

**APLIKASI VEGETATIF SISTEM VETIVER PENGENDALI  
EROSI DAN LONGSOR DI JALAN LINGKAR LUAR  
PROVINSI GORONTALO**

**RAHMAT LIBUNELO**



**SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2019**



**APLIKASI VEGETATIF SISTEM VETIVER PENGENDALI  
EROSI DAN LONGSOR DI JALAN LINGKAR LUAR  
PROVINSI GORONTALO**

TESIS

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister

Program Studi

Teknik Transportasi

Disusun dan di ajukan oleh

RAHMAT LIBUNELO

Kepada

SEKOLAH PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2019



## LEMBAR PENGESAHAN

### APLIKASI VEGETATIF SISTEM VETIVER PENGENDALI EROSI DAN LONGSOR DI JALAN LINGKAR LUAR PROVINSI GORONTALO

Disusun dan diajukan oleh :

**RAHMAT LIBUNELO**  
**P092171007**

Menyetujui,  
Komisi Penasehat

  
Prof. Dr.-Ing. M. Yamin Jinca, MSTR  
Ketua

  
Dr. Ir. Jamaluddin Rahim, MSTR  
Anggota

Mengetahui,  
Ketua Program Studi  
Teknik Transportasi

  
Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl. Ing



## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Rahmat Libunelo

Nim : P092171007

Program Studi : Teknik Transportasi

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis dengan judul Aplikasi Bioengineering Sebagai Metode Alternatif Stabilitas Lereng Di Jalan Lingkar Luar Provinsi Gorontalo, benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini merupakan karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Maret 2019

Yang Menyatakan ;

Rahmat Libunelo



## PRAKATA

Segala puji bagi Allah SWT pemilik semesta yang telah menganugerahi limpahan berkah, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dan dituangkan dalam bentuk Tesis, sebagai syarat untuk menyelesaikan pendidikan jenjang kemagisteran di program studi Teknik Transportasi.

Pemikiran yang melatar belakangi untuk membahas permasalahan longsor Erosi, bermula tingginya kasus longsor dan erosi yang terjadi pasca pekerjaan struktur karena kurangnya penanganan simultan terhadap lereng. kurangnya riset terkait metode bioengineering menjadi dasar utama pengambilan judul *Aplikasi Vegetatif Sistem Vetiver Pengendali Erosi dan Longsor Di Jalan Lingkar Luar Provinsi Gorontalo*.

Selama masa Pendidikan penulis telah banyak menerima bantuan moril dan materil baik secara langsung maupun tidak langsung. Melalui tulisan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Dwiya Aries Tina Pulubuhu, MA., Rektor Universitas Hasanuddin
2. Bapak Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl.Ing, Ketua Program Studi Teknik Transportasi Universitas Hasanuddin
3. Bapak Prof. Dr-Ing. M. Yamin Jinca, MSTr Selaku ketua komisi penasehat, yang telah berkenan meluangkan waktu dan pikiran

untuk membimbing, menelaah dan memberikan saran dalam penyusunan tesis ini.



4. Bapak Dr.Ir. Jamaluddin Rahim, MSTr Selaku anggota penasehat yang telah berkenan meluangkan waktu membimbing penulis.
5. Ibu Prof. Dr. Ir. Shirly Wunas, DEA , Bapak Dr. Ir.Achmad Bakri Muhiddin M.Sc.,Ph.D dan Dr.Eng Abdul Rachman Rasyid ST.,M.Si Selaku panitia penilai yang telah meluangkan waktu untuk menelaah dan memberikan saran untuk penelitian ini
6. Kepala Dinas PUPR Provinsi Gorontalo, Kepala Bidang Bina Marga, Kepala UPTD Pengujian Material PUPR, Kepala Laboratorium Teknik Sipil UNG, Kepala Laboratorium Jurusan Kimia UNG yang telah membantu menyediakan fasilitas pengujian laboratorium dalam proses pengambilan data.
7. Kepala Stasiun Klimatologi Tilongkabila Provinsi Gorontalo Bersama Staf Prakirawan Ibu Fitri, S.Tr, dan ibu Arimi Pratiwi Gani, S.Tr
8. Tim Pendukung pengambilan Data L.Antuli, A.Paje, F.Liputo, R.Pomalingo, A.Muhammad.ST, Ayu Arsyad ST, Frasandi Rahman ST.MT,
9. Kedua orang tua yang terkasih Andris Libunelo dan Haryati Lahinta serta saudaraku Harun Libunelo, Dirham Libunelo, Taufik Libunelo.ST yang telah memberikan banyak motivasi bagi penulis
- 10.Rekan mahasiswa 2017 dan Perangkat jurusan; Hendrik, Ida umboro, Budi, Fitri, Agri, Arli, Ricardo , tenri, hairudin Dan Bapak Firman S.Pd (Staf Prodi Teknik Transportasi).

keluarga Ibu H. Lisda Manoppo. SE yang telah memberikan banyak bantuan baik moril dan materil



12. Eka Rezky Hapsari Habi. ST yang selalu sabar dan terus memberikan dukungan moril. menjadi motivasi penulis untuk merampungkan tulisan ini.

13. Semua pihak yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan dan dukungan.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan ini masih jauh dari sempurna, maka penulis sangat berharap mendapatkan kritikan dan saran dari pembaca dan semua pihak yang dapat disampaikan langsung kepada penulis melalui kontak penulis dibagian lampiran tesis ini, semoga tesis ini bermanfaat bagi kita semua.

Makassar,     Maret 2019

Penulis

Rahmat Libunelo



## ABSTRAK

### **RAHMAT LIBUNELO. Aplikasi Vegetatif Sistem Vetiver Pengendali Erosi Dan longsor di Jalan Lingkar Luar Provinsi Gorontalo (Dibimbing oleh M. Yamin Jinca dan Jamaluddin Rahim)**

Erosi dan longoran di jalan lingkar luar Provinsi Gorontalo (GORR) menjadi perbincangan dikalangan pelaku konstruksi dan para ahli geoteknik, khususnya lereng di stasiun 13+600 yang memiliki sudut kemiringan terjal sebesar  $63^\circ$  dan ketinggian 55.56 m. Riset ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh vegetasi rumput vetiver terhadap erosi yang terjadi dan hubungan erosi dengan karakteristik tanah serta efektivitas vetiver dalam pengendalian erosi dan longoran. Hasil yang diperoleh dari analisis matriks kesesuaian vegetasi dengan kondisi lahan, menunjukkan bahwa pemanfaatan vetiver pada tanah aluvial dengan endapan batu gamping yang memiliki kandungan air 15,47%, berat jenis tanah 2.68 dan kadar Ph 9,7 sangat efektif pertumbuhannya. Analisis empiris erosi lereng dengan *Universal Soil Loss Equation* (USLE), ternyata vetiver dapat menurunkan kehilangan tanah sebesar 22.5 %. Akar vetiver efektif terhadap longoran dangkal, analisis dengan metode irisan persamaan Fellenius menggunakan program *rocscience slide 6.0* tidak memberi pengaruh, melainkan akar hanya mampu meningkatkan nilai kohesi tanah.

Kata kunci : Erosi, Vetiver, Stabilitas, Curah hujan,

Makassar,           Maret 2019  
An. Tim Abstrak Magister Transportasi  
Sekolah Pascasarjana Unhas,

**Prof.Dr.-Ing.M.Yamin Jinca, MStr**





## ABSTRACT

### **RAHMAT LIBUNELO. Greening with Vetiver Grass to Reduce the Risk of Landslides and Slope Erosion A Case Study on the Outer Ring Road of Gorontalo Province Indonesia (Supervised by M. Yamin Jinca dan Jamaluddin Rahim)**

Erosion and landslide on the outer ring road of Gorontalo Province were discussed among constructionists and geotechnical experts, especially slopes at station 13+600 which had steep slopes of  $63^\circ$  and altitudes of 55.56 m. This research aims to determine the effect of *vetiver* vegetation on erosion that occurs and the relationship of erosion with land characteristics and the effectiveness of *vetiver* in controlling erosion and landslides. The results obtained from the analysis of vegetation suitability matrix with land conditions, showed that the use of *vetiver* in alluvial land with limestone deposits which have a water content of 15.47%, land density 2.68 and levels of Ph 9.7 were very effective growth. Empirical analysis of slope erosion with Universal Soil Loss Equation (USLE), it turns out that *vetiver* can reduce land loss by 22.5%. *Vetiver* root is effective against shallow avalanches, analysis with the *Fellenius* equation slice method using the *rocscience slide 6.0* programs has no effect, but roots can only increase soil cohesion values.

**Keywords:** Erosion, Vetiver, Stability, Rainfall

Makassar,           Maret 2019

An. Tim Abstrak Magister Transportasi  
Sekolah Pascasarjana Unhas,

**Prof.Dr.-Ing.M.Yamin Jinca, MStr**



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGAJUAN TESIS.....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....</b>	<b>iv</b>
<b>PRAKATA .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xvi</b>
 <b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	4
C. Tujuan Penelitian .....	4
D. Manfaat Penelitian.....	4
E. Ruang Lingkup Penelitian .....	5
F. Sistematika Pembahasan.....	6
 <b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Lereng .....	7
1. Lereng Alam .....	7
2. Lereng Buatan .....	7
B. Satabilitas lereng .....	9
C. Geometrik lereng.....	11
D. Klasifikasi gerakan tanah .....	12
1. Pergerakan massa .....	12
2. Klasifikasi pola gerakan .....	13
E. Tanah.....	19
1. Klasifikasi ukuran butir tanah .....	19
2... Klasifikasi jenis tanah nasional .....	23
Faktor aman.....	25
Perosivitas .....	30
1. Pendugaan erosi material lereng .....	30



2. Indeks daya erosi hujan (R) .....	30
3. Kepekaan tanah terhadap erosi .....	31
4. Fakror panjang (L) dan Miring (S) Lereng .....	32
5. Faktor vegetasi penutup (C) .....	33
6. Usaha pencehan erosi (P) .....	33
7. Erosi yang diperbolehkan (Edp) .....	34
8. Indeks bahaya erosi (IBE).....	35
H. Iklim	
1. Curah hujan .....	36
2. Infiltrasi .....	36
I. Vegetasi .....	39
1. Sistem vegetative (metode bioteknik) .....	40
2. Pohon sebagai media sistem vegetative.....	43
3. Rumput sebagai media sistem vegetative .....	44

### **BAB III. METODE PENELITIAN**

A. Jenis Dan Pendekatan Penelitian .....	51
B. Waktu Dan Lokasi Penelitian .....	51
1. Lokasi Penelitian .....	51
2. Waktu Penelitian .....	53
C. Objek Penelitian .....	53
1. Unit Analisis .....	53
2. Sampel Tanah Dan Vegetasi .....	53
D. Teknik Pengumpulan data .....	54
1. Data Primer.....	54
2. Data Sekunder .....	54
E. Alat Dan Bahan .....	55
1. Pengujian Karakteristik tanah .....	55
2. Analisis Pengaruh Iklim .....	60
3. Analisis pengaruh Vegetasi.....	61
Teknik Analisis Data.....	61
1. Analisis Karakteristik tanah .....	61
2. Analisis Pengaruh Iklim.....	71



3. Analisis pengaruh Vegetasi .....	73
G. Definisi Operasional .....	75
H. Kerangka Pikir.....	70
I. Matriks penelitian	76

#### **BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

A. Karakteristik Tanah .....	77
1. Klasifikasi tanah dan distribusi ukuran butir .....	78
2. Analisa jenis dan pengeboran tanah.....	79
3. Analisis nilai kuat geser tanah.....	80
4. Analisis perbaikan geometrik lereng .....	81
B. Pendugaan Erosi material .....	89
1. Faktor erosi hujan (R) .....	89
2. Faktor erodibilitas tanah (K) .....	92
3. Faktor kemiringan lereng (LS) .....	93
4. Faktor penggunaan lahan dan pengolahan Tanah (C) .....	93
5. Usaha pencegahan erosi (P) .....	93
6. Analisis Erosivitas Lereng Metode USLE.....	95
C. Pengaruh Iklim .....	98
1. Hubungan Erosivitas Hujan Dan Infiltrasi .....	89
D. Vegetasi .....	92
1. Kesesuaian lahan dan pemanfaatan vegetasi .....	100
2. Mineral tanah dan vetiver.....	103
3. Sistem vetiver dan stabilitas lereng.....	105
a. Jarak tanam vetiver .....	105
b. Hubungan kuat tarik akar dan stabilitas .....	106

#### **BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN**

A. Kesimpulan .....	111
B. Saran.....	112

#### **LAMPIRAN**

Pengolahan Data.....	118
Dokumentasi .....	133



## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi longsor	11
Tabel 2. Klasifikasi kemiringan lereng	12
Tabel 3. Klasifikasi longsor	18
Tabel 4. Klasifikasi <i>unified</i> tanah berbutir kasar menurut USCS	21
Tabel 5. Klasifikasi <i>unified</i> tanah berbutir halus menurut USCS	22
Tabel 6. Parameter ukur karakteristik tanah	23
Tabel 7. Jenis tanah di Indonesia	24
Tabel 8. Panduan lingkaran kritis	29
Tabel 9. Hubungan nilai K dan tingkat kepekaan erosi	30
Tabel 10. Nilai C jenis tanaman di Indonesia	32
Tabel 11. Nilai P teknik konservasi tanah	34
Tabel 12. Erosi yang diperbolehkan	35
Tabel 13. Indeks bahaya erosi	36
Tabel 14. Intensitas curah hujan	36
Tabel 15. Karakteristik tanah berdasarkan infiltrasi	38
Tabel 16. Klasifikasi laju infiltrasi	39
Tabel 17. Pengaruh hidromekanik pohon	44
Tabel 18. Nilai kuat tarik akar pohon	45
Tabel 19. Hubungan diameter dan kuat tarik akar rumput	47
Tabel 20. Standar dan metode tanam vetiver	71
Tabel 21. Matriks penelitian	75
Tabel 22. Karakteristik tanah	77
Tabel 23. Klasifikasi jenis tanah menurut berat jenis	78
Tabel 24. Standar klasifikasi ukuran butir	79
Tabel 25. Distribusi ukuran butir	79
Tabel 26. Analisis visual jenis tanah	79



Tabel 27. Parameter kuat geser tanah titik .....	81
Tabel 28. Parameter kuat geser tanah titik dua .....	81
Tabel 29. Nilai indeks erosi hujan 2017 .....	90
Tabel 30. Nilai indeks erosi hujan 2018 .....	91
Tabel 31. Parameter nilai erodibilitas tanah .....	93
Tabel 32. Kelas erodibilitas tanah .....	93
Tabel 33. Erosivitas lahan kawasan lereng tanpa vegetasi .....	95
Tabel 34. Kelas hujan kawasan lereng .....	98
Tabel 35. Nilai infiltrasi GORR STA 13+600 .....	99
Tabel 36. Kelas infiltrasi Jalan Lingkar luar .....	98
Tabel 37. Jenis tanah menurut tingkat infiltrasi.....	98
Tabel 38. Matriks kesesuaian lahan dengan vegetasi .....	101
Tabel 39. Matriks tingkat kesesuaian lahan dengan vegetasi.....	102
Tabel 40. kesesuaian unsur tanah dengan vetiver .....	105
Tabel 41. Hubungan kuat tarik akar vetiver .....	107
Tabel 42. Hubungan kuat tarik dan diameter akar vetiver .....	107
Tabel 43. Analisis kapasitas dukung akar.....	108



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Ilustrasi lereng alami .....	7
Gambar 2. Ilustrasi lereng galian .....	8
Gambar 3. Ilustrasi lereng timbunan .....	8
Gambar 4. Siklus gerakan tanah .....	9
Gambar 5. Penyebab erosi .....	9
Gambar 6 Pergerakan Masa di lereng .....	12
Gambar 7. Tipe Gelinciran Rotasional, Translasi, blok .....	14
Gambar 8. Tipe Jatuhan jatuh Dan jungkiran .....	15
Gambar 9. Tipe aliran debris dan longsor debris .....	17
Gambar 10. Tipe aliran dan rayapan .....	17
Gambar 11. Tipe pergerakan tanah lateral .....	18
Gambar 12. Grafik indeks plastis dan batas cair .....	20
Gambar 13. Analisis faktor aman metode fellenius .....	28
Gambar 14. Grafik nomograf .....	31
Gambar 15. Laju Infiltrasi sebagai fungsi dan waktu .....	37
Gambar 16. Infiltrometer <i>double ring</i> .....	38
Gambar 17. Pemasangan <i>brush layering</i> .....	40
Gambar 18. Pemasangan <i>live stakes</i> .....	41
Gambar 19. Pemasangan <i>live fascine</i> .....	41
Gambar 20. Pemasangan <i>brush mattress</i> .....	42
Gambar 21. Pemasangan <i>Vegetate Rock</i> .....	42
Gambar 22. <i>Streambank and Shoreline Protection</i> .....	43
Gambar 23. <i>Hidromecanical</i> akar pohon .....	44
Gambar 24. <i>Hidromecanical</i> rumput vetiver .....	46
Gambar 25. Kurva hipotesis rasio daerah akar .....	46
Gambar 26. Peta lokasi penelitian .....	51



Gambar 27. Peta Fungsi lahan .....	52
Gambar 28. Alur pikir penelitian .....	75
Gambar 29. Grafik hubungan besar sudut dan faktor aman .....	82
Gambar 30. Analisis FK lereng kemiringan sudut 63°. .....	83
Gambar 31. Analisis FK lereng kemiringan sudut 55 ° .....	83
Gambar 32. Analisis FK lereng kemiringan sudut 50 ° .....	84
Gambar 33. Analisis FK lereng kemiringan sudut 45 ° .....	84
Gambar 34. Analisis FK lereng kemiringan sudut 40 ° .....	85
Gambar 35. Analisis FK lereng kemiringan sudut 35 ° .....	85
Gambar 36. Analisis FK lereng kemiringan sudut 30 ° .....	86
Gambar 37. Analisis FK lereng kemiringan sudut 25 ° .....	86
Gambar 38. Analisis FK lereng kemiringan sudut 20 ° .....	87
Gambar 39. Analisis FK lereng kemiringan sudut 15 ° .....	87
Gambar 40. Peta geologi Sulawesi.....	88
Gambar 41. Diagram faktor erosi curah hujan (R), 2017 .....	90
Gambar 42. Diagram faktor erosi curah hujan (R), 2018 .....	92
Gambar 43. Peta Kontur dan lahan tinjauan erosi .....	97
Gambar 44. Peta sebaran jenis tanah kabupaten Gorontalo .....	104
Gambar 45. Faktor aman lereng oleh pengaruhi veriver.....	110
Gambar 46. Rumput vetiver dan penanaman .....	111





# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Pembangunan jalan lingkaran luar (*Gorontalo Outer Ring Road* atau GORR) untuk konektivitas antara jaringan prasarana dimana terminal bandar udara Jalaluddin terhubung ke pelabuhan laut Kota Gorontalo, sebagai jalan arteri primer kecepatan rencana maksimum GORR yaitu 120 km/jam, menjadikan GORR sebagai alternatif yang baik untuk distribusi angkutan orang dan logistik baik dari dan ke dalam Provinsi Gorontalo.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa 60% trase GORR menyusuri wilayah berbukit, mengakibatkan pekerjaan tanah; volume galian dan timbunan mencapai hingga ribuan kubik. Galian dan timbunan tersebut ditujukan untuk mendapatkan kondisi elevasi ideal menurut standar konstruksi dan bangunan no.007/bm/2009, dimana untuk menjamin keselamatan dan kenyamanan pengendara saat melintas geometrik jalan bebas hambatan disyaratkan memiliki elevasi kelandaian jalan vertikal maksimum 6 %,.

Pembentukan lereng Kilometer 13.600 GORR dengan tinggi 55 m dan sudut kemiringan  $\pm 63^\circ$  sepanjang  $\pm 225$  m, sedangkan Arsyad, (1989) berpendapat lereng dengan sudut kemiringan 45-65° termasuk dalam klasifikasi lereng dengan kelas curam. Umumnya dua hal yang dapat memengaruhi stabilitas lereng yaitu peristiwa erosi tanah dan longsor dangkal yang banyak dipengaruhi oleh geometrik lereng, karakteristik tanah,



sedangkan erosi dapat dipengaruhi oleh iklim dan kurangnya penutup permukaan lereng.

Analisis stabilitas perlu dilakukan multi parameter pengamatan seperti pengamatan pengaruh iklim terhadap erosi dan karakteristik tanah terhadap keruntuhan, sehingga metode pencegahan dapat dilakukan dengan tepat. Pencegahan erosi dan longsoran menggunakan metode struktural umumnya menggunakan beton, geotekstil dan ankur, sedangkan pencegahan menggunakan metode vegetasi (non struktural) dilakukan dengan metode bioteknik yang banyak dikenal dengan *green infrastruktur*.

Pekerjaan infrastruktur transportasi umumnya menghadapi banyak tantangan lingkungan hidup, seperti emisi, penurunan ketersediaan air, banjir, kekeringan, erosi/tanah longsor, dan intrusi air laut. Kebijakan pembangunan yang berorientasi pada peningkatan kualitas lingkungan dapat dilakukan dengan penerapan konsep *green infrastructure*.

Konsep rama lingkungan pengendalian erosi dan longsor dapat menggunakan aplikasi vegetasi yang telah banyak dikenal yaitu sistem vetiver, dimana nilainya sangat ekonomis dibandingkan dengan konstruksi beton. Vetiver juga dapat memberikan sumbangsi terhadap lingkungan melalui reduksi kadar Carbon di atmosfer bumi sehingga perlu dilakukan suatu penelitian terkait manfaat vetiver dalam pengendalian erosi dan longsor.



Pelaksanaan vetiver dengan metode bioteknik membutuhkan pendekatan interdisipliner keilmuan, yang menitik beratkan kepada 2 pokok yaitu; (1) pemilihan jenis vegetasi dan (2) metode pelaksanaan, bioteknik bekerja melibatkan penggabungan sistem biologis dan prinsip-prinsip rekayasa. Pendekatan bioteknik juga membutuhkan kemitraan dengan disiplin ilmu termasuk ilmuwan tanah, hidrologi, ahli botani, ahli geologi teknik, insinyur sipil, dan arsitek *landscape*, Lewis, Service, & Salisbury, (2001).

Greenway, 1987 dalam Li & Eddleman (2017) berpendapat Penerapan sistem vegetasi dalam menstabilisasi lereng dapat dijadikan sebagai upaya pencegahan dan kontrol secara luas dalam praktek rekayasa teknik, Untuk mencapai tujuan rekayasa yang diinginkan, tanaman hidup dan elemen alami seperti batang pohon atau batu dapat digunakan media perkuatan Gray dan Sotir,(1996). Sistem vegetasi menggunakan tumbuh-tumbuhan yang hidup bersamaan dengan langkah-langkah penguatan tradisional lebih menghemat biaya dan ramah lingkungan Zhu, Zhang, Xiao, & Li, (2017) .

Pengendalian erosi dan longsor dangkal menggunakan metode bioteknik dimana vetiver atau rumput Tahele (nama Gorontalo) digunakan sebagai media utama. Analisis vetiver mencakup fungsi-fungsi mekanik dan hidrologi serta sistem penanaman sehingga efektivitas vetiver sebagai vegetasi pengendali jumlah erosi dan longsor tanah di jalan lingkar luar

o (GORR) dapat terukur.



## B. Rumusan Masalah

Untuk mengetahui strategi pengendalian erosi dan longsor khususnya di Jalan lingkaran luar Gorontalo (GORR), diperlukan suatu studi yang dapat menjawab permasalahan sebagai berikut;

1. Bagaimanakah mekanisme vegetasi vetiver terhadap pendugaan erosi di GORR.
2. Mengetahui kejelasan erosi lereng terhadap karakteristik tanah di GORR
3. Mengetahui efektivitas pemanfaatan vetiver terhadap pengendalian erosi dan longsor dangkal di GORR.

## C. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan antara lain;

1. Menganalisis mekanisme penerapan vegetasi vetiver terhadap pendugaan erosi di GORR.
2. Menganalisis hubungan erosi lereng terhadap karakteristik tanah di GORR.
3. Menganalisis efektivitas pemanfaatan vetiver terhadap pengendalian erosi dan longsor dangkal di GORR.

## D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain;

1. Sebagai bahan rujukan pemerintah untuk kegiatan evaluasi dalam

pengendalian peristiwa erosi dan meningkatkan nilai stabilitasi lereng GORR.



2. Sebagai referensi bagi pelaksana pekerjaan untuk memperluas variabel analisis erosi dan longsor dan memahami karakteristik tanah, pengaruh hidrologi serta penanganan menggunakan metode pemulihan vegetasi pasca pembentukan lereng .

### **E. Ruang Lingkup Penelitian**

Luasnya pembahasan mengenai kajian erosi dan longsor dengan metode vegetasi, maka untuk memperjelas tujuan penelitian ruang lingkup penelitian dibagi atas dua yaitu ruang lingkup wilayah dan ruang lingkup materi yaitu ;

#### **1. Ruang Lingkup Wilayah**

Ruang lingkup penelitian ini adalah di wilayah lereng *Gorontalo outer ring road (GORR)* di kecamatan Limboto barat desa Huidu Kabupaten Gorontalo, pada km 13+600 sampai km 13+700 ruas tebing sisi kiri.

#### **2. Ruang Lingkup Pembahasan**

Ruang lingkup pembahasan penelitian terdiri atas tiga unsur penting yaitu; (1) mengenai kondisi karakteristik tanah, (2) kondisi hidrologi serta (3) aplikasi vegetasi vetiver dalam mengendalikan erosi dan meningkatkan nilai stabilitas lereng.

#### **3. Ruang Lingkup Substansi**

Ruang lingkup substansi dalam penelitian ini yaitu;

- a. Analisis faktor aman geometrik lereng

faktor pengaruh erosi lereng

kecocokan jenis tanah terhadap vegetasi lereng



## F. Sistematika Pembahasan

Garis besar sistematika pembahasan yang dikemukakan dalam tesis ini adalah sebagai berikut;

**Bagian pertama latar belakang,** Menjelaskan latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, lingkup penelitian serta sistematika pembahasan.

**Bagian kedua tinjauan pustaka,** Menjelaskan landasan analisis yang digunakan berkaitan dengan lingkup ilmu bioteknik, geometrik lereng, analisis karakteristik tanah, analisis hidrologi, analisis vegetasi terhadap nilai stabilisasi lereng, serta kajian-kajian penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian ini.

**Bagian ketiga metode penelitian,** menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian, mengemukakan pendekatan dan jenis penelitian, waktu dan lokasi penelitian, populasi dan sampel, teknik pengumpulan data, teknik analisis data, definisi operasional, kerangka pikir dan matriks penelitian.

**Bagian keempat hasil dan pembahasan,** berisi gambaran umum lokasi penelitian, analisis pengaruh aplikasi bioteknik, analisis mengenai jenis keterpaduan tanah dan vegetasi, analisis model aplikasi sistem vetiver, analisis erosititas lereng, analisis faktor aman, analisis efektifitas pemanfaatan vegetasi, analisis tingkat kecocokan lahan sistem vetiver

**Bagian Kelima,** berupa kesimpulan dan saran.



## BAB II

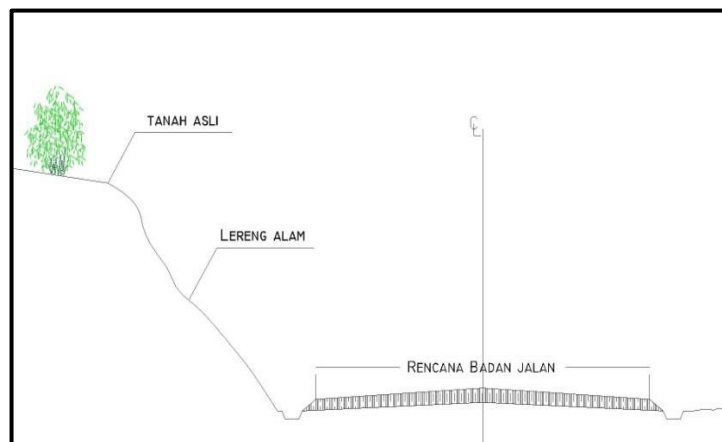
### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Lereng

Lereng diklasifikasikan menjadi 2 jenis yaitu lereng alami (*natural slope*) dan Lereng buatan (*engineered slope*), Abramson dkk.,(2001).

##### 1. Lereng alami

Lereng-lereng alami yang telah ada selama bertahun-tahun dapat tiba-tiba runtuh dikarenakan pembahan topografi, gempa, aliran air tanah, hilangnya kuat geser, perubahan tegangan, dan iklim. lereng alami banyak ditemukan di daerah topografi berbukit dan pegunungan sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1;



Gambar 1. Ilustrasi kembali lereng alami , (Abramson dkk.,2001)

##### 2. Lereng buatan

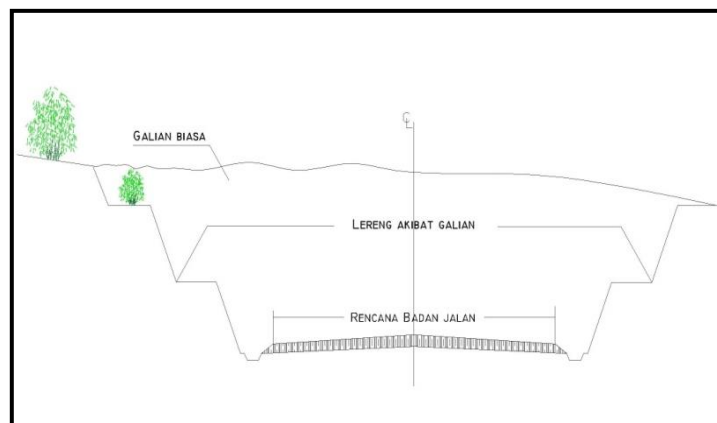
Lereng buatan merupakan adalah lereng yang terbentuk dari sebagian potongan tanah asli, yang dijadikan jalan atau saluran air untuk

. Lereng buatan dapat di bedakan menjadi tiga kategori yaitu;



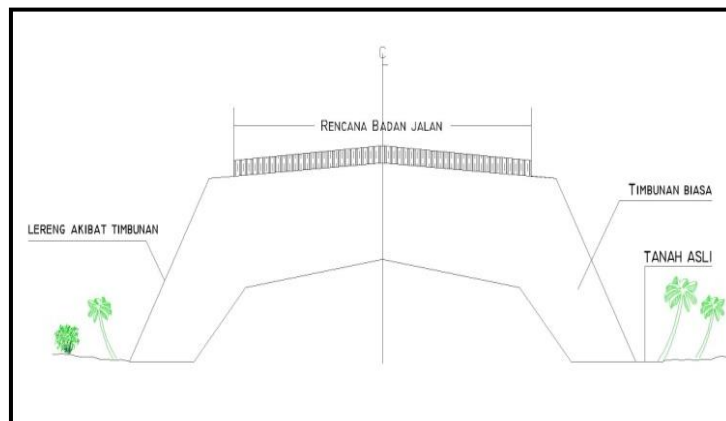
galian tanggul (*embankments*), pemotongan lereng (*cut slope*), dan dinding penahan tanah (*retaining wall*).

- a. Lereng akibat Galian terjadi disebabkan perencanaan perencanaan geometrik jalan dimana kondisi elevasi badan jalan direncanakan berada dibawah elevasi tanah asli sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2;



Gambar 2. Ilustrasi kembali lereng galian, (Abramson dkk.,2001).

- b. Lereng akibat timbunan terjadi disaat elevasi badan jalan direncanakan berada diatas elevasi tanah asli. Lereng buatan akibat timbunan dapat terjadi pada semua bentuk kondisi topografi, baik pada kondisi topografi datar, berbukit maupun pegunungan sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3;



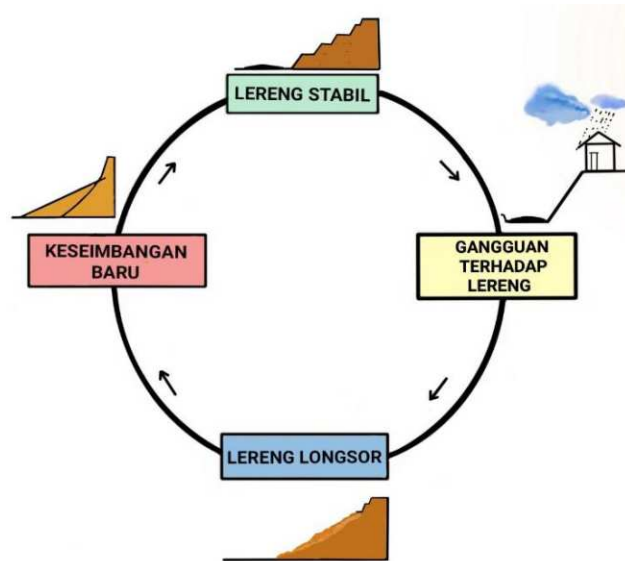
Gambar 3. Ilustrasi kembali lereng timbunan (Abramson dkk.,2001).





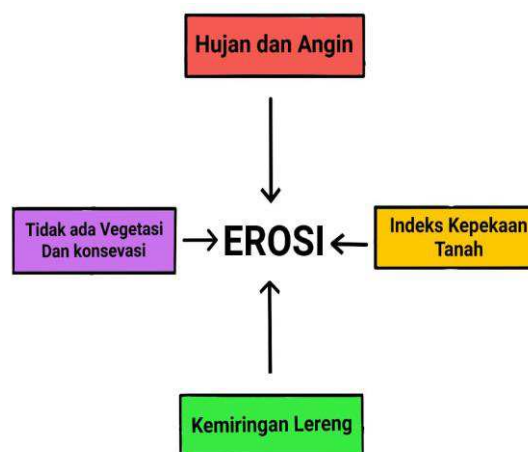
## B. Stabilitas Lereng

Siklus kestabilan lereng dipengaruhi faktor internal dan eksternal lereng, jika lereng stabil mendapatkan gangguan serta mengalami kegagalan lereng akan kembali pada kesimbangan dan kondisi geometrik baru sampai gravitasi menjadi nol terhadap tanah, seperti ditunjukkan pada gambar 4;



Gambar 4. Siklus gerakan tanah

Gangguan kestabilan juga dapat dipengaruhi oleh peristiwa erosi seperti yang ditunjukkan pada gambar 5;



Gambar 5. Penyebab Erosi

erzaghi, (1950) mengemukakan penyebab terjadinya longsor  
kan oleh faktor internal lereng dan eksternal;



a. Pengaruh Internal

1. Naiknya gaya geser yang bekerja sepanjang bidang runtuh,
2. Perubahan geometri lereng,
3. Penggalan pada kaki lereng,
4. Pembebanan pada puncak atau permukaan lereng bagian atas,
5. Gaya vibrasi yang ditimbulkan oleh gempa bumi atau ledakan dan penurunan muka air tanah secara mendadak.

b. Pengaruh eksternal

1. Pelapukan kimia dan mekanis sehingga ikatan mikroskopik antar partikel tanah.
2. Air pori dan tingkat kelembaban yang dapat memaksimalkan tegangan efektif sehingga rendahnya nilai kuat geser.
3. Aktivitas organik, pembusukan akat tumbuhan, lubang-lubang akibat hewan tanah.

Analisis stabilitas lereng umumnya didasarkan pada konsep keseimbangan plastis batas (*limith plastic equilibrium*). Apapun yang dimaksud analisis stabilitas lereng adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Sehingga lereng stabil dan tidak stabil dapat dinilai dari faktor aman (Hardiatmo,2018)

Ray dan De smedt, (2009) berpendapat bahwa kestabilan lereng di klasifikasikan bedasarkan faktor aman seperti ditunjukkan pada tabel 1;



Tabel 1. Nilai Faktor Keamanan Lereng

Faktor aman	Klasifikasi kestabilan lereng	Keterangan
$F < 1,5$	Stabil	Hanya gangguan besar yang dapat membuat ketidakstabilan
$1,25 < F < 1,5$	Kestabilan sedang	Gangguan ketidakstabilan sedang dapat mengganggu stabilitas
$1 < F < 1,25$	Agak Stabil	Gangguan ketidakstabilan minor dapat mengganggu stabilitas
$F < 1$	Tidak Stabil	Memerlukan perbaikan stabilitas lereng

Sumber : Hardiatmo, 2018

### C. Geometrik Lereng

Unsur ketinggian dan Kemiringan adalah faktor utama penilaian geometrik lereng, keduanya adalah faktor yang berpengaruh terhadap limpasan aliran permukaan dan erosi dari *overland flow*. Persamaan (Avery, 1975 dan Horton, 1945) menggunakan *contour method* dengan rumus :

$$\text{Lereng (\%)} = \frac{C \times L}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana; C = Interval kontur (m)      L = Total panjang kontur (m)  
A = Luas cakupan (m<sup>2</sup>)

Jika suatu daerah mempunyai lereng yang seragam, maka lereng rata-rata dapat diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$\text{Lereng} = \text{ctg} \frac{C}{D} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

C = Perbedaan elevasi antara titik tertinggi dan terendah (m)  
D = Jarak horizontal antara elevasi titik tertinggi dan titik



terendah tersebut (m)

Untuk membantu klasifikasi dari jenis lereng, maka lereng dikelompokkan ke dalam 5 kelas seperti ditunjukkan pada tabel 2;

Tabel 2. Klasifikasi kemiringan lereng

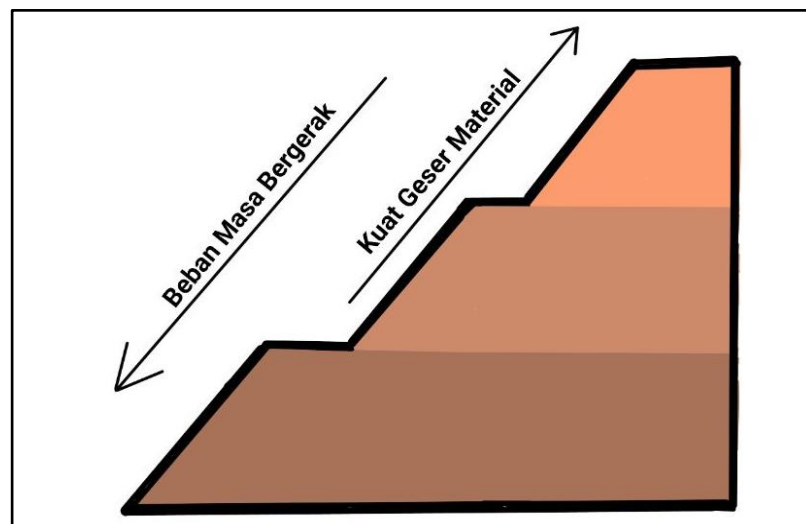
Kode / Kelas	Kemiringan Lereng	Keterangan
1	0 - < 8	Datar landai
2	8 - < 15	Agak Miring
3	15 - < 25	Miring
4	25 - < 45	Curam
5	> 45	Terjal

Sumber : Peraturan dirjen kehutanan no. 3 tahun 2013

#### D. Klasifikasi Gerakan Tanah

##### 1. Pergerakan massa (Longsoran )

Pergerakan massa adalah kondisi Bergeraknya material tanah/batuan dalam bentuk padat atau liat. Pergerakan massa dianalogikan dengan Bergeraknya suatu blok pada bidang miring, apabila gaya akibat gravitasi (beban Bergerak) melebihi kuat geser penahan lereng, maka material akan Bergerak, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4;



Gambar 6. Pergerakan masa lereng



## 2. Klasifikasi pola gerakan

Pola pergerakan masa diklasifikasikan dalam tiga jenis, yaitu gelincir (*slide*), jatuhan (*fall*) dan aliran (*flow*), Varnes,(1978);

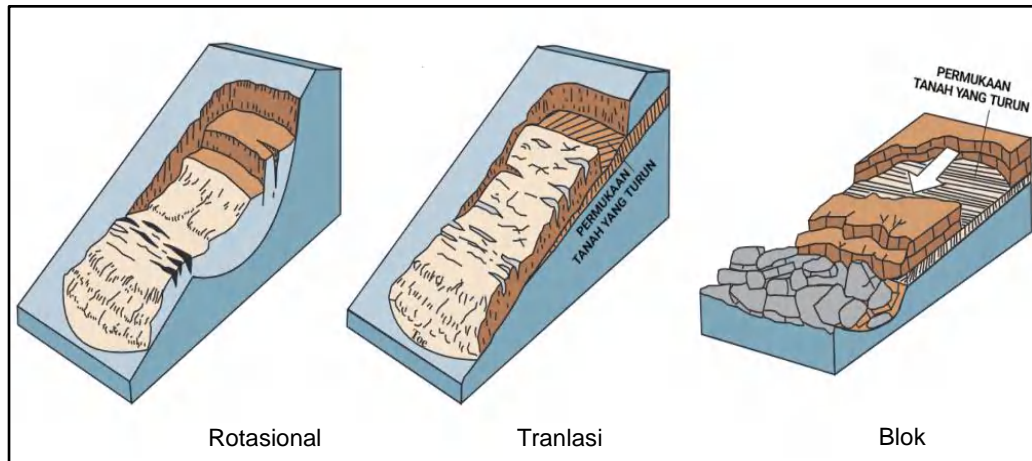
### a. Gelincir

Keruntuhan terjadi sepanjang zona lemah baik pada tanah ataupun batuan. Massa tanah bergerak jauh sebelum mencapai titik diamnya, bidang gelincir umumnya terjadi pada tanah berbutir kasar, sedangkan pada batuan biasanya terjadi bila posisi bidang lemahnya searah dan memotong kemiringan lereng. Jenis-jenis gelincir yaitu;

1. Gelincir rotasional (*Rotational Slide*) adalah Bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk cekung ke atas, dan pergerakan longsornya secara umum berputar pada satu sumbu yang sejajar dengan permukaan tanah.
2. Gelincir translasi (*Translational Slide*) adalah Bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk rata dengan sedikit rotasi atau miring ke belakang.
3. Gelincir blok (*Block Slide*) adalah pergerakan batuan yang hampir sama dengan translasional slide, tetapi massa yang bergerak terdiri dari blok-blok yang koheren.

Pola gerakan tanah gelincir sebagaimana ditunjukkan pada gambar 5;





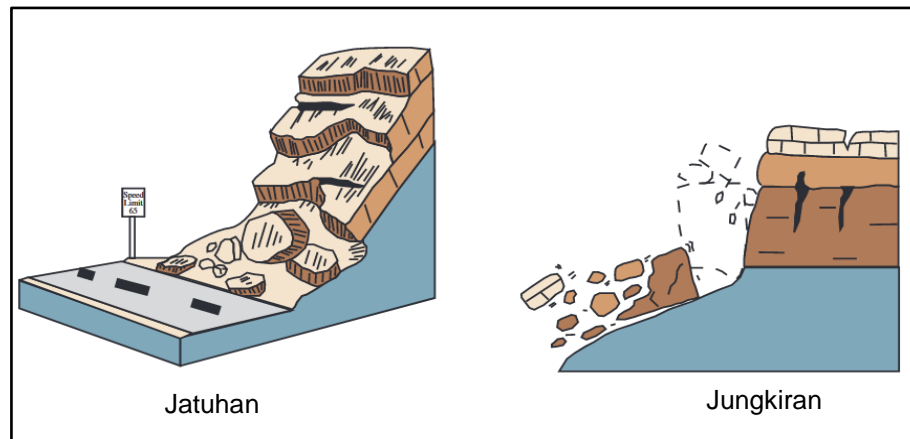
Gambar. 7 Tipe Gelinciran rotasional, translasi, blok (sumber ; tipe dan proses longsor, Highland and Johnson, 2004)

## b. Jatuhan

Pola pergerakan tanah jatuhan diklasifikasikan kedalam dua jenis yaitu jatuhan *rolling* dan *Topless* yang ditunjukkan gambar 8;

1. Jatuhan (*rolling*) Adalah gerakan secara tiba-tiba dari bongkahan batu yang jatuh dari lereng yang curam atau tebing. Pemisahan terjadi di sepanjang kekar dan perlapisan batuan. Gerakan ini dicirikan dengan terjun bebas, mental dan menggelinding. Sangat dipengaruhi oleh gravitasi, pelapukan mekanik, dan keberadaan air pada batuan.
2. Jungkiran (*Topless*) gerakan ini dicirikan dengan robohnya unit batuan dengan cara berputar kedepan pada satu titik sumbu (bagian dari unit batuan yang lebih rendah) yang disebabkan oleh gravitasi dan kandungan air pada rekahan batuan,





Gambar. 8 Tipe Jatuhan jatuh dan jungkiran (sumber ; Tipe dan Proses Longsor, Highland and Johnson, 2004)

### C. Aliran

Gerakan tanah jenis aliran diklasifikasikan kedalam 5 kategori yaitu;

1. Aliran Debris adalah bentuk gerakan massa yang cepat dimana campuran tanah yang gembur, batu, bahan organik, udara, dan air bergerak seperti bubur yang mengalir pada suatu lereng. Aliran Debris biasanya disebabkan oleh aliran permukaan air yang intens, karena hujan lebat atau pencairan salju yang cepat, yang mengikis dan memobilisasi tanah gembur atau batuan pada lereng yang curam.
2. Aliran longsor adalah longsoran es pada lereng yang terjal. Jenis ini adalah merupakan jenis aliran debris yang pergerakannya terjadi sangat cepat.
3. Aliran tanah berbentuk seperti "jam pasir". Pergerakan memanjang dari material halus atau batuan yang mengandung mineral lempung lereng moderat dan dalam kondisi jenuh air, membentuk mangkuk atau suatu depresi di bagian atasnya.

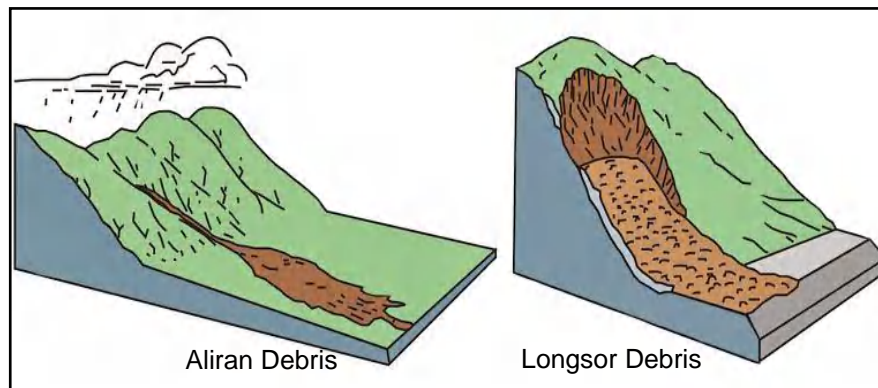


4. Aliran lumpur adalah sebuah luapan lumpur (hampir sama seperti *Earthflow*) terdiri dari bahan yang cukup basah, mengalir cepat dan terdiri dari setidaknya 50% pasir, lanau, dan partikel berukuran tanah liat.
5. Rayapan adalah perpindahan tanah atau batuan pada suatu lereng secara lambat dan stabil. Gerakan ini disebabkan oleh *shear stress*, pada umumnya terdiri dari 3 jenis:
  - a) *Seasonal*, dimana gerakan berada dalam kedalaman tanah, dipengaruhi oleh perubahan kelembaban dan suhu tanah yang terjadi secara musiman.
  - b) *Continuous*, dimana *shear stress* terjadi secara terus menerus melebihi ketahanan material longsoran.
  - c) *Progressive*, dimana lereng mencapai titik kegagalan untuk menghasilkan suatu gerakan massa. *Creep* ditandai dengan adanya batang pohon yang melengkung, dan riak tanah kecil atau pegunungan,





Klasifikasi pergerakan tanah jenis aliran ditunjukkan pada gambar 9 dan gambar 10;



Gambar. 9 Tipe aliran debris dan longsor debris (sumber ; Tipe dan Proses Longsor, Highland and Johnson, 2004)



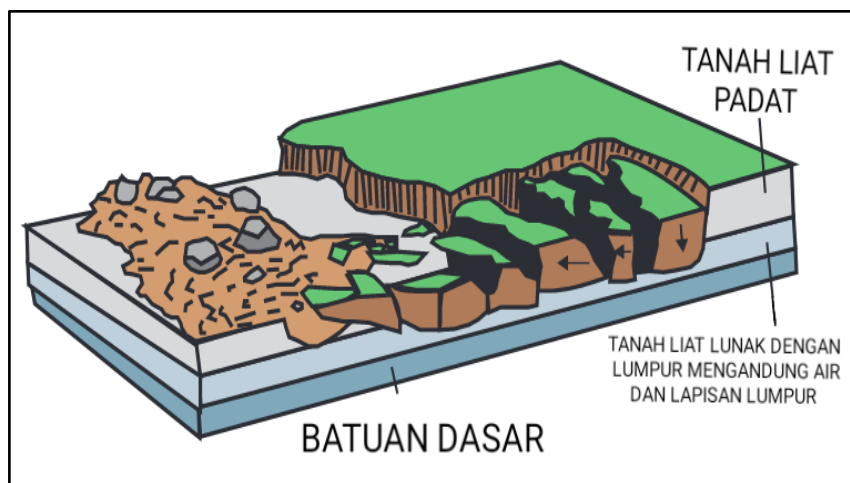
Gambar. 10 Tipe aliran dan rayapan (sumber ; Tipe dan Proses Longsor, Highland and Johnson, 2004)

#### D. Pergerakan Lateral

Pergerakan lateral umumnya terjadi pada lereng landai atau medan datar. Gerakan utamanya adalah ekstensi lateral yang disertai dengan kekar geser atau kekar tarik. Ini disebabkan oleh likuifaksi, suatu proses dimana tanah menjadi jenuh terhadap air, loose, kohesi sedimen (biasanya

n lanau) perubahan dari padat ke keadaan cair, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 11;





Gambar. 11 Tipe Pergerakan Lateral (sumber ; Tipe dan Proses Longsor, Highland and Johnson, 2004)

Klasifikasi longsorán dimaksudkan untuk menyeragamkan istilah, memudahkan pengenalan dan menentukan penyebab longsorán serta cara menanggulangi. Klasifikasi longsorán dapat dibedakan berdasarkan 3 bagian, seperti ditunjukkan pada tabel 3;

Tabel 3. Klasifikasi longsorán

	jenis gerakan	jenis material		
		batu	tanah	
			butir kasar	butir halus
	Runtuhan	Runtuhan Batu	Runtuhan bahan rombakan	Runtuhan tanah
	Jungkiran	Jungkiran Batu	Jungkiran bahan rombakan	Jungkiran tanah
Gelinciran	Rotasi Sedikit	Nendatan Batu	Nendatan bahan rombakan	Nendatan tanah
	Translasi Banyak	Gelinciran bongkahan batu	Gelincir bongkah bahan rombakan	Gelincir bongkah tanah
		Gelinciran batu	Gelincir bahan rombakan	Gelincir tanah
	Gerakan Lateral	Gerakan Lateral batu	Gerakan lateral Bahan rombakan	Gerakan lateral tanah
	Aliran	Aliran Batu	Aliran Bahan Rombakan	Aliran tanah
			(Rayapan Tanah)	
	Majemuk	Gabungan dua atau lebih tipe gerakan		

Varnes, (1978)



## E. TANAH

### 1. Klasifikasi ukuran butiran tanah

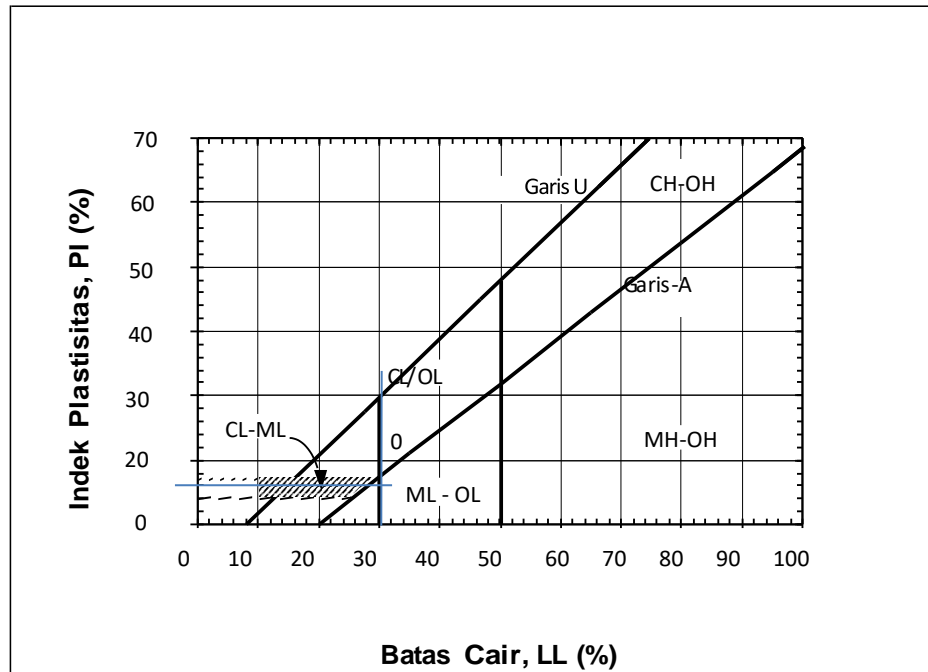
Jenis tanah dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu tanah kohesif dan non kohesif, tanah kohesif merupakan jenis tanah yang banyak mengandung butiran halus seperti lempung, lempung berlanau, lempung berpasir dan lanau, sedangkan tanah non kohesif yaitu granular, tanah berbutir kasar (pasir padat, kerikil dan batuan) yang tidak mempunyai komponen kohesi atau kohesi = 0, (Hardiyatmo, 2010)

*Unified soil classification system* (USCS) mengklasifikasikan tanah dalam dua kategori utama lain ;

- a. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soils*) yang terdiri atas kerikil dan pasir yang memiliki kurang dari 50% tanah yang lolos saringan No. 200 ( $F_{200} < 50$ ). Simbol kelompok diawali dengan G untuk kerikil (*Gravel*) atau tanah kerikil (*Gravelly soil*) atau S untuk pasir (*Sand*) atau tanah berpasir (*sandy soil*).
- b. Tanah berbutir halus (*fine-grained soils*) yang mana lebih dari 50% tanah lolos saringan No. 200 ( $F_{200} \geq 50$ ). Simbol kelompok diawali dengan M untuk lanau organik (*inorganic silt*), atau C untuk lempung organik (*inorganic clay*), atau O untuk lanau dan lempung organik. Simbol Pt digunakan untuk gambut (*peat*), dan tanah dengan kandungan organik tinggi. Simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi adalah W untuk gradasi (*well graded*), P untuk gradasi (*poorly graded*), L untuk plastisitas rendah (*low plasticity*) dan H untuk plastisitas tinggi (*high plasticity*). Tanah diklasifikasikan



dalam sejumlah kelompok dan sub- kelompok yang dapat dilihat dalam gambar 12;



Gambar 12. Grafik indeks plastis dan batas cair



Tabel 4. Sistem klasifikasi tanah *unified* tanah berbutir kasar

Jenis	Simbol	Nama Kelompok	Kriteria Klasifikasi
Kerikil 59% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan No.4	GW	Kerikil Gradasi Baik, sedikit atau tidak mengandung fraksi halus	$F_{200} < 5 \%$ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ dan $1 < C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} < 3$
	GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung gradasi halus	$F_{200} < 5 \%$ $C_u$ dan $C_c$ tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW
	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil – pasir - lanau	$F_{200} > 12\%$ dan $PI < 4\%$ (Berada di bawah garis-A)
	GC	Kerikil lempung, campuran kerikil – pasir - lempung	$F_{200} > 12\%$ dan $PI < 7\%$ (Berada di bawah garis-A)
Lebih dari fraksi kasar lolos saringan No.4	SW	Pasir gradasi baik, berkerikil, sedikit atau tidak mengandung fraksi halus	$F_{200} < 5 \%$ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ dan $1 < C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} < 3$
	SP	Pasir bergradasi buruk, berkerikil sedikit atau tidak mengandung fraksi halus	$F_{200} < 5 \%$ $C_u$ dan $C_c$ tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW
	SM	Pasir lanau, campuran pasir - lanau	$F_{200} > 12\%$ dan $PI < 4\%$ (Berada di bawah garis-A)
	SC	Pasir berlempung , campuran pasir - lempung	$F_{200} > 12 \%$ , dan $PI < 7\%$ (Berada dibawah garis-A)
			<p>Tanah memiliki simbol ganda jika <math>5\% \leq F_{200} \leq 12 \%</math>, yaitu :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. GW – GM, jika <math>C_c &gt; 4,1 &lt; C_u &lt; 3</math>, <math>PI &lt; 4\%</math></li> <li>2. GW -GC, Jika <math>C_c &gt; 4,1 &lt; C_u &lt; 3</math>, <math>PI &lt; 7\%</math></li> <li>3. GP – GM , Jika tidak memenuhi kriteria GW dan <math>PI &lt; 4 \%</math></li> <li>4. GP-GC, Jika tidak memenuhi kriteria GW dan <math>PI &gt; 7\%</math></li> </ol> <p>Bila batas atteberg berada di daerah arsir diagram plastis, maka dipakai simbol ganda GM-GC</p> <p>Bila batas atteberg berada di daerah arsir dari diagram plastis, maka dipakai simbol ganda SM-GC</p>

ir kasar bila 50% atau lebih lolos tertahan pada saringan No. 200 (R<sub>200</sub>)



Tabel 5. Sistem klasifikasi tanah *unified* tanah berbutir halus

Jenis	Simbol	Nama Kelompok	Kriteria Klasifikasi
Lanau dan lempung dengan batas cair, LL < 50 %	ML	Lanau organik dan pasir sangat halus atau pasir halus berlanau atau berlempung	PI < 4 atau berada di bawah garis-A dalam Grafik Plastisitas
	CL	Lempung organik dengan plastis rendah hingga sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ( <i>Clean Clay</i> )	PI > 7 dan berada pada atau di bawah garis-A dalam grafik Plastisitas
	CL – ML	Lanau berlempung inorganik, dengan pasir halus atau sedikit kerikil	PI berada dalam daerah yang diarsir ( <i>Hatched area</i> )
	OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	PI berada dalam daerah OL dan $\frac{LL_{(Oven Dried)}}{LL_{(Not Dried)}} < 0.75$
Lanau dan lempung dengan batas cair, LL > 50 %	MH	Lanau inorganik atau pasir halus <i>diatomeae</i> , lanau elastis	PI berada dibawah garis-A dalam grafik Plastis
	CH	Lempung inorganik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ( <i>fat clays</i> )	PI berada diatas garis-A dalam grafik Plastis
	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	PI berada dilam daerah OH dan $\frac{LL_{(Oven Dried)}}{LL_{(Not Dried)}} < 0.75$
Tanah dengan kadar organik tinggi	PT	Gambut ( <i>Peat</i> ), dan tanah lain kandungan organik tinggi	

tir halus bila 50% atau lebih lolos saringan No.200 (F<sub>200</sub>)



Tabel 6. Parameter ukur karakteristik tanah

Pengujian	Persamaan	Keterangan
Kadar air ( $w_a$ )	$W = (\%) \frac{W_w}{W_s} \times 100$	$W_w$ =Berat air $W_s$ =Berat Butiran padat
Porositas ( $n$ )	$n = \frac{v_v}{v}$	$V_v$ =Volume Rongga $V$ = Volume Total
Angka Pori ( $e$ )	$e = \frac{V_v}{V_s}$	$V_v$ =Volume Rongga $V_s$ =Volume Butiran
Berat Volume Basah ( $\gamma_b$ )	$\gamma_b = \frac{w}{v}$	$w$ = kadar air $V$ = Volume Total
Berat Volume kering ( $\gamma_d$ )	$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$	$W_s$ =Berat Butiran padat $V$ = Volume Total
Berat volume butiran padat ( $\gamma_s$ )	$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$	$W_s$ =Berat Butiran padat $V_s$ =Volume Butiran
Berat Jenis	$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$	Berat volume butiran padat ( $\gamma_s$ ) Berat volume Air ( $\gamma_w$ )

Sumber : Hardiyatmo, (2010)

## 2. Klasifikasi jenis tanah nasional

Klasifikasi tanah nasional dibagi dalam berapa kelas yang disusun berdasarkan sistem klasifikasi tanah yang telah oleh Suhardjo dan Soepraptohardjo,(1981), adalah penyempurnaan dari sistem klasifikasi Dudal dan Soepraptohardjo (1957) dan Soepraptohardjo (1961). Sistem klasifikasi tanah ini didasarkan pada morfogenesis, bersifat terbuka dan dapat menampung semua jenis tanah di Indonesia.

Struktur klasifikasi tanah terbagi dalam dua tingkat/kategori, yaitu jenis tanah dan macam tanah. Pembagian jenis tanah didasarkan pada

horison utama penciri, proses pembentukan (*genesis*) dan sifat



penciri lainnya. Pada tingkat macam tanah digunakan sifat tanah atau horison penciri lainnya, sebagai mana ditunjukkan pada tabel 7 ;

Tabel 7. Jenis tanah di Indonesia

Susunan Horizon	Sifat penciri lainnya	Jenis Tanah
<b>A. Tanah Organik</b>		
H	Bahan organik, ketebalan > 50 cm, kadar C organik > 12'	Organosol
<b>B. Tanah Mineral</b>		
<b>Tanpa Perkembangan</b>		
AR	Tanah sangat dangkal (< 25 cm) di atas batuan kukuh	Litosol
AC	Tanah mempunyai horison A umbrik, ketebalan $\leq$ 25 cm	Umbrisol
AC	Tanah mempunyai horison A molik, dan di bawahnya langsung batu kapur	Renzina
AC	Tanah terbentuk dari bahan endapan muda (aluvium), mempunyai horison penciri A okrik, umbrik, histik, tekstur lebih halus dari pasir berlempung pada kedalaman 25-100 cm, berlapis-lapis.	Aluvial
AC	Tanah bertekstur kasar (pasir, pasir berlempung), mempunyai horison A okrik, umbrik atau histik, ketebala > 25 cm.	Regosol
AC	Tanah mempunyai kadar liat > 30% setebal 50 cm dari permukaan tanah, terdapat rekahan ( <i>crack</i> ) selebar cm sampai kedalaman 50 cm dari permukaan tanah, at bentuk gilgai ( <i>micro relief</i> ),bidang kilir atau struktur membaji pada kedalaman 25-100 cm dari permukaan.	Grumusol
A(B)C	Tanah bertekstur kasar (pasir, pasir berlempung) sedalam 50 cm dari permukaan, memiliki horison penciri A okrik, dan horison bawah mirip B argilik, kambik atau oksik, tetapi tidak memenuhi syarat karena faktor tekstur.	Arenosol
ABwC	Mempunyai horison A molik atau umbrik di atas horison B kambik, pada kedalaman $\geq$ 35 cm mempunyai satu atau keduanya: (a) <i>bulk density</i> < 0,90 g/cm <sup>3</sup> dan didominasi oleh bahan amorf, (b) >60% abu volkan atau bahan piroklastik.	Andosol
ABwC	Berkembang dari bahan volkan, kandungan liat $\geq$ 40%, remah, gembur dan warna homogen, penampang tanah dalam, KB < 50% pada beberapa bagian horison B, mempunyai horison penciri A okrik, umbrik, atau B kambik, tidak mempunyai plintit dan sifat vertik.	Latosol
C	Memiliki horison penciri A molik dan KB $\geq$ 50% di seluruh penampang.	Molisol
C	Mempunyai horison B kambik tanpa atau dengan horison A okrik, umbrik atau molik, tanpa gejala hidromorfik sampai kedalaman 50 cm dari permukaan.	Kambisol





Lanjutan tabel 7

Tanah Mineral	Tanah Mineral	Tanah Mineral
<b>B. Tanah Mineral</b>		
<b>Tanpa pengembangan</b>		
ABgC	Mempunyai ciri hidromorfik sampai kedalaman 50 cm dari permukaan; mempunyai horison A okrik, umbrik, histik, dan B kambik, sulfurik, kalsik atau gipsik.	Gleisol
ABtC	Mempunyai horison B argilik dengan kadar liat tinggi dan terdapat penurunan kadar liat < 20% terhadap liat maksimum di dalam penampang 150 cm dari permukaan, kandungan mineral mudah lapuk < 10% di dalam 50 cm dari permukaan, tidak mempunyai plintit, sifat vertikal dan ortoksik.	Nitosol
ABtC	Mempunyai horison B argilik, KB < 50% pada beberapa bagian horison B di dalam kedalaman 125 cm dari permukaan dan tidak mempunyai horison albik yang berbatasan langsung dengan horison argilik atau fragipan.	Podsolik
ABtC	Mempunyai horison B argilik, KB ≥ 50% pada beberapa bagian horison B di dalam kedalaman 125 cm dari permukaan dan tidak mempunyai horison albik yang berbatasan langsung dengan horison argilik atau fragipan.	Mediteran
AEBtgC	Mempunyai horison E albik di atas horison B argilik atau natrik dengan permeabilitas lambat (perubahan tekstur nyata, liat berat, fragipan) di dalam kedalaman 125 cm dari permukaan, ciri hidromorfik sedikitnya di lapisan horison E albik.	Planosol
ABhsc	Mempunyai horison B spodik (padas keras: Fe/Al+humus).	Podsol
ABoC	Mempunyai horison B oksik (KTK liat < 16 cmol(+)/kg)	Oksisol
ABcC	Mempunyai horison B yang mengandung kadar plintit atau kongresi besi > 30% (berdasarkan volume) di dalam kedalaman 125 cm dari permukaan tanah.	Lateritik

Sumber : Petunjuk teknik klasifikasi tanah nasional, (2014)

## F. Faktor Keamanan

Faktor keamanan (FK) lereng dapat dihitung dengan metode sayatan (*slice method*). Analisis menggunakan gaya – gaya yang bekerja pada sisi kanan dan kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah normal terhadap bidang longsor. Dengan anggapan ini, keseimbangan arah horizontal dan gaya yang bekerja dengan memperhatikan tekanan pori adalah;



$$N_i + U_i + W_i \cos \theta_i \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

$N_i$  = Gaya normal efektif

$U_i$  = Tekanan Air Pori irisan ke-i ( $\text{kN/m}^2$ )

$W_i$  = Berat masa tanah ke-i ( $\text{kN/m}^2$ )

$\theta_i$  = Sudut lereng (derajat)

Faktor aman didefinisikan sebagai:

$$F = \frac{\text{Jumlah momen pada tahanan geser sepanjang bidang longsor } (\sum Mr)}{\text{jumlah momen dari berat massa tanah yang longsor } (\sum Md)} \dots\dots\dots(4)$$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah  $R \sin \theta$

$$\sum M_d = R \sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

$R$  = Jari-jari lingkaran bidang longsor

$n$  = Jumlah irisan

$W_i$  = Berat masa tanah irisan ke-i

$\theta_i$  = Sudut (Derajat)

Dengan cara yang sama momen yang akan menahan tanah akan

longsor adalah:

$$\sum M_r = R \sum_{i=1}^{i=n} c a_i + N_i \text{tg } \varphi \dots\dots\dots(5)$$

Karena itu persamaan untuk faktor aman menjadi:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (c a_i + N_i \text{tg } \varphi_i)}{\sum_{i=1}^{i=n} w_i \sin \theta_i} \dots\dots\dots(6)$$



: Faktor aman  
Kohesi tanah ( $\text{kN/m}^2$ )

- $n$  = Panjang irisan ke-i  
 $a_i$  = Panjang lengkung lingkaran irisan ke-i (m)  
 $N_i$  = Gaya Normal efektif  
 $\varphi$  = Sudut gesek dalam tanah (Derajat)  
 $w_i$  = Berat masa tanah irisan ke-i (kN)  
 $\theta_i$  = Sudut (Derajat)

Sedangkan bila terdapat air pada lereng yang dipengerahui oleh muka air tanah, nilai F adalah:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} ca_1 + (w_i \cos \theta - u_i a_i) \operatorname{tg} \varphi}{\sum_{i=1}^{i=n} w_i \sin \theta_i} \dots\dots\dots(8)$$

Dimana :

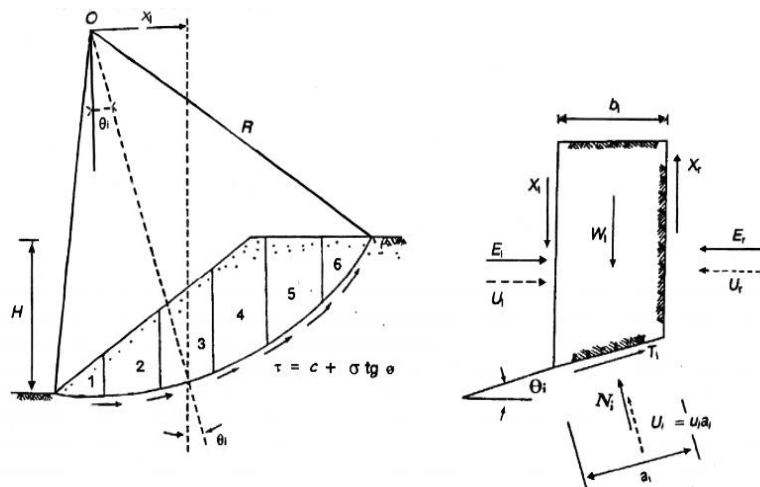
- $F$  = Faktor aman  
 $c$  = Kohesi tanah (kN/m<sup>2</sup>)  
 $\varphi$  = Sudut gesek dalam tanah (Derajat)  
 $a_i$  = Panjang lengkung lingkaran irisan ke-i (m)  
 $w_i$  = Berat masa tanah irisan ke-i (kN)  
 $u_i$  = Tekanan air pori irisan ke-i (kN)  
 $\theta_i$  = Sudut yang didefinisikan (Derajat)

Metode Irisan (Ordinary Method of Slice) yang oleh Fellenius memperkenalkan bahwa gaya memiliki sudut kemiringan paralel dengan dasar irisan dan faktor keamanan dapat dihitung dengan keseimbangan momen. Prinsip Metode Fellenius setiap keruntuhan terjadi melalui rotasi dari suatu blok tanah pada permukaan longsor yang berbentuk lingkaran (sirkuler) dengan titik O sebagai titik pusat rotasi dalam Metode ini gaya normal (P) dianggap bekerja ditengah-tengah irisan. Metodi felenius

aikan resultan gaya-gaya antar irisan atau resultan gaya-gaya antar  
 setiap irisan adalah sama dengan nol. Dengan asumsi tersebut uji  
 an keseimbangan momen untuk seluruh irisan terhadap titik pusat



rotasi dan diperoleh suatu nilai faktor aman. Perlakuan gaya terhadap irisan dapat dilihat pada gambar 13;



Gambar 13. Analisis faktor aman metode Fellenius

Gaya-gaya yang bekerja akibat berat massa tanah, merupakan gaya-gaya antar irisan yang bekerja di samping kanan irisan ( $E_r$  dan  $X_r$ ) di Setiap bagian alas irisan, gaya berat ( $W$ ) diuraikan menjadi gaya reaksi normal  $P_w$  yang bekerja tegak lurus alas irisan dan gaya tangensial  $w$  yang bekerja sejajar irisan. Besarnya lengan gaya ( $W$ ) adalah  $X = R \sin \alpha$ , dimana  $R$  merupakan jari-jari lingkaran longsor dan sudut  $\alpha$  adalah sudut pada titik  $O$  yang dibentuk antara garis vertikal dengan jari-jari lingkaran longsor.

Berdasarkan asumsi fellenius yang dikemukakan di atas, maka selanjutnya dapat diuraikan analisis Faktor Keamanannya dengan kriteria keruntuhan Mohr–Coulomb seperti pada persamaan 9:

$$s = c' + \sigma' \tan \phi' \dots\dots\dots (9)$$

Dimana  $S$  adalah kuat geset tanah,  $c'$  adalah nilai kohesi,  $\sigma'$  adalah tegangan normal efektif yang diperoleh dari pengurangan tegangan normal dengan tekanan air pori ( $u$ ) sedangkan tegangan normal dapat di dari hasil pembagian  $P_w$  gaya normal akibat berat sendiri tanah



(Pw) dengan hasil lebar irisan atas dikali 1 (l.1) , Serta  $\tan \phi'$  adalah sudut geser dalam tanah dan faktor aman (FK) dapat dinyatakan dari hasil pembagian tegangan geser yang ada dengan tegangan geser penyebab longsor dimana jika  $FK > 1,5$  menunjukkan lereng stabil, dan jika  $FK = 1,5$  kemungkinan lereng tidak stabil serta jika  $FK < 1,5$  lereng dinyatakan tidak stabil.

Untuk keperluan praktis, Fellenius memberikan pedoman untuk menentukan pusat lingkaran kritis. Pusat lingkaran kritis akan berada di sepanjang garis OC (gambar 3) dimana titik C mempunyai koordinat H dibawah kaki lereng dan 4,5 H horizontal dari kaki lereng. Titik O dapat ditentukan dengan bantuan Tabel 8 ;

Tabel 8. Panduan lingkaran kritis

Kemiringan lereng	Sudut lereng	$\alpha$	$\beta$
0,6 : 1	60°	29°	40°
1 : 1	45°	28°	37°
1,5 : 1	33.8°	26°	35°
2 : 1	26.6°	25°	35°
3 : 1	18.4°	25°	35°
5 : 1	11.3°	25°	35°

Analisis Kestabilan lereng menggunakan program slide 6.0 bertujuan untuk memudahkan perhitungan gaya yang bekerja pada setiap irisan lereng. Program computer Slide 6.0 merupakan program stabilitas lereng 2 dimensi yang dapat menganalisis stabilitas lereng yang berbentuk lingkaran atau bukan dan pada susunan jenis tanah atau batuan.

menganalisis stabilitas lereng menggunakan metode irisan vertikal dengan batasan batas dan dapat menampilkan nilai bidang longsor kritis



## G. Erosivitas

### 1. Pendugaan erosi material lereng

Wischmeier dan sinith (1962) mengemukakan rumus pendugaan USLE (*Universal Soil Loss Equation*)

$$A = R.K.L.S.C.P.....(10)$$

Dimana ;

A = Jumlah tanah yang hilang rata-rata setiap tahun (ton/ha/tahun)

R = Indeks daya erosi curah hujan (erosivitas Hujan)

K = Indeks kepekaan tanah terhadap erosi (erosibilitas tanah )

LS = Faktor Panjang (L) dan curamnya (S) Lereng

C = Faktor tanaman (Vegetasi)

P = Usaha Pencegahan Erosi

### 2. Indeks daya erosi curah hujan (R)

Indeks daya erosi (erosivitas) curah hujan (R) merupakan rata-rata daya erosi curah hujan dibagi 100. Diperoleh dari stasiun hujan didalam atau sekitar lokasi, karena alat penakar hujan otomatis jarang dimiliki oleh stasiun pengamat hujan di indonesia, maka Bols (1978) mengemukakan suatu rumus  $EI_{30}$  , Sebagaimana pada persamaan 11;

$$EI_{30} = 6.119 r^{1.21} X D^{-0.47} X M^{0.53}.....(11)$$

r = Curah hujan bulanan

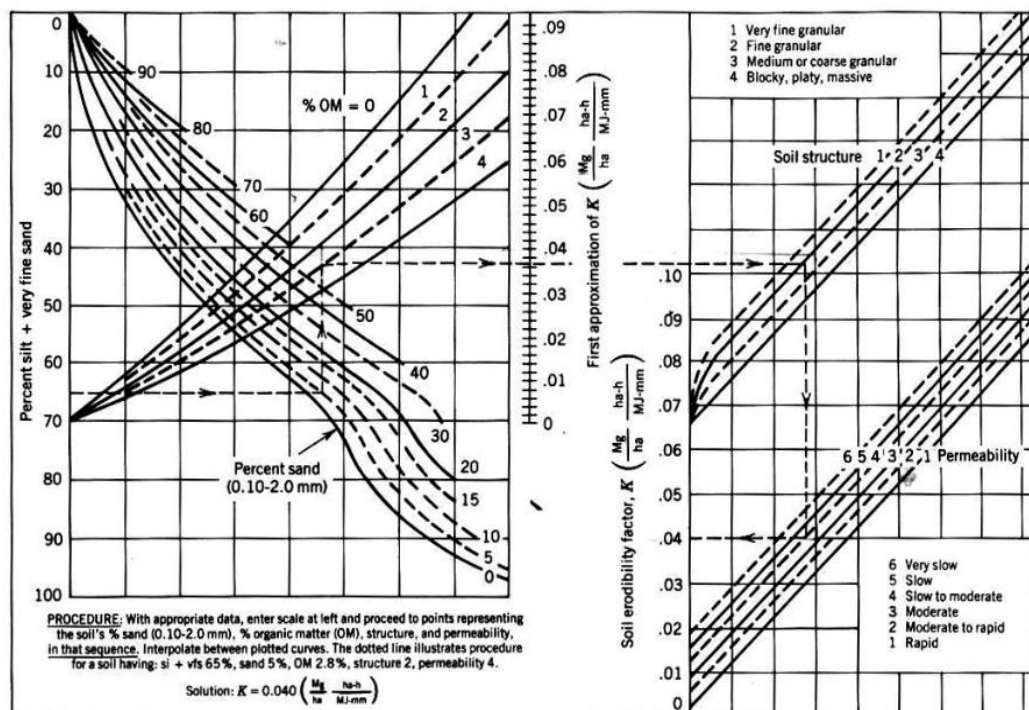
D = Jumlah hari hujan

M = Hujan Maksimum selama 24 jam pada bulan tersebut



### 3. Kepekaan tanah terhadap erosi (K)

Indeks kepekaan tanah terhadap erosi (erodibilitas) merupakan jumlah tanah yang hilang rata-rata setiap tahun persatuan indeks daya erosi curah hujan. Kepekaan tanah terhadap erosi dipengaruhi struktur tanah (kadar debu + pasir halus), kandungan organik, permeabilitas, parameter tanah di plot ke grafik Nomograf oleh wischmeier, jonson dan cross (1971) seperti pada gambar 14;



Gambar 14. Grafik nomograf , Sumber (Forest.dkk 1981)

Untuk mengukur persepsi bahaya erodibilitas tanah, hasil nomograf dapat menggunakan standar oleh USDA-SCS, (1973) seperti pada tabel 9;



Tabel 9. Hubungan Nilai K dan Tingkat Kepekaan Erosi

Kelas USDA-SCA	Nilai K	Kelas
1	0 – 0,10	Sangat Rendah
2	0,11 – 0,20	Rendah
3	0,21 – 0,32	Sedang
4	0,33 – 0,43	Agak tinggi
5	0,44 – 0,55	Tinggi
6	0,56 – 0,64	Sangat tinggi

Sumber : USDA-SCS, (1973) dalam Dangler dan El-Swaify, (1976)

#### 4. Faktor lereng Panjang (L) Miring (S)

Faktor LS merupakan rasio antara tanah yang hilang dari suatu petak dengan panjang dan curam lereng tertentu dengan petak baku. Panjang (L) diukur dari igir (punggung) bagian atas sampai bagian bawah, berdasarkan arah kemiringan lereng dan dinyatakan dalam satuan meter, sedangkan untuk kemiringan (S) lereng dinyatakan dalam satuan persen. Keduanya dapat diukur menggunakan persamaan 12 ;

$$LS = \sqrt{\frac{L}{100} (0,136 + 0,097 S + 0,0139 S^2)} \dots\dots\dots (12)$$

Sedangkan menurut Harper (1988) jika kemiringan lereng lebih dari 20 % atau terjal, disarankan untuk menggunakan menggunakan rumus berikut (Foster and Wischmeier, 1973).

$$LS = (l / 22) m c' (\cos \alpha)^{1,50} [0,5(\sin \alpha)^{1,25} + (\sin \alpha)^{2,25}] \dots\dots\dots (13)$$

Dimana :

m = angka eksponen berdasarkan kemiringan lereng ;

0,5 untuk lereng dengan Kemiringan 5 % atau lebih

0,4 untuk lereng dengan Kemiringan 3,5 – 4,9 %

0,3 untuk lereng dengan kemiringan 3,5 %

Dimana c' = 34,71    α = sudut lereng    l = panjang lereng (m)





## 5. Faktor vegetasi penutup (C)

Pengaruh vegetasi (C) terhadap erosi yaitu melalui proses intersepsi air hujan oleh tajuk dan absorsi air hujan sehingga mengurangi nilai erosititas, Pengaruh limpasan permukaan,meningkatkan aktivitas biologi dalam tanah dan meningkatkan kecepatan kehilangan air karena transpirasi, sebagai mana ditunjukkan pada tabel 10,;

Tabel. 10 Nilai C jenis Tanaman Di Indonesia (Hamer,1980)

Jenis Pertanaman	Pengaruh vegetasi (C)
Tanah yang diberakan di olah secara periodik	1.0
Tanaman rumput Brachiaria	
Tahun Permulaan	0.3*
Tahun Berikutnya	0.02*
Sere wangi	0.4*
Kebun campuran	
Kerapatan tinggi	0.1
Ubi kayu - Kedele	0.2
Kerapatan sedang	0.3
Kerapatan rendah (kacang tanah)	0.5
Hutan Alam	
Penuh dengan serasa	0.001
Hutan Produksi	
Tebang Habis	0.5
Tebang Pilih	0.2
Belukar Rumput	0.3

\*hasil Penelitian Pusat Penelitian Tanah Bogor

Sumber : S.Harjowigeno, (1987: X – 181).

## 6. Usaha pencegahan erosi (P)

Merupakan rasio tanah yang hilang bila usaha konservasi tanah dilakukan seperti (Teras, tanaman dalam kontur dan lain sebagainya) ataupun tanpa usaha konservasi tanah. Lahan tanpa konservasi tanah maka nilai  $P=1$ , apabila di teraskan nilai P dianggap sama dengan P untuk

*opping*. Sebagaimana ditunjukkan pada tabel 11;



Tabel. 11 Nilai P Teknik Konservasi Tanah

Jenis Teknik Konservasi	Usaha Pencegahan Erosi Nilai p
Teras bangku	
Standar disain dan bangunan baik	0.4
Standar disain dan bangunan baik	0.15
Standar disain dan bangunan baik	0.35
Tanaman Tradisional	0.04
Penanaman/pengolahan menurut kontur pada lereng	
0 - 8%	0.5
9 - 20%	0.75
> 20%	0.90
Tanpa tindakan konservasi	1.0

Sumber : S.Harjowigeno, (1987: X – 181).

## 7. Erosi Yang diperbolehkan (Edp)

Erosi yang diperbolehkan (Edp) adalah jumlah tanah hilang yang diperbolehkan per tahun agar produktivitas lahan tidak berkurang sehingga tanah tetap produktif secara produktif. Wischmeier dan smith (1978) mengemukakan bahwa dalam menentukan erosi diperbolehkan harus mempertimbangkan (1) Ketebalan lapisan tanah atas, (2) Sifat fisik tanah, (3) Pencegahan terjadinya erosi (gully), (4) Penurunan kandungan bahan organik, (5) Kehilangan zat hara tanaman.

Nilai Edp dipertibangkan berdasarkan tingkat kecepatan pembentukan tanah, Arsyad,(1989) berpendapat bahwa suhu dan curah hujan tinggi di Indonesia mempercepat pembentukan tanah, kecepatan pembentukan tanah di daerah beriklim tropika basah diperkirakan dua kali lebih besar dari pada yang beriklim sedang, untuk menentukan nilai besar erosi tanah yang diperbolehkan di Indonesia, sebagaimana ditunjukkan

el. 12;



Tabel 12. Erosi yang diperbolehkan

Sifat tanah dan substratum	Indonesia (arsyad 1989)	
	mm/th	ton/ha/th
Tanah sangat dangkal diatas batuan	0	0
Tanah dangkal diatas batuan	tidak ada	tidak ada
Tanah sangat dangkal diatas batuan melapuk (tidak terkonsolidasi)	0.4	4
Tanah dalam diatas batuan	tidak ada	tidak ada
Tanah dangkal diatas bahan telah melapuk	0.8	8
Tanah dengan kedalaman sedang diatas substrata yang telah melapuk	1.2	12
Tanah dalam dengan lapisan bawah berpermeabilitas lambat diatas substrata telah lapuk	1.4	16
Tanah dalam dengan lapisan bawah berpermeabilitas sedang diatas substrata telah lapuk	2	20
Tanah dalam dengan lapisan bawah permeabilitas (agak cepat) diatas substrata telah melapuk	2,5	25

Keterangan; Sangat dangkal <25, dangkal 25 - 50 cm, sedang 50-90 cm, dalam >90 cm tidak ada ; mm/th x kerapatan lindak x 10 = ton/ha/th ; kerapatan lindak 1 g/cc

## 8. Indeks bahaya erosi (IBE)

Indeks bahaya erosi merupakan pentunjuk besarnya bahaya erosi pada suatu lahan. Tujuan menentukan indeks bahaya erosi yaitu untuk mengetahui sejauh mana erosi dapat membahayakan produktivitas tanah yang bersangkutan, IBE ditentukan dengan persamaan (wood dan dent, 1983);

Indeks bahaya erosi =

$$\frac{\text{Jumlah tanah yang tererosi setiap tahun (ton/ha/th)}}{\text{Jumlah erosi yang diperbolehkan (ton/ha/th)}} \dots \dots \dots (14)$$

Berdasarkan persamaan tersebut maka dapat indeks bahaya erosi dapat diklasifikasikan dalam kategori kelas, sebagaimana ditunjukkan

bel.13



Tabel 13. Indeks bahaya erosi

Nilai	Kelas
1,0	Rendah
1,01-4,0	Sedang
4,01-10,00	Tinggi
10,01	Sangat tinggi

Sumber : S.Harjowigeno, (2015)

## H. Iklim

### 1. Curah hujan

Hujan digambarkan sebagai air di udara yang mencapai permukaan tanah. Hujan merupakan komponen utama dari siklus hidrologi. Hujan diperoleh dari air yang berada di atmosfer dalam wujud uap air. Bagaimanapun, kuantitas dan formasi hujan dipengaruhi oleh faktor di luar atmosfer, seperti angin, temperatur dan tekanan. Dirjen kehutanan tahun 13 mengklasifikasikan hujan, sebagai mana ditunjukkan pada tabel 14;

Tabel 14. Intensitas curah hujan

No.	Curah Hujan (mm/hujan)	Katagori Nilai
1.	<1500	Sangat Rendah
2.	1500 - <2000	Rendah
3.	2000 - <2500	Sedang
4.	2500 - <3000	Tinggi
5.	- = <3000	Sangat Tinggi

Sumber : Peraturan dirjen kehutanan no. 3 tahun 2013

### 2. Infiltrasi

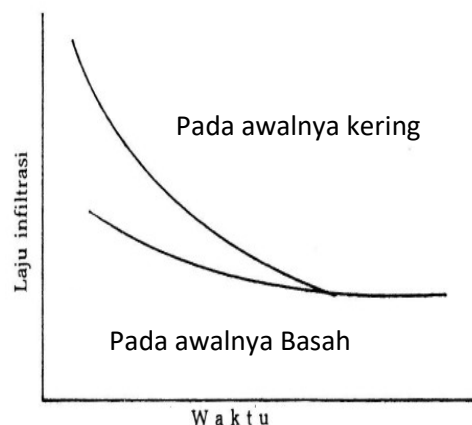
Infiltrasi tanah memiliki peran terhadap terjadinya erosi, Nilai aliran permukaan yang terinfiltrasi kedalam tanah oleh satuan ruang waktu secara

menyebabkan hilangnya nilai kohesifitas tanah. sehingga infiltrasi untuk diketahui dan dikendalikan dimana perlu diketahui nilai ideal, dengan cara memperbesar kemampuan tanah menyimpan



air, utamanya dapat ditempuh melalui perbaikan dan pengendalian dengan metode vegetasi.

Intensitas hujan yang lebih kecil dari kapasitas infiltrasi, mengakibatkan laju infiltrasi aktual sama dengan intensitas hujan, dan besar infiltrasi yang masuk dalam satuan waktu turut mempengaruhi nilai kohesifitas tanah. Kapasitas infiltrasi (mm/jam) adalah laju infiltrasi maksimum untuk suatu jenis tanah tertentu; sedang laju infiltrasi adalah kecepatan infiltrasi yang nilainya tergantung pada kondisi tanah dan intensitas hujan. Pada grafik dibawah ini menunjukkan kurva kapasitas infiltrasi ( $f_p$ ), yang merupakan fungsi waktu sebagaimana ditunjukkan pada gambar 15;



Gambar. 15 Laju infiltrasi sebagai fungsi dari waktu

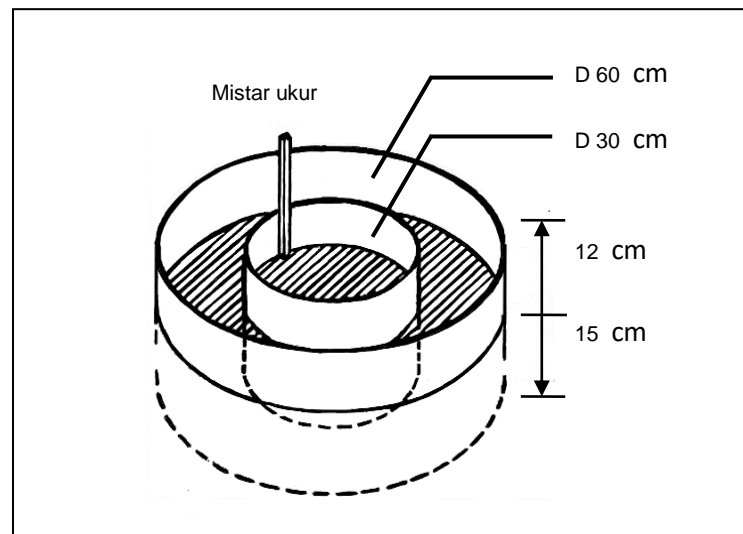
Sumber: Arsyad, 2000

Selama kapasitas infiltrasi sama dengan intensitas hujan, potensi genangan air dipermukaan tanah sangat tinggi terutama jika intensitas hujan melampaui kapasitas infiltrasi, (Arsyad, 2010). Metode yang paling umum untuk mengukur laju infiltrasi adalah dengan uji lapangan

gunakan infiltrometer silinder atau cincin, sebagaimana ditunjukkan

Gambar 16;





Gambar 16. Infiltrometer double ring

Ring infiltrometer berfungsi untuk menetapkan infiltrasi kumulatif, laju infiltrasi, sorptivitas, dan kapasitas infiltrasi. Ring infiltrometer mempunyai dua jenis yaitu *single ring infiltrometer* dan *double (concentric-ring infiltrometer)*. Penggunaan *double-ring infiltrometer* ditujukan untuk mengurangi pengaruh rembesan lateral..

Masuknya air lebih dalam pada profil tanah yang basah, mengakibatkan hisapan matriks tanah berkurang dan akhirnya hanya tinggal tarikan gravitasi yang berpengaruh terhadap pergerakan air, laju infiltrasi semakin menurun mendekati kondisi kesetimbangan (*steady-state*), karakteristik tanah berdasarkan infiltrasi dapat dilihat pada tabel 15;

Tabel 15. Karakteristik tanah berdasarkan infiltrasi

Tipe tanah	Tingkat infiltrasi dasar (mm/hour)
Pasir	Kurang dari 30
Lempung berpasir	20 - 30
Lempung	10 - 20
Lempung tanah liat	5 - 10
Tanah liat	1 - 5

Sumber : FAO dalam Annex 2 Infiltration rate and infiltration test



Laju infiltrasi awal ( $f_0$ ) nilainya tergantung pada kadar air lapangan saat pengujian. Dengan berlanjutnya proses infiltrasi (hujan), berkurang karena tanah lebih basah. Horton, (1940) merumuskan infiltrasi, sebagaimana ditunjukkan pada persamaan 15;

$$f_t = f_c + (f_0 - f_c)e^{-Kt} \dots \dots \dots (15)$$

Dimana;  $f_t$  = Kapasitas infiltrasi pada saat ke  $t$

$f_0$  = Kapasitas infiltrasi awal

$f_c$  = Kapasitas infiltrasi konstan

$K$  = Konstanta yang menunjukkan laju pengurangan kapasitas Infiltrasi

Rickard and Cossens (1965) mengklasifikasikan kemampuan tanah meloloskan air, sebagaimana ditunjukkan pada tabel 16;

Tabel 16. Klasifikasi laju infiltrasi

Kelas	Laju Infiltrasi	Laju Infiltrasi (mm/jam)
0	Sangat Lambat	Kurang dari 2.5
1	Lambat	2.5 - 15
2	Sedang	15 - 28
3	Tinggi	28 - 53
4	Sangat Tinggi	Lebih dari 53

Sumber : Rickard and Cossens (1965) dalam SCDT (2003)

## H. Vegetasi

Rekayasa kemiringan menggunakan vegetasi hidup bersama dengan langkah-langkah penguatan tradisional telah terbukti hemat biaya dan ramah lingkungan, Zhu et al., (2017). Vegetasi secara signifikan mempengaruhi sifat hidrologi dan mekanis lereng bukit yang berhubungan

erosi dan longsor dangkal.



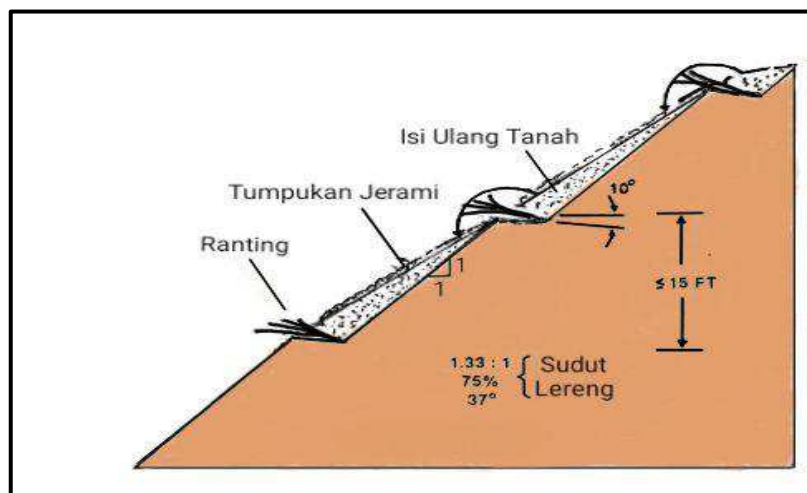
Hirnawan (1993), mengemukakan penggunaan vegetasi keras di kaki lereng akan memperkuat kestabilan lereng, sebaliknya tanaman keras di puncak lereng justru akan menurunkan faktor keamanan lereng sehingga memperlemah kestabilan lereng. diperlukan analisis lebih lanjut mengenai metode tanam.

### 1. sistem vegetatif (metode bioteknik)

Jenis vegetasi harus memiliki tingkat kecocokan dengan jenis tanah dan tingkat kecuraman lereng sehingga perlu dilakukan seleksi vegetasi yang disesuaikan dengan metode penanaman. Gray and Leiser, (1982) dalam (Skirrow, 2006) menjelaskan sistem vegetatif (bioteknik) dapat diaplikasikan dalam dibagi menjadi 3 metode antara lain;

#### A. Menggunakan vegetasi secara penuh

1. *Brush layering* adalah metode yang menggunakan vegetasi secara penuh, sebagaimana pada gambar 17;

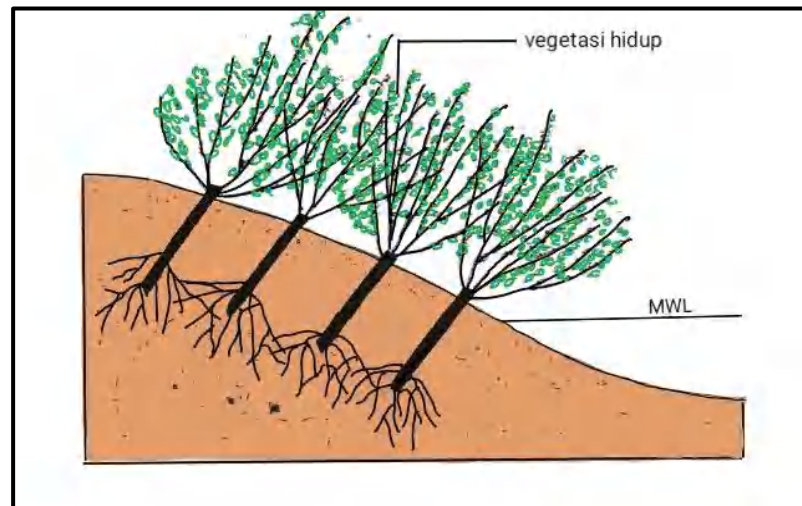


Gambar 17. Pemasangan *Brush Layering* Gray and Leiser, (1982)



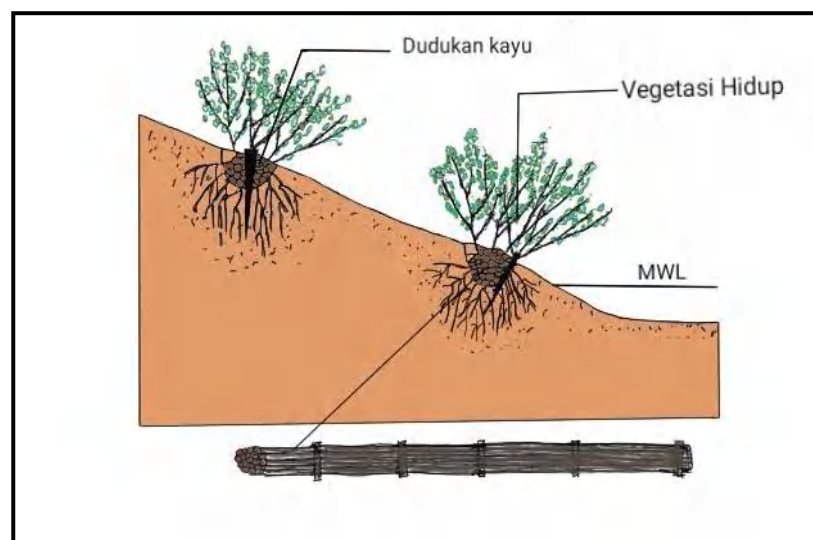


2. *Live stakes*, adalah metode yang memanfaatkan bagian dari vegetasi (tanaman yang berkembang biak dengan stek batangnya, sebagaimana pada gambar 18;



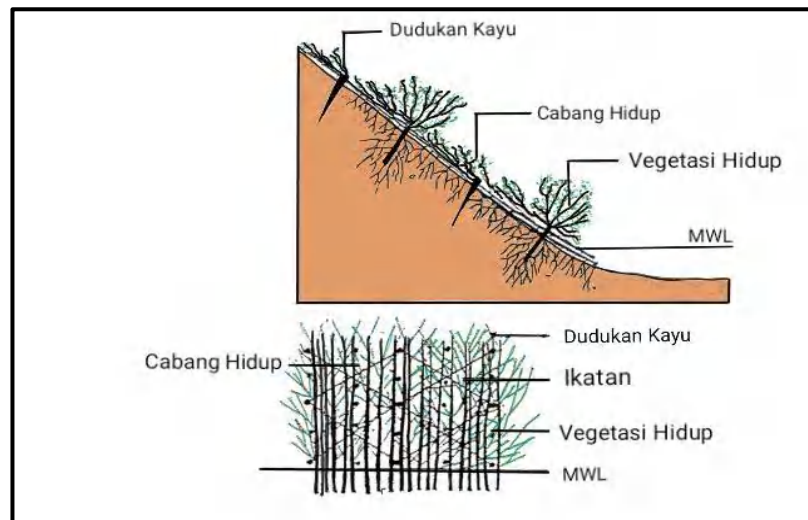
Gambar 18. Pemasangan *Live Stakes* Gray and Leiser, (1982)

3. Kombinasi antara vegetasi hidup dengan vegetasi mati
- a. *Live Fascine*, adalah metode kombinasi dari 2 jenis vegetasi hidup, sebagai bundle dan sebagai *live stake*, sebagaimana pada gambar 19;



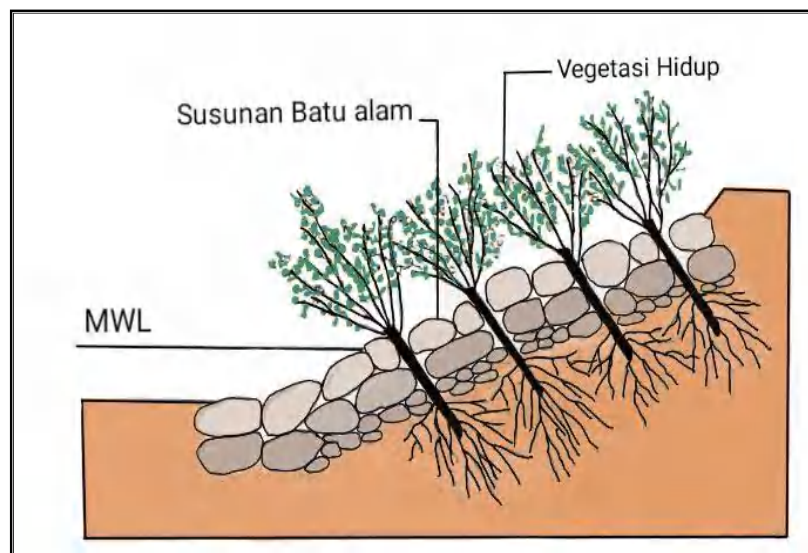
Gambar 19. Pemasangan *Live Fascine* ( Gray et al, 1997 )

- b. *Brush Mattress*, adalah metode vegetasi dengan model ayaman semak belukar, sebagaimana pada gambar 20;



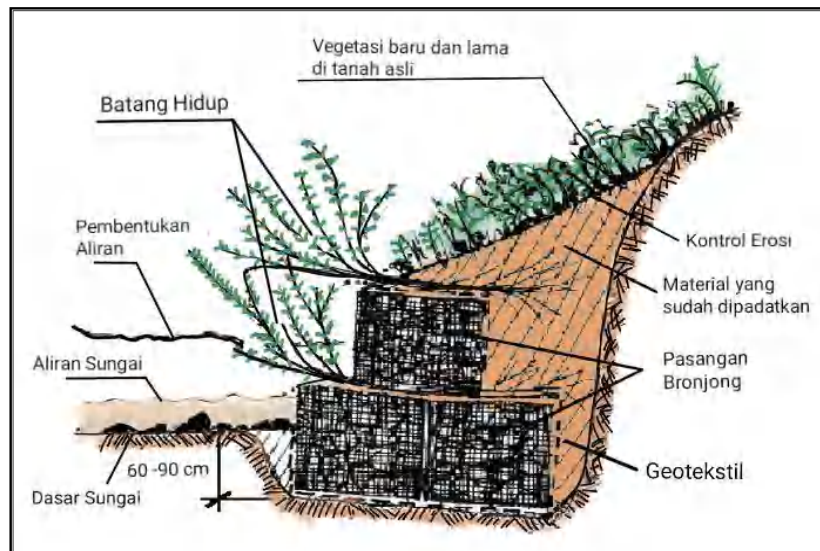
Gambar 20. Pemasangan *Bursh Mattress* ( Gray et al, 1997 )

4. Kombinasi antara vegetasi hidup dengan bangunan struktur
- a. *Vegetated Rock* adalah metode kombinasi vegetasi dengan susunan material batu, seperti pada gambar 21;



Gambar 21. Pemasangan *Vegetate Rock* ( Gray et al, 1997 )

- b. *Vegetated Rock Gabion*, adalah metode yang mengkombinasikan antara struktur (bronjong) dengan vegetasi hidup, Robin B Sotir, 1996 dalam Li & Eddleman, (2002), seperti pada gambar 22;

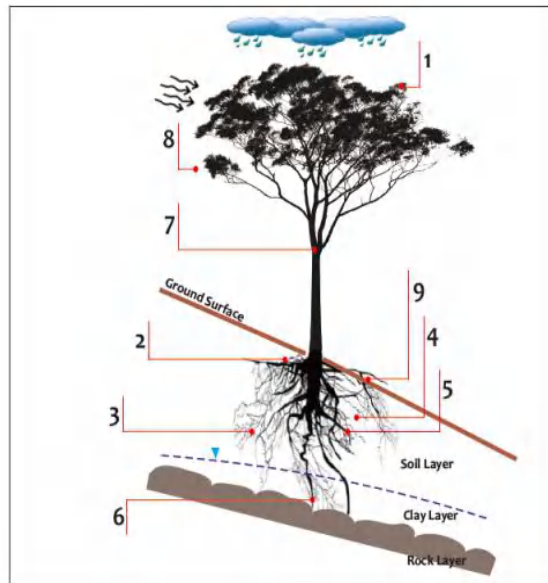


Gambar 22. *Streambank and Shoreline Protection*, Robin B Sotir, 1996)

## 2. Pohon sebagai media sitem vegetatif

Penguatan tanah oleh akar, meliputi kemampuan mekanik dan senyawa integral kinerja organisme antara akar dan tanah. pertumbuhan akar turut dipengaruhi oleh karakteristik kandungan minirel tanah, sedangkan akar yang baik untuk lereng merupakan akar yang tumbuh secara vertikal dan memiliki kuat tarik (Mpa) yang besar. Greenway D R 1987 menjelaskan vegetasi memberikan pengaruh untuk hidromekanik terhadap lereng seperti pada gambar 23;





Gambar 23. *Hydromechanical Akar Pohon* (Greenway D R 1987)

Fungsi hidromekanik pohon dapat dilihat pada tabel. 17;

Tabel 17. Pengaruh hidromekanik pohon

<b>Mekanisme Hidrologi</b>	
1	Dedaunan memotong hujan, menyebabkan kehilangan absorptive dan evaporative yang mengurangi curah hujan untuk menyusup
2	Akar dan batang meningkatkan kekasaran ke permukaan tanah dan permeabilitas tanah sehingga memperluas kapasitas infiltrasi
3	Akar menyerap air dari tanah dan dilepaskan ke dalam atmosfer melalui mekanisme transpirasi yang menyebabkan pori-pori air berkurang
4	Depleksi kelembaban tanah oleh penyerapan akar dapat menonjolkan tanah menjadi retak, sehingga meningkatkan kapasitas infiltrasi
<b>Mekanisme Mekanik</b>	
5	Akar memperkuat tanah, meningkatkan kekuatan geser tanah
6	Akar vegetasi jangkar ke lapisan tanah yang dalam, memberikan dukungan untuk mantel tanah upslope melalui penopang dan melengkung
7	Berat vegetasi meningkatkan kemiringan lereng dan meningkatkan normal dan
8	Tanaman yang terkena angin memancarkan kekuatan dinamis ke dalam
9	Akar mengikat partikel tanah dan mengurangi kerentanannya terhadap

Greenway D R (1987)



Faisal, (2015) menjelaskan bahwa sifat kekuatan tarik jenis spesies pohon acacia mangium dan *Leucaena leucocephala*, sedangkan Genet, Stokes, Salin, & Mickovski, (2007) menyatakan sifat kekuatan tarik yang dimiliki beberapa pohon, seperti disajikan pada tabel. 18;

Tabel 18. Nilai kuat tarik akar pohon

<b>Nama Latin</b>	<b>Nama Indonesia</b>	<b>Kuat tarik (Mpa)</b>
<i>Leucaena leucocephala</i>	Lamtoro	104.83
<i>Acacia mangium</i>	Akasia	54.37
<i>Pinus densiflora</i> **	Pinus	32.00

Sumber: Faisal, (2015) \*\*Genet,Dkk,(2007)

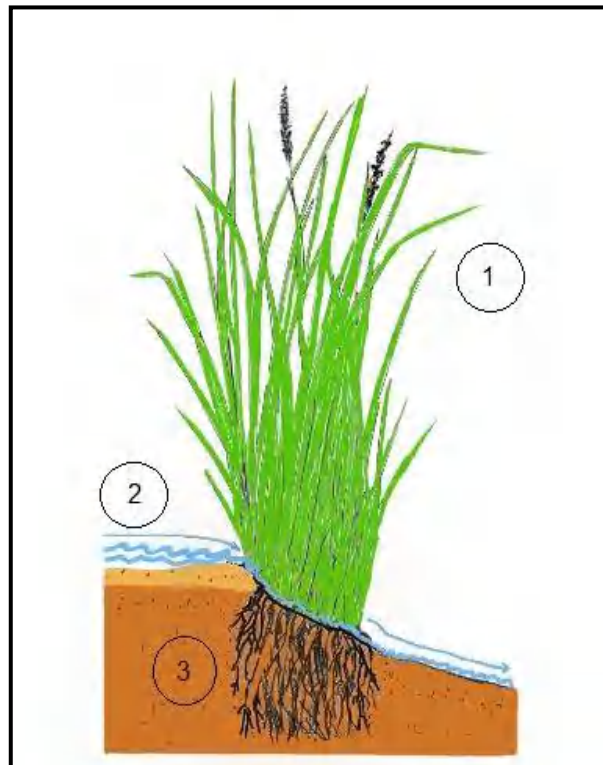
### 3. Rumput sebagai media sistem vegetatif

teknologi sederhana penanganan erosi yang berbiaya murah menggunakan sistem vegetasi dapat dilakukan dengan penggunaan rumput. rumput vetiver yang telah banyak digunakan untuk konservasi tanah dan air perlindungan lingkungan, sangat efektif dalam mengontrol erosi dan sedimentasi tanah, konservasi air, serta stabilisasi dan rehabilitasi lahan.

Didaerah lereng fungsi hidromekanik vetiver dapat bekerja untuk pengendali erosi permukaan dan pencegahan longsoran dangkal, oleh tiupan angin yang membawa partikel tanah,Air hujan yang menumbuk agregat tanah menjadi partikel-partikel tanah yang terlepas (erodibilitas), dan gravitasi yang membuat tanah bergerak dalam jumlah dan jarak tertentu.

hidrologi mekanik yang dapat dilihat pada gambar 24;





Gambar 24. *Hydromechanical* Rumput Vetiver

Daun vetiver berfungsi (1) mereduksi energi kinetik air hujan dengan meminimalisir tabrakan langsung oleh air hujan ke dengan permukaan tanah, air yang jatuh berubah jadi aliran permukaan sebagian dapat terinfiltrasi dengan baik sampai saat tanah menjadi jenuh, vetiver berfungsi (2) sebagai pagar yang mereduksi energi aliran permukaan sehingga perpindahan tanah dapat diperkecil, selain fungsi hidrolgi vetiver juga dapat berfungsi (3) secara mekanis melalui kinerja akar yang dapat meningkatkan nilai kohesifitas tanah. Cheng, Yang, Liu, Fu, & Wan, (2003), mengemukakan hubungan akar dan nilai kuat tarik rumput vetiver dan beberapa rumput lain yang dapat dilihat pada tabel 19;



Tabel. 19 Hubungan Diameter Dan kuat Tarik Akar Rumput.

Rumput	Rata –rata Diameter Akar (mm)	Rata – Rata Daya tarik (Mpa)
Late juncellus	0.38 ± 0.43	24.53 ± 4.2
Dallis	0.92 ± 0.28	19.74 ± 3.00
White clover	0.91 ± 0.11	24.64 ± 3.36
Vetiver	0.66 ± 0.32	85.10 ± 31.2
Common Centipede	0.66 ± 0.05	27.30 ± 1.74
Bahia	0.73 ± 0.07	19.23 ± 3.59
Manila	0.77 ± 0.67	17.55 ± 2.85
Bermuda	0.99 ± 0.17	13.45 ± 2.18

Sumber : H Cheng dkk, (2003)

Akar vegetasi merupakan bagian terpenting dimana akar dapat menyerap air dalam tanah dan dapat menurunkan tegangan air pori, selain itu akar juga memiliki kemampuan mengikat tanah yang berfungsi sebagai angkur biologis untuk sistem pengendalian longsor lereng.

Faisal dan Normaniza (2008) menyatakan keberadaan akar tanah berpengaruh terhadap peningkatan nilai kohesi ( $c$ ) tanah, sedangkan nilai sudut gesernya ( $\phi$ ) tidak terpengaruh. Pengaruh tersebut diimplementasikan kedalam hukum keruntuhan Mohr-Coulomb oleh Wu (1979):

$$\tau = (C + 1,2 T_R RAR) + (\sigma - u) \tan \phi \dots\dots\dots(16)$$

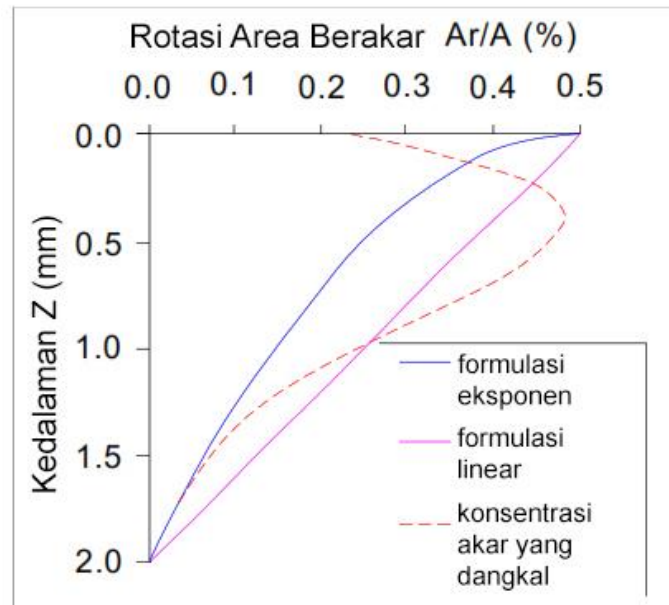
Dimana nilai tegangan geser tanah ( $\tau$ ) nilai kohesi tanah ( $C$ ) nilai kontribusi akar terhadap kohesi tanah ( $C_R$ ), nilai tegangan normal ( $\sigma$ ), tegangan air pori ( $u$ ) dan ( $\phi$ ) adalah sudut geser dalam, ( $T_R$ ) nilai kuat tarik

n ( $RAR$ ) rasio area akar ( $RAR$ ) dengan kedalaman ( $Z$ ), dapat dengan persamaan.17;

$$\{(1/400) \times (2-z)\} \dots\dots\dots(17)$$



Atau nilai rar dapat ditentukan dengan grafik hipotesis dari rasio daerah berakar (RAR) oleh Daniele Cazzuffi & Enrico Crippa, 2005, seperti pada gambar grafik 25;



Gambar. 25 Kurva hipotesis rasio daerah akar (RAR) dengan kedalaman ( $z$ )





#### 4. Jarak tanam vetiver

Tabel. 20 Standar dan metode tanam vetiver

Tata Letak Tanaman	Kemiringan Lereng					
	< 30 <sup>0</sup>		30 <sup>0</sup> Sampai dengan 45 <sup>0</sup>		> 45 <sup>0</sup> Sampai dengan 60 <sup>0</sup>	
	nilai erodibilitas tanah* :					
	(K ≤ 0.20 )	(K > 0.20 )	(K ≤ 0.20 )	(K > 0.20 )	(K ≤ 0.20 )	(K > 0.20)**
Jarak antarsetrip rumput Vetiver (cm)	80 sampai dengan 160	80 sampai dengan 120	80	40 sampai dengan 80	40	Pada kemiringan ini, untuk daerah dengan nilai k > 0.20 dan curah hujan tinggi, tidak disarankan ditanami vetiver secara mandiri (perlu dikombinasikan dengan cara mekanis)
Jarak antartunas rumput pada barisan (cm)	15 sampai dengan 20	10 sampai dengan 15	15 sampai dengan 20	10 sampai dengan 15	10 sampai dengan 15	

Sumber : Kementerian PUPR, No. Pd T-09-2005-B (2007)

\* Mempertimbangkan nilai erodibilitas K didapat dari nomograf

\*\* Standar penanaman yang digunakan



Keterangan ;

1. Di antara setrip rumput vetiver dapat dilakukan dengan :

a. penanaman vegetasi penutup lainnya, seperti :

- Rumput bahia (bahia grass = *Paspalum notatum*)
- Rumput pahit (carpet grass = *Axonopus compressus*) Untuk lereng lebih kecil dari 300, dapat pula menggunakan kacang-kacangan (legum), seperti : *Centrosema pubescens*, *Pueraria javanica* , *Calopogonium mucunoides* untuk lebih jelas.

b. Perkuatan dengan potongan bambu (setengah lingkaran menghadap tanaman vetiver) yang dipancang setiap 500 cm dengan pasak bambu (panjang 50 cm, diameter 3 cm sampai dengan 5 cm),

2. \*) Nilai erodibilitas tanah merupakan suatu nilai yang menunjukkan mudah tidaknya suatu tanah ter erosi. Untuk lebih jelasnya, hal itu mengacu pada kelas kepekaan tanah terhadap erosi (erodibilitas tanah) berdasarkan USDA – SCS (1973) .

