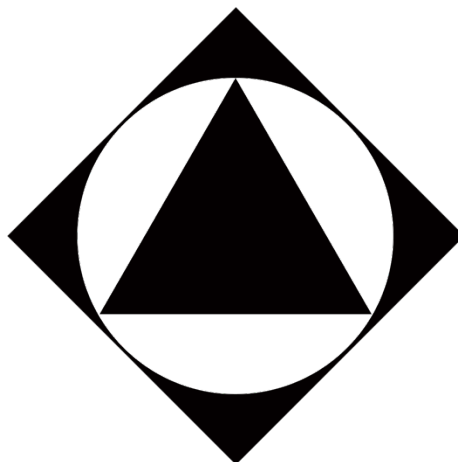


LAPORAN AKHIR PENELITIAN

ANALISIS STABILITAS PADA LERENG DENGAN PERKUATAN TANAMAN VETIVER MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA 3D

**Indra Noer Hamdhan
Desti Santi Pratiwi
Rizka Adisya Kamila Rahmah**



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL - BANDUNG

2018

Analisis Stabilitas pada Lereng dengan Perkuatan Tanaman Vetiver Menggunakan Metode Elemen Hingga 3D

***Indra Noer Hamdhan, Desti Santi Pratiwi, Rizka Adisya Kamila Rahmah**
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional, Bandung
*)indranh@itenas.ac.id

Received: 3 Agustus 2020 Revised: 5 Oktober 2020 Accepted: 10 Oktober 2020

Abstract

A landslide is the downslope movement of a soil mass or rock or debris of both (Bobrowski and Highlind, 2008). One of the measures to mitigate slope erosion that causes landslide is by applying bio-engineering system using a vegetation called Vetiver (Vetiveria Zizanioides). The purpose of this study is to analyze slope stability with a vegetation system using PLAXIS 3D software based on finite elements method and referring to the guidelines from the Ministry of Public Works and Housing with the title Guidelines for Vetiver Grass Planting for Surface Erosion Control and Prevention of Shallow Landslides on Road Slopes. The result shows that the deeper the Vetiver root modelled will increase the value of the safety factor, reinforcement using vegetation is effective on 30° slopes in PLAXIS 3D. The percentage increase in the value of the safety factor generated by PLAXIS 3D is 10.94%.

Kata Kunci: Slope stability, safety factor, vetiver, PLAXIS 3D

Abstrak

Longsoran merupakan gerakan suatu massa tanah atau batuan atau bahan rombakan atau keduanya kebawah lereng (Bobrowski and Highlind, 2008). Salah satu cara mengatasi erosi lereng yang menimbulkan longsoran yaitu dengan menggunakan vegetasi yang dikenal sebagai sistem bio-teknologi menggunakan tanaman Vetiver (Vetiver Zizanioides). Tujuan dari studi ini adalah menganalisis stabilitas lereng dengan sistem vegetasi menggunakan perangkat lunak PLAXIS 3D yang berbasis metode elemen hingga berdasarkan Pedoman dari kementerian PU dan Perumahan Rakyat dengan judul Pedoman Penanaman Rumput Vetiver untuk Pengendalian Erosi Permukaan dan Pencegahan Longsoran Dangkal pada Lereng Jalan. Hasil simulasi model menunjukkan bahwa semakin dalam kedalaman akar Vetiver akan meningkatkan besarnya nilai faktor keamanan. Perkuatan tanaman Vetiver yang paling efektif digunakan pada lereng dengan kemiringan 30° pada PLAXIS 3D. Persentase kenaikan nilai faktor keamanan yang dihasilkan dengan PLAXIS 3D yaitu sebesar 10,94%.

Kata Kunci: Stabilitas lereng, faktor keamanan, vetiver, PLAXIS 3D

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara dengan kondisi fisiografi umumnya berupa daerah perbukitan dan pegunungan dengan bentuk morfologi dataran bergelombang dan kemiringan lereng yang tajam hingga terjal, sehingga banyak menimbulkan gangguan stabilitas lereng, khususnya dalam pembangunan jaringan jalan. Kenampakan tersebut sebagai akibat adanya dampak yang ditimbulkan oleh pertemuan tiga lempeng tektonik besar yang saling menumbuk dan menunjam, yaitu lempeng Eurasia yang terletak pada bagian Utara, lempeng

Indo-Australia pada bagian Selatan, dan lempeng Pasifik pada bagian Barat, sehingga sering menimbulkan bencana geologi berupa gerakan tanah. Hal ini diperburuk dengan tingginya intensitas curah hujan yang memberikan kontribusi besar timbulnya erosi lereng hampir pada sebagian besar jaringan konstruksi jalan di Indonesia. Erosi merupakan peristiwa berpindahnya atau terangkutnya tanah atau bagian-bagian tanah dari suatu tempat ke tempat lain oleh media alami (Arsyad, 1989). Faktor-faktor yang mempengaruhi erosi tanah adalah hujan, tanah, kemiringan, vegetasi dan manusia (Utomo, 1994).

Penanggulangan longsor dengan perkuatan struktur akan membutuhkan biaya yang cukup mahal dan waktu perencanaan dan pelaksanaan yang cukup lama. Alternatif penanganan longsor dengan sistem bio-teknologi (*soil bioengineering system*) dan berkonsep teknologi hijau (*Green Technology*) seperti dengan cara penanaman vegetasi pada lereng jalan, sehingga diharapkan dapat meningkatkan gaya penahan pada lereng dengan perkuatan tanaman Vetiver yang memiliki akar yang cukup panjang hingga kedalaman tiga meter (Agustian, 2012).

Metode soil bio-engineering pada stabilitas lereng merupakan suatu upaya penutupan permukaan lereng yang rentang terhadap erosi dangkal dengan menggunakan tanaman, sehingga dapat mengurangi infiltrasi air yang masuk ke dalam tanah dan menambah kekuatan tanah pada lereng akibat ikatan akar dan tanah (Nugraha, 2016). Erosi permukaan dapat menyebabkan longsor, maka permukaan lereng perlu dilindungi agar tidak terjadi erosi permukaan. Melindungi permukaan lereng adalah pencegahan yang efektif, ekonomis, dan penting (Troung *et al.*, 2011).

Menurut Zakaria, *et al* (2013) pemilihan tanamannya dapat dilakukan. Ada tanaman yang bisa memperkuat lereng saja, atau juga dapat menahan erosi maupun memperlambat *run-off*, namun ada juga tanaman yang dapat menahan erosi, mengurangi infiltrasi, sekaligus bermanfaat bagi pakan ternak dan kebutuhan energi dalam kehidupan sehari-hari.

Menurut Petroe & Preti (2010) kriteria dalam memilih jenis tanaman untuk mitigasi adalah sebagai berikut: tanaman lokal, mudah ditemukan di wilayah yang bersangkutan, memperhatikan penyebaran, toleransi yang tinggi dari kondisi tanah yang berbeda, tidak terlalu besar sekali saat dewasa.

Vetiver dapat dipilih sebagai tanaman yang memenuhi kriteria di atas. Vetiver merupakan jenis rumput-rumputan berukuran besar. Vetiver dimanfaatkan untuk berbagai keperluan ekologis dan fitoremediasi (memperbaiki lingkungan dengan menggunakan tanaman) lahan dan air, seperti rehabilitasi lahan bekas pertambangan, pencegahan erosi lereng, penahan abrasi pantai dan stabilisasi tebing melalui teknologi yang disebut *Vetiver Grass Technology (VGT)* atau *Vetiver System (VS)* (Kementrian PU, 2009).

Tanaman vetiver seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 memiliki akar serabut yang mampu menembus hingga kedalaman 5,2 meter sehingga masuk sangat jauh ke dalam tanah dan akar vetiver mampu menembus lapisan setebal 15 cm yang

sangat keras. Ujung-ujung dari akar vetiver mampu masuk menembus lereng-lereng yang yang keras dan berbatu dan menjadi semacam jangkar yang kuat.



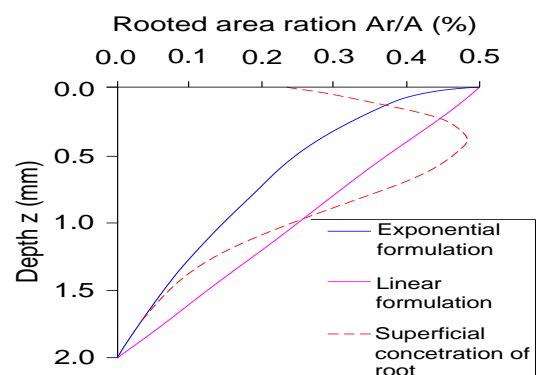
Gambar 1. Rumput vetiver (Kementrian PU, 2009)

Menurut Ali & Osman (2008) keberadaan akar pada tanah berpengaruh terhadap peningkatan nilai kohesi (c) tanah, akan tetapi tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai sudut geser (ϕ). Pengaruh tersebut diimplementasikan kedalam hukum keruntuhan Mohr-Coulomb (Wu *et al.*, 1979):

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

$$C_R = 1,2T_R RAR \quad (2)$$

Dimana τ merupakan tegangan geser tanah, ϕ merupakan sudut geser dalam, σ merupakan tegangan normal, c merupakan kohesi tanah, u merupakan tegangan air pori, cR merupakan kontribusi akar terhadap kohesi tanah, T_R merupakan kuat tarik akar dan RAR merupakan rasio daerah akar ($((1/400) \times (2-z))$) atau dengan menggunakan kurva pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva hipotesis dari rasio daerah berakar (RAR) dengan kedalaman (z) (Cazzuffi & Crippa, 2005)

Adapun pembatasan sudut kemiringan lereng pada penanaman vegetasi terdapat pada Tabel 1. Di Jepang, pengaruh penguatan akar pada stabilitas lereng telah diteliti melalui studi empiris dengan

mempertimbangkan efek longsor pada penguatan akar. Dalam studi kasus penguatan lereng, perhitungan menunjukkan bahwa FS meningkat hingga 6,8% melalui pengaruh penguatan akar pohon. Lereng tetap stabil meskipun air tanah meningkat hingga 0,5m. Dalam studi yang dilakukan oleh Nakamura *et al.* (2007) tersebut, sebuah lereng tanpa penguatan akar akan menjadi tidak stabil ketika tingkat air tanah bertambah hanya 0,15 m.

Tabel 1 Pembatasan sudut kemiringan lereng pada penanaman vegetasi (Troung, *et al* 2011)

Sudut kemiringan (derajat)	Jenis tumbuhan	
	Rumput	Semak/pohon
0 – 30	Tingkat kesulitan rendah; bisa dilakukan dengan teknik penanaman rutin.	Tingkat kesulitan rendah; bisa dilakukan dengan teknik penanaman rutin.
30 – 45	Semakin sulit untuk penanaman rizoma atau perumpukan; penerapan rutin hidro-seeding	Semakin sulit untuk penanaman
>45	Diperlukan pertimbangan khusus	Penanaman harus secara umum pada potong tanah tertentu

Rao & Das (2016) melakukan analisis pemodelan stabilitas lereng menggunakan penguatan vegetasi dengan dua pendekatan, yaitu pendekatan kohesi ekuivalen dan akar, dan pendekatan akar sebagai tiang (*pile*) dengan menggunakan Program PLAXIS 3D yang berbasis metode elemen hingga. Efek lapisan vegetasi pada stabilitas lereng, efek diameter dan jarak pohon dipertimbangkan. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa pendekatan kohesi ekuivalen memberikan nilai faktor keamanan yang sedikit lebih tinggi dibandingkan pendekatan *root as pile*.

Kokutse *et al* (2006) melakukan analisis tiga jenis pemodelan akar pada stabilitas lereng dengan menggunakan Program ABAQUS 3D. Pelat akar tanaman tunggal dimodelkan mengacu pada sistem morfologi pada akar (*heart*, *tap*, atau *plate* sistem akar), menggunakan pola geometri sederhana menjadi setengah bola, kerucut, dan silinder. Literatur tersebut menunjukkan bahwa pemodelan sistem akar tap (kerucut) lebih efisien dibandingkan dengan bentuk *heart* atau *plate* pada penguatan lereng dalam melawan longsor. Hal ini terutama disebabkan oleh perakaran yang lebih dalam dari struktur akar tersebut.

Jotisankasa, *et al.* (2014) melakukan analisis stabilitas lereng dengan penguatan tanaman vetiver

yang dipengaruhi air hujan dengan dua metode, yaitu metode elemen hingga digunakan untuk menganalisis infiltrasi hujan pada lereng dan limit-equilibrium method untuk menghitung stabilitas lereng. Tanah yang diperkuat oleh akar diharapkan dapat lebih kuat dan memiliki permeabilitas yang lebih yang akan membantu mengurangi limpasan air dengan menyediakan lebih banyak infiltrasi. Namun demikian, tanah yang diperkuat oleh akar akan menyebabkan peningkatan tekanan air pori dan mungkin penurunan stabilitas lereng dalam beberapa kasus. Hasil penelitian pertama, untuk kemiringan lereng dengan kemiringan 26° dan kedalaman akar rumput vetiver sedalam dua meter, tampak meningkatnya tekanan air pori hanya sedikit. Kedua, untuk kemiringan lereng dengan material batuan 60° dengan kedalaman akar vetiver 0,8 meter, dapat berpotensi menyediakan jalur infiltrasi air dan meningkatkan tekanan air pori sehingga mengurangi faktor keamanan lereng sekitar 10%.

Agustina (2012) melakukan analisis dengan membandingkan nilai kuat geser tanah (kohesi dan sudut geser dalam tanah) dari hasil pengujian triaksial tanah tanpa dan dengan penguatan tanaman akar wangi. Diharapkan kondisi peningkatan kestabilan lereng akibat adanya pengaruh akar wangi akan diketahui. Dari hasil pengujian menunjukkan adanya peningkatan kekuatan geser tanah. Penggunaan akar wangi sebagai metoda stabilisasi terbukti dapat meningkatkan kestabilan lereng.

Islam & Badhon (2017) melakukan analisis uji uji geser langsung (*direct shear*) di laboratorium yang menguji sampel pasir tanpa akar dan pasir berakar vetiver. Ukuran pasir yang diuji dibagi tiga, yaitu pasir *fine*, *medium* dan *coarse*. Kadar akar yang dicampurkan pada pasir yaitu sebesar 3% dari berat isi kering dari pasir. Hasil pengujian *direct shear* menunjukkan bahwa adanya penurunan nilai ϕ pada tanah pasir berakar dibandingkan tanpa akar untuk pasir *coarse* dan *medium*. Sedangkan untuk pasir *fine* terjadi peningkatan nilai ϕ pada kondisi pasir berakar.

Chok *et al* (2004) melakukan analisis efek vegetasi pada stabilitas lereng menggunakan metode elemen hingga. Dua parameter utama yaitu c akar (c_R) dan kedalaman akar (h_R). Analisis dibagi menjadi dua, yaitu pemodelan tanaman pada permukaan lereng dan pemodelan tanaman pada seluruh permukaan tanah. Kedalaman akar divariasikan menjadi tiga, yaitu sepanjang satu, dua, tiga meter. Hasil menunjukkan bahwa terjadi kenaikan nilai faktor keamanan untuk kedua kondisi pemodelan. Nilai faktor keamanan tertinggi dicapai untuk kedalaman akar sepanjang tiga m. Hasil tersebut

menunjukkan bahwa vegetasi memainkan peran penting dalam menstabilkan kegagalan lereng yang dangkal, dan secara signifikan mempengaruhi stabilitas.

Rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah jarak tanaman vetiver terhadap kestabilan lereng, hubungan antara kemiringan lereng dan jarak pemasangan tanaman vetiver terhadap kestabilan lereng, dan kedalaman penetrasi akar yang paling efektif yang dapat meningkatkan stabilitas lereng.

Maksud kegiatan penelitian ini adalah melakukan evaluasi dan analisis kestabilan lereng yang diperkuat tanaman vetiver dengan memvariasikan kemiringan lereng, kedalaman akar dan jarak pemasangan tanaman vetiver dengan pendekatan metode numerik menggunakan program PLAXIS 3D yang berbasis Elemen Hingga.

Tujuan dalam penelitian ini adalah mengidentifikasi efektivitas penggunaan tanaman vetiver dalam penanganan longsoran dangkal akibat erosi lereng.

Metode

Pemodelan lereng dengan program PLAXIS 3D

Pemodelan lereng dilakukan untuk mengetahui pengaruh kedalaman dan jarak tanaman vetiver sebagai perkuatan lereng pada kemiringan lereng yang berbeda. Dalam pemodelan analisis stabilitas lereng dibuat pemodelan dengan kemiringan 20°, 30°, 45°, dan 60° dengan tinggi muka air (h) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Adapun kedalaman akar vetiver yaitu sedalam 0,5 m, 1 m, 1,5 m, 2 m, 2,5 m, dan 3 m. Analisis dilakukan pada tanah pasir dengan parameter tanah yang berbeda-beda pada setiap kemiringan lereng yang dimodelkan. Adapun tinggi muka air (h) yang dimodelkan yaitu pada dasar lereng seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Adapun konstitutif model yang digunakan pada analisis ini, yaitu menggunakan Mohr Coloumb. Parameter tanah yang digunakan pada pemodelan ini terdapat pada Tabel 2.

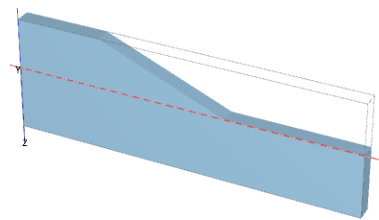
Tabel 2. Nilai parameter tanah

Lereng	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{unsat} (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ (°)	E (kN/m ²)
20°	17	15	0,10	28,1	30.000
30°	17	15	0,35	38,5	30.000
45°	18	17	5,00	45,0	30.000
60°	17	15	17,00	50,0	30.000

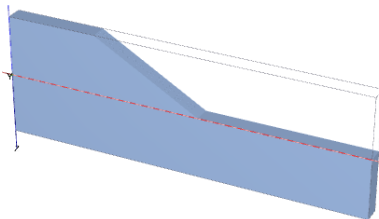
Kemiringan dan jarak antar setrip yang digunakan diambil berdasarkan tabel tata letak tanaman vetiver pada Pedoman Kementerian PU tahun 2009 yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Tata letak tanaman vetiver (Kementerian PU, 2009)

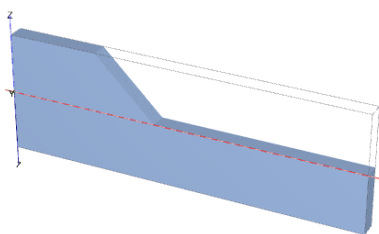
Tata letak tanaman	Kemiringan lereng		
	<30°	30° - 45°	>45° - 60°
	Dengan nilai erodibilitas tanah ($K \leq 0.2$)		
Jarak antar setrip rumput vetiver (cm)	80 sampai dengan 160	80	40
Jarak antar tunas rumput pada barisan (cm)	15 sampai dengan 20	15 sampai dengan 20	10 sampai dengan 15



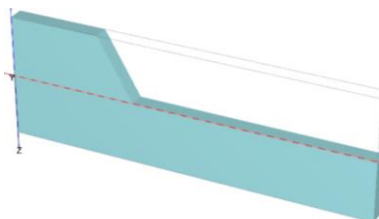
Kemiringan 20°



Kemiringan 30°



Kemiringan 45°



Kemiringan 60°

Gambar 3. Pemodelan variasi kemiringan lereng.

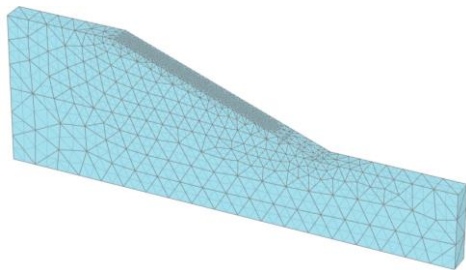
Tanah yang diperkuat dengan tanaman vetiver akan menyebabkan kenaikan nilai kohesi pada tanah. Kenaikan nilai kohesi akibat tanaman vetiver pada tanah berdasarkan kedalaman akar dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengaruh akar terhadap kohesi tanah

No	Z (m)	Tr (MPa)	Cr (kPa)
1	0,5	44,64	200,88
2	1,0	44,64	133,92
3	1,5	44,64	66,96
4	2,0	44,64	15,00
5	2,5	44,64	15,00
6	3,0	44,64	15,00

Penentuan jenis *mesh* pada pemodelan

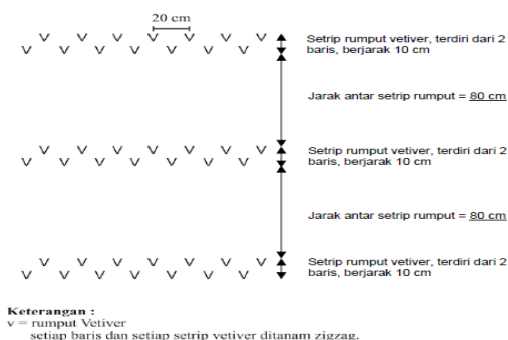
Penentuan jenis *mesh* pada analisis ini, yaitu *medium*. Jenis *mesh* yang digunakan dalam penelitian dapat mempengaruhi hasil analisis. Semakin baik jenis *mesh*, maka perhitungan dalam analisis menggunakan PLAXIS akan semakin akurat. Adapun *mesh* pada lereng ini ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Tampilan jaring-jaring *mesh* jenis medium

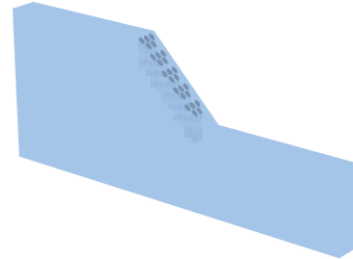
Pemodelan pola tanam tanaman vetiver dengan program PLAXIS 3D

Pola penanaman tanaman vetiver yang digunakan yaitu mengacu pada Pedoman Kementerian PU tahun 2009 yang ditunjukkan pada Gambar 5 dengan kedalaman akar seperti yang telah ditunjukkan pada Tabel 4.



Gambar 5. Pola penanaman rumput vetiver (Kementerian PU, 2009)

Pemodelan tanaman vetiver pada program PLAXIS 3D dibuat menggunakan model *soil cluster* sehingga *interface* tidak diperhitungkan. Pemodelan geometri lereng beserta tanaman vetiver ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pemodelan tanaman vetiver

Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis stabilitas lereng berupa nilai faktor keamanan pada lereng dengan kemiringan 20°, 30°, 45° dan 60° terdapat pada Tabel 5 sampai dengan 9.

Tabel 5. Resume nilai faktor kewan dengan perkuatan pada lereng kemiringan 20°, SF eksisting = 1,478

No	Kedalaman akar (m)	Nilai faktor keamanan dengan perkuatan		
		Jarak 80 cm	Jarak 120 cm	Jarak 160 cm
1	0,5	1,498	1,485	1,480
2	1,0	1,497	1,49	1,484
3	1,5	1,510	1,498	1,497
4	2,0	1,524	1,503	1,503
5	2,5	1,541	1,514	1,508
6	3,0	1,546	1,528	1,520

Hasil analisis berupa nilai faktor keamanan yang ditunjukkan pada Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan lereng yang diperkuat dengan tanaman vetiver terbesar yaitu tiga meter dan jarak antarstrip tanaman 80 cm, adapun persentase kenaikannya sebesar 4,60% yang terdapat pada Tabel 6.

Tabel 6. Persentase kenaikan nilai faktor kewan dengan perkuatan pada lereng kemiringan 20°

No	Kedalaman akar (m)	Persentase kenaikan nilai SF (%)		
		Jarak 80 cm	Jarak 120 cm	Jarak 160 cm
1	0,5	1,35	0,47	0,14
2	1,0	1,29	0,81	0,41
3	1,5	2,17	1,35	1,29
4	2,0	3,11	1,69	1,69
5	2,5	4,26	2,44	2,03
6	3,0	4,60	3,38	2,84

Tabel 7 merupakan hasil analisis berupa nilai faktor keamanan pada lereng dengan kemiringan 30° yang

diperkuat dengan tanaman vetiver, nilai faktor keamanan terbesar yaitu 1,683 dengan kedalaman akar tiga meter dan persentase kenaikannya sebesar 10,94%. Adapun nilai faktor keamanan terbesar yang diperkuat dengan tanaman vetiver pada lereng dengan kemiringan 45° dan 60° terdapat pada Tabel 8 dan 9 yaitu sebesar 1,721 dan 2,215 dengan persentase kenaikannya sebesar 8,79% dan 6,80% pada kedalaman akar vetiver tiga meter.

Tabel 7. Nilai faktor keamanan dan persentase kenaikan nilai faktor keamanan dengan perkuatan pada lereng kemiringan 30°, SF eksisting=1,517

No	Kedalaman akar (m)	Nilai faktor keamanan dengan perkuatan	Persentase kenaikan nilai SF (%)
1	0,5	1,520	0,20
2	1,0	1,542	1,65
3	1,5	1,575	3,82
4	2,0	1,618	6,66
5	2,5	1,658	9,29
6	3,0	1,683	10,94

Tabel 8. Nilai faktor keamanan dan persentase kenaikan nilai faktor keamanan dengan perkuatan pada lereng kemiringan 45°, SF eksisting=1,587

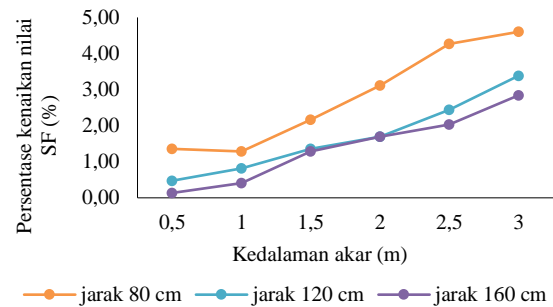
No	Kedalaman akar (m)	Nilai faktor keamanan dengan perkuatan	Persentase kenaikan nilai SF (%)
1	0,5	1,582	0,00
2	1,0	1,583	0,06
3	1,5	1,622	2,53
4	2,0	1,650	4,30
5	2,5	1,683	6,38
6	3,0	1,721	8,79

Tabel 9. Nilai faktor keamanan dan persentase kenaikan nilai faktor keamanan dengan perkuatan pada lereng kemiringan 60°, SF eksisting=2,074

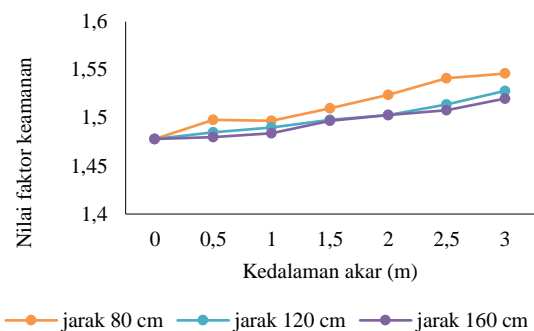
No	Kedalaman akar (m)	Nilai faktor keamanan dengan perkuatan	Persentase kenaikan nilai SF (%)
1	0,5	2,060	0,00
2	1,0	2,088	0,67
3	1,5	2,159	4,10
4	2,0	2,178	5,01
5	2,5	2,191	5,64
6	3,0	2,215	6,80

Adapun hasil analisis berupa grafik antara kedalaman akar dengan persentase kenaikan nilai faktor keamanan yang ditunjukkan pada Gambar 7 dan 9, sedangkan Gambar 8 dan 10 merupakan grafik antara kedalaman akar dan nilai faktor keamanan. Dari grafik dapat dilihat bahwa semakin dalam kedalaman akar yang dimodelkan maka

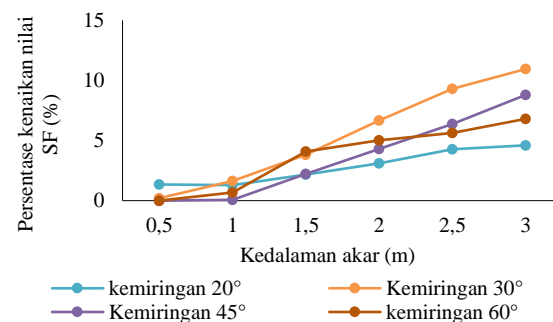
persentase kenaikan nilai faktor keamanan akan semakin besar.



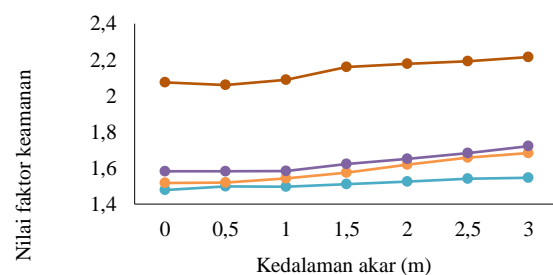
Gambar 7. Grafik perbandingan kedalaman akar dengan persentase kenaikan nilai SF pada lereng dengan kemiringan 20°



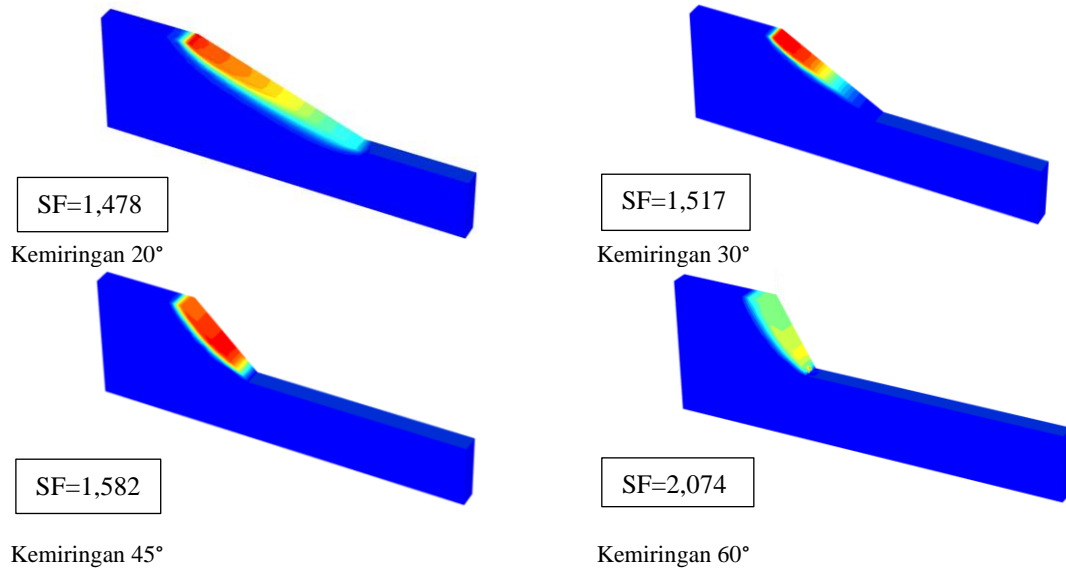
Gambar 8. Grafik perbandingan kedalaman akar dengan nilai faktor keamanan pada lereng dengan kemiringan 20°



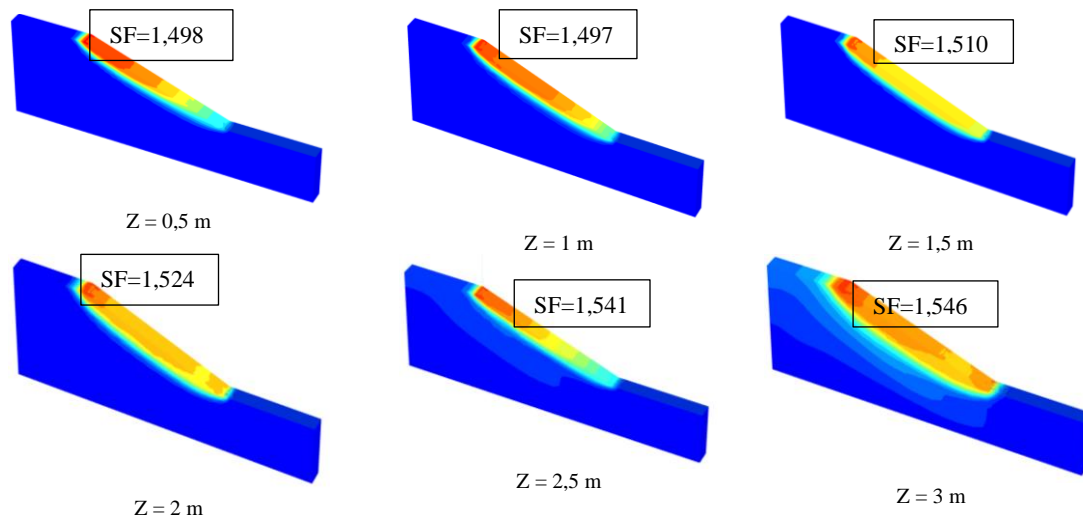
Gambar 9. Grafik perbandingan kedalaman akar dengan persentase kenaikan nilai SF



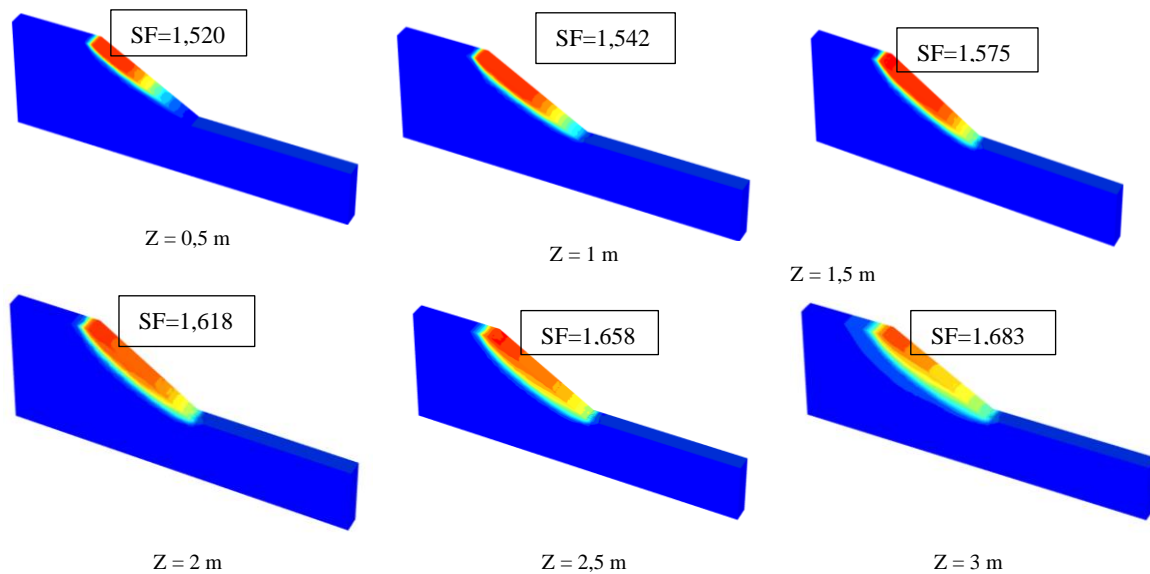
Gambar 10. Grafik perbandingan kedalaman akar dengan nilai faktor keamanan



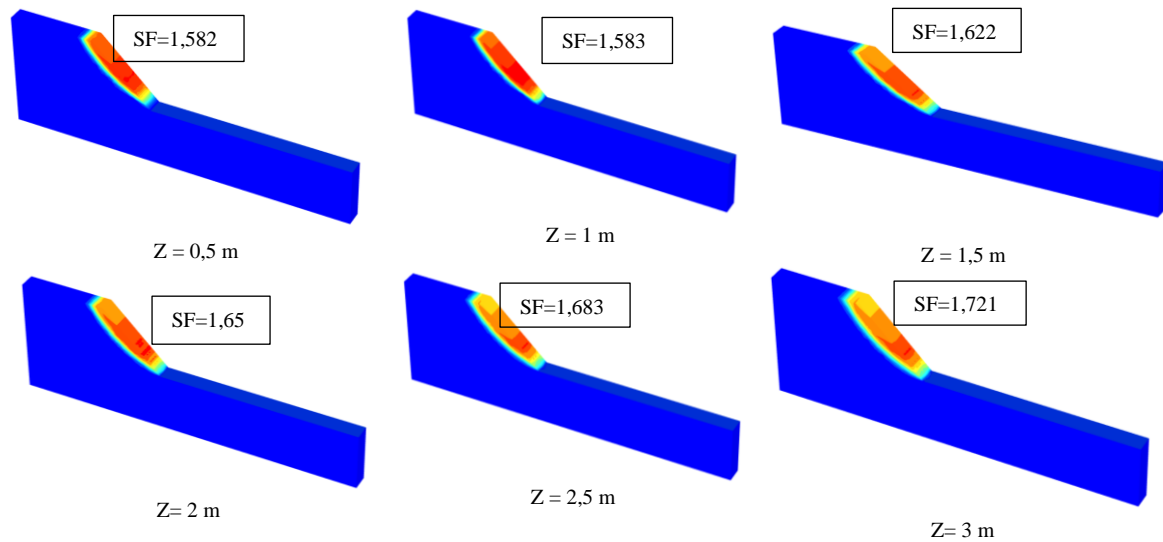
Gambar 11. Gambar bidang gelincir di lereng eksisting untuk semua kemiringan



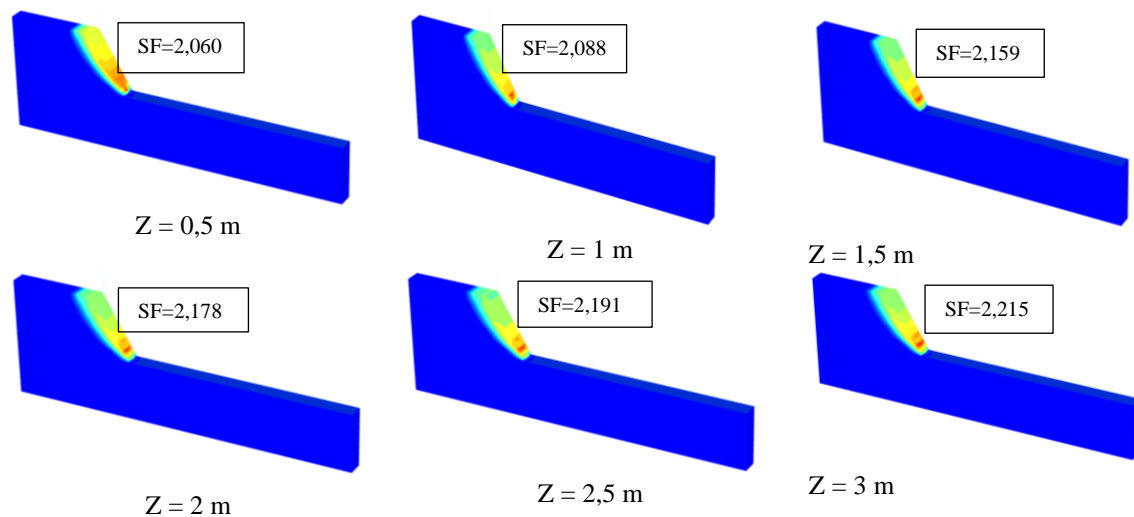
Gambar 12. Gambar bidang gelincir di lereng kemiringan 20°



Gambar 13. Gambar bidang gelincir di lereng kemiringan 30°



Gambar 14. Gambar bidang gelincir di lereng kemiringan 45°



Gambar 15. Gambar bidang gelincir di lereng kemiringan 60°

Bidang gelincir pada lereng eksisting untuk semua kemiringan terdapat pada Gambar 11. Bidang gelincir pada lereng dengan kemiringan 20°, 30°, 45°. Dan 60° terdapat pada Gambar 12 sampai dengan 15.

Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis stabilitas lereng dapat diambil beberapa kesimpulan, bahwa pada kemiringan lereng 20°, dari tiga variasi jarak yaitu 80 cm, 120 cm, dan 160 cm didapatkan presentase kenaikan nilai faktor keamanan tertinggi dihasilkan pada jarak antar tanaman 80 cm dan kedalaman akar tiga meter yaitu sebesar 4,60%. Pada kemiringan lereng 30° dengan jarak antar tanaman 80 cm dan kedalaman akar tiga meter didapatkan presentase kenaikan nilai faktor keamanan yaitu sebesar 10,94%. Pada kemiringan lereng 60° dengan jarak antar tanaman 40 cm dan kedalaman akar tiga meter

didapatkan presentase kenaikan nilai faktor keamanan yaitu sebesar 6,80%.

Dari seluruh hasil analisis, kedalaman akar tanaman vetiver sedalam tiga meter dapat meningkatkan faktor keamanan yang paling besar karena akar telah memotong batas bidang *slip* dari lereng. Semakin tegak kemiringan lereng, maka akan lebih efektif jika menggunakan jarak antar tanaman yang lebih rapat dan kedalaman akar yang lebih dalam.

Daftar Pustaka

- Agustian, D. H. (2012). Soil bioengineering sebagai alternatif metoda stabilisasi. *Jurnal Dimensi Universitas Riau Kepulauan Riau*, 1(1), 1-7.
- Ali, H. F., & Osman, N. (2008). Shear strength of a soil containing vegetation roots. *Soil and Foundation*, 48(4), 587-596.

- Arsyad, S. (1989). *Konservasi tanah dan air*. Bogor: IPB Press.
- Bobrowsky, P., & Highland, L. (2008). *The landslide handbook-a guide to understanding landslides*. Virginia: U.S. Geological Survey.
- Cazzufi, D., & Crippa, E. (2005). Contribution of vegetation to slope stability: an overview of experimental studies carried out on different types of plants. *Erosion of Soils and Scour of Foundations*, 1-12.
- Chock, Y. H., Kaggwa, W. S., Jaksa, B. M., & Griffiths, D. V. (2004). *Modelling the Effects of Vegetation on Stability of Slopes*. Paper presented at 9th Australia New Zealand Conference on Geomechanics, Auckland, New Zealand.
- Islam, M. S., & Badhon, F. F. (2017). *Sandy Slope Stabilization Using Vegetation*. Paper presented at International Conference on Disaster Risk Mitigation, Dhaka, Bangladesh.
- Jotianskasa, A., Mairaing, W., & Tansamrit, S. (2014). Infiltration and stability of soil slope with vetiver grass subjected to rainfall from numerical modeling. *Unsaturated Soils: Research & Applications - Khalili, Russell & Khoshghalb (Eds) 2014 Taylor & Francis Group*, London.
- Kementrian PU. (2009). *Pedoman bahan konstruksi bangunan dan rekayasa sipil tentang penanaman rumput vetiver untuk pengendalian erosi dan pencegahan longsoran dangkal pada lereng jalan*. Bandung: Kementrian Pekerjaan Umum.
- Kokutse, N., Fourcaud, T., Kokou, K., Neglo, K., & Lac, P. (2006). 3D Numerical modelling and analysis of the influence of forest structure on hill slopes stability. *Disaster Mitigation of Debris Flows, Slope Failures and Landslides*, 561-567.
- Nakamura, H., Iwasa, N., & Nghiem, Q. M. (2007). Reinforcement of tree roots in slope stability. *Eco-and Ground Bio-Engineering: The Use of Vegetation to Improve Slope Stability*, 81-90.
- Nugraha, F. Y., & Hamdhan, I. N. (2016). Analisis stabilitas lereng menggunakan perkuatan tanaman switchgrass. *Reka Racana Jurnal Institut Teknologi Nasional*, 2(2), 71-82.
- Petrone, A., & Preti, F. (2010). Soil bioengineering for risk mitigation and environmental restoration in a humid tropical area. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(2), 239-250.
- Rao, K. S., & Das, S. K. (2016). *Modelling of Slope Stability Analysis with Vegetation*. Paper presented at proceedings of International Conference on Recent Advances in Mechanics and Materials (ICRAMM-2016).
- Truong, P., Van, T. V., Pinners, E., & Booth, D. (2011). *Penerapan sistem vetiver*. Bali: The Indonesian Vetiver Network.
- Utomo, W. H. (1994). *Erosi dan konservasi tanah*. Malang: Penerbit IK.
- Wu, T. H., McKinnell, W. P., & Swanston, D. N. (1979). Strength of tree roots and landslides on prince of wales Island, Alaska. *Canadian Geotechnical Journal*, 16(1), 19-33.
- Zakaria, Z., Muslim, D., Sophian, R. I., Kuswaryan, S., & Tanuwiria, U. H. (2013). Bio-engineering, melalui pemanfaatan tanaman kaliandra (*caliandra calothyrsus*) di wilayah zona rawan longsor Jawa Barat. *Bulletin of Scientific Contribution*, 11(3), 169-175.