

# Karakteristik Kuat Geser Tanah Dengan Tanpa Akar Vegetasi Pada Lereng Ruas Tawaeli -Toboli

Martini<sup>a\*</sup>, I.W. Sutapa<sup>b</sup> dan S. Ramadhani<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Mahasiswa Pascasarjana S3 Teknik Sipil Universitas Tadulako, Jl. Soekarno-Hatta Km 9, Palu 94118, Indonesia

<sup>b</sup>Pascasarjana Teknik Sipil Universitas Tadulako, Jl. Soekarno-Hatta Km 9, Palu 94118, Indonesia

\* Corresponding author's e-mail: [martini\\_geotech@yahoo.com](mailto:martini_geotech@yahoo.com)

Received: 15 December 2024; revised: 18 January 2025; accepted: 2 February 2025

**Abstract:** The contribution of vegetation to slope stability is based on hydrological and mechanical aspects. The effect of vegetation on the hydrological aspect is to reduce soil water content through transpiration, interception and evapotranspiration. And the mechanical influence of vegetation is through strengthening the roots in the soil. Water absorption by vegetation varies depending on age and density, rainfall factors and soil type. Cohesion ( $c$ ) and friction angle ( $\phi$ ) are soil shear strength parameters. In soil that has vegetation roots, it will form a composite material, namely the root-soil model, there is an increase in cohesion value with the presence of roots, this is what is called apparent cohesion ( $c'R$ ). Several parameters that are believed to influence the shear strength of the soil and roots will also be studied, namely the physical properties of the roots, namely diameter, type of root/vegetation, and water content. For mechanical properties, namely the tensile strength of the roots, the shear strength parameters of the soil both without and with roots, namely cohesion, apparent cohesion and internal friction angle. The type of vegetation reviewed in this research is elephant grass with fibrous roots. The results obtained indirectly by increasing the value of cohesion and angle of friction in the soil due to the presence of roots influence/increase the shear strength of the soil. The volume of roots in the soil greatly influences changes in the cohesion value or angle of friction of the soil. As the root volume decreases, the shear strength value decreases, the shear strength parameter also decreases. In this study, the change in soil shear strength values in sandy soil conditions, the increase in cohesion value was not as significant compared to the change in friction angle values.

**Keywords:** Tawaeli-Toboli, slope, shear strength, root, vegetation

**Abstrak:** Kontribusi vegetasi terhadap stabilitas lereng berdasarkan pada aspek hidrologi dan aspek mekanis. Pengaruh vegetasi pada aspek hidrologi adalah menurunkan kadar air tanah melalui transpirasi, intersepsi, dan evapotranspirasi. Dan pengaruh mekanis vegetasi adalah melalui perkuatan akar pada tanah. Penyerapan air oleh vegetasi bervariasi tergantung pada umur dan kepadatan, faktor curah hujan dan jenis tanah. Kohesi ( $c$ ) dan sudut gesek ( $\phi$ ) adalah parameter kuat geser tanah. Pada tanah yang ada akar vegetasi akan membentuk material yang komposit, yaitu model akar-tanah, terjadi penambahan nilai kohesi dengan adanya akar, inilah yang disebut sebagai *apparent cohesion* ( $c'R$ ). Beberapa parameter yang diyakini berpengaruh terhadap kekuatan geser tanah-akar ini juga akan kaji, yaitu sifat fisik akar yaitu diameter, jenis akar/vegetasi, dan kadar air. Untuk sifat mekanis yaitu kuat tarik dari akar, parameter kuat geser tanah baik tanpa dan dengan akar, yaitu kohesi, *apparent cohesion* serta sudut gesek dalam. Jenis vegetasi yang ditinjau pada penelitian ini adalah rumput gajah dengan akar serabut. Hasil yang diperoleh secara tidak langsung dengan semakin bertambah nilai kohesi dan sudut gesek dalam tanah akibat adanya akar mempengaruhi/ menaikkan kuat geser tanah tersebut. Volume akar dalam tanah sangat berpengaruh terhadap perubahan nilai kohesi atau sudut gesek tanah. Semakin berkurang volume akar nilai kuat geser, parameter kuat geser juga berkurang. Dalam penelitian ini perubahan nilai kuat geser tanah pada kondisi tanah berpasir, untuk penambahan nilai kohesi tidak begitu signifikan dibandingkan dengan perubahan nilai sudut gesek.

**Kata kunci:** Tawaeli-Toboli, lereng, kuat geser, akar, vegetasi

## 1. Pendahuluan

Poros Tawaeli Toboli merupakan Jalan Trans Sulawesi yang mempunyai fungsi yang sangat penting. Ruas jalan ini berfungsi penting sebagai penghubung Kota Palu dengan kabupaten-kabupaten di Sulawesi Tengah khususnya dan kota-kota di pulau Sulawesi umumnya. Ruas jalan ini mempunyai panjang  $\pm 45$  Km, topografi yang dilalui oleh jalan ini sebagian besar adalah daerah pegunungan yang mempunyai kemiringan lereng yang cukup terjal. Ruas jalan ini lebih dikenal masyarakat Sulawesi Tengah sebagai jalur Kebun Kopi karena di puncak ruas ini, terletak sebuah desa yang disebut Kebun Kopi. Kebun Kopi terletak pada ketinggian sekitar 800-an meter di atas permukaan laut dan menjadi tempat persinggahan setelah menyusuri jalan

sepanjang 25 kilometer dari arah Toboli ke Tawaeli atau sebaliknya.

Pokok permasalahan terletak pada lereng, baik lereng atas (tebing) maupun lereng bawah (jurang). Longsor yang terjadi pada kedua lereng tersebut masih sering terjadi, terutama ketika musim penghujan. Bila lereng atas yang longsor, maka badan jalan akan tertimbun, dan jika lereng bawahnya yang jatuh, maka badan jalan akan ikut longsor pula. Kelongsoran yang terjadi pada ruas ini, beberapa diantaranya karena pengaruh kondisi alam dimana lapisan tanahnya sangat labil dan mudah tererosi, struktur geologi didominasi oleh batuan molase dan metamorf dengan pelapukan tinggi. Kondisi ini diperparah lagi oleh lingkungan yang semakin terganggu dengan perkebunan rakyat yang semakin meluas, ditambah lagi adanya patahan

(sesar) yang berakibat kejadian gempa tektonik yang cukup aktif melintas di ruas ini.

Metode penanganan lereng dengan menutupi permukaan lereng dengan bahan geotekstil dan menanam permukaan lereng tersebut dengan tanaman rambat dapat meminimalisir kelongsoran. Konsep ini akan berhasil jika tanaman rambat yang ditanami dipermukaan lereng tumbuh, dan membentuk suatu material yang komposit antara bahan geotekstil, akar tanaman, dan tanah. Konsep penanganan stabilitas lereng dengan menggunakan tanaman/vegetasi populer dengan istilah *Bio-Engineering*. *Bio-Engineering* mulai diperkenalkan untuk mengatasi masalah kelongsoran lereng dan erosi sejak tahun 1930 dan metode ini merupakan salah satu metode penanganan lereng terhadap longsor dangkal yang sebagian besar terjadi pada musim penghujan.

Kontribusi vegetasi terhadap stabilitas lereng berdasarkan pada aspek hidrologi dan aspek mekanis. Pengaruh vegetasi pada aspek hidrologi adalah menurunkan kadar air tanah melalui transpirasi, intersepsi, dan evapotranspirasi. Dan pengaruh mekanis vegetasi adalah melalui perkuatan akar pada tanah. Penyerapan air oleh vegetasi bervariasi tergantung pada umur dan kepadatan, faktor curah hujan dan jenis tanah. Vegetasi dengan penahan akar yang dalam dan ikatan akar yang kuat lebih berpotensi menjaga kestabilan lereng [1]. Aspek mekanis dari sistem akar-tanah akan berdampak terhadap *apparent cohesion*. *Apparent cohesion* berasal dari kekuatan tarik akar, serta kekuatan kapiler gaya di tanah jenuh sebagian. *Apparent cohesion* dapat diukur menggunakan alat uji geser langsung, dengan model tanah-akar [2].

Efek hidro-mekanis dari akar meningkatkan *matriks suction* oleh evapotranspirasi ( $u_a - u_w$ ), perubahan kadar air volumetrik oleh serapan air tanaman ( $X$ ), dan meningkatkan kohesi tanah yang efektif karena penguatan matriks akar ( $C_R$ ), sementara vegetasi dan beban angin dapat meningkatkan biaya tambahan ( $S_w$ ) dan meningkatkan gaya beban angin sejajar dengan lereng ( $F_{wind}$ ). Efek vegetasi hidro-mekanis dapat meningkatkan atau menurunkan stabilitas lereng tergantung pada faktor kecuraman lereng, diameter akar, kedalaman akar, rasio luas akar, morfologi akar, tanah agregat, musim atau cuaca (basah, kering, salju), jenis vegetasi, bentuk lereng, lokasi, dan jarak vegetasi [3]. Peran vegetasi pada stabilitas tanah dangkal pada kondisi *unsaturated transient regime*. Dua utama efek positif dari vegetasi pada stabilitas lereng yaitu efek geo-mekanis, yaitu penguatan tanah oleh akar tanaman, dan efek hidrologis tanah, yaitu *suction regime* tanah akibat serapan air akar. Distribusi akar diasumsikan sebagai model eko-hidrologi, yang memprediksi kerapatan akar sebagai fungsi dari iklim lokal kondisi musim tanam dan sifat hidrologis tanah. Distribusi akar yang diprediksi digunakan untuk menilai variabilitas vertikal dari *apparent cohesion* akibat akar dan serapan air oleh akar. Geo-mekanis dan hidrologi tanah efek pada stabilitas lereng diperiksa dengan model stabilitas lereng tak terbatas, digeneralisasikan untuk kondisi tak jenuh. Efek geo-mekanis cenderung lebih relevan daripada efek hidrologi tanah pada musim hujan, dengan kedalaman hingga dua kali lipat kedalaman akar rata-rata [4].

Pengaruh ukuran partikel pasir terhadap kekuatan geser sampel pasir akar akari, uji geser langsung dilakukan

pada sampel pasir dan pasir-akar dari berbagai ukuran partikel. Sampel disiapkan dengan panjang 2,54 cm akar vetiver dengan kadar air 15%. Kandungan akar adalah 3% dari berat kering tanah. Sudut gesek dalam, berkurang dengan penurunan ukuran partikel untuk kasus pasir dan sampel pasir berakar [5].

Kondisi lereng-lereng pada ruas jalan ini masih sangat lebat dengan tumbuhan/vegetasi yang sangat beragam. Mengapa kita tidak memberdayakan keragaman vegetasi ini sebagai salah satu metode penanganan ketidak stabilan lereng pada ruas jalan ini?. Metode ini cukup efektif dan murah dan ramah lingkungan, memanfaatkan vegetasi yang memang tumbuh di ruas jalan ini. Penelitian ini mencoba membahas hubungan akar vegetasi terhadap parameter kuat geser tanah-akar, kuat geser tanah-akar dan pengaruhnya terhadap tingkat kestabilan lereng pada beberapa jenis vegetasi yang tumbuh di lereng-lereng ruas Tawaeli-Toboli.

Kohesi ( $c$ ) dan sudut gesek ( $\phi$ ) adalah parameter kuat geser tanah. Pada tanah yang ada akar vegetasi akan membentuk material yang komposit, yaitu model akar - tanah, terjadi penambahan nilai kohesi dengan adanya akar, inilah yang disebut sebagai *apparent cohesion* ( $c'R$  atau  $\Delta c$ ). Beberapa parameter yang diyakini berpengaruh terhadap kekuatan geser tanah-akar ini juga akan kaji, yaitu sifat fisik akar yaitu diameter, jenis akar/vegetasi, dan kadar air. Untuk sifat mekanis yaitu kuat tarik dari akar, parameter kuat geser tanah baik tanpa dan dengan akar, yaitu kohesi, *apparent cohesion* serta sudut gesek dalam.

### 1.1 Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang diberikan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. berdasar pengertian ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh [6]:

- a) Kohesi tanah ( $c$ ) yang tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.
- b) Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.

Menurut teori Mohr-Coulomb tahanan geser/kuat geser yang dapat dikerahkan oleh tanah disepanjang bidang gesernya dinyatakan dengan persamaan:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

dengan :

$\tau$  = kuat geser tanah

$c$  = kohesi tanah

$\phi$  = sudut gesek tanah ( $^\circ$ )

$\sigma$  = tegangan normal pada bidang geser

Pada kondisi ada air nilai tegangan efektif dipengaruhi oleh tekanan air pori, sehingga berpengaruh juga pada kuat geser. Terzaghi mengubah persamaan Coulomb dalam bentuk tegangan efektif.

$$\tau = c' + (\sigma - u) \tan \phi' \quad (2)$$

atau

$$\tau = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (3)$$

dengan :

- $c'$  = kohesi tanah efektif
- $\sigma'$  = tegangan normal efektif
- $u$  = tekanan air pori
- $\phi'$  = sudut gesek efektif

1.2 Kuat Geser Tanah-Akar

Perkuatan tanah oleh akar vegetasi dapat dievaluasi dengan sebagai model makro atau model interaksi tanah-akar vegetasi. Model yang pertama menganggap sistem sebagai bahan homogen, yang sifat-sifatnya ditentukan oleh pengujian pada tanah yang diperkuat. Kuat geser tanah direpresentasikan sebagai amplop Mohr-Coulomb. Bentuk persamaan Mohr-Coulomb seperti ada persamaan 1, 2, dan 3. Dengan adanya perkuatan akar pada tanah maka efek dari perkuatan akar ditampilkan dalam persamaan Mohr-Coulomb tersebut sehingga menjadi:

$$\tau = (c' + c'R) + (\sigma - u) \tan \phi' \tag{4}$$

Model teoritis yang dikembangkan [7], memperkirakan bahwa peningkatan kuat geser tanah dengan adanya akar. Akar diasumsikan fleksibel, elastik dan tegak lurus terhadap bidang gelincir dan tidak berpengaruh terhadap sudut gesek dalam tanah, namun berpengaruh terhadap kohesi, yang disebut sebagai kohesi tambahan atau *apparent cohesion* ( $c'R$ ). Besaran dari *apparent cohesion* ( $c'R$ ) dapat ditentukan persamaan :

$$c'R = [\sigma_r (\cos\theta + \sin\theta \tan\phi)] a_r \tag{4}$$

dengan  $\sigma_r$  = tegangan tarik rata-rata dari akar/perkuatan ,  $a_r$  =  $A_r/A$ , (rasio luas akar) dan,

$$\theta = \tan^{-1} \left[ 1 / \left( \frac{\Delta x}{z} + \tan^{-1} \epsilon \right) \right] \tag{5}$$

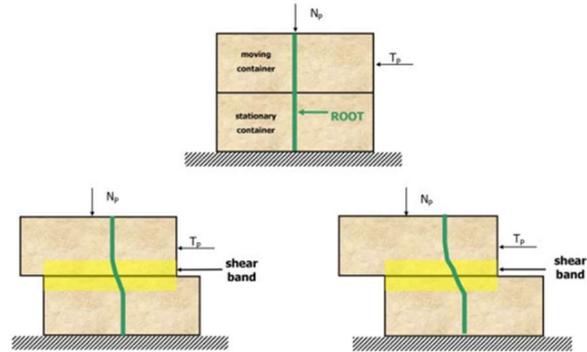
Persamaan pengaruh dari orientasi akar ( $\theta$ ) untuk tanah yang mempunyai nilai  $\phi > 30^\circ$  dengan memberikan angka koreksi  $K = 1.2$  sehingga persamaanya menjadi, [7]:

$$c'R = 1.2 \sigma_r \sum A_i / A \tag{6}$$

Penentuan nilai tegangan tarik/kuat tarik pada persamaan 5, metode pengujiannya diistilahkan sebagai WWM [8], dimana ujinya tarik dilakukan per akar dan kemudian hasilnya dijumlahkan dan kemudian dirata-ratakan. Namun [9], mengasumsikan faktor koreksi  $K = 1$ , yang berbeda dalam menentukan nilai tegangan tarik akar, bukan jumlah nilai tegangan rata-rata dari setiap akar, namun dalam pengujian tegangan tarik, akar-akar diikat menjadi satu bundel yaitu metode FBM [8], dalam diameter tertentu lalu diberikan gaya tarik. menyarankan angka koreksi ( $K$ ) = 1 – 1.3, namun dengan faktor koreksi sebesar ini, akan menghasilkan nilai yang lebih tinggi dari yang sebenarnya (*over estimated*) [10].

Nilai *apparent cohesion* juga dapat diperoleh melalui uji geser langsung atau triaksial. Namun nilai *apparent cohesion* sudah menjadi satu kesatuan dalam nilai kohesi dalam tanah . Persamaan 4, bagian ( $c + c'R$ ) akan langsung diperoleh dari analisa hasil pengujian geser langsung atau triaksial. Hambatan atau permasalahan metode ini adalah membentuk sampel tanah-akar yang mewakili kondisi besar/dalamnya akar dilapangan. Sebagian besar penelitian lebih

menggunakan pengujian geser langsung dalam memodelkan kekuatan geser tanah-akar dan melakukan modifikasi dalam ukuran kotak geser (ukuran yang lebih besar dari standar yang ada). Gambar 1 memperlihatkan mekanisme kerja dari akar yang berperan sebagai perkuatan dalam tanah di model uji geser langsung



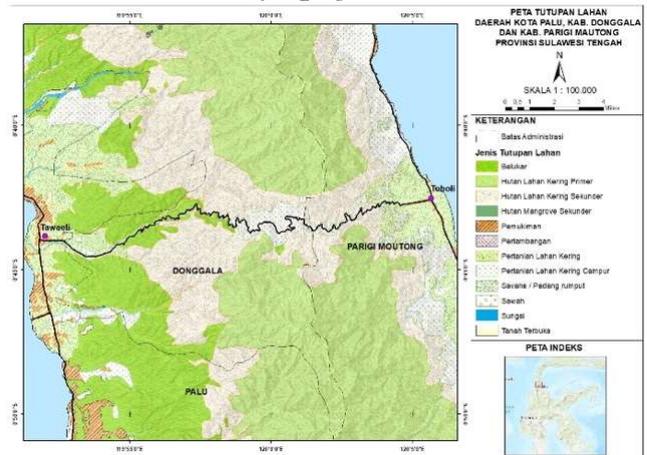
Gambar 1. Skematik pengujian geser langsung dengan model tanah-akar [10].

2. Metode Penelitian

2.1 Lokasi Penelitian

Gambar 2 memperlihatkan letak ruas Jalan Tawaeli Toboli di wilayah propinsi Sulawesi Tengah. Ruas Jalan ini mempunyai peran yang sangat penting, khususnya sebagai jalan penghubung antar kabupaten di wilayah Sulawesi Tengah dan juga antar propinsi di wilayah Sulawesi.

Sebagian besar lahan disepanjang jalan ini tertutupi oleh vegetasi yang cukup lebat. Vegetasi yang memang tumbuh secara alamiah dan vegetasi yang sengaja ditanam yang merupakan tanaman perkebunan seperti sayur-mayur dan buah-buahan. Perkebunan cengkeh masih cukup luas pada daerah ini. Dengan adanya perubahan tata guna lahan serta pelebaran jalan ini berdampak pada kelongsoran pada lereng terutama ketika musim penghujan.

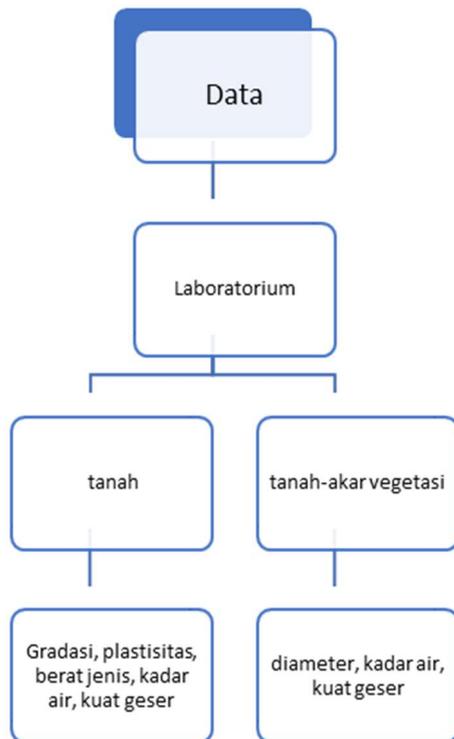


Gambar 2. Ruas jalan Tawaeli Toboli

2.2 Data

Data yang diperlukan data lapangan dan data laboratorium. Lebih jelasnya apa saja data yang perlu diketahui dapat dilihat pada Gambar 3. Pengujian kuat geser tanah dilakukan dengan alat uji geser langsung, dengan sampel tanah saja dan sampel tanah -akar. Vegetasi yang

ditinjau pada kajian ini adalah rumput gajah yang berakar serabut.

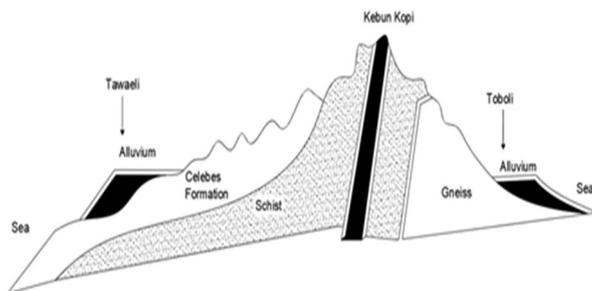


Gambar 3. Data pengujian laboratorium

### 3. Hasil dan pembahasan

#### 3.1 Kondisi Geologi dan karakteristik tanah

Ruas Jalan Tawaeli-Toboli atau yang biasa dikenal Kebun Kopi memiliki kondisi geologi yang umumnya dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu dataran rendah, perbukitan, dan pegunungan. Stratigrafi disepanjang ruas Jalan Tawaeli-Toboli terdiri dari batuan Kapur hingga Kuartar dengan batuan tertua yang tersingkap adalah Kompleks Metamorf Palu yang diperkirakan berumur Pra-Tersier. Kondisi geologi di ruas Jalan Tawaeli-Toboli dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kondisi geologi pada ruas Tawaeli Toboli [14].

Karakteristik tanah pada ruas ini secara umum termasuk tanah berbutir kasar, dominan berpasir dengan campuran kerikil dan butiran halus (lanau dan lempung). Secara umum kelompok tanah berdasarkan klasifikasi Unified ada yang

termasuk SW, SP bahkan bersimbol ganda seperti SW-SM atau SP-SM [11-15].

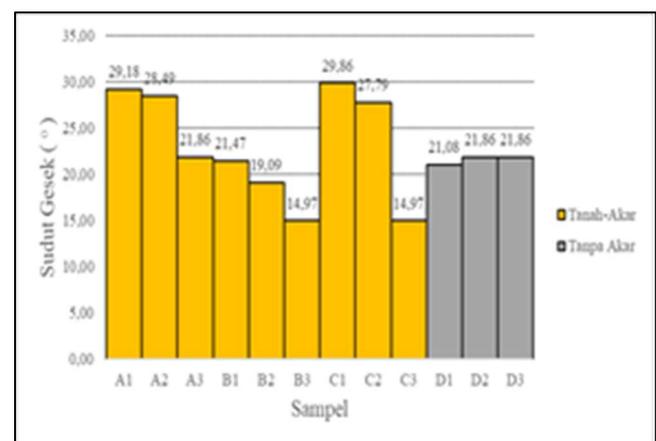
#### 3.2 Kuat Geser Tanah dengan dan Tanpa Akar

Tabel 1 memperlihatkan variasi nilai kohesi dan sudut gesek tanah pada kondisi tanpa dan dengan akar. Dari beberapa lokasi terlihat untuk perubahan nilai sudut gesek dan kohesi dari tanpa dan dengan akar, perubahannya cukup signifikan. Jenis vegetasi yang ditinjau adalah rumput gajah dengan akar serabut. Secara tidak langsung dengan semakin bertambah nilai kohesi dan sudut gesek dalam tanah akar mempengaruhi/ menaikkan kuat geser tanah tersebut. Volume akar dalam tanah sangat berpengaruh terhadap perubahan nilai kohesi atau sudut gesek tanah. Dari pengujian yang dilakukan, dengan memperhitungkan jumlah/volume akar, cenderung kuat geser atau parameter kohesi dan sudut gesek semakin berkurang. Dan pada akhirnya akan mendekati kekuatan geser tanah tanpa akar.

Tabel 1. Nilai kohesi dan sudut gesek tanah dengan dan tanpa akar

Km	Tanah		Tanah Akar	
	Kohesi kg/cm <sup>2</sup>	Sudut Gesek °	Kohesi kg/cm <sup>2</sup>	Sudut Gesek °
8 - 9	0,03	25,4	0,04	25,4
16	0,21	33,3	0,49	34,4
16+300	0,28	28,2	0,35	30,8
17	0,14	30,6	0,24	32,2
17+300	0,22	29,8	0,32	33,7
38 +881	0,41	25	2,22	43

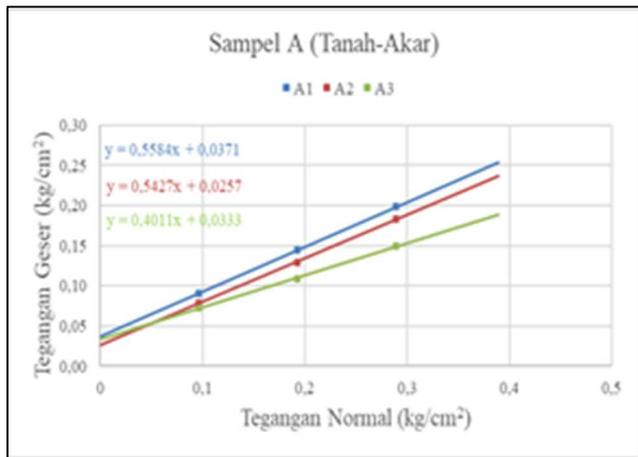
Berdasarkan Gambar 5, diperlihatkan model pengujian kuat geser pada 3 sampel berbeda, dikondisikan jumlah/volume akar sama untuk beban 3 kg, 6 kg dan 9 kg. Hasil yang diperoleh semakin ke bawah jumlah akar semakin berkurang jumlahnya berpengaruh terhadap nilai kuat geser, kohesi dan sudut gesek. Kondisi ini berlaku pada jenis vegetasi yang berakar serabut.



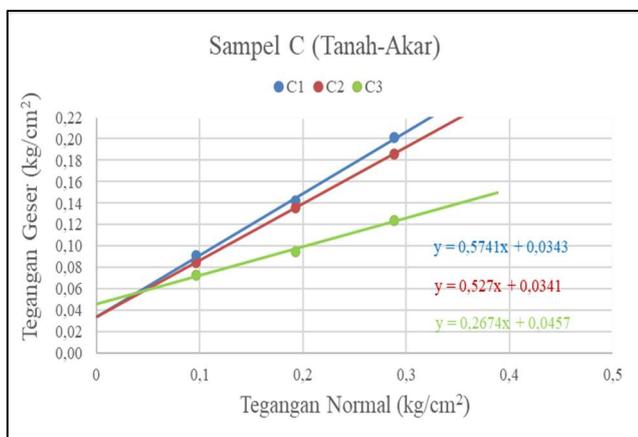
Gambar 5. Hubungan volume akar terhadap kohesi dan sudut gesek tanah-akar

Kuat geser tanah berbanding lurus peningkatannya bila dihubungkan dengan volume akar yang ada dalam tanah. Gambar 6 memperlihatkan 3 buah yang diuji dengan

kedalaman sampel yang berbeda untuk mengkondisikan jumlah akar/volume.

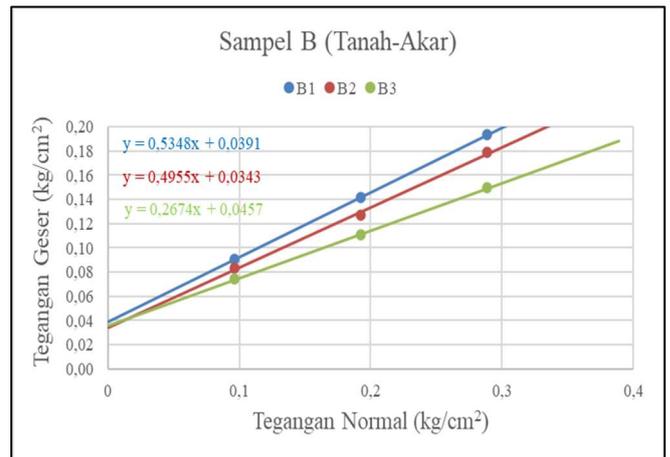


**Gambar 6.** Hubungan kuat geser dan tegangan normal pada sampel dengan kedalaman sampel/volume akar sampel A



**Gambar 7.** Hubungan kuat geser dan tegangan normal pada sampel dengan kedalaman sampel/volume akar sampel B.

Sampel A3, letak akar paling dalam dengan jumlah paling sedikit, kekuatan geser paling rendah, berbeda dengan sampel A1 yang dekat dengan permukaan dengan volume akar paling banyak, kekuatan gesernya paling tinggi. Demikian pula berlaku untuk sampel B dan C. Semakin besar volume akar maka Tingkat kerapatan akar dalam tanah semakin tinggi dan berakibat akan menaikkan nilai kuat geser tanah terutama terhadap nilai kohesi tanah. Hasil ini selaras dengan [4] bahwa efek vegetasi hidro-mekanis dapat meningkatkan atau menurunkan stabilitas/kuat geser lereng tergantung pada faktor kecuraman lereng, diameter akar, kedalaman akar, rasio luas akar, morfologi akar, tanah agregat, musim atau cuaca (basah, kering, salju), jenis vegetasi, bentuk lereng, lokasi, dan jarak vegetasi. Hal ini juga sesuai dengan bahwa kepadatan akar dan jumlah akar menurun seiring bertambahnya kedalaman dan rata-rata rasio luas akar sebesar  $0,071\% \pm 0,01$  [16]. Namun pada ukuran akar yang cukup besar dengan volume yang cukup besar pula kemungkinan akan mengurangi kekuatan geser tanah, hal ini perlu dikaji lebih lanjut.



**Gambar 8.** Hubungan kuat geser dan tegangan normal pada sampel dengan kedalaman sampel/volume akar sampel C.

#### 4. Kesimpulan

Jenis vegetasi yang ditinjau adalah rumput gajah dengan akar serabut. Secara tidak langsung dengan semakin bertambah nilai kohesi dan sudut gesek dalam tanah akibat adanya akar mempengaruhi/menaikkan kuat geser tanah tersebut. Volume akar dalam tanah sangat berpengaruh terhadap perubahan nilai kohesi atau sudut gesek tanah. Semakin berkurang volume akar nilai kuat geser, parameter kuat geser juga berkurang. Dalam penelitian ini perubahan nilai kuat geser tanah pada kondisi tanah berpasir, untuk penambahan nilai kohesi tidak begitu signifikan dibandingkan dengan perubahan nilai sudut gesek.

#### Daftar Pustaka

- [1] A. Mulyono, A. Subardja, I. Ekasari, M. Lailati, R. Sudirja, and W. Ningrum, "The Hydromechanics of Vegetation for Slope Stabilization", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 118, p. 1, 2018.
- [2] P.P. Capilleri, S. Stacul, and D. Presti, "The Contribution of Vegetation to the Shallow Slopes Stability, World Congress in Computational Mechanics and ECCOMAS Congress", vol. 1600, p. 1, 2021.
- [3] Y.A. Fata and K. Murtalaksano, "The Role of Hydro-Mechanical Vegetation in Slope Stability: A Review", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 794, p. 1, 2021.
- [4] G.B. Chirico, M. Borga, P. Tarolli, R. Rigon, and F. Preti, "Role of Vegetation on Slope Stability under Transient Unsaturated Conditions", *Procedia Environmental Sciences*, vol. 19, p. 932, 2013.
- [5] M.S. Islam and F.F. Badhon, "Sandy Slope Stabilization Using Vegetation", *Proceedings, International Conference on Disaster Risk Mitigation*, p.1, 2017.
- [6] H.C. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah 1*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2018.
- [7] T.H. Wu, *Investigation of Landslides on Prince of Wales Island, Alaska*: Ohio State University, 1976.

- [8] C.C. Ratcliff, K.M. Schmidt, and C. Wirion, "Comparing Root Cohesion Estimate from Three Models at a Shallow Landslide in the Oregon Coast Range", *Geohazards*, vol. 3, no. 3, p. 428, 2022.
- [9] M. Lotfalian, M. Nasiri, A. Modarres, and W. Wu, "Slope Stability Analysis Considering Weight of Trees and Root Reinforcement", *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, vol. 27, no. 4, p. 201, 2019.
- [10] S. Bordoloi and C.W. Wai Ng, "The Effects of Vegetation Traits and Their Stability Functions in Bio-Engineered Slopes: A Perspective Review", *Engineering Geology*, vol. 275, p. 1, 2020.
- [11] D.A. Putri, *Studi Potensi Gerakan Tanah Pada Ruas Jalan Tawaeli Toboli*, Palu: Fakultas Teknik Universitas Tadulako, 2010.
- [12] Laela, *Analisis Stabilitas Lereng dengan menggunakan Metode Bioteknik pada Ruas Jalan Tawaeli-Toboli*, Palu: Fakultas Teknik Universitas Tadulako, 2014.
- [13] S.A. Wandira, *Analisis Stabilitas Lereng pada Ruas Jalan Tawaeli-Toboli dengan Pengaruh Vegetasi*, Palu: Fakultas Teknik Universitas Tadulako, 2014.
- [14] A. Celan, *Pengaruh Jenis Tanah dan Akar Vegetasi terhadap Kuat Geser Tanah*, Palu: Fakultas Teknik Universitas Tadulako, 2024.
- [15] J. Saridewi, *Pengaruh Intensitas Hujan dan Akar Vegetasi Terhadap Stabilitas Lereng pada Ruas Jalan Tawaeli-Toboli Km 38+881 Menggunakan Metode Kesetimbangan Batas*, Palu: Fakultas Teknik Universitas Tadulako, 2024.
- [16] R. Naghdi, S. Maleki, E. Abdi, R. Mousavi, and M. Nikooy, "Assessing the Effect of Alnus Roots on Hillslope Stability in Order to Use in Soil Bioengineering", *Journal of Forest Science*, vol. 59, no. 11, p. 417, 2013.