

UJI SKALA MODEL PERKUATAN LERENG DENGAN BLOK X

***SCALE MODEL TEST OF SLOPE REINFORCEMENT
WITH X-BLOCK***

ENOS KARAPA



PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

UJI SKALA MODEL PERKUATAN LERENG DENGAN BLOK X

***SCALE MODEL TEST OF SLOPE REINFORCEMENT
WITH X-BLOCK***

DISERTASI

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Doktor

Program Studi

Teknik Sipil

Disusun dan diajukan oleh

ENOS KARAPA

Kepada

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2022

LEMBAR PENGESAHAN

UJI SKALA MODEL PERKUATAN LERENG DENGAN BLOK X

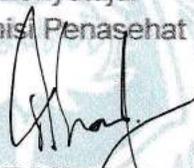
SCALE MODEL TEST OF SLOPE REINFORCEMENT WITH X-BLOCK

Disusun dan Diajukan oleh

ENOS KARAPA
NPM. D013171006

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Disertasi
Pada tanggal 3 Juni 2022
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

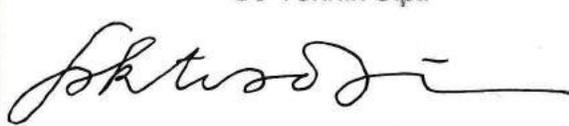
Menyetujui
Komisi Penasehat


Dr. Eng. Ir. Tri Harianto, ST, MT
Promotor


Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, MSc, Ph.D
Co-Promotor


Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT
Co-Promotor

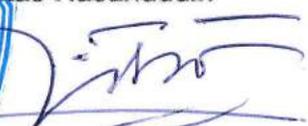
Ketua Program Studi
S3 Teknik Sipil



Prof. Ir. Sakti A. Adisasmita, M.Si, M.Eng, Sc, Ph.D



Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin


Prof. Dr. Eng. Ir. M. Isran Ramli, ST, MT

PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Enos Karapa

Nomor mahasiswa : D013171006

Program studi : Teknik Sipil

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

Makassar, 2022

Yang menyatakan



Enos Karapa

ABSTRAK

ENOS KARAPA. Uji Skala Model Perkuatan Lereng Dengan Blok X (dibimbing oleh Tri Harianto, Achmad Bakri Muhiddin dan Rita Irmawaty).

Bencana tanah longsor dapat menimbulkan kerugian yang besar diberbagai bidang. Fenomena longsor tidak hanya disebabkan oleh factor alam, tetapi pemanfaatan lahan yang tidak sesuai peruntukannya serta penggunaan metode perkuatan lereng yang kurang tepat juga dapat menyebabkan kelongsoran. Diperlukan pengembangan metode-metode perkuatan lereng yang murah, mudah pemasangannya serta dapat memanfaatkan material lokal. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan komposisi material dan dimensi blok X, mengembangkan model perkuatan lereng dengan menggunakan blok X, dan mengevaluasi perilaku mekanis lereng, yang diberi perkuatan batuan yang diikat oleh blok X serta menganalisis kinerja perkuatan lereng dengan menggunakan blok X terhadap pengaruh presipitasi. Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium mekanika tanah dan struktur teknik sipil. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah uji skala model. Ukuran bak pengujian adalah panjang 150 cm, lebar 60 cm dan tinggi 100 cm. Pembuatan model blok X adalah dengan menggunakan mutu beton K.300. Model yang dihasilkan adalah blok X tipe 1 dan blok X tipe 2. Pengujian yang dilakukan terhadap blok X adalah uji kuat tarik. Pembuatan lereng menggunakan tanah clay dengan sudut kemiringan lereng 70° . Pengujian pembebanan tanpa curah hujan dan pengujian pembebanan dengan curah hujan dilakukan dalam tiga tahap yaitu tanpa perkuatan, menggunakan perkuatan blok X tipe 1 dan menggunakan perkuatan blok X tipe 2. Pengujian pembebanan menggunakan pompa hidrolik yang dilengkapi dengan *load cell* serta LVDT. Pengujian pembebanan pada kondisi presipitasi menggunakan instrument pengamatan seperti CCTV, mistar pengukur, kamera serta komponen curah hujan. Pengamatan dilakukan selama 24 jam. Hasil penelitian menunjukkan kuat tarik blok X tipe 1 adalah 2,56 MPa, sedangkan kuat tarik blok X tipe 2 adalah 4,35 MPa. Hasil menunjukkan: Komposisi material dari blok X ini didesain dengan mutu F_c . 24,9 Mpa.. Faktor keamanan lereng setelah diperkuat dengan blok X meningkat cukup signifikan yaitu 1,81 untuk blok X tipe 1 dan 1,77 untuk blok X tipe Pada pengamatan selama 24 jam rasio deformasi horizontal terhadap ketinggian lereng tipe 1 dan tipe 2 sebesar 0,006 serta rasio deformasi vertikal terhadap ketinggian lereng tipe 1 adalah 0,009 dan tipe 2 sebesar 0,01. Berdasarkan SNI maka rasio deformasi ini memenuhi kriteria sebagai dinding penahan tanah.

Kata kunci : blok X, perkuatan lereng, pembebanan, presipitasi

ABSTRACT

ENOS KARAPA. SCALE MODEL TEST OF SLOPE REINFORCEMENT WITH X-BLOCK (supervised by Tri Harianto, Achmad Bakri Muhiddin, and Rita Irmawaty).

Landslides can cause huge losses in various fields. The phenomenon of landslides is not only caused by natural factors, but the use of land that is not in accordance with its designation and the use of inappropriate slope reinforcement methods can also cause landslides. It is necessary to develop methods of slope reinforcement that are inexpensive, easy to install and can utilize local materials. This study aims to determine the material composition and dimensions of block X, develop a slope reinforcement model using block X, and evaluate the mechanical behavior of the slope, which is reinforced with rock bound by block X and analyze the performance of slope reinforcement using block X on the effect of precipitation. This research was carried out in the soil mechanics and civil engineering structural engineering laboratory. The method used in this research is the model scale test. The size of the test tub is 150 cm long, 60 cm wide and 100 cm high. The making of block X model is by using K.300 concrete quality. The resulting model is block X type 1 and block X type 2. Tests carried out on block X are tensile strength tests. The slopes were made using clay soil with a slope angle of 70°. The loading test without rainfall and the loading test with rainfall was carried out in three stages, namely without reinforcement, using block X type 1 reinforcement and using block X type 2 reinforcement. equipped with load cell and LVDT. Testing of loading in precipitation conditions using observation instruments such as CCTV, measuring ruler, camera and components of rainfall. Observations were made for 24 hours. The results showed that the tensile strength of block X type 1 was 2.56 MPa, while the tensile strength of block X type 2 was 4.35 MPa. The results show: The material composition of block X is designed with Fc quality. 24.9 Mpa. The safety factor of the slope after being reinforced with block X increased significantly, namely 1.81 for block X type 1 and 1.77 for block X type. During 24 hours observation, the ratio of horizontal deformation to the height of the slopes of type 1 and type 2 of 0.006 and the ratio of vertical deformation to the height of the slope type 1 is 0.009 and type 2 is 0.01. Based on SNI, this deformation ratio meets the criteria as a retaining wall.

Keywords: block X, slope reinforcement, loading, precipitation

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa dengan selesainya disertasi ini.

Gagasan yang melatari tajuk permasalahan ini timbul dari hasil pengamatan penulis terhadap permasalahan longsor akibat penanganan perkuatan lereng yang kurang efektif. Penulis bermaksud menyumbangkan beberapa konsep untuk menjadi alternative penanganan perkuatan lereng untuk daerah dengan kemiringan lereng yang besar.

Banyak kendala yang dihadapi oleh penulis dalam rangka penyusunan disertasi ini, yang hanya berkat bantuan berbagai pihak, maka disertasi ini selesai pada waktunya. Dalam kesempatan ini penulis dengan tulus menyampaikan terima kasih kepada Bapak Dr. Eng. Ir. Tri Harianto, ST. MT sebagai Ketua Komisi Penasehat (promotor), Bapak Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, MSc. Ph.D sebagai Anggota Komisi Penasehat (co-promotor) dan Ibu Dr. Eng. Ir.Hj. Rita Irmawaty, ST.MT sebagai Anggota Komisi Penasihat (co-promotor) atas bantuan dan bimbingan yang telah diberikan mulai dari pengembangan minat terhadap permasalahan penelitian ini, pelaksanaan penelitiannya sampai dengan penulisan disertasi ini.

Terima kasih juga penulis sampaikan kepada seluruh dewan penguji Bapak Prof. Dr. -Ing. Ir. Herman Parung, M.Eng, Bapak Prof. Dr. Ir. Abdul Rachman Djamaluddin, MT, Bapak Suharman Hamzah, ST.,MT.,Ph.D,HSE.Cert, Bapak Dr. Eng. Ardy Arsyad, ST.,M.Eng.Sc. dan

Ibu Ir. Nurly Gofar, MSCE.,Ph.D. sebagai penguji eksternal, atas segala saran, masukan dan koreksi untuk perbaikan disertasi ini.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Rektor Universitas Hasanuddin, Direktur Program Pascasarja, Dekan Fakultas Teknik, Ketua Jurusan Teknik Sipil, Ketua Program Studi S3 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin, para Dosen S3 Teknik Sipil serta staf administrasi yang membantu penulis selama proses perkuliahan, penelitian dan penyelesaian administrasi akademik.

Terima kasih kepada rekan-rekan mahasiswa S3 sebagai teman seperjuangan dalam menjalani semua proses pendidikan, adik-adik S1 tim peneliti lereng Adam Agathon, Marcellus, Evan Ignasius, Aslam, dan Sdr. Zainal sebagai laboran serta para asisten laboratrium mekanika tanah yang banyak membantu penulis dalam proses penelitian di laboratorium.

Kepada Rektor Universitas Cenderawasih, serta Dekan Fakultas Teknik Universitas Cenderawasih penulis juga menyampaikan ucapan terima kasih atas segala dukungan yang diberikan kepada penulis selama proses pendidikan.

Ucapan terimakasih kepada orang tua, Bapak Yohanis Lolo Karapa, Ibu (almh) Ludia yang telah mendidik penulis tentang nilai-nilai kehidupan dan memberikan inspirasi untuk terus belajar dan menimba ilmu setinggi-tingginya, serta mertua terkasih Bapak Yusuf Toding Padang, Ibu (almh) Damaris Bugi Palinggi, dan adik-adik yang selalu memberikan dukungan, semangat dan doa.

Akhirnya penulis mengucapkan terimakasih kepada Istri tercinta Dr. Novita Medyati, SKM.,M.Kes yang selalu mendoakan, memberikan perhatian dan dukungan dengan penuh cinta kasih, juga kepada anakku Yosua Karapa, Kaleb Karapa dan Otniel Karapa yang selalu mendoakan sehingga penulis dapat menyelesaikan semua proses pendidikan dengan baik.

Kami menyadari bahwa penyusunan disertasi ini belum sempurna dan masih banyak kekurangan yang harus diperbaiki, oleh karena itu dengan segala kerendahan hati penulis mohon masukan, kritik, saran serta koreksi dari semua pihak, demi penyempurnaan hasil penelitian ini adalah menjadi harapan kami.

Makassar, 2022

Enos Karapa

DAFTAR ISI

	<i>halaman</i>
PRAKATA	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xix
DAFTAR SINGKATAN	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan masalah	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	5
E. Lingkup dan Batasan Penelitian	5
F. Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
A. Stabilitas Lereng	8
1. Parameter Internal	9
2. Parameter Eksternal	13
B. Faktor Keamanan Lereng	18

	C. Perkuatan Lereng Tanah	21
	1. Dinding Penahan Tanah (<i>Retaining Walls</i>)	22
	2. Jenis-jenis Dinding Penahan Tanah	23
	D. Perkuatan Lereng Fleksibel	31
	1. Metode Riprap	31
	2. Struktur Blok Beon	34
	E. Penelitian Terdahulu	36
	F. Kerangka Pikir Penelitian	43
	G. Defenisi Operasional	44
BAB	III METODE PENELITIAN	46
	A. Jenis Penelitian	46
	B. Waktu dan Lokasi Penelitian	46
	C. Alat dan Bahan Penelitian	47
	D. Rancangan Penelitian	52
	1. Rancangan Pengujian	52
	2. Tahap Pengujian	55
	E. Analisis Data	63
	F. Bagan Alir Penelitian	68
BAB	IV HASIL DAN PEMBAHASAN	69
	A. Material Blok X	69
	1. Komposisi Material Blok X	69
	2. Struktur Blok X	70
	3. Uji Kuat Tarik	72
	B. Material Lereng	74
	1. Material Tanah	75
	2. Material Batu	77
	C. Mekanisme Perkuatan Lereng	78

1. Pembebanan Lereng Tanpa Perkuatan	78
2. Perkuatan Lereng Dengan Blok X Tipe 1	86
3. Perkuatan Lereng Dengan Blok X Tipe 2	91
4. Perbandingan Perkuatan Lereng	97
5. Rasio Deformasi Perkuatan Lereng Blok X	101
D. Pengaruh Intensitas Hujan	103
1. Lereng Tanpa Perkuatan	103
2. Perkuatan Lereng Dengan Blok X Tipe 1	114
3. Perkuatan Lereng Dengan Blok X Tipe 2	117
4. Perbandingan Perkuatan Lereng Blok X Tipe 1 dan Tipe 2	119
5. Perbandingan Deformasi Tanpa Perkuatan dengan Perkuatan	121
6. Rasio Deformasi Perkuatan Lereng Blok X	123
7. Efisiensi Perkuatan Blok X	127
E. Novelty Dan Temuan Empirik	128
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	129
A. Kesimpulan	129
B. Saran	130
DAFTAR PUSTAKA	131
LAMPIRAN	138

DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 1. Klasifikasi struktur pengaman tebing	33
Tabel 2. Penelitian terdahulu	36
Tabel 3. Klasifikasi mutu beton berdasarkan kekuatan dan peruntukannya (SNI T041990F)	69
Tabel 4. Hasil pengujian Kuat Tarik	74
Tabel 5. Hasil pengujian properties tanah	76
Tabel 6. Deformasi permukaan pada variasi ketinggian	82
Tabel 7. Tipe kelongsoran berdasarkan kedalaman	82
Tabel 8. Laju kecepatan gerakan tanah	83
Tabel 9. Deformasi horisontal dinding blok X tipe 1 dan dinding blok X tipe 2 pada variasi Ketinggian	101
Tabel 10. Tekstur tanah longsor di Mount Elgon Uganda	105
Tabel 11. Hasil pengujian properties tanah untuk kondisi presipitasi	106
Tabel 12. Klasifikasi Infiltrasi tanah	108
Tabel 13. Klasifikasi curah hujan	109
Tabel 14. Kedalaman longsor pada variasi ketinggian	112

DAFTAR GAMBAR

	Halaman	
Gambar 1.	Mekanisme kegagalan lereng akibat curah hujan	14
Gambar 2.	Geometri lereng dan faktor-faktor yang mengontrol penyebab stabilitas lereng memiliki mode kegagalan bidang yang potensial	19
Gambar 3.	Dinding penahan gravitasi (gravity wall)	24
Gambar 4.	Dinding penahan tanah kantilever	25
Gambar 5.	Dinding penahan tanah tipe turap (sheet pile)	26
Gambar 6.	Metode perkuatan lereng dengan menggunakan bronjong	27
Gambar 7.	Block concrete retaining walls	28
Gambar 8.	Struktur dinding penahan tanah (revetment)	29
Gambar 9.	Dinding penahan tanah crib walls	30
Gambar 10.	Penahan dinding dengan riprap pada lereng	32
Gambar 11.	Struktur blok model A-Jack kombinasi tanaman dan kombinasi Riprap	34
Gambar 12.	Kerangka pikir penelitian	43
Gambar 13.	Material tanah longosoran, lokasi kampung Sapaya, Malino Kab. Gowa	47
Gambar 14.	Bahan pembuatan blok tipe X	48
Gambar 15.	Material kerikil sebagai pelapis lereng (3-5 cm)	48
Gambar 16.	Material pasir sebagai material campuran untuk pengujian presipitasi	49
Gambar 17.	Alat uji kuat tarik	49
Gambar 18.	Peralatan Pengujian Tanpa Presipitasi	50

Gambar 19.	Peralatan Pengujian Dengan Presipitasi	51
Gambar 20.	Skema pengujian pembebanan lereng	54
Gambar 21.	Distribusi ukuran butir material kerikil, penimbangan dan penyaringan material	56
Gambar 22.	Bentuk geometri blok X tipe 1	57
Gambar 23.	Bentuk geometri blok X tipe 2	57
Gambar 24.	Proses pengujian kuat tarik	58
Gambar 25.	Pemadatan tanah dan pembuatan lereng	58
Gambar 26.	Pengujian tanpa perkuatan blok X	60
Gambar 27.	Pengujian perkuatan dengan blok X tipe 1 dan blok X tipe 2	60
Gambar 28.	Pengujian tanpa perkuatan blok X pada kondisi presipitasi	61
Gambar 29.	Pengujian perkuatan lereng blok X pada kondisi presipitasi	62
Gambar 30.	Bagan alir penelitian	68
Gambar 31.	Tulangan blok tipe X tipe 1 dan blok X tipe 2	70
Gambar 32.	Model Blok X Tipe 1 dan bentuk pemasangan	71
Gambar 33.	Model Blok X Tipe 2 dan bentuk pemasangan	72
Gambar 34.	Skema pengujian kuat tarik blok X	72
Gambar 35.	Hasil pengujian kuat tarik blok tipe X 1 dan blok X tipe 2	73
Gambar 36.	Material batu yang digunakan sebagai pelapis lereng	77
Gambar 37.	Grafik hubungan kadar air dengan berat isi kering tanah	79
Gambar 38.	Skema pembuatan lereng 70°.	80

Gambar 39.	Kelongsoran yang terjadi setelah pembebanan	81
Gambar 40.	Deformasi permukaan kelongsoran	81
Gambar 41.	Tipe longsoran block slide	83
Gambar 42.	Pengukuran deformasi horisontal di tengah lereng	84
Gambar 43.	Deformasi vertikal dan horisontal tanpa perkuatan sesaat sebelum keruntuhan	85
Gambar 44.	Deformasi horisontal blok X tipe 1 pada puncak lereng	87
Gambar 45.	Deformasi horisontal dan vertikal blok X tipe 1	88
Gambar 46.	Interpolasi deformasi horisontal pada variasi titik ketinggian	89
Gambar 47.	Grafik deformasi horisontal dinding blok X tipe 1 pada variasi ketinggian lereng	90
Gambar 48.	Deformasi horisontal blok X tipe 2 pada puncak lereng	92
Gambar 49.	Deformasi horisontal dan vertikal blok X tipe 2	93
Gambar 50.	Interpolasi pergerakan horisontal pada variasi ketinggian	94
Gambar 51.	Grafik deformasi horisontal dinding blok x tipe 2 pada variasi ketinggian	95
Gambar 52.	Grafik perbandingan deformasi lereng tanpa blok dengan perkuatan blok X pada beban surcharge 7,4 kN	97
Gambar 53.	Perbandingan deformasi horisontal dan vertikal pada beban <i>ultimite</i>	99
Gambar 54.	Perbandingan deformasi horisontal blok X tipe 1 dan blok X tipe 2 pada variasi ketinggian	100
Gambar 55.	Rasio deformasi horisontal dan vertikal terhadap ketinggian lereng	102

Gambar 56.	Rasio beban perkuatan blok X tipe 1 dan blok X tipe 2 terhadap beban tanpa perkuatan	102
Gambar 57.	Skema pengujian lereng dengan pengaruh intensitas hujan	104
Gambar 58.	Grafik kompaksi tanah untuk pengujian curah hujan	107
Gambar 59.	Klasifikasi infiltrasi setiap jenis tanah	108
Gambar 60.	Keadaan lereng sebelum dan sesudah pengujian pembebanan	109
Gambar 61.	Metode pengukuran deformasi vertikal dan horisonal tanpa perkuatan	110
Gambar 62.	Geometri bidang kelongsoran hasil pengujian dengan curah hujan	111
Gambar 63.	Grafik deformasi lereng pada pengujian tanpa perkuatan blok X	113
Gambar 64.	Skema pengujian perkuatan lereng dengan blok X tipe 1	114
Gambar 65.	Metode pengukuran deformasi lateral dan vertikal blok X tipe 1	115
Gambar 66.	Grafik deformasi lereng dengan perkuatan blok X tipe 1	116
Gambar 67.	Metode pengukuran deformasi vertikal dan horizontal blok x tipe 2	117
Gambar 68.	Grafik deformasi lereng dengan perkuatan blok X tipe 2	118
Gambar 69.	Perbandingan deformasi vertikal dan horisontal blok X tipe 1 dan blok X tipe 2	120
Gambar 70.	Grafik rekapitulasi deformasi lereng tanpa perkuatan serta menggunakan perkuatan blok X tipe 1 dan blok X tipe 2	122

Gambar 71.	Grafik rasio deformasi horisontal blok X tipe 1 terhadap blok X tipe 2	123
Gambar 72.	Grafik rasio deformasi vertikal blok X tipe 1 terhadap blok X tipe 2	122
Gambar 73.	Grafik rasio deformasi horisontal dan vertikal blok X tipe 1 terhadap blok X tipe 2 terhadap ketinggian lereg	124

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	: Harga Pembuatan Blok X dan Bronjong	134
Lampiran 2	: Perhitungan Safety Faktor Stabilitas Guling	136
Lampiran 3	: Perhitungan Safety Faktor Stabilitas Geser	148
Lampiran 4	: Perhitungan Safety Faktor Overall Stability	156

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

FS	: Safety Faktor (Faktor Keamanan)
Rb	: Rasio beban
∂h	: Deformasi horisontal
∂v	: Deformasi vertikal
R ∂h	: Rasio deformasi horisontal
R ∂v	: Rasio deformasi vertikal
LVDT	: <i>Linear Variable Differential Transformer</i>
USCS	: <i>Unified Soil Classification System</i>
SM	: <i>Silty Sands</i>
γ	: Berat isi (gr/cm ³)
LL	: Batas cair
PL	: Batas plastis
IP	: Indeks plastis
UTM	: <i>Universal Testing Machine</i>
MPa	: Mega Pascal
kPa	: Kilo Pascal
kN	: Kilo Newton
C	: Kohesi
ϕ	: Sudut geser dalam
SNI	: Standar Nasional Indonesia
CCTV	: <i>Closed Circuit Television</i>

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Bencana tanah longsor adalah bahaya yang meluas yang terjadi di banyak daerah di dunia dan menyebabkan kerusakan yang besar pada masyarakat (Rossi *et al.*, 2019). Setiap tahun bencana ini menyebabkan lebih dari 100.000 kematian dan cedera dan kerusakan lebih dari satu miliar USD. Di beberapa negara, kerugian ekonomi dan korban dari tanah longsor diremehkan. Bencana Tanah longsor menghasilkan kerugian yang lebih besar daripada bencana alam lainnya, termasuk gempa bumi, banjir, dan badai angin (Akgun, 2012).

Bencana tanah longsor juga telah terjadi di beberapa wilayah Indonesia dan menimbulkan dampak yang merugikan di berbagai bidang, seperti lingkungan, sosial, dan ekonomi. Bencana tanah longsor pada beberapa kejadian dapat terjadi disebabkan oleh pemicu yang sama (mis., badai hujan, periode curah hujan yang berkepanjangan (Salvati *et al.*, 2018)

Longsoran dapat terjadi diawali dengan proses erosi pada permukaan suatu lereng. Walaupun erosi merupakan proses alami yang mudah dikenali, namun di kebanyakan tempat kejadian ini diperparah oleh aktivitas manusia dalam tata guna lahan yang buruk, penggundulan hutan

kegiatan pertambangan, perkebunan dan perladangan, kegiatan konstruksi/pembangunan yang tidak tertata dengan baik dan pembangunan jalan (Zhang and McSaveney, 2018). Kegagalan lereng dapat disebabkan oleh penurunan tanah terutama yang sangat rentan terhadap penurunan seperti tanah lempung (Harianto *et al.*, 2020).

Masalah stabilitas lereng menarik perhatian utama dari para peneliti, dan akibatnya, beberapa teknik dan metode untuk evaluasi stabilitas lereng telah diusulkan. Upaya penanggulangan longsor di berbagai wilayah telah banyak dilakukan, diantaranya adalah dengan penanganan menggunakan metode vegetatif dan pemotongan lereng, namun upaya penanggulangan yang telah dilakukan ini belum mampu mengurangi potensi bahaya yang terjadi. Selain perkuatan dengan dinding penahan tanah, banyak perkuatan yang dilakukan dengan menggunakan geosintetik berupa geotekstil, *anchor*, *rock sheds*, namun penggunaan metode ini pada umumnya dilakukan dalam skala yang besar dan membutuhkan biaya yang besar (Zornberg, Sitar and Mitchell, 2000). Penanggulangan kerusakan jalan serta lereng di daerah terpencil masih sering dilakukan dengan perkerasan menggunakan material tanah, hal ini disebabkan karena biaya yang mahal untuk mendatangkan material yang layak (Muhiddin and Tangkeallo, 2020).

Salah satu metode penanganan lereng adalah dengan cara mengurangi erosi permukaan lereng. Penanganan erosi permukaan lereng telah banyak dilakukan dengan menggunakan media tanaman atau

metode vegetatif (Fattet *et al.*, 2011). Selain dengan media tanaman penanganan erosi lereng juga dapat dilakukan dengan jenis pengaman lereng yang flexible yaitu bangunan riprap (Abt and Thornton, 2014). Namun dalam pelaksanaannya penggunaan bangunan riprap ini sering juga mengalami kegagalan baik oleh erosi partikel (Scott A. Brown, 2000).

Crib walls dapat digambarkan sebagai bentuk khusus dari struktur penahan gravitasi yang dibuat dengan menggunakan bahan pengisi di tempat yang ditahan di dalam kerangka konstruksi yang mungkin dari bahan yang berbeda (Holden, Restrepo and Mander, 2003). Crib walls adalah bentuk dinding penahan gravitasi yang dibangun dari unit beton pracetak yang saling mengunci. Ruang antara unit yang saling mengunci atau "boks" diisi dengan tanah untuk memberikan bobot dan stabilitas sebelum timbunan yang berdekatan ditempatkan. (Gerald D. Lehmer, Chukwuma G. Ekwueme, 2009).

Berdasarkan hal tersebut di atas, maka kami mencoba membuat model dinding penahan tanah dengan konsep dapat memberikan pengaliran air yang baik serta memiliki sifat kekakuan yang baik. Model ini adalah perpaduan blok beton sebagai penopang dan batu sebagai isian. Penggunaan blok beton tipe X ini bertujuan untuk menahan beban berat dan mengunci batu yang terpasang sehingga tidak terjadi pergerakan.

Penelitian ini adalah penelitian awal, hendak melihat pemanfaatan penopang blok beton dengan isian batu sebagai dinding penahan tanah untuk mengetahui perkuatan lereng dengan membuat contoh model

perkuatan lereng skala laboratorium. Pembuatan model perkuatan lereng dengan blok X diharapkan dapat meminimalisir terjadinya kegagalan dalam perkuatan lereng.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang akan diambil adalah :

1. Bagaimanakah komposisi material, bentuk serta dimensi blok X ?
2. Bagaimanakah model perkuatan lereng dengan blok X dalam kondisi presipitasi maupun tanpa presipitasi? Bagaimanakah perilaku lereng yang telah dilakukan perkuatan dengan menggunakan blok X ?
3. Bagaimanakah menganalisis kinerja perkuatan lereng dengan blok X terhadap pengaruh presipitasi ?.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini secara umum adalah untuk mengukur efektifitas perkuatan lereng dengan menggunakan blok x tipe 1 dan blok x tipe 2, sedangkan secara khusus tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan komposisi material dan dimensi blok X

2. Mengembangkan model perkuatan lereng dengan menggunakan blok X, dan mengevaluasi perilaku mekanis lereng, yang diberi perkuatan batuan dan dikekang oleh blok X
3. Menganalisis kinerja perkuatan lereng dengan menggunakan blok X terhadap pengaruh presipitasi

D. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yang diharapkan adalah :

1. Memberikan kontribusi kekayaan khasanah ilmu pengetahuan, khususnya terkait metode perlindungan tebing dan pencegahan longsor.
2. Kontribusi dalam pengembangan struktur penahan tanah yang lebih murah dan mudah dalam pelaksanaannya, sehingga bisa menjadi alternatif menangani masalah longsor pada lereng.
3. Memberikan usulan struktur yang memanfaatkan material lokal non pabrikan.

E. Lingkup dan Batasan Penelitian

Agar penelitian ini dapat berjalan dengan efektif, terencana terukur dan tepat sasaran, maka penelitian ini diberikan batasan sebagai berikut :

1. Keruntuhan lereng diasumsikan terjadi hanya bersifat keruntuhan lokal

2. Lapisan tanah di bawah lereng merupakan lapisan tanah yang cukup padat/keras.
3. Curah hujan/presipitasi yang diberikan termasuk dalam kondisi ekstrim

F. Sistematika Penulisan

Penulisan hasil disertasi ini sesuai dengan kaidah penulisan yang telah ditetapkan oleh Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin Makassar. Sistematika penulisannya dimulai dengan Bab Pendahuluan dan diakhiri dengan Bab Penutup. Masing-masing bab diikuti dengan sub bab dengan susunan sebagai berikut.

1. Bab I Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang, dalam bagian ini diuraikan mengenai isu-isu terkini tentang metode-metode perkuatan lereng. Rumusan masalah, merumuskan permasalahan utama yang sering terjadi pada perbaikan perkuatan lereng, yang mana hal ini merupakan target pencapaian dari penelitian eksperimental ini. Tujuan penelitian, berisi tentang sasaran utama yang ingin dicapai, untuk menjawab perumusan masalah yang telah ditetapkan. Manfaat penelitian, berisi tentang manfaat positif dari hasil penelitian ini, baik yang bersifat umum, maupun khusus. Lingkup dan batasan Masalah, memberikan batasan dan koridor pada penelitian, agar pembahasannya lebih fokus, tidak bias, dan hasil yang diharapkan dapat tercapai.

2. Bab II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini disampaikan berbagai kepustakaan yang mendasari dilakukannya penelitian ini. Berbagai pengertian dan upaya-upaya yang pernah dilakukan para peneliti atau ilmuwan digunakan sebagai dasar menyusun suatu konsep baru diungkapkan pada bab ini. Bab ini dikemukakan kerangka konsep yang membuat konsep atau variable yang diteliti.

3. Bab III Metode Penelitian

Bagian ini memuat waktu dan lokasi penelitian, jenis penelitian, waktu penelitian serta bahan dan alat yang digunakan. Juga secara rinci diuraikan tentang rancangan dan tahapan proses penelitian yang dilakukan baik dalam kondisi tanpa penghujan maupun dalam kondisi penghujan.

4. Bab IV. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Hasil penelitian disampaikan baik dalam bentuk tabel, gambar maupun narasi. Diberikan uraian mengenai bagaimana terjadinya hasil penelitian yang diperoleh dan apa makna yang terkandung di dalamnya. Uraian pada bab ini menjadi dasar penarikan kesimpulan dan pemberian saran yang semuanya diuraikan pada bab sebelumnya.

5. Bab V Penutup

Bab ini berisi simpulan hasil penelitian dan saran-saran yang disampaikan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Stabilitas lereng

Stabilitas lereng berkaitan dengan hubungan antara penggerak dan melawan kekuatan. Beberapa faktor berkontribusi pada kekuatan penggerak sedangkan yang lain menambah kekuatan penolak. Oleh karena itu, faktor-faktor yang mengatur ini sangat penting untuk analisis stabilitas lereng batuan secara umum dan untuk mode bidang kegagalan pada khususnya. Faktor pengatur internal utama adalah; geometri lereng, karakteristik bidang kegagalan potensial, drainase permukaan dan kondisi air tanah (Wang and Niu, 2009), dimana faktor eksternal adalah curah hujan, kegempaan dan kegiatan buatan manusia (Raghuvanshi, Ibrahim and Ayalew, 2014). Faktor-faktor ini dalam kombinasi akan berperan dalam menentukan kondisi stabilitas lereng.

Identifikasi masalah ketidakstabilan lereng seperti itu pada tahap awal perencanaan dan penyelidikan struktur rekayasa, khususnya proyek jalan dapat menyebabkan berkembangnya langkah-langkah perbaikan yang dapat diadopsi untuk meningkatkan stabilitas lereng atau lereng bermasalah seperti itu dapat dihindari jika diidentifikasi selama awal tahap perencanaan (Gorsevski, Jankowski and Gessler, 2006).

Teknik analisis stabilitas lereng deterministik memakan waktu dan membutuhkan pengetahuan yang mendalam tentang pertimbangan geologis dan geoteknik dengan pemahaman yang jelas tentang mode potensi kegagalan lereng. Selain itu, teknik analisis tersebut dapat diterapkan secara tepat pada area kecil, pada skala lereng tunggal saja (Casagli *et al.*, 2004). Namun, karena kendala waktu dan keterbatasan keuangan, teknik analisis stabilitas lereng deterministik sistematis untuk proyek jalan sering diabaikan atau dilakukan terlalu cepat tanpa input geologis atau geoteknik yang tepat (Anbalagan, 1992). Analisis yang tidak memadai seperti itu dapat mengakibatkan kegagalan lereng yang mempengaruhi kinerja yang aman dari struktur teknik.

Parameter yang berpengaruh terhadap kestabilan lereng ada dua, yaitu parameter internal dan parameter eksternal. Secara umum dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Parameter Internal

Parameter internal adalah parameter penyebab yang menentukan kondisi stabilitas yang menguntungkan atau tidak menguntungkan dalam lereng. Parameter intrinsik ini adalah geometri lereng, material lereng, diskontinuitas struktural, penggunaan lahan dan tutupan lahan dan air tanah (Raghuvanshi, 2019b). Tergantung pada kondisi yang diberikan untuk masing-masing parameter intrinsik ini, mereka mungkin memiliki pengaruh terhadap kondisi stabilitas lereng.

a. Geometri Lereng

Geometri lereng mencakup relief relatif dan morfometri lereng. Perbedaan ketinggian maksimum dan minimum dalam suatu segi menentukan kelegaan relatif. Relief relatif pada dasarnya mewakili ketinggian segi individu. Relief relatif telah dikategorikan ke dalam lima kelas; rendah (<50 m), sedang (51-100 m), sedang (101-200 m), tinggi (201-300 m) dan sangat tinggi (> 301 m). Morfometri lereng mengindikasikan kecuraman lereng. Kelas morfometrik lereng (Anbalagan, 1992), tebing curam / tebing (> 45 °), kemiringan curam (36 ° -45 °), kemiringan cukup curam (26 ° -35 °), kemiringan lembut (16 ° -25 °) dan kemiringan yang sangat lembut (<15 °).

b. Slope Material

Lereng dapat terdiri dari massa batuan atau tanah atau keduanya. Kriteria untuk memberikan peringkat ke sub kelas dari jenis batuan didasarkan pada kekuatan batuan utuh dan tingkat pelapukan. Errodabilitas batuan sangat dipengaruhi oleh kekuatan batuan. Batuan yang memiliki kekuatan tinggi relatif lebih tahan terhadap erosi (Hoek and Brown, 1997). Tingkat pelapukan dapat mempengaruhi kekuatan relatif dari batuan sehingga harus dipertimbangkan saat menetapkan peringkat untuk jenis batuan. Tingkat pelapukan telah dianggap sebagai; Segar, Lapuk sedikit, Lapuk cuaca, Lapuk cuaca, Sangat lapuk dan Batuan seperti tanah. Jadi, tergantung pada kelas pelapukan, peringkat jenis batuan harus disesuaikan. Faktor penyesuaian untuk pelapukan batuan

harus dikalikan dengan peringkat masing-masing jenis batuan segar grade II dan grade III. Untuk kasus ketika lereng ditutupi oleh tanah, kriteria penilaian didasarkan pada kelas genetik dan kedalaman tutupan tanah. Tanah residual lebih terkonsolidasi dan memiliki kekuatan geser yang lebih baik daripada tanah aluvial atau yang diendapkan baru-baru ini (Anbalagan, 1992). Kedalaman tutupan tanah juga dipertimbangkan saat menetapkan peringkat untuk berbagai jenis tanah.

c. Diskontinuitas Struktural

Diskontinuitas struktural ini memainkan peran penting dalam menentukan kondisi stabilitas lereng batuan (Hoek and Brown, 1997). Faktor penting dari bidang diskontinuitas struktural yang mempengaruhi stabilitas massa batuan adalah; orientasi, jarak, kontinuitas, karakteristik permukaan, pemisahan permukaan diskontinuitas dan ketebalan dan sifat bahan pengisi dalam permukaan diskontinuitas (Price and Keaton, 2011).

Menurut (Hoek and Brown, 1997), orientasi bidang diskontinuitas memainkan peran penting dalam kondisi stabilitas massa batuan. Massa batuan mungkin gagal sepanjang satu atau lebih bidang diskontinuitas. Untuk kondisi stabilitas massa batuan, titik-titik berikut adalah penting, (Raghuvanshi, Ibrahim and Ayalew, 2014)

- Luasnya paralelisme antara arah diskontinuitas, atau garis perpotongan dua diskontinuitas dan kemiringan.

- Discontinuity plane atau terjunnya garis persimpangan dua bidang yang membentuk baji pada siang hari dengan kemiringan kurang dari sudut kemiringan.

d. Penggunaan lahan dan tutupan lahan

Kondisi stabilitas lereng bukit sebagian besar dipengaruhi oleh penggunaan lahan dan tutupan lahan. Tutupan vegetasi tebal di atas lereng merupakan indikasi kondisi stabil karena tutupan vegetasi mencegah rembesan air yang berlebihan ke dalam lereng. Menurut Turrini dan Visintainer, (1998), kondisi stabilitas lereng bukit juga dipengaruhi akar tanaman mengikat massa tanah dan berkontribusi untuk meningkatkan kekuatan geser massa tanah. Selanjutnya dinyatakan oleh Turrini dan Visintainer, erosi permukaan dalam bentuk selokan juga diperiksa dengan tutupan vegetasi yang tebal. Jenis penutup tanah mempengaruhi stabilitas lereng: karena area yang tandus lebih rentan terhadap erosi dan pelapukan (Turrini and Visintainer, 1998). Tanah tandus dan jarang ditanami lebih rentan terhadap erosi tanah dan kegagalan lereng (Wang and Niu, 2009).

e. Air Tanah

Air tanah memainkan peran penting dalam kondisi stabilitas lereng (Hoek and Brown, 1997). Studi stabilitas lereng untuk pemetaan bahaya pada area yang relatif besar membuatnya sulit untuk memiliki pengamatan langsung terhadap perilaku air tanah di dalam lereng. Selain itu, informasi

tentang tingkat muka air dan fluktuasi jarang tersedia. Untuk penilaian cepat, tindakan tidak langsung dapat digunakan untuk menilai peran air tanah dalam mendorong ketidakstabilan ke lereng. Langkah-langkah tidak langsung ini adalah indikasi permukaan air tanah seperti; lembab, basah, menetes dan mengalir (Anbalagan, 1992). Sementara pengamatan ciri-ciri permukaan lainnya seperti pertumbuhan alga, tanda air dll. Harus dipertimbangkan karena ciri-ciri permukaan tersebut dapat memberikan beberapa gagasan tentang tingkat kejenuhan lereng untuk periode waktu yang lama. Dimungkinkan bahwa pada saat investigasi lapangan, lereng menunjukkan kondisi kering hanya tanpa jejak air.

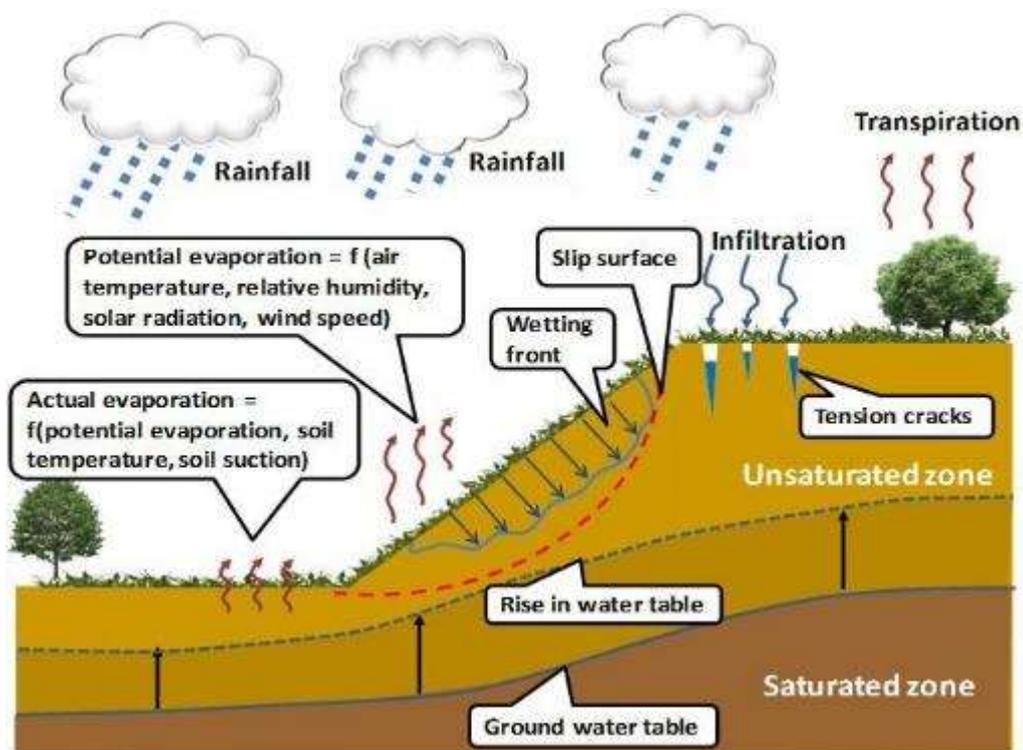
2. Parameter Eksternal

Parameter eksternal yang paling penting yang dapat memicu ketidakstabilan di lereng adalah curah hujan, kegempaan dan aktivitas buatan manusia.

a. Curah Hujan

Masalah stabilitas lereng diperburuk dengan intensitas curah hujan (Ayalew, Yamagishi and Ugawa, 2004). Ini terbukti karena kegagalan lereng meningkat selama musim hujan. Curah hujan mengisi kembali air tanah dan secara umum memenuhi lereng. Dalam lereng batuan air tanah dalam diskontinuitas mengembangkan tekanan air yang menghasilkan penurunan kekuatan geser sepanjang bidang diskontinuitas (Hoek and Brown, 1997). Juga, air tanah melumasi permukaan diskontinuitas

sehingga memfasilitasi proses geser batu. Di lereng tanah setelah kejenuhan tadah hujan, berat massa tanah meningkat dan karenanya menambah ketidakstabilan massa tanah. Selain itu, air tanah membantu dalam pengembangan tekanan air pori dalam massa tanah yang lagi-lagi memperburuk ketidakstabilan. Curah hujan adalah parameter eksternal yang penting yang memicu ketidakstabilan lereng. Namun, itu tidak berarti bahwa semua lereng di daerah dimana curah hujan tahunan rata-rata lebih akan menunjukkan ketidakstabilan, karena faktor-faktor intrinsik lainnya secara kolektif menentukan kondisi stabilitas untuk lereng. Mekanisme kegagalan lereng akibat curah hujan terlihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Mekanisme kegagalan lereng akibat curah hujan, (Rahardjo et al 2012)

Ketidakstabilan lereng akibat curah hujan merupakan masalah geoteknik yang umum terjadi di daerah tropis dan subtropics (Tsaparas *et al.*, 2002). Banyak kegagalan lereng terjadi di lereng tanah residu yang curam dengan permukaan air tanah yang dalam selama curah hujan. Ketebalan signifikan zona tanah tak jenuh di atas permukaan air tanah adalah karakteristik umum dari lereng tanah residu yang curam. Tekanan air pori negatif pada tanah tak jenuh sangat dipengaruhi oleh perubahan kondisi batas fluks (mis., Infiltrasi, penguapan dan transpirasi) yang dihasilkan dari variasi dalam kondisi iklim. Di sisi lain, tekanan air pori negatif berkontribusi tambahan kekuatan geser ke tanah tak jenuh. Ketika air menyusup ke lereng, tekanan air pori di lereng meningkat (pengisapan matrik berkurang), dan kekuatan geser tambahan karena pengisapan matrik akan berkurang atau bahkan hilang, menyebabkan kemiringan lebih rentan terhadap kegagalan. Penguapan dan transpirasi akan mengembalikan hilangnya pengisapan matrik pada lereng dan variasi iklim ini terjadi setiap saat. Dengan kata lain, zona tak jenuh adalah antarmuka dinamis lereng dengan lingkungan dan sebagai hasilnya, faktor keamanan lereng dipengaruhi secara dinamis oleh perubahan iklim (Rahardjo, Satyanaga and Leong, 2012).

Karakterisasi curah hujan yang memicu tanah longsor telah digunakan untuk membangun hubungan antara curah hujan dan tanah longsor di berbagai belahan dunia termasuk tanah longsor dangkal (Guzzetti *et al.*, 2004). Infiltrasi air adalah salah satu pemicu terpenting

dari tanah longsor. Salah satu upaya pencegahan longsor non struktur yaitu dengan vegetasi. Cara ini adalah yang efektif untuk mengurangi resapan air, mengurangi retak permukaan tanah, dan, akibatnya, mencegah tanah longsor (Xiao *et al.*, 2017).

Erosi tanah oleh air terjadi jika kondisi tanah jenuh sehingga sulit untuk terinfiltrasi. Air kemudian mengalir di permukaan dan mengangkut butiran-butiran tanah. Erosi tanah adalah Bergeraknya butiran tanah oleh angin atau air (Kirby dalam Sitepu *et al.*, 2017). Erosi menyebabkan hilangnya lapisan atas tanah yang subur untuk pertumbuhan tanaman serta berkurangnya kemampuan tanah untuk menyerap dan menahan air sehingga permeabilitas tanah menjadi tinggi dan menyebabkan kadar air dalam tanah bertambah. Dengan kadar air yang sangat besar yang terkandung dalam tanah akan menyebabkan kuat geser tanah menjadi lemah dan berpotensi terjadi longsor. Beberapa peneliti menyatakan bahwa intensitas hujan yang tinggi memiliki hubungan langsung dengan keruntuhan lereng (Chen, Lee and Law, 2004)

b. Kegempaan

Seismisitas menghasilkan akselerasi tanah yang menghasilkan tanah longsor atau kegagalan lereng (Keefer, 2000). Lereng bukit yang mungkin tetap stabil di bawah beban statis material di atasnya dapat gagal pada beban dinamis karena aktivitas seismik (Hoek and Brown, 1997). Lereng yang tersusun dari massa batuan memiliki diskontinuitas struktural yang cukup besar ketika mengalami hasil percepatan tanah menjadi

pelebaran atau pembukaan diskontinuitas struktural. Dengan demikian, kekuatan geser sepanjang diskontinuitas struktural berkurang dan ketidakstabilan lereng meningkat. Lereng yang terdiri dari sedimen lunak yang tidak terkonsolidasi atau endapan permukaan yang memiliki kemiringan yang curam, permukaan air tanah musiman yang tinggi, dan vegetasi yang berakar atau jarang dangkal juga rentan terhadap kegagalan di bawah pemuatan seismik.

c. Aktivitas Buatan Manusia

Selain parameter pemicu alami, kegiatan buatan manusia juga meningkatkan potensi ketidakstabilan lereng (Wang and Niu, 2009). Aktivitas buatan manusia di medan berbukit yang mempengaruhi kondisi stabilitas lereng adalah kegiatan pengembangan seperti; konstruksi jalan dan bangunan dan kegiatan budidaya. Semua kegiatan ini menghasilkan peningkatan kelembaban di tanah atau massa batuan dan dalam mengubah bentuk lereng. Konstruksi jalan atau bangunan melibatkan pemotongan atau peledakan material lereng yang sering dilakukan dengan cara yang tidak direncanakan. Biasanya, lereng dipotong curam dan, secara umum, penopang kaki dihilangkan dengan demikian, tanah atau massa batu yang menggantung dapat gagal dengan mudah. Selain itu, material lereng yang digali sangat sering dibuang di lereng secara tidak terencana. Material yang dibuang seperti itu mudah rusak jika jenuh dengan air hujan. Budidaya di lereng juga meningkatkan ketidakstabilan

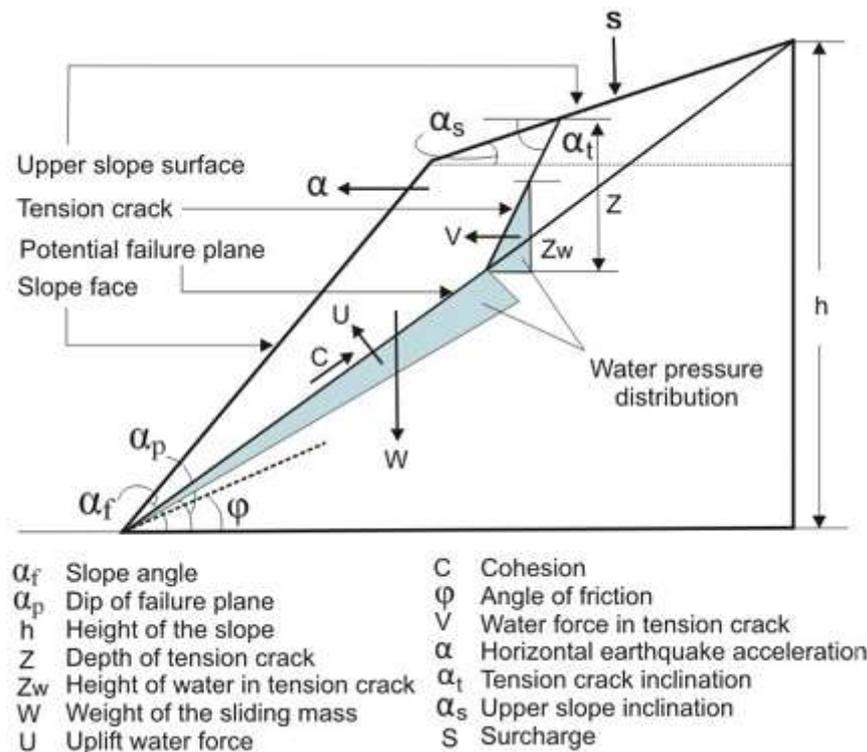
dengan meningkatkan kelembaban tanah karena praktik irigasi. Untuk keperluan budidaya, lereng bukit dibuat datar dan dipotong menjadi tanah bertingkat. Secara umum, pembalut lereng dengan desain bertingkat menstabilkan lereng. Namun, praktik irigasi yang buruk pada lahan bertingkat tersebut dapat menyebabkan pengisian air tanah yang berlebihan yang dapat menyebabkan ketidakstabilan lereng.

B. Faktor Keamanan Lereng

Factor of safety (FS) umumnya digunakan untuk mengukur tingkat keamanan lereng. Karena ketidakpastian dan variabilitas yang terlibat dalam kondisi dasar dan metode analisis, FS lereng yang dihitung mungkin tidak tepat. Untuk mengatasi ketidakpastian dan variabilitas, analisis reliabilitas dan desain kemiringan berbasis keandalan telah menjadi subjek penelitian dengan minat yang semakin meningkat, (Bahsan *et al.*, 2014).

Dalam kasus mode bidang kegagalan, massa batuan yang bersandar pada bidang kegagalan potensial dipengaruhi gaya tarik gravitasi. Selain itu, kekuatan air yang bekerja di sepanjang bidang kegagalan potensial cenderung merusak lereng. Juga, kekuatan muatan dan beban tambahan yang dinamis dapat juga berkontribusi pada kekuatan pendorong. Gaya penahan utama adalah karena kekuatan geser sepanjang bidang potensi kegagalan dan komponen berat massa geser yang bekerja melintasi bidang kegagalan potensial. Rasio antara gaya

penahan dengan tenaga penggerak mendefinisikan FS, jika FS ini lebih besar dari 1 kemiringan merepresentasikan kondisi stabil jika tidak maka kondisi tersebut tidak stabil (Raghuvanshi, 2019a).



Gambar 2. Geometri lereng dan faktor-faktor yang mengontrol penyebab stabilitas lereng memiliki mode kegagalan bidang yang potensial (Raghuvanshi, 2019b)

Jenis kegagalan yang paling umum di lereng batuan adalah mode kegagalan bidang miring. Stabilitas lereng, yang memiliki mode kegagalan bidang potensial, tergantung pada faktor-faktor yang mengatur yaitu; kemiringan lereng (α_f), kemiringan permukaan/kemiringan atas (α_s), ketinggian kemiringan (h), kemiringan bidang potensi kegagalan (α_p), tensioncrack (α_t), parameter kekuatan geser/Kohesi (C), dan sudut

pelepasan (u) dari potensi kegagalan permukaan, ketinggian air dalam tensioncrack (Z_w) dan percepatan gempa horizontal (α) seperti terlihat pada Gambar 2 (Raghuvanshi, 2019b)

Kestabilan suatu dinding lereng dapat dianalisis melalui perhitungan Faktor Keamanan Lereng dengan melibatkan data sifat fisik tanah atau batuan, mekanika tanah (geoteknis tanah) dan bentuk geometri lereng. Secara khusus, analisis dapat dipertajam dengan melibatkan aspek fisik lain secara regional, yaitu dengan memperhatikan kondisi lingkungan fisiknya, baik berupa kegempaan, iklim, vegetasi, morfologi, batuan/tanah maupun situasi setempat. Kondisi lingkungan tersebut merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi gerakan tanah dan merupakan karakter perbukitan rawan longsor.

Faktor keamanan lereng secara sederhana adalah perbandingan antara gaya penahan terhadap gaya penggerak, kestabilan dari suatu lereng pada kegiatan penambangan dipengaruhi oleh kondisi geologi daerah setempat, bentuk keseluruhan lereng pada lokasi tersebut, kondisi air tanah setempat, faktor luar seperti getaran akibat peledakan ataupun alat mekanis yang beroperasi dan juga dari teknik penggalian yang digunakan dalam pembuatan lereng. Faktor pengontrol ini jelas sangat berbeda untuk situasi penambangan yang berbeda dan sangat penting untuk memberikan aturan yang umum untuk menentukan seberapa tinggi atau seberapa landai suatu lereng untuk memastikan lereng itu akan tetap stabil.

Faktor Keamanan (FS) lereng tanah dapat dihitung dengan berbagai metode. Longsoran dengan bidang gelincir (slip surface), FS dapat dihitung dengan metoda sayatan (slice method) menurut Fellenius atau Bishop. Untuk suatu lereng dengan penampang yang sama, cara Fellenius dapat dibandingkan nilai faktor keamanannya dengan cara Bishop. Dalam mengantisipasi lereng longsor, sebaiknya nilai FS yang diambil adalah nilai FS yang terkecil, dengan demikian antisipasi akan diupayakan maksimal. Data yang diperlukan dalam suatu perhitungan sederhana untuk mencari nilai FS (faktor keamanan lereng) adalah sebagai berikut :

1. Data lereng (terutama diperlukan untuk membuat penampang lereng) meliputi: sudut lereng, tinggi lereng, atau panjang lereng dari kaki lereng ke puncak lereng.
2. Data mekanika tanah, yaitu sudut geser dalam (ϕ ; derajat), bobot satuan isi tanah basah (γ wet; g/cm³ atau kN/m³ atau ton/m³), kohesi (c; kg/cm² atau kN/m² atau ton/m²), dan kadar air tanah (ω ; %)
3. Faktor Luar, yaitu getaran akibat kegiatan peledakan, dan Beban alat mekanis yang beroperasi, dan lain-lain.

C. Perkuatan Lereng Tanah

Tindakan perkuatan untuk menanggulangi longsoran pada lereng ada dua jenis yaitu perkuatan lereng tanah dan perkuatan lereng batuan.

Perkuatan lereng tanah merupakan perkuatan yang khusus dirancang untuk menjaga kestabilan lereng yang secara umum tersusun oleh material tanah.

1. Dinding Penahan Tanah (Retaining Walls)

Dinding penahan tanah (*retaining walls*) adalah suatu bangunan yang berfungsi untuk menahan tanah dan memberikan stabilitas pada lereng. Konstruksi dinding penahan haruslah direncanakan dan dirancang agar penghuni dan pengunjung di sebuah gedung tersebut aman dari bahaya longsor yang bisa saja terjadi dikarenakan adanya gaya lateral tanah dan air yang berpotensi menyebabkan kegagalan struktur.

Dinding penahan tanah dapat digunakan pada konstruksi tetap (*permanent*) maupun konstruksi sementara (*temporary*). Karena memiliki sifat ketahanan yang tinggi terhadap lingkungan sekitarnya, dinding penahan tanah banyak dijadikan untuk struktur bangunan yang bersifat permanen (DAS, 1982)

Tujuan utama konstruksi dinding penahan tanah (*retaining walls*) adalah untuk menahan tanah agar tidak terjadi longsor akibat beban yang bekerja. Selain untuk basement, jenis konstruksi dinding penahan tanah ini juga banyak dijumpai pada *under pass* dan lereng bukit. (DAS and SOBHAN, 2014). Sementara itu berikut ini fungsi dinding penahan antara lain, yaitu:

- Menahan gaya tekan lateral tanah aktif (Active Lateral Force Soil) yang berisiko menyebabkan terjadinya keruntuhan lateral tanah seperti contohnya longsor/landslide.
- Menahan gaya tekan lateral air (Lateral Force Water) yang berisiko menyebabkan terjadinya keruntuhan lateral akibat tekanan air yang besar seperti terjadinya erosi.
- Memproteksi kemungkinan terjadinya perembesan air/seepage yang disebabkan adanya elevasi muka air tanah yang cukup tinggi. Dalam hal ini juga berfungsi dalam proses pengeringan air (dewatering) yaitu dengan memotong aliran air (Flow net) pada tanah (Cut Off).

Retaining walls sudah banyak dimanfaatkan secara luas oleh masyarakat. Seperti penerapannya dalam bangunan bertingkat yang membutuhkan basement, jalan raya, jalan kereta api, jembatan, kanal dan lainnya.

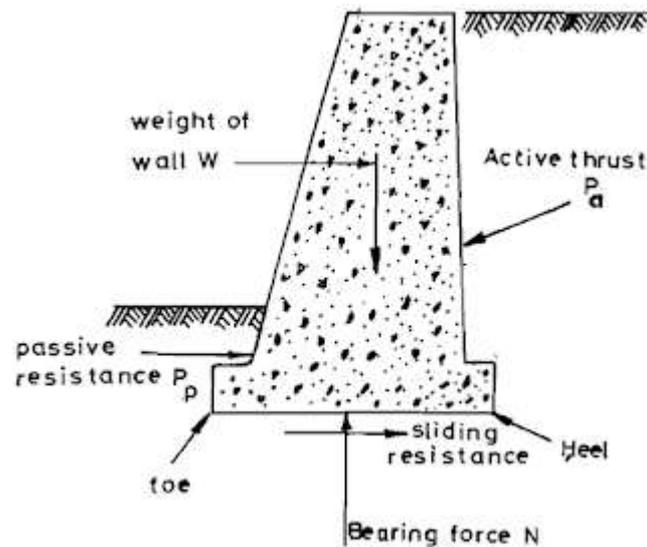
2. Jenis-jenis Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah dalam dunia teknik sipil memiliki banyak jenis. Adapun jenis-jenis konstruksi dinding penahan tanah yang perlu diketahui dalam praktek rekayasa konstruksi yaitu:

a. Dinding penahan gravitasi

Gravity retaining wall adalah dinding yang mengandalkan beratnya untuk mencapai kestabilan tanah seperti terlihat pada gambar 3. Bahan penyusun *gravity retaining wall* ini biasanya berupa material pasangan

batu atau beton bertulang (*reinforced concrete*).

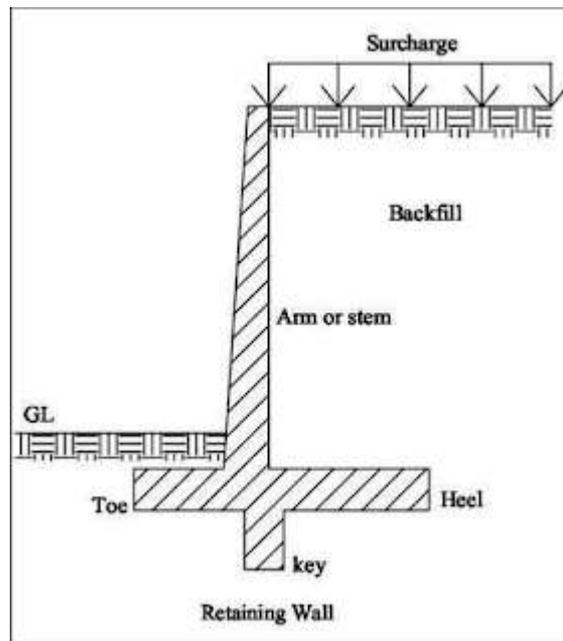


Gambar 3. Dinding penahan gravitasi (*gravity wall*)

Prinsip kerja dinding penahan tanah massa (*gravity retaining wall*) yaitu mengandalkan bobot massa dari badan konstruksinya sehingga tingkat kestabilan dari struktur dapat lebih tinggi dikarenakan bobotnya yang berat dalam menahan tekanan tanah lateral (Trandafir, Kamai and Sidle, 2009).

b. Dinding penahan kantilever

Dinding kantilever merupakan dinding beton bertulang (*reinforced concrete*) yang berbentuk huruf T. Tulangan tersebut berfungsi untuk menahan momen dan gaya lintang bekerja pada bagian kantilever dindingnya seperti terlihat pada gambar 4.

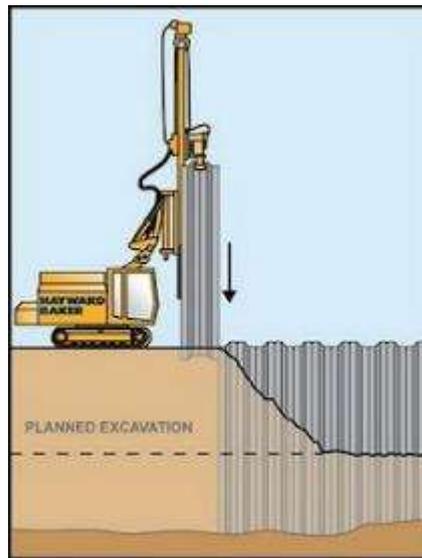


Gambar 4. Dinding penahan tanah kantilever

Ada tiga bagian struktur yang berfungsi sebagai kantiliver seperti yaitu dinding vertical (steem), tumit tapak (heel), dan ujung kaki tapak (toe). Prinsip kerja dari dinding kantilever yaitu dengan mengandalkan daya jepit/fixed pada dasar rangkaian strukturnya. Dinding kantilever berbentuk telapak/spread memanjang pada dasar strukturnya yang berfungsi untuk menjepit dan menjaga kestabilan dari tekanan tanah pada timbunan maupun pada tebing (Setiawan, 2011).

c. Dinding Penahan Tipe Turap (*Sheet Pile*)

Sheet pile atau turap banyak digunakan untuk menahan tekanan tanah aktif lateral tanah pada timbunan maupun untuk membendung air (coverdam). *Sheet pile* umumnya terbuat dari bahan material beton pra tegang (prestrees concrete) dan baja seperti terlihat pada gambar 5.



Gambar 5. Dinding penahan tanah tipe turap (sheet pile)

Sheet pile juga cocok untuk dipasang pada konstruksi bangunan tinggi yang memiliki basement. Sheet pile sering digunakan sebagai dinding penahan dikarenakan mudah dalam menggunakannya dengan biaya pemasangan yang lebih murah. Selain itu, sheet pile memiliki ketahanan yang sangat tinggi terhadap lingkungan sekitarnya.

Sheet pile berbentuk ramping yang mengandalkan tahanan jepit pada saat ditancapkan ke kedalaman tanah. Proses pemasangannya dapat dikombinasikan dengan sistem ankur/anchor. Sementara itu kedalaman tancap sheet pile sendiri dapat mencapai elevasi sampai tanah keras (Tang *et al.*, 2018).

c. Dinding Penahan Bronjong (*Gabion*)

Bronjong merupakan bangunan penguat tanah berupa anyaman kawat baja berlapis seng dengan dimensi tertentu yang diisi batu belah dengan diameter 10-20 cm seperti terlihat pada gambar 6.

(Salmasi, 2012) menyatakan bahwa manfaat dari penggunaan bronjong, seperti kemudahan konstruksi, stabilitas struktural, fleksibilitas, dan ketahanan terhadap beban air. Porositas dapat membantu air mengalir lebih cepat dan mengurangi beban air di belakang struktur (Zhang and McSaveney, 2018). Mekanisme aliran berperan penting dalam meningkatkan atau mengurangi faktor gesekan, sehingga mempengaruhi penetrasi geser dalam lapisan permeabel, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi lapisan batas. Oleh karena itu, meningkatkan hambatan aliran dapat meningkatkan pembuangan energi karena pertukaran momentum antara permukaan dan aliran bawah permukaan (Reeve, Zuhaira and Karunarathna, 2019).

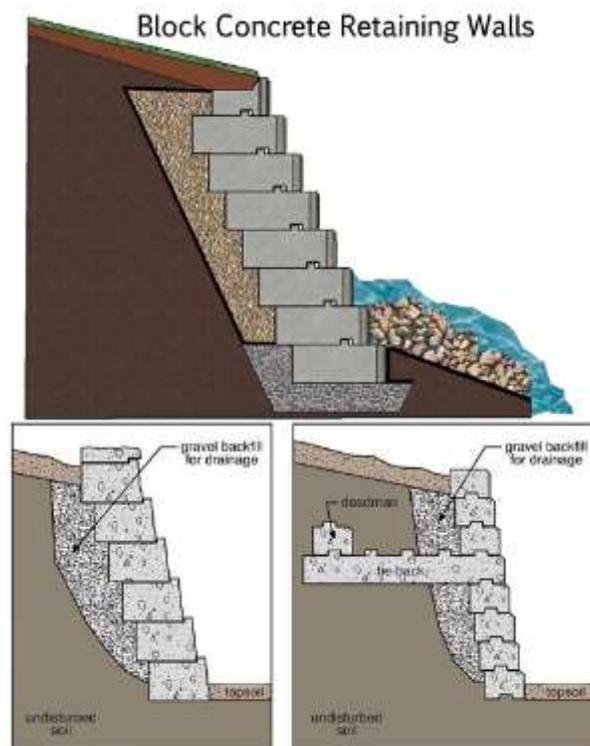


Gambar 6. Metode perkuatan lereng dengan menggunakan bronjong
Sumber : Pemasangan bronjong di Banten <https://bantenhits.com>
diunduh hari Sabtu, 27 Juli 2019

e. Dinding Penahan Tanah Blok Beton (*Block Concrete*)

Dinding penahan tanah tipe blok beton adalah kumpulan blok-blok beton masif padat yang disusun secara vertikal ke atas dengan menggunakan sistem pengunci/locking antar blok seperti terlihat pada

gambar 7. Blok beton tersebut dibuat secara rancangan berstandar dengan proses fabrikasi berupa beton precast dan kemudian proses pemasangannya dilakukan di lokasi (Zhang *et al.*, 2012).



Gambar 7. Block concrete retaining walls

f. Revetment

Revetment adalah struktur dinding penahan tanah sederhana yang berfungsi untuk memperkuat dan melindungi tanah dari gerusan aliran sungai atau ombak pantai. Konstruksi jenis ini dapat dibuat dari kayu, beton atau bebatuan. Pada dasarnya revetment ini memiliki fungsi untuk memproteksi atau mengurangi risiko yang timbul akibat adanya efek gerusan/erosi yang dapat merusak kestabilan lereng/tanggul seperti terlihat pada gambar 8.



Wooden Revetment



Rubble Concrete Revetment



Rock Revetment

Gambar 8. Struktur dinding penahan tanah (revetment)

Lapisan revetment pada struktur pelindung pantai memiliki variasi desain, terbuat dari gundukan puing-puing, pelat beton, beton kasur, aspal, rip rap atau bronjong. Lapisan pelindung di revetment pantai dapat bersifat permeabel atau impermeabel dan fleksibel atau kaku. Ketika revetment pantai dirancang untuk berbagai kondisi wilayah, jenis penggunaan revetment untuk melindungi struktur pantai dan pemecah gelombang, semua faktor seperti kecepatan pelaksanaan, biaya konstruksi dan transportasi jarak material puing yang sesuai harus

diperhatikan pertimbangan (Aminoroayaie Yamini, Mousavi and Kavianpour, 2019)

9. Dinding kisi (*crib walls*)

Crib walls merupakan dinding penahan tanah yang terbuat dari potongan-potongan beton precast, logam, atau kayu, dan topang oleh angkur-angkur yang ditanak di dalam tanah untuk mencapai kestabilan tanah seperti terlihat pada gambar 9.

Crib walls adalah bentuk dinding penahan gravitasi yang dibangun dari unit beton pracetak yang saling mengunci. Ruang antara unit yang saling mengunci atau “boks” diisi dengan tanah untuk memberikan bobot dan stabilitas sebelum timbunan yang berdekatan ditempatkan. Dalam beberapa tahun terakhir, dinding boks telah digunakan dalam jumlah dan ketinggian yang lebih besar untuk memecahkan berbagai masalah penahan. Hal ini mengakibatkan semakin banyaknya kegagalan (Gerald D. Lehmer, Chukwuma G. Ekwueme, 2009).



Gambar 9. Dinding penahan tanah *crib walls*

Pengetahuan mengenai dinding penahan tanah (*retaining walls*) memang penting dipahami sebelum Anda menerapkannya pada konstruksi yang akan dikerjakan. Melalui ulasan di atas, dinding penahan tanah memang penting penggunaannya dan diperlukan dalam konstruksi seperti underpass dan basement. Pemasangan *retaining walls* ini dapat mencegah terjadi longsor akibat beban yang terus-menerus diterima oleh tanah.

Dari penjelasan di atas tentunya dari masing-masing dinding penahan tanah memiliki karakteristik yang berbeda-beda berdasarkan pada fungsi dan kegunaannya. Seorang insinyur sipil harus mampu mengetahui karakteristik jenis-jenis konstruksi dinding penahan serta kegunaannya dalam praktik konstruksi di lapangan. Semoga penyampaian terkait artikel ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

D. Perkuatan Lereng Fleksibel

1. Metode Riprap

Kestabilan lereng menjadi sangat penting terkait bencana alam longsor yang dapat mengancam pengguna lahan di dasar tebing. Gerakan tanah/longsoran adalah perpindahan massa tanah/batuan pada arah tegak, mendatar atau miring dari kedudukan semula. Dalam definisi ini termasuk juga deformasi lambat atau jangka panjang dari suatu lereng yang biasa disebut rayapan (*creep*). Penggunaan Riprap sebagai penahan dinding yakni melindungi tebing dengan lapisan batu yang

mengikuti kemiringan bentuk tebing seperti terlihat pada Gambar 10. Dimana metode ini dengan membersihkan lahan dari tebing yang akan dilindungi seperti dari semak dan pohon. Lalu tebing yang akan dilindungi digali secukupnya untuk pemasangan lapisan geotextile dan batu riprap.



Gambar 10. Penahan dinding dengan riprap pada lereng
Sumber : Rockridge Construction <https://www.rockridgeconstruction.net>,
diunduh hari Minggu tanggal 28 Juli 2019

Penggunaan Riprap yang mudah, cepat, murah, dan flexible, serta dikhususkan untuk menahan erosi yang terjadi di dasar tebing. Riprap juga dapat dikombinasikan dengan struktur perlindungan yang lain, selain itu Riprap masih mengizinkan terjadinya perkolasi yakni mengalirnya air secara gravityasi dari lapisan atas menuju lapisan di bawahnya.

Riprap tetap menjadi salah satu cara yang paling umum dan hemat biaya untuk memberikan perlindungan erosi, stabilitas struktur, dan stabilisasi lereng dari kondisi aliran yang berlebih. Saat ini, setidaknya dua puluh empat hubungan desain riprap dan atau prosedur sintesis telah dirumuskan sejak 1936 untuk menentukan ukuran riprap batu (Abt and Thornton, 2014).

Sistem perlindungan erosi yang sering digunakan termasuk rumput alami, tindakan bioengineered, blok beton, semen tanah dan bronjong. Namun, riprap tetap menjadi sarana umum untuk memberikan perlindungan erosi. Ukuran batu riprap yang tepat sangat penting untuk memberikan stabilitas struktural riprap ketika mengalami kondisi limpasan aliran. (Abt and Thornton, 2014). Riprap batu umumnya digunakan untuk melindungi tanggul, bendungan tanggul, saluran curam, dan struktur lainnya yang rentan terhadap erosi yang merusak yang disebabkan oleh aliran yang berlebih ((Najafzadeh, Rezaie-Balf and Tafarjnoruz, 2018).

Keuntungan utama dari perlindungan rip-rap adalah: 1. Selimut rip-rap fleksibel dan tidak terganggu atau dilemahkan oleh sedikit gerakan atau penurunan dasar lereng. 2. Kerusakan atau kehilangan lokal dapat diperbaiki relatif mudah. 3. Konstruksi tidak rumit (Biswas and Barbhuiya, 2015). Perbedaan beberapa struktur pengaman tebing dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Struktur Pengaman Tebing

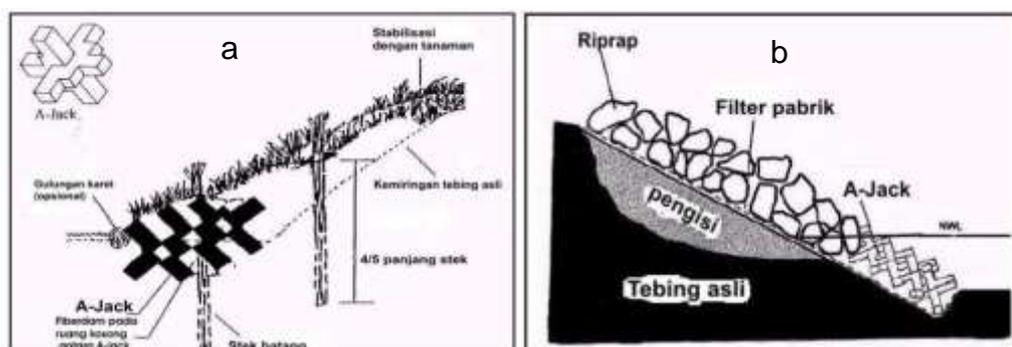
Jenis Pengaman	Tipe	Bangunan
Revetment	Fleksibel	<i>Riprap</i>
		<i>Bronjongan (Gabion)</i>
	Rigid (Kaku)	<i>Retaining Wall</i>
		<i>Sheet Pile</i>
Bangunan Pengarah Aliran		<i>Krip (Groyne)</i>
		<i>Spur</i>
Bangunan Peredam Energi		<i>Check Dam</i>

Sumber : riprapdocx.html

2. Struktur Blok Beton

Perkuatan lereng dengan menggunakan blok beton masih sangat jarang digunakan. Beton adalah bahan yang paling banyak digunakan di dunia dan diperkirakan bahwa produksi global tahunan lebih dari 2 miliar meter kubik. Beton dibuat dari bahan yang dikeraskan campuran semen, air, agregat halus dan agregat kasar (Irmawaty and Djameluddin, 2014). Adapun penggunaannya umumnya hanya sebatas penanganan lereng-lereng sungai, namun untuk lereng tanpa pengaliran dengan sudut kemiringan yang besar hampir belum dijumpai.

Ada beberapa jenis perkuatan penahan dinding sungai diantaranya yaitu kombinasi A Jack dengan riprap seperti terlihat pada Gambar 11.. Struktur A Jack adalah beton berbentuk yang berbentuk A-jack yang diletakan pada kaki tebing. Tujuan struktur ini adalah untuk melindungi tebing dari gaya erosi oleh aliran air dan menstabilkan tanah sepanjang tebing sungai. Penggunaannya yaitu diletakkan disepanjang kaki tebing yang tererosi (Khalifehei *et al.*, 2021).



Gambar 11. Struktur blok model A-Jack Kombinasi Tanaman (a), A-Jack Kombinasi Riprap (b)

Perkuatan lereng dengan metode tipe blok X, adalah metode yang dibuat untuk mendukung perkuatan lereng dengan menggunakan riprap sehingga kegagalan yang terjadi dapat diperkecil. Secara teknis fungsi dari blok X adalah untuk memperkuat kedudukan batuan yang digunakan untuk menyelimuti lereng. Pemasangan batu dan blok X mengikuti kemiringan lereng, namun hal yang penting diperhatikan, yaitu kecuraman lereng, serta bentuk dan dimensi material batu yang digunakan.

E. Penelitian Terdahulu

Tabel 2. Tabel Penelitian Terdahulu

Peneliti	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
(Basahel and Mitri, 2017)	Application of rock mass classification systems to rock slope stability assessment A case study	Pengembangan klasifikasi massa batuan untuk penilaian stabilitas lereng batuan dievaluasi terhadap kondisi lereng batuan yang diketahui dalam wilayah Arab Saudi	Metode empiris diterapkan pada 22 potongan batuan yang dipilih berdasarkan metode mekanisme kegagalan.	Membandingkan masing-masing sistem klasifikasi massa batuan
(Lin, Yuliang, Yang Guolin, 2010)	Engineering behaviors of reinforced gabion retaining wall based on laboratory test	Untuk mempelajari perilaku rekayasa dinding penahan gabion bertulang, dilakukan uji model laboratorium.	Uji model laboratorium. Beban siklik dan bongkar lima tingkat (0-50, 0-100, 0-50, 0-200, dan 0-250 kPa) diberlakukan.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa tekanan tanah vertikal kurang dari nilai teoritis, rasio tekanan tanah vertikal terhadap nilai teoritis meningkat hampir secara linear dengan meningkatnya beban,
(Lin and Yang, 2013)	Dynamic deformation behavior and life analysis of green reinforced gabion	Untuk mempelajari perilaku deformasi dinamis dari dinding penahan gabion bertulang, dilakukan uji lab dan	Dilakukan uji lab dan beban dinamis 4 frekuensi dan 4 amplitudo diberlakukan	Hasil penelitian menunjukkan bahwa deformasi dinamis sangat dipengaruhi oleh amplitudo dan siklus

	retaining wall	beban dinamis 4 frekuensi dan 4 amplitudo diberlakukan		beban dinamis, tidak dipengaruhi secara signifikan oleh frekuensi.
(Fattet <i>et al.</i> , 2011)	Effects of vegetation type on soil resistance to erosion: Relationship between aggregate stability and shear strength	menyelidiki efek vegetasi pada stabilitas agregat tanah dan kekuatan geser (test melalui geser langsung) di bekas lahan pertanian yang dikonversi menjadi area perlindungan erosi vegetasi dalam konteks Cina program konversi lahan miring	Melakukan analisis perlakuan terhadap tanaman	Memiliki implikasi untuk keberhasilan teknik yang digunakan dalam program konversi lahan yang didedikasikan untuk mengendalikan erosi tanah dangkal dan tanah longsor.
(Raghuvanshi, Ibrahim and Ayalew, 2014)	Slope stability susceptibility evaluation parameter (SSEP) rating scheme – an approach for landslide hazard zonation.	penilaian parameter kerentanan lereng baru (SSEP) yang dikembangkan sebagai pendekatan evaluasi ahli untuk zonasi bahaya longsor	Mengevaluasi parameter intrinsik dan eksternal	Faktor instrinsik memberikan kontribusi yang besar ketidakstabilan pada lereng
(Wang and Niu, 2009)	Spatial forecast of landslides in three gorges based on spatial data mining.	peramalan spasial tanah longsor dipelajari dengan menetapkan 20 faktor prakiraan (spektrum, tekstur, tutupan vegetasi,	metode yang diusulkan dalam makalah ini dibandingkan dengan tujuh metode lain	Hasil percobaan menunjukkan bahwa metode yang diusulkan dalam makalah ini memiliki ketepatan

		level air waduk, kemiringan struktur, rekayasa grup batuan, ketinggian, kemiringan, aspek, dll)		perkiraan yang tinggi, terasa lebih tinggi dari tujuh metode lainnya
(Najafzadeh, Rezaie-Balf and Tafarajnoruz, 2018)	Prediction of riprap stone size under overtopping flow using data-driven models	untuk memperkirakan ukuran batu riprap berdasarkan 102 set data eksperimental	Pemrograman Gen-Ekspresi (GEP), Model Tree (MT), dan Regresi Polinomial Evolusi (EPR)	Analisis hasil mengungkapkan bahwa teknik EPR memberikan prediksi akurat ukuran riprap pada tahap pengujian dibandingkan dengan model berbasis data terpilih lainnya serta persamaan empiris
(Abt and S.R and Thornton, 2014)	Enhanced Stone Sizing for Overtopping Flow	Ekspresi riprap-sizing yang unik dikembangkan dengan koefisien determinasi (R ²) 0,97 dan varian 11%.	Analisis regresi daya dilakukan dengan menggunakan 102 pengamatan limpasan dari 10 investigasi terpisah; analisis yang terkait ukuran batu rata-rata untuk kemiringan, debit unit, koefisien keseragaman, ketebalan lapisan batuan, dan berat jenis batu.	Hubungan desain yang dihasilkan memperluas kondisi batas variabel independen di luar upaya sebelumnya, sehingga mengurangi kebutuhan untuk mengekstrapolasi hubungan sebelumnya.
(Froehlich,	Mass Angle of	Memperkirakan sudut	Menggunakan analisis	Sudut masa istirahat

2011)	Repose of Open - Graded Rock Riprap	massa istirahat batu bertingkat terbuka Mengklasifikasikan rock angularity secara visual sebagai (1) round, (2) subround, (3) subangular, atau (4) angular	regresi linier dari data yang dikumpulkan dari 74 tumpukan batu alam dan batu yang dihancurkan.	terbukti bergantung terutama pada partikel angularitas dan, sampai batas yang jauh lebih rendah, pada diameter partikel median D50 dan pada ketidakseragaman atau gradasi campuran, yang ditandai dengan rasio $D85 = D50$.
(Tsaparas <i>et al.</i> , 2002)	Controlling parameters for rainfall-induced landslides	mengidentifikasi pengaruh beberapa parameter tersebut terhadap stabilitas lereng tanah tak jenuh selama curah hujan	Analisis numerik dari masalah ini memerlukan definisi berbagai karakteristik hidrologi tanah di samping informasi iklim	Hasil analisis menunjukkan bahwa rasio antara koefisien jenuh permeabilitas terhadap air dan pola curah hujan berpengaruh nyata terhadap rembesan. pola dalam lereng tanah tak jenuh
(Collins and Znidarcic, 2004)	Stability Analyses of Rainfall Induced Landslides	memanfaatkan formulasi analitis untuk memprediksi perubahan faktor keamanan untuk lereng yang terkena infiltrasi dan analisis rinci dari studi kasus disajikan untuk	Menggabungkan, pengaruh tekanan air pori negatif dan positif pada stabilitas lereng yang awalnya tidak jenuh digabungkan dengan metode analisis lereng	Pernyataan kuantitatif dibuat mengenai waktu dan kedalaman keruntuhan dalam hubungannya dengan parameter tanah, kemiringan, dan curah

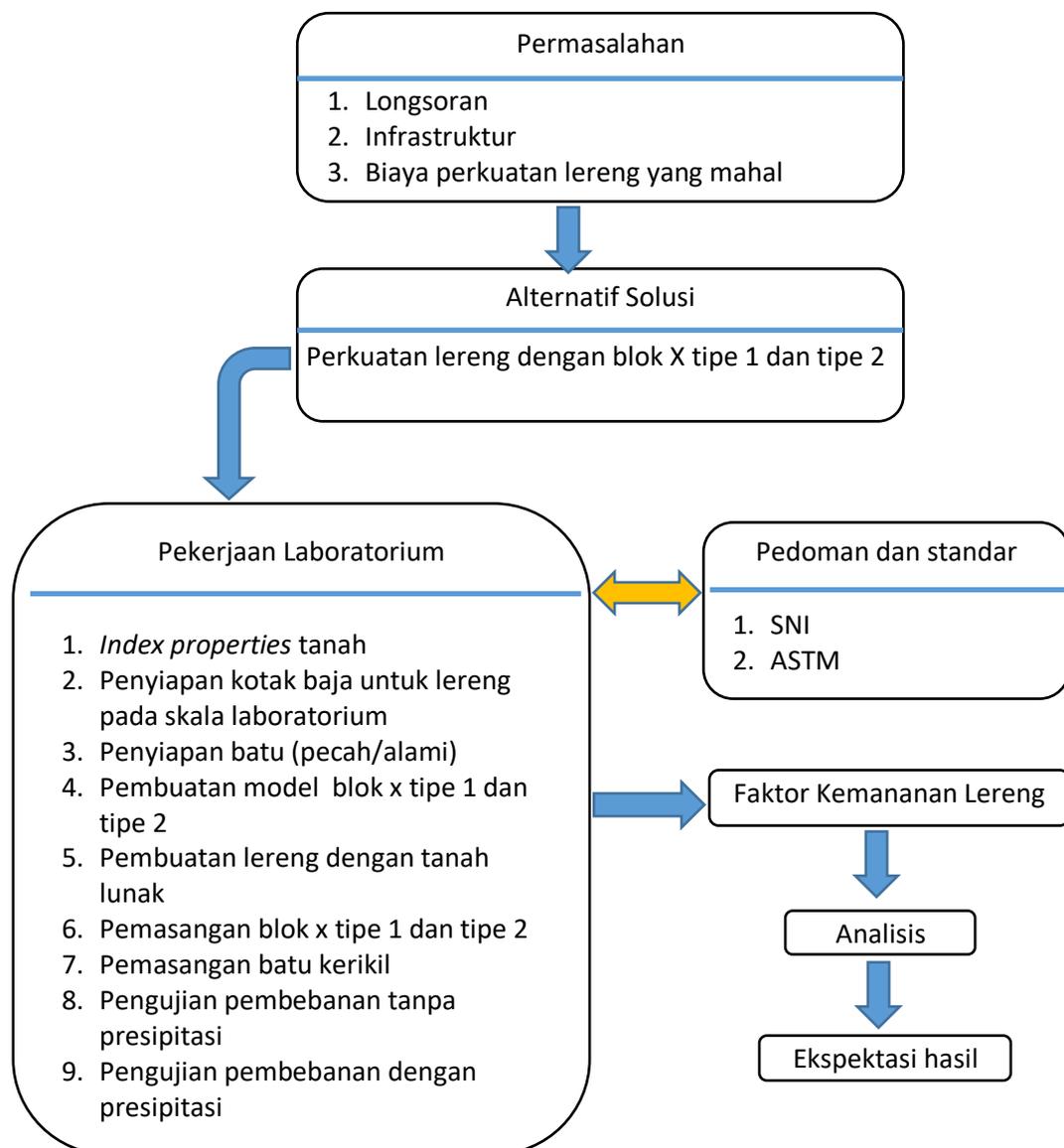
		memverifikasi metode tersebut	tak terbatas untuk menyajikan formulasi prediksi keruntuhan lereng yang terjadi sebagai akibat dari peristiwa curah hujan.	hujan
(Collins and Sitar, 2011)	Stability of Steep Slopes in Cemented Sands	Penelitian yang disajikan mengevaluasi bagaimana derajat sementasi mengontrol evolusi lereng pasir yang curam dan menunjukkan bahwa geometri lereng yang terperinci penting dalam menentukan karakteristik mode keruntuhan, yang pada gilirannya memandu pemilihan metode analisis stabilitas yang tepat	Penampang profil lereng yang rinci yang berasal dari survei lidar terestrial dari tebing pasir semen yang tidak dapat diakses digunakan untuk menyelidiki mode keruntuhan pada pasir yang disemen lemah [kuat tekan tidak dibatasi (UCS)<30 kPa] dan disemen sedang (30<UCS<400 kPa) dan pasir peran mereka dalam evolusi geometri lereng	Hasilnya menunjukkan bahwa topografi lereng beresolusi tinggi, seperti yang dapat diperoleh dengan lidar terestrial, sangat penting untuk mengidentifikasi mode keruntuhan yang sama sekali berbeda pada lereng pasir yang tersementasi lemah (mode geser) dan semen sedang (mode tarik)
(Tu <i>et al.</i> , 2009)	Field monitoring of rainfall infiltration in a loess slope and analysis of failure mechanism of rainfall-induced	Makalah ini menyajikan hasil dari probe kelembaban tanah, tensiometer, dan ketinggian air untuk mengungkapkan proses	Eksperimen lapangan skala penuh yang melibatkan curah hujan buatan telah dilakukan di lereng berinstrumen loess cut di jalan bebas	Hasilnya menjelaskan dengan baik pengamatan bahwa lereng loess bisa stabil di musim hujan, tetapi mungkin cenderung

	landslides	infiltrasi permukaan pada tanah tak jenuh	hambatan di dataran tinggi loess, Cina Barat Laut. Instrumentasi termasuk probe kelembaban tanah, tensiometer, pisometer, sensor vakum, sensor ketinggian air, dan pengukur hujan dipasang di lereng	longsor sekitar 3–6 bulan kemudian di musim kemarau. Infiltrasi permukaan memiliki efek yang sangat terbatas pada permukaan air tanah permanen, yang berada pada kedalaman yang lebih besar.
(Wu <i>et al.</i> , 2017)	Laboratory characterization of rainfall-induced loess slope failure	mempelajari dinamika lereng loess di bawah kondisi curah hujan buatan. mengamati karakteristik deformasi tanah longsor yang hilang dan perkembangan kegagalan, mengukur hubungan antara infiltrasi curah hujan dan stabilitas lereng yang hilang	Melakukan tiga kelompok eksperimen flume di laboratorium	Mengamati bahwa perkembangan tanah longsor dimulai dengan kegagalan lokal di lereng kaki yang secara bertahap mundur ke arah tajuk, membentuk perpindahan multi-geser, dan akhirnya mengakibatkan kegagalan lereng total.
(Acharya <i>et al.</i> , 2009)	The influence of shallow landslides on sediment supply: A flume-based investigation using sandy soil	Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki bagaimana variasi kedalaman tanah mempengaruhi lokasi dan terjadinya keruntuhan	Empat percobaan dilakukan dengan menggunakan tanah berpasir yang sama dan konfigurasi kemiringan majemuk 30° dan 10° di	Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil sedimen di outlet flume, sebelum tanah longsor terjadi, sangat rendah dan terbatas

		lereng dangkal, serta bagaimana hal itu mempengaruhi hasil sedimen di lereng bawah	bawah intensitas curah hujan rata-rata 50 mm h-1 hingga 390 menit. Kedalaman tanah diatur menjadi 200, 300, 400 dan 500 mm. Rekayasa dan sifat geoteknik tanah diperiksa.	pada partikel tanah yang lebih halus seperti yang diharapkan untuk tanah berpasir. Hasil sedimen juga dipengaruhi oleh kedalaman tanah asli; semakin dalam, semakin tinggi hasil sedimen
--	--	--	---	--

F. Kerangka Pikir Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan kajian pustaka di atas dapat dibuat kerangka pikir penelitian ini seperti terlihat pada Gambar 12. Tahapan yang harus dilalui dalam penelitian uji model perkuatan lereng dengan model blok X, ditunjukkan dalam kerangka pikir penelitian.



Gambar 12. Kerangka Pikir Penelitian

G. Defenisi Operasional

1. Tanah lunak merupakan tanah kohesif yang terdiri dari tanah yang sebagian besar terdiri dari butir-butir yang sangat kecil seperti lempung dan lanau. Lapisan tanah lunak mempunyai sifat gaya geser yang rendah, kemampuan yang tinggi, koefisien permeabilitas yang rendah, dan mempunyai daya dukung yang rendah.
2. Faktor keamanan lereng secara sederhana adalah perbandingan antara gaya penahan terhadap gaya penggerak
3. Komposisi material adalah material penyusun blok beton tipe x yang terdiri dari semen, agregat kasar, agregat halus, kawat baja serta air.
4. Blok X tipe 1 adalah model perkuatan lereng dengan menggunakan blok beton tipe x yang saling mengunci.
5. Blok X tipe 2 adalah model perkuatan lereng dengan bentuk blok beton tipe x yang saling menutupi.
6. Uji model fisik lereng adalah pengujian dengan membuat lereng dalam skala model sesuai kondisi lapangan untuk menganalisis stabilitas lereng.
7. Load cell adalah merupakan sensor yang dirancang untuk mendeteksi tekanan atau berat sebuah beban. instrument untuk membaca besarnya beban yang diberikan pada saat pengujian pembebanan.
8. LVDT adalah sensor Linear Variable Differential Transformers yang berfungsi sebagai transducer elektromagnetik yang bisa mengkonversi gerak lurus pada suatu material menjadi sinyal listrik. Sensor LVDT digunakan untuk mengukur pergerakan lereng.

9. Nozel adalah alat untuk mengatur pengaliran air seperti curah hujan yang diinginkan.
10. CCTV adalah adalah alat perekaman dalam bentuk gambar atau video pada saat pengujian.
11. Deformasi didefinisikan sebagai perubahan bentuk, posisi dan dimensi dari suatu materi atau perubahan kedudukan (pergerakan) suatu materi.