

## PENGUNAAN VEGETASI (RUMPUT GAJAH) DALAM MENJAGA KESTABILAN TANAH TERHADAP KELONGSORAN

I Nym. G. Santiawan<sup>1</sup>, I Gusti N. Wardana<sup>2</sup>, dan I Wayan Redana<sup>2</sup>

**Abstrak:** Keberadaan akar tanaman dapat mengurangi tegangan air pori positif dan memperbesar tegangan air pori negatif. Kemampuan ini meningkatkan kekuatan tanah khususnya tegangan geser dalam menjaga kestabilan lereng. Akar tanaman mempunyai kemampuan menyimpan air tanah yang baik dan menjaga kestabilan tanah terhadap perubahan kadar air akibat proses pembasahan dan proses pengeringan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan pada kondisi *initial*, basah dan kering terhadap tegangan air pori dan kekuatan geser tanah dengan dan tanpa akar tanaman rumput gajah. Penelitian ini juga mempelajari peningkatan tegangan air pori negatif dan kekuatan geser tanah dengan dan tanpa akar tanaman. Lebih lanjut pada penelitian ini akan mempelajari stabilitas lereng dengan peningkatan parameter geser tanah yang didapat.

Pengambilan benda uji dilakukan di daerah Bakas-Tohpati, Kabupaten Klungkung. Lokasi pengambilan benda uji merupakan daerah perbukitan dan dilindungi untuk mengurangi kerusakan seperti kerusakan tanaman dan kerusakan yang lainnya. Pengambilan benda uji menggunakan metode *undisturbed*. Pengujian dilakukan dengan uji geser langsung (*direct shear*) dan *triaxial* CU (*consolidated undrained*) pada tiga kondisi benda uji yaitu kondisi *initial*, kering ( $S_r \approx 0\%$ ) dan basah ( $S_r \approx 100\%$ ). Dari hasil pengujian didapatkan hubungan antara kadar air ( $w$ ), angka pori ( $e$ ), derajat kejenuhan ( $S_r$ ), kohesi efektif ( $c'$ ), sudut geser dalam efektif ( $\phi'$ ), tegangan air pori ( $u$ ) dan kekuatan geser ( $\tau'$ ).

Hasil pengujian menunjukkan bahwa, pada proses pembasahan dimana derajat kejenuhan mendekati kondisi jenuh ( $S_r \approx 100\%$ ), dapat meningkatkan tegangan air pori negatif dari benda uji dengan akar tanaman sebesar 45,45%. Pada proses pengeringan dimana derajat kejenuhan mendekati kondisi kering ( $S_r \approx 0\%$ ), dapat meningkatkan tegangan air pori negatif dari benda uji dengan akar tanaman sebesar 80,0%. Proses pengeringan atau pengurangan kadar air lebih lanjut akan menurunkan kekuatan geser tanah, karena berkurangnya fase air dalam tanah. Kondisi ini membuat meniskus air pori menjadi berkurang. Sehingga tanah mengalami kondisi terpisah-pisah dan sebagian besar pori-pori tanah terisi udara. Akibat kondisi ini, ikatan butiran tanah menjadi berkurang. Keberadaan akar tanaman dapat meningkatkan nilai kohesi efektif ( $c'$ ) sebesar 34,46%, sudut geser dalam efektif ( $\phi'$ ) sebesar 22,45% dan faktor keamanan (FK) lereng rata-rata sebesar 33,18%. Jadi dapat disimpulkan bahwa keberadaan akar tanaman dapat meningkatkan kestabilan lereng terhadap kelongsoran.

Kata kunci: kekuatan geser, tanah vegetasi, tegangan air pori negatif, kestabilan tanah.

## THE SUPPORT OF VEGETATION (RUMPUT GAJAH) IN SLOPE STABILITY

**Abstract:** The existence of crop roots is able to decrease positive pore water pressure and increase negative water pressure. This ability generates an increment of soil strength especially shear strength which provide more strength to retain slope stability.

<sup>1</sup> Alumnus dari Program Magister Teknik Sipil, Program Pasca Sarjana, Universitas Udayana, Denpasar.

<sup>2</sup> Dosen Program Magister Teknik Sipil, Program Pasca Sarjana, Universitas Udayana, Denpasar.

The crop roots have a potential ability in better saving ground water and keeping the ground more stable due to the variation (drying-wetting cycle) of its moisture content. The objectives of this research are to determine the change of initial, wetting and drying of pore water pressure value and soil shear strength with and with out the presence of crop roots. The research is also aimed to study the increasing of negative pore water pressure and soil shear strength with and with out crop roots. Moreover, it is also studied slope stability due to the increasing of soil strength parameters.

The specimens are taken from an area near Klungkung located in Bakas–Tohpati. The specimens area consist of hilly area and isolated to minimize the disturbances such as plants deterioration and other possible disturbances. The specimen is obtained by undisturbed method of sampling. Two tests of direct shear and triaxial CU are carried out for the three conditions of soil specimen, which are initial, dried ( $S_r \approx 0\%$ ), and wetted ( $S_r \approx 100\%$ ). The tests are expected to establish a relation of moisture content, void ratio, degree of saturated, effective cohesion, effective internal friction angle, pore water pressure and shear strength.

The test results show that the process of soil wetting at the degree of saturation reach 100% shall increase the negative pore water pressure on specimens with crop roots of 45.45%. On drying process at degree of saturation 0%, the negative pore water pressure increase about 80.00% for specimens with crop roots. The advanced drying process shall decrease soil shear strength due to the decreasing of water phase in the soil body. This condition will reduce pore water menisci, so the soil body will crack and most of soil pores fill with air. The soil bondings also reduce due to this situation. The existence of crop roots shall increase soil effective cohesion value of 34.46%, effective internal friction angle of 22.45%, and safety number of 33.18%. It is concluded that the existence of crop roots are able to increase the slope stability by slide.

Keywords: shear strength, soil vegetation, negative pore water pressure, soil stability.

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Curah hujan dengan durasi yang lama disertai intensitas yang tinggi merupakan salah satu faktor penyebab terjadinya bencana tanah longsor pada sebagian besar daerah di tanah air. Korban jiwa manusia dan kerugian ekonomi akibat tanah longsor menggambarkan betapa besar upaya yang harus dilakukan untuk mengantisipasi kelongsoran pada lereng yang kritis, baik didaerah perkotaan maupun lingkungan alam terpencil, dimana air memberikan kontribusi terhadap terjadinya kelongsoran terutama pada tanah lempung tak jenuh. Air masuk ke dalam tanah tak jenuh melalui: *infiltrasi* air permukaan, rembesan air dalam tanah dan naiknya muka air tanah. Ketiga peristiwa diatas merubah kondisi tak jenuh menjadi kondisi jenuh air pada sebagian lapisan

tanah. Akibatnya tanah mengalami perubahan kondisi mula–mula (*initial state*), sehingga lapisan tanah ini akan mengalami pengurangan kohesi akibat genangan dan hujan deras yang terjadi dengan periode yang cukup panjang serta memicu kelongsoran tanah pada bidang yang lemah.

Upaya penanganan melalui rekayasa geoteknik dengan menggunakan teknik–teknik perkuatan tanah menawarkan penyelesaian dengan biaya yang sangat mahal dan hanya dapat dilakukan pada lokasi–lokasi yang mudah dijangkau. Penggunaan sistem *soil bioengineering* seperti *vegetasi* merupakan salah satu cara alternatif untuk penanganan kelongsoran lanjutan serta kelongsoran jangka panjang yang perlu dipertimbangkan, mengingat beberapa keunggulannya.

### Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh *vegetasi* (akar rumput gajah) yang belum terganggu (masih hidup) terhadap tegangan air pori dan kekuatan geser tanah dalam menjaga stabilitas lereng.
2. Bagaimana pengaruh nilai faktor keamanan (FS) lereng dengan/tanpa adanya *vegetasi* (akar rumput gajah).

### Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan tegangan air pori dan kekuatan geser tanah yang mengandung akar tanaman rumput gajah dibandingkan dengan tanpa akar tanaman sehingga dapat menjaga stabilitas lereng.

### Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini adalah mencakup:

1. Pengujian sifat-sifat fisik tanah melalui pengujian *indeks properties* (kadar air tanah alami, *specific gravity*), Batas-batas *atterberg*, analisis *hydrometer* dan *sieve analysis*.
2. Pengujian benda uji dengan dan tanpa akar rumput gajah terhadap kekuatan geser tanah melalui pengujian sifat-sifat mekanis tanah yaitu uji *direct shear test* (geser langsung CD) dan *triaxial consolidated undrained test* (CU).
3. Pengambilan benda uji dilapangan dalam kondisi tidak terganggu (*undisturbed*) dengan dan tanpa akar tanaman rumput gajah, di daerah Bakas-Tohpati, Kecamatan Banjarangkan, Klungkung.

## MATERI DAN METODE

### Perkembangan Soil Bioengineering

Tegangan dalam tanah merupakan salah satu bagian penting dalam ilmu geoteknik. Apabila terjadi kelongsoran

lereng alam, maka terjadi perpindahan massa tanah baik secara alami atau karena aktivitas manusia. Seperti yang telah kita ketahui, penyebab kelongsoran pada umumnya adalah (1) rendahnya kuat geser tanah pembentuk lereng, (2) peningkatan beban luar atau kondisi hidrolis dan (3) tingginya kadar air untuk tanah lempung (Turnbull dan Hvorslev, 1967).

Beberapa cara yang dipergunakan untuk menjadikan lereng lebih aman dapat dibagi dalam dua golongan, yaitu (1) memperkecil gaya/momen penggerak seperti membuat lereng lebih datar (mengurangi sudut kemiringan) dan memperkecil ketinggian lereng; (2) memperbesar gaya/momen melawan seperti memakai *counterweight* (tanah timbunan pada kaki lereng), mengurangi tegangan air pori (membuat drainase, *vegetasi*), menggunakan cara mekanis (membuat dinding penahan, memasang tiang) dan menggunakan cara injeksi.

Dalam ilmu teknik sipil khususnya bidang geoteknik, dikenal dua terminologi yang lebih spesifik yaitu *biotechnical stabilization* yaitu kombinasi penggunaan material hidup dengan material buatan (*hard structures*) untuk memperkuat tanah serta menstabilkan lereng dan *soil bioengineering* yaitu penggunaan tanaman hidup dengan bagian-bagian dari tanaman seperti akar, cabang dan ranting serta batangnya yang berfungsi sebagai struktur utama (Redfield, 2000).

Istilah *bioengineering* secara umum dapat didefinisikan sebagai sesuatu yang berkaitan dengan penggunaan material hidup (*living material*) dalam hal ini tanaman rumput gajah (*vegetasi*) tanpa penggunaan material buatan (*nonliving material*) lainnya untuk mengatasi persoalan-persoalan teknik tertentu (Redfield, 2000). Akar merupakan bagian terpenting karena berkemampuan mengikat tanah dan berguna untuk sistem konstruksi penahan lereng disamping akar dapat menyerap air dari dalam tanah dan dilepas ke atmosfer melalui proses transpirasi

yang dapat menurunkan tegangan air pori (Gray dan Robbin, 1995).

Pertumbuhan batang tanaman mempengaruhi pencapaian kedalaman akar tanaman. Pada tanaman rumput gajah (*pennisetum purpureum*) dengan tinggi 3,5–4m akar dapat mencapai kedalaman 4,5 m seperti dikemukakan oleh Rismunandar (Indarto dan Hendra, 2004).

**Mekanisme Keruntuhan Lereng Tanah**

Perlawanan geser tanah akan menurun akibat terjadi akumulasi air dalam tanah sehingga menyebabkan ketidakstabilan suatu lereng yang dapat dijelaskan berdasarkan Teori Mohr Coulomb dengan memperhitungkan tegangan air pori ( $u$ ) adalah

$$\tau = c' + (\sigma - u) \tan \phi' \tag{1}$$

dimana

$\tau$  = kekuatan geser tanah (kN/m<sup>2</sup>).

$\sigma$  = tegangan normal pada bidang geser (kN/m<sup>2</sup>).

$\phi'$  = sudut geser dalam efektif

$c'$  = kohesi efektif (kN/m<sup>2</sup>).

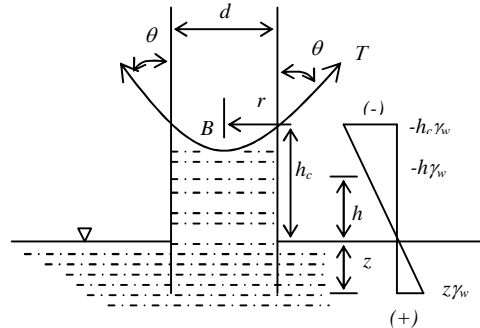
$u$  = tegangan air pori (kN/m<sup>2</sup>).

Peningkatan tegangan air pori positif ( $u$ ) akan menghasilkan pengurangan tekanan efektif sampai pada kondisi dimana kesetimbangan terlampaui ( $FK < 1$ ), sehingga terjadi keruntuhan.

**Tegangan Air Pori Negatif**

Pada umumnya tanah berada pada kondisi setengah jenuh (*partially saturated*), pada kondisi ini tegangan air pori dapat bernilai negatif yang menimbulkan terjadinya gaya serap (*soil suction* atau *matrix suction*) dan berpengaruh terhadap kuat geser tanah (*shear strength*). Pada kondisi tanah kenyang air, seluruh ruang pori tanah terisi air. Pada kondisi tidak kenyang air ruang pori tanah sebagian terisi udara dan sebagian terisi air yang merupakan *matrix suction* ( $u_a - u_w$ ) dan dapat membentuk suatu struktur meniskus air, yang timbul karena fenomena tegangan permukaan (*surface tension*). Prinsip terjadinya efek kapilaritas dapat diterangkan

dengan kenaikan muka air pada suatu tabung kapiler (Gambar 1).



**Gambar 1. Peristiwa Kapilaritas pada suatu Tabung Kapiler**

Pada kondisi setimbang, komponen vertikal dari gaya tarik sama besarnya dengan berat air yang naik, sehingga persamaannya :

$$2 \cdot \pi \cdot r \cdot T_s \cdot \cos \theta = \pi \cdot r^2 \cdot h_c \cdot \gamma_w \tag{2}$$

maka, ketinggian air  $h_c$  adalah :

$$h_c = \frac{2 \cdot T_s \cdot \cos \theta}{r \cdot \gamma_w} \tag{3}$$

dimana

$T_s$  = tegangan permukaan (*surface tension*).

$\theta$  = sudut kontak antara dinding tabung kapiler dengan  $T_s$

$\gamma_w$  = berat volume air.

Dari persamaan di atas terlihat bahwa harga tekanan air pori (*pore-water pressure*) untuk titik B yang terletak di atas muka air adalah berharga *negative* yang berarti bahwa tegangan tersebut bersifat tegangan tarik. Tegangan air pori inilah yang disebut sebagai tegangan air pori negatif atau *suction*.

*Suction maximum* terjadi dekat permukaan tanah pada akhir musim kering sehingga kapasitas *infiltrasi* maximum terjadi dekat muka tanah selama musim kering, sebaliknya *suction* minimum terjadi pada akhir musim penghujan sehingga keruntuhan lereng sering terjadi pada saat itu karena kapasitas *infiltrasinya* juga mencapai minimum (Najoan dan Soetijono, 2002).

**Kekuatan Geser pada Tanah Tidak Jenuh**

Pada tahun 1936, Terzaghi telah mengemukakan prinsip tegangan efektif yang berlaku pada suatu tanah jenuh sempurna.

Dalam konsep tegangan efektif terdapat 3 (tiga) macam tegangan yang bekerja pada suatu massa tanah yang mengalami pembebanan, yaitu:

- a. Tegangan normal total ( $\sigma$ ) pada bidang di dalam massa tanah, yaitu tegangan yang dihasilkan dari pembebanan, yang bekerja pada arah normal bidang.
- b. Tegangan air pori ( $u_w$ ) disebut juga tegangan netral yang bekerja ke segala arah sama besar, yaitu tegangan air yang mengisi pori atau rongga di antara butiran tanah padat.
- c. Tegangan normal efektif ( $\sigma'$ ) pada bidang di dalam massa tanah, yaitu tegangan yang dihasilkan dari pembebanan, dan bekerja pada bidang sentuh antar kerangka tanah.

Pada kenyataannya, tegangan air pori bekerja dominan pada  $a_w$ , sehingga dapat ditulis :

$$\sigma' = \sigma - a_w u_w \text{ atau} \tag{4}$$

$$\sigma' = \sigma - (1 - a_c) u_w \tag{5}$$

Karena ratio antara luasan kontak mineral terhadap luasan total  $a_c$ , adalah sangat kecil, maka dapat diabaikan sehingga  $a_c \approx 0$  (Lambe dan Whitman, 1969).

Persamaan (5) dapat ditulis menjadi :

$$\sigma' = \sigma - u \tag{6}$$

Dari perumusan di atas, dapat disimpulkan bahwa besar tegangan efektif pada suatu tanah jenuh sempurna sangat dipengaruhi oleh tegangan air porinya. Semakin besar tegangan air porinya, maka harga tegangan efektifnya akan semakin berkurang.

Bila tanah berada pada kondisi tidak jenuh sempurna, maka pori-pori tanah akan terisi oleh air dan udara. Pori-pori udara akan membentuk saluran-saluran yang saling menyambung melalui ruang di

antara butiran tanahnya, sedangkan air pori akan terkonsentrasi pada daerah sekitar bidang kontak antar partikel-partikel padat tanah.

Karena itu, pada kondisi tidak jenuh sempurna, persamaannya dapat ditulis :

$$a_a + a_c + a_w = 1 \tag{7}$$

dimana:

$a_a$  = ratio luasan kontak fase udara terhadap luasan total

Karena  $a_c = 0$ , maka  $a_a + a_w = 1$

Dan  $\sigma'$  dapat didefinisikan sebagai :

$$\sigma' = \sigma - u^* \tag{8}$$

dengan  $u^* = u_a a_a + u_w a_w$

$u_a$  = tegangan udara-pori

Bila diketahui  $a_a = 1 - a_w$ , maka dapat ditulis :

$$u^* = u_a (1 - a_w) + u_w a_w = u_a + a_w (u_w - u_a) \tag{9}$$

Sehingga persamaan (8) dapat diubah ke dalam bentuk:

$$\sigma' = \sigma - [u_a - a_w (u_a - u_w)] \tag{10}$$

(Bishop et.al., 1962) mengganti faktor  $a_w$  pada persamaan di atas dengan suatu parameter empiris  $X$ , sehingga persamaannya dapat ditulis ke dalam bentuk :

$$\sigma' = \sigma - [u_a - X (u_a - u_w)] \tag{11}$$

Parameter  $X$  dapat ditentukan secara eksperimental dan tergantung dengan derajat kejenuhan suatu tanah. Untuk massa tanah yang kering sempurna,  $X = 0$  dan untuk tanah yang jenuh sempurna, harga  $X = 1$ .

**Pengaruh Tanaman Terhadap Stabilitas Lereng**

Pengaruh adanya tanaman, dimana akar tanaman akan menyerap air hujan yang berinfiltrasi ke dalam tanah melalui proses *evapotranspirasi* oleh tanaman, dapat meningkatkan tegangan pori negatif dan membatasi timbulnya tegangan pori positif. Pengaruh ini menyebabkan perubahan pada kedua parameter (tegangan air pori dan tegangan udara pori) yang memberikan pengaruh terhadap tegangan geser serta volume tanah.

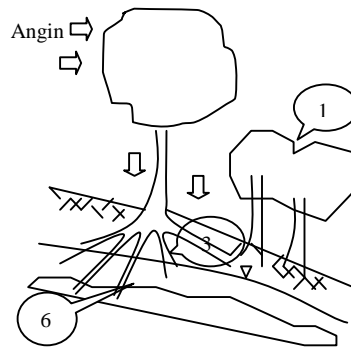
Peranan tanaman terhadap kelongsoran lereng dapat dilihat melalui pengaruh mekanisme hidrology dan mekanik (*hydro-mechanical mechanics*) yang terdapat dalam Gambar 2. dan penjelasannya dalam Tabel 1.

Pengaruh-pengaruh yang menguntungkan dari tanaman berkayu terhadap stabilitas massa tanah adalah sebagai berikut:

1. Perkuatan akar (*root reinforcement*): Akar tanaman memperkuat tanah secara mekanik melalui penyaluran tegangan geser tanah menjadi perlawanan tarikan oleh akar-akar tersebut.
2. Pengurangan kelembaban tanah (*soil moisture depletion*): Proses *evapotranspiration* dan penyerapan melalui daun dari tanaman dapat membatasi timbulnya tegangan air pori positif.
3. Penunjang dan penjangkaran (*buttressing and arching*): Bagian batang tanaman yang tertanam didalam tanah dapat berperilaku sebagai tiang-tiang

penopang dan tiang-tiang angker untuk melawan gaya geser kearah bawah lereng.

4. Pembebanan tambahan (*surchage*): Berat dari tanaman dalam beberapa keadaan tertentu dapat meningkatkan stabilitas melalui peningkatan tegangan normal pada bidang longsor.



**Gambar 2. Pengaruh Hidro-Mekanik Tanaman terhadap Stabilitas Lereng (Gray dan Robbin, 1995)**

**Tabel 1. Pengaruh Hidro-Mekanik Tanaman terhadap Stabilitas Lereng (Gray dan Robbin, 1995)**

	<b>Mekanisme secara hidrologi</b>	<b>Pengaruh</b>
1	Penyerapan dan penguapan oleh daun dapat mengurangi masuknya air hujan kedalam tanah	B
2	Akar dan batang meningkatkan kekasaran dari permukaan dan permeabilitas tanah, akan meningkatkan kapasitas penyerapan	A
3	Akar menyerap air dari dalam tanah dan dilepas ke atmosfer melalui proses transpirasi, akan menurunkan tegangan air pori	B
4	Berkurangnya kelembaban tanah dapat menyebabkan keretakan dalam tanah, sehingga akan meningkatkan kapasitas penyerapan	A
<b>Mekanisme secara mekanik</b>		
5	Akar - akar akan memperkuat tanah, sehingga dapat meningkatkan kekuatan geser tanah	B
6	Penjangkaran akar tanaman kedalam lapisan tanah keras	B
7	Berat beban tanaman akan meningkatkan gaya normal atau gaya dorong Kebagian bawah lereng	A/B
8	Tanaman yang terbuka terhadap terpaan angin akan menyalurkan gaya Gaya dinamik pada lereng	A
9	Akar mengikat partikel dipermukaan tanah, mengurangi terjadinya erosi permukaan.	B
Keterangan :		
A = Berdampak negatif terhadap stabilitas		
B = Berdampak positif terhadap stabilitas		

Beberapa metode pendekatan yang dipergunakan dalam mengendalikan kelongsoran dapat dibagi kedalam tiga kelompok yaitu

1. Metode *Vegetatif* berfungsi untuk melindungi tanah terhadap daya perusak butir-butir hujan yang jatuh, melindungi tanah dari daya perusak aliran permukaan tanah dan memperbaiki kapasitas *infiltrasi* tanah.
2. Metode *Mekanik* berfungsi memperlambat aliran permukaan dan menampung serta menyalurkan aliran air dengan kekuatan yang tidak merusak.
3. Metode *Kimia* berfungsi memperbaiki sifat-sifat fisik tanah sehingga mampu memantapkan aggregate-aggregat tanah menjadikan struktur tanah mantap dan pori tanah dapat terjaga dengan baik (Bailey, dkk., 1986).

**Metode Analisa Lereng dengan Vegetasi**

Najoan dan Soetjiono, 2002 mengatakan bahwa faktor keamanan lereng seperti pada Gambar 3 terhadap kelongsoran, tergantung pada rasio kekuatan geser tanah ( $\tau'$ ) dan tegangan geser ( $\tau_m$ ) yang dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$FK = \frac{\tau'}{\tau_m} \tag{12}$$

$$\tau' = f(c', \phi', \sigma_n, u) = c' + (\sigma_n - u) \tan \phi'$$

$$\tau_m = f(\beta, h, \gamma, h_t, g, a)$$

Bila ada akar tanaman maka persamaan berubah menjadi:

$$\tau' = (c' + c'R) + (\sigma_n - u) \tan(\phi' + \phi'R) \tag{13}$$

dimana:

$FK$  = Faktor keamanan terhadap longsor (>1 stabil,  $\leq 1$  longsor).

$\tau'$  = Kekuatan geser tanah

$\tau_m$  = Tegangan geser yang bekerja yang tergantung kemiringan lereng, tinggi, berat volume, retak susut, beban merata, percepatan gempa.

$c'$  = Kohesi tanah efektif

$c'R$  = Kontribusi akar terhadap kohesi tanah efektif

$\phi'$  = Sudut geser dalam efektif

$\phi'R$  = Kontribusi akar terhadap sudut geser dalam efektif

$\sigma_n$  = Tegangan normal yang tergantung kemiringan lereng, tinggi, berat volume, beban merata

$u$  = Tekanan air pori yang tergantung derajat kejenuhan dan muka air tanah

$\beta$  = Kemiringan lereng

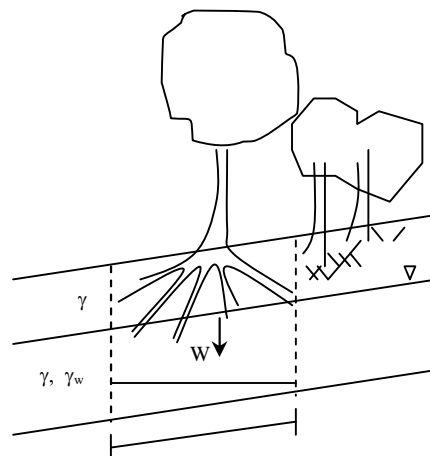
$h$  = Tinggi lereng

$\gamma$  = Berat volume

$h_t$  = kedalaman retak susut terisi air

$g$  = beban merata dan  $a$  = percepatan gempa

Persamaan (13) dipakai untuk menghitung stabilitas lereng dengan akar tanaman. Tahanan geser umumnya dihitung dengan menggunakan metode irisan (segmen) sama seperti metode tanpa akar tanaman yang akan dijelaskan pada sub bab berikut.



**Gambar 3. Asumsi Vegetasi dalam Analisa Stabilitas Lereng (Najoan dan Soetjiono, 2002)**

**Metode Perhitungan Lereng**

Perhitungan angka keamanan dari sebuah lereng yang direncanakan dapat menggunakan beberapa metode seperti dibawah ini.

**Metode Fellenius**

Perhitungan lereng dengan metode Fellenius dilakukan dengan membagi

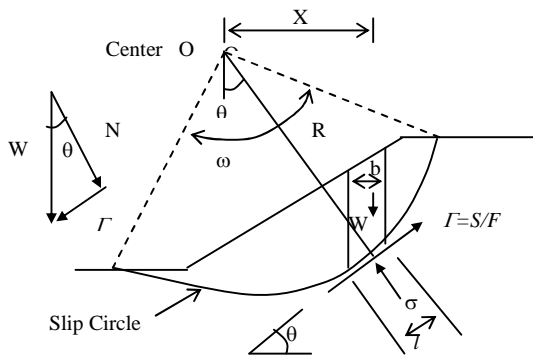
massa longsor menjadi segmen-segmen seperti pada Gambar 4, untuk bidang longsor *circular* adalah:

$$\sum W_i \cdot x_i = \sum \tau_i \cdot l_i \cdot R \quad (14)$$

$$FK = \frac{\sum \tau_i \cdot l_i \cdot R}{\sum W_i \cdot x_i} \quad (15)$$

dimana:

- $W_i$  = Berat segmen tanah (kN/m).
- $l_i$  = Panjang busur lingkaran pada segmen yang dihitung (m)
- $x_i$  = Jarak horisontal dari pusat gelincir ke titik berat segmen (m)
- $R$  = Jari-jari lingkaran keruntuhan (m).
- $\tau$  = Tegangan geser ( $\text{kg/cm}^2$ ).



**Gambar 4. Gaya yang bekerja pada longsoran lingkaran**

Untuk tanah kohesif ( $\phi = 0$ ), maka:

$$FK = \frac{C_u \cdot L}{\sum W_i \cdot \sin \theta_i} \quad (16)$$

dimana:

- $C_u$  = kuat geser tanah tak terdrainase
- $\theta$  = sudut antara bidang horisontal dengan garis kerja kohesi
- $L$  = panjang total busur gelincir

$$L = \frac{R \cdot \omega \cdot \pi}{180^\circ}$$

$\omega$  = sudut busur lingkaran gelincir

Untuk tanah c- $\phi$ , maka :

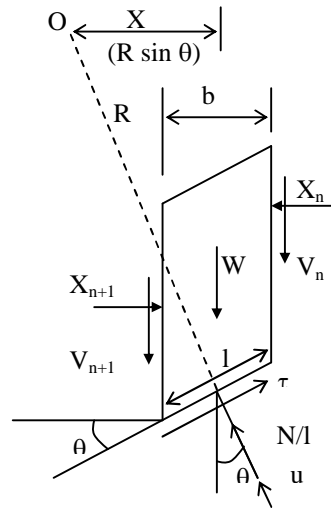
$$FK = \frac{C \cdot L + \tan \phi \sum W \cos \theta}{\sum W \cdot \sin \theta} \quad (17)$$

dimana:

- $C$  = kuat geser tanah
- $W$  = berat segmen tanah

### Metode Bishop

Metode Bishop ini memperhitungkan komponen gaya-gaya (horisontal dan vertikal) dengan memperhatikan keseimbangan momen dari masing-masing potongan, seperti pada Gambar 5. Metode ini dapat digunakan untuk menganalisa dengan tegangan efektif.



**Gambar 5. Stabilitas lereng dengan metode Bishop**

$$FK = \frac{1}{\sum W \cdot \sin \theta} \sum \left[ \frac{\{c \cdot b + W(1 - ub) \tan \phi\} \sec \theta}{1 + \frac{\tan \theta \cdot \tan \phi}{FK}} \right] \quad (19)$$

Dimana:

- $W$  = berat segmen tanah
- $cb$  = kohesi tanah
- $\theta$  = sudut antara bidang horisontal dengan garis kerja kohesi
- $\phi$  = sudut geser dalam
- $\beta$  = kemiringan lereng

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Hasil Pengujian Sifat Fisik

Hasil pengujian sifat fisik, menunjukkan bahwa tanah dikategorikan lempung dengan persen fraksi lempung 0,002 mm ( $2 \mu\text{m}$ ) berkisar antara 25,25-42,98%. Kadar air tanah berkisar antara 43-49%. Secara umum, dengan adanya akar, maka nilai batas cair (LL) akan

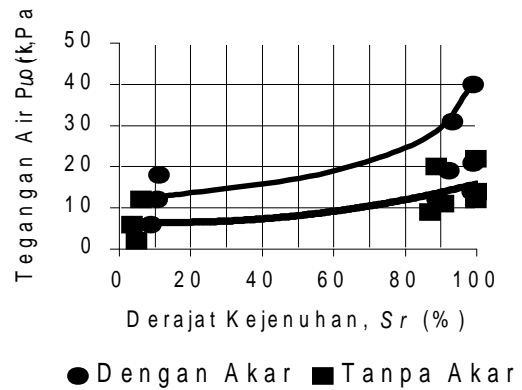


meningkat disertai peningkatan index plastisitasnya (PI) seperti pada Tabel 2.

**Hasil Pengujian Sifat Mekanis**

Proses pembasahan dapat meningkatkan tegangan air pori tanah dengan dan tanpa akar tanaman rumput gajah, dimana dengan peningkatan kadar air yang mendekati jenuh sempurna, pori-pori tanah akan lebih banyak terisi oleh air sehingga tegangan air pori menjadi meningkat yang dapat dilihat pada Gambar 6. Benda uji tanpa akar tanaman rumput gajah yang mengalami proses pengeringan cenderung memiliki tegangan air pori yang lebih kecil. Hal ini disebabkan oleh proses penyusutan massa tanah, dimana volume pori-pori tanah cenderung untuk mengecil, berbeda dengan yang ada akar tanaman, dimana akar masih menyimpan air yang menyebabkan nilai tegangan air pori

negatif bertambah dan dalam pori-pori tanah masih terdapat air yang dapat menjaga ikatan butiran tanah pada saat mencapai kondisi kering sempurna. Tegangan air pori yang tersisa inilah sering disebut tegangan air pori negatif.



**Gambar 6.** Hubungan antara derajat kejenuhan (Sr) dengan tegangan air pori (u)

**Tabel 2.a. Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah (Dengan Akar Rumput Gajah)**

Lokasi	Kedalaman (m)	Berat Isi Tanah (gr/cm <sup>3</sup> )	Specific Gravity (Gs)	Kadar Air w (%)	Persen Lolos Saringan 0,075 mm	Persen Fraksi Lempung 0,002mm (2 m)	Batas Cair LL (%)	Batas Plastis PL (%)	Index Plastisitas PI (%)	Kelas USCS	Jenis Tanah
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Atas	1	1.632	2.55	48.250	60.30	33.20	47.12	14.71	32.41	CL	Lempung Lanauan
	3	1.698	2.57	48.240	71.60	40.75	45.55	13.79	31.76	CL	Lempung Lanauan
Tengah	1	1.629	2.58	49.290	60.25	35.80	46.03	14.07	31.96	CL	Lempung Lanauan
	3	1.624	2.56	48.760	65.30	25.25	43.85	13.24	30.61	CL	Lempung Lanauan

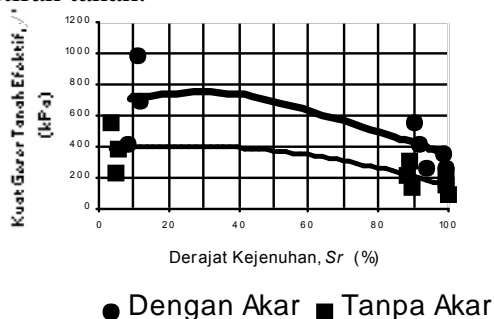
**Tabel 2.b. Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah (Tanpa Akar Rumput Gajah)**

Lokasi	Kedalaman (m)	Berat Isi Tanah (gr/cm <sup>3</sup> )	Specific Gravity (Gs)	Kadar Air w (%)	Persen Lolos Saringan 0,075 mm	Persen Fraksi Lempung 0,002mm (2 m)	Batas Cair LL (%)	Batas Plastis PL (%)	Index Plastisitas PI (%)	Kelas USCS	Jenis Tanah
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Atas	1	1.617	2.52	43.790	61.95	37.75	40.87	12.70	28.17	CL	Lempung Lanauan
	3	1.686	2.51	46.230	70.25	36.30	39.74	12.13	27.60	CL	Lempung Lanauan
Tengah	1	1.625	2.54	44.460	61.50	37.95	39.90	12.02	27.88	CL	Lempung Lanauan
	3	1.621	2.52	46.240	62.55	42.98	39.23	11.44	27.80	CL	Lempung Lanauan

Gambar 7 menunjukkan bahwa, proses pembasahan ( $S_r$  mendekati kondisi jenuh sempurna) pada benda uji dengan dan tanpa akar tanaman rumput gajah akan menurunkan kekuatan geser dari kondisi initial, karena kadar air yang berlebihan akan mengurangi ikatan butiran tanah atau kohesi sehingga kekuatan geser tanah juga akan menurun. Proses pengeringan benda uji dengan dan tanpa akar tanaman rumput gajah menyebabkan kenaikan kekuatan benda uji, namun proses pengeringan atau pengurangan kadar air lebih lanjut tidak akan menaikkan kekuatan dari benda uji.

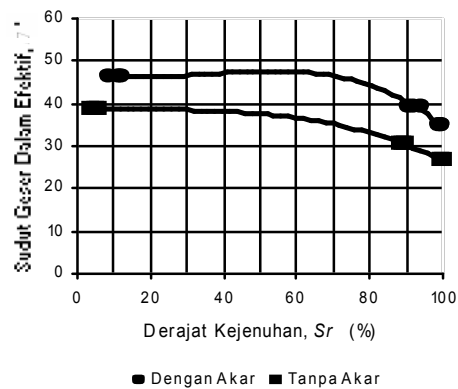
Karena pada kondisi derajat kejenuhan ( $S_r$ ) mendekati kering sempurna, fase air pada massa tanah mulai berkurang, sehingga benda uji mengalami kondisi terpisah-pisah dan luasan meniskus air pori mulai berkurang. Dengan demikian jumlah air yang terkandung dalam pori-pori tanah menjadi kecil dan sebagian besar pori-pori tanah akan terisi udara yang menyebabkan ikatan butiran tanah berkurang serta kekuatan geser tanah menjadi menurun.

Benda uji dengan akar tanaman mempunyai ketahanan terhadap perubahan kadar air akibat proses pengeringan dan pembasahan dibandingkan benda uji tanpa akar tanaman. Karena benda uji dengan akar tanaman mempunyai kemampuan menyimpan air yang lebih baik, sehingga pada saat mencapai kondisi kering sempurna, tanah masih memiliki kemampuan sisa ( $S_r\ res$ ) untuk mengikat butiran tanah.



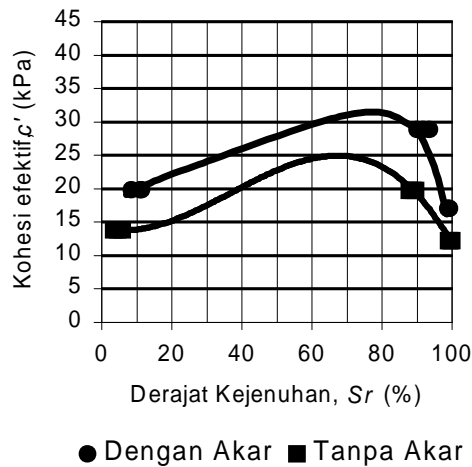
**Gambar 7. Variasi Kekuatan Geser Tanah ( $\tau'$ ) terhadap Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Pada kondisi mendekati jenuh sempurna, akar tanaman mampu menyerap air dan menahan air serta butiran tanah. Sehingga memberikan nilai tegangan air pori negatif, kohesi dan sudut geser dalam lebih besar dibandingkan tanpa akar tanaman. Hubungan derajat kejenuhan ( $S_r$ ) dengan sudut geser dalam ( $\phi'$ ) ditunjukkan pada Gambar 8. Setelah kemampuan sisa tersebut hilang, maka nilai sudut geser dalam mendekati benda uji tanpa akar tanaman.



**Gambar 8. Perubahan Sudut Geser Dalam Efektif ( $\phi'$ ) terhadap Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 9 menunjukkan bahwa, proses pembasahan ( $S_r$  mendekati jenuh sempurna) benda uji dengan dan tanpa akar tanaman rumput gajah menurunkan nilai kohesi, begitupula pada saat mendekati kondisi kering sempurna, dimana nilai kohesinya cenderung mengalami penurunan. Benda uji dengan akar tanaman rumput gajah memiliki nilai kohesi lebih besar dibandingkan benda uji tanpa akar tanaman. Benda uji tanpa akar tanaman lebih mudah mengalami perubahan nilai kohesi akibat proses pembasahan dan pengeringan. Karena dengan adanya akar, air lebih sulit melepaskan ikatan butiran tanah dan pada saat mencapai kondisi kering sempurna, akar tanaman masih menyimpan air sehingga mampu mengikat butiran tanah serta dapat mengurangi deformasi yang diakibatkan proses pembasahan dan pengeringan.



**Gambar 9. Perubahan Kohesi ( $c'$ ) terhadap Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Pengujian geser langsung dilakukan untuk memperoleh sudut geser dalam efektif ( $\phi'$ ) dan kohesi efektif ( $c'$ ) dengan suatu kecepatan penggeseran yang lambat. Uji geser langsung terkonsolidasi dengan

drainase ini dilakukan terhadap benda uji dengan dan tanpa akar tanaman rumput gajah pada kondisi initial, pengeringan dan pembasahan. Hasil uji geser langsung (*direct shear*) dapat dilihat pada Tabel 3.

Pada uji geser langsung (*direct shear*) terlihat bahwa:

- Peningkatan kuat geser maksimum tidak konstan. Hal ini disebabkan oleh perbedaan prosentase akar rata-rata ( $1m=0,459\%$  dan  $3m=0,240\%$ ), kemiringan akar ( $20^0-90^0$  terhadap horisontal) dan diameter akar rata-rata (0,8-2,1 mm) dari setiap benda uji.
- Peningkatan kuat geser maksimum benda uji dengan akar tanaman pada nilai kohesi efektif ( $c'$ ) rata-rata sebesar 45,84% dan sudut geser dalam efektif ( $\phi'$ ) rata-rata sebesar 19,77%, dibandingkan tanpa akar tanaman.

**Tabel 3. Hasil Uji *Direct Shear***

Lokasi	Kedalaman (m)	Dengan Akar		Tanpa Akar		Kondisi
		Kohesi eff. $c'$ (kPa)	Sudut Geser Dalam eff. ( $\phi'$ )	Kohesi eff. $c'$ (kPa)	Sudut Geser Dalam eff. ( $\phi'$ )	
1	2	3	4	5	6	7
Atas	1	19.900	30.756	12.890	26.679	Basah
		30.600	37.737	21.390	30.624	Initial
		21.700	43.523	15.790	38.176	Kering
	3	20.200	29.568	15.720	24.819	Basah
		27.800	29.832	21.520	27.520	Initial
		22.800	38.286	16.170	34.390	Kering
Tengah	1	20.500	32.297	12.110	26.962	Basah
		29.500	36.043	19.140	29.832	Initial
		27.200	40.706	16.880	37.406	Kering
	3	19.600	27.660	13.140	23.347	Basah
		28.200	28.891	20.230	25.687	Initial
		23.100	37.294	16.110	35.343	Kering

Pengujian *triaxial CU (consolidated undrained)* dilakukan dengan kondisi terkonsolidasi tanpa drainase dan tekanan balik. Selanjutnya dilakukan penjeñuhan dan konsolidasi (kondisi pembasahan),

konsolidasi tanpa penjeñuhan (kondisi *initial* dan kondisi pengeringan). Hasil pengujian *triaxial CU (consolidated undrained)* dapat dilihat pada Tabel 4.

Dari uji *Direct shear* dan *Triaxial CU* diperoleh hasil sebagai berikut:

- a. Dari hasil uji *triaxial CU* dengan akar tanaman rumput gajah, peningkatan nilai tegangan air pori negatif (-u) pada proses pembasahan rata-rata sebesar 45,45% dan pada proses pengeringan (-u) rata-rata sebesar 80%, nilai kohesi efektif (c') rata-rata meningkat sebesar 34,46% dan nilai sudut geser efektif ( $\phi'$ ) rata-rata meningkat sebesar 22,45% dibandingkan dengan tidak ada akarnya.
- b. Sudut geser dalam efektif ( $\phi'$ ) rata-rata hasil uji *Direct shear* untuk benda uji

tanpa akar dan dengan akar rumput gajah, bila dibandingkan dengan hasil uji geser *triaxial CU* mempunyai hasil kurang lebih sama. Namun peningkatan kohesi efektif (c') pada uji geser langsung dengan akar, lebih besar dibandingkan dengan hasil uji *triaxial CU*. Hal ini disebabkan karena bidang longsor pada uji *direct shear* dipaksa melewati bidang horisontal sehingga akar yang pada umumnya bersudut 20<sup>0</sup> sampai 90<sup>0</sup> terhadap horisontal berfungsi lebih optimal.

**Tabel 4. Hasil Uji Triaxial CU**

Lokasi	Kedalaman (m)	Dengan Akar			Tanpa Akar		Persen Akar (%)	Kondisi
		Kohesi eff. c' (kPa)	Sudut Geser Dalam eff. ( $\phi'$ )	Teg. Air Pori Negatif -u (kPa)	Kohesi eff. c' (kPa)	Sudut Geser Dalam eff. ( $\phi'$ )		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Atas	1	17,11	34,95	8,33	12,19	26,80	0,488	Basah
		28,92	39,53	10,00	19,76	30,66	0,498	Initial
		19,89	46,24	6,00	13,82	38,83	0,378	Kering
	3	16,35	30,12	5,67	13,45	24,93	0,248	Basah
		25,82	32,41	6,67	19,87	27,56	0,287	Initial
		18,67	40,25	3,67	14,79	34,84	0,207	Kering
Tengah	1	16,14	35,09	9,00	11,43	26,98	0,504	Basah
		27,11	38,33	7,33	18,31	29,75	0,481	Initial
		22,65	44,26	5,33	15,72	37,59	0,403	Kering
	3	14,71	29,18	6,00	12,37	23,74	0,227	Basah
		24,85	31,55	4,00	19,48	25,95	0,196	Initial
		19,44	41,63	5,33	15,52	35,91	0,274	Kering

**SIMPULAN DAN SARAN**

**Simpulan**

Dari uraian dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan beberapa hal berikut ini:

1. Persen peningkatan kuat geser tanah berbeda-beda tergantung prosentase akar rata-rata (1m = 0,459% dan 3m = 0,240%), kemiringan akar dan diameter rata-rata akar dari setiap benda uji,

dimana diameter rata-rata akar pada benda uji adalah 0,8 - 2,1 mm.

2. Proses pengeringan dan pembasahan yang mendekati kondisi ekstrim (jenuh sempurna dan kering sempurna) pada benda uji dengan dan tanpa akar tanaman rumput gajah akan menurunkan nilai sudut geser dalam tanah. Benda uji dengan akar tanaman pada saat mencapai kondisi kering sempurna, masih memiliki kemampuan sisa (nilai tegangan air pori negatif) dalam

mengikat butiran tanah yang dapat memperkuat kontak antar butiran sehingga sudut geser dalam akan lebih besar dan setelah kemampuan sisa tersebut hilang, maka nilai sudut geser dalamnya akan mendekati benda uji tanpa akar tanaman.

3. Kuat geser tanah dengan dan tanpa akar tanaman akan menurun pada saat mencapai kondisi jenuh sempurna dimana derajat kejenuhan ( $S_r$ ) meningkat akibat penambahan kadar air, sehingga ikatan butiran tanah akan berkurang atau kohesinya akan berkurang.
4. Proses pengeringan benda uji dengan dan tanpa akar tanaman akan meningkatkan kekuatan tanah, namun proses pengeringan atau pengurangan kadar air lebih lanjut tidak akan menaikkan kekuatan tanah. Karena pada kondisi derajat kejenuhan ( $S_r$ ) mendekati kering sempurna, fase air dalam tanah mulai berkurang, sehingga tanah mengalami kondisi terpisah-pisah dan luas meniskus air pori mulai berkurang serta sebagian besar pori-pori tanah akan berisi udara yang menyebabkan ikatan butiran tanah berkurang dan kekuatan geser tanah juga menurun.
5. Keberadaan akar tanaman rumput gajah dapat meningkatkan nilai tegangan air pori negatif ( $-u$ ) pada proses pembasahan rata-rata sebesar 45,45% dan pada proses pengeringan rata-rata sebesar 80%, nilai kohesi efektif ( $c'$ ) rata-rata sebesar 34,46% dan sudut geser dalam efektif ( $\phi'$ ) rata-rata sebesar 22,45%, dimana parameter-parameter tanah ini dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan faktor keamanan ( $FK$ ) stabilitas lereng rata-rata sebesar 33,18%. Jadi keberadaan akar tanaman dapat meningkatkan faktor keamanan ( $FK$ ) dan menjaga kestabilan lereng.

#### Saran

1. Tanaman rumput gajah perlu ditanam lebih banyak, dimana akar tanaman

dapat menyerap dan menyimpan air lebih banyak sehingga meningkatkan tegangan air pori negatif yang dapat meningkatkan kekuatan geser untuk menahan kelongsoran tanah.

2. Tanaman rumput gajah pada penelitian ini dapat dipakai untuk menjaga kestabilan lereng.
3. Penelitian penggunaan jenis-jenis tanaman untuk menjaga stabilitas lereng sebaiknya dikembangkan lebih lanjut agar diperoleh pemilihan tanaman yang tepat.
4. Penelitian teknologi soil bioengineering (tanaman rumput gajah) lebih lanjut dapat di kombinasikan dengan metode Konvensional (seperti: Geotextile, dinding penahan tanah, dll) untuk lereng yang dalam.
5. Penelitian ini hanya melakukan pengujian di laboratorium dan selanjutnya dapat dilakukan juga dilapangan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada I Made Dodiek Wirya A., S.T, MT. sebagai pembimbing akademik atas masukan serta bantuannya dalam penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bailey, H.H., et al. 1986. *Dasar-dasar Ilmu Tanah*, Edisi Ketiga. Universitas Lampung.
- Bishop A.W. and Henkel D.J. 1962. *The Measurement of Soil Properties in The Triaxial Test*, Second Edition, Edward Arnold, Ltd.
- Bowles, J.E. 1992. *Engineering Properties of Soils and Their Measurements*, 4 th. Ed. McGraw-Hill.
- Fredlund, D.G. and Rahardjo, H. 1993. *Soil Mechanics for Unsaturated Soils*, John Wiley and Sons.
- Gerard A. dan Kuncoro I. 2002. *Penggunaan Vegetasi sebagai Metode Stabilisasi Lereng*, Prosiding Seminar Nasional Slope 27 April 2002

- HATTI, GEC, UNIKA Parahyangan Bandung.
- Gray, D.H. and Robbin B.S. 1995. *Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization*, John Wiley and Sons, Inc.
- Grimshaw D. 2000. *Vetiver Grass The Hedge Against Erosion*, The World Bank Washington D.C.
- Hardiyanto H.C. 1992. *Mekanika Tanah*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Holtz R.D. and Kovacs W.D. 1976. *An Introduction to Geotechnical Engineering*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- Indarto dan Hendra G. 2004. *Pengaruh Keberadaan Akar Rumput Gajah Terhadap Kelakuan Tanah Lanau Disturbed Yang Dipadatkan Pada Standard Proctor Saat Mengalami Siklus Pengeringan - Pembasahan*, Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan-VIII 3-4 Agustus HATTI, Jakarta.
- Koerner R.M. 1992. *Geosynthetics in Filtration, Drainage and Erosion Control*, Geosynthetic Research Institute, Drexel University, Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- Ladd, C.C. 1971. *Strength Parameters and Stress-Strain Behaviour of Saturated Clays*, M.I.T., Boston, Mass.
- Lambe T.W. and Whitman R.V. 1969. *Soil Mechanics Version SI*, John Wiley and Sons.
- Mudjihardjo. D. dan Cindarto. 2002. *Pengaruh Tekanan Kandungan Air Pori Terhadap Kestabilan Lereng Tanah*, Prosiding Seminar Nasional Slope 27 April HATTI, GEC, UNIKA Parahyangan Bandung.
- Najoan T.F. dan Soetjiono C. 2002. *Pengaruh Akar Tanaman terhadap Kekuatan Geser Tanah*, Prosiding Seminar Nasional Slope 27 April 2002 HATTI, GEC, UNIKA Parahyangan Bandung.
- Nurly G. dan Setiawan, B. 2002. *Pengaruh Peningkatan Kandungan Air Terhadap Potensi Keruntuhan Lereng Tanah*, Prosiding Seminar Nasional Slope 27 April 2002 HATTI, GEC, UNIKA Parahyangan Bandung.
- Rahardjo, P.P. dan Salim, E.F. 1995. *Manual Kestabilan Lereng*, Geotechnical Engineering Center, UNIKA Parahyangan Bandung.
- Freeze R.A. and Cherry J.A. 1979. *Groundwater*, Prentice-Hall. Inc, New Jersey.
- Redfield, E. 2000. *Soil Bioengineering and Biotechnical Stabilization*, Renewable Resources 575 Advanced Revegetation, University of Alberta.
- Sandra L.H. and Warren K.W. 1993. *Unsaturated Soils, Proceedings Unsaturated Soils and Shallow Foundations of the Geotechnical Engineering Division*, American Society of Civil Engineers, ASCE.
- Santiawan, 2006. *Penggunaan Vegetasi (Rumput Gajah) Dalam Menjaga Kestabilan Tanah Terhadap Kelonggaran*, Tesis Program Magister Teknik Sipil, Universitas Udayana Denpasar.
- Sirley L.H. 1987. *Geoteknik dan Mekanika Tanah*, Nova, Bandung.
- Suhardjito dan Zanussi F.X. 1997. *Slope Stability on The Expansive Soils*, Seminar Sehari, Pemda Tk. II Semarang, Bhumi Manyar Permai P.T., Unika Semarang.
- Turnbull, W.J. and Hvorslev, M.J. 1967. *Special Problems in Slope Stability*, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, July.