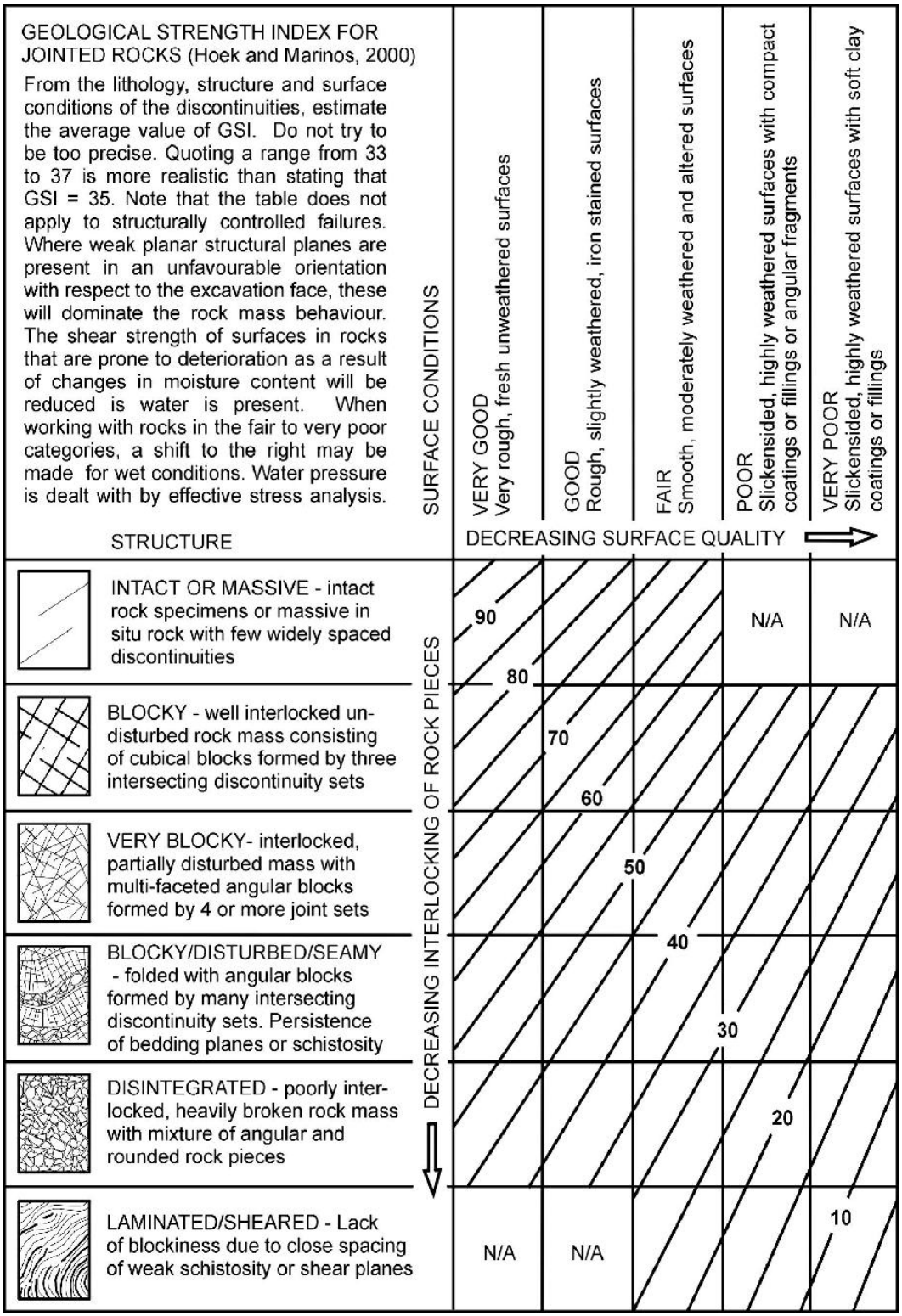
Nilai konstanta mi untuk batuan utuh dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Nilai Konstanta *mi* Untuk Batuan Utuh

Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerates (21 ± 3) Breccias (19 ±5)	Sandstones 17 ± 4	Siltstones 7 ± 2 Greywackes (18 ± 3)	Claystones 4 ± 2 Shales (6 ± 2) Marls (7 ± 2)
	Non-Clastic	Carbonates	Crystalline Limestone (12 ± 3)	Sparitic Limestones (10 ± 2)	Micritic Limestones (9 ± 2)	Dolomites (9 ± 3)
		Evaporites		Gypsum 8 ± 2	Anhydrite 12 ± 2	
		Organic				Chalk 7 ± 2
METAMORPHIC	Non Foliated		Marble 9 ± 3	Hornfels (19 ± 4) Metasandstone (19 ± 3)	Quarzites 20 ± 3	
	Slightly foliated		Migmatite (29 ± 3)	Amphibolites 26 ± 6		
	Foliated*		Gneiss 28 ± 5	Schists 12 ± 3	Phyllites (7 ± 3)	Slates 7 ± 4
IGNEOUS	Plutonic	Light	Granite 32 ± 3	Diorite 25 ± 5 Granodiorite (29 ± 3)		
		Dark	Gabbro 27 ± 3 Norite 20 ± 5	Dolerite (16 ± 5)		
	Hypabyssal		Porphyries (20 ± 5)		Diabase (15 ± 5)	Peridotite (25 ± 5)
	Volcanic	Lava		Rhyolite (25 ± 5) Andesite 25 ± 5	Dacite (25 ± 3) Basalt (25 ± 5)	Obsidian (19 ± 3)
		Pyroclastic	Agglomerate (19 ± 3)	Breccia (19 ± 5)	Tuff (13 ± 5)	

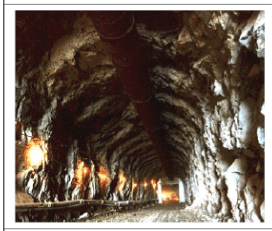
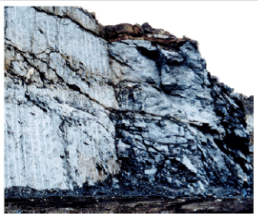
Sumber: Hoek, 2006

Tabel 3.2 Nilai GSI Pada Massa Batuan



Sumber: Hoek, 2006

Tabel 3.3 Faktor Ketergangguan Pada Dinding Lereng (*Disturbance Factor*), D

Appearance of rock mass	Description of rock mass	Suggested value of D
	Excellent quality controlled blasting or excavation by Tunnel Boring Machine results in minimal disturbance to the confined rock mass surrounding a tunnel.	D = 0
	Mechanical or hand excavation in poor quality rock masses (no blasting) results in minimal disturbance to the surrounding rock mass. Where squeezing problems result in significant floor heave, disturbance can be severe unless a temporary invert, as shown in the photograph, is placed.	D = 0 D = 0.5 No invert
	Very poor quality blasting in a hard rock tunnel results in severe local damage, extending 2 or 3 m, in the surrounding rock mass.	D = 0.8
	Small scale blasting in civil engineering slopes results in modest rock mass damage, particularly if controlled blasting is used as shown on the left hand side of the photograph. However, stress relief results in some disturbance.	D = 0.7 Good blasting D = 1.0 Poor blasting
	Very large open pit mine slopes suffer significant disturbance due to heavy production blasting and also due to stress relief from overburden removal. In some softer rocks excavation can be carried out by ripping and dozing and the degree of damage to the slopes is less.	D = 1.0 Production blasting D = 0.7 Mechanical excavation

Sumber: Hoek, 2006

Nilai *D* merupakam faktor gangguan dari massa batuan. Rentang *D* adalah 0 sampai dengan 1. Faktor gangguan 0 untuk undisturb dan 1 untuk disturb pada massa batuan. Petunjuk untuk menentukan nilai *D* dapat dilihat pada Tabel 3.3. Sebagai catatan, dengan memilih GSI = 25 akan meminimalkan koefisien s dan a, serta memberikan transisi yang menerus atau kontiniu.

3.2.1. Modulus Deformasi

Persamaan Hoek-Brown juga memungkinkan untuk menghitung nilai dari Modulus Deformasi. Modulus Deformasi dimodifikasi dengan dimasukkan faktor D untuk memperhitungkan efek kerusakan akibat ledakan dan stres relaksasi (Hoek, Carranza-Torres dan Corkum, 2002) besarnya dapat dilihat dari Persamaan 3.5 berikut ini.

$$E_d(GPA) = \left(1 - \frac{D}{2}\right)\sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \,.\, 10^{\left(\frac{GSI-10}{40}\right)} \qquad 3.5$$

Persamaan 3.5 tersebut berlaku jika $\sigma_{ci} \leq 100\ Mpa$. Untuk $\sigma_{ci} \geq 100\ Mpa$, menggunakan Persamaan 3.6 berikut ini.

$$E_d(GPA) = \left(1 - \frac{D}{2}\right).\, 10^{\left(\frac{GSI-10}{40}\right)} \qquad 3.6$$

3.2.2. Pendekatan persamaan Mohr-Coulumb

Analisis stabilitas lereng menghitung kekuatan geser dari massa batuan pada permukaan geser diungkapkan oleh kriteria kegagalan Mohr-Coulumb. Oleh karena itu, perlu pendekatan untuk menentukan sudut gesekan (ϕ') dan kohesi (c') antara kriteria Hoek-Brown dan Mohr-Coulumb.

$$\phi' = \sin^{-1}\left[\frac{6am_b(s+m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a)+6am_b(s+m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}\right] \qquad 3.7$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci}[(1+2a)s+(1-a)m_b\sigma'_{3n}](s+m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2-a)\sqrt{1+(6am_b(s+m_b\sigma'_{3n})^{a-1})/((1+a)(2_a))}} \qquad 3.8$$

Dimana $\sigma_{3n} = \sigma'_3$ max/ σ_{ci}

Nilai dari σ'_3 maks adalah batas atas *confining stress* pada hubungan Mohr-Coulumb dan Hoek-Brown. Gambar 3.2 menunjukkan σ'_3 maks terhadap persamaan Mohr-Coulumb dan Hoek-Brown pada penggalian permukaan, pemulihan nilai ini dapat digunakan untuk lereng dangkal dan terowongan (Hoek, Carranza-Torres dan Corkum, 2002). Mohr-Coulumb kekuatan geser (τ) diberikan

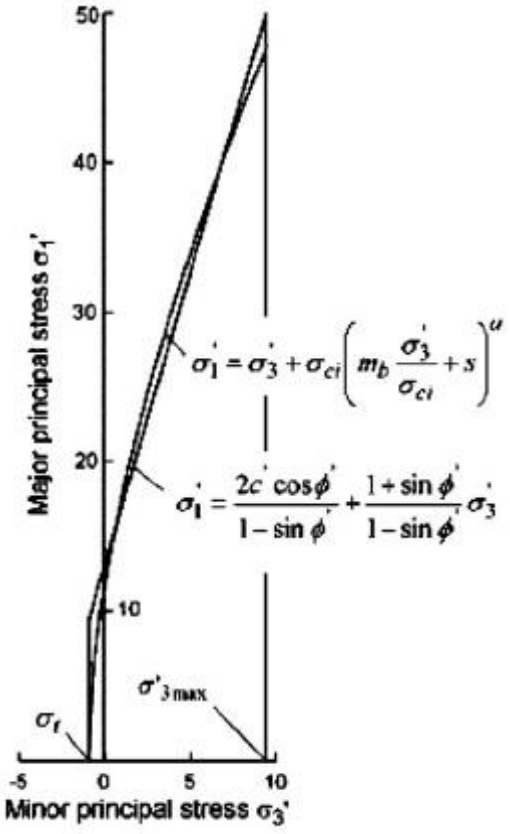
yang normal stres (σ) diperoleh dari substitusi nilai c' dan ϕ' dalam Persamaan 3.9 brikut ini.

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \qquad 3.9$$

Serta dimasukkan kedalam sebuah hubungan *major principal stresses* dan *minor principal stresses*, yang dapat didefinisikan sebagai Persamaan 3.10 berikut ini.

$$\sigma'_1 = \frac{2c' \cos \phi'}{1-\sin \phi'} + \frac{1+sin\phi'}{1-sin\phi'} \sigma'_3 \qquad 3.10$$

Hubungan major dan minor principal stresses dari Hoek-Brown dan Mohr-Coulumb dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.1 Hubungan Major Dan Minor Principal Stresses Dari Hoek-Brown Dan Mohr-Coulumb

Sumber: Hoek, Carranza-Torres dan Corkum, 2002

3.3 Analisis Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng didasarkan pada konsep kesimbangan batas plastis (*limit plastic equilibrum*). Dalam analisis stabilitas bertujuan untuk mengetetahui tingkat keamanan dari suatu lereng yang ditunjukkan dengan angka aman. Angka aman atau *sefty factor* merupakan perbandingan antara gaya yang menahan dengan gaya yang menggerakkan tanah.

Pada analisis stabilan lereng dapat menggunakan sejumlah metode mulai dari yang sederhana hingga dengan yang rumit. Namun setiap metode mempunyai keunggulan dan keterbatasan masing-masing. Dalam penelitian ini, penulis meninjau kestabilan lereng dengan metode elemen hingga menggunakan program *Plaxis 8.2*.

3.3.1 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Program *Plaxis*

Plaxis merupakan salah satu perangkat lunak yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan dalam bidang geoteknik. Plaxis menggunakan pendekatan prinsip metode elemen hingga untuk mendapatkan model lereng dan melakukan analisa mendekati kondisi sebenarnya. Dalam penelitian ini, Plaxis 8.2 digunakan untuk mengetahui faktor aman lereng kondisi eksisting dan dengan beban tambahan berupa beban gempa.

Pada tahap analisis terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan, diantaranya sebagai berikut ini.

1. *Input* Data

   Dalam tahapan ini dilakukan pemodelan berupa data geometri lereng yang dianalisis, material tanah, pembebanan, *meshing*, dan *initial condition*, sehingga model yang dihasilkan dapat menggambarkan kondisi nyata di lapangan.

2. *Calculation*

   Setelah dilakukan pemodelan, tahap selanjutnya adalah plaxis *calculation.* Dalam tahapan ini dilakukan analisis sesuai dengan kebutuhan terhadap model yang telah didefinisikan dalam *input* data.

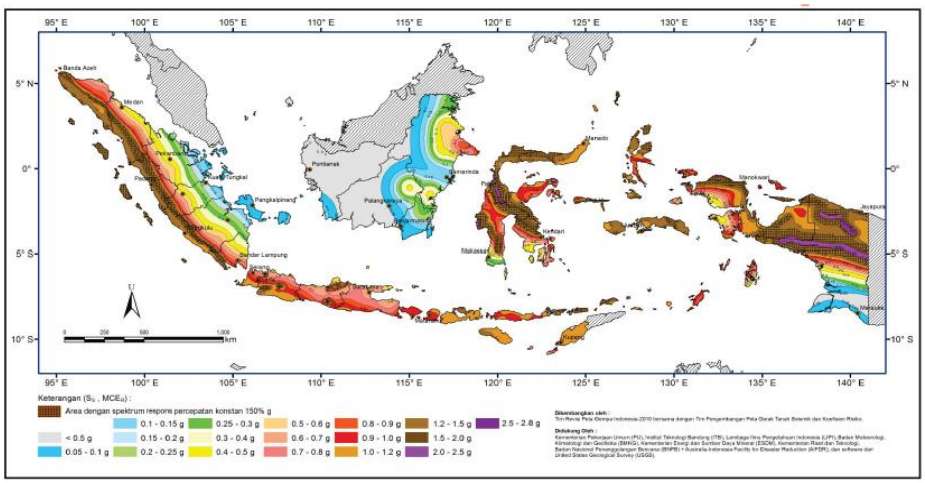
3. *Output*

Output merupakan hasil dari analisis yang ditelah melalui tahap *calculation.* Hasil dapat ditampilkan dalam bentuk gambar maupun angka.

3.4 Analisis Stabilitas Lereng Terhadap Pengaruh Beban Dinamis

3.4.1 *Peak Ground Acceleration (PGA)*

Metode ini memerlukan parameter berupa koefisien gempa (kg). Koefisien ini disajikan dalam persen dari percepatan gravitasi bumi, misalnya koefisien grafitasi 100% atau 1g artinya percepatan permukaan tanah maksimum adalah 9,81 m/s^2. Besar kecilnya koefisien gempa bergantung pada PGA dari daerah penelitian. Dalam menentuan parameter PGA, digunakan peta area gempa (SNI 1726-2012) yang dikeluarkan oleh Badan Standarisasi Nasional Republik Indonesia tahun 2012 yang dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut ini. Pada Gambar 3.3 wilayah Kabupaten Gunung Kidul, Yogyakarta mempunyai nilai PGA sebesar 0,5 g- 0,6 g.



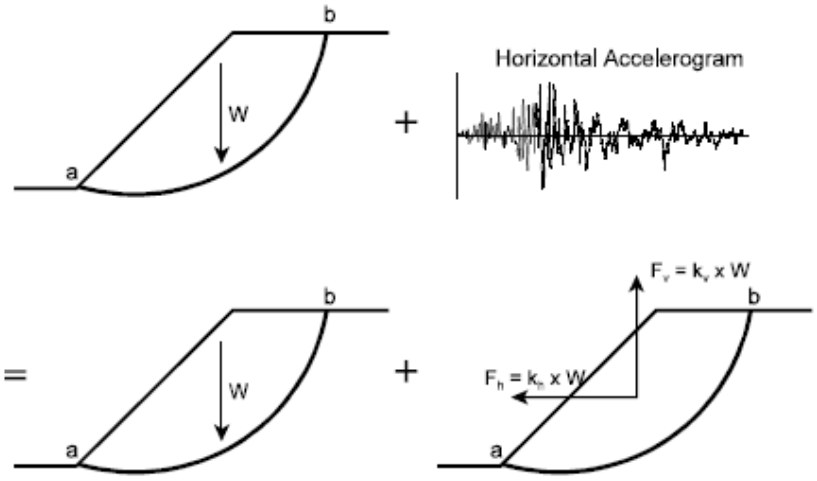
Gambar 3.2 Peta Zonasi Gempa Indonesia Tahun 2012

Sumber : Kementrian Pekerjaan Umum, 2012

3.4.2 Pseudostatic

Dalam penelitian ini, untuk melakukan analisis stabilitas lereng terhadap beban gempa (beban dinamik) digunakan metode pseudostatik. Beban gempa

merupakan salah satu beban yang berpengaruh dalam analisis stabilitas lereng. Analisis keseimbangan batas merupakan salah satu cara yang digunakan untuk analisis stabilitas lereng. Melo dan Sharma (2004) memberikan penjelasan dalam perhitungan koefisien gempa untuk analisis lereng pseudostatik. Prosedur ini terdiri dari proses analisis pada potongan yang berpotensi mengalami pergerakan massa, atau yang sering disebut bidang gelincir (Gambar 3.6) pada bidang *circular* atau *non circular*. Area yang tertutup diantara permukaan lereng dan bidang gelincir disebut sebagai bidang kegagalan, yang dibagi kedalam beberapa potongan yang kemudian dianalisis untuk mengetahui tingkat kesetabilan lereng dengan perhitungan komputasi. Dalam perencanaan struktur pada daerah gempa, koefisien pseudostatik arah horizontal dan vertikal k_x dan k_y digunakan untuk menghitung gaya horizontal dan vertikal yang disebabkan oleh pengaruh gempa bumi, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.4. Gaya-gaya dinamis tersebut dianggap sebagai gaya statis.



Gambar 3.3 Pendekatan *Pseudostatic* Analisis

Sumber : Melo dan Sharma, 2004

Pemilihan koefisien gempa merupakan hal yang sangat penting dari *pseudostatic analysis*. Dalam teori, nilai beban gempa seharusnya tergantung pada

bentuk amplitude dari gaya inersia yang berperngaruh pada lereng oleh gaya dinamis selama gempa terjadi. Hal ini dikarenakan tanah pada lereng bukan merupakan suatu kekakuan maka puncak percepatan selama gempa berakhir hanya untuk periode yang singkat, koefisien gempa pada prakteknya digunakan sesuai dengan nilai percepatan puncak yang diprediksi. Pemilihan koefisien yang digunakan dalam analisis stabilitas masih sangat subjektif. Tabel 3.4 menunjukkan nilai koefisien gempa arah horizontal yang direkomendasikan untuk perancangan.

Tabel 3.4 Rekomendasi Koefisien Gempa Horizontal

Horizontal Seismic Coefficient, k_h	*Description*	
0,05 – 0,15	*In the United States*	
0,12 – 0,25	*In Japan*	
0,1	*"severe" earthquakes*	*Terzaghi [4]*
0,2	*"violent, destructive" earthquakes*	
0,5	*"catastrophic" earthquakes*	
0,1 – 0,2	*Seed [2], FOS $1.15*	
0,10	*Major Earthquake, FOS > 1.0*	*Corps of Engineers [5]*
0,15	*Great Earthquake, FOS > 1.0*	
1/2 to 1/3 of PHA	*Marcuson [6], FOS >1.0*	
1/2 of PHA	*Hynes-Griffin [7], FOS > 1.0*	
FOS = Factor of Safety. PHA = Peak Horizontal Acceleration, in g's.		

Sumber : Melo dan Sharma (2004)

3.5 Faktor Aman

Faktor aman atau angka aman didefinisikan sebagai niai banding antara gaya yang menahan dengan gaya yang menggerakkan, dengan Persamaan 3.11sebagai berikut ini.

$$FS = \frac{\tau}{\tau_d} \qquad 3.11$$

Dengan,

FS : angka aman / faktor aman

τ : tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah (kN/m^2)

τ_d : tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor (kN/m^2)

Untuk pembebanan ekstrim, analisis seismic dan gravitasi rancangan bendungan nilai faktor amannya > 1, untuk *block fal-out* di terowongan nilai faktor amannya > 2, sedang nilai faktor aman untuk lereng batuan seperti yang dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut ini.

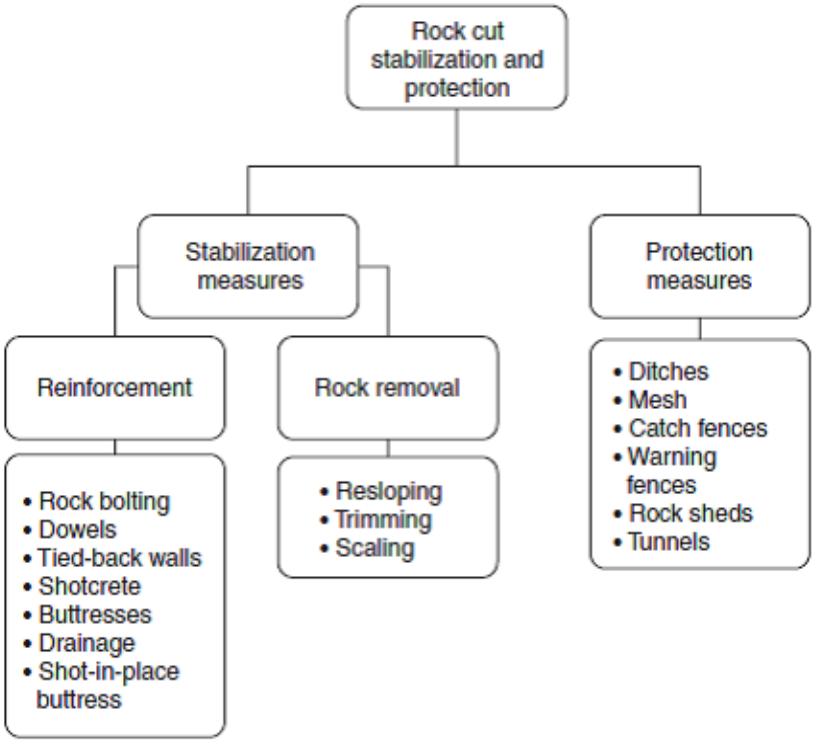
Tabel 3.5 Kriteria Faktor Aman Menurut Hoek

Faktor Aman (F)	Tingkat Kejadian Longsoran
FS < 1	Terjadi keruntuhan
1 < FS < 1,5	Kondisi kritis
FS > 1,5	Kondisi stabil

Sumber: Hoek, 2002

3.6 Penanganan Perkuatan Lereng Batuan

Metode penanganan terhadap keruntuhan batuan diklasifikasikan menjadi 2 kategori yaitu tidakan stabilitas lereng (*stabillization measure*) dan proteksi (*protection measure*). Berikut jenis penanganan perkuatan lereng batuan dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.4 Jenis Penanganan Perkuatan Lereng Batuan

(Sumber: Wyllie, 2004)

3.7 Penanganan Jatuhan Batuan Dengan *Rock Shed*

3.7.1 Kriteria Desain *Rock Shed*

Desain *rock shed* ditentukan oleh beberapa faktor utama sebagai berikut ini.

1. Dimensi ruang bagian dalam *rock shed*

   Dimensi bagian dalam rock shed ditentukan oleh kelas jalan tipe jalan dan ruang bebas jalan.

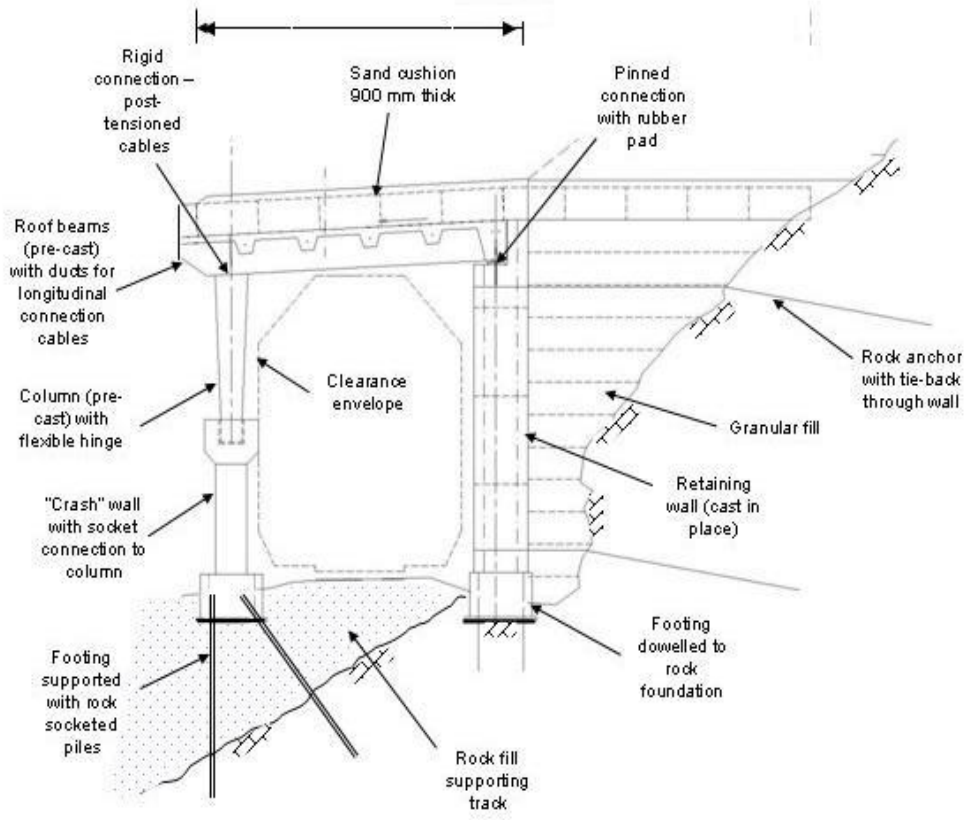
2. Dinding penahan lereng

   Ruang antara permukaan lereng dan dinding penahan lereng diisi dengan kerikil untuk memberikan perlindungan terhadap jatuhan batu yang lintasannya dekat dengan permukaan lereng.

3. Kemiringan atap

Kemiringan atap dibuat 5% agar dapat menyediakan drainase bagi pasir sebagai bantalan peredam. Secara umum, atap yang horisontal meminimalkan lebar bentang dan mempermudah dalam perawatan bantalan peredam.

Berikut potongan melintang *rock shed* yang didesain untuk rel kereta api satu lajur menggunakan satndar Jepang yang dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.5 Potongan Melintang Rock Shed Untuk Rel Kereta Api Satu Lajur

(Sumber: Hiroshi dkk, 2007)

3.7.2 Perencanaan Desain *Rock Shed*

1. Perencanaan pelat

   Pelat beton bertulang merupakan elemen struktur tipis yang menahan gaya-gaya transversal melalui aksi lentur ke masing-masing tumpuan yang menahan beban merata pada lapisan peredam *rock shed*. Beban dari lapisan peredam ditransfer ke balok oleh tulangan pelat lantai. Perencanaan pelat pada penelitian ini menggunakan perencanaan pelat satu arah.

2. Perencanaan balok

   Balok adalah salah satu dari elemen struktur portal dengan bentang yang arahnya horizontal. Gaya yang bekerja pada balok biasanya berupa gaya aksial, momen dan gaya geser, sehingga perlu tulangan untuk menahan beban-beban tersebut.

3. Perencanaan kolom

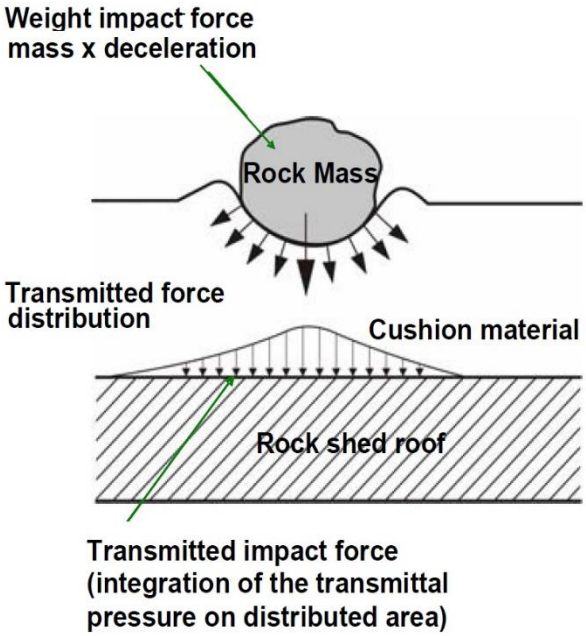
   Kolom merupakan elemen struktur yang bertugas menahan beban tekan aksial. Gaya yang bekerja pada kolom berupa gaya aksial, geser, torsi dan momen. Kegagalan kolom akan mengakibatkan runtuhnya komponen struktur yang berhubungan dengannya.

4. Perencanaan pondasi

   Pondasi adalah bagian bangunan yang berfungsi untuk menyalurkan beban-beban dari struktur atas yang disalurkan oleh kolom-kolom ke dalam tanah pendukung. Berdasarkan klasifikasinya, dalam penelitian ini digunakan perencanaan pondasi telapak (*foot plate*).

3.7.3 Sifat Lapisan Peredam

Sifat lapisan peredam pada bagian atap *rock shed* harus mampu menyerap energi yang dihasilkan pada saat *compression* dan *distortion* dan mampu mendistribusikan gaya yang terjadi dari area kecil ke area yang lebih luas di lapisan atap *rock shed*. Lapisan peredam ini juga harus memiliki kepadatan rendah untuk meminimalkan beban mati. Berikut perilaku lapisan peredam menahan jatuhan batuan yang dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut ini.



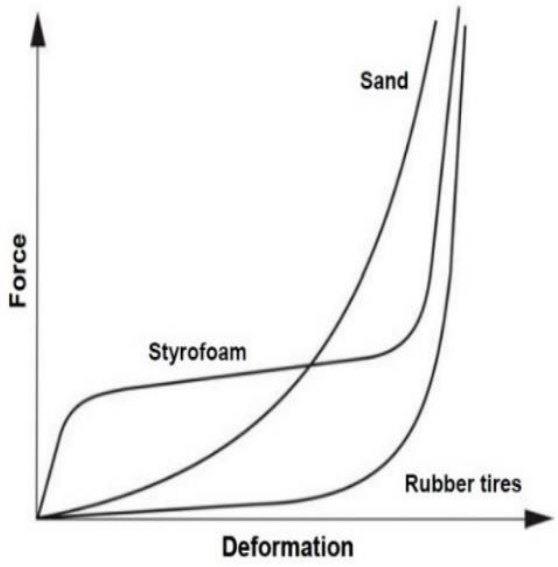
Gambar 3.6 Perilaku Lapisan Peredam Menahan Jatuhan Batuan

(Sumber: Hiroshi dkk, 2007)

Umumnya pasir digunakan sebagai lapisan peredam untuk *rock shed* karena biaya rendah, umur panjang, dan sifat menyerap energi yang baik. Kekurangan dari lapisan pasir ini adalah berat dari pasir sendiri.

Di Jepang, styrofoam telah digunakan sebagai pengganti pasir sebagai lapisan peredam beban jatuhan batu untuk *rock shed* karena kepadatan rendah dan menyerap energi sifat yang baik (Mamaghani dkk, 1999). Kekurangan Styrofoam adalah biaya yang tinggi dibandingkan dengan pasir dan kerusakan pada paparan sinar ultraviolet.

Hasil uji beban deformasi untuk pasir, Styrofoam, dan *rubber tires* ditunjukkan pada Gambar 3.8 berikut ini.



Gambar 3.7 Kekuatan Dampak Dan Deformasi Untuk Tiga Lapisan Peredam

(Sumber: Hiroshi dkk, 2007)

1. *Rubber tires*

   Rubber tires mengandung ruang udara yang cukup, dan karena itu mereka mudah hancur saat dibebani. Setelah *rubber tires* saling bersentuhan, kekuatan transmisi meningkat pesat pada saat *rubber tires* ditekan. Sebagai hasil dari perilaku ini, sifat menyerap energi dari ban karet umumnya tidak memadai untuk pembangunan *rock shed*.

2. Pasir

   Kurva kekuatan-deformasi pasir adalah parabola, dengan hanya sejumlah kecil penyerapan energi dalam kisaran deformasi awal. Namun, gaya cepat meningkatkan deformasi. Perilaku ini disebabkan pasir menjadi longgar, sehingga konsolidasi awal diperlukan sebelum mulai menyerap energi. Kepadatan pasir lepas adalah sekitar 20 kN m^{-3} (130 lbf ft^{-3}).

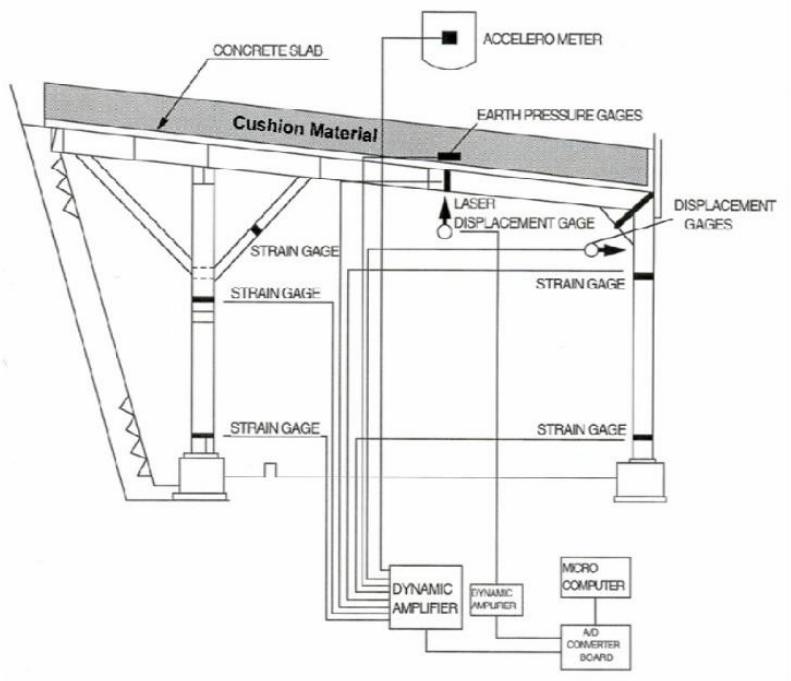
3. Styrofoam

   Sebuah lapisan Styrofoam memberikan penyerapan energi yang efektif karena kekakuannya. Artinya, untuk regangan kecil di kisaran 5%, kekuatan meningkat

pesat, dan kemudian hanya meningkat perlahan seiring meningkatnya deformasi. Sebagian besar penyerapan energi terjadi antara 5% dan 70% deformasi sebagai Styrofoam deformasi plastis. Namun, ketika deformasi mencapai 70%, Styrofoam yang hampir sepenuhnya terkompresi, dan ada peningkatan mendadak dalam gaya. Kepadatan Styrofoam adalah 0,16 kN m^{-3} (1 lbf ft^{-3}).

3.7.4 *Static Equivalent Force*

Untuk mendesain *rock shed*, energi yang diakibatkan oleh jatuhan batuan harus diketahui. Energi yang dihasilkan dapat diketahui dengan melakukan pengujian menggunakan beberapa instrumen seperti pada Gambar 3.9.



Gambar 3.8 Instrumen Yang Digunakan Untuk Mengukur Berat Badan Kekuatan Dampak Dan Ditransmisikan Kekuatan Dampak Uji Batu Jatuh

(Hiroshi dkk, 2007)

Oleh karena itu, untuk tujuan desain *rock shed*, persamaan untuk beban statis yang setara dengan beban dampak dinamis telah dikembangkan di Jepang dan Swiss. Kedua persamaan dibahas dibawah ini.

1. Gaya statik ekuivalen standar Jepang

   Daya statik ekuivalen P (kN) untuk m massa (kg) jatuh dari ketinggian H (m) ditentukan oleh (*Japanese Road Association*, 2000).

$$P = 0{,}02x(mxg)^{0{,}67}x\lambda^{0{,}4}xH^{0{,}6}x\beta \qquad 3.12$$

   Dimana λ adalah parameter Lame untuk bahan lapisan peredam dengan modulus elastisitas (E) dan Poisson rasio (v), ditentukan oleh Persamaan 3.13 berikut ini.

$$\lambda = \frac{E.v}{(1+v)(1-2v)} \qquad 3.13$$

   Perkiraan paramater Lame untuk pasir yang biasa digunakan pada *rock shed* adalah:

   λ = 1.000 kN m^{-2} untuk *soft sand*

   λ = 3.000 to 5.000 kN m^{-2} untuk *firm sand*

   λ = 10.000 kN m^{-2} untuk *stiff sand*

   Dalam Persamaan 3.18, faktor β mendefinisikan hubungan antara ketebalan lapisan bantalan (*T*) dan diameter batu (*D*) yang ditentukan oleh Persamaan 3.14 berikut ini.

$$\beta = \left(\frac{T^{-0,}}{D}\right) \qquad 3.14$$

   Hal ini umum di Jepang untuk menggunakan bantal pasir dengan ketebalan, *T* = *0,9* m (3 ft) yang menyeimbangkan kebutuhan untuk memiliki bantal yang tebal untuk menyerap energi benturan dan membatasi berat bantal yang harus didukung oleh struktur. Evaluasi Persamaan 3.14 menunjukkan bahwa nilai parameter β tidak berkurang secara signifikan karena rasio T / D meningkat dengan meningkatkan ketebalan pasir.

2. Gaya statik ekuivalen standar Swiss

   Berikut ini persamaan gaya statik ekuivalen yang dikembangkan di Swiss (Sebellenberrg dkk, 2009; Jacquemoud dkk, 1999; Labiouse dkk, 1996).

$$p = Cx0{,}028.T^{-0,5}xD^{0,7}xtan\phi\left(\frac{mxV^2}{2}\right)^{0,6} \quad 3.15$$

Dimana *C* adalah koefisien yang ditujukan untuk kegagalan daktail (*C= 0,4*) atau patah getas (*C=1,2*) dan ϕ adalah modulus elastisitas dan sudut geser, masing-masing dari bahan lapisan pasir, dan *V* adalah kecepatan dampak.

Persamaan statik ekuivalen standar Jepang didasarkan pada teori dampak Hertzian sedangkan persamaan statik ekuivalen standar Swiss didasarkan pada percobaan di lapangan. Persamaan statik ekuivalen standar Jepang menghasilkan nilai yang jauh lebih besar dibandingkan persamaan statik ekuivalen standar Swiss untuk tebal lapisan peredam yang sama.

Pada penelitian ini, gaya statik ekuivalen dihitung menggunakan standar Jepang dan Swiss, tetapi untuk desain *rock shed* menggunakan standar Jepang. Tebal lapisan peredam yang digunakan juga mengikuti standar Jepang yaitu 0,9 m.

3.8 Pemodelan Jatuhan Batuan

Dalam menentukan desain rock shed, yang harus diperhatikan adalah dampak dan energi yang terjadi pada saat terjadi jatuhan batu. Dampak dari jatuhan batuan ini dipengaruhi oleh ukuran blok batuan dan kecepatan batuan jatuh.

3.8.1 Simulasi Jatuhan Batu dengan Program *RocFall*

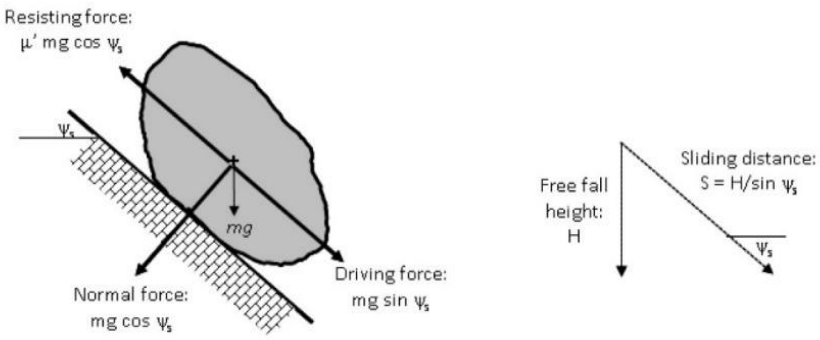
RocFall adalah program analisis statistik yang dirancang untuk membantu menentukan risiko dari jatuhan batu pada sebuah lereng. *RocFall* dapat menentukan energi, kecepatan, tinggi pantulan, lokasi titik jatuh dari jatuhan batu yang terjadi pada sebuah lereng. Selain itu *RocFall* juga dapat menentukan distribusi energi, kecepatan dan tinggi pantulan sepanjang profil lereng. Distribusi dapat digambarkan dan disajikan dalam bentuk data statistik.

3.8.2 Kecepatan Jatuhan batu

Kecepatan Jatuhan Batu (*rock fail velocities*) adalah kecepatan yang dialami batuan pada saat jatuh dari suatu ketinggian ke permukaan tanah/batuan. Kecepatan

batuan dapat meningkat jika energi yang hilang akibat perubahan bentuk pada saat terjadi tumbukan lebih kecil dari energi yang dihasilkan oleh percepatan gravitasi.

Blok batu dengan massa *m*, meluncur dengan kemiringan ψ_s dengan sudut gesek μ. Pergerakan blok ini dapat dipelajari dengan menggunakan metode keseimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*) yang membandingkan besaran relatif dari gaya yang mendorong dan gaya yang menahan (Wyllie dan Mah, 2002) seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.10 berikut ini.



Gambar 3.9 Ilustrasi Gaya Yang Bekerja Pada Batuan

(Sumber: Whyllie, 2015)

Jika gaya yang mendorong lebih besar dari gaya yang menahan maka terjadi ketidakseimbangan gaya yang menyebabkan adanya percepatan pada blok batuan.

$m.a$ = (gaya mendorong - gaya menahan) 3.16

$m.a = (m.g.sin\ \psi_s - \mu.m.g.cos\ \psi_s)$ 3.17

$$a = g\ sin\ \psi_s \left(1 - \frac{\mu'}{tan\psi_s}\right) \quad 3.18$$

Pada Gambar 3.10 kecepatan (*V*) blok batu meluncur kebawah dengan lintasan miring sejauh S_1.

$$V^2 = 2as = \frac{2aH}{sin\psi_s} \quad 3.19$$

Kecepatan blok batu jatuh dinyatakan dalam ketinggian jatuh vertikal H berikut ini.

$$V = \left[2gH\left(1 - \frac{\mu}{\tan\psi_s}\right)\right]^{0,5} \quad 3.20$$

Parameter μ adalah koefisien gesekan efektif yang menggambarkan bahan pembentuk lereng serta kekerasannya. Sebagai hasil dari pengujian lapangan yang luas dari batu jatuh di Jepang, nilai untuk koefisien gesek efektif μ telah ditentukan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.6 berikut ini.

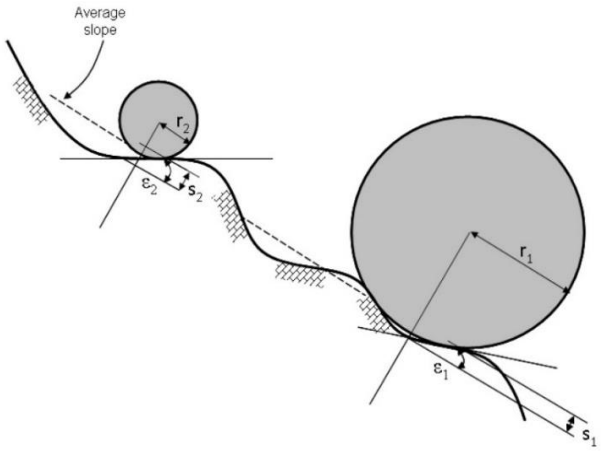
Tabel 3.6 Nilai Koefisien Gesekan Efektif *M* Untuk Karakteristik Bahan Lereng

Kategori Lereng	Karakteristik bahan permukaan lereng	Nilai μ untuk Desain	Rentang μ dari uji lapangan
A	Halus, permukaan batu yang kuat dan kemiringan seragam; tidak ada pohon	0,05	0,0 - 0,1
B	Halus sampai kasar, permukaan batu yang lemah dengan kemiringan sedang sampai dengan kemiringan tinggi ; tidak ada pohon	0,15	0,11 – 0,2
C	Halus sampai kasar, batu lemah, tanah, pasie, atau talus dengan kemiringan rendah sampai menengah; tidak ada pohon	0,25	0,21 – 0,3
D	Talus dengan batu-batuan di permukaan kemiringan sedang sampai tinggi, tidak ada atau beberapa pohon	0,35	-0,31

Sumber: *Japan Road Association*, 2000

3.8.3 Kekasaran permukaan

Kekasaran permukaan dari material lereng memiliki dampak yang cukup besar terhadap jatuhan batu. Semakin tinggi nilai kekasaran permukaan maka lompatan lintasan jatuhan batu semakin tinggi. Kekasaran permukaan ($\mathcal{E}$) dapat diukur dengan menghubungkan *s* (jarak tegak lurus permukaan lereng dengan rata-rata kemiringan lereng) dengan *r* (jari-jari batuan) seperti pada Gambar 3.11 berikut ini.



Gambar 3.10 Hubungan Antara Kekasaran Permukaan Dan Jari-Jari Batuan

(Sumber: Wyllie, 2015)

Kekasaran permukaan didefinisikan oleh Persamaan 3.21 berikut.

$$\varepsilon = tan^{-1}\left(\frac{s}{r}\right) \qquad 3.21$$

Dalam perangkat lunak *RocFall*, kekasaran permukaan didefinisikan sebagai standar deviasi dari kemiringan lereng.

3.9 Klasifikasi Batuan

Batuan terbentuk dari unit-unit kristal kecil yang disebut mineral atau terbentuk dari akumulasi bahan organik yang mengalami sementasi, atau dapat juga merupakan hasil pembekuan magma, proes sedimentasi atau metamorfosa. Butiran-butiran batuan dalam kondisi alami diikat oeh kohesi yang kuat (Terzaghi, 1950)

Menurut Bowles (1997) kekuatan batuan akan berkurang akibat pelapukan, dimana sebagian besar pelapukan terjadi di dekat permukaan tanah, kekuatan batuan ini sangat mempengaruhi gaya penahan longsor.

Kekuatan batuan utuh dapat diperoleh dari hasil pengujian dengan menggunakan berbagai alat mesin tekan (*compression machine*). Pengujian kuat

tekan batuan di laboratorium umumnya menggunakan mesin tekan aksial. Deere & Deere (1968) mengklasifikasikan secara teknis batuan utuh seperti pada Tabel 3.7 berikut ini.

Tabel 3.7 Klasifikasi Massa Batuan Utuh

No	Klasifikasi Kekuatan	UCS (Mpa)	Batuan
1	Sangat Lemah	1 – 25	Talk, Batu Garam
2	Lemah	25 – 50	Batu Gamping, Batu Lanau, Sekis
3	Sedang	50 – 100	Batu Pasir, Batu Sabak, Serpih
4	Kuat	100 – 200	Marmer, Granit, Genes
5	Sangat Kuat	>200	Kuarsit, Dolerit, Gabro, Basalt

(Sumber: Deere & Deere, 1968)

Adapun nilai dari *physical properties* dan *mechanical properties* berdasarkan jenis batuan dapat dilihat pada Tabel 3.9 dan Tabel 3.10 berikut ini.

Tabel 3.8 *Physical Properties* Berdasarkan Jenis Batuan

Rock	Dry Density (g/cm^3)	Pororsity (%)	Schmidt Hardness Index	Cerchar Abrasivity Index	P-Wave Velocity (m/s)	S-Wave Velocity (m/s)	Coefficient of Permeability (m/s)
Igneous							
Granite	2.53 - 2.62	1.02 - 2.87	54 - 69	4.5 - 5.3	4500 - 6500	3500 - 3800	10^{-14} - 10^{-12}
Diorite	2.80 - 3.00	0.10 - 0.50		4.2 - 5.0	4500 - 6700		10^{-14} - 10^{-12}
Gabbro	2.27 - 3.00	1.00 - 3.57		3.7 - 4.6	4500 - 7000		10^{-14} - 10^{-12}
Rhyolite	2.40 - 2.60	0.40 - 4.00					10^{-14} - 10^{-12}
Andesite	2.50 - 2.80	0.20 - 8.00	67	2.7 - 3.8	4500 - 6500		10^{-14} - 10^{-12}
Basalt	2.21 - 2.77	0.22 - 22.1	61	2.0 - 3.5	5000 - 7000	3660 - 3700	10^{-14} - 10^{-12}
Sedimentary							
Conglomerate	2.47 - 2.76			1.5 - 3.8			10^{-10} - 10^{-8}
Sandstone	1.91 - 2.58	1.62 - 26.4	10 - 37	1.5 - 4.2	1500 - 4600		10^{-10} - 10^{-8}
Shale	2.00 - 2.40	20.0 - 50.0		0.6 - 1.8	2000 - 4600		
Mudstone	1.82 - 2.72		27				10^{-11} - 10^{-9}
Dolomite	2.20 - 2.70	0.20 - 4.00			5500		10^{-12} - 10^{-11}
Limestone	2.67 - 2.72	0.27 - 4.10	35 - 51	1.0 - 2.5	3500 - 6500		10^{-13} - 10^{-10}
Metamorphic							
Gneiss	2.61 - 3.12	0.32 - 1.16	49	3.5 - 5.3	5000 - 7500		10^{-14} - 10^{-12}
Schist	2.60 - 2.85	10.0 - 30.0	31	2.2 - 4.5	6100 - 6700	3460 - 4000	10^{-11} - 10^{-8}
Phyllite	2.18 - 3.30						
Slate	2.71 - 2.78	1.84 - 3.64		2.3 - 4.2	3500 - 4500		10^{-14} - 10^{-12}
Marble	2.51 - 2.86	0.65 - 0.81			5000 - 6000		10^{-14} - 10^{-11}
Quartzite	2.61 - 2.67	0.40 - 0.65		4.3 - 5.9			10^{-14} - 10^{-13}

(Sumber: Zhao, 2008)

Tabel 3.9 *Mechanical Properties* Berdasarkan Jenis Batuan

Rock	UC Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elastic Modulus (GPa)	Poisson's Ratio	Strain Failure (%)	Point Load Index $I_s(50)$ (MPa)	Fracture Mode I Toughness
Igneous							
Granite	100 - 300	7 - 25	30 - 70	0.17	0.25	5 - 15	0.11 - 0.41
Diorite	100 - 350	7 - 30	30 - 100	0.10 - 0.20	0.30		> 0.41
Gabbro	150 - 250	7 - 30	40 - 100	0.20 - 0.35	0.30	6 - 15	> 0.41
Rhyolite	80 - 160	5 - 10	10 - 50	0.2 - 0.4			
Andesite	100 - 300	5 - 15	10 - 70	0.2		10 - 15	
Basalt	100 - 350	10 - 30	40 - 80	0.1 - 0.2	0.35	9 - 15	> 0.41
Sedimentary							
Conglomerate	30 - 230	3 - 10	10 - 90	0.10 - 0.15	0.16		
Sandstone	20 - 170	4 - 25	15 - 50	0.14	0.20	1 - 8	0.027 - 0.041
Shale	5 - 100	2 - 10	5 - 30	0.10			0.027 - 0.041
Mudstone	10 - 100	5 - 30	5 - 70	0.15	0.15	0.1 - 6	
Dolomite	20 - 120	6 - 15	30 - 70	0.15	0.17		
Limestone	30 - 250	6 - 25	20 - 70	0.30		3 - 7	0.027 - 0.041
Metamorphic							
Gneiss	100 - 250	7 - 20	30 - 80	0.24	0.12	5 - 15	0.11 - 0.41
Schist	70 - 150	4 - 10	5 - 60	0.15 - 0.25		5 - 10	0.005 - 0.027
Phyllite	5 - 150	6 - 20	10 - 85	0.26			
Slate	50 - 180	7 - 20	20 - 90	0.20 - 0.30	0.35	1 - 9	0.027 - 0.041
Marble	50 - 200	7 - 20	30 - 70	0.15 - 0.30	0.40	4 - 12	0.11 - 0.41
Quartzite	150 - 300	5 - 20	50 - 90	0.17	0.20	5 - 15	> 0.41

(Sumber: Zhao, 2008)

BAB IV
METODE PENELITIAN

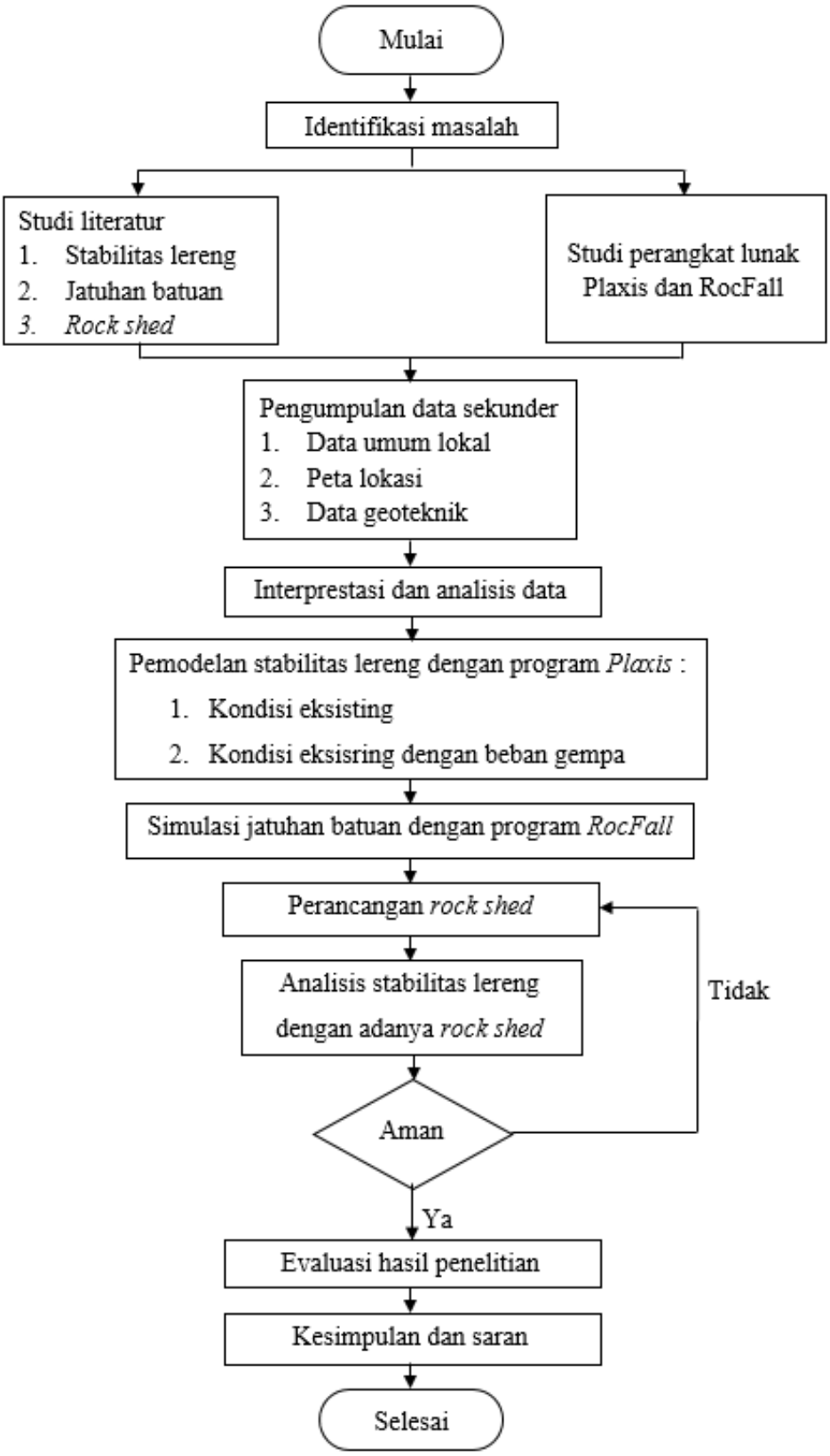
4.1 Umum

Lokasi yang diteliti pada penelitian ini adalah lereng di sebelah jalan akses di Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Dalam penelitian ini dilakukan pengamatan lereng untuk selanjutnya didesain bangunan proteksi terhadap jatuhan batuan berupa *rock shed*. Pemodelan jatuhan batuan menggunakan program lunak *RocFall*. Desain *rock shed* yang digunakan menggunakan standar desain Jepang.

Penelitian ini dilakukan untuk mendesain bangunan proteksi berupa *rock shed* yang dapat digunakan untuk memberi penanganan terhadap keamanan lereng yang berpotensi terjadinya jatuhan batuan di jalan akses di Kabupaten Gunung Kidul.

4.2 Tahapan Penelitian

Kegiatan penelitian ini dimulai dengan identifikasi masalah yang terjadi pada ruas jalan Gunung Kidul dengan mengamati kondisi lereng, pengumpulan data primer dan sekunder, analisis jatuhan batuan yang terjadi, serta rekomendasi alternatif penanganan lokasi. Seluruh rangkaian kegiatan pada penelitian ini diuraikan dalam suatu skema analisis, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4.1 Diagram Alur Penelitian

4.2.1 Studi Literatur

Tahapan awal dari penelitian ini adalah melakukan studi literatur terkait permasalahan longsor dan jatuhan batuan di Indonesia dan faktor-faktor yang terkait dengan hal tersebut. Studi ini dilakukan melalui berbagai sumber, diantaranya dengan buku-buku teks geoteknik, tugas akhir, jurnal dan sumber-sumber lain.

4.2.2 Pengumpulan Data

Informasi yang didapat saat melakukan investigasi diolah untuk menjadi data penelitian. Titik lokasi penelitian yang diperoleh dari hasil investigasi ditempatkan pada peta elevasi digital dan melalui program *Google Earth* sehingga diperoleh penampang melintang lereng yang akan diteliti. Data sekunder lain yang digunakan diperoleh dari beberapa literatir buku geoteknik dan jurnal.

4.2.3 Simulasi Pemodelan Stabilitas Lereng

Penelitian ini melakukan simulasi dengan berbagai kondisi yang mungkin terjadi pada lereng yang menjadi objek penelitian serta penanggulangan yang dapat dilakukan apabila hasi analisis menyatakan bahwa lereng tidak aman. Data dari lereng alami yang telah dikumpulkan dianalisis dengan menggunakan program *Plaxis 8.2*. Berikut merupakan simulasi yang dilakukan dengan beberapa kondisi berbeda :

1. Kondisi eksisting

   Pada kondisi ini yang dimodelkan adalah kondisi lereng alami dengan menambahkan perlemahan (*interface*) dibeberapa bagian.
2. Kondisi dengan beban gempa

   Pada kondisi ini lereng kondisi eksisting dimodelkan dengan adanya beban tambahan berupa beban gempa.
3. Kondisi setelah adanya *rock shed*

   Pada simulasi ini lereng telah dikembangkan dengan adanya bangunan proteksi berupa *rock shed*.

4.2.4 Pemodelan Jatuhan Batuan

Pemodelan ini dilakukan untuk menentukan jarak dari jatuhan batuan yang terjadi. Kondisi stimulasi merupakan kondisi lereng eksisting dengan jatuhan 1 batu dan jatuhan 10 batuan. Dari simulasi ini akan didapatkan sebaran dari jatuhan batuan, jarak jatuhan batuan dan energi kinetik yang dihasilkan akibat dari jatuhan batu. Pemodelan jatuhan batu pada lokasi dibantu dengan menggunakan program *RocFall.*

4.2.5 Perancangan Bangunan Pelindung

Setelah diketahui kondisi jatuhan batuan di lokasi lereng, dilakukan desain bangunan pelindung berupa *rock shed. Rock Shed* didesain untuk menahan beban impact jatuhan batu yang telah diubah menjadi beban statis menurut persamaan Jepang dan Swiss. Ukuran *rock shed* yang di desain pada penelitian ini mengikuti standar Jepang, *Rock Shed* kemudian disimulasikan di dalam perangkat lunak SAP2000 untuk mengetahui gaya-gaya yang bekerja pada *rock shed*. Dan gaya-gaya yang diperoleh dilakukan desain struktur dari *rock shed*.

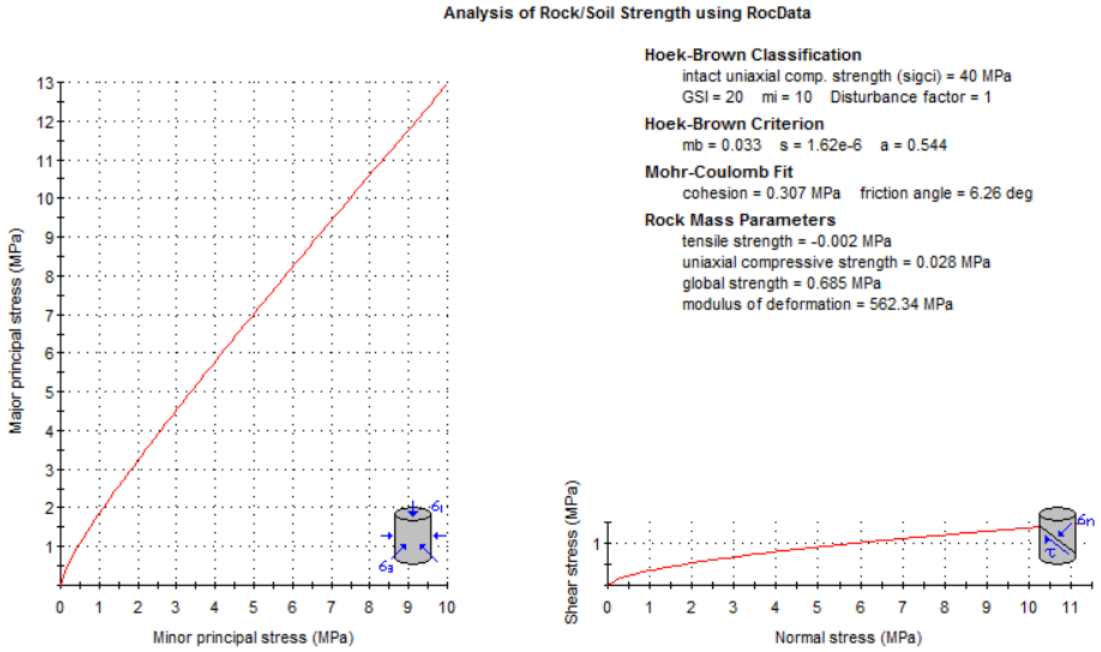
BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Parameter Kekuatan Batuan

Kekuatan batuan sangat penting dalam penelitian ini. Parameter kekuatan batuan yang relevan untuk lereng ini adalah kekuatan batuan utuh (intack rock) karena potensi kegagalan pada lereng tersebut terdapat pada permukaan lereng yang dapat berakibatkan jatuhan batu. Penelitian ini menggunakan metode empiris dalam menentukan kekuatan massa batuan yaitu sudut geser dan kohesi bantuan menggunakan kriteria Hoek dan Brown. Parameter yang diperkirakan dalam menggunakan kriteria Hoek dan Brown adalah UCS, GSI, mi, dan D.

Berdasarkan pengamatan pada daerah penelitian, lereng tersebut terdiri dari batuan kapur yang memiliki kekuatan UCS antara 30 – 250 Mpa (Tabel 2.6). Pada penelitian digunakan nilai UCS sebesar 40 Mpa melihat kondisi batuan pada lokasi buruk. Berdasarkan hasil pengamatan pada daerah penelitian, kondisi lereng tergolong blocky/disturbed/seamy dan memiliki permukaan yang buruk sehingga nilai GSI yang digunakan adalah 25 (Tabel 3.2). Adapun nilai mi dari batuan kapur adalah 10 (Tabel 3.1). Adapun nilai ketergangguan lereng (D) yang digunakan adalah 1.

Penelitian ini juga dibantu dengan program RocData versi 3 dari Rocscience yang dikembangkan oleh Hoek, dengan program RocData didapatkan bahwa batuan pada lereng tersebut memiliki sudut geser (ϕ) sebesar 6,26 dan kohesi (c) sebesar 0,307 MPa yang dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut ini.



Gambar 5.1 Hasil Output Perangkat Lunak RocData

5.2 Hasil Uji Laboratorium

Pengujian laboratorium dilakukan untuk mengetahui input properti dari tanah pada lokasi penelitian. Input properti tanah digunakan sebagai data masukan pada analisis kestabilan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian index properties dan mechanical properties. Adapun rangkuman hasil uji laboratorium ditampilkan pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Rangkuman Hasil Uji Laboratorium

No.	Pengujian	Sampel
1.	Berat jenis, *Gs*	2,54
2.	Kadar air, *w* (%)	16,13
3.	Berat volume basah, γ_b (gr/cm^3)	2,00
4.	Berat volume kering, γ_d (gr/cm^3)	1,83

Lanjutan Tabel 5.1 Rangkuman Hasil Uji Laboratorium

5.	Batas *atterberg*	
	Batas cair (%)	31,67
	Batas Plastis (%)	20,56
	Index plastisitas (%)	11,11
6.	Analisis ukuran butir	
	Gravel (%)	6,51
	Pasir (%)	83,24
	Lanau/lempung (%)	10,25
7.	Uji triaxial	
	Sudut geser, ϕ(°)	32,84
	Kohesi, *c* (kg/cm^2)	0,4

5.3 Data Beban Gempa

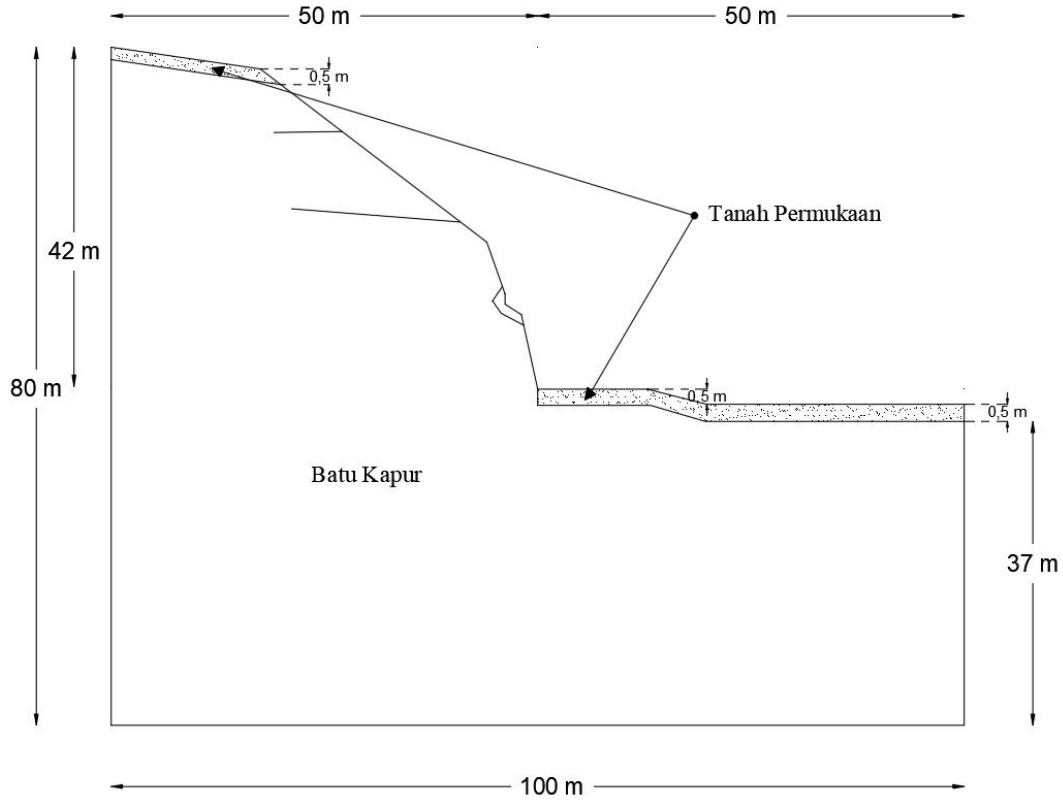
Penelitian ini menggunakan beban gempa yang mengacu pada peta zona gempa (SNI 1726-2012) yang dikeluarkan oleh Badan Standarisasi Nasional Republik Indosesia. Pada peta zona gempa wilayah Gunung Kidul memasuki zona gempa dengan percepatan puncak gempa sebesar 0,5-0,6 g.

Dalam analisis stabilitas lereng, digunakan metode *pseudostatik*. Beban gempa yang telah didapatkan dari peta zona gempa, yaitu 0,6 dikalikan ½ sampai 1/3 dari PHA. Dalam pemodelan digunakan beban ½ dari 0,6 g yaitu sebesar 0,3 g.

5.4 Analisis Stabilitas Lereng Kondisi Eksisting

5.4.1 Pemodelan Geometri Lereng

Pemodelan kondisi eksisting pada program Plaxis 8.2 yang dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut ini menyesuaikan bentuk geometri lereng dengan data topografi yang didapatkan dari hasil penyelidikan lokasi sedangkan data lapisan tanah disesuaikan dengan data pengamatan di lapangan.



Gambar 5.2 Pemodelan Geometri Lereng pada Program Plaxis 8.2

5.4.2 Input Parameter Permodelan Stabilitas Lereng

Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb dipengaruhi beberapa parameter bahan, antara lain sudut gesek internal (ϕ), kohesi (c), modulus Young (E), dan poisson's ratio (v). Input parameter tanah didapatkan dari uji laboratorium sedangkan untuk batuan didapatkan dari kriteria Hoek-Brown. Nilai modulus Young dan poisson's ratio didapatkan dari studi literatur.

1. Input parameter batu kapur

   Berdasarkan penyelidikan lokasi, batuan pada lokasi merupakan batuan kapur. Parameter batuan kapur ini didapatkan dari kriteria Hoek-Brown. Berdasarkan kriteria Hoek-Brown, batuan kapur memiliki sudut gesek internal (ϕ) sebesar 6,26 dan kohesi (c) sebesar 307 kN/m2. Adapun nilai modulus Young sebesar 562340 kPa dan poisson's ratio sebesar 0,3.

2. Input parameter tanah permukaan

   Tanah permukaan pada lereng tersebut merupakan tanah hasil pelapukan dari batuan kapur. Berdasarkan uji laboratorium, Tanah permukaan terdiri dari 6,34% kerikil, 83,14% pasir, dan 10,5% lempung, sehingga dapat dikatakan bahwa tanah permukaan berjenis pasir kelempungan. Berdasarkan pengujian batas atteberg limit didapat plasticity index (PI) sebesar 11,11%. Tanah permukaan memiliki sudut gesek internal (ϕ) sebesar 32,84 dan kohesi (c) sebesar 39,226 kN/m2. Adapun nilai modulus young sebesar 20000 kPa dan poisson's ratio sebesar 0,25. Adapun rangkuman dari input parameter dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut ini.

Tabel 5.2 Input Parameter Pemodelan Stabilitas Lereng

No.	Material	Sudut Gesek Internal, ϕ	Kohesi, c (kN/m^2)	Modulus Young, E (kPa)	Poisson's Ratio, v
1.	Batu Kapur	6,26	307	562340	0,3
2.	Tanah Permukaan	32,84	39,226	20000	0,25

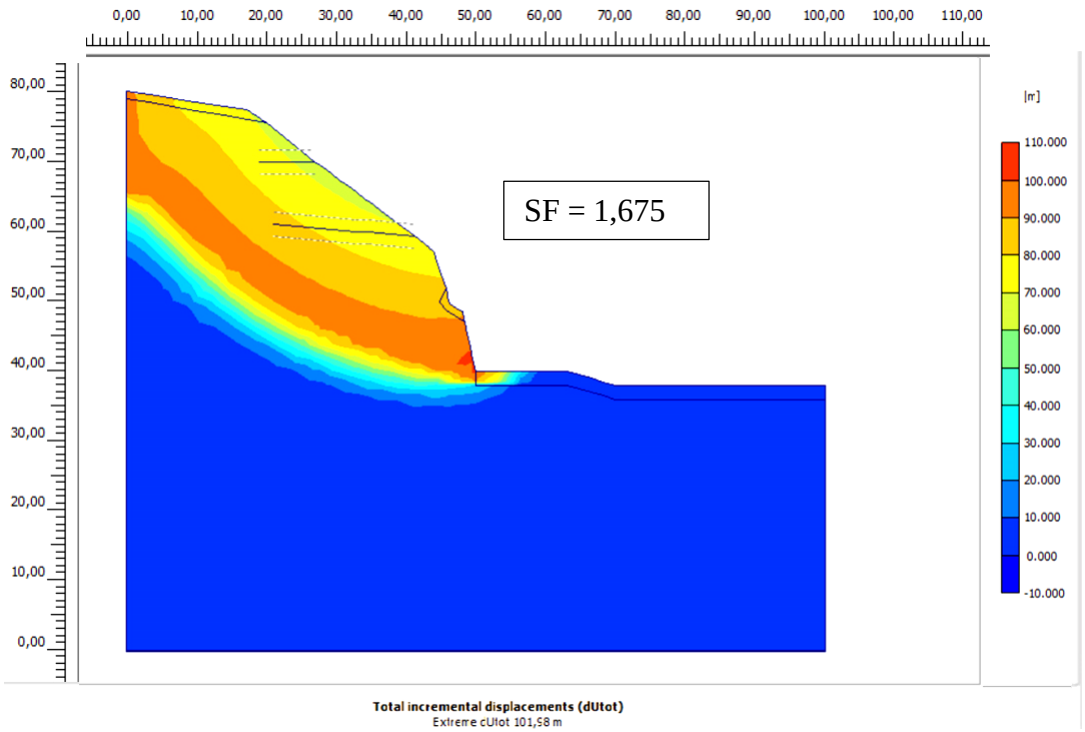
5.4.3 Analisis Stabilitas Lereng Awal

Parameter yang digunakan yaitu geometri, profil lapisan lereng dan beberapa parameter lain menjadi data input dalam pemodelan menggunakan software Plaxis 8.2. Analisis yang dilakukan merupakan analisis terhadap kondisi eksisting, adanya beban dinamis dan akibat penambahan beban statis (*rock shed*).

1. Analisis lereng kondisi eksisting

   Analisis yang dilakukan dalam simulasi kondisi lereng eksisting adalah menghitung faktor aman (FS) akibat beban statis (berat sendiri tanah) yang telah diberi retakan. Daerah potensi kelongsoran terbesar terjadi pada lapisan atas ditandai dengan warna merah. Semakin ke bawah lapisan, warna merah semakin memudar hingga berubah menjadi warna biru tua yang berarti semakin kebawah

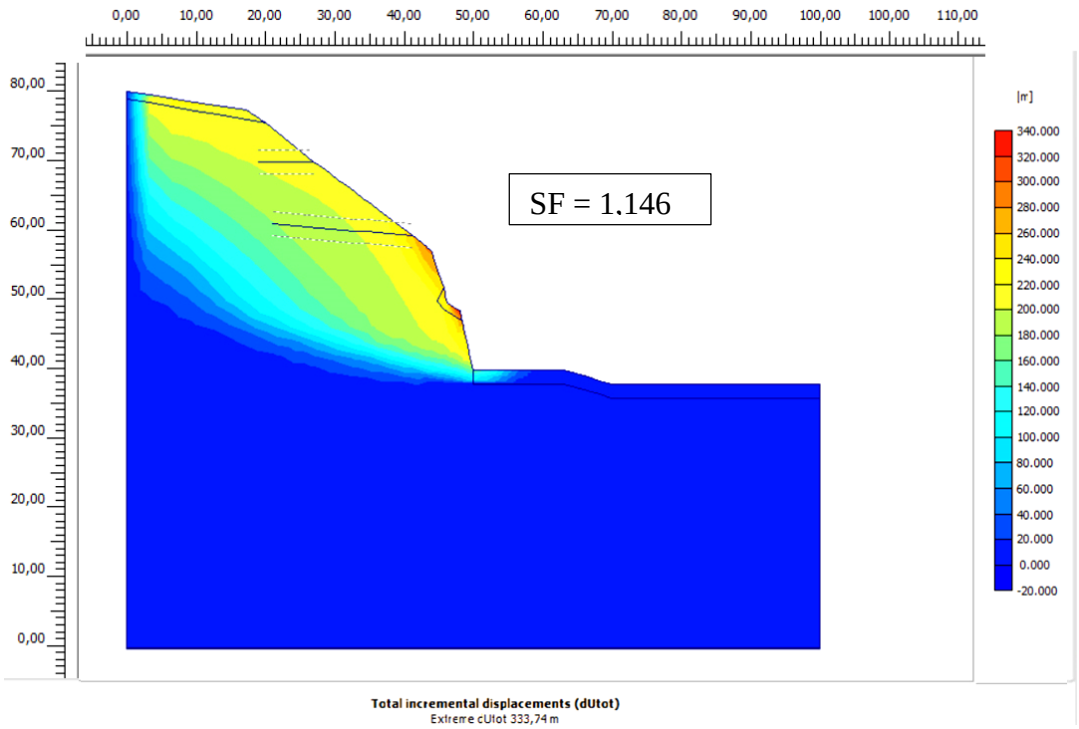
daerah potensi kelongsoran akan semakin kecil. Hasil analisis stabilitas lereng dapat dilihat pada Gambar 5.3. Dari hasil pemodelan didapatkan nilai SF sebesar 1,675.



Gambar 5.3 Daerah Potensi Kelongsoran Pada Lereng Kondisi Eksisting yang Telah Diberi Retakan (*Interface*)

2. Analisis lereng dengan beban dinamis

   Analisis yang dilakukan dalam simulasi kondisi lereng dengan beban dinamis adalah menghitung faktor aman (FS) akibat beban statis (berat sendiri lereng) serta tambahan beban dinamis berupa gempa bumi sebesar 0,3 g. Hasil analisis stabilitas lereng dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut ini. Dari hasil pemodelan didapatkan nilai SF sebesar 1,146.



Gambar 5.4 Daerah Potensi Kelongsoran Pada Lereng Dengan Beban Dinamis

5.5 Pemodelan Jatuhan Batuan Kondisi Eksisting

5.5.1 Asumsi Pemodelan

Sebelum mendesain bangunan perlindungan untuk jatuhan batu, informasi tentang berat batuan jatuh dan kecepatan jatuhan batu diperlukan untuk mendesain energi benturan dan lintasan jatuh untuk menentukan desain dan lokasi dari bangunan pelindung. Parameter tersebut didapatkan dari pemodelan jatuhan batuan menggunakan simulasi program RocFall 4.0. RocFall sendiri menggunakan metode modeling *Lumped Mass*. Adapun dalam pemodelan jatuhan batuan ada beberapa asumsi yang dilakukan.

1. Analisis jatuhan batuan menggunakan geometri lereng yang disederhanakan
2. Batu diasumsikan sebagai batu bulat dengan diameter 0,7 m
3. Kecepatan awal dari jatuhan batu arah vertikal maupun horizontal diasumsikan nol.
4. Jumlah batuan jatuhan pada pemodelan adalah 1 batu dan 10 batu pada

ketinggian 20 m dan 40 m.

5. Analisis pemodelan ini dilakukan untuk menentukan lintasan jatuhan batuan dan besaran gaya yang terjadi.

5.5.2 Input Parameter

Pemodelan jatuhan batuan dipengaruhi oleh beberapa parameter, yaitu *coefficient of normal restitution* (Rn), *coefficient of tangential restitution* (Rt), *slope roughness* (^{0}). Adapun rangkuman input yang digunakan pada RocFall dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut ini.

Tabel 5.3 Input Parameter Pemodelan Jatuhan Batu

No.	Material Lereng	*Coefficient of Normal Restitution Rn/SD*	*Coefficient of Tangential Restitution Rt/SD*	*Slope Roughness (^{0}) SD*
1.	Batu Kapur	0,303/0,08	0,615/0,017	3
2.	Jalan Aspal	0,4/0,04	0,9/0,04	0
3.	Tanah Permukaan	0,3/0,04	0,6/0,04	0

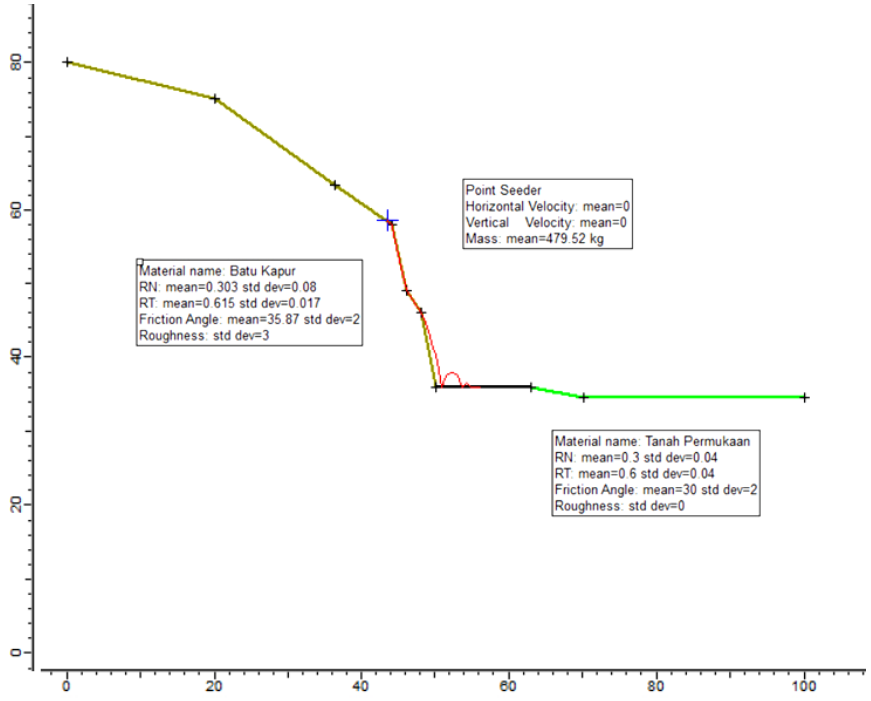
Sumber : Program RocFall

5.5.3 Hasil Pemodelan Jatuhan Batu

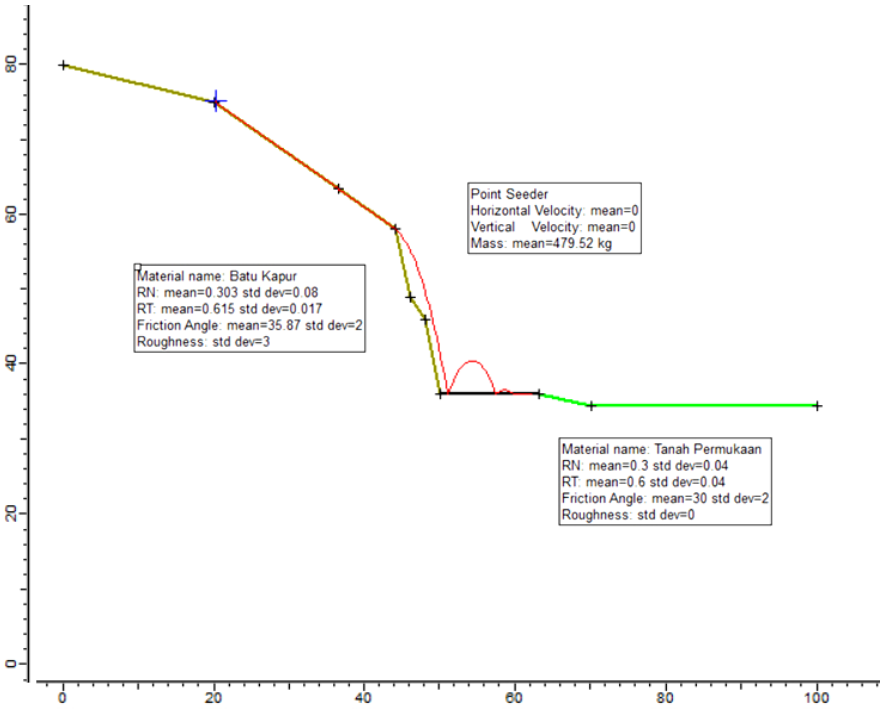
Pemodelan dilakukan sebanyak 2 model, yaitu jatuhan 1 batu dan jatuhan 10 batu. Setiap pemodelan dilakukan simulasi jatuhan batuan pada ketinggian 20 m dan pada ketinggian 40 m. Pada pemodelan 1 batu akan didapatkan lintasan batuan dan besaran energi benturan. Pada pemodelan 10 batuan akan didapatkan lintasan dan sebaran dari jatuhan batuan.

1. Pemodelan jatuhan 1 batu

   Pemodelan dilakukan dengan menjatuhkan batuan dengan diameter 0,7 mm, berat 479,52 kg dari ketinggian 20 m dan 40 m dengan menjatuhkan 1 batu. Adapun hasil dari pemodelan jatuhan batu untuk ketinggian 20 m dan 40 m dapat dilihat pada Gambar 5.5 dan Gambar 5.6 berikut ini.

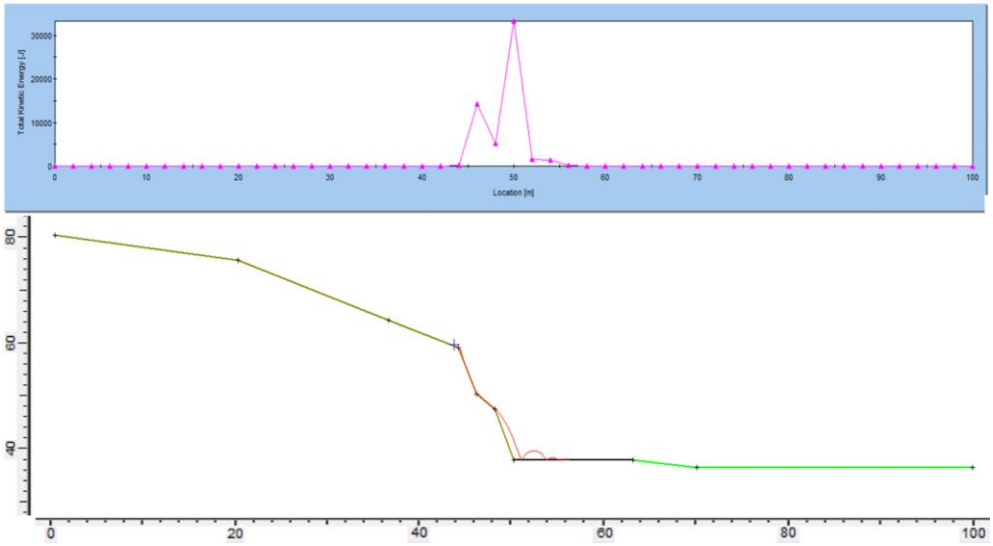


Gambar 5.5 Simulasi Jatuhan 1 Batu Ketinggian 20 m

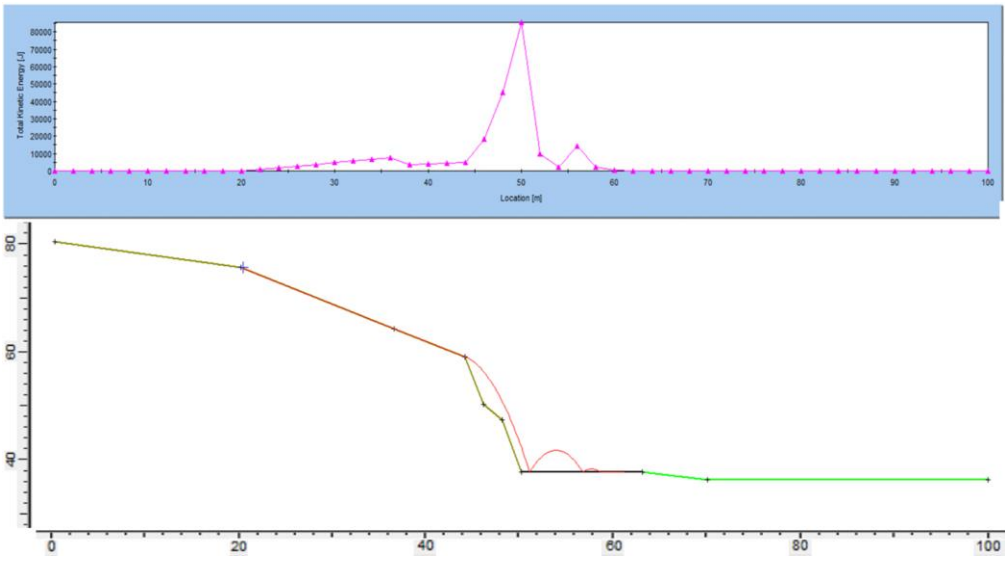


Gambar 5.6 Simulasi Jatuhan 1 Batu Ketinggian 40 m

Pada gambar di atas dapat dilihat bawah batu mengalami pergerakan yang diawali dengan penggulingan terlebih dahulu kemudian mengalami lompatan. Akibat dari pergerakan tersebut, terjadi energi kinetik. Energi kinetik yang ditimbulkan dapat merusak fasilitas jalan yang berada di lereng tersebut. Adapun besaran energi kinetik yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.7 dan Gambar 5.8 berikut ini.

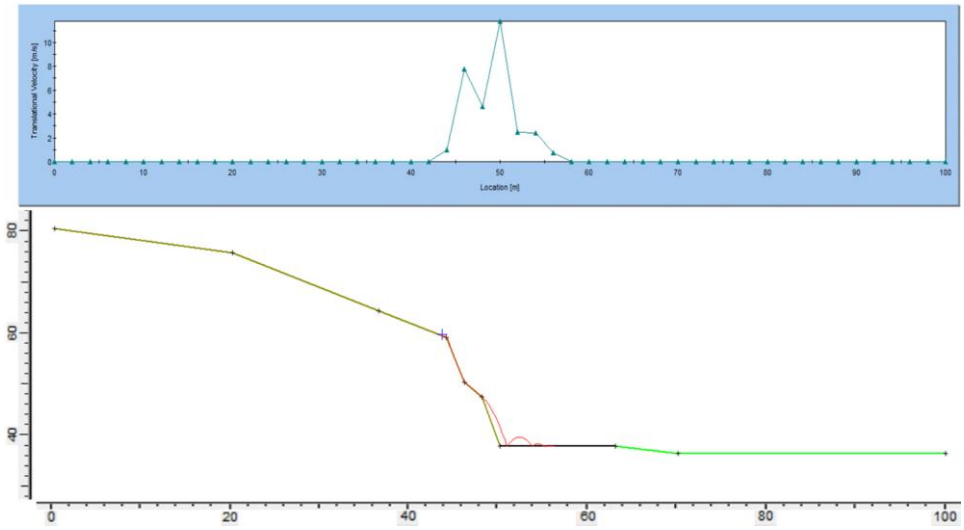


Gambar 5.7 Energi Kinetik dari Jatuhan 1 Batu dari Ketinggian 20 m

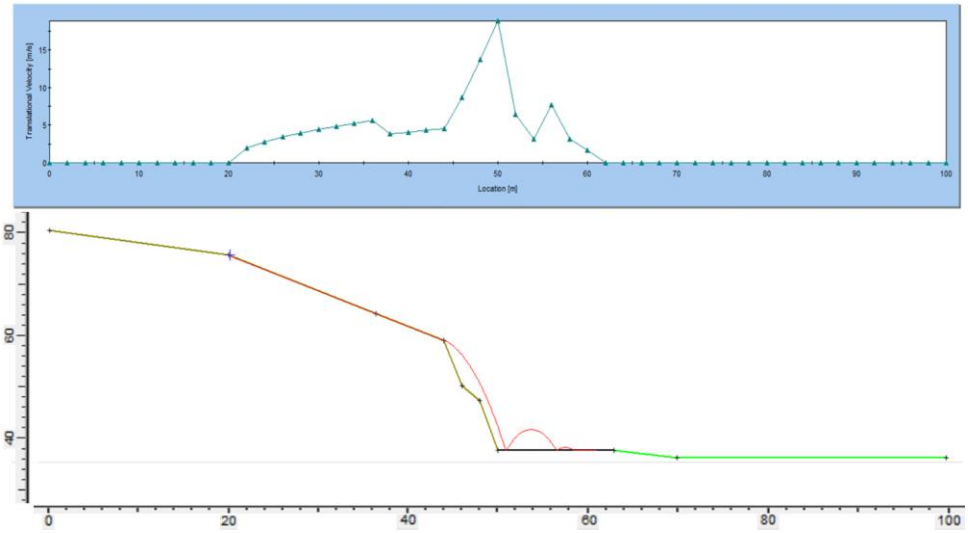


Gambar 5.8 Energi Kinetik dari Jatuhan 1 Batu dari Ketinggian 40 m

Adapun kecepatan pada simulasi jatuhan 1 batu dapat dilihat pada Gambar 5.9 dan Gambar 5.10 berikut ini.



Gambar 5.9 Kecepatan Jatuhan 1 Batu dari Ketinggian 20 m



Gambar 5.10 Kecepatan Jatuhan 1 Batu dari Ketinggian 40 m

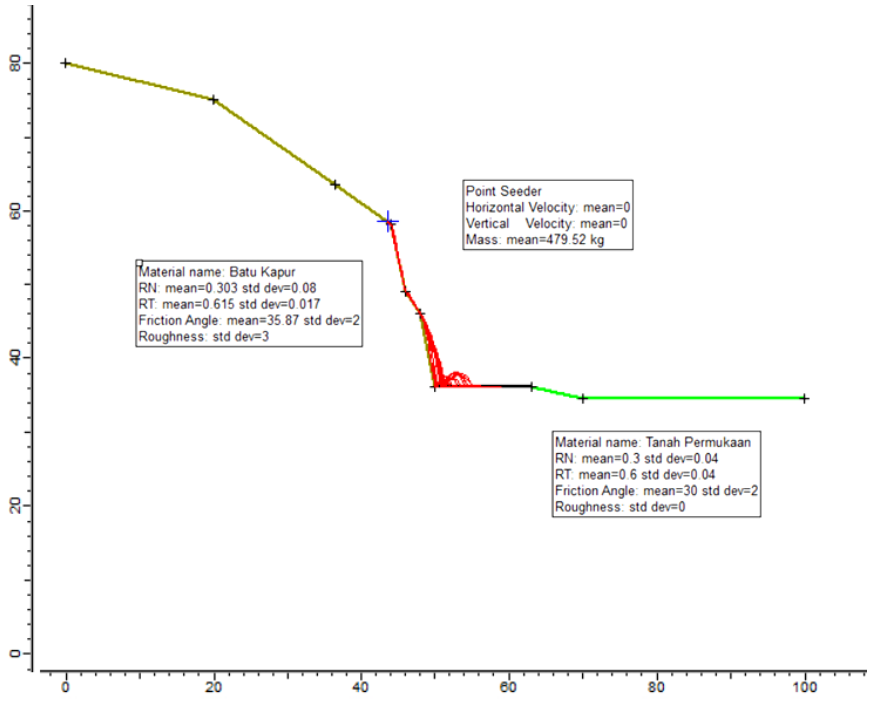
Rangkuman hasil dari simulasi jatuhan 1 batu dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut ini.

Tabel 5.4 Hasil Simulasi Jatuhan 1 Batu

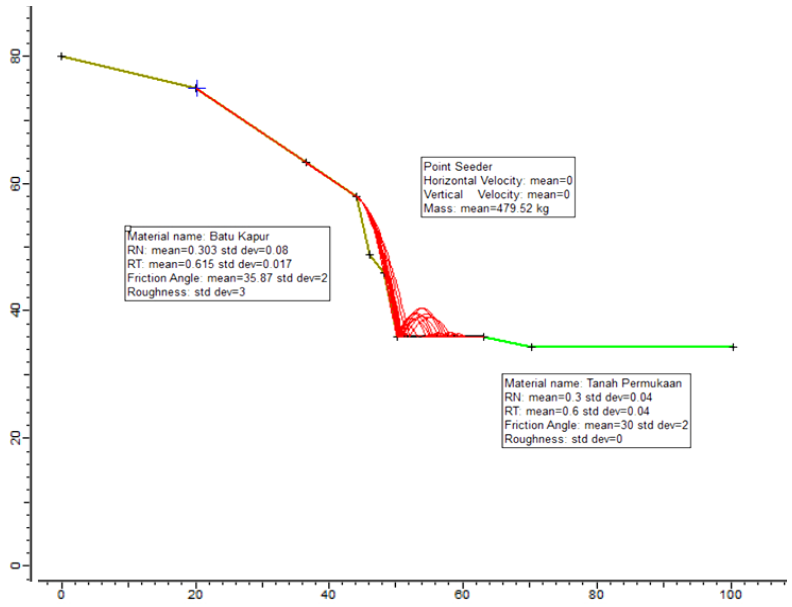
Tinggi Jatuhan (m)	Energi Kinetik Maksimum (KJ)	Kecepatan Maksimum (m/s)
20	33,23	11,57
40	85,45	18,88

2. Pemodelan jatuhan 10 batuan

Pemodelan dilakukan dengan menjatuhkan batuan dengan diameter 0.7 mm, berat 479,52 kg dari ketinggian 20 m dan 40 m dengan menjatuhkan sebanyak 10 batu. Pemodelan ini bertujuan untuk melihat persebaran dari jatuhan batuan yang terjadi. Adapun hasil dari pemodelan jatuhan batu untuk ketinggian 20 m dan 40 m dapat dilihat pada Gambar 5.11 dan Gambar 5.12 beriku ini.



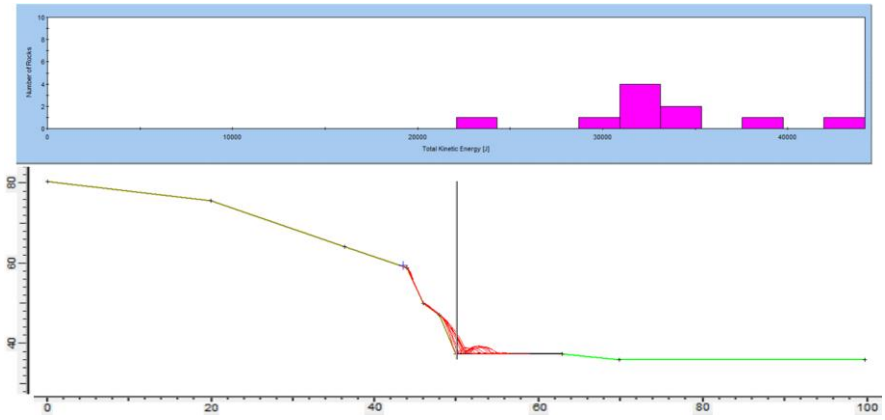
Gambar 5.11 Simulasi Jatuhan 10 Batu Ketinggian 20 m



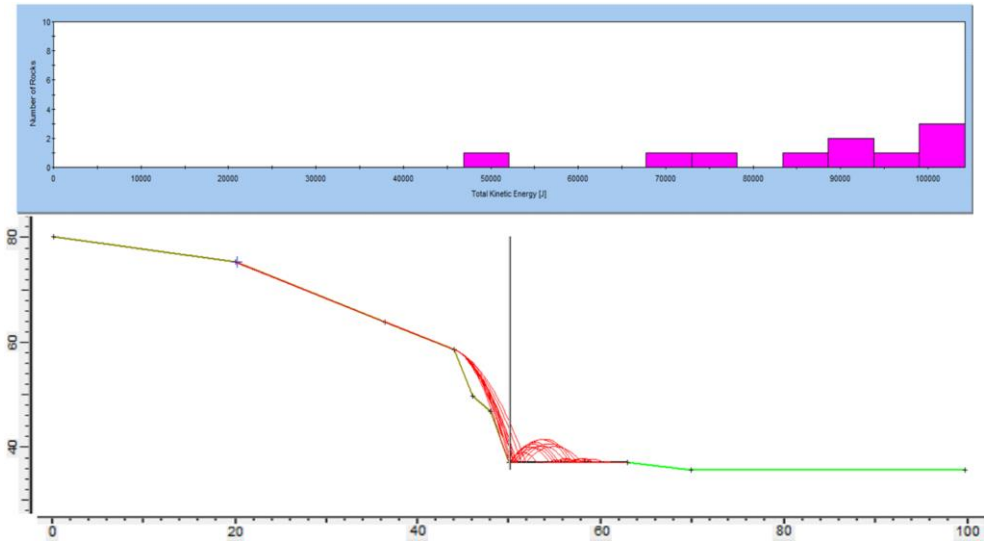
Gambar 5.12 Simulasi Jatuhan 10 Batu Ketinggian 40 m

Gambar di atas menunjukkan sebaran dari jatuhan batu pada ketinggian 20 m dan 40 m. Pada ketinggian 20 m jatuhan batu relatif seragam, sedangkan jatuhan batu 40 m memperlihatkan sebaran batuan yang lebih luas.

Adapun distribusi dari energi kinetik yang dipilih pada lokasi yang memiliki energi kinetik terbesar, yaitu pada x = 50 m akibat dari jatuhan batuan dapat dilihat pada Gambar 5.13 dan Gambar 5.14 berikut ini.

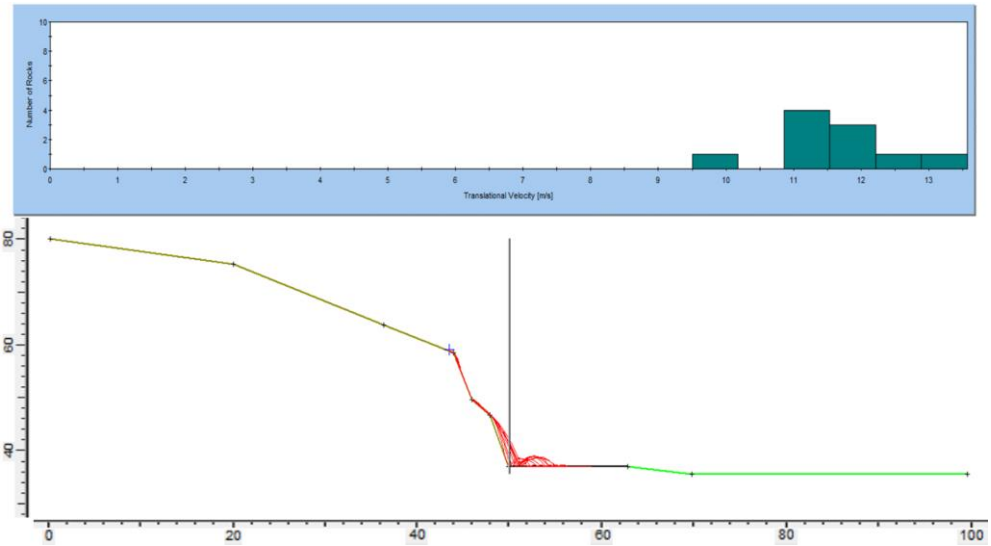


Gambar 5.13 Energi Kinetik dari Jatuhan 10 Batu dari Ketinggian 20 m pada x = 50 m

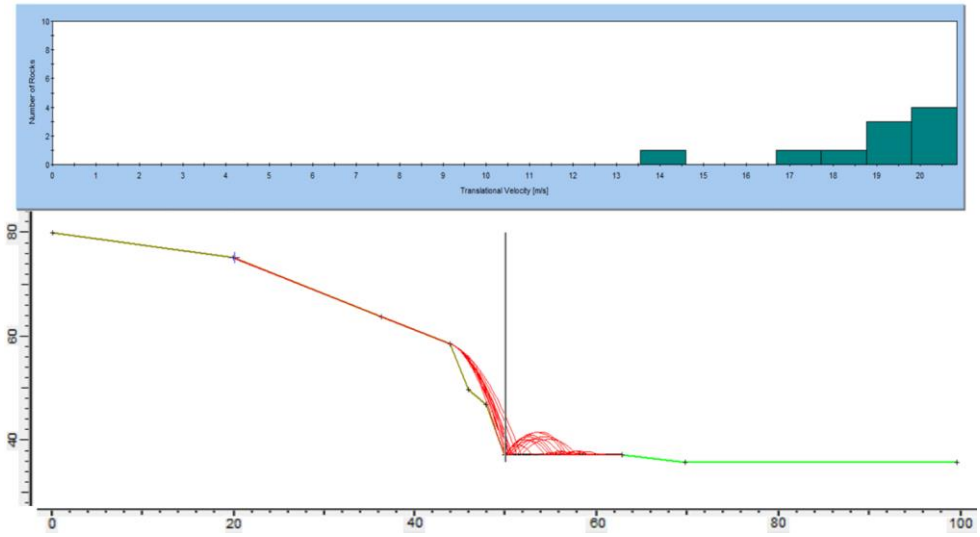


Gambar 5.14 Energi Kinetik dari Jatuhan 10 Batu dari Ketinggian 40 m pada x = 50 m

Adapun kecepatan maksimum pada simulasi jatuhan 10 batu dipilih pada lokasi yang memiliki kecepatan terbesar, yaitu pada $x = 50$ m dapat dilihat pada Gambar 5.15 dan Gambar 5.16 berikut ini.



Gambar 5.15 Kecepatan Jatuhan 10 Batu dari Ketinggian 20 m pada x = 50 m



Gambar 5.16 Kecepatan Jatuhan 10 Batu dari Ketinggian 40 m pada x = 50 m

Rangkuman hasil dari simulasi jatuhan 10 batu dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.5 Hasil Simulasi Jatuhan 10 Batu pada Lokasi x = 50 m

Tinggi Jatuhan (m)	Energi Kinetik Maksimum (KJ)	Kecepatan Maksimum (m/s)
20	43,07	13,23
40	101,62	20,33

5.6 Desain *Rock Shed*

5.6.1 Analisis Beban Statis Jatuhan Batu

Analisis beban jatuhan batu yang ditinjau merupakan beban yang dihasilkan oleh jatuhan batu yang telah diubah menjadi beban statis. Analisis dilakukan untuk mengetahui beban yang bekerja pada *rock shed*.

Untuk input parameter analisis beban statis, digunakan batu dengan ukuran 0.7 m. Jika diasumsikan bahwa batu berbentuk bulat dengan berat jenis 2670 kg/m^3

maka batu tersebut memiliki berat sekitar 479,52 kg. Pada perencanaan *rock shed* ini, digunakan lapisan peredam berupa pasir halus (*soft sand*) yang memiliki parameter Lame (λ) sebesar 1000 kN/m2, modulus elastisitas (E) sebesar 10000 kN/m2 dan sudut geser sebesar (ϕ) 40^0. Direncanakan bahwa lapisan peredam pada *rock shed* memiliki tebal sekitar 0,7 – 0,9 m. *Rock shed* didesain dalam kondisi daktail (C = 0,4). Pada perhitungan beban statis ini, batu jatuh bebas (gaya gesek diabaikan) dari ketinggian 40 m, dengan percepatan gravitasi sebesar 9,81 m/s maka kecepatan akhir jatuh batu adalah 28,01 m/s.

Dari input parameter di atas dilakukan analisis beban jatuhan batu untuk mendapatkan nilai beban statis. Contoh perhitungan untuk menentukan beban statis yang bekerja pada rock shed adalah sebagai berikut ini.

D = 0,7 m
M = 479,52 kg
λ = 1000 kN/m^2
E = 10000 kN/m^2
C = 0,4
ϕ = 40^o
T = 0,7 m
H = 40 m
V = 28,01 m/s
g = 9,81 m/s

1. Persamaan Jepang

$$\beta = \left(\frac{T}{D}\right)^{-0,58} = \left(\frac{0,7}{0,7}\right)^{-0,58} = 0,864$$

$$P = 0,02(m.g)^{0,67}\lambda^{0,4}H^{0,6}\beta$$

$$P = 0,02(479,52x9,81)^{0,67}x\,1000^{0,4}x\,40^{0,6}x\,0,864$$

$$P = 723,637 \text{ kN}$$

2. Persamaan Swiss

$$p = C\,0,028\,T^{-0,5}\,D^{0,7}\,E^{0,4}\,\tan\phi\left(\frac{m.V^2}{2}\right)^{0,6}$$

$$p = 0{,}4 \text{ x } 0{,}028 \text{ x } 0{,}9^{-0{,}5} 0{,}7^{0{,}7} 10000^{0{,}4} \tan 40 \left(\frac{479{,}52 \text{x} 28{,}01^2}{2} \right)^{0{,}6}$$

P= 448,87 kN

Adapun hasil dari perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut ini.

Tabel 5.6 Hasil Perhitungan Beban Statis

Tebal lapisan peredam (m)	Beban statis akibat jatuhan batu	
	Persamaan standar Jepang (kN)	Persamaan standar Swiss (kN)
0,7	837,191	508,971
0,8	774,8	476,099
0,9	723,637	448,87

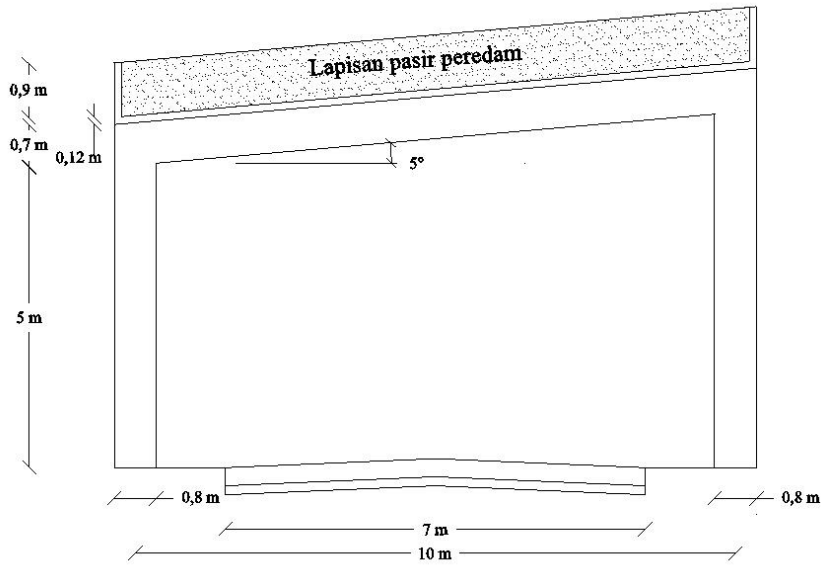
Dari tabel di atas, terlihat bahwa nilai beban statis berdasarkan persamaan Jepang memiliki nilai yang jauh lebih tinggi dari beban statis persamaan Swiss. Persamaan Jepang, yang hubungan didasarkan teori, lebih konservatif dalam berbagai kondisi dibandingkan persamaan Swiss, yang didasarkan pada hasil tes Wyllie (2014). Nilai dari beban statis berdasarkan perhitungan di atas kemudian dikalikan faktor aman sebesar 1,146.

5.6.2 Asumsi Dimensi *Rock Shed*

Rock shed yang didesain harus memenuhi persyaratan bangunan struktur beton bertulang. Dimensi yang ditentukan juga harus memenuhi persyaratan ruang bebas milik jalan. Dimensi awal rock shed yang digunakan adalah standard rock shed di Jepang. Adapun asumsi ukuran dimensi rock shed dapat dilihat pada Tabel 5.7 dan Gambar 5.17 berikut ini.

Tabel 5.7 Asumsi Ukuran Rock Shed

No.	Kriteria lapisan	Ukuran yang digunakan
1.	Tebal lapisan peredam	0,9 m, 0,8 m, dan 0,7 m
2.	Tebal pelat atap	0,12 m
3.	Ukuran balok induk	0,5 x 0,7 m
4.	Kemiringan atap	5^0
5.	Jarak antar kolom sisi lembah	1,5 m
6.	Tinggi kolom	5 m
7.	Ukuran kolom	0,8 x 0,8 m
`8.	Lebar rock shed	10 m



Gambar 5.17 Tampak Samping *Rock Shed*

5.6.3 Pemodelan *Rock Shed* dalam SAP2000

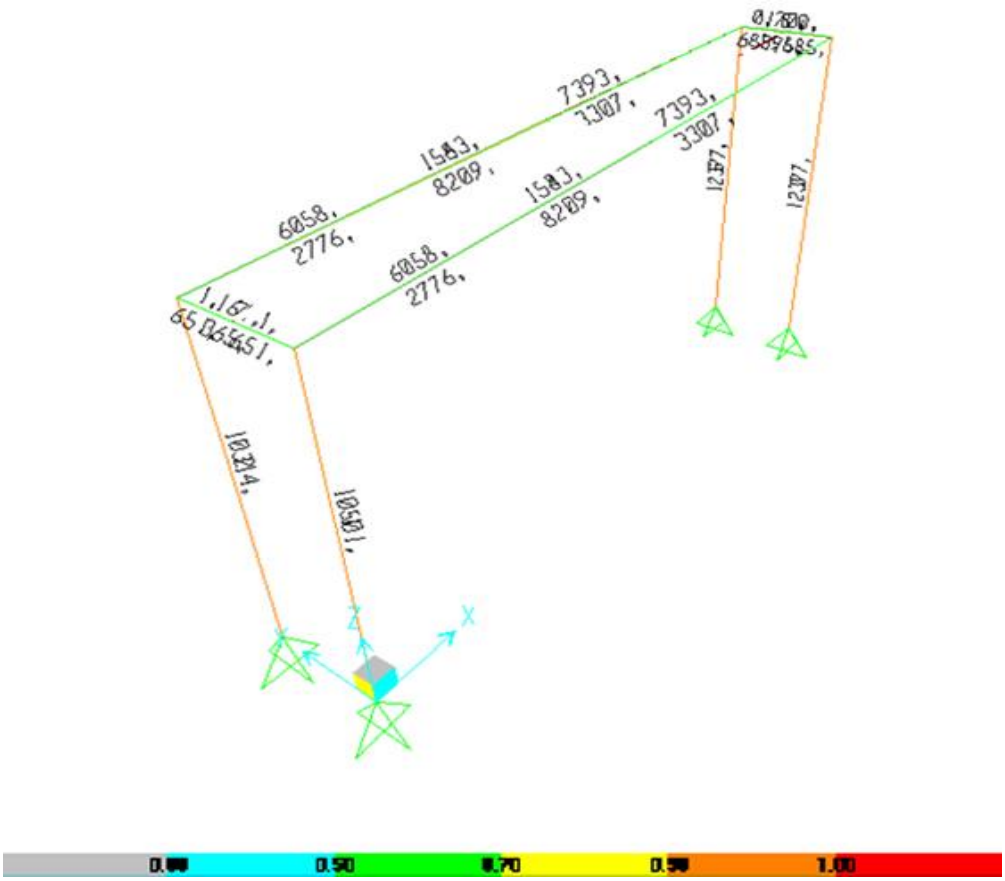
Pemodelan SAP2000 digunakan untuk menghitung gaya-gaya yang bekerja pada *rock shed*. Adapun beban yang bekerja pada *rock shed* ini antara lain beban mati (berat sendiri dan berat lapisan peredam) dan beban hidup (beban statis jatuhkan batu).

Pada pemodelan SAP2000 digunakan beton dengan kekuatan (*fc'*) 30, berat jenis (γ) 24 kN/m3 (beton bertulang). Lapisan peredam yang digunakan adalah pasir yang memiliki berat jenis 2000 kg/m3, sehingga berat pasir setebal 0.9 m adalah 1800 kg/m2 atau 18 kN/m2.

Berat beban statis yang digunakan adalah 724 kN. Beban statis kemudian dikali faktor aman menjadi 830 kN. Untuk keperluan desain *rock shed* digunakan 850 kN.

Beban statis dimodelkan sebagai beban titik yang bekerja pada tengah *rock shed*. Adapun kombinasi yang digunakan pada pemodelan SAP2000 adalah kombinasi 1 (1,4 D) dan kombinasi 2 (1,2 D + 1,6 L).

Setelah *rock shed* dimodelkan dan input beban dimasukkan, analisis dilakukan dengan bantuan perangkat lunak SAP2000. Hasil dari analisis dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut.



Gambar 5.18 Hasil pengujian desain SAP2000

Dari hasil analisis SAP2000 dilakukan evaluasi langsung lewat menu *concrete section designer*. Adapun dari Gambar 5.18 dilihat bahwa dengan menggunakan evaluasi langsung, struktur *rock shed* aman.

5.6.4 Analisis Pelat Atap *Rock Shed*

Analisis dilakukan untuk mengetahui kebutuhan tulangan pada pelat atap. Analisis pelat atap dilakukan secara manual dengan menggunakan momen hasil perhitungan SAP2000. Data umum pelat lantai yang ditinjau yaitu sebagai berikut ini.

Kuat tekan (*fc'*)	= 30 MPa
fy > 12 mm	= 400 MPa
fy ≤ 12 mm	= 240 Mpa
Tebal pelat	= 120 mm
Selimut beton	= 30 mm
Diameter tulangan	= 10 mm
Momen maks	= 456066,49 Nmm
Panjang pelat	= 10000 mm
Lebar pelat	= 3100 mm
Ukuran kolom	= 800 × 800 mm
Ukuran balok	= 500 × 700 mm
β1	= 0,85

1. Perhitungan tulangan pelat atap
   a. Sistem penulangan pelat

$$lx = 1500 - \left[\left(\frac{700}{2}\right) + \left(\frac{500}{2}\right)\right] = 900\ mm$$

$$ly = 10000 - \left[\left(\frac{800}{2}\right) + \left(\frac{800}{2}\right)\right] = 9300\ mm$$

$\beta = \frac{ly}{lx} = \frac{9300}{900} = 10{,}333 \geq 2$ maka dipakai penulangan pelat 1 arah

   b. Tebal Pelat

   Tebal pelat yang digunakan pada pelat atap ini adalah 120 mm

c. Menghitung rasio tulangan

- Rasio tulangan minimum

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 0,005833$$

- Rasio tulangan seimbang

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \times \beta_1 \times 600}{f_y \times (600 + f_y)} = \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \times 600}{240 \times (600 + 240)} = 0,064509$$

- Rasio tulangan maksimum

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_{balance} = 0,75 \times 0,0481 = 0,048382$$

d. Perhitungan tulangan

dx = tebal pelat – selimut beton - 0,5D

= 120 – 30 – (0,5×10) = 85 mm

Mu = 456066,49 Nmm

Mn $= \frac{M_u}{\varphi} = \frac{456066,49}{0,9} = 506740,54\ Nmm$

b = 1000 mm

Rn $= \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{506740,54}{1000 \times 85^2} = 0,0701$

m $= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{240}{0,85 \times 30} = 9,412$

2. Rasio tulangan perlu

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}}\right]$

$= \frac{1}{9,412} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,412 \times 0,0701}{240}}\right]$

$= 0,000293$

$\rho_{perlu} < \rho_{min}$, maka dipakai ρ_{min} = 0,005833

Luas tulangan perlu,

As_{perlu} = ρ_{min}×b×d = 0,005833×1000×85 = 495,833 mm^2

As, ϕ10 = $\frac{1}{4}\pi D^2 = \frac{1}{4}\pi 10^2 = 78{,}5$ mm^2

n tulangan = $\frac{As\ perlu}{As\ \emptyset 10} = \frac{495{,}833}{78{,}5} = 6{,}313$

Maka diambil tulangan sebanyak 7 buah tulangan per 1 meter

Jarak = $\frac{1000}{n-1} = \frac{1000}{7-1} = 166{,}667\ mm$

Maka diambil spasi adntar tulangan 150 mm per 1 meter, sehingga dipakai tulangan D10-150 pada pelat lantai.

3. Tulangan pembagi

Dalam arah tegak lurus terhadap tulangan utama harus disediakan tulangan pembagi untuk antisipasi adanya tegangan suhu dan susut. Koefisien susut adalah 0,002,

As = 0,002×b×h = 0,002×1000×120 = 240 mm^2

dipakai tulangan D10,

jarak = $\frac{0{,}25\times\pi\times D^2\times b}{As} = \frac{0{,}25\times\pi\times 10^2\times 1000}{240} = 327{,}25mm \approx 300\ mm$

Syarat jarak tulangan pembagi tidak boleh melebihi 5x tebal pelat dan Smaks adalah 450 mm.

Smaks = 5×t = 5×120 = 600

Sterpasang = 300 mm < Smaks

Jadi digunangan tulangan D10-300.

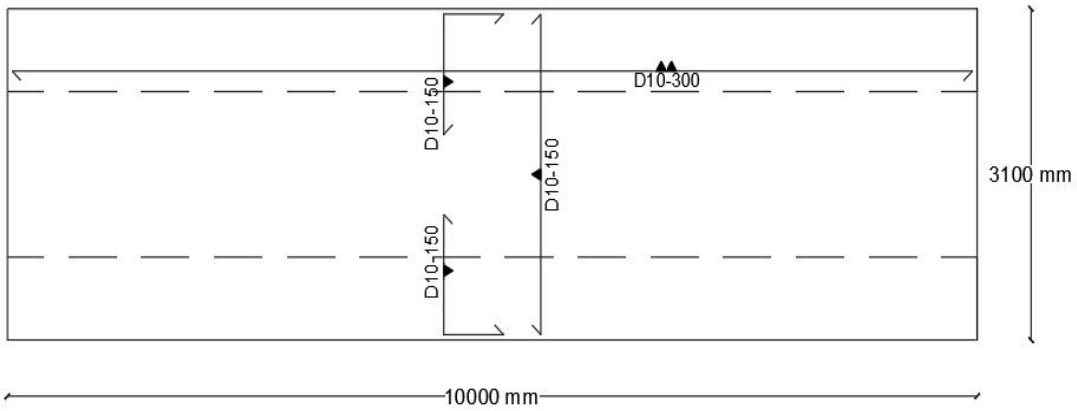
Dari hasil perhitungan diatas, pelat atap menggunakan tulangan D10-150 mm dan digunakan tulangan pembagi D10-300 mm.

Tulangan pelat yang digunakan pada tipe rock shed dengan variasi tebal lapis peredam dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut ini.

Tabel 5.8 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Pelat *Rock Shed*

Tipe *rock shed* dengan variasi tebal lapis peredam (m)	Pelat tinjauan	
	Tulangan pokok	Tulangan pembagi
0,7	D10-150 mm	D10-300 mm
0,8	D10-150 mm	D10-300 mm
0,9	D10-150 mm	D10-300 mm

Adapun gambar detail penulangan balok dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut ini.



Gambar 5.19 Detail Penulangan Pelat *Rock Shed*

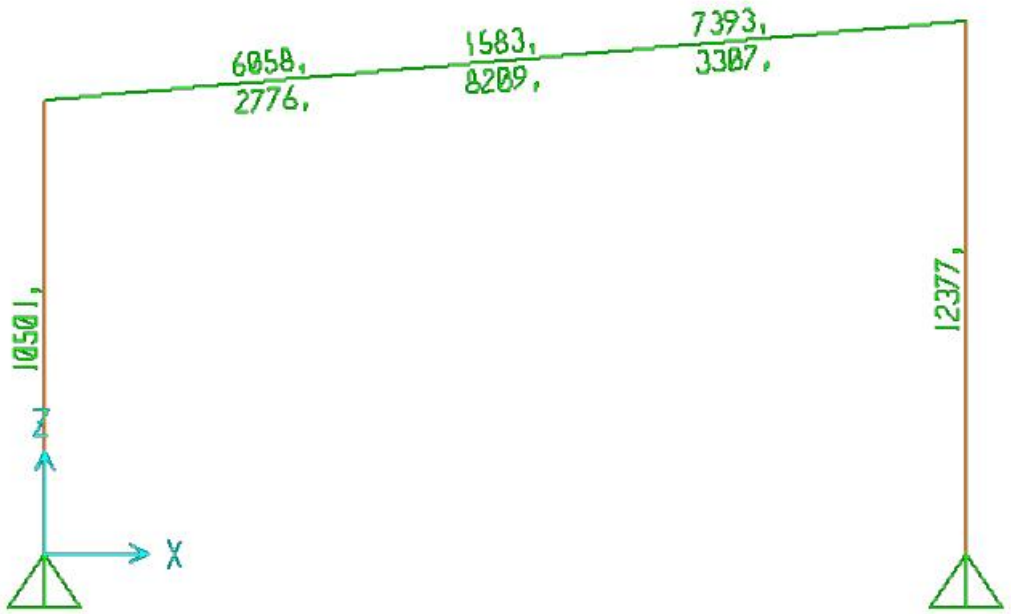
5.6.5 Analisis Balok *Rock Shed*

Analisis dilakukan untuk mengetahui kebutuhan dari tulangan pada balok *rock shed*. Pada balok gaya yang bekerja adalah gaya aksial, momen dan gaya geser. Adapun gaya yang bekerja pada balok dapat dilihat pada Tabel 5.9. Dari *output* SAP tersebut didesain tulangan untuk balok.

Tabel 5.9 Gaya Yang Bekerja Pada Balok Induk

Tipe *rock shed* dengan variasi tebal lapis peredam (m)	Lokasi	Mu maks (kNm)	Pu maks (kN)	Vu maks (kN)
0,7	Balok	1275,276	190,925	564,443
0,8	Balok	1288	192,635	569,051
0,9	Balok	1300,738	194,345	573,659

Adapun hasil dari evaluasi langsung SAP2000 menunjukkan kebutuhan tulangan untuk balok yang dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut ini.



Gambar 5.20 Luasan Kebutuhan Tulangan *Rock Shed* Tebal Pasir 0,9 m

Pada Gambar 5.20 di bagian balok terdapat beberapa angka yang tertera yang menunjukkan bahwa kebutuhan luas tulangan total adalah sebesar angka tersebut. Pada bagian atas yang menandakan tulangan atas dan bagian bawah menandakan tulangan bawah serta pada bagian ujung-ujung menandakan tulangan

tumpuan dan bagian tengah menandakan tulangan lapangan. Pemilihan diameter dan jumlah tulangan bisa bebas disesuaikan, dengan syarat luas tulangan terpasang harus sama atau lebih besar dengan luasan tersebut. Pada Gambar, dibagian balok tulangan tumpuan tertera angka 7393 mm^2 untuk tulangan atas dan 3307 mm^2 untuk tulangan bawah. Pada desain balok *rock shed* tulangan tumpuan digunakan tulangan 12D-29 untuk tulangan atas dan 6D-29 untuk tulangan bawah sehingga luas tulangan (As) diperoleh sebagai berikut ini.

$$As = n\frac{1}{4}\pi D^2$$

$$As = 12 \times \frac{1}{4}\pi \times 29^2$$

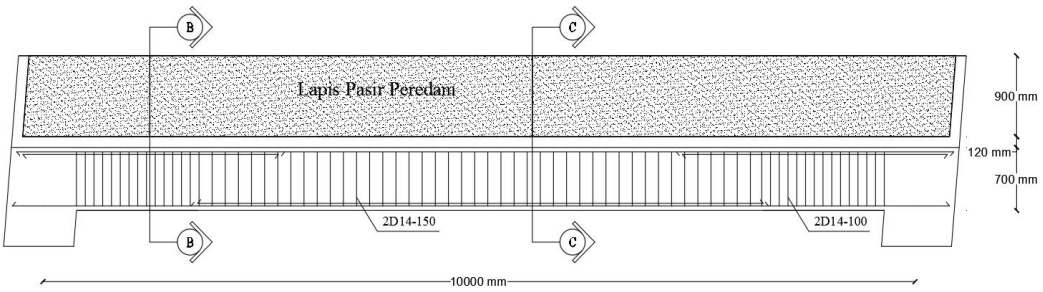
As = 7926,24 mm^2 > 7393 mm^2

Berdasarkan hitungan diatas, maka diperoleh rekapitulasi kebutuhan tulangan balok *rock shed* yang dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut ini.

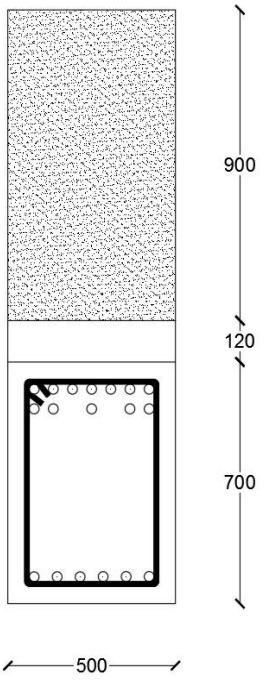
Tabel 5.10 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Balok *Rock Shed*

Tipe *rock shed* dengan variasi tebal lapis peredam (m)	Tulangan yang ditinjau	Balok tinjauan	
		Tumpuan	Lapangan
0,7	Tulangan atas	12D-29	4D-29
	Tulangan bawah	6D-29	14D-29
	Sengkang	2D14-100	2D14-150
0,8	Tulangan atas	12D-29	4D-29
	Tulangan bawah	6D-29	14D-29
	Sengkang	2D14-100	2D14-150
0,9	Tulangan atas	12D-29	4D-29
	Tulangan bawah	6D-29	14D-29
	Sengkang	2D14-100	2D14-150

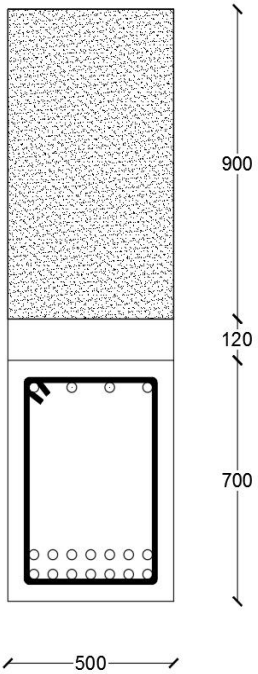
Adapun gambar detail penulangan balok dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut ini.



a. potongan memanjang balok *rock shed*



b. potongan B-B balok *rock shed* (tumpuan)



c. Potongan C-C balok *rock shed* (lapangan)

Gambar 5.21 Detail Penulangan Balok *Rock Shed*

5.6.6 Analisis Kolom *Rock Shed*

Analisis kekuatan kolom dilakukan untuk mengetahui kebutuhan dari tulangan pada kolom *rock shed*. Pada kolom *rock shed* bekerja gaya aksial, geser, torsi dan momen. Adapun gaya yang bekerja pada kolom dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut ini.

Tabel 5.11 Gaya Yang Bekerja Pada Kolom *Rock Shed*

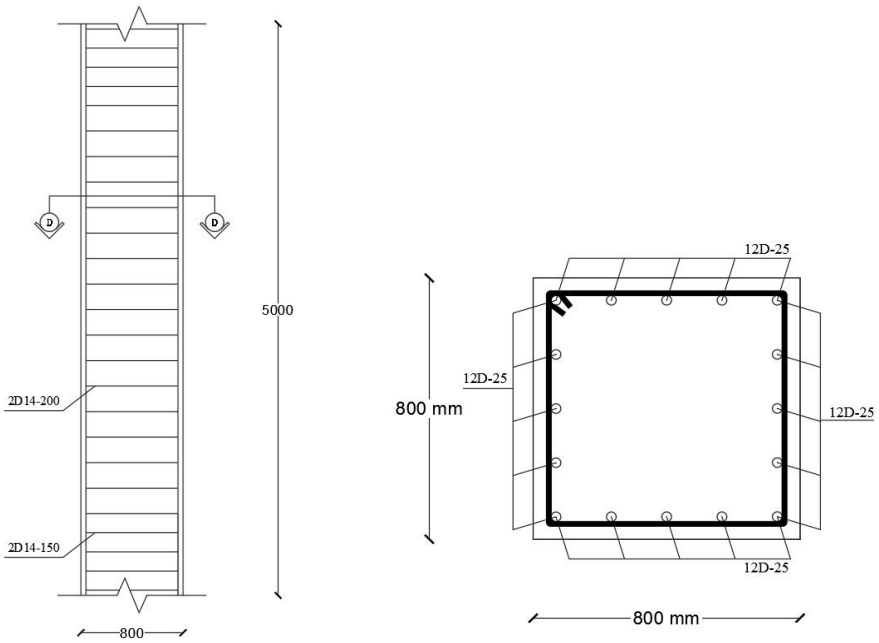
Tipe *rock shed* dengan variasi tebal lapis peredam (m)	Lokasi	P (kN)	V (kN)	M (kNm)	T (kNm)
0,7	Kolom sisi luar	927,048	197,897	989,486	0
	Kolom sisi dalam	978,774	197,897	1162,647	0
0,8	Kolom sisi luar	936,082	199,684	998,418	0
	Kolom sisi dalam	987,808	199,684	1173,141	0
0,9	Kolom sisi luar	945,116	201,47	1007.35	0
	Kolom sisi dalam	996,842	201,47	1183,636	0

Pada Gambar 5.20 di bagian kolom terdapat angka 12377, angka tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan luas tulangan total adalah sebesar 12377 mm^2. Sama seperti pada tulangan balok, dapat dipilih beberapa alternatif diameter dan jumlah tulangan, dengan syarat harus memenuhi luas tulangan minimum yang dihasilkan SAP2000. Adapun pada pemodelan digunakan tulangan seperti pada Tabel 5.12 berikut ini.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Kolom *Rock Shed*

Tipe *rock shed* dengan variasi tebal lapis peredam (m)	Kolom tinjauan	
	Tulangan pokok	Sengkang
0,7	20D-29	2D14-150 mm
0,8	20D-29	2D14-150 mm
0,9	20D-29	2D14-150 mm

Adapun gambar detail penulangan balok dapat dilihat pada Gambar 5.22 berikut ini.



a. potongan memanjang kolom *rock shed* b. potongan D-D kolom *rock shed*

Gambar 5.22 Detail Penulangan Kolom *Rock Shed*

5.6.7 Analisis Kekuatan Pondasi *Rock Shed*

Dalam menghitung kekuatan pondasi, daya dukung batuan harus diketahui, untuk batu kapur berdasarkan kriteria Hoek-Brown UCS=40Mpa, m=0,033, s=0,00000162, daya dukung batuan sebagai berikut. 0,131 Mpa

$$q_a = \frac{C_{f1} s^{0,5} \sigma_{ci} [1 + (ms^{-0,5} + 1)^{0,5}]}{FS}$$

$$q_a = \frac{1{,}25x0{,}00000162^{0,5}x40[1 + (0{,}033x0{,}00000162^{-0,5} + 1)^{0,5}]}{3}$$

$q_a = 0{,}131$ Mpa

Dari hasil analisis menggunakan SAP2000, axial force combo 1 (1,2D + 1,6L), didapat gaya aksial Pu tersebsar yaitu 996,842 kN. Data umum pondasi yang ditinjau yaitu sebagai berikut ini.

kedalaman pondasi = 2 m

γ batu kapur = 26,48 kN/m^2

qa = 131 kN/m^2

γ beton = 24 kN/m^2

1. Luasan pondasi telapak

   digunakan pondasi telapak persegi dengan panjang sisi L = 2 m.

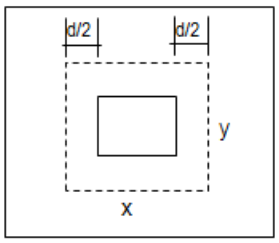
   A = $2\ x\ 2 = 4\ m^2$

   qu = $\frac{Pu_{(1,2D+1,6L)}}{L^2} = \frac{996,842}{2^2} = 249,21\ kN/m^2$

   d = $h_{pondasi}$ – Sb = 0,5 – 0,07 = 0,43 m

2. Kontrol geser pada pondasi

   a. Kontrol geser 2 arah



   x = h_{kolom} + d = 0,8 + 0,43 = 1,23 m

   y = h_{kolom} + d = 0,8 + 0,43 = 1,23 m

   Vu = *qu* (L^2 – x.y)

   = 249,21 (2^2 – (1,23 x 1,23)

   = 619,811 kN

   Vc = $\frac{1}{3}\sqrt{fc'} \times 2(x+y)\ \times d$

   = = $\frac{1}{3}\sqrt{30} \times 2(1230 + 1230)\ \times 0,43$

   = 3862,54 kN

   0,75Vc = 0,75 (3862,54) = 2896,9 kN > Vu (Aman)

   b. Kontrol gesesr 1 arah

   d = hpondasi – Pb = 0,5 – 0,07 = 0,43 m

   m = $\frac{L-b_{kolom}-2d}{2} = \frac{2-0,8-2(0,43)}{2} = 0,17\ m$

Vu = $qu \times m \times L_{pakai} = 249{,}21 \times 0{,}17 \times 2 = 84{,}731\ kN$

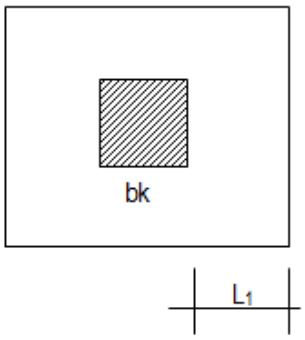
Vc = $\frac{1}{6}\sqrt{fc'} \times L \times d = \frac{1}{6}\sqrt{30} \times 2000 \times 0{,}43 = 785{,}069\ kN$

0,75Vc = 0,75 (785,069) = 588,802 kN > Vu (Aman)

3. Penulangan lentur pondasi

L1 = $\frac{L - b_{kolom}}{2} = \frac{2-0{,}8}{2} = 0{,}6\ m$

Mu = $\frac{1}{2} \times qu \times L^2 = \frac{1}{2} \times 249{,}21^2 = 44{,}858\ kNm$



$\frac{Mu}{0{,}8} = 0{,}85 \times fc' \times a \times b \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$

$\frac{44{,}858 \times 10^6}{0{,}8} = 0{,}85 \times 30 \times a \times 1000 \times \left(430 - \frac{a}{2}\right)$

$10625\ a^2 - 10965000\ a + 56072362{,}5 = 0$

a1 = 1026,86

a2 = 5,139

a pakai = 5,139

As = $\frac{0{,}85 \times fc' \times a \times b}{f_y}$

As = $\frac{0{,}85 \times 30 \times 5{,}139 \times 1000}{400} = 327{,}634\ mm^2$

As min = 0,0018 x b x $h_{pondasi}$ = 0,0018 x 1000 x 500 = 900 mm^2

As pakai = 900 mm^2 (dipakai yang terbesar As dan As min)

dipakai tulangan D19

$A_{1D19} = \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 = 283{,}529\ mm^2$

jarak tulangan, s = $\frac{A_{1D19} \times 1000}{As_{pakai}} = \frac{283{,}529 \times 1000}{900} = 315{,}32\ mm^2$

sehingga digunakan tulangan D19-310 mm

4. Tulangan susut pondasi

As = 0,5 x As min = 0,5 x 900 = 450 mm^2

dipakai tulangan D16

$A_{1D16} = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201{,}062\ mm^2$

jarak tulangan, s $= \frac{A_{1D16} \times 1000}{As_{pakai}} = \frac{201{,}062 \times 1000}{450} = 446{,}804\ mm^2$

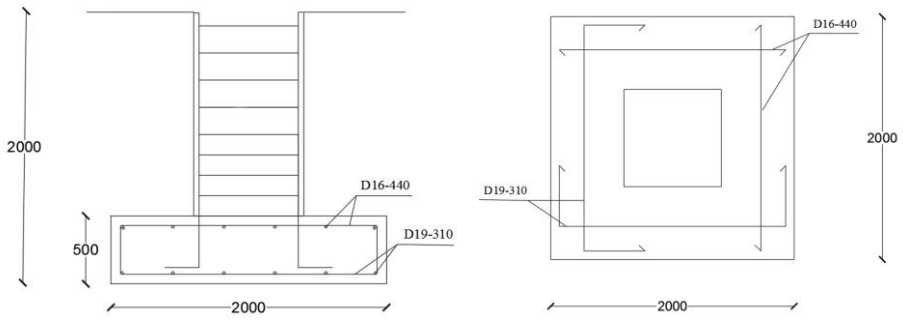
sehingga digunakan tulangan D16-440 mm

Dari hasil perhitungan diatas, pada pondasi *rock shed* diggunakan tulangan seperti pada Tabel 5.13 berikut ini.

Tabel 5.13 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Pondasi *Rock Shed*

Tipe *rock shed* dengan variasi tebal lapis peredam (m)	Pondasi tinjauan	
	Tulangan pokok	Tulangan susut
0,7	D19-310 mm	D16-440 mm
0,8	D19-310 mm	D16-440 mm
0,9	D19-310 mm	D16-440 mm

Adapun gambar detail penulangan pondasi dapat dilihat pada Gambar 5.23 berikut ini.



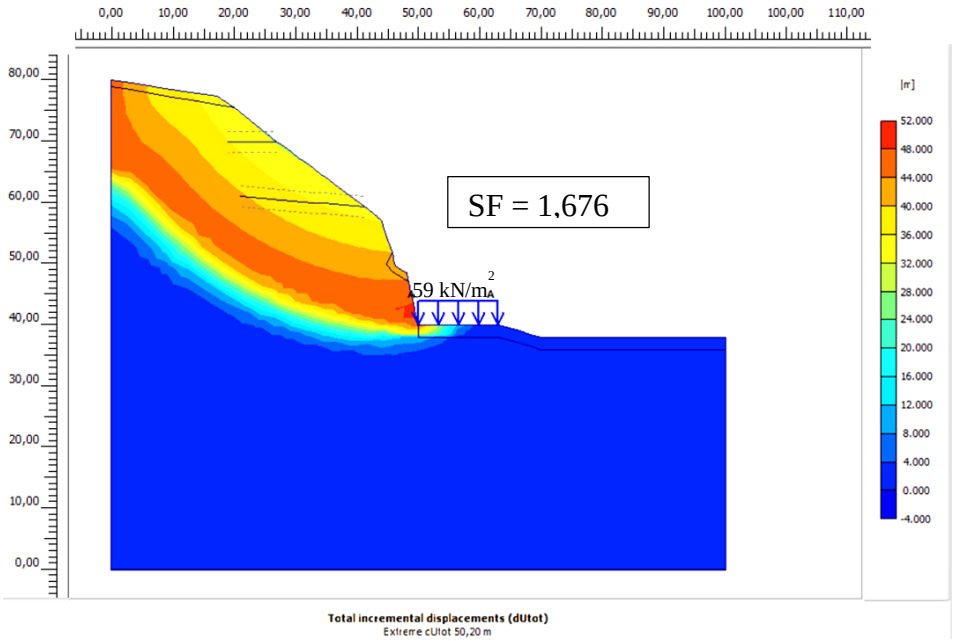
Gambar 5.23 Detail Penulangan Pondasi *Rock Shed*

5.7 Analisis Stabilitas Lereng Akhir

Analisis stabilitas lereng akhir digunakan untuk mengetahui tingkat stabilitas lereng setelah adanya bangunan proteksi berupa *rock shed*.

a. Analisis lereng setelah adanya *rock shed*

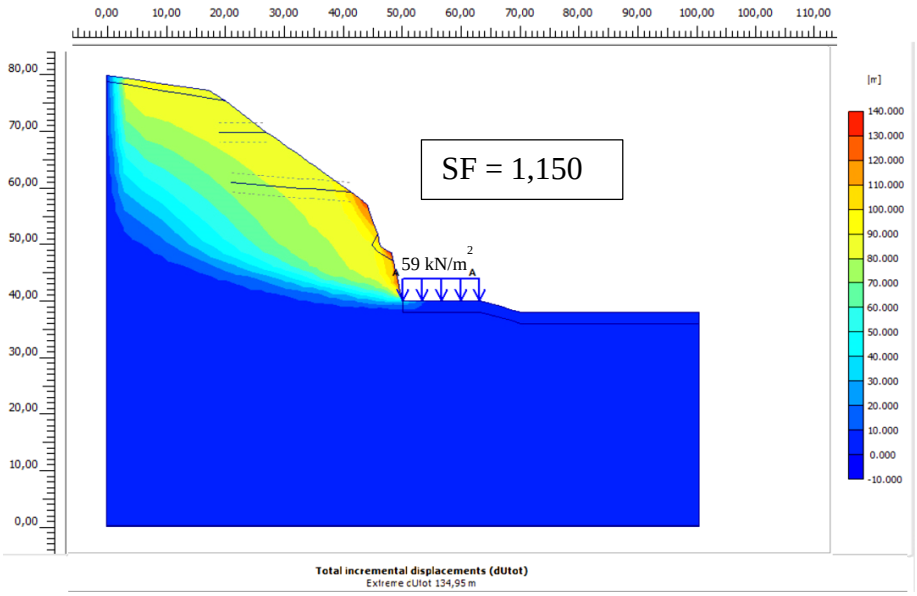
Pada kondisi ini lereng dimodelkan dengan adanya beban tambahan berupa beban *rock shed.* Hasil dari pemodelan dapat dilihat pada Gambar 5.24 berikut ini. Dari hasil pemodelan didapatkan nilai SF sebesar 1,676.



Gambar 5.24 Kondisi Lereng Eksisting Dengan Adanya *Rock Shed*

b. Analisis lereng setelah adanya *rock shed* dengan beban dinamis

Lereng dimodelkan dengan adanya beban tambahan berupa beban rock shed dan beban dinamis berupa beban gempa sebesar 0,3 g. Hasil dari pemodelan dapat dilihat pada Gambar 5.25 berikut ini. Dari hasil pemodelan didapatkan nilai SF sebesar 1,150.

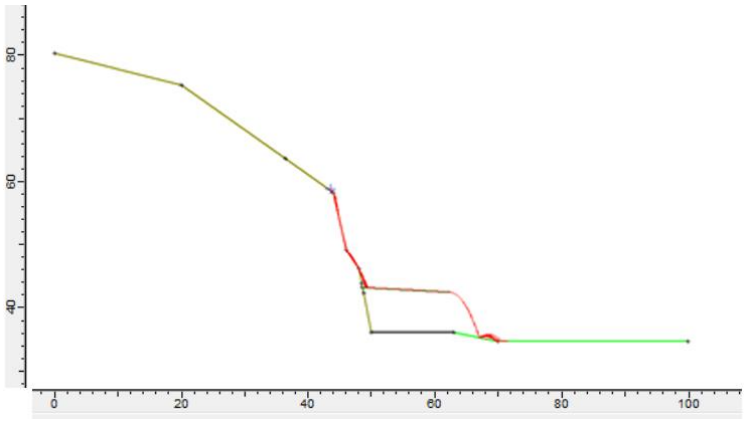


Gambar 5.25 Kondisi Lereng Setelah Adanya *Rock Shed* Dengan Beban Gempa

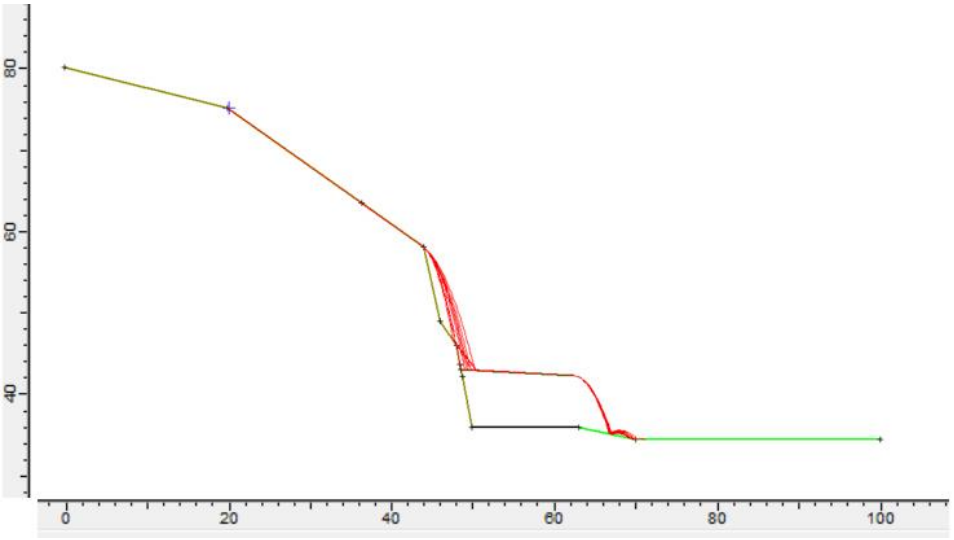
5.8 Pemodelan Jatuhan Batuan dengan Bangunan Proteksi *Rock Shed*

Pemodelan jatuhan batu dilakukan pada kondisi lereng setelah adanya bangunan proteksi rock shed. 10 batuan dijatuhkan dari ketinggian 20 m dan 40 m. Pada pemodelan jatuhan batuan, bangunan proteksi rock shed dimodelkan sebagai *barrier* yang bersifat *perfectly inelastic.*

Hasil dari pemodelan jatuhan batu untuk ketinggian 20 m dan 40 m dapat dilihat pada Gambar 5.26 dan Gambar 5.27 berikut ini.



Gambar 5.26 Simulasi Jatuhan 10 Batuan Ketinggian 20 m dengan *Rock Shed*



Gambar 5.27 Simulasi Jatuhan 10 Batuan Ketinggian 40 m dengan *Rock Shed*

Gambar diatas menunjukkan bahwa *rock shed* dapat menahan beban yang terjadi akibat jatuhan batuan dan membuang batuan kesisi luar jalan. Dapat dikatakan bahwa rock shed telah berfungsi dengan baik. Jalan akses pada ruas jalan tersebut menjadi aman terhadap jatuhan batuan yang terjadi.

5.9 Pembahasan Hasil Analisis

Pada analisis stabilitas lereng, diketahui faktor aman pada lereng pada kondisi eksisting, dengan beban gempa, dan setelah adanya *rock shed*. Adapun rangkuman hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Rangkuman Hasil Analisis Stabilitas Lereng

Kondisi	Faktor Aman	Status
Kondisi eksisting	1,675	Aman
Kondisi eksisting dengan beban gempa	1,146	Kritis
Kondisi eksisting adanya *rock shed*	1,676	Aman
Kondisi eksisting adanya *rock shed* ditambah beban gempa	1,150	Kritis

Lereng batuan pada kondisi eksisting memiliki kestabilan yang aman, tetapi dengan ditambahnya beban gempa lereng menjadi tidak stabil dan memiliki potensi terjadinya pergerakan batuan. Pergerakan batuan tersebut berpotensi menyebabkan terjadinya jatuhan batua. Pada kondisi setelah adanya *rock shed*, lereng tanpa beban gempa tetap stabil dan pada kondisi adanya beban gempa lereng menjadi tidak stabil dan memiliki potensi pergerakan.

Pada pemodelan jatuhan batu didapatkan kecepatan batuan, energi kinetik yang dihasilkan, dan sebaran dari jatuhan batuan. Adapun rangkuman dari pemodelan jatuhan batuan dapat dilihat pada Tabel 5.15berikut ini.

Tabel 5.15 Rangkuman Pemodelan Jatuhan Batuan

Tinggi jatuhan (m)	Jatuhan 1 batuan		Jatuhan 10 batuan	
	Energi kinetik (KJ)	Kecepatan batuan (m/s)	Energi kinetik maks pada x=40m (KJ)	Kecepatan batuan maks pada x=40 m (m/s)
20	33,23	11,57	43,07	13,23
40	85,45	18,88	101,62	20,33

Dari hasil pemodelan jatuhan batu dapat dilihat bahwa jatuhan batuan yang terjadi cukup berbahaya bagi jalan yang berada pada lereng tersebut. Untuk itu didesain *rock shed* sebagai rekomendasi perlindungan jatuhan batu.

Dari hasil analisis dimensi *rock shed*, didapatkan tulangan yang akan digunakan pada bangunan *rock shed,* adapun rekapitulasi hasil analisis tulangan rock shed dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut ini.

Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Analisis Tulangan *Rock Shed*

	Tulangan yang ditinjau			Tipe rock shed dengan variasi tebal lapis peredam		
				0,7 m	0,8 m	0,9 m
Kebutuhan tulangan	Pelat	Tulangan pokok		D10-150	D10-150	D10-150
		Tulangan pembagi		D10-300	D10-300	D10-300
	Balok	Tulangan atas	Tumpuan	12D-29	12D-29	12D-29
			Lapangan	4D-29	4D-29	4D-29
		Tulangan bawah	Tumpuan	6D-29	6D-29	6D-29
			Lapangan	14D-29	14D-30	14D-31
		Sengkang	Tumpuan	2D14-100	2D14-100	2D14-100
			Lapangan	2D14-150	2D14-150	2D14-150
	Kolom	Tulangan pokok		20D-29	20D-29	20D-29
		Sengkang		2D14-150	2D14-150	2D14-150
	Pondasi	Tulangan pokok		D19-310	D19-310	D19-310
		Tulangan susut		D16-440	D16-440	D16-440
Beban statis akibat jatuhan batu		Persamaan standar Jepang		837,2 kN	774,8 kN	723,6 kN

Tulangan pada setiap variasi *rock shed* yang dilihat dari tebal lapis peredam tidak menunjukkan perubahan, setiap variasi memiliki tulangan yang sama. Pada analisis beban statis akibat jatuhan batu memiliki nilai yang berbeda, semakin tebal lapis peredam maka beban statis yang terjadi akan semakin kecil, sehingga pada penelitian ini digunakan variasi *rock shed* yang mampu menahan beban statis yang setara dengan beban *impact* senilai 850 kN dengan lapisan peredam pasir setebal 0,9 m.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Lereng yang terdapat pada ruas jalan akses Kabupaten Gunung Kidul tepatnya pada Jalan Pantai Selatan Jawa kondisi eksisting memiliki faktor aman sebesar 1,675 sedangkan pada kondisi beban dinamis memiliki faktor aman sebesar 1,146. Dapat dikatakan bahwa lereng tersebut dalam keadaan kritis, sehingga memiliki potensi mengalami pergerakan batuan.
2. Hasil pemodelan jatuhan batuan didapatkan kecepatan, dan besaran energi kinetik akibat jatuhan batuan. Pada jatuhan 1 batu dari ketinggian 20 m, batu jatuh dengan kecepatan 11,57 m/s dan energi kinetik yang dihasilkan 33,23 KJ. Pada jatuhan 1 batu dari ketinggian 40 m, batu jatuh dengan kecepatan 18,88 m/s dan energi kinetik yang dihasilkan 85,45 KJ. Pada jatuhan 10 batuan dari ketinggian 20 m, kecepatan maksimal pada batuan jatuh sebesar 13,23 m/s dan energi kinetik maksimal yang dihasilkan 43,07 KJ. Pada jatuhan 10 batuan dari ketinggian 40 m, kecepatan maksimal pada batuan jatuh sebesar 20,33 m/s dan energi kinetik maksimal yang dihasilkan 101,62 KJ. Energi yang dihasilkan jatuhan batu cukup tinggi sehingga diperlukan bangunan proteksi.
3. Bangunan proteksi *rock shed* didesain dengan lapisan peredam pasir setebal 0,9 m. *Rock shed* mampu menahan beban statis maksimum sebesar 850 kN akibat jatuhan batuan.
4. Dengan adanya bangunan proteksi berupa *rock shed*, lereng masih stabil. Lereng dengan adanya *rock shed* memiliki faktor aman sebesar 1,676. Pada kondisi beban dinamis, lereng memiliki faktor aman sebesar 1,150.

6.2 Saran

Berikut beberapa saran yang diberikan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan.

1. Dalam melakukan penyelidikan lapisan tanah dan batuan sebaiknya menggunakan metode yang lebih detail, sehingga semakin mendekati dengan kondisi aslinya.
2. Dalam menentukan properties dari tanah maupun batuan, sebaiknya menggunakan metode penelitian yang lebih detail.
3. Analisis jatuhan batuan secara 3D sangat disarankan untuk dapat melihat distribusi jatuhan batuan lebih detail.
4. Perlu penelitian lebih lanjut untuk perilaku struktur beton bertulang menahan beban jatuhan batu yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

Amalia, N. 2015. *Analisis Stabilitas Lereng Kawasan Situs Ratu Boko Akibat Tambahan Beban Bangunan dan Pengaruh Perubahan Kadar Air*, Tugas Akhir. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

Azzuhry, Y. 2015. *Analisis Stabilitas Dan Mekanisme Keruntuhan Lereng Batuan Sedimen Tambang Terbuka Batubara Kecamatan Muaralawa Dan Kecamatan Damai Kabupaten Kutai Barat Propinsi Kalimantan Timur,* Tugas Akhir. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

Craig, R. 1991. *Mekanika Tanah Edisi Keempat.* Jakarta: Erlangga.

Cruden, D. & Varnes, D. 1996. *Landslide Types and Process; Landslide Investigation and Mitigation.* Washington: National Academy Press.

Deere, D.U. & Deere, D.W. 1968. *Uniaxial Compressive Strength (UCS) after 20 years.* Washington DC: Department of the Army, U.S. Corps of Engineers.

Hardiyatmo, H.C. 2010. *Mekanika Tanah 1.* 5th ed. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Hardiyatmo, H.C. 2010. *Mekanika Tanah 2.* 5th ed. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Hardiyatmo, H.C., 2012. *Tanah Longsor dan Erosi.* 1st ed. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Hiroshi, Y., Nomura, T., Wyllie, D. . C. & Morris, A. . J. 2007. Rock Fall Sheds – Application of Japanese Designs in North America. *ASCE.*

Hoek, E. 2006. *Practical Rock Engineering.* Toronto: s.n.

Hoek, E., Torres, C. & Corkum, B. 2002. *Hoek Brown Failure Criterion-2002 Edition.* Toronto: Rocscience Inc.

Japan Road Association, 2000. *Rockfall Measures Manual.* Tokyo: Japan Road Association.

Karnawati, D. 2005. *Geologi Umum dan Teknik.* Tesis. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

Leonard, 2011. *Analisis Stabilitas Lereng Batuan di Tambang Batulempung Jeruklegi, Kabupaten Cilacap, Propinsi Jawa Tengah*, Tugas Akhir. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

Melo, C and Sharma, S. 2004. *Seismic Coefficients For Pseudostatic Slope Analysis.* Vancouver, Canada: World Conference Of Earthquake Engineering.

Rocscience, 2010. *Slide, 2D Limit Equilibrium Slope Stability for Soil and Rock Slopes, Slope Stability Verification Manual.* Toronto: Rocscience Inc.

Sari, M.M. 2016, *Analisis Kinematik Dan Stabilitas Lereng Batuan Pada Desa Bokoharjo, Kecamatan Prambanan, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta*, Tugas Akhir. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

Simbolon, B. 2015, *Analisis Stabilitas Lereng Batuan Dengan Rock Shed Sebagai Bangunan Proteksi*, Tugas Akhir. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

Siregar, A.I.S. 2015, *Analisis Stabilitas Lereng Batuan Dusun Ngablak, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta,* Tugas Akhir. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

Transportation Research Board (TRB), 1996. *Landslides, Investigation and Mitigation.* Washington, D.C.: National Research Council.

USGS, 2004. *Landslide Types and Processes.* US: Fact Sheet.

Vogel, d. 2009. Rock fall protection as an integral task. In: *Structural Engineering International.* Zurich: IABSE.

Wyllie, D.C. 1999. *Foundation on Rock.* 2nd ed. London: E & FN SPON.

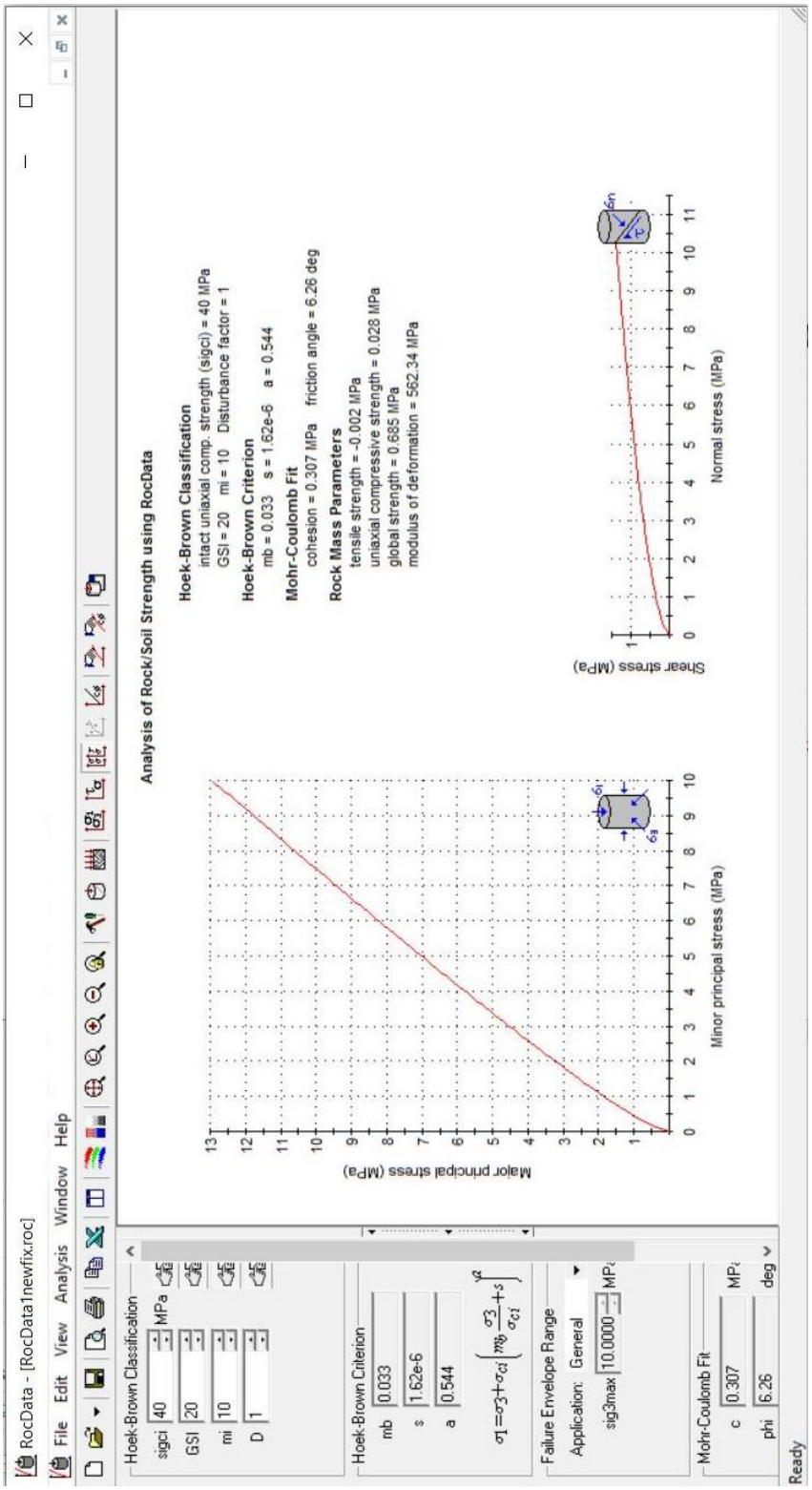
Wyllie, D.C. 2004. *Rock Slope Engineering.* 4th ed. New York: Spon Press.

Wyllie, D.C. 2015. *Rock Fall Engineering.* New York: CRC Press.

Zhao, J., 2008. *Rock mechanics for civil engineering.* Lausanne: CRC Press.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Input dan Output Program Rocdata



Lampiran 2. Hasil Pengujian Tanah Permukaan Lereng di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Islam Indonesia

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp (0274) 895042, 895707 fax 895330 Yogyakarta 55584

PENGUJIAN KADAR AIR
ASTM D - 2216 - 98

Proyek : Tugas Akhir
Lokasi : JL. Pantai Selatan jawa, Kab. Gunungkidul, Yogyakarta
Dikerjakan : Rikky Prianggara
Tanggal
Sampel : Tanah Asli

1	No.Pengujian		1	2
2	Berat Countainer (W1)	gr	12,74	13,05
3	Berat Countariner + Tanah Basah (W2)	gr	36,17	43,49
4	Berat Countainer + Tanah Kering (W3)	gr	32,94	39,23
5	Berat Air (Ww = W2 - W3)	gr	3,23	4,26
6	Berat Tanah Kering (Ws = W3 -W1)	gr	20,2	26,18
7	Kadar Air (Ww : Ws) x 100%	%	15,99%	16,27%
8	Kadar Air rata-rata (w)	%	16,13%	

Diketahui Oleh :

(Ir. Akhmad Marzuko, M.T.)

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp (0274) 895042, 895707 fax 895330 Yogyakarta 55584

PENGUJIAN BERAT JENIS
ASTM D - 854 - 72

Proyek : Tugas Akhir
Lokasi : JL. Pantai Selatan jawa, Kab. Gunungkidul, Yogyakarta
Dikerjakan : Rikky Prianggara
Tanggal
Sampel : Tanah Asli

1	No.Pengujian			1	2
2	Berat Piknometer	(w1)	gr	31,47	28,28
3	Berat Piknometer + Tanah	(w2)	gr	49,39	47,23
4	Berat Piknometer + Tanah + Air	(w3)	gr	89,47	89,96
5	Berat Piknometer + Air	(w4)	gr	78,64	78,46
6	Suhu Air		°C	26	26
7	γw pada Suhu 26 °C		gr/cm^3	0,9968	
8	γw pada Suhu 27,5 °C		gr/cm^3	0,9964	
9	Berat Tanah Kering (Ws)		gr	17,92	18,95
10	A =Ws + W4		gr	96,56	97,41
11	I = A - W3		gr	7,09	7,45
12	Berat Jenis Tanah Pada Suhu 26 °C			2,53	2,54
13	Berat Jenis Tanah Pada Suhu 27,5 °C			2,53	2,54
14	Berat Jenis Rata-Rata Pada Suhu 27,5 °C			2,54	

Diketahui Oleh :

(Ir. Akhmad Marzuko, M.T.)

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp (0274) 895042, 895707 fax 895330 Yogyakarta 55584

PENGUJIAN BERAT VOLUME
ASTM D - 2049

Proyek : Tugas Akhir
Lokasi : JL. Pantai Selatan jawa, Kab. Gunungkidul, Yogyakarta
Dikerjakan : Rikky Prianggara
Tanggal
Sampel : Tanah Asli

1	No.Pengujian			1	2
2	Berat Tanah	(w1)	gr	9,42	6,55
3	Berat Cawan	(w2)	gr	60,71	60,71
4	Berat Air Raksa Yang terdesak Tanah + Cawan	(w3)	gr	124,81	105,17
5	Massa Jenis Air Raksa		gr/cm^3	13,6	
6	Berat Volume Tanah Basah		gr/cm^3	1,999	2,004
7	Berat Volume Tanah Basah Rata-Rata		gr/cm^3	2,00	
8	Berat Volume Tanah Kering		gr/cm^3	1,72101	1,938664
9	Berat Volume Tanah Kering Rata-Rata		gr/cm^3	1,83	

Diketahui Oleh :

(Ir. Akhmad Marzuko, M.T.)

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp (0274) 895042, 895707 fax 895330 Yogyakarta 55584

PENGUJIAN ANALISIS GRANULER
ASTM D - 421- 72

Proyek : Tugas Akhir
Lokasi : JL. Pantai Selatan jawa, Kab. Gunungkidul, Yogyakarta
Dikerjakan : Rikky Prianggara
Tanggal
Sampel : Tanah Asli

Berat Tanah Kering (w) (gram)	60
Berat Jenis Tanah (Gs)	2,60
Koreksi miniskus hidrometer (m)	1
Harga dari berat jenis Gs (a)	1,05
Zero Correction (z)	-2

$D = \sqrt{\frac{L}{t}}$; % Lolos $= \frac{R' \times a}{w}$ x %tertahan #200

*) Dari daftar harga L berdasarakan nilai R'
**) Dari daftar harga K berdasarkan t dan Gs

Distribusi Butiran

No. Saringan	Diameter Saringan	Berat Tanah Tertahan	Berat Tanah Lolos	% Tertahan	% Lolos
	mm	(gr)	(gr)	%	%
1/2	13,2	0	594,42	0,00%	100,00%
3/8	9,5	6,63	587,79	1,12%	98,88%
1/4	6,7	13,71	574,08	2,31%	96,58%
4	4,75	17,01	557,07	2,86%	93,72%
10	2	48,74	508,33	8,20%	85,52%
20	0,85	77,52	430,81	13,04%	72,48%
40	0,425	131,44	299,37	22,11%	50,36%
60	0,25	96,47	202,90	16,23%	34,13%
100	0,149	55,6	147,30	9,35%	24,78%
140	0,106	45,83	101,47	7,71%	17,07%
200	0,075	40,4	61,07	6,80%	10,27%
pan		61,07	0,00	10,27%	0,00%
	Jumlah	594,42		100,00%	0,00%

Hidrometer

Waktu	Temperatur	Pemb. Hidrometer	Pemb. Hdr terkoreksi	Pemb. Hdr terkoreksi oleh (m)	Kedalaman	L/t	Konstata	Diameter butir (D)	% Lolos
t	T	Ra	Rc	R'	(L)*		(K)**	D	
menit	°C		(Ra - z)	(Ra + m)	cm			mm	%
0	25,5	51	53	54	7,8	0,00000	0,01291	0,00000	9,71%
2	25,5	40	42	43	8,4	4,20000	0,01291	0,02646	7,73%
5	25,5	32	34	35	8,9	1,78000	0,01291	0,01722	6,29%
30	25,5	17	19	20	10,4	0,34667	0,01291	0,00760	3,60%
60	25,5	12	14	15	11,2	0,18667	0,01291	0,00558	2,70%
250	26	5	7	8	12,2	0,04880	0,01284	0,00284	1,44%
1440	26	4	6	7	13,7	0,00951	0,01284	0,00125	1,26%

Diketahui Oleh :

(Ir. Akhmad Marzuko, M.T.)

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH

JURUSAN TEKNIK SIPIL

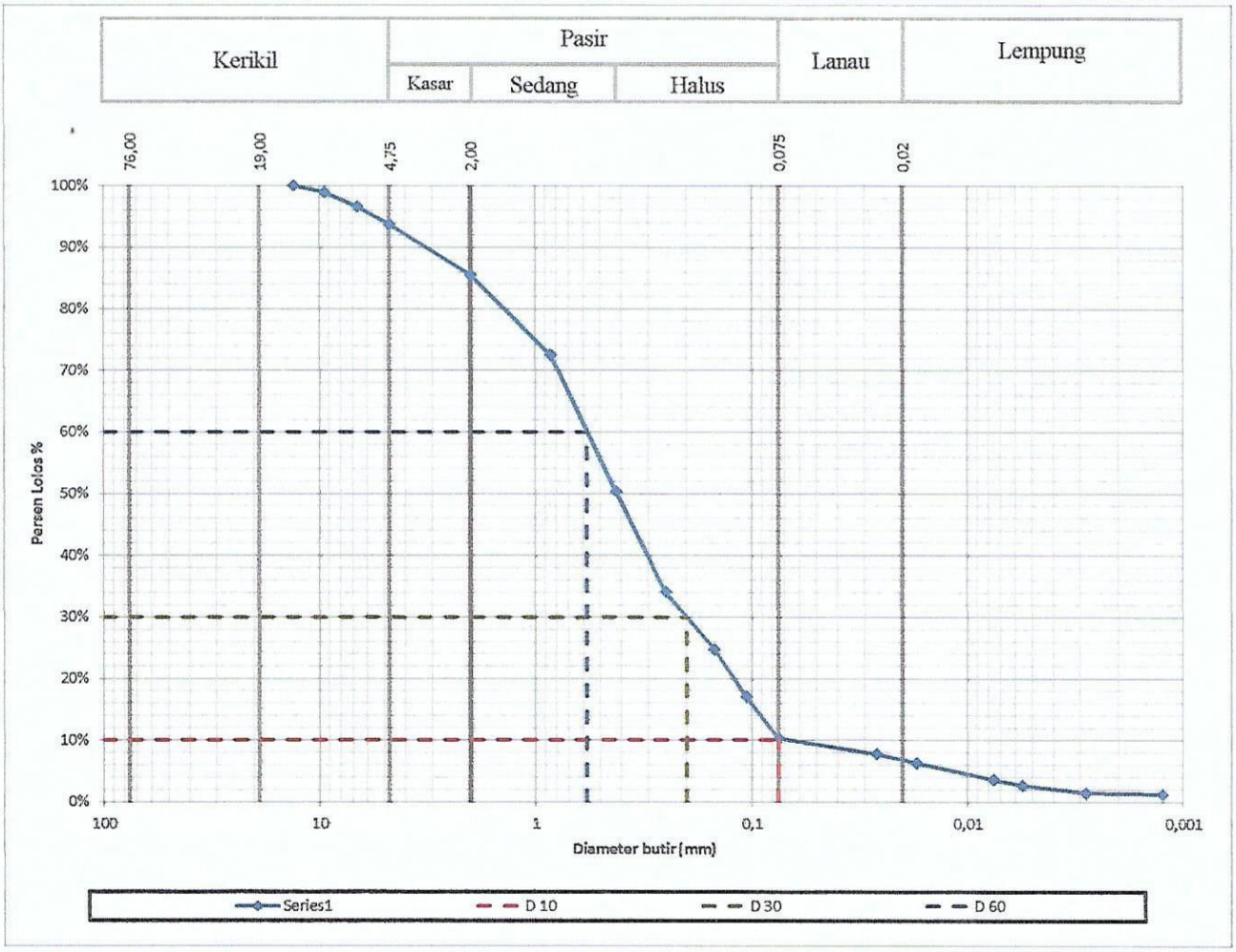
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp (0274) 895042, 895707 fax 895330 Yogyakarta 55584

PENGUJIAN ANALISIS GRANULER

ASTM D - 421- 72

Proyek	: Tugas Akhir
Lokasi	: JL. Pantai Selatan jawa, Kab. Gunungkidul, Yogyakarta
Dikerjakan	: Rikky Prianggara
Tanggal	
Sampel	: Tanah Asli



Lolos # 200	10,27%	D10 (mm)	0,0750
Kerikil	6,28%	D30 (mm)	0,2000
Pasir	83,44%	D60 (mm)	0,5800
Lanau	3,98%	Cu =D60/D10	7,733
Lempung	6,29%	Cc = $D30^2$ / (D10 x D60)	0,920

Diperiksa Oleh :

(Ir. Akhmad Marzuko, M.T.)

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp (0274) 895042, 895707 fax 895330 Yogyakarta 55584

PENGUJIAN ANALISIS GRANULER
ASTM D - 421- 72

Proyek : Tugas Akhir
Lokasi : JL. Pantai Selatan jawa, Kab. Gunungkidul, Yogyakarta
Dikerjakan : Rikky Prianggara
Tanggal
Sampel : Tanah Asli

Berat Tanah Kering (w) (gram)	60
Berat Jenis Tanah (Gs)	2,60
Koreksi miniskus hidrometer (m)	1
Harga dari berat jenis Gs (a)	1,05
Zero Correction (z)	-2

$D = \sqrt{\frac{L}{t}}$; % Lolos = $\frac{R' \, x \, a}{w}$ x %tertahan #200

*) Dari daftar harga L berdasarakan nilai R'
**) Dari daftar harga K berdasarkan t dan Gs

Distribusi Butiran

No. Saringan	Diameter Saringan	Berat Tanah Tertahan	Berat Tanah Lolos	% Tertahan	% Lolos
	mm	(gr)	(gr)	%	%
1/2	13,2	0	588,88	0,00%	100,00%
3/8	9,5	7,9	580,98	1,34%	98,66%
1/4	6,7	15,61	565,37	2,65%	96,01%
4	4,75	14,15	551,22	2,40%	93,60%
10	2	48,01	503,21	8,15%	85,45%
20	0,85	83,09	420,12	14,11%	71,34%
40	0,425	122,43	297,69	20,79%	50,55%
60	0,25	98,85	198,84	16,79%	33,77%
100	0,149	59,47	139,37	10,10%	23,67%
140	0,106	40,9	98,47	6,95%	16,72%
200	0,075	35,35	63,12	6,00%	10,72%
pan		63,12	0,00	10,72%	0,00%
	Jumlah	588,88		100%	0,00%

Hidrometer

Waktu	Temperatur	Pemb. Hidrometer	Pemb. Hdr terkoreksi	Pemb. Hdr terkoreksi oleh (m)	Kedalaman	L/t	Konstata	Diameter butir (D)	% Lolos
t	T	Ra	Rc	R'	(L)*		(K)**	D	
menit	°C		(Ra - z)	(Rc + m)	cm			mm	%
0	25,5	50	52	53	7,6	0,00000	0,01291	0,00000	9,94%
2	25,5	39	41	42	8,3	4,15000	0,01291	0,02630	7,88%
5	25,5	32	34	35	8,9	1,78000	0,01291	0,01722	6,57%
30	25,5	17	19	20	10,6	0,35333	0,01291	0,00767	3,75%
60	25,5	13	15	16	11,1	0,18500	0,01291	0,00555	3,00%
250	26	6	8	9	12,4	0,04960	0,01284	0,00286	1,69%
1440	26	4	6	7	13,5	0,00938	0,01284	0,00124	1,31%

Diketahui Oleh :

(Ir. Akhmad Marzuko, M.T.)

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH

JURUSAN TEKNIK SIPIL

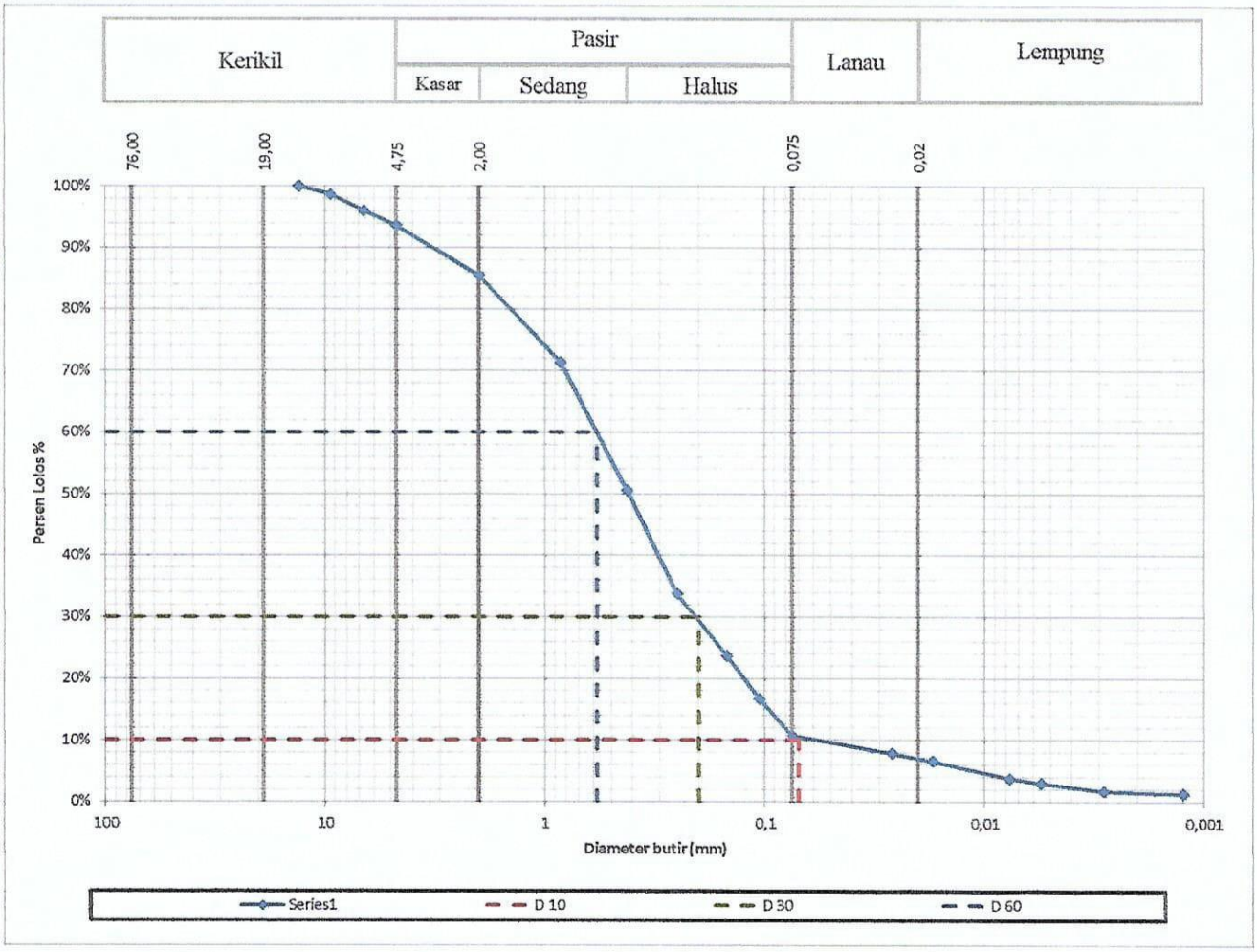
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp (0274) 895042, 895707 fax 895330 Yogyakarta 55584

PENGUJIAN ANALISIS GRANULER

ASTM D - 421- 72

Proyek	: Tugas Akhir
Lokasi	: JL. Pantai Selatan jawa, Kab. Gunungkidul, Yogyakarta
Dikerjakan	: Rikky Prianggara
Tanggal	
Sampel	: Tanah Asli



Lolos # 200	10,72%	D10 (mm)	0,0700
Kerikil	6,40%	D30 (mm)	0,2000
Pasir	82,89%	D60 (mm)	0,5800
Lanau	4,15%	Cu =D60/D10	8,286
Lempung	6,57%	Cc = $D30^2$ / (D10 x D60)	0,985

Diperiksa Oleh :

(Ir. Akhmad Marzuko, M.T.)

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp (0274) 895042, 895707 fax 895330 Yogyakarta 55584

PENGUJIAN ANALISIS GRANULER
ASTM D - 421- 72

Proyek : Tugas Akhir
Lokasi : JL. Pantai Selatan jawa, Kab. Gunungkidul, Yogyakarta
Dikerjakan : Rikky Prianggara
Tanggal
Sampel : Tanah Asli

REKAPITULASI PENGUJIAN ANALISIS GRANULER

Sampel 1		Sampel 2		Rata-Rata	
Diameter Butir Tanah (mm)	Persen Lolos (%)	Diameter Butir Tanah (mm)	Persen Lolos (%)	Diameter Butir Tanah (mm)	Persen Lolos (%)
13,2	100,00%	13,2	100,00%	13,2	100,00%
9,5	98,88%	9,5	98,66%	9,5	98,77%
6,7	96,58%	6,7	96,01%	6,7	96,29%
4,75	93,72%	4,75	93,60%	4,75	93,66%
2	85,52%	2	85,45%	2	85,48%
0,85	72,48%	0,85	71,34%	0,85	71,91%
0,425	50,36%	0,425	50,55%	0,425	50,46%
0,25	34,13%	0,25	33,77%	0,25	33,95%
0,149	24,78%	0,149	23,67%	0,149	24,22%
0,106	17,07%	0,106	16,72%	0,106	16,90%
0,075	10,27%	0,075	10,72%	0,075	10,50%
0,02646	7,73%	0,02630	7,88%	0,02638	7,80%
0,01722	6,29%	0,01722	6,57%	0,01722	6,43%
0,00760	3,60%	0,00767	3,75%	0,00764	3,67%
0,00558	2,70%	0,00555	3,00%	0,00557	2,85%
0,00284	1,44%	0,00286	1,69%	0,00285	1,56%
0,00125	1,26%	0,00124	1,31%	0,00125	1,29%

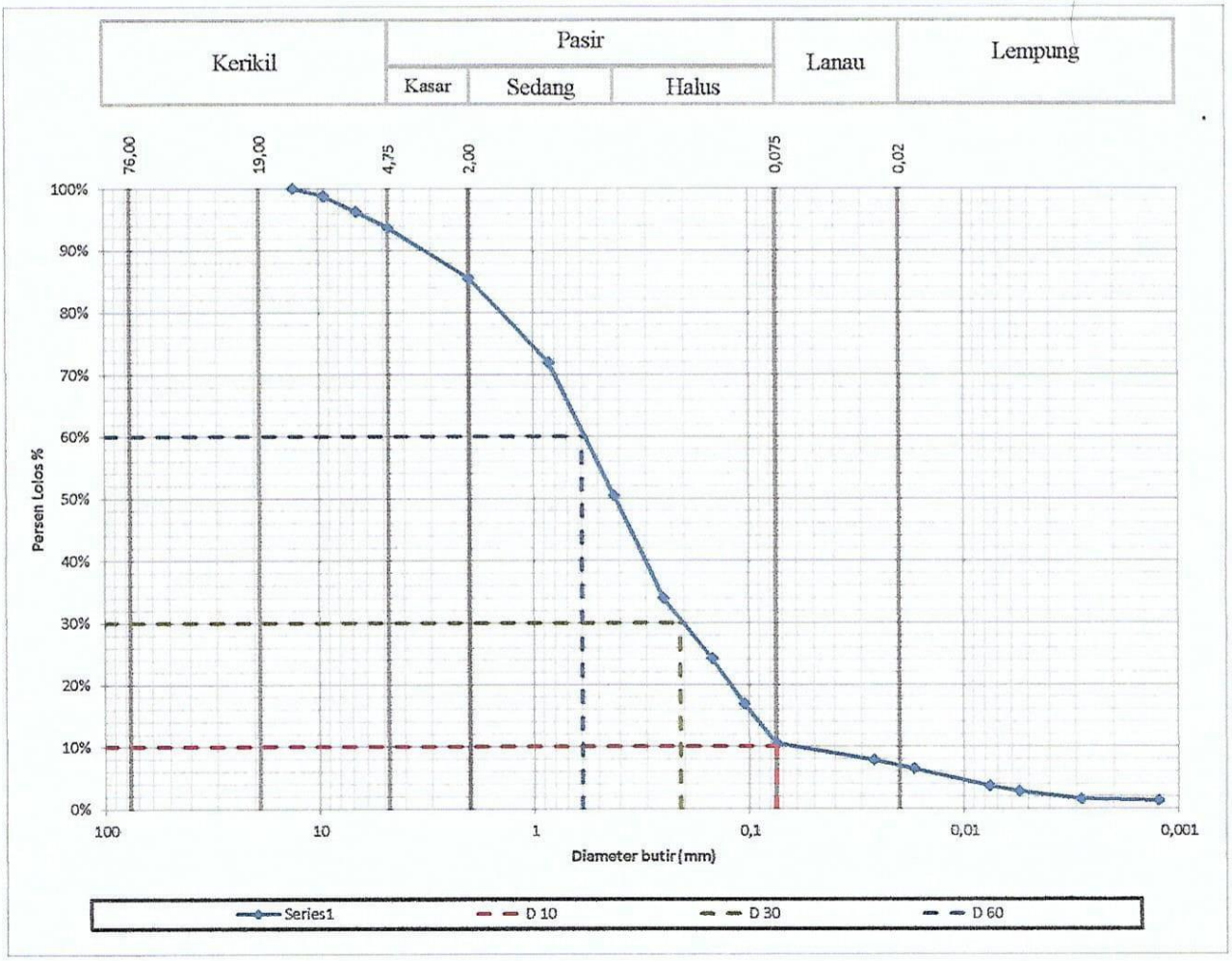
Diketahui Oleh :

(Ir. Akhmad Marzuko, M.T.)

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp (0274) 895042, 895707 fax 895330 Yogyakarta 55584

PENGUJIAN ANALISIS GRANULER
ASTM D - 421- 72

Proyek : Tugas Akhir
Lokasi : JL. Pantai Selatan jawa, Kab. Gunungkidul, Yogyakarta
Dikerjakan : Rikky Prianggara
Tanggal
Sampel : Tanah Asli



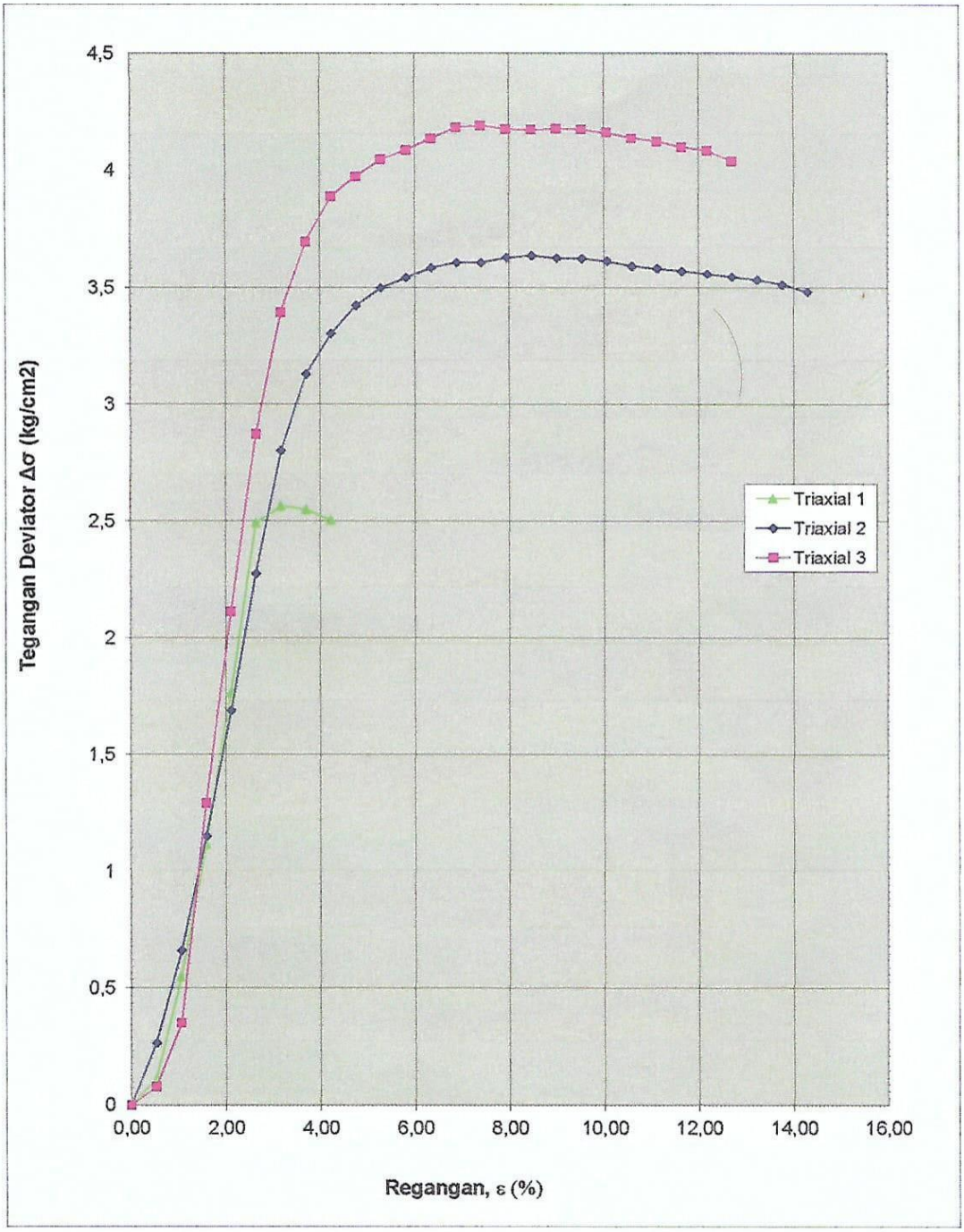
Lolos # 200	10,50%	D10 (mm)	0,0750
Kerikil	6,34%	D30 (mm)	0,2100
Pasir	83,16%	D60 (mm)	0,6000
Lanau	4,07%	Cu =D60/D10	8,000
Lempung	6,43%	Cc = $D30^2$ / (D10 x D60)	0,980

Diperiksa Oleh :

(Ir. Akhmad Marzuko, M.T.)

UJI TRIAXIAL

Poject : Perkuatan Lereng Batuan Menggunakan Bangunan Protesi Rock Shed
Quary : JL. Pantai Selatan Jawa, Kab. Gunungkidul, Yogyakarta
Sample No : Tanah Asli
Test By : Rikky Prianggara
Date



Kepala Laboratorium

Ir. Ahmad Marzuko, MT.

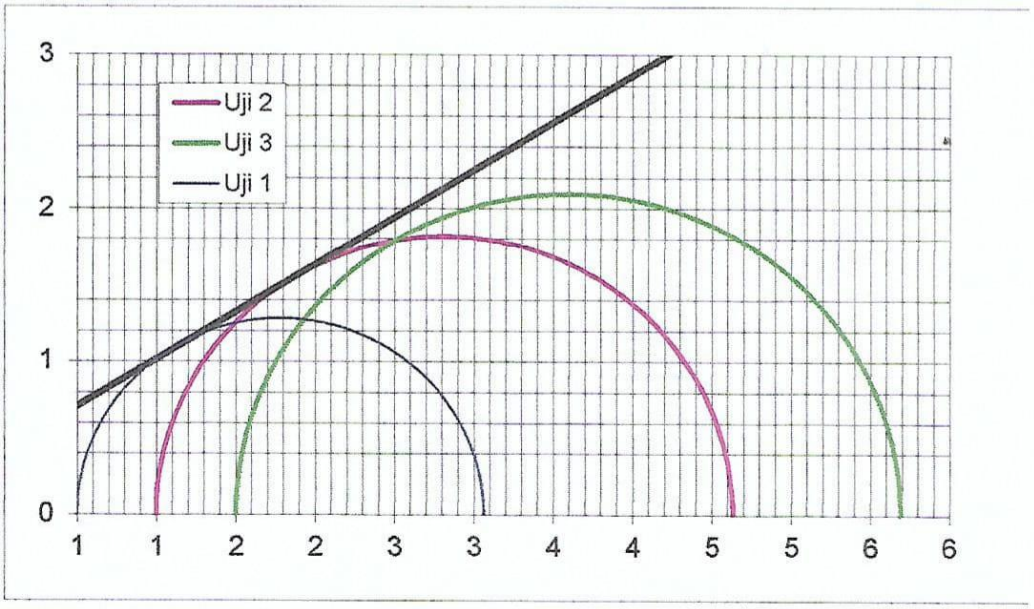
SOIL MECHANIC LABORATORY
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANING
INDONESIAN ISLAMIC UNIVERSITY
Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

TRIAXIAL TEST

Project	:	Perkuatan Lereng Batuan Menggunakan Bangunan Protesi Rock Shed
Quary	:	JL. Pantai Selatan Jawa, Kab. Gunungkidul, Yogyakarta
Sample No	:	Tanah Asli
Test By	:	Rikky Prianggara
Date	:	

PENGUKURAN AWAL	Satuan	Speciment		
		I	II	III
Diameter, D	cm	3,915	3,915	3,915
Tinggi, H	cm	7,550	7,550	7,550
Berat, W	gr	158,670	161,390	159,380
Kadar Air, w	%	29,560	27,560	27,580
Luas, A	cm^2	12,038	12,038	12,038
Volume, V	cm^3	90,887	90,887	90,887
Berat Isi Basah, γ	gr/cm^3	1,746	1,776	1,754
Berat Isi Kering, γd	gr/cm^3	1,347	1,392	1,375
Angke Pori, e				

Pembebanan	Satuan	Speciment		
		I	II	III
Tegangan Keliling, σ_3	kg/cm^2	0,500	1,000	1,500
Teg Geser Max, $\Delta\sigma$	kg/cm^2	3,634	4,191	2,563
Teg Utama σ_1	kg/cm^2	4,134	5,191	4,063



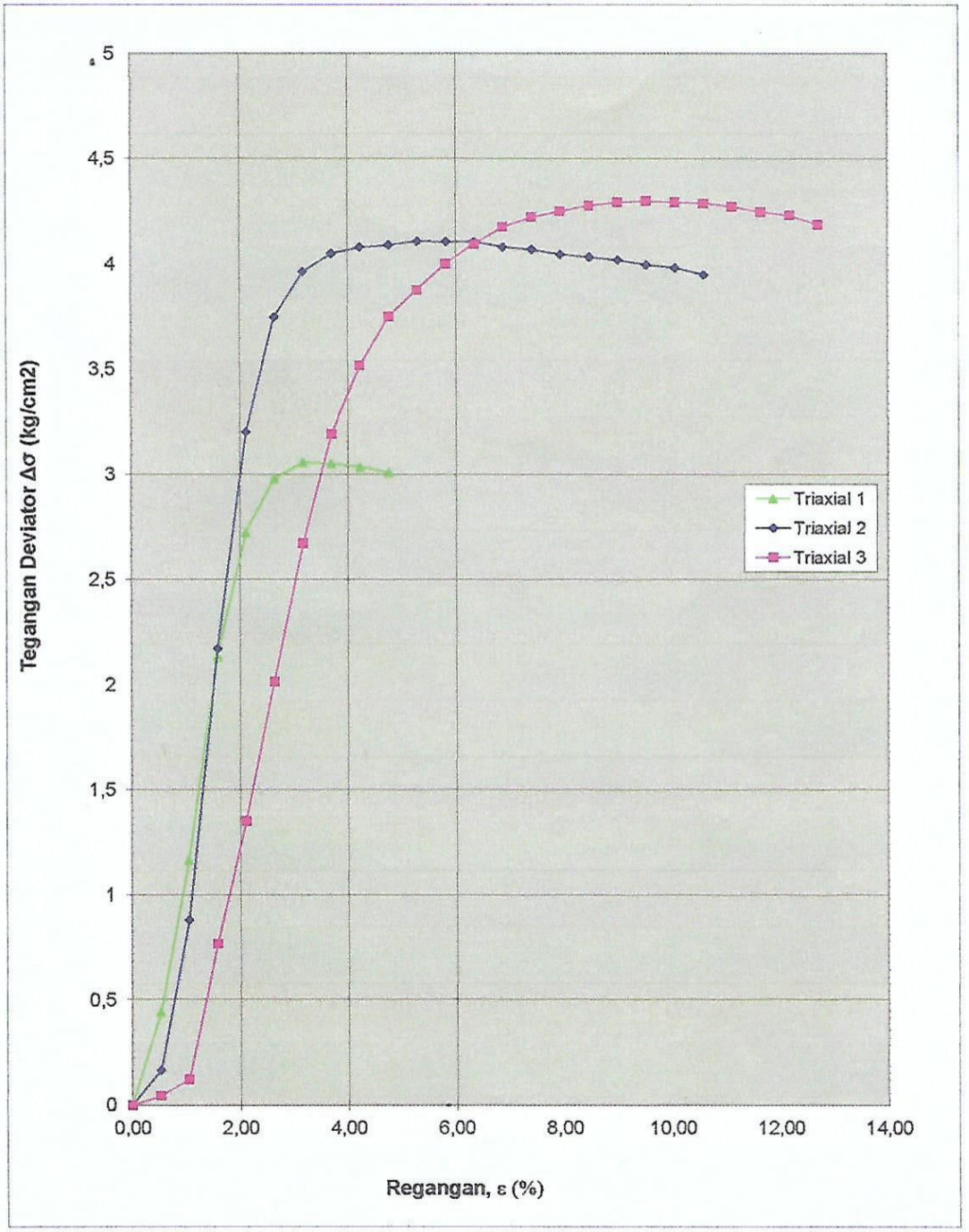
Sudut geser dalam, ϕ	31,66	°
kohesi, c	0,4	kg/cm^2

Kepala Laboratorium

Ir. Akhmad Marzuko, M.T.

UJI TRIAXIAL

Poject : Perkuatan Lereng Batuan Menggunakan Bangunan Protesi Rock Shed
Quary : JL. Pantai Selatan Jawa, Kab. Gunungkidul, Yogyakarta
Sample No : Tanah Asli
Test By : Rikky Prianggara
Date



Kepala Laboratorium

Ir. Akhmad Marzuko, MT.

SOIL MECHANIC LABORATORY
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANING
INDONESIAN ISLAMIC UNIVERSITY

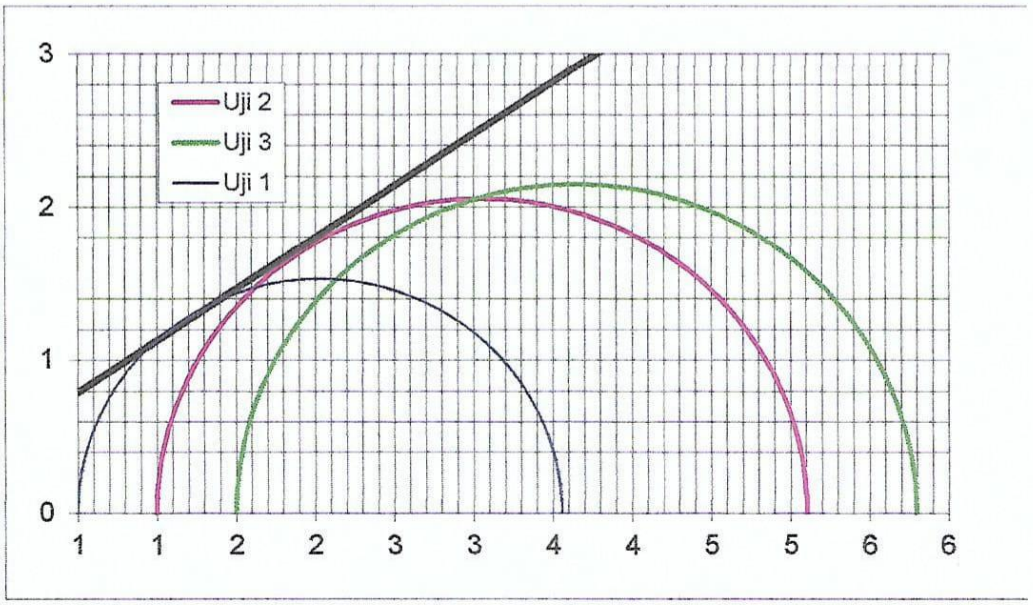
Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

TRIAXIAL TEST

Project	:	Perkuatan Lereng Batuan Menggunakan Bangunan Protesi Rock Shed
Quary	:	JL. Pantai Selatan Jawa, Kab. Gunungkidul, Yogyakarta
Sample No	:	Tanah Asli
Test By	:	Rikky Prianggara
Date	:	

PENGUKURAN AWAL	Satuan	Speciment		
		I	II	III
Diameter, D	cm	3,915	3,915	3,915
Tinggi, H	cm	7,550	7,550	7,550
Berat, W	gr	160,850	167,210	161,530
Kadar Air, w	%	29,560	27,560	27,580
Luas, A	cm^2	12,038	12,038	12,038
Volume, V	cm^3	90,887	90,887	90,887
Berat Isi Basah, γ	gr/cm^3	1,770	1,840	1,777
Berat Isi Kering, γd	gr/cm^3	1,366	1,442	1,393
Angke Pori, e				

Pembebanan	Satuan	Speciment		
		I	II	III
Tegangan Keliling, σ_3	kg/cm^2	0,500	1,000	1,500
Teg Geser Max, $\Delta\sigma$	kg/cm^2	4,108	4,297	3,059
Teg Utama σ_1	kg/cm^2	4,608	5,297	4,559



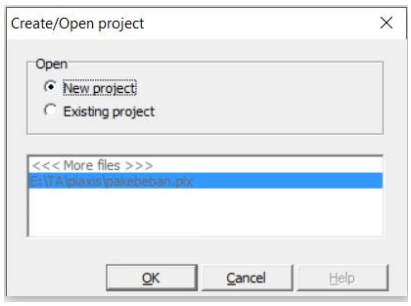
Sudut geser dalam, ϕ	34,02	°
kohesi, c	0,45	kg/cm^2

Kepala Laboratorium

Ir. Akhmad Marzuko, M.T.

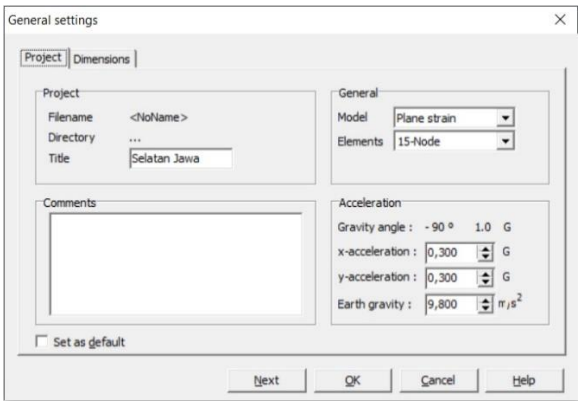
Lampiran 3. Proses Analisis Stabilitas Lereng Pada Program Plaxis 8.2

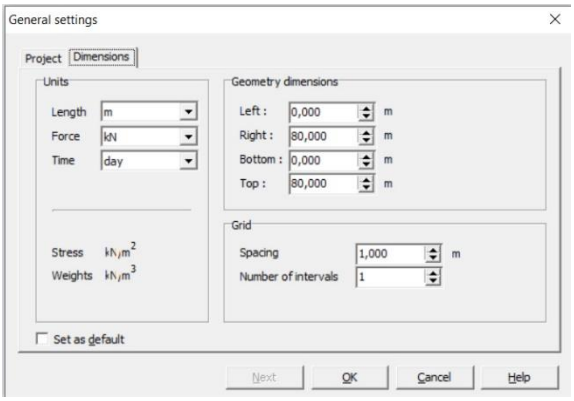
1. Buka program Plaxis, klik *New Project*



Kemudian Klik Ok

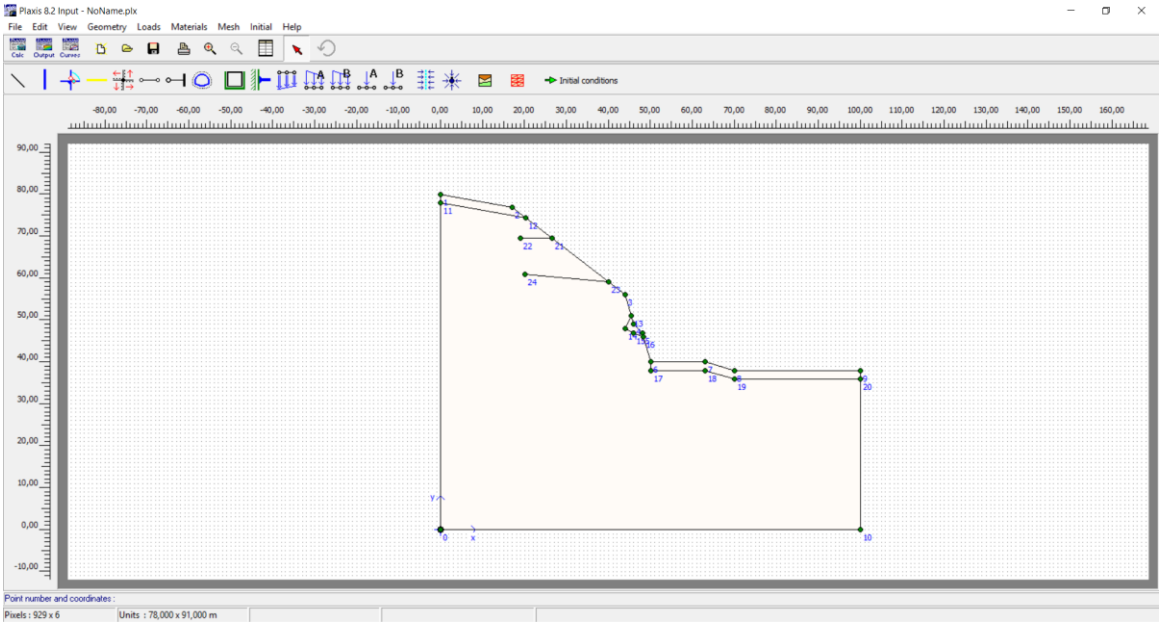
2. Klik *File* → *General Setting*, lalu input data sesuai perencanaan agar pemodelan analisa elemen dapat lebih detail, pada bagian *x-acceleration* dan *y-acceleration* merupakan nilai beban gempa yang direncanakan.

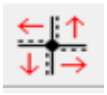


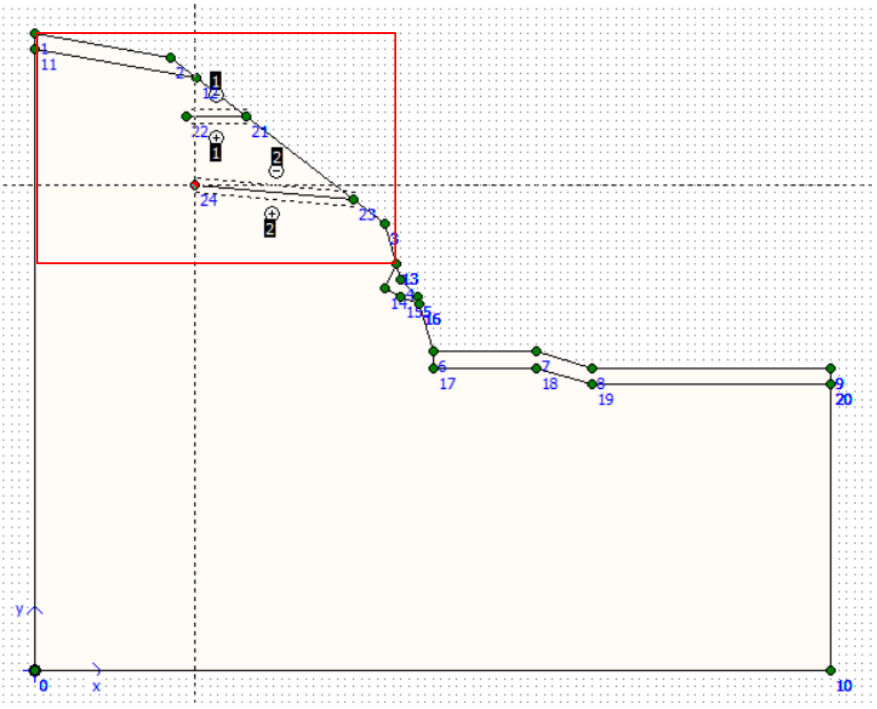


Klik Ok.

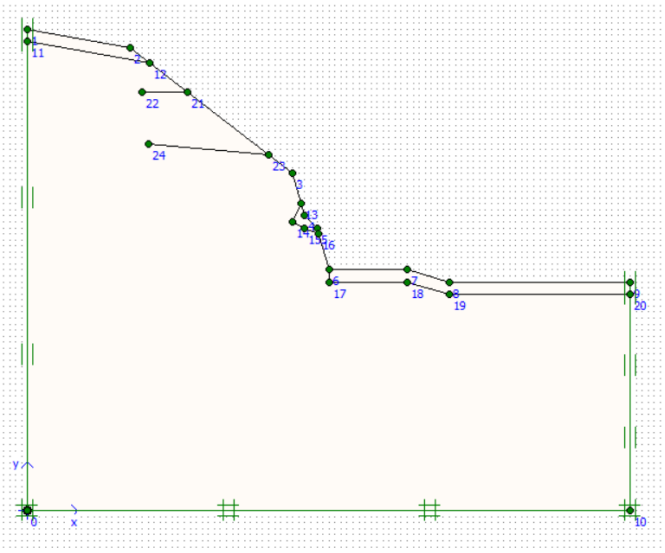
3. Lalu, gunakan Geometry Line  untuk menggambar geometri lereng, atau geometri juga dapat ditentukan dengan menggunakan input berdasarkan titik di sumbu kartesius.



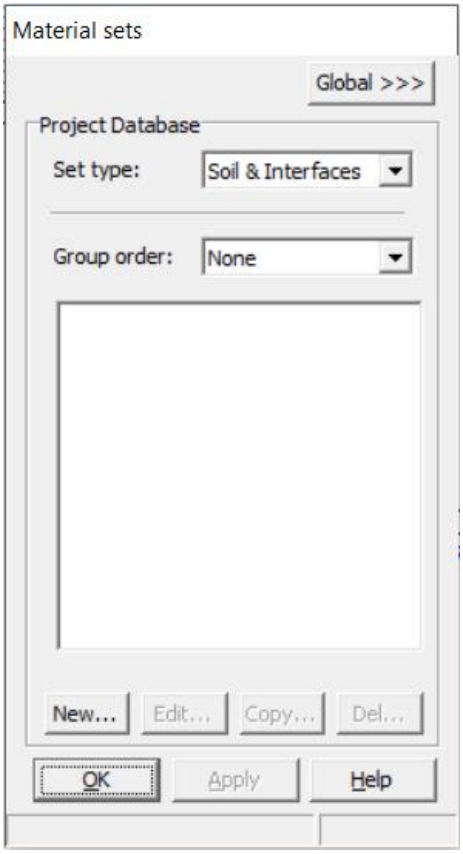
4. Gunakan Interface  untuk memberi perlemahan atau retakan pada beberapa bagian lereng yang telah direncanakan.



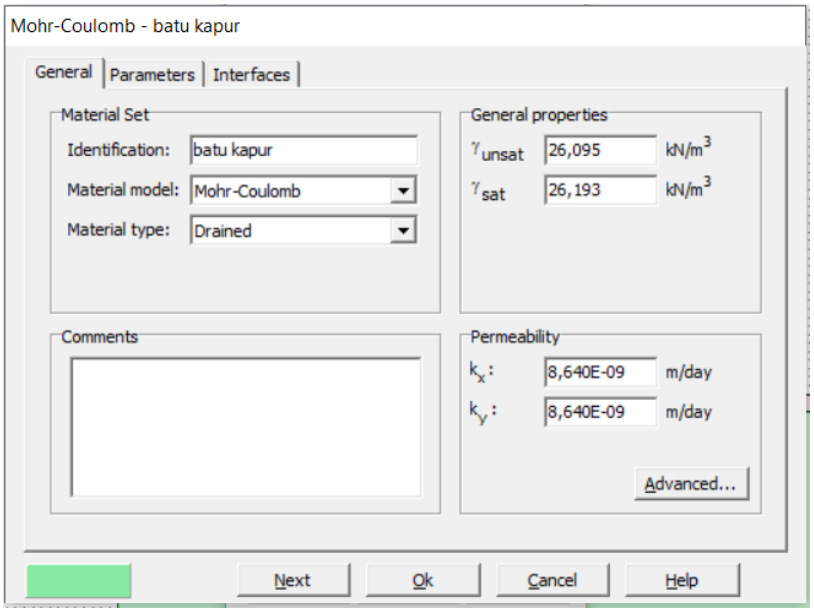
5. Klik *Standard Fixities*  untuk membatasi daerah yang dianalisa oleh Plaxis.

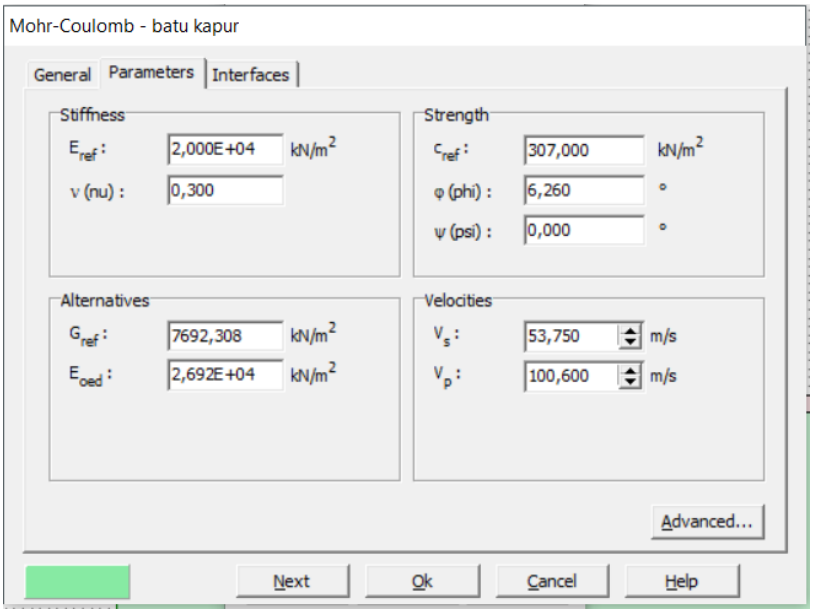


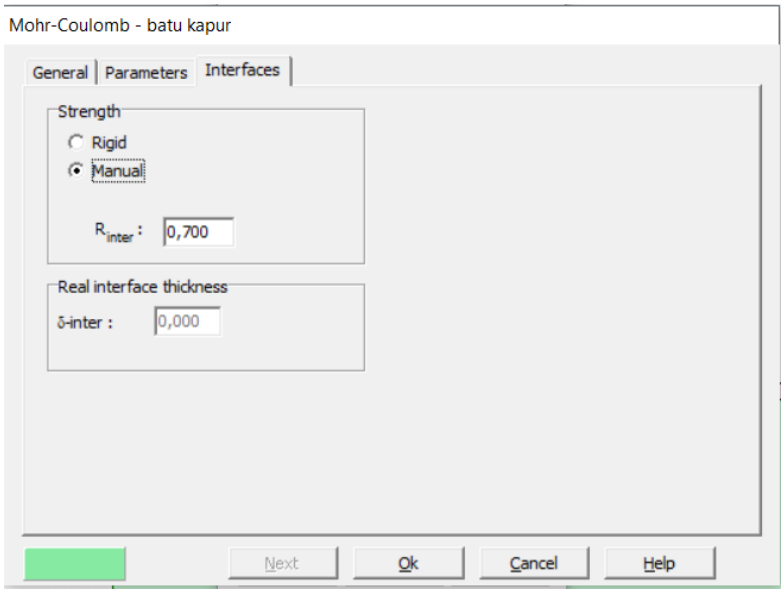
6. Input data material dengan, klik *Materials* → *Soil & Interfaces...*



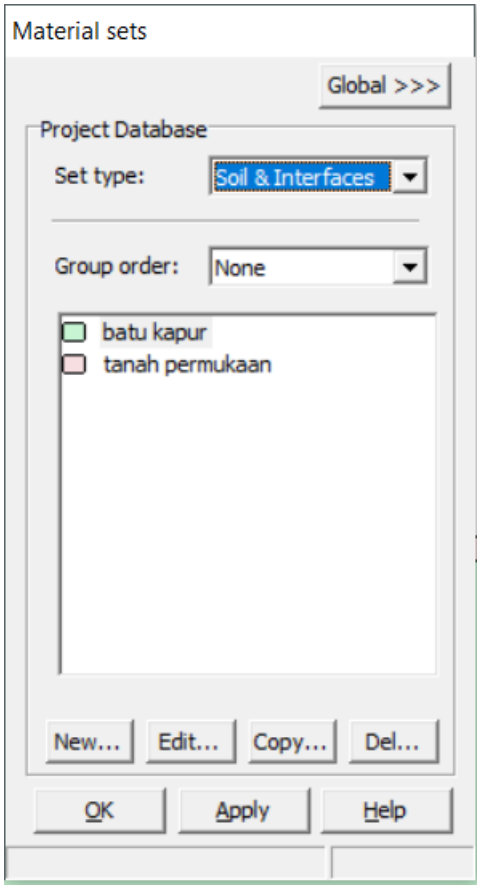
Klik *New*, lalu input data parameter batuan penyusun lereng pada Tab *General*, *Parameters*, dan *Interfaces*.



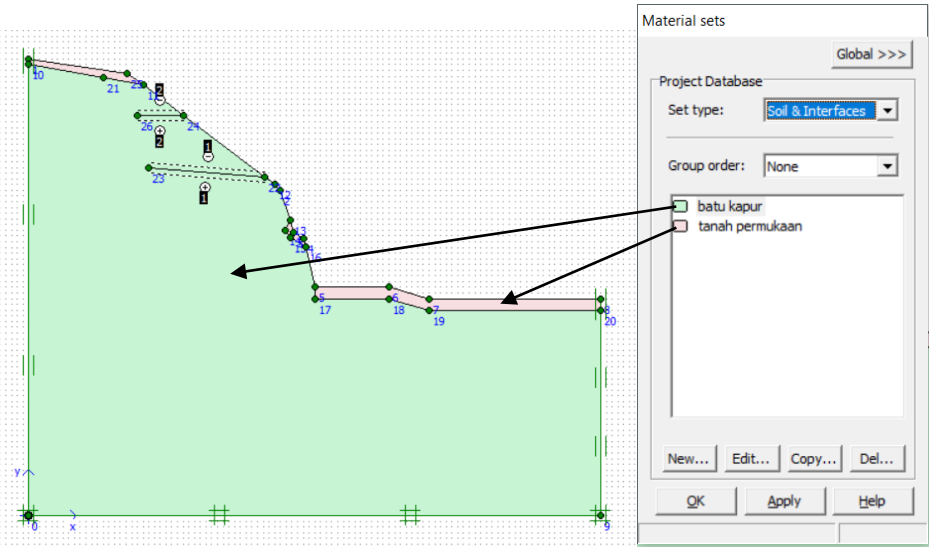




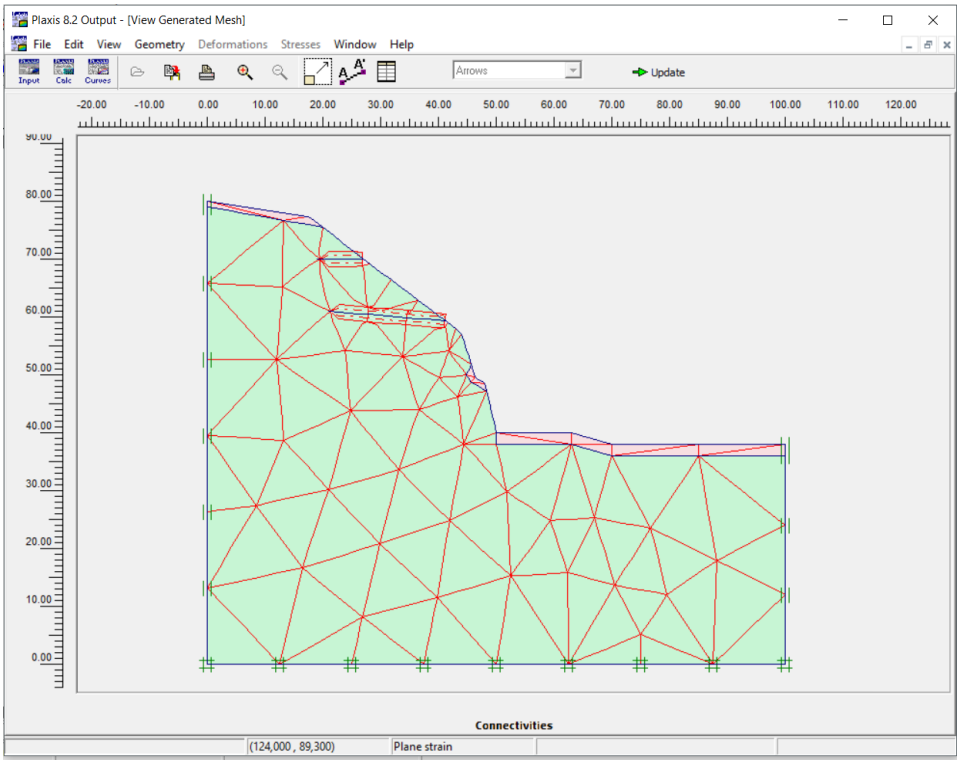
Klik Ok. Lakukan hal yang sama untuk input data parameter tanah, sehingga Material sets penyusun lereng menjadi seperti gambar berikut ini.



Pindahkan dengan cara menarik (*drag*) material penyusun lereng ke geometri lereng seperti pada gambar berikut ini.



7. Lakukan *Generate Mesh*  sehingga akan muncul hasil seperti gambar dibawah ini,

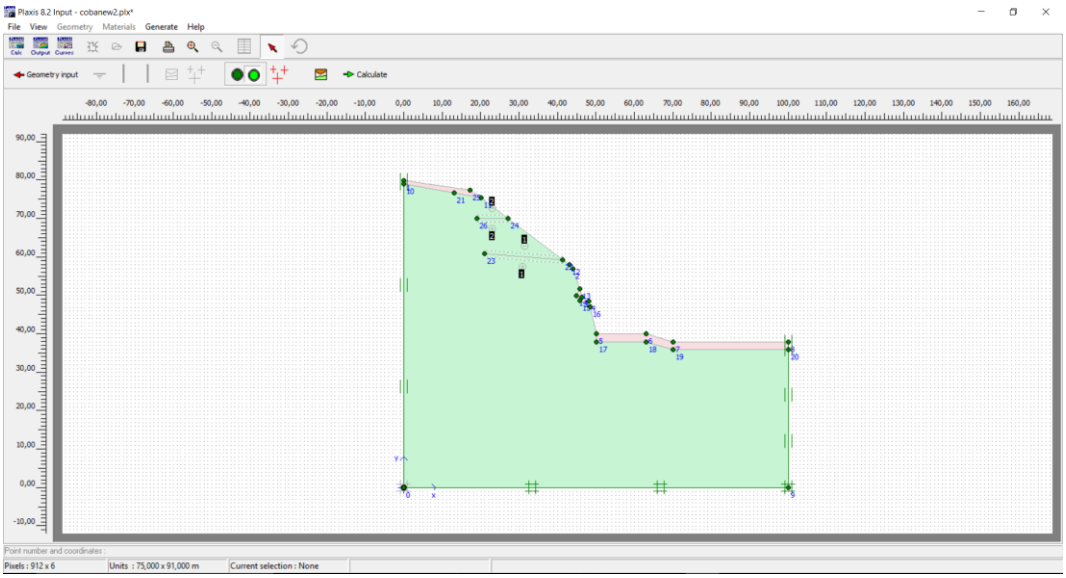


lalu klik *Update*

8. Input kondisi awal dengan klik *Initial condition.*

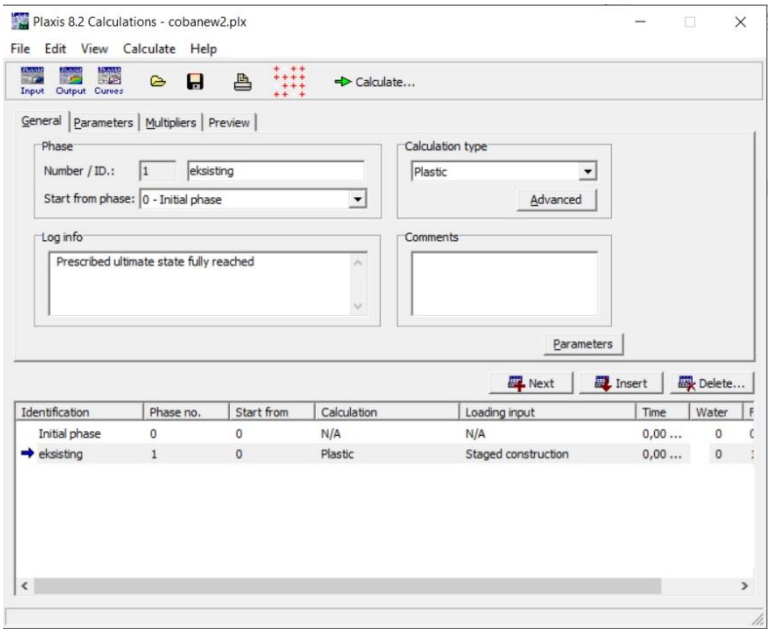


Non-aktifkan facing dan tanah timbunan. Klik pada initial pore pressure  sehingga warna menjadi hilang.

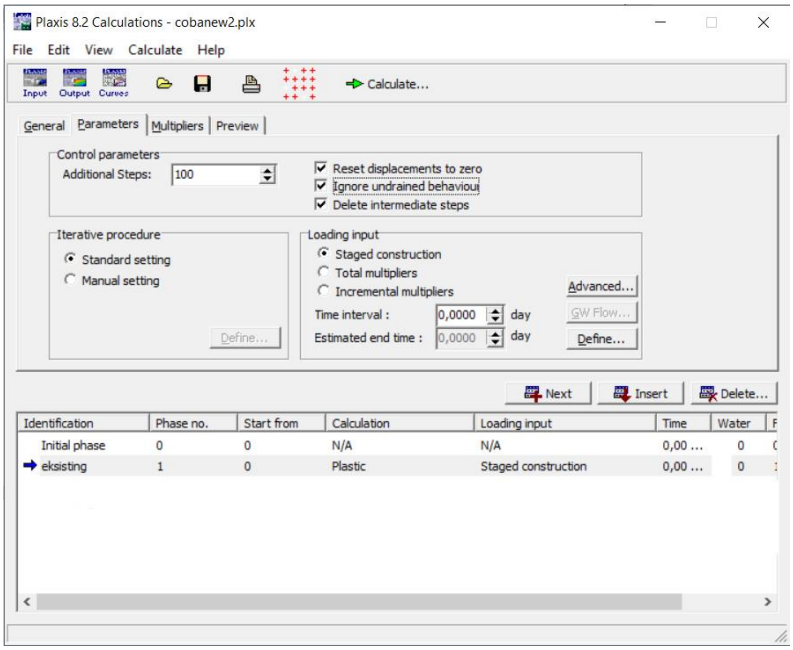


Klik *update.*

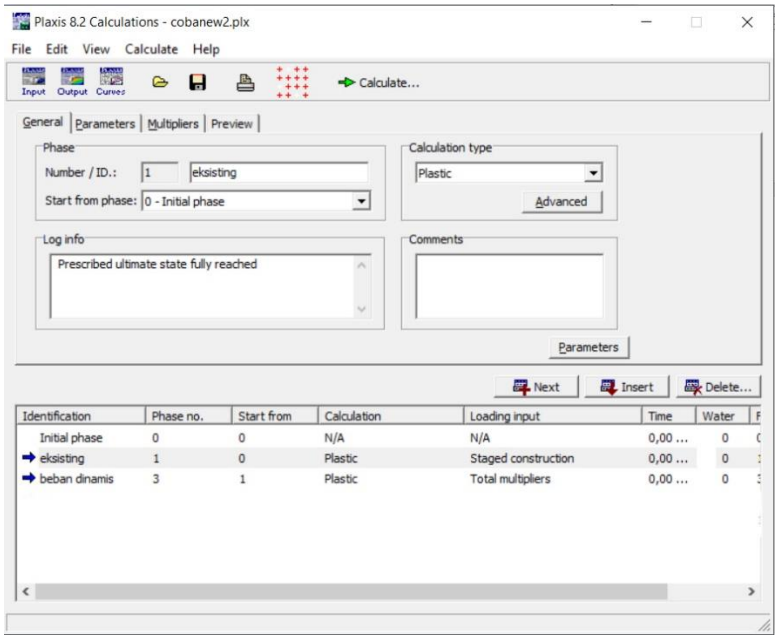
9. Klik *Calculation*, untuk memulai proses perhitungan.



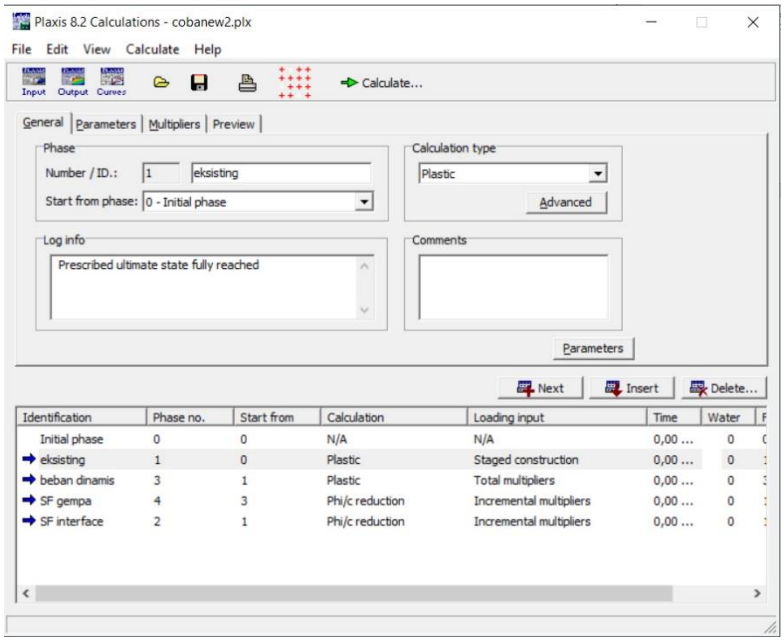
Pilih *calculation type plastic*, selanjutnya beri nama fase 1, *eksisting*, lalu klik *parameter*, isi sesuai perencanaan.



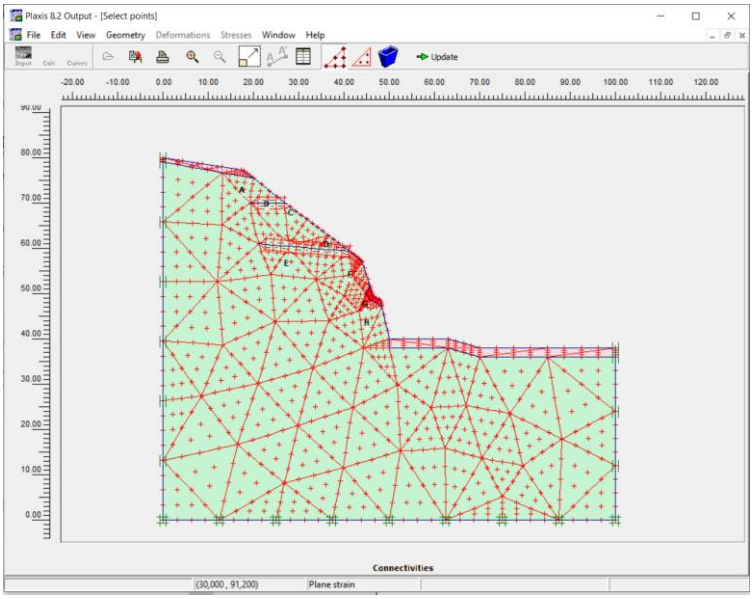
10. Klik *Insert* untuk menambahkan kondisi lereng yang telah direncanakan, dan lakukan langkah yang sama seperti pada langkah no. 9, sehingga akan terlihat seperti pada gambar berikut ini.



11. Klik *Next*, untuk mencari angka aman dari setiap kondisi lereng, beri nama SF dan pilih *calculation type phi/chi reduction* dan pilih *Start from phase* tergantung kondisi lereng yang ditinjau.

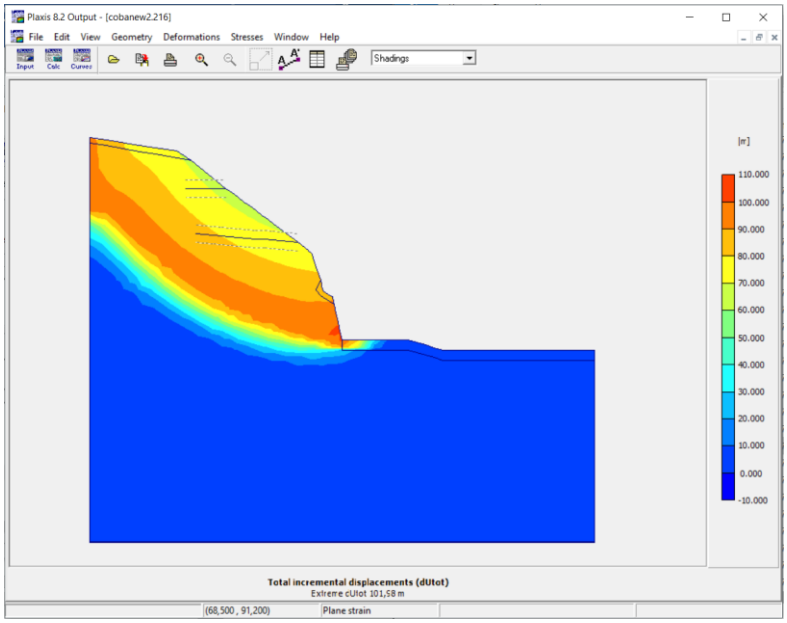


12. Klik select *points for curves*  untuk menentukan titik lokasi pada lereng yang ditinjau keamanannya.

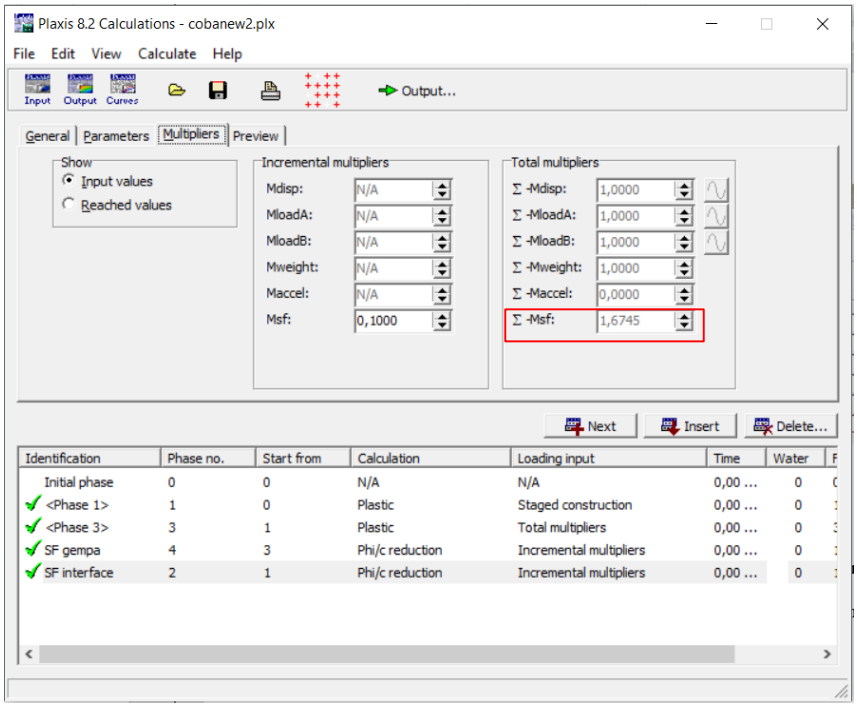


Pilih titik lokasi dan klik *Update*

13. Klik *Calculate*, sehingga Plaxis akan menghitung faktor keamanan pada lereng yang telah didesain. Klik Output untuk memunculkan gambar hasil analisis Plaxis, seperti pada gambar berikut ini.



14. Klik pada bar *Multipliers*, untuk melihat angka aman pada lereng kondisi yang dipilih.

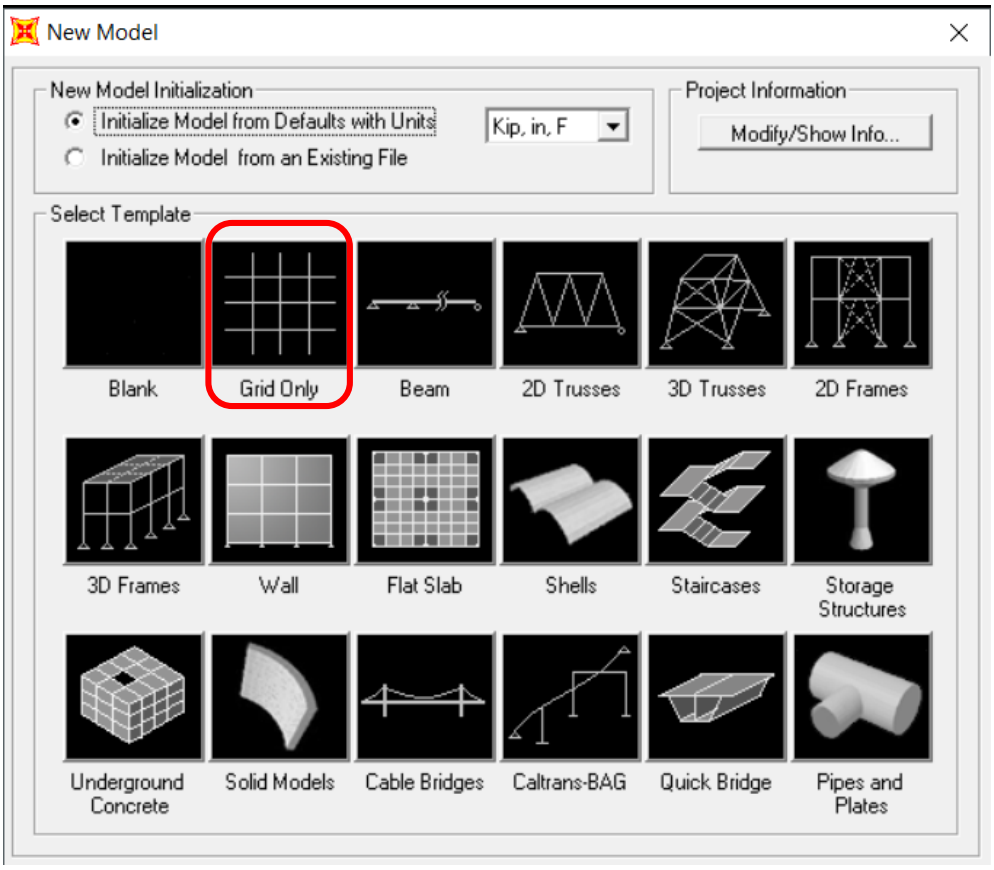


Lampiran 4. Proses Analisis Desain *Rock Shed* Pada Program SAP2000

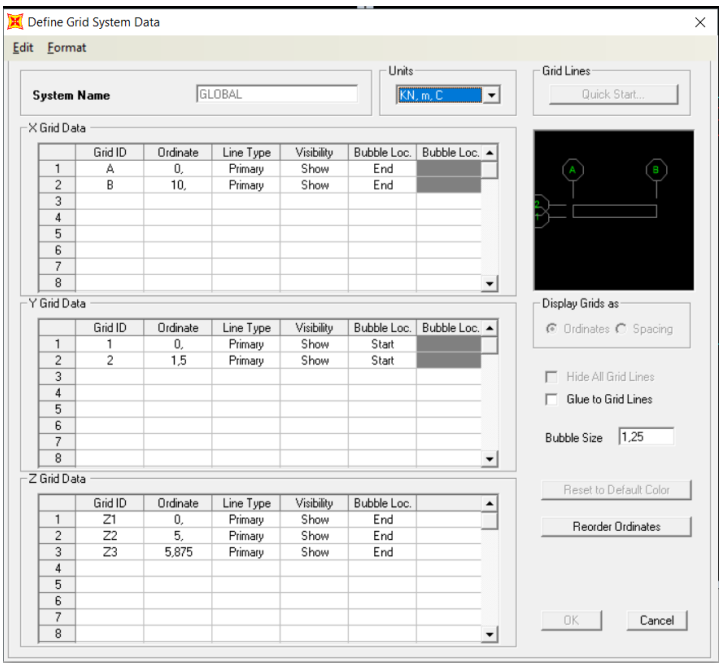
1. Buka program SAP2000



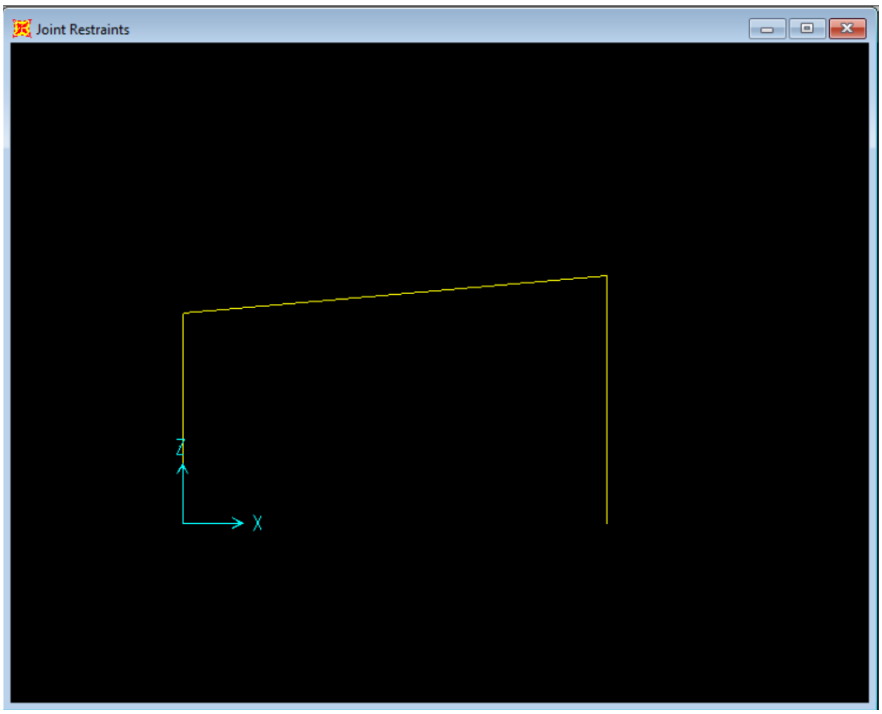
2. Klik New Model → Grid Only



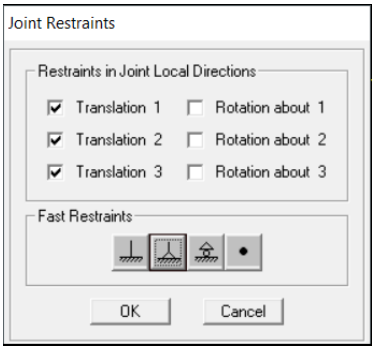
3. Klik kanan → Edit Grid Data, untuk menentukan koordinat gambar rencana *Rock shed*



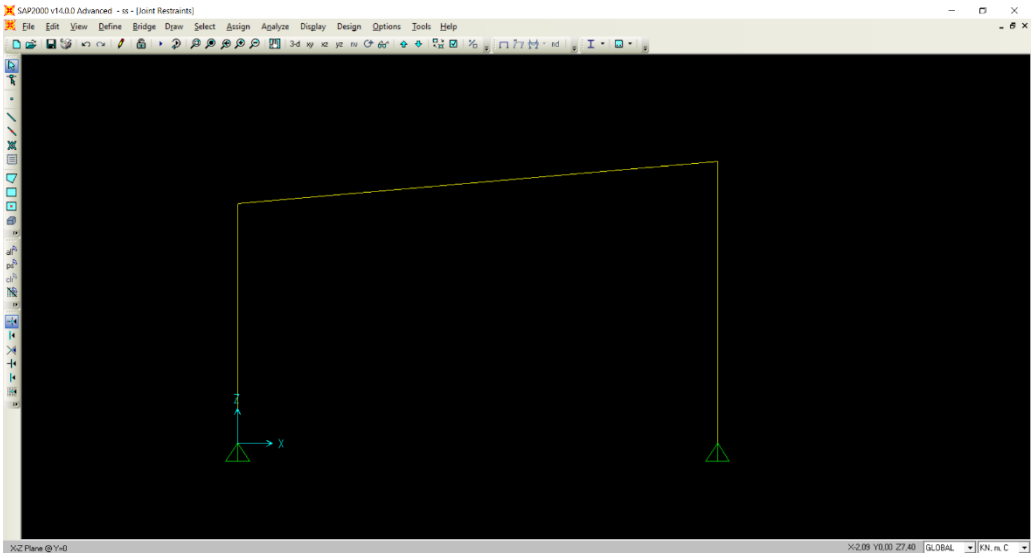
4. Gambar desain rencana menggunakan Draw Frame



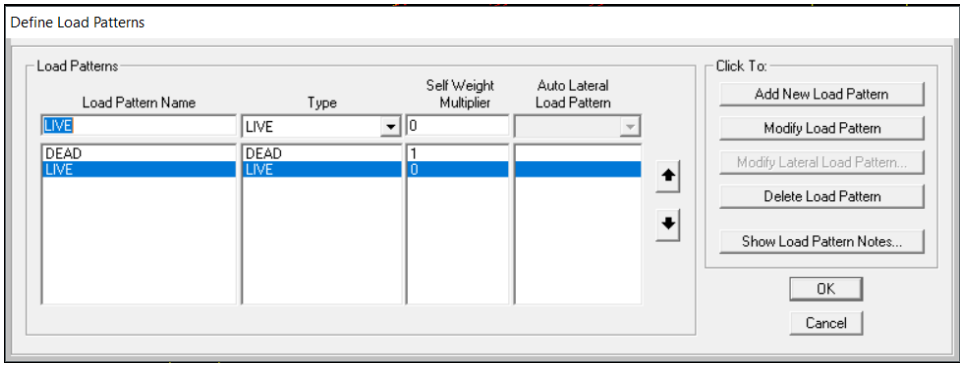
5. Klik Assign → Joint → Restraints, untuk menentukan jenis tumpuan yang digunakan, pada penelitian ini digunkaan *rock shed* dengan tumpuan sendi



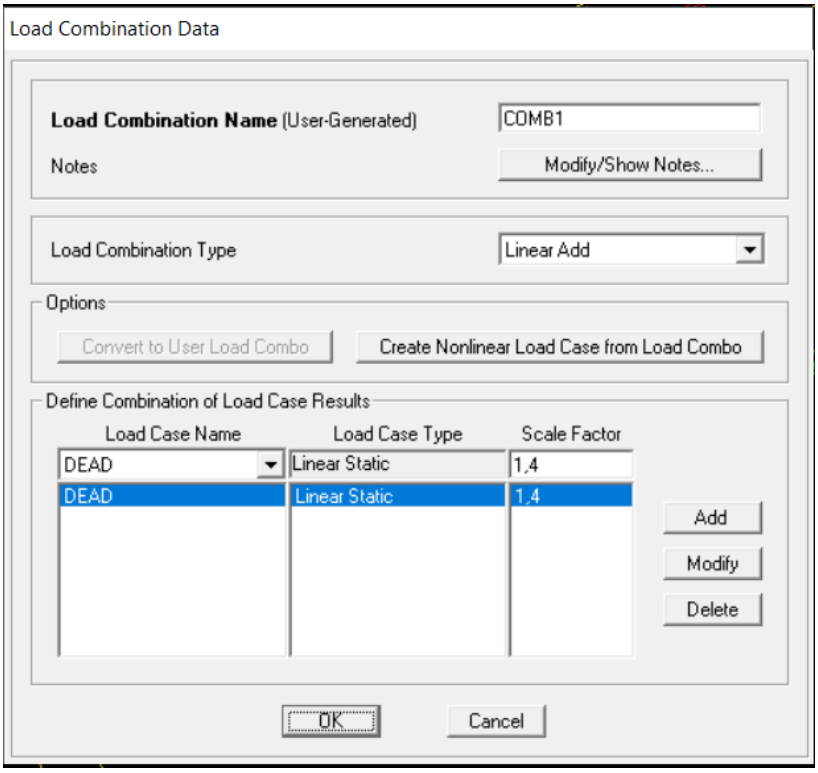
6. Tentukan jenis tumpuan yang digunakan lalu klik OK

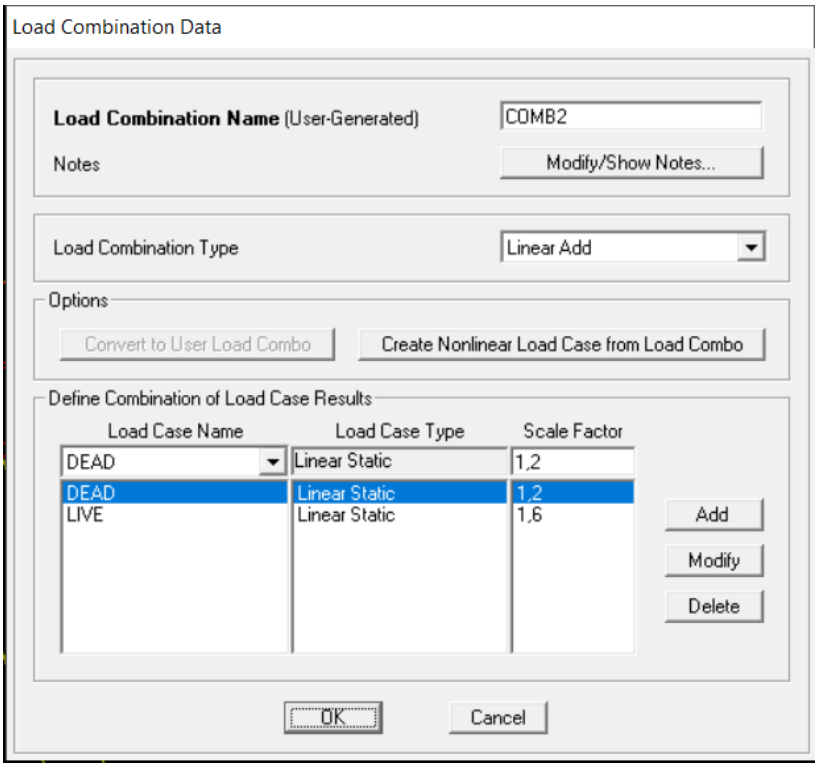


7. Klik Define → Load Pattern, unutk menentukan jenis beban yang bekrja pada *rock shed*

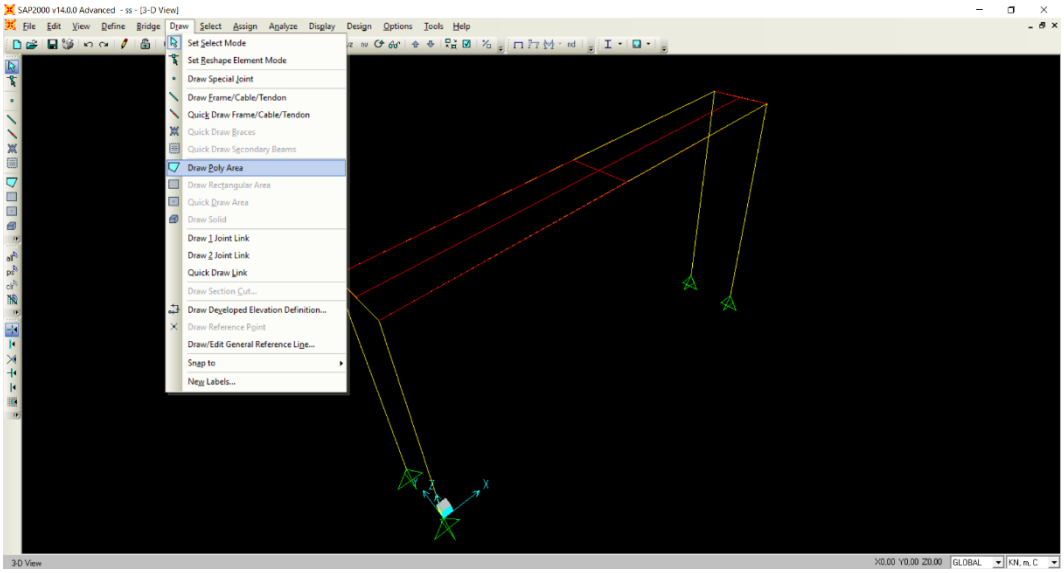


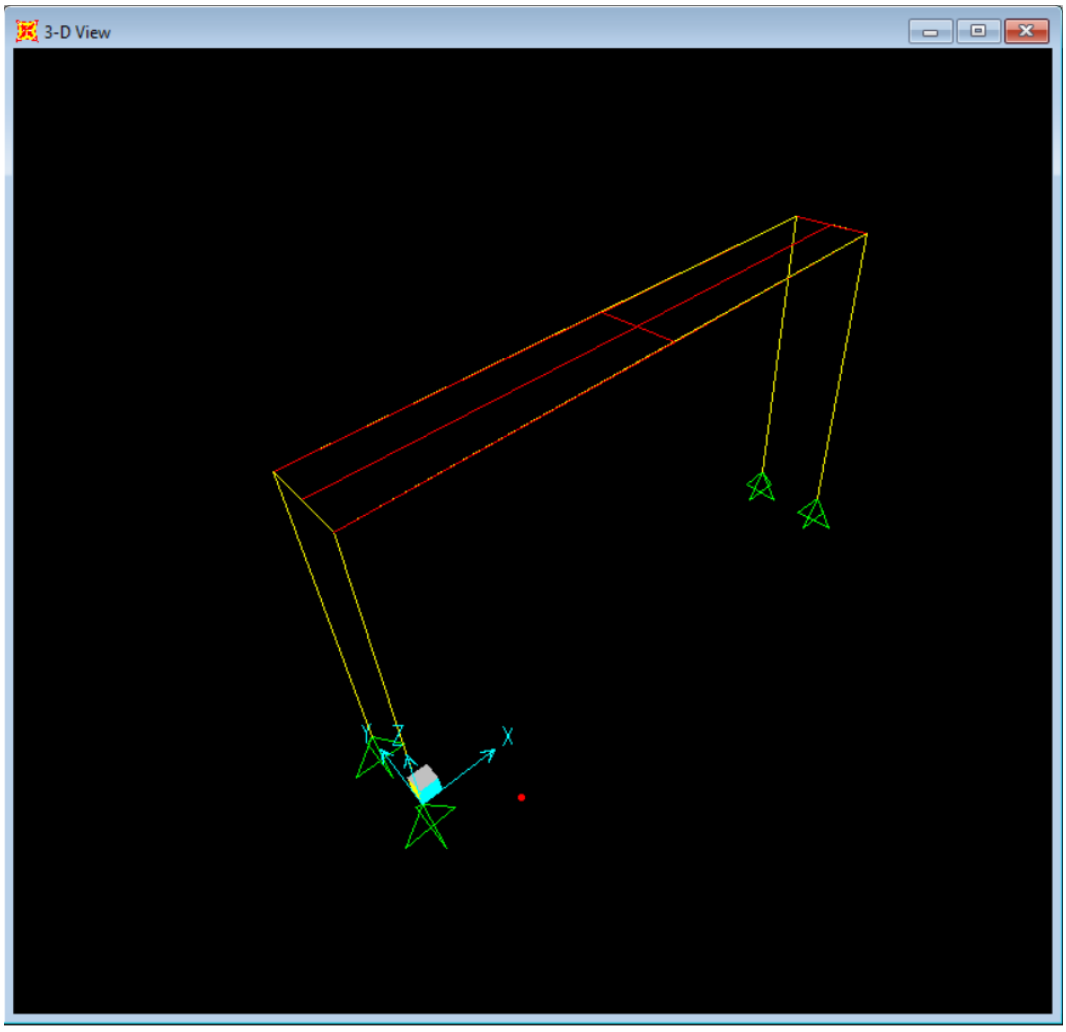
8. Menentukan kombinasi beban yang digunakan, Klik Define → Load Combination →Add New Combo,



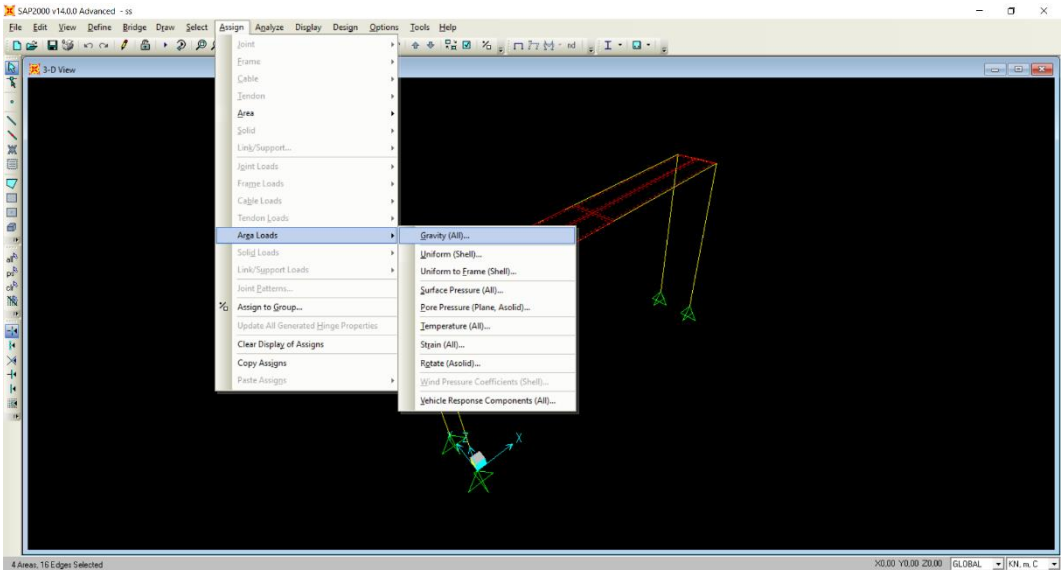


9. Klik Draw → Draw Poly Area

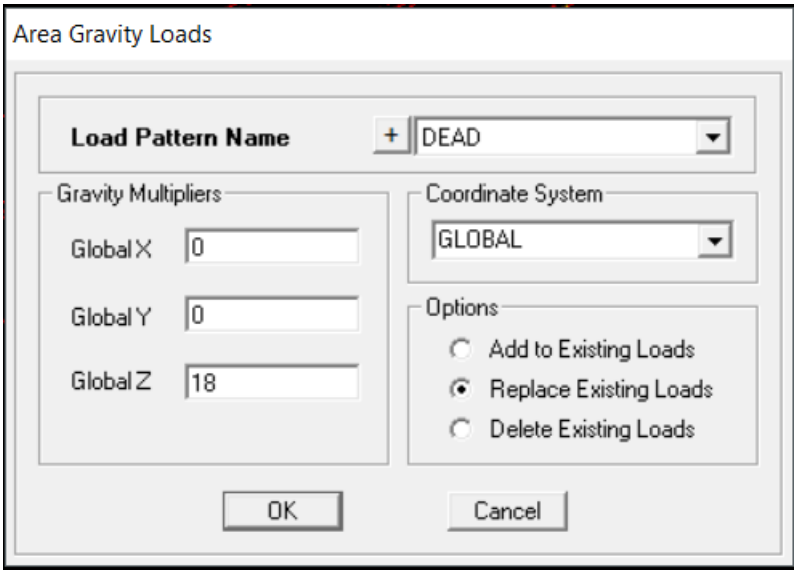




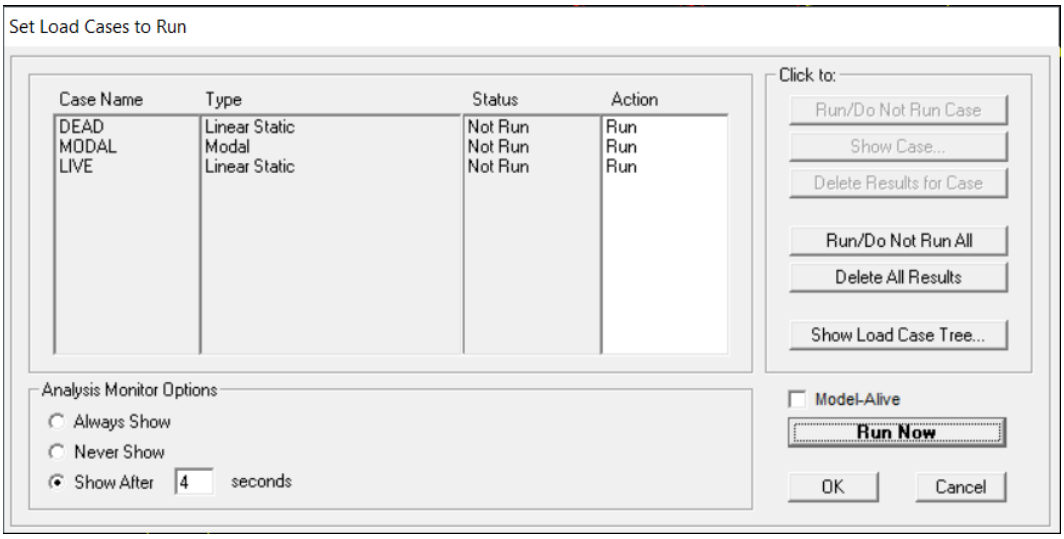
10. Klik Assign → Area Loads → Gravity



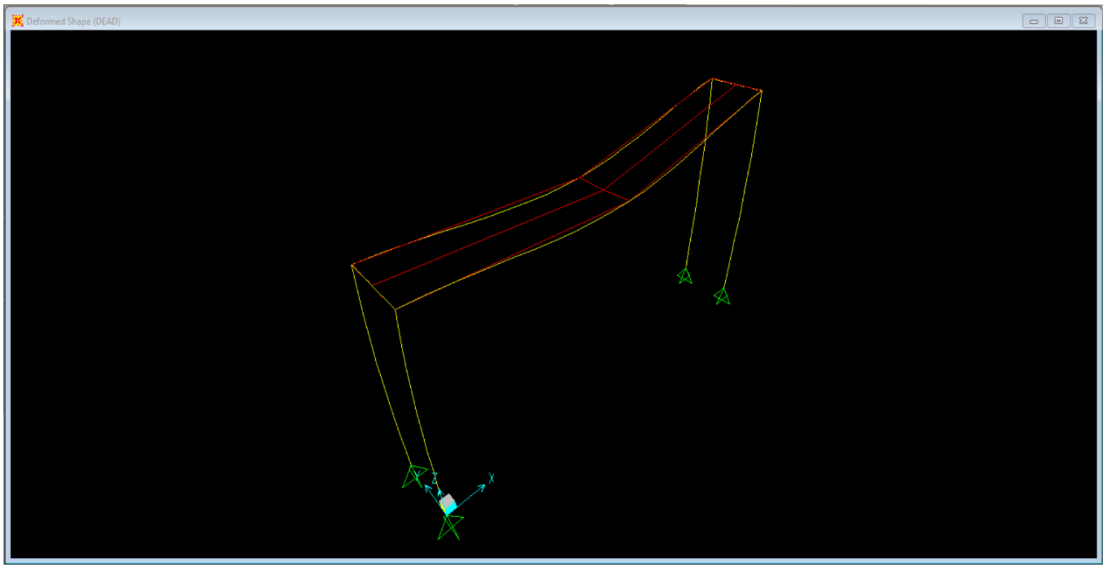
11. Setelah Klik Gravity, input beban yang bekerja pada koordinat yang tegak lurus gambar desain (Koordinat Global Z)



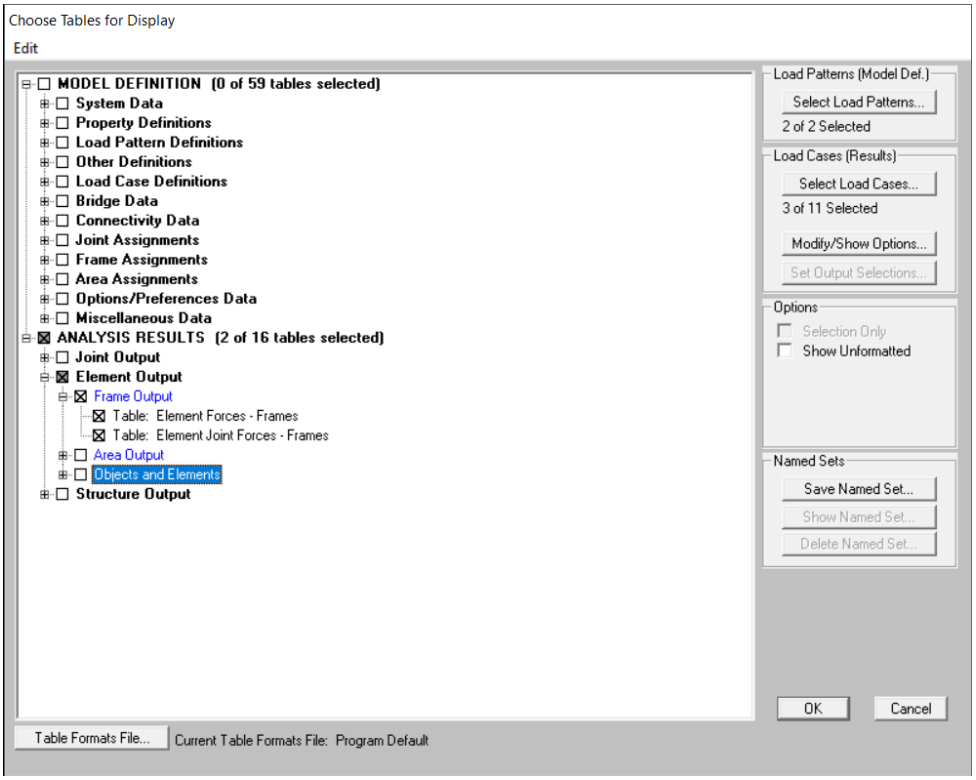
12. Setelah meginput beban-beban yang bekerja → klik Analyze → Run Analysis



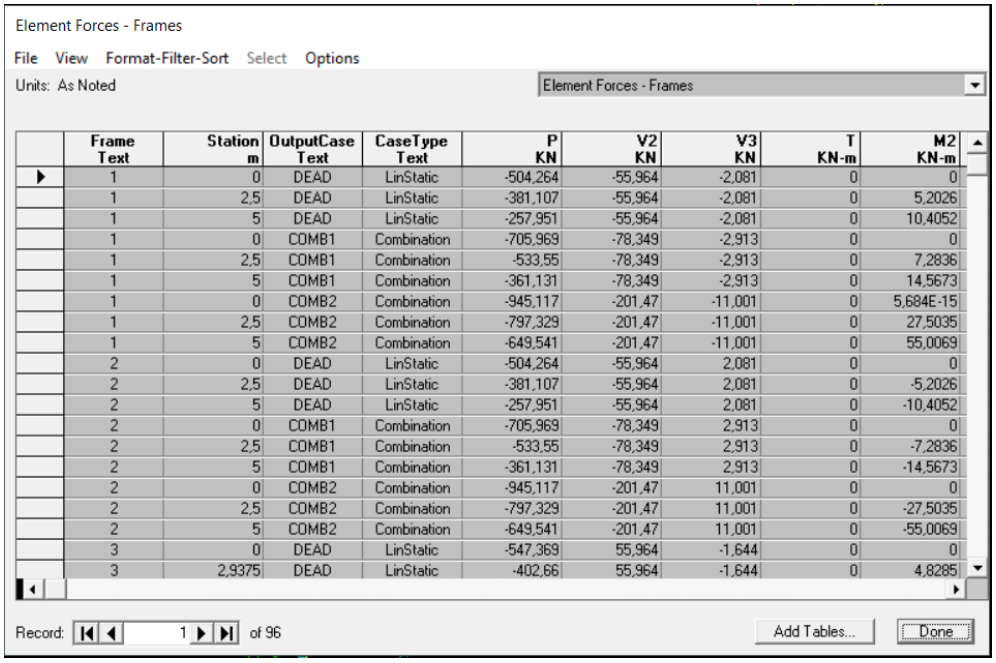
13. Berikut adalah gambar hasil analysis pada desain yang telah direncanakan.



14. Untuk ouput hasil analisis, klik Display → show tables →klik elemen output → klik frame output → klik OK



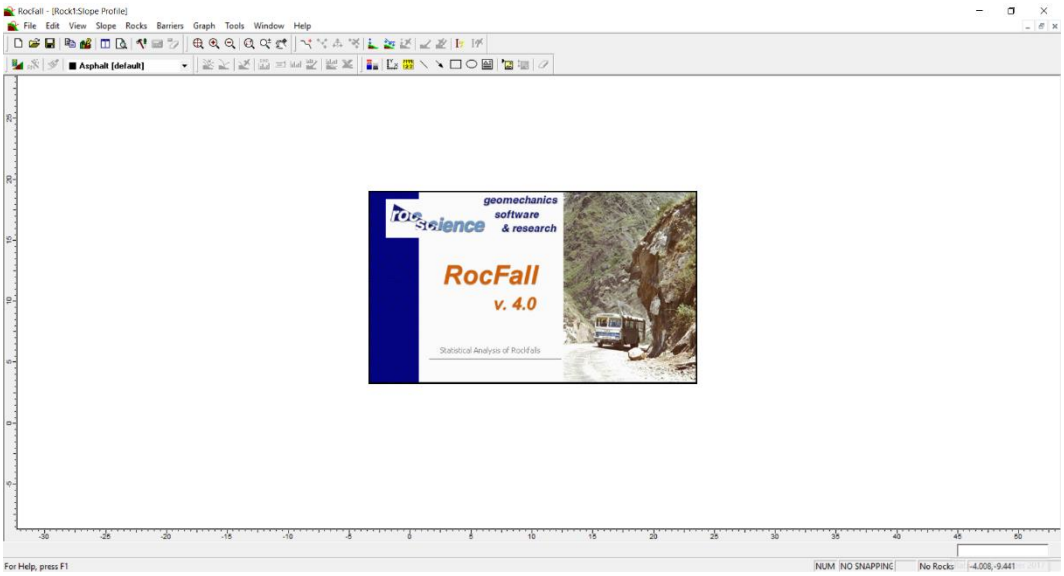
15. Sehingga muncul output data gaya aksial P, gaya geser (V2 dan V3), Torsi, serta momen yang bekerja.



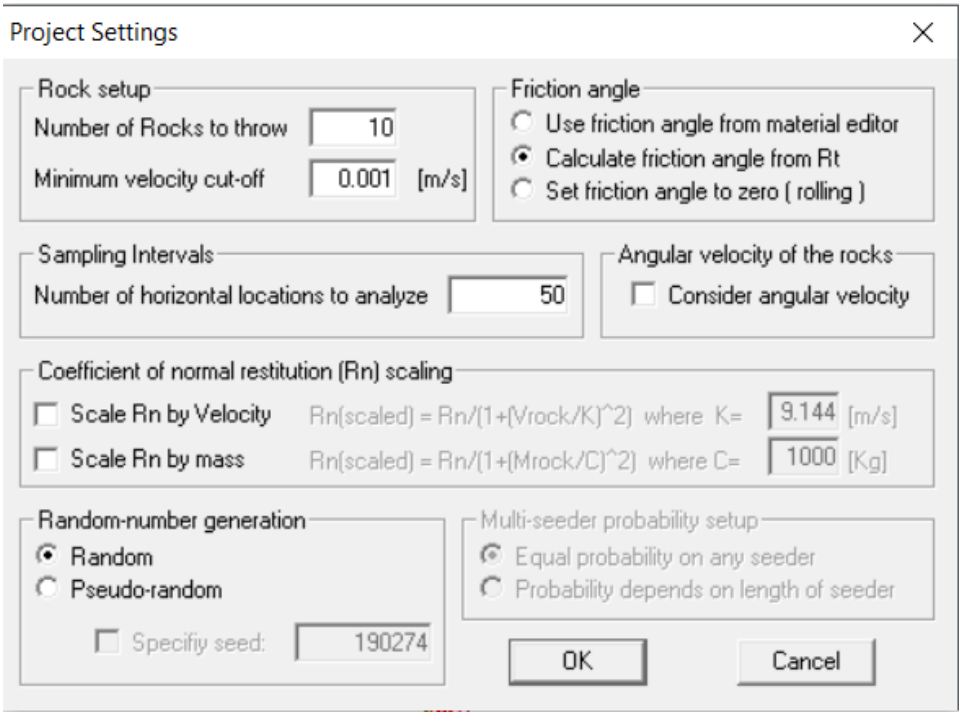
Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN	T KN-m	M2 KN-m
1	0	DEAD	LinStatic	-504,264	-55,964	-2,081	0	0
1	2,5	DEAD	LinStatic	-381,107	-55,964	-2,081	0	5,2026
1	5	DEAD	LinStatic	-257,951	-55,964	-2,081	0	10,4052
1	0	COMB1	Combination	-705,969	-78,349	-2,913	0	0
1	2,5	COMB1	Combination	-533,55	-78,349	-2,913	0	7,2836
1	5	COMB1	Combination	-361,131	-78,349	-2,913	0	14,5673
1	0	COMB2	Combination	-945,117	-201,47	-11,001	0	5,684E-15
1	2,5	COMB2	Combination	-797,329	-201,47	-11,001	0	27,5035
1	5	COMB2	Combination	-649,541	-201,47	-11,001	0	55,0069
2	0	DEAD	LinStatic	-504,264	-55,964	2,081	0	0
2	2,5	DEAD	LinStatic	-381,107	-55,964	2,081	0	-5,2026
2	5	DEAD	LinStatic	-257,951	-55,964	2,081	0	-10,4052
2	0	COMB1	Combination	-705,969	-78,349	2,913	0	0
2	2,5	COMB1	Combination	-533,55	-78,349	2,913	0	-7,2836
2	5	COMB1	Combination	-361,131	-78,349	2,913	0	-14,5673
2	0	COMB2	Combination	-945,117	-201,47	11,001	0	0
2	2,5	COMB2	Combination	-797,329	-201,47	11,001	0	-27,5035
2	5	COMB2	Combination	-649,541	-201,47	11,001	0	-55,0069
3	0	DEAD	LinStatic	-547,369	55,964	-1,644	0	0
3	2,9375	DEAD	LinStatic	-402,66	55,964	-1,644	0	4,8285

Lampiran 5. Proses Simulasi Jatuhan Batuan Dengan Program RocFall v.4.0

1. Buka Program RocFall

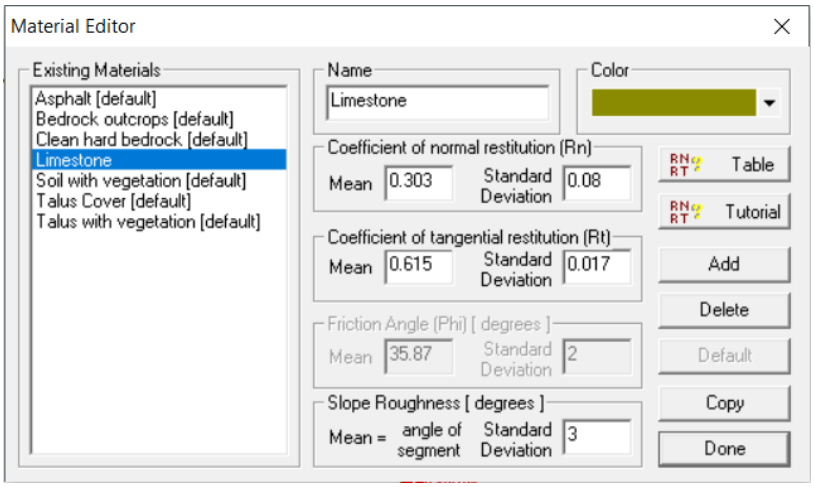


2. Klik *Rocks* → *Project Settings...*, masukkan data sesuai perencanaan, jumlah batu yang akan jatuh diasumsikan sebanyak 10 batuan



Klik OK

3. Klik *Slope* → *Material Editor*, untuk *input* data material penyusun lereng



Setelah semua data material lereng berhasil di-*input*, lalu klik *Done*. Data *input* yang digunakan telah tersedia pada program RocFall dan dapat dilihat dengan klik Table.

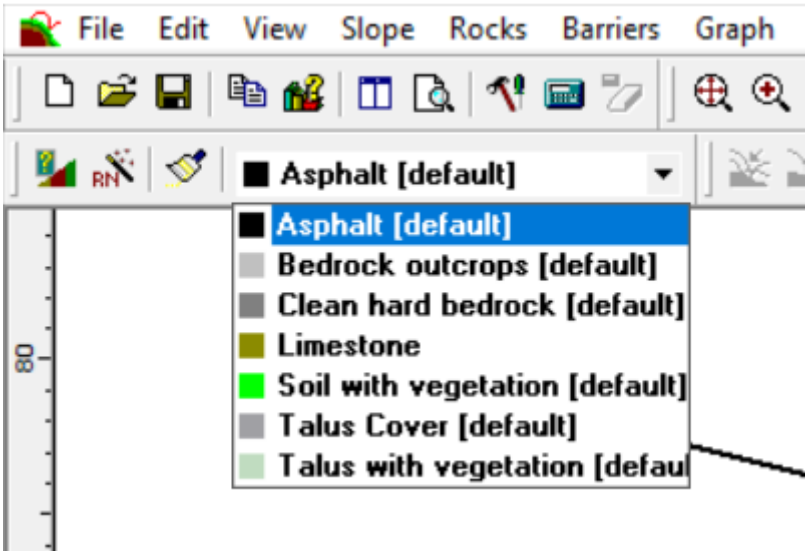
Rocscience Coefficient of Restitution Table

RN (Normal)				RT (Tangential)				Type	Verification	Location	Reference
Min	Max	Mean	Standard Deviation	Min	Max	Mean	Standard Deviation				
0.370	0.420			0.870	0.920			Hard surface paving	Tested using simulated rockfalls of similar size and shape of a previous rockfall.	Glenwood Canyon, Colorado, USA	Pfeiffer, T.J., and Bowen, T.D., "Computer Simulation of Rockfalls." Bulletin of Association of Engineering Geologists. Vol. 26, No. 1, 1989. pp135-146
0.330	0.370			0.830	0.870			Bedrock or boulders with little soil or vegetation			
0.300	0.330			0.830	0.870			Talus with little vegetation			
0.300	0.330			0.800	0.830			Talus with some vegetation			
0.280	0.320			0.800	0.830			Soft soil slope with little vegetation			
0.280	0.320			0.780	0.820			Vegetated soil slope			
		0.315	0.064			0.712	0.116	Limestone face	Tested on restoration-blasting slopes made of four types of materials: blast-generated rock fragments, partially vegetated scree on berms, uncovered blast piles, and vegetated quarry waste.	Limestone quarry in England	Robotham, M.E., and Wang, H., and Walton, G., "Assessment of risk from rockfall from active and abandoned quarry slopes." Institution of mining and Metallurgy, Section A. 1995.104(Jan-April), pp A25-A33
		0.303	0.080			0.615	0.170	Partially vegetated limestone scree			
		0.315	0.064			0.712	0.116	Uncovered limestone blast pile			
		0.251	0.029			0.489	0.141	Vegetated covered limestone pile			
		0.276	0.079			0.835	0.087	Chalk face		Chalk quarry in England	
		0.271	0.018			0.596	0.085	Vegetated chalk scree			
		0.384	0.133			0.687	0.130	Wood platform slope at 45 degrees was used as a control for the field tests they did.	Tested as control parameters	Western North Carolina for Interstate 40.	Wu, Shie-Shin "Rockfall evaluation by computer simulation" Transportation Research Records. Vol. 1031 pp 1-5, 1985.
		0.200				0.530		Dolomitic limestone boulders on rocky surfaces and on talus desposits	Consisted of hand made throws and free fall tests by fragmentation of rock using explosives, of dolomitic limestone boulders on rocky surfaces and on talus deposit of the landslide fans. Also used back-analysis, and information from Urciuoli.	Atrani, Campania, Southern Italy	Budetta, P., and Santo, A. "Morphostructural evolution and related kinematics of rockfalls in Campania(southern Italy)." Engineering Geology. Vol.36 pp197-210.
		0.100				0.200		Remolded pyroclastic from the terraces situated at the base of the cliff			
		0.000				0.240		Impacts on detritus of the fans present at the foot of a rock cliff			
		0.393				0.567		Soil	Tested by dropping 3 to 5 cm cuboid and angular granite rock fragments onto slopes	Hong Kong	Chau, K.T., and Wong, R.H.C., and Lee, C.F. "Rockfall Problems in Hong Kong and some new experimental results for coefficients of Restitution" International Journal of rock mechanics and mining sciences and geomechanics. Vol. 35, Section 4-5. 1996. pp662-663
		0.453				0.737		Shotcrete			
		0.487				0.910		Rock slope			
		0.500				0.950		Bedrock	Referenced from tests carried out by Barbieri et al.	Italcementi works at Castellammare di Stabia(northern slope of the Sorrentine Peninsula), and the area of Atrani.	Giani, G.P. "Rock Slope Stability Analysis" Rotterdam, Balkema 1992.
		0.350				0.850		Bedrock covered by large blocks			
		0.300				0.700		Debris formed by uniform distributed elements			
		0.250				0.550		Soil covered by vegetation			
		0.530				0.990		Clean hard bedrock			Hoek, Evert. "Unpublished notes" NSERC Industrial Research Professor of Rock Engineering, Department of Civil Engineering, University of Toronto, St George Street, Toronto, Ontario, Canada M5S 1A4
		0.400				0.900		Asphalt roadway			
		0.350				0.850		Bedrock outcrops with hard surface, large boulders			
		0.320				0.820		Talus cover			
		0.320				0.800		Talus cover with vegetation			
		0.300				0.800		Soft soil, some vegetation			

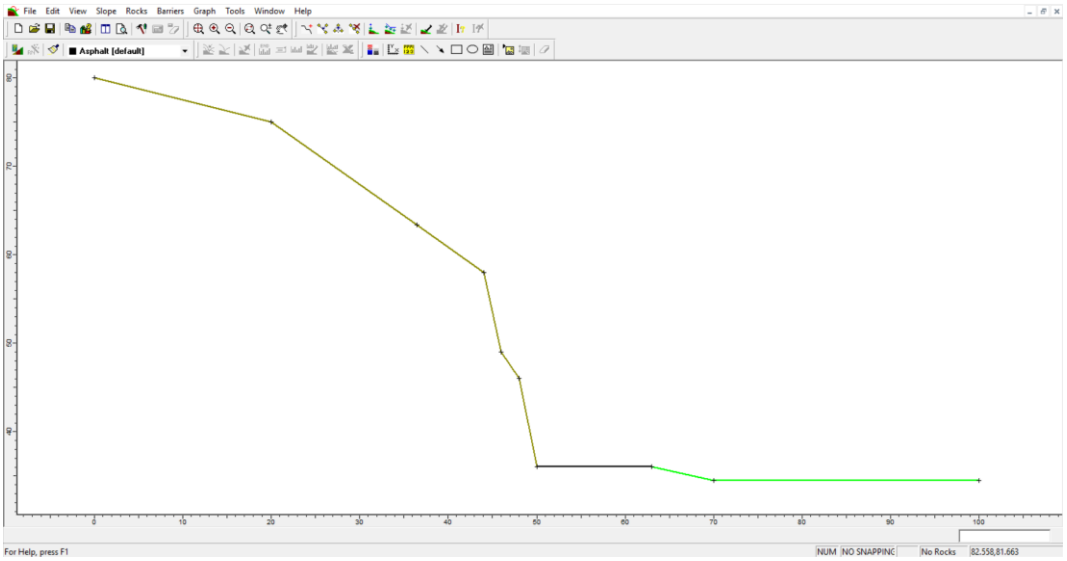
4. Klik *Define Slope*  dan gambar bentuk gometri lereng yang telah direncanakan.



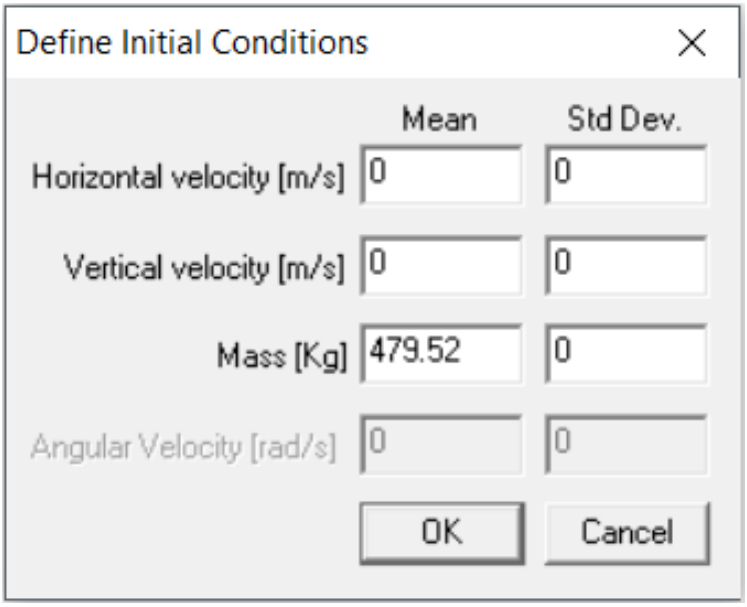
5. Pilih material penyusun lereng yang digunakan pada *toolbar*



Lalu klik *Assign materi*al  dan klik garis geometri lereng yang menggunakan material lereng yang dipilih, maka warna garis geometri lereng akan menyesuaikan jenis material yang digunakan.

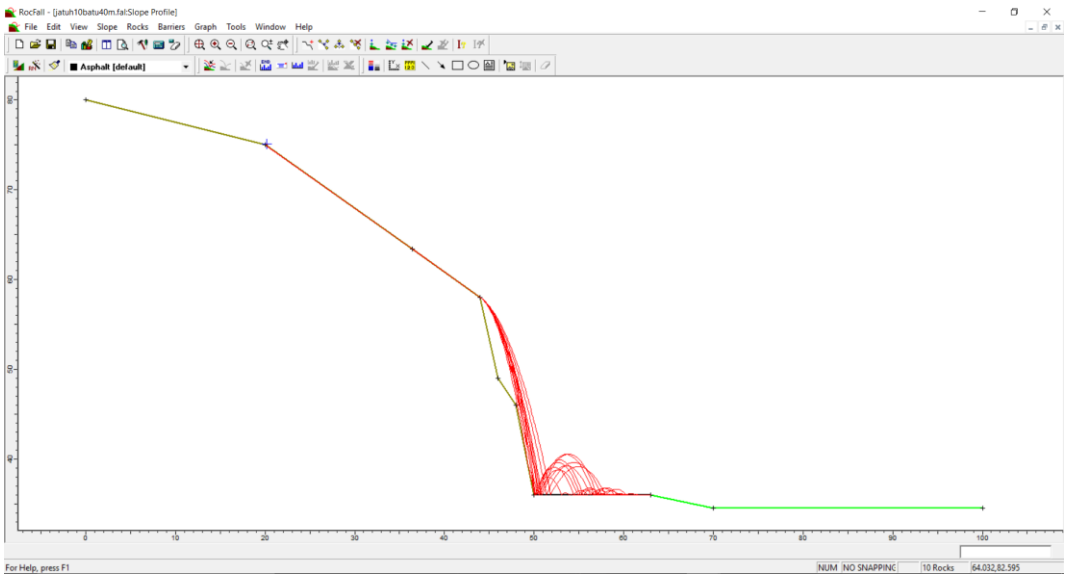


6. Klik *Add Point Seeder* , pilih lokasi pada geometri lereng untuk menentukan lokasi batuan yang diasumsikan akan jatuh, lalu input berat batuan yang telah direncanakan.



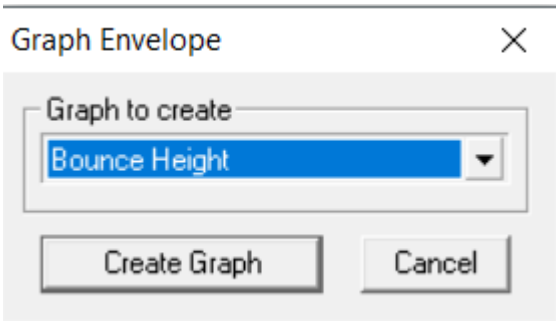
Klik OK.

7. Klik *Compute*  untuk menampilkan simulasi jatuhan batu.

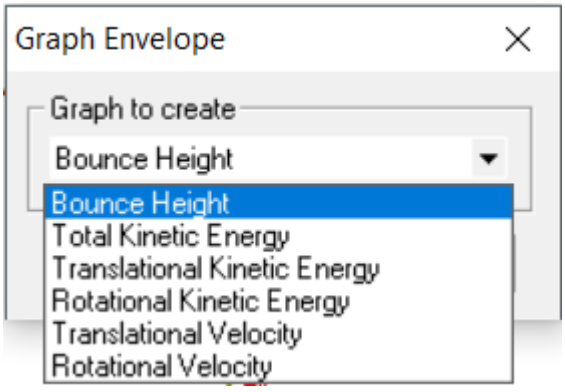


8. Grafik *output* program RocFall dapat dilihat dengan, klik *Graph Envelope*

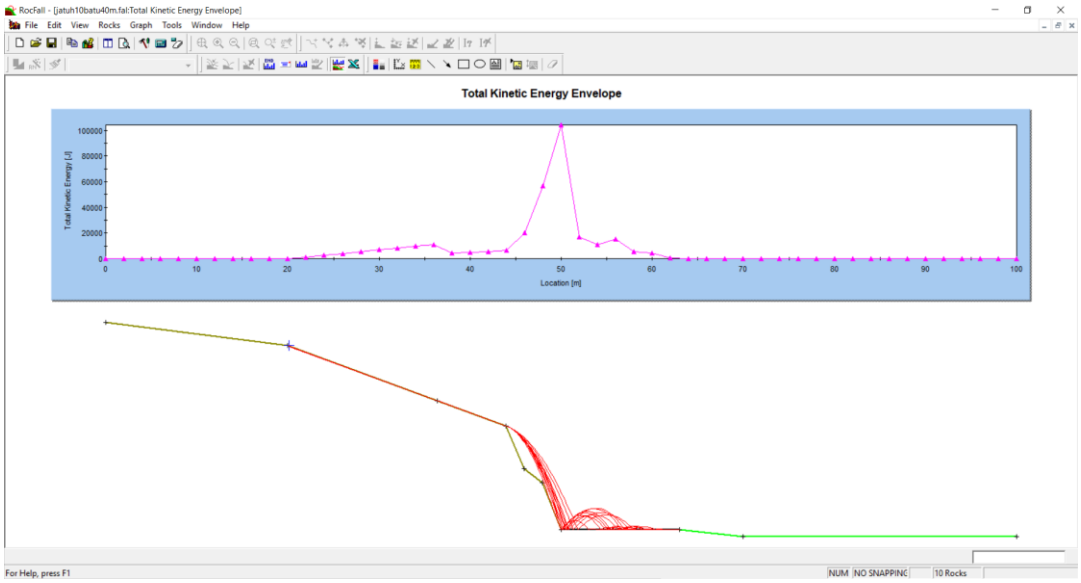




Lalu pilih grafik yang ingin dilihat.



Klik Create Graph, dan grafik dapat dilihat seperti pada gambar berikut ini.



9. Data *output* program RocFall dapat dilihat pada program Microsoft Excel yang telah di-*export* dari program RocFall dengan cara klik *Chart in Excel*

