

TUGAS AKHIR

**STUDI PENGGUNAAN RUMPUT VETIVER SEBAGAI PERKUATAN LERENG
TIMBUNAN SAMPAH PADA *CLOSED LANDFILL***



SABDA SARI

D121 16 001

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2021



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

JL. POROS MALINO, KM.6 BONTOMARANNU KAB. GOWA

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa.

Judul : **Studi Penggunaan Rumput Vetiver Sebagai Perkuatan Lereng Timbunan Sampah Pada Closed Landfill**

Disusun Oleh :

Nama : Sabda Sari

D121 16 001

Telah diperiksa dan disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Gowa, 26 Februari 2021

Pembimbing I

Dr. Eng. Kartika Sari, S.T., M.T.
NIP. 197312012000122001

Pembimbing II

Dr. Eng. Akbar Caronge, S.T., M.T.
NIP. 198604092019043001

Menyetujui,
Ketua Departemen Teknik Lingkungan



Dr. Eng. Muraja Hustim, S.T., M.T.
Nip. 197204242000122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Sabda Sari, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “**Studi Penggunaan Rumput Vetiver sebagai Perkuatan Lereng Timbunan Sampah pada *Closed Landfill***”, adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Gowa, 2 Maret 2021

Yang membuat pernyataan,



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas berkat rahmat dan ridho-Nyalah sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir dengan judul **“Studi Penggunaan Rumput Vetiver sebagai Perkuatan Lereng Timbunan Sampah Pada *Closed Landfill*”**. Shalawat dan salam selalu tercurahkan kepada junjungan seluruh umat manusia Nabi Muhammad SAW, pimpinan dan sebaik-baik teladan bagi umat manusia. Tugas akhir ini ditujukan untuk memenuhi salah satu persyaratan ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) pada Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Pencapaian tugas akhir ini tidak terlepas dari jasa-jasa orang tua penulis. Ungkapan terima kasih yang tulus penulis persembahkan untuk kedua orang tua tercinta ayahanda Basir dan ibunda Jusniati atas doa-doa yang selalu dipanjatkan kepada Allah SWT dan seluruh pengorbanannya baik berupa moral dan materiil. Ucapan terima kasih juga penulis ucapkan kepada saudara tercinta Nurul Hijriah dan Afrah Tul Khalifah yang selalu memberikan semangat kepada penulis hingga penulis bisa sampai pada tahap ini . Tak lupa pula ucapan terima kasih untuk seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan dan doa demi kelancaran penelitian ini.

Dalam proses penyusunan hingga terselesaikannya tugas akhir ini, penulis sangat terbantu oleh banyak pihak, karenanya penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Dr. Eng. Kartika Sari, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan banyak waktu, tenaga dan pikiran beliau selama penulis melaksanakan penyusunan tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Eng. Muh. Akbar Caronge, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Ibu Dr. Eng. Asiyanthi T. Lando, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Eng. Ibrahim Djamaluddin, S.T, M.Eng selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran dan masukan dalam penyempurnaan penyusunan tugas akhir ini.

4. Bapak Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Bapak Dr. Eng. Irwan Ridwan Rahim, S.T., M.T., selaku Kepala Lab Riset Sanitasi dan Persampahan yang terus memberikan dorongan selama penelitian.
7. Bapak/Ibu Dosen Fakultas Teknik Departemen Teknik Lingkungan atas bimbingan, arahan, didikan, dan motivasi yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
8. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuannya selama penulis menempuh perkuliahan terutama kepada staf S1 Departemen Teknik Lingkungan Ibu Sumiati dan Kak Olan yang telah banyak membantu dalam pengurusan administrasi untuk menunjang skripsi penulis.
9. Untuk partner tugas akhir penulis, saudari St. Rahma Dzulalma Sebrilliana terima kasih atas semua bantuannya mulai dari awal penelitian hingga penulisan tugas akhir ini selesai.
10. Terimakasih kepada saudaraku Ema, Lisa, dan Melin (KOCE) yang telah banyak memberikan dukungan dan menguatkan penulis melewati masa sulit selama perkuliahan.
11. Terspesial kepada teman-teman yang paling dekat dengan penulis Emott, Lisong, Chyko, Almee, Pammi, Milea, Sashe, Nisa, Nade, Dedew, Jola, Wini, Dala, (KOZONG) yang selalu setia mendengarkan keluh kesah dari penulis serta selalu membantu penulis dalam hal apapun.
12. Tercinta kepada teman-teman Caddo, Bolla, Bicul dan Cemprenng (KETIPIS) yang selalu membersamai penulis dari SMA hingga saat ini.
13. Tersayang kepada teman-teman Uppa, Chia dan Hasana (CANGKOLI) teman seperjuangan dari SD yang selalu memotivasi penulis untuk menyelesaikan pendidikan.

14. Terkiyutt kepada Aaa Iky (Rizky Febian) yang selalu berhasil meningkatkan mood penulis dengan lagu-lagunya.
15. Saudara-saudari se-PATRON 2016, yang telah mewarnai masa perkuliahan saya sejak menjadi mahasiswa baru sampai sekarang.
16. Dan kepada rekan, sahabat, saudara dan berbagai pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu. Penulis mengucapkan banyak terima kasih atas setiap bantuan dan doa yang diberikan. Semoga Allah SWT membalaskan kebaikan kepada kalian semua.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Namun, penulis berharap tugas akhir ini memberikan manfaat bagi pembaca. Akhir kata semoga tugas akhir ini memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Gowa, Januari 2021

Penulis,

Sabda Sari

D121 16 001

ABSTRAK

SABDA SARI. *Studi Penggunaan Rumput Vetiver sebagai Perkuatan Lereng Timbunan Sampah pada Closed Landfill*. (dibimbing oleh Kartika Sari dan M. Akbar Caronge)

Jumlah sampah yang terus meningkat dan lahan pembuangan sampah yang tidak memadai mengakibatkan sampah dibiarkan terus menggunung di TPA bahkan mengalami kelebihan kapasitas yang akan memicu terjadinya keruntuhan lereng. Maka dibutuhkan perkuatan lereng dengan metode *bio-engineering*. Pada penelitian ini menggunakan rumput vetiver karena mempunyai kemampuan mencegah erosi lereng dan sangat toleran terhadap berbagai macam kondisi tanah. Cara kerja akar ini seperti besi kolom yang masuk dan menembus lapisan tekstur tanah, dan pada saat yang sama. Tujuan penelitian yaitu mengetahui jarak penanaman rumput vetiver dan mengetahui Perbandingan nilai FK sebelum dan setelah menggunakan rumput vetiver. Data yang digunakan merupakan data sekunder berupa data fisik dan data properties tanah. Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan memodelkan lereng dalam bentuk dua dimensi menggunakan program *GeoStudio 2012* pada Fitur *Slope/W*. Nilai erodibilitas tanah sebesar 0.0133 maka tata letak penanaman rumput vetiver yaitu jarak antar setrip 80 - 160 cm dan jarak antar tunas dalam barisan yaitu 15 - 20 cm. Peningkatan nilai FK terbesar setelah ditanami rumput vetiver dengan panjang akar 3 m yaitu sebesar 1.198% pada ketinggian lereng maksimum 11.1 m dan juga diperoleh PK pada lereng yaitu sebesar 0.000% berdasarkan simulasi *Monte Carlo* sebanyak 2000 percobaan. Akar rumput perlu diteliti sendiri, mengingat berbagai pengaruh model struktur akar yang tidak sama dengan *soil nailing*.

Kata Kunci : *Closed Landfill*, Rumput Vetiver, *Geostudio Slope/W 2012*

ABSTRACT

SABDA SARI. *Study on the Use of Vetiver Grass as Slope Reinforcement of Garbage in Closed Landfills.* (supervised by Kartika Sari and M. Akbar Caronge)

The amount of waste that continues to increase and the land for dumping waste is inadequate, resulting in waste being hilly in the TPA, even resulting in excessive capacity which will lead to slope collapse. So, slope strengthening using bio-engineering method is needed. In this study, vetiver grass is used because it has the ability to prevent slope erosion and is very tolerant of various soil conditions. The way this root works is like a column iron that enters and penetrates the soil texture layer at the same time. The research objectives are to determine the distance to plant vetiver grass and determine the comparison of FK values before and after using vetiver grass. The data used are secondary data in the form of physical data and soil properties data. Slope stability analysis was carried out by modeling the slope in two dimensions using the GeoStudio 2012 program on the Slope /W feature. The soil erodibility value is 0.0133, so the layout of vetiver grass planting is the distance between strips of 80 - 160 cm and the distance between shoots in rows is 15 - 20 cm. The biggest increases in FK value after plating vetiver grass with a root length 3 m, namely the maximum slope height of 11.1 m and also the PK value of the slope was 0.000% based on 2000 monte carlo simulations. The roots of grass need to be researched on their own because the various effect of root structure models are not the same as those of soil nails.

Keywords : Closed Landfill, Vetiver Grass, Geostudio Slope/W 2012

DAFTAR ISI

	Halaman
SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	4
E. Batasan Masalah	5
F. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Struktur Penutup TPA	6
B. Kestabilan Lereng	10

1.	Analisis Stabilitas Lereng	12
a.	Kuat Geser Tanah	12
b.	Geometri Lereng	12
c.	Tekanan Air Pori atau Gaya Rembesan	12
d.	Kondisi Pembebanan dan Lingkungan	12
2.	Parameter Tanah / Batuan	13
a.	Kuat Geser	13
b.	Berat Isi	13
c.	Kohesi	13
d.	Tekanan <i>Conus</i> (qc)	13
e.	Sudut Geser Dalam	14
3.	Angka Keamanan (<i>Safety Factor</i>)	15
4.	Perkuatan Lereng	17
a.	Pengurangan Beban pada Kepala Lereng	17
b.	Pemberian <i>Counterweight</i>	17
c.	Pembuatan <i>Subdrain</i>	18
d.	Pemasangan <i>Retaining Wall/ DPT</i>	18
e.	Pemasangan Turap (Tanpa/Dengan Angker)	18
f.	Perkuatan <i>Geotextile</i>	19
g.	<i>Soil Nailing</i>	19
h.	Penerapan <i>Bio-Engineering</i>	19
C.	Rumput Vetiver	20
1.	Karakteristik Morfologis	21

2.	Karakteristik Fisiologis	22
3.	Karakteristik Ekologis	22
4.	Toleransi Rumput Vetiver Terhadap Cuaca Dingin	23
5.	Cara Kerja Rumput Vetiver	24
6.	Pembibitan Rumput Vetiver	25
a.	Kriteria Kebun Bibit	25
-	Jenis Tanah	25
-	Topografi	25
-	Peneduhan	25
-	<i>Lay Out</i> Penanaman	25
-	Cara Pemanenan	25
-	Pengairan	25
-	Pelatihan Staf	26
-	Penanam Mekanis	26
b.	Cara Pembiakan	26
c.	Menyiapkan Material Tanam	26
d.	Pembibitan Rumput Vetiver di Indonesia	27
7.	Penanaman Rumput Vetiver	28
8.	Erodibilitas Tanah (K)	30
a.	Tekstur	31
b.	Bahan Organik	32
c.	Struktur/Agregasi Tanah	32
D.	Perkuatan Lereng Menggunakan Rumput Vetiver	35

1.	Karakteristik Rumput Vetiver Sesuai Untuk Stabilisasi Lereng	35
2.	Kekuatan Tarik dan Geser dari Akar Rumput Vetiver	37
3.	Penerapan Rumput Vetiver dalam Mitigasi Bencana Alam dan Perlindungan Infrastruktur	38
E.	Penerapan Sistem Vetiver di Indonesia Sejak Tahun 2000	39
F.	Penelitian Terdahulu	40
BAB III METODE PENELITIAN		
A.	Diagram Alir Penelitian	45
B.	Jenis Penulisan	46
C.	Metode Pengumpulan Data	47
D.	Analisis Data	47
1.	Pengumpulan Data	47
a.	Data <i>Properties</i> Tanah	47
b.	Data Dimensi Lereng	48
c.	Data Fisik Tanah	48
-	Penilaian Ukuran Butir (M)	49
-	Persentase Bahan Organik (C)	50
-	Struktur Tanah	51
-	Permeabilitas Tanah	52
2.	Analisis Data	53
a.	Menghitung Nilai Erodibilitas Tanah	53
b.	Menganalisis Kestabilan Lereng Timbunan Sampah Pada <i>Closed Landfill</i> dengan Menggunakan Program <i>Geostudio Slope/W 2012</i>	53

c.	Menganalisis Perkuatan Lereng Timbunan Sampah Pada <i>Closed Landfill</i> dengan Program <i>Geostudio Slope/W 2012</i>	59
E.	Kesulitan Penulis	61
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
A.	Nilai Erodibilitas Tanah	62
B.	Nilai Faktor Keamanan Lereng Timbunan Sampah pada <i>Closed Landfill</i>	64
C.	Perkuatan Lereng pada <i>Closed Landfill</i> dengan Penanaman Rumput Vetiver	67
BAB V PENUTUP		
A.	Kesimpulan	73
B.	Saran	74
DAFTAR PUSTAKA		75
LAMPIRAN		77

DAFTAR TABEL

	Halaman
1. Klasifikasi Tanah dari Data Sondir	14
2. Hubungan antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah	14
3. Nama Rumput Vetiver di berbagai Daerah	20
4. Tata Letak Tanaman	28
5. Kelas Erodibilitas Tanah Menurut USDA	34
6. Parameter Lapisan <i>Waste</i> dan Tanah Dasar <i>Sanitary Landfill</i>	48
7. Parameter Lapisan Tanah Penutup Final	48
8. Data Dimensi Lereng	48
9. Standar Kualitas Kompos	49
10. Penilaian Ukuran Butir (M)	49
11. Nilai C dari Beberapa Jenis Pertanaman di Indonesia	51
12. Penilaian Kandungan Bahan Organik	51
13. Klasifikasi Tekstur Tanah	52
14. Penilaian Struktur Tanah	52
15. Penilaian Permeabilitas Tanah	52
16. Hasil Analisis Nilai Erodibilitas Tanah	62
17. Tata Letak Penanaman Rumput Vetiver dengan Kemiringn Lereng < 30°	62
18. Nilai FK masing-masing Ketinggian Lereng	65
19. Parameter yang digunakan	66
20. Hasil Analisis Probabilitas pada Lereng dengan ketinggian 31.1 m	66

21. Peningkatan Nilai Fk setelah ditanami Rumput Vetiver dengan panjang akar 3m pada berbagai variasi Ketinggian Lereng dan Variasi Jarak Penanam 69
22. Peningkatan nilai FK dengan variasi panjang akar rumput vetiver 71 pada lereng dengan ketinggian 31.1 m

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Kemiringan Lereng dan Rasio Vertikal ke Horizontal	7
2. Model Tanah Penutup Lapisan Akhir	9
3. Desain Model Tanah Penutup Lapisan Akhir	10
4. Kelongsoran Lereng	11
5. Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulomb	15
6. Pengurangan Beban pada Kepala Lereng	17
7. <i>Counterweight</i>	17
8. <i>Subdrain</i>	18
9. <i>Retaining Wall/DPT</i>	18
10. Turap	18
11. <i>Geotextile</i>	19
12. <i>Soil Nailing</i>	19
13. <i>Bio-Engineering</i>	19
14. Bentuk Fisik Rumput Vetiver	21
15. Cara Kerja Rumput Vetiver	24
16. Pembibitan Rumput Vetiver (2009 a.d 2010)	28
17. Diagram Alir Penelitian	46
18. Tampilan Awal Program <i>Geostudio 2012</i>	54
19. Tampilan Kotak Dialog <i>Analysis Setting</i>	54
20. Tampilan Kotak Dialog <i>Page</i>	55

21.	Tampilan Kotak Dialog <i>Units and Scale</i>	55
22.	Tampilan Kotak Dialog <i>Grid</i>	55
23.	Tampilan Geometri Lereng	56
24.	Tampilan Kotak Dialog <i>Key In Materials</i>	56
25.	Tampilan Geometri Lereng setelah di <i>Define</i>	57
26.	Tampilan Kotak Dialog <i>KeyIn Analysis</i>	57
27.	Tampilan untuk input parameter probabilistic	58
28.	Tampilan kotak Dialog <i>Draw Slip Surface Entry and Exit Range</i>	58
29.	Tampilan Kotak Dialog <i>Save</i>	59
30.	Tampilan lereng setelah di <i>Define</i>	59
31.	Tampilan Kotak Dialog <i>KeyIn Reinforcement Loads</i>	60
32.	Tampilan Lereng dengan Perkuatan <i>Soil Nailing</i>	60
33.	Tata Letak Penanaman Rumput Vetiver	63
34.	Desain Penanaman Rumput Vetiver	63
35.	Penanaman Rumput Vetiver	64
36.	Hasil Analisis Stabilitas Lereng dengan berbagai variasi tinggi lereng	65
37.	Pemodelan Penanaman Rumput Vetiver pada <i>Closed Landfill</i>	67
38.	Penahan Longsor oleh Rumput Vetiver	68
39.	Pemodelan <i>Soil Nailing</i> dengan Panjang Akar 3 m	69
40.	Grafik Peningkatan Nilai FK berdasarkan variasi tinggi lereng	70
41.	Penanaman Rumput Vetiver dengan panjang akar 9 m pada lereng dengan ketinggian 31.1 m	70
42.	Grafik Peningkatan FK berdasakan variasi panjang akar rumput vetiver pada lereng dengan ketinggian 31.1 m	71

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. Perhitungan nilai erodibilitas tanah (K)	77
2. Perhitungan Nilai rata-rata (Mean) dan Standar deviasi	80

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sebagian besar sistem pengelolaan sampah perkotaan masih mengandalkan adanya lahan urug. Keberadaan lahan urug (*landfill*) atau Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sampah pasti memiliki masa umur operasional yang ditinjau dari kapasitas lahan urug dan timbunan sampah yang masuk ke TPA. Namun, jumlah sampah yang terus meningkat dan lahan pembuangan sampah yang tidak memadai menyebabkan banyaknya TPA yang tidak beroperasi secara maksimal. Hal ini mengakibatkan sampah dibiarkan terus menggunung di TPA bahkan mengalami kelebihan kapasitas. Hal tersebut dapat menyebabkan ketidakstabilan pada lereng timbunan sampah di TPA serta mengandung risiko terjadinya keruntuhan lereng pada timbunan sampah di TPA.

Keruntuhan lereng timbunan sampah di TPA terjadi karena penambahan beban pada lereng melebihi kekuatan tanah, dengan kata lain kuat geser tanah tidak dapat menahan beban pada lereng tersebut. Faktor luar juga sering memicu terjadinya keruntuhan lereng timbunan sampah di TPA seperti angin atau air mengikis partikel tanah dan seringkali dipicu oleh hujan yang mengikis lapisan permukaan tanah penutup timbunan sampah di TPA yang menyebabkan lereng timbunan sampah di TPA makin curam yang memicu ketidakstabilan pada lereng. Kasus keruntuhan lereng timbunan sampah di TPA justru menjadi masalah yang sering terjadi pada lereng timbunan sampah di TPA karena keruntuhan lereng timbunan sampah di TPA tetap dapat terjadi walaupun analisis lereng telah menunjukkan lereng mempunyai faktor keamanan yang aman.

Kerugian akibat keruntuhan lereng timbunan sampah di TPA menyebabkan aktifitas di dekat lokasi menjadi terganggu dan kerugian terbesar yaitu memakan korban. Sudah banyak kasus keruntuhan lereng timbunan sampah di TPA yang terjadi di Indonesia salah satunya yaitu tragedi runtuhnya gunung sampah di

TPA sampah Leuwigajah, Kabupaten Bandung, Jawa Barat pada 21 Februari 2005. Dimana pada peristiwa tersebut terjadi akibat curah hujan yang tinggi dan ledakan gas metana pada tumpukan sampah yang mengakibatkan 157 jiwa melayang dan dua kampung (Cilimus dan pojok) hilang dari peta karena tergulung longsor sampah. Peristiwa ini juga menjadi alasan Kementerian Negara Lingkungan Hidup mencanangkan 21 Februari 2006 sebagai Hari Peduli Sampah Nasional untuk mengenang peristiwa di TPA sampah Leuwigajah (m.trubus.id, 2019). Untuk mencegah terjadinya keruntuhan lereng timbunan sampah di TPA maka perlunya dilakukan perkuatan lereng pada timbunan sampah di TPA khususnya pada *Closed Landfill*.

Perkuatan lereng dengan metode *bio-engineering/vegetatif* merupakan salah satu upaya penanganan longsor pada lereng dengan memanfaatkan tanaman, salah satunya menggunakan akar tanaman . Rumput vetiver merupakan salah satu jenis tumbuhan yang mempunyai kemampuan mencegah erosi lereng, stabilitas tebing, penahan abrasi pantai, dan rehabilitasi lahan bekas pertambangan. Rumput vetiver menahan laju air *run off* dan material erosi dengan tubuhnya. Daun dan batang rumput vetiver memperlambat aliran endapan yang terbawa *run off* dan air mengalir turun ke lereng yang lebih rendah. Cara kerja akar ini seperti besi kolom yang masuk dan menembus lapisan tekstur tanah, dan pada saat yang sama menahan partikel-partikel tanah dengan akar serabutnya (Wijayakusuma, 2007 dalam Badriyah, 2019).

Rumput vetiver mempunyai karakteristik yang berbeda-beda untuk berbagai aplikasi, akar yang dalam/panjang untuk stabilisasi tanah, susunan yang tebal dan rapat untuk menyebarkan air dan menahan sedimen dan sangat tahan terhadap bermacam-macam bahan kimiawi untuk rehabilitasi lahan. Akar vetiver ini memperkuat tanah dengan menyalurkan kuat geser (*shear stress*). Pada saat jaringan akar yang masif dan padat terbentuk utuh, akan bekerja sebagai paku tanah (*soil nails*) seperti yang diharapkan dalam pekerjaan rekayasa sipil. Dengan kemampuan menembus lapisan keras atau tanah bebatuan (*rock*), akar vetiver bekerja analogis sebagai paku tanah yang hidup (*living soil nails*) (Agustin J, 2009 dalam Noor dkk, 2011).

Dr. Paul Truong yang merupakan Direktur dari *The Vetiver Network International*, bertanggungjawab untuk wilayah Asia dan Pasifik, dan Direktur dari *Veticon Consulting* selama 18 tahun terakhir beliau telah melakukan banyak penelitian dan pengembangan serta penerapan Sistem Vetiver untuk perlindungan lingkungan. Penelitian beliau, sebagai pelopor tentang toleransi rumput vetiver terhadap lingkungan yang beragam, toleransi terhadap logam berat dan kendali polusi menjadi tonggak penerapan aplikasi VS untuk sampah beracun, rehabilitasi tambang dan limbah cair. David Booth MBE yang juga merupakan Koordinator Indonesia Vetiver Network (IDVN) serta Pendiri dan CEO dari Yayasan Ekoturin East Bali Poverty Project (EBPP). Pada tahun 1998, setelah mendirikan EBPP sebagai kemitraan dengan desa pegunungan yang paling miskin di Bali, ia mengidentifikasi rumput vetiver sebagai satu-satunya solusi permanen untuk menstabilkan jalan tanah dan lereng gunung berjenis abu vulkanik untuk memulai pembangunan sosial dan ekonomi yang berkelanjutan bagi 19 desa adat yang tersebar di 7.200 ha lahan kering, dengan tidak ada sungai atau aliran irigasi. Sistem Vetiver segera diterapkan untuk melindungi rumah-rumah di lereng bukit, gedung sekolah baru, mata air pegunungan yang terpencil dan menjadi unsur integral dari pendidikan di sekolah dan masyarakat.

Penelitian mengenai efektivitas akar vetiver terhadap peningkatan kohesi tanah lereng sebagai tinjauan untuk perkuatan lereng telah dilakukan oleh Nurul Badriyah dan Sri Wulandari (2019), yang menjelaskan bahwa penanaman 9 tunas rumput vetiver pada lereng dengan kemiringan 70° meningkatkan kohesi tanah sebesar 358.037% di kedalaman 0 - 30 cm dan 218.182% di kedalaman 30 - 60 cm. Data – data ini mendukung bahwa rumput vetiver dapat dijadikan sebagai alternatif untuk perkuatan lereng pada timbunan sampah pada *Closed Landfill*.

Pada penelitian ini akan membahas studi penggunaan rumput vetiver sebagai perkuatan lereng timbunan sampah pada *Closed Landfill* dan diharapkan menjadi salah satu alternatif dalam pencegahan terjadinya keruntuhan lereng pada timbunan sampah di TPA .

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah yang menjadi kajian dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana menentukan jarak penanaman rumput vetiver pada lereng timbunan sampah pada *Closed Landfill*?
2. Bagaimana perbandingan nilai faktor keamanan lereng timbunan sampah pada *Closed Landfill* tanpa menggunakan rumput vetiver dan menggunakan rumput vetiver ?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui jarak penanaman rumput vetiver pada lereng timbunan sampah pada *Closed Landfill*.
2. Mengetahui perbandingan nilai faktor keamanan lereng timbunan sampah pada *Closed Landfill* tanpa menggunakan rumput vetiver dan menggunakan rumput vetiver.

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Menjadi referensi kedepan untuk penggunaan rumput vetiver sebagai alat stabilisasi lereng yang sederhana, berbiaya murah, mudah dipelihara, dan sangat efektif dalam mengontrol erosi, konservasi air, dan rehabilitasi lahan.
2. Memberikan informasi terkait metode penanaman rumput vetiver pada lereng timbunan sampah pada *Closed Landfill* .

E. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini yaitu

1. Spesifikasi Lapisan penutup pada *Closed Landfill* merujuk pada PU RI NO 03/PRT/M/2013.
2. Penelitian tidak merujuk pada suatu lokasi tertentu.
3. Data material penutup lapisan diambil dari penelitian sebelumnya .
4. Analisa menggunakan *Software* yaitu *Geostudio Slope/w 2012* .

F. Sistematika Penulisan

Secara umum tulisan ini terbagi dalam lima bab, yaitu: Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metodologi Penelitian, Hasil Pengujian dan Pembahasan, serta diakhiri oleh Kesimpulan dan Saran.

Berikut ini merupakan rincian secara umum mengenai kandungan dari kelima bab tersebut di atas:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menyajikan hal - hal mengenai latar belakang masalah, tujuan penulisan, rumusan masalah, batasan masalah, dan sistematika penulisan yang berisi tentang penggambaran secara garis besar mengenai hal - hal yang dibahas dalam bab - bab berikutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori yang menjadi acuan dan landasan pada penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini memuat bagan alur penelitian dan tahap - tahap yang dilakukan selama penelitian . Jenis penelitian yang digunakan adalah studi literatur dengan mencari referensi teori dan jurnal yang berhubungan dengan tema besar yang penulis angkat dan juga dikombinasikan dengan simulasi kestabilan lereng dengan menggunakan *software Geostudio Slope/W 2012*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini merupakan penjabaran dari hasil - hasil penelitian mengenai “ **Studi Penggunaan Rumput Vetiver sebagai Perkuatan Lereng Timbunan Sampah pada *Closed Landfill***”.

BAB V PENUTUP

Bab ini memuat kesimpulan singkat mengenai analisa hasil yang diperoleh saat penelitian dan disertai dengan saran - saran yang diusulkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

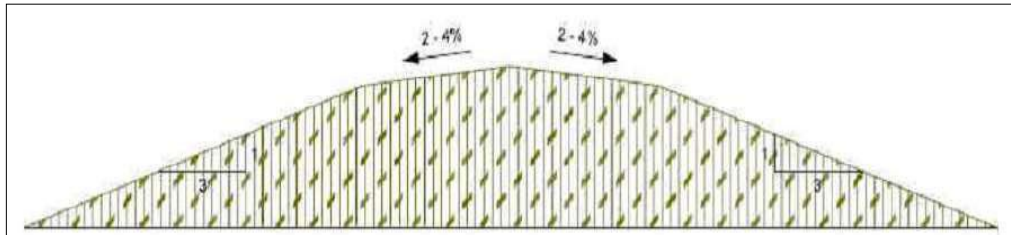
A. Struktur Penutup TPA

Tanah penutup dibutuhkan untuk mencegah sampah berserakan, bahaya kebakaran, timbulnya bau, berkembang biaknya lalat atau binatang pengerat dan mengurangi timbulan lindi.

1. Jenis tanah penutup adalah tanah yang tidak kedap
2. Periode penutupan tanah harus disesuaikan dengan metode pembuangannya, untuk lahan urug saniter penutupan tanah dilakukan setiap hari, sedangkan untuk lahan urug terkendali penutupan tanah dilakukan secara berkala.
3. Tahapan penutupan tanah untuk lahan urug saniter terdiri dari penutupan tanah harian (setebal 10 – 15 cm), penutupan antara (setebal 30 – 40 cm) dan penutupan tanah akhir (setebal 50 – 100 cm, tergantung rencana peruntukan bekas TPA nantinya).
4. Kemiringan tanah penutup harian harus cukup untuk dapat mengalirkan air hujan keluar dari atas lapisan penutup tersebut.
5. Kemiringan tanah penutup akhir hendaknya mempunyai *grading* dengan kemiringan tidak lebih dari 30 derajat (perbandingan 1 : 3) untuk menghindari terjadinya erosi (Permen PU RI NO 03/PRT/M/2013).

Stabilitas tumpukan sampah juga merupakan salah satu faktor yang harus diperhatikan pada saat perencanaan penutupan TPA.

1. Tidak adanya prosedur operasional yang tepat di TPA, sering mengakibatkan tumpukan sampah yang tinggi dapat membahayakan. Sehingga diperlukan mengurangi ketinggian tumpukan sampah dalam rangka mengurangi bahaya ketidakstabilan *slope* / lereng. Sampai dengan tumpukan akhir, kemiringan lereng sekitar 2 – 4 % agar tidak terjadi genangan (*ponding*) dan air dapat mengalir dengan baik, dengan rasio vertikal ke horisontal kurang dari 1 : 3 bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kemiringan Lereng dan Rasio Vertikal ke Horizontal

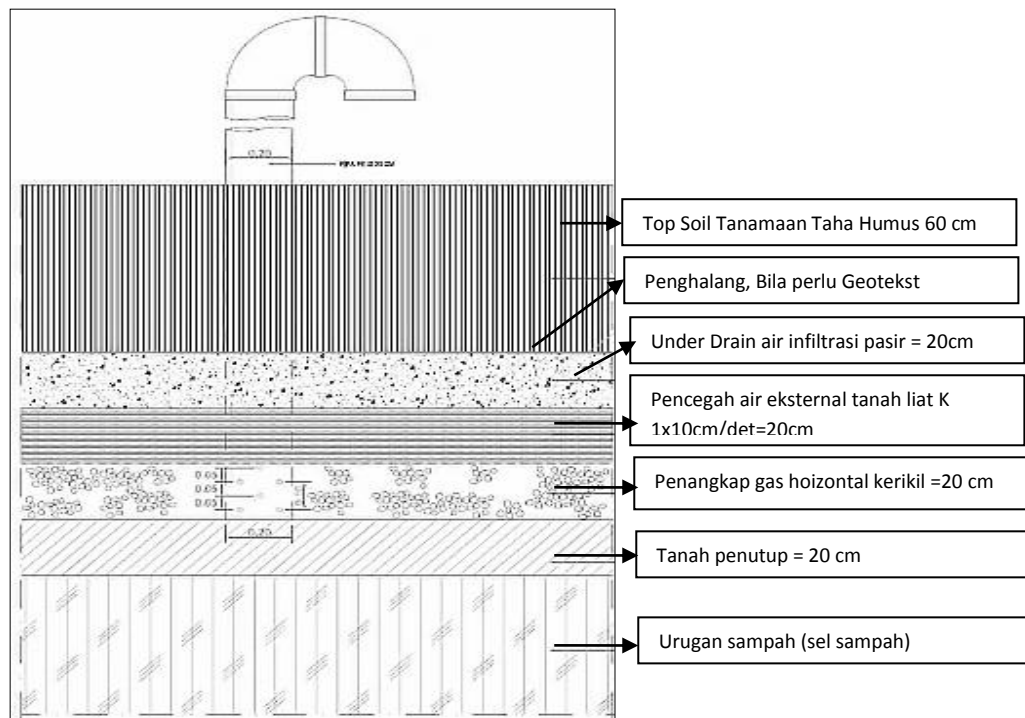
Sumber : Peraturan Menteri PU RI NO 03/PRT/M/2013

2. Batasan nilai yang biasa digunakan agar material dalam timbunan tidak runtuh dikenal dengan sebagai faktor keamanan (*safety factor* atau *Sf*). Syarat kriteria nilai *Sf* minimum 1,3 untuk kemiringan timbunan sementara dan 1,5 untuk kemiringan yang permanen.
3. Pada timbunan di lahan urug kestabilan akan ditentukan antara lain oleh:
 - a. Karakteristik dan kestabilan tanah dasar.
 - b. Karakteristik dan berat sampah, semakin banyak plastik di dalam timbunan sampah, maka akan cenderung semakin tidak stabil, semakin tinggi timbunan cenderung akan tambah berat, dan akan semakin tidak stabil. Sifat ini terkait erat dengan kuat geser sampah dalam timbunan, yang akan tergantung pada sudut geser (Φ) dan daya lekat antar partikel (nilai kohesi *c*).
 - c. Kandungan air dalam sampah dan dalam timbunan, semakin lembab sampah akan semakin tidak stabil, semakin banyak air di dasar timbunan, akan semakin tidak stabil timbunan tersebut.
 - d. Kemiringan lereng : semakin kecil sudut kemiringan akan semakin stabil. Kemiringan yang baik bagi timbunan sampah adalah antara $20^{\circ} - 30^{\circ}$.
 - e. Penggunaan terasering pada ketinggian tertentu. Sebaiknya digunakan terasering selebar minimum 5 m untuk setiap ketinggian 5 m.
 - f. Kepadatan sampah : semakin padat sampah, maka akan semakin mampu mendukung timbunan sampah di atasnya. Kepadatan yang baik dengan penggunaan alat berat dozer akan dicapai bila dilakukan secara lapis per lapis.

4. Tumpukan sampah jika ketinggiannya lebih dari 5 m harus dilakukan *rekonturing*, agar kestabilan tanah terjaga.
5. Lereng yang tidak berkontur dipotong dan dibentuk agar berkontur. Dari bagian bawah sampah dipotong untuk dibuat terasering selebar 5 m, dan lereng dibentuk dengan kemiringan $20^{\circ} - 30^{\circ}$. Demikian dilanjutkan hingga sampai pada bagian atas tumpukan sampah.
6. Setelah dibentuk kontur, sampah diberi lapisan tanah penutup. Ditambahkan lapisan tanah penutup sementara jika akan dilakukan rehabilitasi TPA dan atau ditambahkan lapisan tanah penutup akhir (*capping*) jika ditutup permanen.
7. Dibuat tanggul pengaman untuk mencegah kelongsoran sampah. Tanggul dibuat di sisi-sisi sel sampah. Tanggul dibuat dari timbunan tanah yang dipadatkan. (Permen PU RI NO 03/PRT/M/2013).

Sistem penutup akhir mengacu pada standar penutup final pada lahan urug saniter, yaitu berturut-turut dari bawah ke atas yaitu:

1. Di atas timbunan sampah lama diurug lapisan tanah penutup setebal 30 cm dengan pemadatan.
2. Lapisan karpet kerikil berdiameter 30 – 50 mm sebagai penangkap gas horizontal setebal 20 cm, yang berhubungan dengan perpipaan penangkap gas vertikal.
3. Lapisan tanah liat setebal 20 cm dengan permeabilitas maksimum sebesar 1×10^{-7} cm/det.
4. Lapisan karet kerikil *under-drain* penangkap air infiltrasi terdiri dari media kerikil berdiameter 30 – 50 mm setebal 20 cm, menuju sistem drainase.
5. Lapisan tanah humus setebal minimum 60 cm.



Gambar 2. Model Tanah Penutup Lapisan Akhir

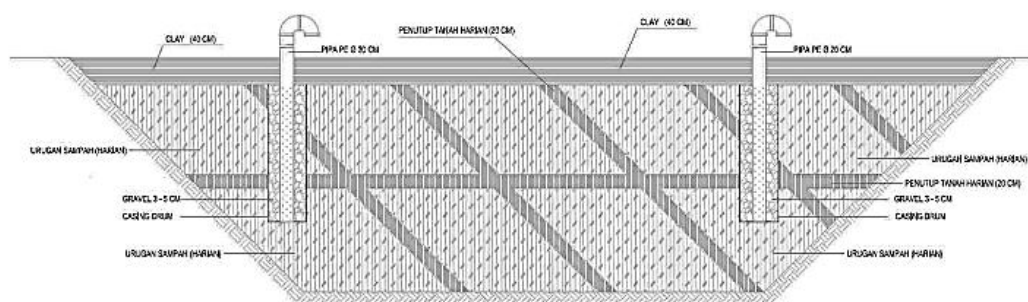
Sumber: Permen PU RI NO 03/PRT/M/2013

Tanah penutup akhir hendaknya mempunyai grading dengan kemiringan maksimum 1 : 3 untuk menghindari terjadinya erosi. Kemiringan dan kondisi tanah penutup harus dikontrol setiap hari untuk menjamin peran dan fungsinya, bilamana perlu dilakukan penambahan dan perbaikan pada lapisan ini. Melakukan pemeliharaan secara rutin terhadap tanah penutup, terutama dengan terbentuknya genangan (*ponding*) agar fungsi tanah penutup tetap seperti yang diharapkan. Perubahan temperatur dan kelembaban udara dapat menyebabkan timbulnya retakan permukaan tanah yang memungkinkan terjadinya aliran gas keluar dari TPA lama ataupun mempercepat rembesan air pada saat hari hujan. Retakan yang terjadi perlu segera ditutup dengan tanah sejenis.

Apabila pada lokasi TPA sulit didapatkan tanah liat dengan permeabilitas minimum 1×10^{-7} cm/det dan tanah asli dan pemerintah kota/kabupaten mempunyai dana yang cukup untuk membeli lapisan *geotextile nonwoven*, maka tanah liat dapat diganti dengan lapisan *geotextile nonwoven* dengan ketebalan 1.5 mm dan lapisan top soil hanya 40 cm saja. Lapisan *capping* secara tipikal dilakukan berturut-turut dari bawah ke atas:

1. *Geotextile nonwoven* 300 gram/m² setebal 1.5 mm.
2. *Gravel* dengan diameter 30 - 50 mm dengan ketebalan 40 cm. Lapisan ini berfungsi sebagai *gas collection*.
3. *Geotextile nonwoven* 600 gram/m² setebal 1.5 mm.
4. HDPE geomembran setebal 0.6 cm.
5. *Geotextile nonwoven* 600 gram/m² setebal 1.5 mm.
6. *Gravel* dengan diameter 30 - 50 mm dengan ketebalan 30 cm. Lapisan berfungsi sebagai *drainage layer*.
7. *Geotextile nonwoven* 300 gram/m² setebal 1.5 mm.
8. Tanah humus 40 cm. Lapisan ini berfungsi sebagai *top soil* tanaman.

Apabila pemerintah kota/kabupaten tidak memiliki dana yang cukup untuk melakukan *capping*, maka minimal tanah penutup lapisan akhir dengan tanah liat dengan permeabilitas 1×10^{-7} cm/detik setebal 40 cm. Gambar 3 menunjukkan model tanah lapisan penutup lapisan akhir tersebut.



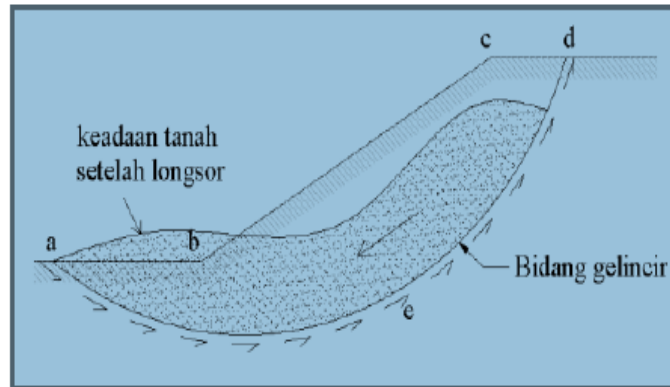
Gambar 3. Desain Model Tanah Penutup Lapisan Akhir

Sumber: Permen PU RI NO 03/PRT/M/2013).

B. Kestabilan Lereng

Suatu permukaan tanah yang miring yang membentuk sudut tertentu terhadap bidang horisontal disebut sebagai lereng (*slope*). Lereng dapat terjadi secara alamiah atau dibentuk oleh manusia dengan tujuan tertentu. Jika permukaan membentuk suatu kemiringan maka komponen massa tanah di atas bidang gelincir cenderung akan bergerak ke arah bawah akibat gravitasi. Jika komponen gaya berat yang terjadi cukup besar, dapat mengakibatkan longsor pada lereng tersebut.

Kondisi ini dapat dicegah jika gaya dorong (*driving force*) tidak melampaui gaya perlawanan yang berasal dari kekuatan geser tanah sepanjang bidang longsor seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kelongsoran Lereng

Sumber : Subri,2013

Ada beberapa hal yang dapat menyebabkan terjadinya kelongsoran lereng yaitu sebagai berikut:

- a. Penambahan beban pada lereng. Tambahan beban lereng dapat berupa bangunan baru, tambahan beban oleh air yang masuk ke pori-pori tanah maupun yang mengendap di permukaan tanah dan beban dinamis oleh tumbuh - tumbuhan yang tertiuip angin dan lain-lain.
- b. Penggalian atau pemotongan tanah pada kaki lereng.
- c. Penggalian tanah yang mempertajam kemiringan lereng.
- d. Perubahan posisi muka air yang secara cepat (*rapid draw down*) pada bendungan, sungai dan lain-lain.
- e. Kenaikan tanah lateral oleh air (air yang mengisi retakan akan mendorong tanah kearah lateral).
- f. Gempa bumi
- g. Penurunan tahanan geser tanah pembentuk lereng akibat kenaikan kadar air, kenaikan tekanan air pori, tekanan rembesan oleh genangan air dalam tanah, tanah pada lereng mengandung lempung, dan mudah kembang susut dan lain-lain.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa adanya pembebanan, perubahan fisik, pengaruh air dan gempa dapat menimbulkan kelongsoran pada lereng. (Subri S, 2013).

1. Analisis Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring ini dinamakan analisis stabilitas lereng. Analisis stabilitas pada umumnya untuk memeriksa keamanan dari lereng, baik lereng alam, lereng galian, maupun lereng urugan tanah. Hal-hal yang paling berpengaruh dalam kestabilan lereng adalah:

- a. **Kuat Geser Tanah.** Kuat geser tanah tergantung pada gaya perlawanan atau gerakan relatif yang dapat dikeluarkan oleh butiran tanah terhadap dorongan atau tarikan. Das 2008 dalam Badriyah 2019 menyatakan bahwa tanah yang padat dengan *interlocking* dan kontak antar butiran yang tinggi, lebih besar kekuatan gesernya dari tanah lepas.
- b. **Geometri Lereng.** Pengaruh gravitasi mengakibatkan permukaan tanah yang tidak horizontal atau kemiringan lereng berpotensi mengalami pergerakan. Semakin besar gaya dorong yang disebabkan meningkatnya gaya geser. Hal ini berbanding terbalik dengan tegangan normal yang berperan sebagai gaya penahan.
- c. **Tekanan Air Pori atau Gaya Rembesan.** Kenaikan tekanan air pori disekitar bidang longsor dapat mereduksi tegangan efektif, sehingga mengurangi kuat geser tanah. Kuat geser tanah dilapangan bergantung pada kadar airnya. Oleh karena itu, jika kadar air (atau tekanan air pori) bertambah, maka kuat geser turun. Kenaikan muka air tanah juga berpengaruh pada kecepatan gerak massa tanah. Hal ini sebanding dengan meningkatnya kadar air sehingga tanah menjadi jenuh, sehingga menyebabkan berkurangnya kuat geser rata-rata.
- d. **Kondisi Pembebanan dan Lingkungan.** Beban yang berpengaruh pada lereng terdiri dari beban internal yang berasal dari volume serta

berat jenis tanah dan batuan itu sendiri, sedangkan beban eksternal terdiri dari beban statik dan dinamis menjadi tambahan beban yang dapat menambah potensi gerakan tanah. (Badriyah, 2019).

2. Parameter Tanah/Batuan

Untuk analisis stabilitas lereng diperlukan parameter tanah/batuan :

- a. **Kuat Geser.** Kuat geser terdiri dari kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Untuk analisis stabilitas lereng untuk jangka panjang digunakan harga kuat geser efektif maksimum (c' , ϕ'). Untuk lereng yang sudah mengalami gerakan atau material pembentuk lereng yang mempunyai diskontinuitas tinggi digunakan harga kuat geser sisa ($c_r = 0$; ϕ_r).
- b. **Berat Isi.** Berat isi diperlukan untuk perhitungan beban guna analisis stabilitas lereng. Berat isi dibedakan menjadi berat isi asli, berat isi jenuh, dan berat isi terendam air yang penggunaannya tergantung kondisi lapangan. Salah satu penerapan pengetahuan mengenai kekuatan geser tanah/batuan adalah untuk analisis stabilitas lereng. Keruntuhan geser pada tanah atau batuan terjadi akibat gerak relatif antar butirnya. Oleh sebab itu kekuatannya tergantung pada gaya yang bekerja antar butirnya.
- c. **Kohesi.** Kohesi merupakan gaya tarik menarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah. Deformasi ini terjadi akibat kombinasi keadaan kritis pada tegangan normal dan tegangan geser yang tidak sesuai dengan faktor aman dari yang direncanakan. Nilai ini didapat dari pengujian *Direct Shear Test*. Nilai kohesi secara empiris dapat ditentukan dari data sondir (q_c) yaitu sebagai berikut:

$$\text{Kohesi } (c) = q_c/20 \quad (1)$$

- d. **Tekanan *Conus* (q_c).** Data tekanan *conus* (q_c) dan hambatan pelekat (f_s) yang didapatkan dari hasil pengujian sondir dapat digunakan

untuk menentukan jenis tanah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 dibawah.

Tabel 1. Klasifikasi Tanah dari Data Sondir

Hasil Sondir		Klasifikasi
q_c	F_s	
6,0	0,15 - 0,40	Humus, lempung sangat lunak
6,0 - 10,0	0,20	Pasir kelanauan lepas, pasir sangat lepas
	0,20 - 0,60	Lempung lembek, lempung kelanauan lembek
10,0 - 30,0	0,10	Kerikil lepas
	0,10 - 0,40	Pasir lepas
	0,40 - 0,80	Lempung atau lempung kelanauan
	0,80 - 2,00	Lempung agak kenyal
30 - 60	1,50	Pasir kelanauan, pasir agak padat
	1,0 - 3,0	Lempung atau lempung kelanauan kenyal
60 - 150	1,0	Kerikil kepasiran lepas
	1,0 - 3,0	Pasir padat, pasir kelanauan atau lempung padat dan lempung kelanauan
	3,0	Lempung kekerikilan kenyal
150 - 300	1,0 - 2,0	Pasir padat, pasir kekerikilan, pasir kasar pasir, pasir kelanauan sangat padat

Sumber : Braja M. Das, 1995 dalam Fahlevi F, 2019

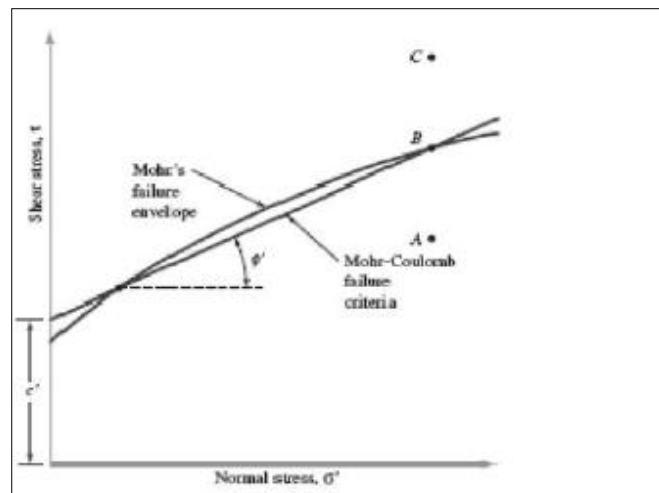
- e. **Sudut Geser Dalam.** Kekuatan geser dalam mempunyai variabel kohesi dan sudut geser dalam. Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai ini juga didapatkan dari pengukuran engineering properties tanah dengan *Direct Shear Test*. Hubungan antara sudut geser dalam dan jenis tanah ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hubungan antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam
Kerikil Kepasiran	35 – 40
Kerikil Kerakal	35-40
Pasir Padat	35- 40
Pasir Lepas	30
Lempung Kelanauan	25-30
Lempung	20-25

Sumber : Fahlevi F, 2019

Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb, dimana garis selubung kegagalan dari persamaan tersebut dilukiskan dalam bentuk garis lurus pada Gambar 5. Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb digambarkan dalam bentuk garis lurus. Jika kedudukan tegangan baru mencapai titik A, keruntuhan tidak akan terjadi. Pada titik B terjadi keruntuhan karena titik tersebut terletak tepat pada garis kegagalan. Titik C tidak akan pernah dicapai, karena sebelum mencapai titik C sudah terjadi keruntuhan.



Gambar 5. Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulomb

Sumber : Subri, 2013

3. Angka Keamanan (*Safety Factor*)

Mengingat lereng terbentuk oleh banyaknya variabel dan banyaknya faktor ketidakpastian antara lain parameter - parameter tanah seperti kuat geser tanah, kondisi tekanan air pori maka dalam menganalisis selalu dilakukan penyederhanaan dengan berbagai asumsi. Secara teoritis massa yang bergerak dapat dihentikan dengan meningkatkan kekuatan gesernya. Hal yang perlu dipertimbangkan dalam penentuan kriteria faktor keamanan adalah resiko yang dihadapi, kondisi beban dan parameter yang digunakan dalam melakukan analisis stabilitas lereng. Resiko yang dihadapi dibagi menjadi tiga yaitu : tinggi, menengah dan rendah. Tugas seorang *engineer* meneliti stabilitas lereng untuk menentukan faktor keamanannya. Secara umum, faktor keamanan dapat dijelaskan sebagai berikut :

$$FK = \frac{\tau f}{\tau d} \quad (2)$$

dimana,

FK = Angka keamanan terhadap kekuatan tanah.

τf = kekuatan geser rata-rata dari tanah.

τd = Tegangan geser rata-rata yang bekerja sepanjang bidang longsor.

Kekuatan geser suatu lahan terdiri dari dua komponen, friksi dan kohesi, dan dapat ditulis,

$$\tau f = c + \sigma \tan \varphi \quad (3)$$

dimana,

c = Kohesi tanah penahan

φ = Sudut geser penahan

σ = Tegangan normal rata-rata pada permukaan bidang longsor.

Atau dapat ditulis,

$$\tau d = Cd + \sigma \tan \varphi d \quad (4)$$

Dimana adalah kohesi dan sudut geser yang bekerja sepanjang bidang longsor. Dengan mensubstitusi persamaan diatas maka kita mendapat persamaan yang baru,

$$FK = \frac{c + \sigma \tan \varphi}{Cd + \sigma \tan \varphi d} \quad (5)$$

Daerah rawan longsor bisa terjadi karena kemiringan lereng yang besar, lereng gundul, laju erosi besar atau infiltrasi besar. Daerah rawan longsor dapat dicegah melalui rekayasa lereng stabil. Rekayasa lereng stabil dapat melalui berbagai cara yang terpadu dengan prosedur dimulai dari:

- a. Pemetaan wilayah rawan longsor.
- b. Analisis kestabilan lereng melalui kajian faktor keamanan lereng.
- c. Stabilisasi dan rancang bangun lereng terpadu melalui simulasi lereng stabil, desain lereng dan rekayasa lainnya.
- d. Pengelolaan lingkungan dan monitoring lingkungan.
- e. *Bio-engineering* dengan memanfaatkan tanaman sebagai bagian dari sistem rekayasa lereng stabil, yaitu sebagai agen pencegahan erosi,

pengurangan infiltrasi dan alir limpasan, pencegah longsor sekaligus sebagai perkuatan lereng.

4. Perkuatan Lereng

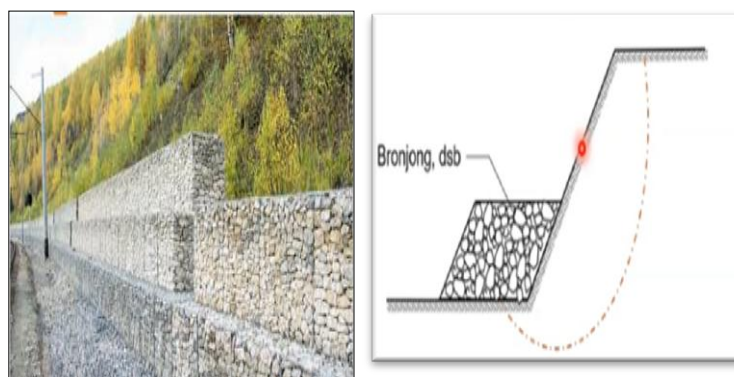
Prinsip peningkatan faktor keamanan lereng yang harus dilakukan yaitu mengurangi beban kerja bidang longsor dan meningkatkan kuat geser tanah. Beberapa usaha peningkatan faktor keamanan lereng yaitu sebagai berikut :

a. Pengurangan Beban pada Kepala Lereng



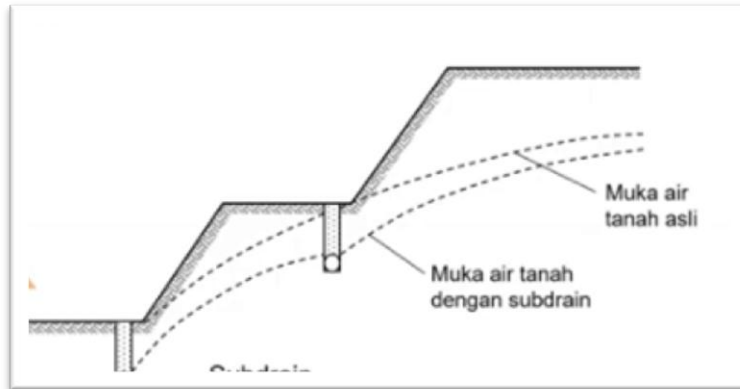
Gambar 6. Pengurangan Beban pada Kepala Lereng
Sumber:edwardpgultom.blogspot.com

b. Pemberian *Counterweight*. Dengan pemberian *Counterweight* maka momen lawan akan bertambah besar dibanding momen penggerak namun metode ini hanya dapat dilakukan pada kelongsoran rotasi.



Gambar 7. *Counterweight*
Sumber : Jubi.co.id

- c. **Pembuatan *Subdrain*.** Dengan membuat selokan teratur (*Subdrain*) pada lereng, maka muka air turun sehingga tegangan pori berkurang dan kekuatan geser menjadi naik.



Gambar 8. *Subdrain*

Sumber :fr.scrib.com

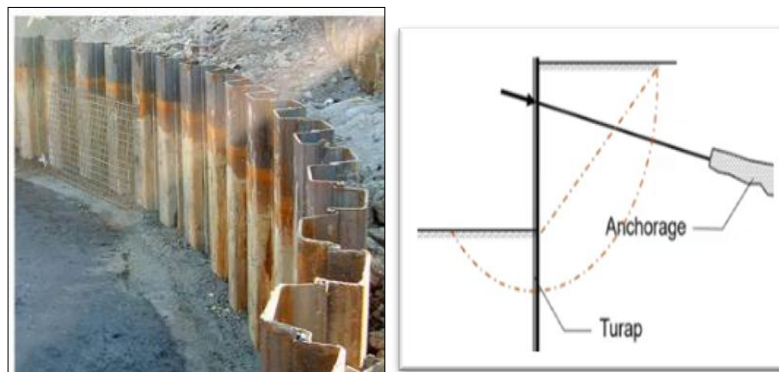
- d. **Pemasangan *Retaining Wall/ DPT***



Gambar 9. *Retaining Wall/DPT*

Sumber: b-foam.com

- e. **Pemasangan Turap (Tanpa/Dengan Angker)**



Gambar 10. Turap

Sumber: tribunnews.com

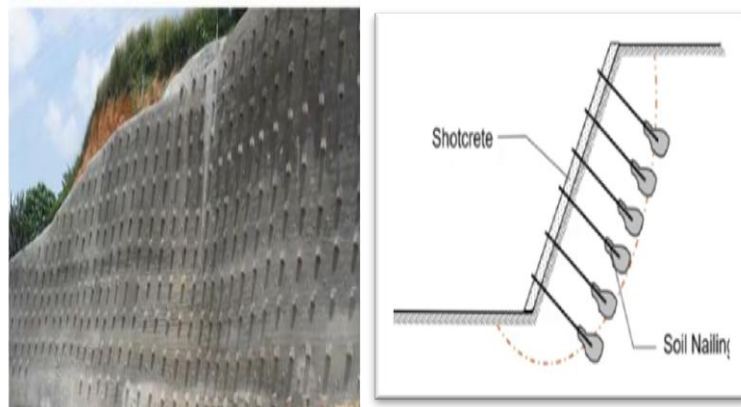
- f. **Perkuatan *Geotextile*.** *Geotextile* merupakan bahan lolos air dari anyaman (*woven*) atau bukan anyaman (*non-woven*) dari benang - benang atau serat - serat sintetik yang mempunyai kuat tarik tinggi.



Gambar 11. *Geotextile*

Sumber : archiexpo.com

- g. ***Soil Nailing***



Gambar 12. *Soil Nailing*

Sumber:designingbuildings.co.uk

- h. **Penerapan *Bio-Engineering***



Gambar 13. *Bio-Engineering*

Sumber : docplayer.info

C. Rumput Vetiver

Dalam klasifikasi tanaman, rumput vetiver dikelompokkan kedalam Famili (suku) *Gramineae (Poaceae)* dan sub famili yaitu *Panicoideae (Andropogonidae)*. Famili Gramineae merupakan keluarga rumput-rumputan. Nama latin rumput vetiver yaitu *Vetiveria zizanioides STAPF* atau disebut juga *Andropogon zizanioides URBAN* atau *A. Muicatus RETZ* atau *Asquarrosus LINN.* (sunandar, 2011).

Jenis rumput ini di Indonesia dikenal dengan nama akar wangi, namun demikian di beberapa kawasan Nusantara dikenal dengan nama yang berbeda seperti pada Tabel 3 berikut

Tabel 3. Nama Rumput Vetiver di berbagai Daerah

Gayo	:	Useur	Timor	:	Akar Banda
Sunda	:	Janur, Narawastu, Usar	Jawa	:	Larasetu, Larawastu, Rarawestu
Madura	:	Karabistu	Bali	:	Anggarawastu, Padang Babad
Gorontalo	:	Tahele	Makasar	:	Narawastu, Sare Ambong
Manado	:	Akar Baubau	Bugis	:	Narawasatu, Sere Bandong
Ternate	:	Gara Ma Kusu Batawi	Tidore	:	Bara Ma Kusu Batai
Halmahere Utara	:	Ruju-ruju	Halmahera Selatan	:	Babuwa Mendi (Weda)

Sumber K. Heyne 1987 dalam sunandar 2011

Sistem Vetiver (VS), yang berdasarkan penerapan rumput Vetiver (*Vetiveria zizanioides L Nash*), sekarang diklasifikasikan kembali sebagai *Chrysopogon zizanioides L Roberty*), pertama kali dikembangkan oleh Bank Dunia untuk konservasi tanah dan air di India pada pertengahan tahun 1980. Meskipun penerapannya masih memegang peranan penting dalam pengaturan tanah pertanian, penelitian dan pengembangan (R&D) yang dilaksanakan 20 tahun terakhir jelas-jelas menunjukkan, karena adanya ciri-ciri yang mengagumkan dari rumput Vetiver, VS sekarang digunakan sebagai teknik bioteknologi untuk stabilisasi lereng curam, pembuangan limbah cair, fitoremediasi dari tanah dan air yang terkontaminasi, dan tujuan perlindungan lingkungan yang lain. (Truong P,dkk.2011). Bentuk fisik rumput vetiver dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Bentuk Fisik Rumput Vetiver

Sumber: Susilawati, 2016

1. Karakteristik Morfologis

Morfologi tumbuhan adalah ilmu yang mengkaji berbagai organ tumbuhan baik bagian-bagian bentuk maupun fungsinya (akar, daun, batang, bunga, biji, buah dan sebagainya).

- a. Rumput vetiver tidak memiliki geragih ataupun rimpang. Akarnya yang terstruktur baik dan masif dapat tumbuh dengan sangat cepat. Panjangnya dapat mencapai 3 – 4 m di tahun pertama. Akar yang dalam ini membuat vetiver sangat bagus ketika musim kering dan sulit untuk terseret arus yang kuat.
- b. Batangnya yang kaku dan tegak mampu tetap berdiri meskipun di arus yang dalam.
- c. Tahan terhadap hama, penyakit dan api.
- d. Ketika ditanam rapat, tanaman pagarnya yang lebat berguna sebagai penyaring sedimen yang efektif dan penyebar air.
- e. Tunas baru yang berkembang dari mahkota dalam tanahnya membuat vetiver tahan terhadap api, salju, lalu lintas dan tekanan penggembalaan yang berat.

- f. Akar-akar baru tumbuh dari tunas bakal anakan ketika terkubur oleh sedimen yang terperangkap. Vetiver akan tetap tumbuh dengan lanau (endapan didasar sungai) yang terkumpul dan akhirnya membentuk teras, jika sedimen yang terperangkap tidak dipindahkan.

2. Karakteristik Fisiologis

- a. Toleran terhadap perbedaan iklim seperti kekeringan berkepanjangan, banjir, perendaman dan cuaca ekstrim dari -14°C sampai $+55^{\circ}\text{C}$.
- b. Mampu tumbuh kembali dengan cepat setelah terkena dampak kekeringan, cuaca beku, keadaan yang salin dan kondisi yang merugikan setelah cuaca membaik atau setelah amelioran tanah ditambahkan.
- c. Toleran terhadap beragam pH tanah dari 3.3 sampai 12.5 tanpa pembersihan tanah.
- d. Toleran terhadap herbisida dan pestisida tinggi.
- e. Sangat efisien dalam menyerap nutrisi tanah yang larut seperti N dan P dan logam berat dalam air yang terpolusi.
- f. Sangat toleran terhadap keasaman, alkalinitas, salinitas, sulfiditas dan magnesium dalam tingkat menengah tinggi.
- g. Sangat toleran terhadap Al, Mn dan logam berat seperti As, Cd, Cr, Ni, Pb, Hg, Se dan Zn didalam tanah.

3. Karakteristik Ekologis

Sifat ekologis rumput vetiver dilihat hubungan timbal balik rumput vetiver itu sendiri dengan lingkungannya, sifat ekologi rumput vetiver ini antara lain:

- a. Vetiver hidup lebih lama daripada tanaman lain dan dapat bertahan hidup selama beberapa dekade meskipun (setidaknya pada kondisi normal) tidak (atau sedikit) agresif dan tidak memiliki kemampuan untuk berkoloni.

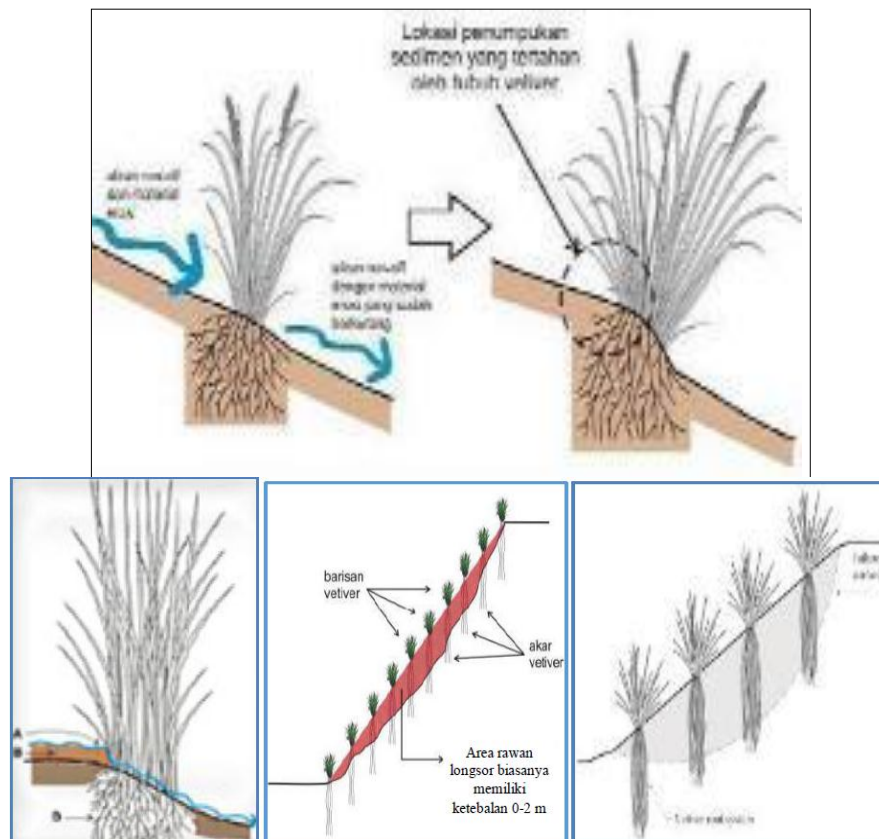
- b. Vetiver dapat bertahan dari kekeringan hingga berbulan-bulan maupun banjir hingga 45 hari.
- c. Vetiver tumbuh subur di rawa-rawa permukaan laut dan pegunungan hingga 2600 m.
- d. Vetiver memiliki efek positif terhadap tanaman - tanaman lain yang tumbuh di sekitarnya. Karena bersifat steril, vetiver tidak pernah menjadi gulma dan menyebar tidak terkontrol.
- e. Vetiver hampir tidak memiliki musuh alami seperti ular, tikus, dan hewan hama lainnya.
- f. Vetiver dapat tumbuh kembali setelah terbakar.
- g. Vetiver dapat membentuk pagar tanaman yang padat, tegak, murah, mudah dibuat, dan permanen dipermukaan tanah, sehingga dapat menurunkan kecepatan aliran hujan hingga hampir nol dan meningkatkan jumlah serapan air hujan serta produktivitas perkebunan. (Sunandar, 2011)

4. Toleransi Rumput Vetiver Terhadap Cuaca Dingin

Meskipun vetiver adalah rumput tropis, vetiver mampu bertahan dan tumbuh subur di cuaca dingin. Pada cuaca yang sangat dingin pucuknya mati atau menjadi dorman dan berwarna 'ungu' dingin tetapi bagian-bagian pertumbuhannya dibawah tanah tetap bertahan. Di Australia, pertumbuhan vetiver tidak terpengaruh oleh cuaca dingin sampai suhu -14°C dan bertahan sesaat pada suhu -22°C (-8°F) di Cina utara. Di Georgia (Amerika Serikat), vetiver bertahan pada suhu tanah 10°C tapi tidak pada -15°C . Penelitian terakhir menunjukkan bahwa suhu 25°C adalah yang paling optimal untuk perumbuhan akar, tetapi akar vetiver akan terus tumbuh pada suhu 13°C . Meskipun tunas yang tumbuh sangat sedikit pada temperatur tanah berkisar 15°C (siang hari) dan 13°C , akar tetap tumbuh 12.6cm/hari, menunjukkan bahwa rumput vetiver tidak dorman pada temperatur tersebut dan perhitungan menunjukkan bahwa akar yang dorman terjadi pada suhu sekitar 5°C .

5. Cara Kerja Rumput Vetiver

Cara kerja rumput vetiver adalah dengan menahan laju air *run-off* dan material erosi yang terbawa dengan tubuhnya. Daun dan batang vetiver akan memperlambat aliran endapan yang terbawa *run-off* dititik A sehingga tertumpuk di titik B. Air akan terus mengalir menuruni lereng C yang lebih rendah. Akar tanaman (D) akan mengikat tanah di bawah tanaman hingga kedalaman 3 meter dengan membentuk “Tiang” yang rapat dan dalam di dalam tanah, akar-akar ini nantinya akan mencegah terjadinya erosi dan longsor. Pada dasarnya rumput vetiver akan efektif jika ditanam dalam bentuk barisan yang membentuk pagar.



Gambar 15. Cara Kerja Rumput Vetiver
Sumber: Rully Wijayakusuma, 2007 dalam Kementerian PU

6. Pembibitan Rumput Vetiver

a. **Kriteria Kebun Bibit.** Kebun bibit menyediakan material untuk pembiakan vegetatif dan kultur jaringan. Dibawah adalah kriteria yang bagus untuk memfasilitasi kebun bibit dengan pananaman yang produktif dan mudah diatur.

- **Jenis Tanah.** Tanah yang lempung dan berpasir akan membuat panen mudah dan mengecilkan resiko kerusakan pada mahkota dan akar tumbuhan. Tanah lempung berpasir bisa dipakai tetapi lempung berat tidak bagus.
- **Topografi.** Tanah yang sedikit miring akan menghindarkan air mengumpul kalau-kalau terjadi terlalu banyak penyiraman. Tanah datar bisa digunakan, tetapi pengairan harus diperhatikan untuk menghindari pengendapan air, yang akan menghambat pertumbuhan tanaman yang masih kecil. Vetiver dewasa, sebaliknya, tumbuh subur jika banyak air mengendap.
- **Peneduhan.** Tempat terbuka direkomendasikan karena keteduhan mempengaruhi pertumbuhan Vetiver. Penanaman di tempat setengah teduh bisa dilakukan. Vetiver adalah tumbuhan C dan suka banyak sinar matahari.
- **Lay Out Penanaman.** Vetiver harus ditanam di jajaran yang panjang dan rapi melintang lereng agar mudah dipanen.
- **Cara Pemanenan.** Menanam tumbuhan dewasa bisa dilakukan secara mekanik atau manual. Mesin bisa mencabut akar dewasa sedalam 20 - 25 cm (8 - 10") dibawah tanah. Untuk menghindari perusakan mahkota tanaman, gunakan bajak *mouldboard* dengan satu bilah atau bajak piringan (*disc plow*) yang telah disesuaikan.
- **Pengairan.** *Overhead irrigation* (penyiraman dari atas) mendistribusikan air dengan rata pada beberapa bulan di awal

penanaman. Tanaman yang lebih dewasa memerlukan irigasi genangan.

- **Pelatihan Staf.** Staf yang terlatih dengan baik sangat penting agar kebun bibit bisa sukses.
- **Penanam Mekanis.** Penanam bibit yang dimodifikasi atau penanam mekanis dapat menanam *slip* Vetiver dalam jumlah besar di kebun bibit.

b. Cara Pembiakan. Empat cara umum pembiakan adalah:

- Pemisahan anakan/tunas dewasa dari rumpun Vetiver atau tanaman induk, yang menghasilkan *slip* cabutan untuk segera ditanam atau dibiakkan di *polybag*.
- Menggunakan beberapa bagian dari tanaman induk Vetiver.
- Pembiakan kuncup atau vitro-mikro untuk pembiakan skala besar.
- Pembiakan jaringan, menggunakan bagian kecil dari tanaman untuk pembiakan skala besar.

c. Menyiapkan Material Tanam. Untuk meningkatkan kemampuan tumbuh dalam kondisi yang tidak ramah, ketika anakan yang dihasilkan dari metode diatas sudah cukup dewasa atau ketika *slip* cabutan siap, tumbuhan siap untuk ditanam dengan *polybag* atau bibit tanaman dalam plastik dan lajur tanam. *Polybag* atau bibit tanaman dalam plastik dengan cara ini anakan dan *slip* cabutan ditanam di pot kecil atau plastik kecil berisi setengah tanah dan setengah campuran yang diletakkan di wadah selama tiga sampai enam minggu, tergantung suhunya. Ketika setidaknya tiga tunas (pucuk) muncul, anakan siap untuk ditanam. Sedangkan untuk lajur tanam adalah modifikasi dari *polybag*. Alih alih menggunakan plastik satuan, *slip* cabutan atau batang *slip* ditanam rapat pada baris yang digarisi yang akan membantu proses transportasi dan penanaman. Cara ini menghemat tenaga kerja ketika menanam di medan yang sulit seperti lereng curam. Cara ini juga bagus untuk ketahanan hidup vetiver

karena akarnya tidak terpisah-pisah. Kelebihannya tumbuhan kuat dan tidak terpengaruh pada suhu tinggi dan kelembapan yang rendah, diperlukan lebih sedikit penyiraman sesudah penanaman, bertumbuh cepat sesudah penanaman, bisa bertahan lebih lama di kebun bibit sebelum penanaman, direkomendasikan untuk kondisi tidak ramah. Sedangkan kekurangannya lebih mahal, memerlukan persiapan lama, empat sampai lima minggu lebih lama, transportasi dalam jumlah banyak dan berat jadi lebih mahal, biaya sesudah pengangkutan jadi lebih mahal, jika tidak ditanam dalam jangka satu minggu.

- d. Pembibitan Rumput Vetiver di Indonesia.** Di Indonesia, pemanfaatan rumput vetiver sebagai teknologi penanggulangan erosi dan longsor dangkal pada ruas-ruas jalan nasional, tol atau bukan tol masih sangat sedikit. Beberapa ruas jalan tol yang lereng atau tebing jalannya sudah ditangani dengan teknologi rumput vetiver adalah ruas jalan tol cipularang (Jawa Barat). Penanganan erosi lereng atau tebing jalan pada ruas jalan tol tersebut masih bersifat partial dan hanya sebagian kecil saja dari panjang lereng atau tebing jalan yang ada. Namun demikian, penelitian tentang rumput vetiver ini, baik untuk keperluan konservasi atau pun untuk keperluan pengendalian erosi dan abrasi, sudah banyak dilakukan oleh institusi pemerintah, akademisi, maupun LSM. Salah satu institusi pemerintah yang telah meneliti kinerja rumput vetiver dalam menangani erosi permukaan lereng atau tebing jalan tersebut adalah puslitbang jalan dan jembatan Bandung. Khususnya rumput vetiver, puslitbang jalan sudah melakukan kajian atau penelitian baik skala kecil atau laboratorium sejak tahun 2007 s/d 2010. Hasil penelitian yang didapat menunjukkan bahwa tingkat erosivitas akan berkurang bahkan mendekati nol pada saat proses penutupan tanah oleh rumput mencapai 70%. Berikut ini disajikan beberapa contoh aplikasi teknologi rumput vetiver yang sudah dilakukan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan

Jembatan, baik itu aplikasi pembibitan maupun aplikasi uji coba skala penuh.



Gambar 16. Pembibitan Rumput Vetiver (2009 a.d 2010)

Sumber : Sunandar, 2011

7. Penanaman Rumput Vetiver

Tahapan dalam penanaman rumput vetiver, adalah:

- a. Buat jarak antarstrip rumput vetiver (jarak vertikal) dan jarak antartunas rumput pada barisan (jarak horizontal), dengan mengacu pada Tabel 4 berikut;

Tabel 4 . Tata Letak Tanaman

Tata letak tanaman	Kemiringan lereng					
	< 30 ⁰		30 ⁰ sampai dengan 45 ⁰		>45 ⁰ sampai dengan 60 ⁰	
	Dengan NILAI ERODIBILITAS TANAH *)					
	(K≤0.20)	(K>0.20)	(K≤0.20)	(K>0.20)	(K≤0.20)	(K>0.20)
Jarak antarstrip 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
Jarak	15	10	15	10	10 sampai	

antartunas rumput pada barisan (cm)	sampai dengan 20	sampai dengan 15	sampai dengan 20	sampai dengan 15	dengan 1:5	ditanami vetiver secara mandiri (perlu dikombinasikan dengan cara mekanis)
---	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	---------------	---

Sumber: Kementerian PU

KETERANGAN :

1. Di antara setrip rumput vetiver dapat dilakukan dengan:
 - a. Penanaman dengan tanaman penutup lainnya, seperti:
 - Rumput bahia (bahia grass = *Paspalum notatum*)
 - Rumput pahit (carpet grass = *Axonopus compressus*)

Untuk lereng lebih kecil dari 30⁰, dapat pula menggunakan tanaman kacang-kacangan (legum), seperti : *Centrosema pubescens*, *Pueraria javanica*, *Calopogonium mucunoides*
 - 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 tererosi. Untuk lebih jelasnya, hal itu mengacu pada kelas kepekaan tanah terhadap erosi (erodibilitas tanah = K) berdasarkan USDA – SCS (1973) dalam Dangler dan El Swaify (1976) .
 - b. Bila lereng merupakan tanah bercadas dibuat lubang penanaman sesuai dengan Tabel 1, dengan garis tengah minimal sekitar 10 cm dan kedalaman 12 cm sampai dengan 15 cm. Lubang arah horizontal dibuat mengikuti garis kontur.
 - c. Bila lereng merupakan tanah gembur yang bukan cadas, dapat dibuat rorak (parit kecil) untuk setiap setrip vetiver dengan lebar 20 cm dan kedalaman 12 cm sampai dengan 15 cm.

- d. Campurkan pupuk kandang dengan tanah subur dengan perbandingan 1: 1.
- e. Pada setiap alas lubang/lorak yang telah dibuat taburkan pupuk NPK (16:16:16) sebanyak 2 gram per tanaman. Hamparkan di atasnya campuran pupuk kandang dan tanah setinggi 2 cm .
- f. Sobek/gunting plastik polibag secara memanjang dari atas ke bawah. Hal ini dilakukan agar akar bibit tidak terganggu/terpotong.
- g. Lepaskan plastik *polybag*.
- h. Apabila area penanaman merupakan daerah yang kering (contoh di Nusa Tenggara Timur), plastik *polybag* tidak perlu dilepas untuk menghindari penguapan yang tinggi, tetapi cukup disobek/ digunting pada bagian bawahnya sehingga terbuka.
- i. Masukkan bibit tanaman ke dalam lubang yang sudah dibuat. Contoh tata letak tanaman vetiver pada lereng tidak rawan, dengan kemiringan 30° seperti pada Gambar 8.
- j. Isi bagian lubang tanam yang kosong dengan campuran tanah dan pupuk kandang.
- k. Ratakan kembali seluruh permukaan tanah dengan tanah asli dengan sedikit dipadatkan
- l. Lakukan penyiraman seperti yang ditentukan pada pemeliharaan butir 6.a);

8. Erodibilitas Tanah (K)

Kepekaan tanah terhadap erosi atau disebut erodibilitas tanah oleh Hudson (1978) sebagai mudah tidaknya suatu tanah tererosi. Secara lebih spesifik Veiche (2002) mendefinisikan erodibilitas tanah sebagai mudah tidaknya suatu tanah untuk dihancurkan oleh kekuatan aliran permukaan. Sementara Wischeier dan mannering (1969) menyatakan bahwa erodibilitas alami (*inherent*) tanah merupakan sifat kompleks yang tergantung pada laju infiltrasi tanah dan kapasitas tanah untuk bertahan terhadap penghancuran agregat (*detachment*) serta pengangkutan oleh hujan dan aliran permukaan.

Pada prinsipnya sifat-sifat tanah yang mempengaruhi erodibilitas tanah adalah sifat-sifat tanah yang mempengaruhi laju infiltrasi, permeabilitas dan kapasitas tanah menahan air, dan sifat-sifat tanah yang mempengaruhi ketahanan struktur tanah terhadap despersi, dan pengikisan oleh butir-butir air hujan dan aliran permukaan. Sifat-sifat tanah tersebut mencakup tekstur, struktur, bahan organik, kedalaman tanah, sifat lapisan tanah dan tingkat kesuburan tanah (Morgan 1979 dalam Arsyad 2000).

a. Tekstur. Tekstur tanah menunjukkan kasar halusya tanah, ditentukan berdasarkan perbandingan butir-butir (Fraksi) pasir (*sand*), debu (*silt*) dan liat (*Clay*). Fraksi pasir berukuran 2 mm - 50 μ lebih kasar dibanding debu (50 μ - 2 μ) dan liat (lebih kecil dari 2 μ). Karena ukurannya yang kasar, maka tanah-tanah yang didominasi oleh fraksi pasir seperti tanah-tanah yang tergolong dalam sub-ordo *Psamment*, akan melaluhkan air dengan cepat (kapasitas infiltrasi dan permeabilitas tinggi) dibandingkan dengan tanah-tanah yang didominasi oleh fraksi debu dan liat. Kapasitas infiltrasi dan permeabilitas yang tinggi, serta ukuran butir yang relatif lebih besar menyebabkan tanah-tanah yang didominasi oleh pasir umumnya mempunyai tingkat erodibilitas tanah rendah. Tanah dengan kandungan pasir halus (0.01 mm - 50 μ) tinggi juga mempunyai kapasitas infiltrasi cukup tinggi, akan tetapi jika terjadi aliran permukaan, maka butir-butir halusya akan mudah terangkut. Debu merupakan fraksi tanah yang paling mudah tererosi, karena selain mempunyai ukuran yang relatif halus, fraksi ini juga tidak mempunyai kemampuan untuk membentuk ikatan (tanpa adanya bantuan bahan perekat/pengikat), karena tidak mempunyai muatan. Berbeda dengan debu, liat meskipun berukuran halus, namun karena mempunyai muatan, maka fraksi ini dapat membentuk ikatan. Meyer dan Harmon menyatakan bahwa tanah-tanah berstekstur halus (didominasi liat) umumnya bersifat kohesif dan sulit untuk dihancurkan. Walaupun demikian, bila kekuatan curah hujan atau aliran permukaan mampu

menghancurkan ikatan antar partikelnya, maka akan timbul bahan sedimen tersuspensi yang mudah untuk terangkut atau terbawa aliran permukaan.

- b. Bahan Organik.** Bahan organik sangat berperan pada proses pembentukan dan pengikatan serta penstabilan agregat tanah. Pengikatan dan penstabilan agregat tanah oleh bahan organik dapat dilakukan melalui pengikatan secara fisik butir-butir primer tanah oleh *mycelia* jamur, *actinomycetes*, dan/atau akar-akar halus tanaman, dan pengikatan secara kimia, yaitu dengan menggunakan gugus-gugus aktif dari bahan organik tanah, misalnya gugusan negatif (*carboxil*) pada senyawa organik berantai panjang, atau gugusan positif (gugus amine, amide, atau amino) pada senyawa organik berbentuk rantai (polimer). Bahan organik yang masih berbentuk serasah, seperti daun, ranting, dan sebagainya yang belum hancur yang menutupi permukaan tanah, merupakan pelindung tanah terhadap kekuatan perusak butir-butir hujan yang jatuh. Bahan organik tersebut juga menghambat aliran permukaan, sehingga kecepatan alirannya lebih lambat dan relatif tidak merusak. Bahan organik yang sudah mengalami pelapukan mempunyai kemampuan menyerap dan menahan air yang tinggi, sampai dua-tiga kali berat keringnya. Akan tetapi, kemampuan menyerap air ini hanya merupakan faktor kecil dalam mempengaruhi kecepatan aliran permukaan. Pengaruh utama bahan organik adalah memperlambat aliran permukaan, meningkatkan infiltrasi, dan memantapkan agregat tanah (Arsyad, 2000). Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada 55 tanah, Wischmeier dan manning (1969) menyatakan bahwa energi yang dibutuhkan untuk memulai aliran permukaan dan mengakhiri proses infiltrasi semakin meningkat dengan bertambahnya kandungan bahan organik.
- c. Struktur/Agregasi Tanah.** Bentuk dan stabilitas agregat, serta persentase tanah yang teragregasi sangat berperan dalam menentukan tingkat kepekaan tanah terhadap erosi. Hasil penelitian Meyer dan

Harmon (1984) pada 18 jenis tanah, menunjukkan bahwa tanah yang paling peka terhadap erosi adalah tanah yang paling rendah persentase agregasinya (*Poorly aggregated*). Tanah-tanah dengan tingkat agregasi tinggi, berstruktur kersai atau granular, sarang, tingkat penyerapan airnya lebih tinggi dari pada tanah yang tidak berstruktur atau susunan butir-butir primernya lebih rapat. Selain dipengaruhi oleh tekstur dan kandungan bahan organik, pembentukan agregat tanah dipengaruhi juga oleh jumlah dan jenis kation yang diadsorpsi liat. Hasil penelitian Meyer dan Harmon (1984) menunjukkan bahwa kandungan kalsium dapat ditukar (Ca-dd), jumlah basa-basa dapat ditukar, kapasitas tukar kation dan kandungan bahan organik tanah berkorelasi negatif dengan tingkat kepekaan tanah terhadap erosi lembar (*interill erodibility*). Stabilitas agregat tanah sangat berpengaruh terhadap kemantapan pori tanah. Tanah-tanah yang mudah terdispersi atau agregatnya tidak stabil menyebabkan pori-porinya tanah juga mudah hancur atau tertutup/tersumbat oleh liat atau debu (erosi internal), sehingga laju dan kapasitas infiltrasi tanah mengalami penurunan.

Nilai K dapat dicari melalui model persamaan untuk mendapatkan nilai K menurut Wischmeier et al (1971) sebagai berikut:

$$100 K = 1.292 [2.1 M^{1.14}(10^{-4})(12 - a) + 3.25(b - 2) + 2.5(c - 3)] \quad (6)$$

Keterangan:

- K = erodibilitas tanah;
- M = (persentase pasir sangat halus dan debu) X (100 – persentase liat (*clay*));
- a = persentase bahan organik (% C-organik X1,724);
- b = kode struktur tanah;
- c = kode kelas permeabilitas penampang tanah.

KETERANGAN :

Pasir sangat halus dan debu adalah fraksi dengan diameter 0.002 mm sampai dengan 0.10 mm.

Tahapan perhitungan:

- a. Nilai M dan c diperoleh dari pengujian sifat fisika tanah; Nilai M diperoleh melalui pemeriksaan teksur tanah dan c diperoleh melalui pemeriksaan permeabilitas tanah.
- b. Nilai a diperoleh dari pengujian sifat kimia tanah, mengacu SNI 19-7030-2004 Untuk kadar bahan organik > 6 % (agak tinggi sampai dengan sangat tinggi), angka 6 % tersebut digunakan sebagai angka maksimum.
- c. Nilai b, diperoleh dengan mengamati struktur tanah secara visual di lapangan penilaian struktur tanah.
- d. Setelah parameter-parameter M, a, b, c, diperoleh, masukkan ke dalam persamaan (6)

Setelah nilai K diperoleh, maka untuk mengetahui kelas erodibilitas tanah menurut USDA 1973 yang tercantum pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Kelas Erodibilitas Tanah Menurut USDA

Kelas USDA-SCS	Nilai K	Uraian 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 : Sitanala Arsyad (1989) dalam Dharmawan (2008)

Keterangan:

Uraian kelas erodibilitas tanah untuk nilai K, dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu tanah dengan tingkat erodibilitas sangat rendah sampai dengan rendah $K \leq 0.20$ dan tanah dengan tingkat erodibilitas sedang sampai dengan sangat tinggi $K > 0.20$.

Dari kelas erodibilitas tanah yang diperoleh menjadi acuan dalam penanaman, yaitu menentukan jarak antarsetrip vetiver dan jarak rumput

dalam baris, seperti yang tercantum dalam **Tabel 4**. Tata letak tanaman. (Kementerian Pekerjaan Umum).

D. Perkuatan Lereng Menggunakan Rumput Vetiver

1. Karakteristik Rumput Vetiver Sesuai Untuk Stabilisasi Lereng

Atribut vetiver yang unik telah diteliti, diuji, dan dikembangkan di daerah tropis, karenanya dapat dipastikan vetiver sangat efektif sebagai alat bio-teknologi.

- a. Meskipun secara teknis vetiver adalah rumput, namun vetiver digunakan dalam aplikasi menstabilkan lahan lebih baik dari pada pohon atau semak karena akar vetiver, per unit area lebih dalam dan kuat dibanding akar pohon.
- b. Sistem akar vetiver yang sangat dalam dan terstruktur dengan baik dapat mencapai sampai dua atau tiga meter (enam sampai sembilan kaki) di tahun pertama. Pada lereng timbunan tanah, banyak percobaan menunjukkan rumput ini dapat mencapai 3.6 meter (12 kaki) dalam 12 bulan. (harap dicatat bahwa vetiver tidak menembus dalam sampai ke dalam permukaan air bawah tanah. Karenanya di area dengan level air tanah yang tinggi, sistem akarnya tidak akan sepanjang di tanah kering). Sistem akar vetiver yang ekstensif dan tebal mengikat tanah sehingga sulit untuk tersapu, dan vetiver sangat toleran terhadap kekeringan.
- c. Sekuat atau lebih kuat dari spesies kayu keras, akar vetiver memiliki daya tarik yang sangat tinggi yang terbukti positif untuk penguatan lereng curam.
- d. Akar vetiver memiliki daya tarik rata-rata sekitar 75 Mega Pascal (MPa), yang sejajar dengan 1/6 dari kekuatan baja ringan dan peningkatan kekuatan geser sebanyak 39% pada kedalaman 0.5 meter (1.5 kaki)

- e. Akar vetiver dapat menembus tanah padat seperti tanah padas keras dan tanah lempung gumpal yang umumnya ada di tanah tropis, yang menyediakan penahan yang baik untuk tanah timbunan dan permukaan.
- f. Ketika ditanam merapat, tumbuhan vetiver membentuk pagar padat yang mengurangi kecepatan arus, mengalihkan limpasan air, menciptakan penyaring yang sangat efektif yang mengendalikan erosi. Tanaman pagar mengurangi arus dan menyebarkannya, memberi waktu bagi air untuk meresap ke dalam tanah.
- g. Sebagai penyaring yang sangat efektif, pagar vetiver membantu mengurangi kekeruhan akibat limpasan air. Karena akar baru berkembang dari tunas yang terkubur oleh sedimen yang terperangkap, vetiver akan terus tumbuh ketika level tanah naik. Teras akan terbentuk pada tanah tanaman pagar, dan sedimen sebaiknya tidak dipindahkan. Sedimen yang subur biasanya berisi bibit tanaman lokal yang membantu pertumbuhannya kembali.
- h. Vetiver toleran terhadap iklim ekstrim dan lingkungan yang beragam, termasuk kekeringan berkepanjangan, banjir dan perendaman, dan suhu yang ekstrim dari -14°C sampai 55°C (7°F sampai 131°F) (Truong *et al*, 1996).
- i. Rumput ini tumbuh lagi dengan cepat sesudah kekeringan, beku, asin dan keadaan tanah lain yang berbeda ketika suhu-suhu ekstrim tadi berlalu.
- j. Vetiver menunjukkan toleransi tinggi terhadap keasaman tanah, salinitas, sodisitas dan kondisi asam sulfat (Truong P,dkk.2011).

Vetiver dapat tumbuh secara vertikal pada lereng yang lebih curam dari 150% (~56o). Pertumbuhannya yang cepat dan penguatannya yang luar biasa menjadikannya tumbuhan yang bagus untuk stabilisasi lereng dibanding tumbuhan lain. Ciri kecil lain yang membedakannya dari tumbuhan akar lainnya adalah kemampuannya menembus tanah. Kekuatannya mampu menembus tanah yang sulit, lapisan keras tanah, dan

permukaan berbatu dengan titik-titik lemah. Bahkan vetiver mampu menembus aspal jalan. Penulis yang sama menyebutkan akar vetiver sebagai paku tanah hidup atau pasak 2-3m (6-9 kaki) yang umumnya digunakan sebagai “pendekatan keras” untuk stabilisasi lereng. Dikombinasikan dengan kemampuannya tumbuh cepat dikondisi tanah yang sulit membuat vetiver lebih cocok untuk stabilisasi lereng dibanding tanaman lain (Hengchaovanich 1998 dalam Troung P, dkk,2011).

2. Kekuatan Tarik dan Geser dari Akar Rumput Vetiver

(Hengchaovanich dan Nilaweera 1996 dalam Troung P, dkk, 2011) menunjukkan bahwa gaya tarik akar vetiver meningkat seiring berkurangnya diameter akar, menunjukkan akar yang lebih kuat dan baik lebih tahan dibanding akar yang rimbun. Kekuatan tarik akar vetiver bervariasi antara 40 - 1880 Mpa pada akar dengan diameter antara 0.2 - 2.2 mm. Kekuatan tarik rata-rata sekitar 75 MPa pada diameter akar 0.7 - 0.8 mm yang merupakan ukuran umum akar vetiver, setara dengan sekitar satu per enam kekuatan baja ringan. Karenanya, akar vetiver sama kuatnya atau bahkan lebih kuat dibanding spesies kayu keras yang telah terbukti efektif untuk penguat lereng.

Pada tes geser blok tanah, (Hengchaovanich and Nilaweera 1996 dalam Troung P, dkk, 2011) juga menemukan bahwa penetrasi akar vetiver yang berusia 2 tahun ditanam dengan jarak 15 cm dapat meningkatkan kekuatan geser tanah, pada penanaman yang sejajar dengan jarak 50 cm sebanyak 90% pada kedalaman 0.25 m. Kenaikannya 35% pada kedalaman 0.50 m dan pelan-pelan menurun sampai 12.5% pada kedalaman satu meter. Lebih-lebih akar Vetiver yang lebat dan lebar menawarkan kenaikan kekuatan geser yang lebih baik per konsentrasi serat per unit (6 - 10 kPa/kg akar per meter kubik tanah) dibanding 3.2 - 3.7 kPa/kg untuk akar pohon. Penulis menjelaskan bahwa ketika akar tanaman menembus melewati permukaan geser pada profil tanah, pembelokan zona geser menimbulkan ketegangan di akar, komponen ketegangan ini menyinggung zona geser yang secara

langsung menahan geseran, sementara komponen yang normal meningkatkan tekanan yang mengurung bidang geser.

3. Penerapan Rumput Vetiver dalam Mitigasi Bencana Alam dan Perlindungan Infrastruktur

Karakteristiknya yang unik rumput vetiver umumnya berguna dalam mengendalikan erosi pada lereng akibat kerukan maupun urukan dan pada lereng yang terkait dengan konstruksi jalan, dan khususnya efektif untuk tanah yang mudah terkikis dan rapuh, seperti tanah sodik, berasam, dan mengandung asam sulfat. Penanaman vetiver telah sangat efektif untuk pengendalian erosi atau stabilisasi dibawah ini:

- a. Stabilisasi lereng sepanjang jalan raya dan rel kereta api. Sangat efektif di sepanjang jalan pedesaan di pegunungan, dimana masyarakat mengalami kekurangan dana untuk stabilisasi lereng dan di tempat dimana konstruksi jalan sering diperlukan.
- b. Stabilisasi tanggul dan dinding/tembok bendungan, pengurangan erosi kanal, erosi tepian sungai dan pantai, dan perlindungan struktur keras (seperti talud batuan, dinding penahan beton, bronjong dsb.)
- c. Lereng diatas katub dan *outlet* gorong-gorong (gorong-gorong, penopang)
- d. Pemisah antara struktur semen dan batuan dan permukaan tanah yang mudah terkikis.
- e. Sebagai penyaring untuk memerangkap sedimen pada katup gorong-gorong.
- f. Untuk mengurangi energi pada *outlet* gorong-gorong.
- g. Untuk menstabilkan erosi bagian atas parit, ketika pagar vetiver ditanam di garis kontur diatas parit.
- h. Untuk menghilangkan erosi yang disebabkan oleh ombak, dengan menanam beberapa baris vetiver pada batas atas air pasang di tembok penahan dam pertanian yang besar atau di tepian sungai.

- i. Pada penanaman hutan, vetiver digunakan untuk menstabilkan bahu jalan pada lereng curam dan parit (jalur penebangan) yang dibuat untuk panen berikutnya. Karena karakteristiknya yang unik, vetiver dengan efektif mengendalikan bencana air seperti banjir, erosi tepian pantai dan sungai, erosi dam dan tanggul/pematang, dan ketidakstabilan lain. Juga melindungi jembatan, penopang gorong-gorong dan penghubung antara beton/struktur batuan dan tanah. Vetiver khususnya efektif di wilayah dimana tanah timbunan tanggul mudah terkikis dan tidak padat, seperti tanah sodik, alkalin, dan asam (termasuk asam sulfat). (Truong P, dkk. 2011).

E. Penerapan Sistem Vetiver di Indonesia Sejak Tahun 2000

Vetiver telah ditanam di Indonesia selama bertahun-tahun, beberapa studi menyatakan telah lebih dari 1.000 tahun (Greenfield, 2002) tetapi setidaknya dari 200 tahun yang lalu (Dafforn, 2002), telah dibudidayakan terutama untuk memproduksi minyak akar wangi untuk di ekspor. Rumput ditanam di lereng-lereng pegunungan vulkanik dan saat dipanen, meninggalkan sisa galian yang dalam yang menyebabkan erosi yang luas. Hal ini memberikan reputasi buruk pada vetiver dan menciptakan kesan bahwa vetiver "menyebabkan erosi", sehingga budidaya vetiver dilarang di beberapa daerah di Jawa (National Academy Press. Halaman 16. 1993).

Sistem vetiver telah diterapkan di Kalimantan dan daerah lain di Indonesia pada waktu itu tetapi tidak dipromosikan secara luas mengenai manfaatnya dalam mitigasi erosi dan tanah longsor, perlindungan lingkungan dan konservasi tanah dan air. Hal ini berubah pada tahun 2000 ketika Yayasan Ekoturin's East Bali Poverty Project (EBPP) yang berbasis di Bali memperkenalkan rumput vetiver dan Sistem Vetiver (VS) sebagai bagian dari program yang komprehensif untuk mengurangi kemiskinan dan mempromosikan pembangunan berkelanjutan berbudaya di sebuah desa pegunungan terpencil dan miskin di bagian timur lereng gunung Agung dan Abang.

Tanah di desa tersebut tertutup abu vulkanik sedalam 30 - 40 meter dari letusan Gunung Agung pada tahun 1963, dengan penduduk lebih dari 3.000 keluarga di 19 desa adat seluas 7.200 hektar lahan pertanian yang curam dan gersang, tidak memiliki jalan, sungai, pasokan air, toilet, fasilitas kesehatan atau listrik. Rumput Vetiver membuktikan cara yang paling efektif untuk mencegah erosi lebih lanjut pada jalan dengan lereng curam dan berpasir serta berperan penting bagi pembuatan kebun pertanian sayuran organik di lahan curam dan tandus yang sebelumnya hanya bisa ditanami singkong dan jagung. Vetiver juga menjadi alat penyadaran kuat dalam program pendidikan terpadu untuk anak, baik dalam mengembangkan kebun sayuran organik di sekolah maupun pelajaran kerajinan kreatif dari akar dan daun rumput yang sudah kering. (Booth, DJ. 2003)

Pada tahun 2003, David Booth, pendiri EBPP, ditunjuk sebagai koordinator Indonesia Vetiver Network (IDVN) oleh The Vetiver Network International (TVNI). Penyebarluasan teknologi informasi Sistem Vetiver oleh IDVN dari bukti uji coba lapangan, suksesnya berbagai proyek VS dalam membantu sebagian besar aspek masyarakat sipil dan industri, pers, internet dan berita dari mulut ke mulut dari pelanggan yang puas mengakibatkan penerimaan yang cepat akan Teknologi Sistem Vetiver di seluruh Indonesia. (Truong P, dkk. 2011)

F. Penelitian Terdahulu

1. Fitoremediasi tanaman akar wangi (*Vetiverzizanioides*) terhadap tanah tercemar logam Kadmium (Cd) pada lahan TPA Tamangapa Antang Makassar (Alfia Patandungan, Syamsidar HS, dan Aisyah). Tujuan dari penelitian ini yaitu melakukan remediasi lahan TPA Tamangapa Antang Makassar yang tercemar oleh logam berat khususnya Cd dengan bantuan tanaman akar wangi. Alat yang digunakan dalam penelitian adalah *Spektrofotometer serapanatom (SSA)* varian AA240ES, oven, penangas listrik, neraca analitik, cawan penguap/cawan porselin, desikator, pot plastik (ukuran sedang) dan alat gelas yang umum digunakan di laboratorium. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain tanaman akar wangi

(*Vetiveria zizanioides*), *aquabidest* (H₂O), asam nitrat (HNO₃) p.a, HClO₄ (asam perklorat) p.a, aluminium foil, kertas saring, media tanam (tanah tercemar TPA Tamangapa), kompos dan tisu. Sampel yang digunakan berasal dari TPA Tamangapa Antang Makassar. Pengambilan sampel dilakukan secara acak dari beberapa titik berdasarkan tingkat pelapukan sampah yaitu terdiri atas pelapukan 1 tahun, 3 tahun, 5 tahun dan 10 tahun agar representatif. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa Tanaman akar wangi (*Vetiverzizanioides*) mempunyai kemampuan dalam mengurangi pencemaran kadmium (Cd²⁺) pada lahan TPA Tamangapa Makassar sebesar 0.298 mg/Kg. Adanya penambahan kompos sebagai stimulan tidak memberikan pengaruh signifikan pada kemampuan tanaman akar wangi (*Vetiver zizanioides*) menyerap Cd.

2. Fitoremediasi Limbah Logam Berat dengan Tumbuhan Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides* L) (Yuli Ambarwati1, Syaiful Bahri, 2018). Studi ini merupakan penelusuran literatur sehingga diperlukan penelitian secara eksperimen untuk membuktikan secara ilmiah tentang potensi akar wangi sebagai pengolah limbah logam berat. Hasil dari penelitian ini disimpulkan bahwa akar wangi (vetiver) mempunyai potensi besar dalam pengolahan limbah logam berat. Fitoremediasi adalah teknologi pembersihan, penghilangan atau pengurangan polutan berbahaya, seperti logam berat, pestisida, dan senyawa organik beracun dalam tanah atau air dengan menggunakan bantuan tanaman (*hiperaccumulator plant*). Tanaman akar wangi atau vetiver merupakan tanaman dari famili *Gramineae* (rumput-rumputan) yang masih satu famili dengan serai wangi (*citronella*) dan serai dapur (*lemon grass*). Kelebihan tanaman ini adalah kemampuannya untuk menyerap bahan bahan racun berbahaya (B3) dan logam berat yang mungkin terbawa dalam sampah dan meresap ke dalam tanah. Disamping itu akar dari tanaman ini memberikan bau aroma khas yang juga dapat dimanfaatkan untuk bahan baku industri aromaterapi (Kastaman dkk, 2007). Vetiver pun memiliki kemampuan untuk mengolah polutan dan pencemar air, misalnya limbah dari pabrik, lindi atau air dari pembuangan sampah,

maupun air dari bisnis pencucian mobil yang banyak mengandung zat-zat kimia. Penggunaan akar wangi sebagai fitoremediasi terhadap logam cadmium (Cd) telah berhasil dilakukan oleh Patandung dkk., (2012). Data ini membuka peluang untuk fitoremediasi logam berat yang lain seperti timbal (Pb), merkuri (Hg), seng (Zn), Kromium (Cr) dan logam berat lain.

3. Analisa Kestabilan Lereng Dengan Perkuatan Rumput Vetiver Studi Kasus Daerah Rawan Longsor Kelurahan Winangun Dua. Penelitian ini dilakukan untuk menguji faktor keamanan dan parameter geser tanah (c , ϕ dan γ) sebelum dan sesudah menggunakan rumput vetiver, pengujian di laboratorium untuk mendapatkan sifat fisik tanah pada lereng dan dilakukan pengujian dengan *triaxial Unconsolidated Undrained (UU test/quick test)* pengujian pada tanah asli dan pada tanah yang telah ditanami rumput vetiver. Hasil pemeriksaan didapat nilai parameter kuat geser tanah asli adalah $c = 1.35 \text{ t/m}^2$, $\phi = 5.65^\circ$, dan $\gamma = 1.370 \text{ gr/cm}^3$ sedangkan nilai parameter tanah yang telah ditanami rumput vetiver adalah $c = 1.51 \text{ t/m}^2$, $\phi = 4.61^\circ$, dan $\gamma = 1.360 \text{ gr/cm}^3$ dengan kemiringan lereng 24° . Dari hasil di atas menunjukkan bahwa nilai parameter geser naik setelah menggunakan rumput vetiver. Analisa perkuatan lereng menggunakan *software Rockscience Slide 6.0* dengan metode *Bishop Simplified dan Ordinary/Fellinius*. Hasil analisa yakni nilai FK = 1.975 dan 1.950 untuk tanah tanpa rumput, dengan rumput vetiver FK meningkat menjadi 2.082 dan 2.057 untuk kondisi akar dengan panjang terdalam yaitu 50 cm. Hal ini menunjukan lereng dalam keadaan stabil karena $FK > 1.5$ Kondisi kritis lereng di dapat pada kemiringan 70° dengan FK = 1.017 dan 1.049 untuk tanah asli dan untuk tanah dengan rumput vetiver FK = 1.021 dan 1.051. Pada kondisi kritis lereng faktor keamanan meningkat sebesar 0.39 %. Kemudian untuk variasi dengan kedalaman panjang akar 50 cm, 75 cm, 100 cm, 125 cm dan 150 cm pada lereng eksisting yang di terapkan pada keseluruhan bidang longsor, terjadi peningkatan pada setiap kedalaman panjang akar. Kenaikan signifikan dapat dilihat pada panjang kedalaman akar 150 cm dengan nilai FK = 2.123 dan 2.097. Penelitian ini menguatkan beberapa teori sebelumnya

bahwa pemakaian rumput vetiver dapat meningkatkan nilai faktor keamanan pada lereng dangkal. Selain itu rumput vetiver yang banyak tersebar di negara-negara yang berada di Asia Tenggara sehingga mudah didapat. Keuntungan lain dari metode vegetasi seperti adalah ramah lingkungan. Hasil penelitian ini menjadi referensi dan rekomendasi pada pelaku pekerjaan geoteknik khususnya untuk kestabilan lereng yang mudah dan ekonomis.

4. Stablisasi lereng untuk pengendalian erosi dengan *soil bioengineering* menggunakan akar rumput vetiver (Aspian Noor , Journadi Vahlevi dan Fathurrozi, 2011). Kesimpulan dari penelitian ini yaitu Vetiver mempunyai kekuatan (*strength*) yang paling tinggi diantara semua jenis rumput. Vetiver memberikan estetika lebih baik karena bisa berdampingan dengan tumbuhan asli lainnya. Vetiver dapat hidup di tanah yang berpasir dan bersalinitas. Baris pagar vetiver dapat menahan pengikisan dari aliran air (*scouring of water flow*) hasil dari badai hujan lebat sebesar $0.028 \text{ m}^3/\text{det}$. Di tanah keras, akar vetiver hanya dapat mencapai 1 m, sedangkan pada tanah normal sampai 2 - 4 m. Biaya penanganan dengan vetiver $\pm 1/6 - 1/8$ dari cara konvensional (*stone based engineering*) dan selain itu lebih baik estetika dan lansekapnya. Layaknya barang hidup, tanaman perlu waktu untuk tumbuh, berkembang, dan mantap sebelum dapat berfungsi dan bahwa perlu pemeliharaan agar fungsinya dapat bertahan atau berkelanjutan. Vetiver diklasifikasikan sebagai rumput tapi berperilaku seperti karakteristik pohon. Jaringan akar vetiver yang massif dan panjang (2 - 4m) dan sangat cepat tumbuh (4 - 6 bulan), lebih baik daripada berbagai pohon lainnya, yang normal membutuhkan 2 - 5 tahun agar efektif. Vetiver bukan pengganti bangunan struktur tapi lebih baik sebagai pendukung. Pada kondisi ekstrem dan kritis, bangunan struktural dapat dikombinasikan dengan vetiver. Vetiver mempunyai manfaat sebagai stabilisasi *bioengineering* untuk menstabilkan tebing sungai, kanal irigasi, pengendalian erosi sungai dan tanggul pantai, lereng galian dan timbunan pada jalan raya, bukit pasir, erosi pada lahan pertanian yang berlereng.

5. Kajian Rumput Vetiver Sebagai Pengaman Lereng Secara Berkelanjutan (Susilawati, 2016). Flores merupakan salah satu pulau dalam wilayah Provinsi NTT, yang memiliki deretan gunung berapi, dengan topografi pegunungan. Transportasi darat yang merupakan jalan negara, menyusuri pantai dengan tebing tinggi di sisi lainnya, sering menimbulkan masalah saat musim hujan, yaitu banyaknya lereng yang longsor. Berbagai cara dilakukan untuk mengatasi longsor ini. Kajian rumput vetiver sebagai pengaman lereng dilakukan sebagai salah satu cara untuk mengamankan lereng secara berkelanjutan. Pertama-tama dilakukan evaluasi atas pekerjaan pengaman lereng sepanjang Jalan Nangaroro-Aegela yang menggunakan rumput vetiver sebagai pengaman lereng selain struktur pengaman lainnya, dengan pekerjaan yang sama untuk jalan antara Ende-Nangaroro dan Ende-Detusoko. Kajian ini meliputi aspek teknis, ekologis, proses konstruksi dan keberlanjutan dari infrastruktur yang telah dibangun. Selanjutnya, dilakukan studi pustaka untuk menemukan metode yang lebih tepat, ramah lingkungan dan berkelanjutan dalam mengamankan lereng bermasalah ini. Dari kajian dan studi pustaka yang telah dilakukan, dapat disimpulkan serta direkomendasikan beberapa model desain struktur ramah lingkungan dengan rumput vetiver dan geotekstil sebagai pengaman lereng secara berkelanjutan. Model desain yang direkomendasikan didasarkan pada pertimbangan beberapa aspek: teknis-memenuhi standar kekuatan, ekologis-ramah lingkungan, kearifan lokal-dikembangkan dari apa yang telah dilakukan oleh masyarakat, sehingga mudah dikerjakan dengan proses yang ramah lingkungan dan sistem berkelanjutan.