

Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Perkuatan Tanaman *Switchgrass*

NUGRAHA, FIKRI YUDHISTIRA¹, HAMDHAN, INDRA NOER²

¹Mahasiswa, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Nasional

²Dosen, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Nasional

Email : fikriyugraha@gmail.com

ABSTRAK

Faktor cuaca merupakan salah satu faktor yang menyebabkan longsor, upaya penanganan longsor pada lereng melalui rekayasa geoteknik dengan menggunakan teknik-teknik perkuatan tanah membutuhkan penyelesaian dengan biaya yang sangat mahal. Adapun cara alternatif, yaitu dengan sistem soil bioengineering berupa pemanfaatan tanaman, akar merupakan bagian terpenting karena keberadaan akar pada tanah berpengaruh terhadap meningkatnya nilai kohesi tanah. Tanaman yang dapat digunakan yaitu tanaman Switchgrass, yang memiliki panjang akar mencapai kedalaman maksimal 3-4 m. Pemodelan dilakukan dengan mempertimbangkan faktor hujan, kemiringan lereng, jenis tanah, kedalaman akar, dan diameter akar. Hasil analisis menggunakan Program PLAXIS 2D AE yang berbasis Elemen Hingga menunjukkan kenaikan nilai faktor keamanan akibat perkuatan tanaman Switchgrass. Persentase kenaikan terbesar kondisi tanpa hujan dan kondisi dengan hujan terjadi pada tanah pasir dengan kemiringan lereng 1 : 1,5 terhadap diameter akar 0,75 mm dengan kedalaman akar 1,5 m, yaitu sebesar 13,79% untuk kondisi tanpa hujan dan 16,24% untuk kondisi dengan hujan.

KataKunci: *soil bioengineering, tanaman Switchgrass, nilai faktor keamanan, stabilitas lereng.*

ABSTRACT

Weather factor is one of many factors that causes landslides, efforts to handling the landslide on slope through geotechnical engineering with soil reinforcement technique require completion at a cost that's very expensive. As an alternative way, soil bioengineering system in the form of utilization of plants can be chosen and the root is the most important part because the existence of the root on the ground affects on increasing the value of soil cohesion. The plants that can be used namely Switchgrass, which has long roots reaching a maximum depth of 3-4 m. The modeling have been done by considering the rain factor, inclination of slope, soil type, root depth and root diameter. The result of analysis with Program PLAXIS 2D AE indicate the value of the safety factor are increased due to plant Switchgrass. The largest increase in the percentage of the condition without rainfall and conditions with rainfall are sand, with a slope 1:1.5 root diameter 0.75 mm, depth of root 1.5 m, that is 13.79% for the condition without rainfall and 16.24% for the condition with rainfall.

Keywords: *soil bioengineering, Switchgrass, safety factor, slope stability.*

1. PENDAHULUAN

Curah hujan dengan durasi yang lama disertai dengan intensitas yang tinggi dapat menyebabkan *runoff*. Hal ini menyebabkan semakin besarnya tegangan air pori positif pada tanah, sehingga tegangan geser tanah menjadi berkurang dan daya dukung tanah tanah juga berkurang yang dapat menyebabkan bencana longsor.

Penanganan longsor pada lereng menggunakan rekayasa geoteknik dengan teknik-teknik perkuatan tanah membutuhkan penyelesaian dengan biaya sangat mahal. Adapun cara alternatif, yaitu sistem *soil bioengineering* berupa pemanfaatan tanaman. Akar merupakan bagian terpenting karena berkemampuan mengikat tanah sangat berguna untuk konstruksi penahan lereng disamping itu akar dapat menyerap air dari dalam tanah dan dilepas ke atmosfer. Tanaman yang digunakan yaitu Tanaman *Switchgrass*.

Tujuan tugas akhir ini adalah menganalisis pengaruh tanaman *Switchgrass* pada kestabilan lereng dengan adanya faktor hujan, kemiringan lereng, dan jenis tanah yang dimodelkan dengan Program PLAXIS 2D AE yang berbasis Elemen Hingga untuk mengetahui faktor keamanan lerengnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lereng

Lereng adalah permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horizontal. Permasalahan dari sebuah lereng adalah kelongsoran. Kelongsoran terjadi karena pergerakan tanah untuk mencari keseimbangan atau kestabilan daya dukung tanah. Berikut tipe-tipe longsor secara umum:

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| 1) Longsor jatuhan | 5) Longsor rayapan |
| 2) Longoran robohan | 6) Longsor translasi |
| 3) Longsor gelinciran | 7) Longsor rotasi |
| 4) Longsor aliran | |

Secara umum faktor yang menyebabkan kelongsoran lereng ada dua yaitu faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal adalah faktor yang berasal dari tubuh lereng, faktor tersebut antara lain:

- | | |
|------------------------------|----------------------------|
| 1) Material pembentuk lereng | 3) Muka air tanah |
| 2) Kemiringan lereng | 4) Struktur geologi lereng |

Sedangkan faktor eksternal adalah faktor dari luar tubuh lereng, faktor tersebut antara lain:

- 1) Infiltrasi air hujan
- 2) Geteran
- 3) Ketidakseimbangan beban di puncak dan di kaki lereng.
- 4) Vegetasi

2.2 Teori Keruntuhan Mohr Coulomb

Coulomb memperkenalkan teori geser maksimum (*the maximum shear theory*) yang menyatakan bahwa keruntuhan (*failure*) nilai tekanan pada saat terjadinya perubahan bentuk tetap terjadi jika tekanan geser yang diberikan mencapai nilai kritis dari kemampuan tanah. Teori ini kemudian disempurnakan oleh Mohr yang dikenal dengan teori Mohr Coulomb yang ditunjukkan pada **Gambar 1**. Teori Mohr Coulomb menyatakan bahwa tegangan geser tanah mempunyai hubungan fungsional dengan

kohesi tanah dan friksi antar partikel yang dikemukakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut.

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

Keterangan:

τ = tegangan geser tanah

c = kohesi

σ = tegangan normal

ϕ = sudut geser dalam

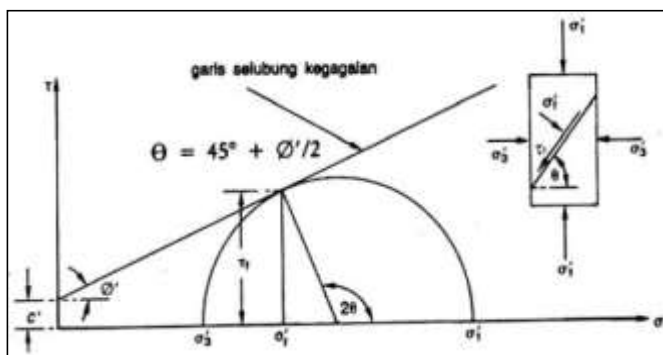
Pada tanah kondisi jenuh air, besar tegangan normal total pada sebuah titik sama dengan jumlah tegangan efektifnya ditambah tegangan air pori, atau:

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

Keterangan:

u = tegangan air pori

σ' = tegangan efektif



Gambar 1. Keruntuhan Mohr Coulomb (Sumber: Braja M Das, 1995)

2.3 Soil Bioengineering

Bioengineering secara umum dapat didefinisikan sebagai suatu yang berkaitan dengan penggunaan material hidup. Metode *soil bioengineering* untuk stabilisasi lereng merupakan suatu usaha menutupi permukaan lereng yang terbuka dengan tanaman agar dapat mengurangi infiltrasi aliran air ke dalam tanah. Bagian akar merupakan bagian terpenting karena berkemampuan mengikat tanah sangat berguna untuk sistem konstruksi penahan lereng disamping akar dapat menyerap air dalam tanah yang dapat menurunkan tegangan air pori.

Faisal dan Normaniza (2008), menyatakan keberadaan akar pada tanah berpengaruh terhadap meningkatnya kohesi tanah tetapi pengaruh terhadap sudut geser tanah tidak terlalu besar. Pengaruh tersebut diimplementasikan dalam hukum Keruntuhan Mohr-Coulomb (Wu, 1979).

$$\tau = (c + c_R) + (\sigma - u) \tan \phi \dots\dots\dots(3)$$

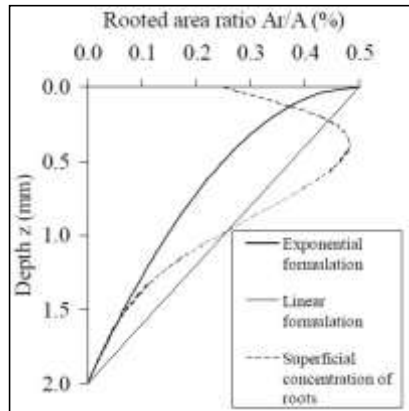
$$c_R = 1.2 T_R RAR \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

c_R = kontribusi akar terhadap kohesi tanah

T_R = kuat tarik akar

Untuk rasio daerah akar (RAR) digunakan persamaan linear ditunjukkan pada **Gambar 2** dengan distribusi rasio daerah akar (RAR) = $(1/400) * (2-z)$.



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

2.4 Tanaman *Switchgrass (Panicum Virgatum)*

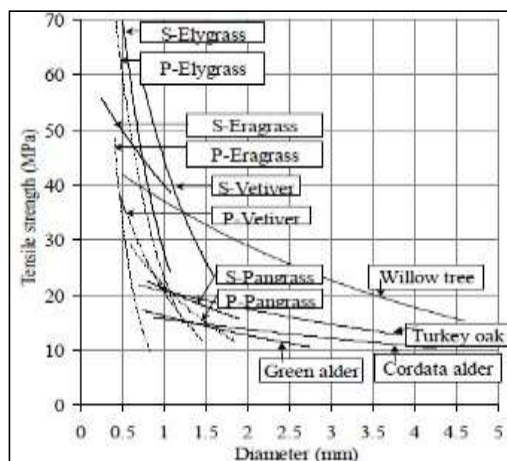
Tanaman *Switchgrass* adalah alang-alang yang berasal dari Amerika dan dikenal karena daya tahan dan pertumbuhannya yang cepat. Hal itu seringkali disebutkan sebagai suatu yang berlimpah yang kemungkinan besar untuk bahan baku etanol generasi kedua.

Tanaman ini dapat mencapai tinggi 2 m dan akar dapat mencapai kedalaman maksimal 3-4 m. *Switchgrass* dapat tumbuh pada semua jenis tanah, cepat bersemi, dan diameter akar sebesar 0,76 – 1,91 mm ditunjukkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Tanaman *Switchgrass (Panicum Virgatum)* (Sumber: https://en.wikipedia.org/wiki/panicum_virgatum)

Dari hasil pengujian menggunakan mesin uji tarik yang dilakukan oleh Daniele Cazzuffi dan Enrico Crippa (2005), hasilnya dapat dikorelasikan menjadi kekuatan tarik maksimum (T_R) vs diameter akar (d) yang dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Kekuatan tarik (T_R) vs diameter akar (d) (Sumber: Daniele Cazzuffi & Enrico Crippa, 2005)

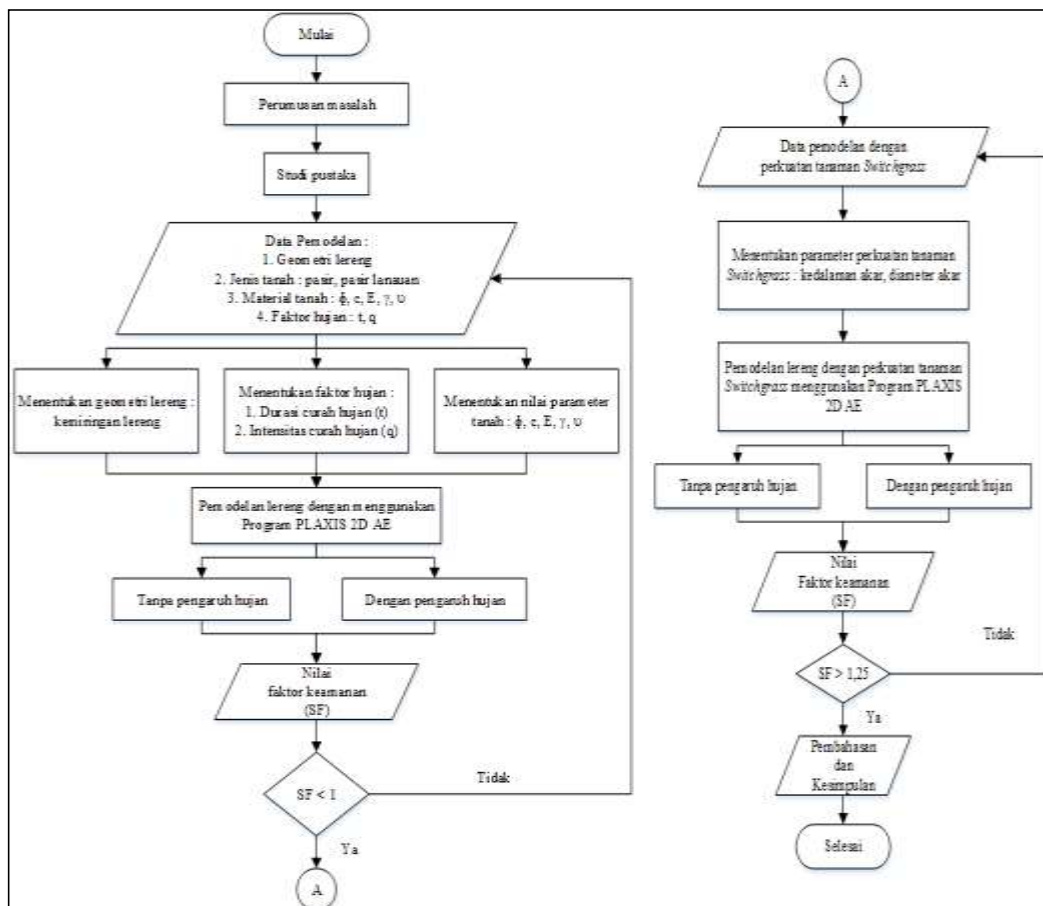
Dari **Gambar 4** tersebut dikorelasikan menjadi persamaan sebagai berikut:

$$y = 29,37 \times e^{-0,333 \times X} \dots\dots\dots(5)$$

3. ANALISIS DATA

3.1 Metode Penelitian

Analisis pengaruh perkuatan tanaman *Switchgrass* terhadap stabilitas lereng dengan menggunakan Program PLAXIS 2D AE yang berbasis elemen hingga, prosedur analisis yang dilakukan ditunjukkan dengan bagan alir seperti pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Bagan alir pemodelan lereng dengan Program PLAXIS 2D AE.

3.2 Data Pemodelan Lereng

Data-data yang digunakan didapat dari penelitian sebelumnya sebagai dasar untuk menentukan data pemodelan lereng pada tugas akhir ini. Data tersebut yaitu:

- 1) Jenis tanah yang akan dimodelkan berupa tanah satu lapis, yaitu tanah pasir dan tanah pasir lanauan dengan nilai parameter tanah yang ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Nilai Parameter Tanah

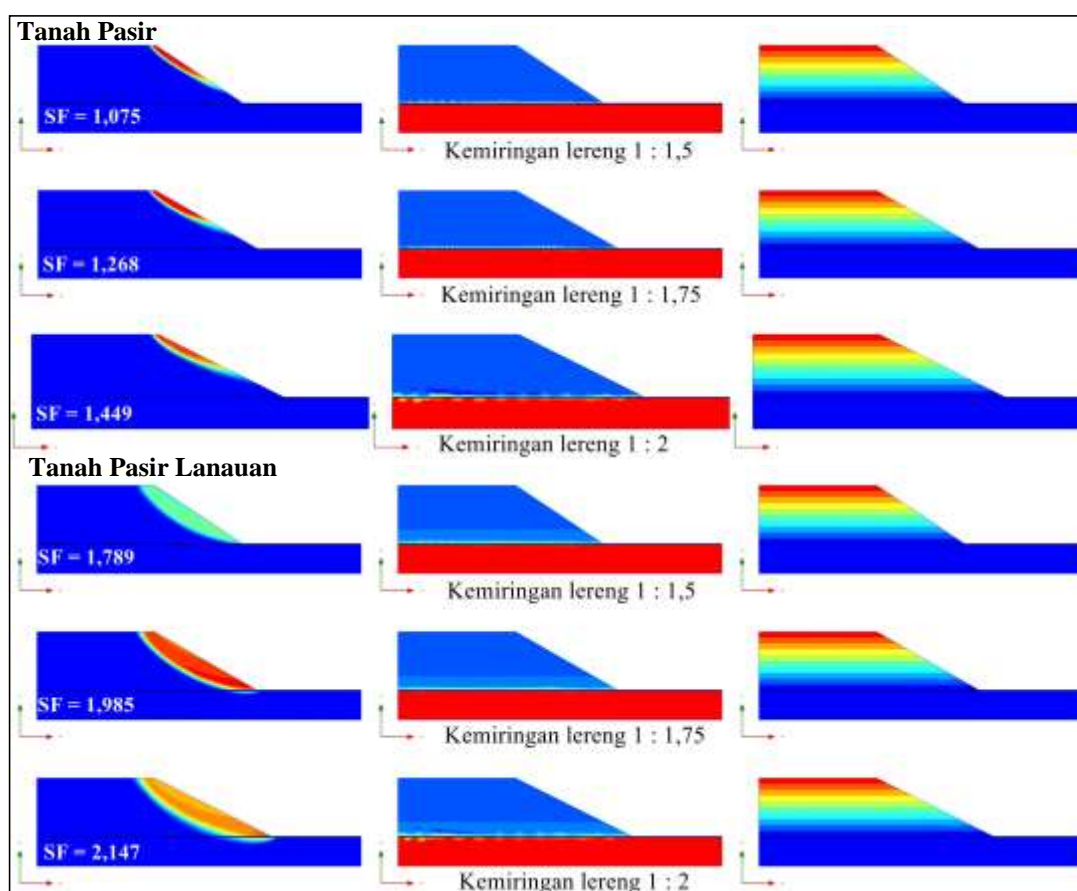
Keterangan	γ_{sat} (kN/m^3)	γ_{unsat} (kN/m^3)	c (kN/m^2)	ϕ ($^\circ$)	E (kN/m^2)	ν	K_x (m/h)
Pasir	20	18	0,3	35	30000	0,3	0,297

Pasir lanauan	20	18	10	35	30000	0,3	0,1458
---------------	----	----	----	----	-------	-----	--------

- 2) Geometri lereng yang digunakan untuk pemodelan, yaitu 1V : 1,5H ; 1V : 1,75 H ; 1V : 2H.
- 3) Data hujan berupa durasi curah hujan selama 24 jam dengan intensitas curah hujan sebesar 0,02 m³/jam.

3.3 Analisis Stabilitas Lereng Kondisi Eksisting Tanpa Hujan

Analisis stabilitas lereng kondisi eksisting akan ada 6 (enam) pemodelan berdasarkan jenis tanah dan kemiringan lereng. Hasil analisis kondisi eksisting tanpa hujan yang didapat berupa nilai faktor keamanan, bidang longsor, diagram *saturation*, dan diagram *suction*. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada **Gambar 6**.

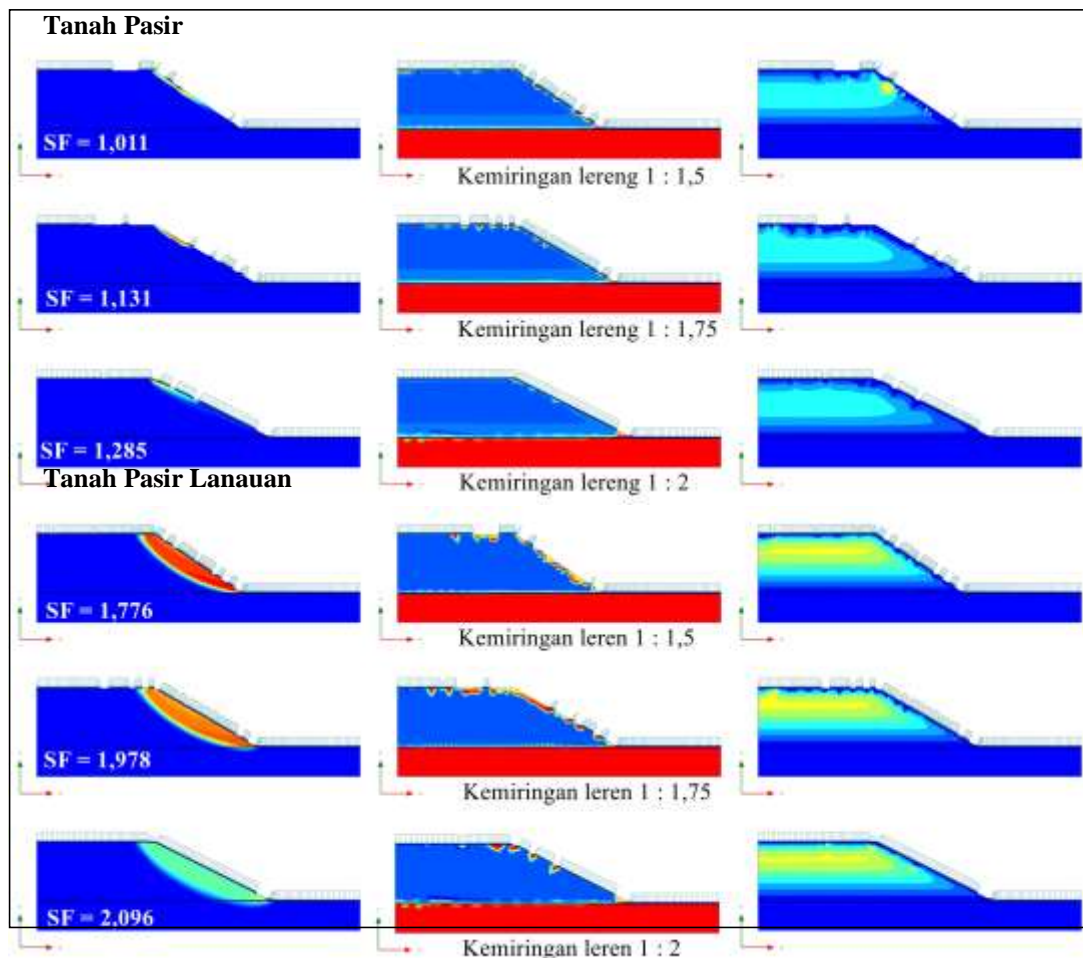


Gambar 6. Hasil analisis stabilitas lereng kondisi eksisting tanpa hujan.

Pada gambar di atas dapat dilihat bahwa nilai faktor keamanan yang terkecil terjadi pada tanah pasir dengan kemiringan lereng 1 : 1,5, yaitu sebesar 1,075. Dan untuk nilai faktor keamanan tertinggi terjadi pada tanah pasir lanauan dengan kemiringan lereng 1 : 2, yaitu sebesar 2,147. Bidang longsor yang terjadi pada tanah pasir merupakan tipe keruntuhan lereng dan pada tanah pasir lanauan bidang longsor yang terjadi merupakan tipe keruntuhan kaki lereng.

3.4 Analisis Stabilitas Lereng Kondisi Eksisting Dengan Hujan

Analisis dilanjutkan terhadap lereng kondisi eksisting dengan menambahkan hujan selama 24 jam. Adapun hasil analisis yang dilakukan pada dua jenis tanah dengan tiga kemiringan lereng disajikan pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Hasil analisis stabilitas lereng kondisi eksisting dengan hujan.

3.5 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Perkuatan Tanaman *Switchgrass*

Pada penelitian ini, lereng diperkuat menggunakan perkuatan tanaman *Switchgrass*. Pada analisis stabilitas lereng menggunakan perkuatan tersebut akan dilakukan pemodelan dengan kedalaman akar sebesar 0,5 m, 1 m, dan 1,5 m dengan diameter akar yang dimodelkan sebesar 0,75 mm, 1,125 mm, dan 1,91 mm.

Keberadaan akar pada tanah berpengaruh terhadap daya dukung tanah karena dapat menambah nilai kohesi pada tanah. Pengaruh tersebut dapat diimplementasikan dalam hukum keruntuhan Mohr-Coulomb. Besarnya pengaruh akar terhadap kohesi tanah dapat dilihat pada **Tabel 2**.

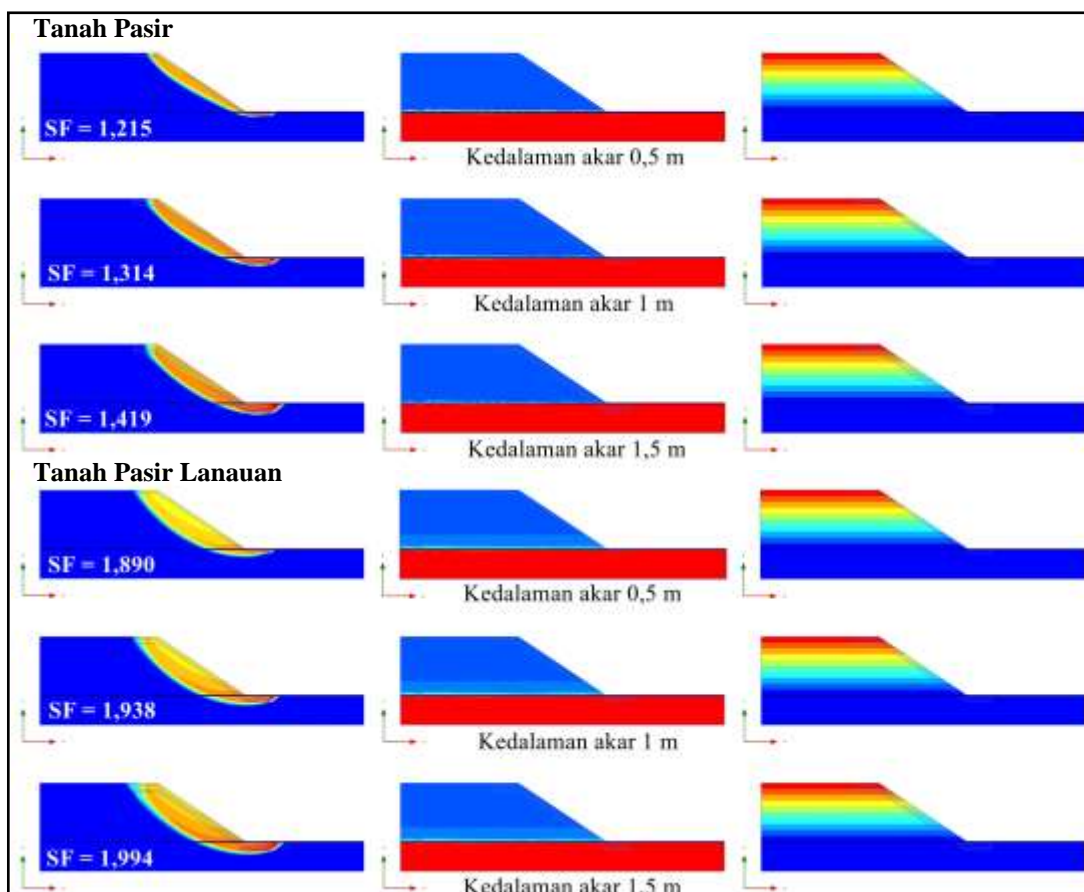
Tabel 2. Pengaruh Akar Terhadap Kohesi Tanah

No	d (mm)	z (m)	T_R (mPa)	C_R (kPa)
1	0,75	0,5	22,879	102,956
2	0,75	1	22,879	68,637
3	0,75	1,5	22,879	34,319
4	1,125	0,5	20,193	90,870
5	1,125	1	20,193	60,580

6	1,125	1,5	20,193	30,290
7	1,91	0,5	15,548	69,967
8	1,91	1	15,548	46,645
9	1,91	1,5	15,548	23,322

3.5.1 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Perkuatan Tanaman *Switchgrass* Tanpa Hujan.

Pada **Gambar 8** dan **Tabel 3** sampai **Tabel 5** menunjukkan hasil analisis stabilitas lereng dengan menggunakan perkuatan tanaman *Switchgrass* tanpa hujan berupa bidang longsor, nilai faktor keamanan, diagram *saturation*, dan diagram *suction*.



Gambar 8. Hasil analisis stabilitas lereng menggunakan perkuatan tanaman *Switchgrass* tanpa hujan pada kemiringan lereng 1 : 1,5 (diameter akar 0,75 mm).

Tabel 3. Nilai Faktor Keamanan (SF) stabilitas lereng menggunakan perkuatan tanaman *Switchgrass* Tanpa hujan (Diameter akar 0,75 mm)

No	Kemiringan Lereng	Kedalaman Akar (m)	Nilai SF	
			Pasir	Pasir Lanauan
1	1 : 1,5	0,5	1.215	1.890
2		1	1.314	1.938
3		1,5	1.419	1.994
4	1 : 1,75	0,5	1.381	2.052
5		1	1.467	2.083
6		1,5	1.556	2.129
7	1 : 2	0,5	1.545	2.215
8		1	1.617	2.242

9	1,5	1.702	2.281
---	-----	-------	-------

Tabel 4. Nilai Faktor Keamanan (SF) stabilitas lereng menggunakan perkuatan tanaman *Switchgrass* Tanpa hujan (Diameter akar 1,125 mm)

No	Kemiringan Lereng	Kedalaman Akar (m)	Nilai SF	
			Pasir	Pasir Lanauan
1	1 : 1,5	0,5	1.214	1.887
2		1	1.314	1.932
3		1,5	1.418	1.986
4	1 : 1,75	0,5	1.381	2.049
5		1	1.466	2.083
6		1,5	1.555	2.127
7	1 : 2	0,5	1.545	2.209
8		1	1.616	2.239
9		1,5	1.701	2.274

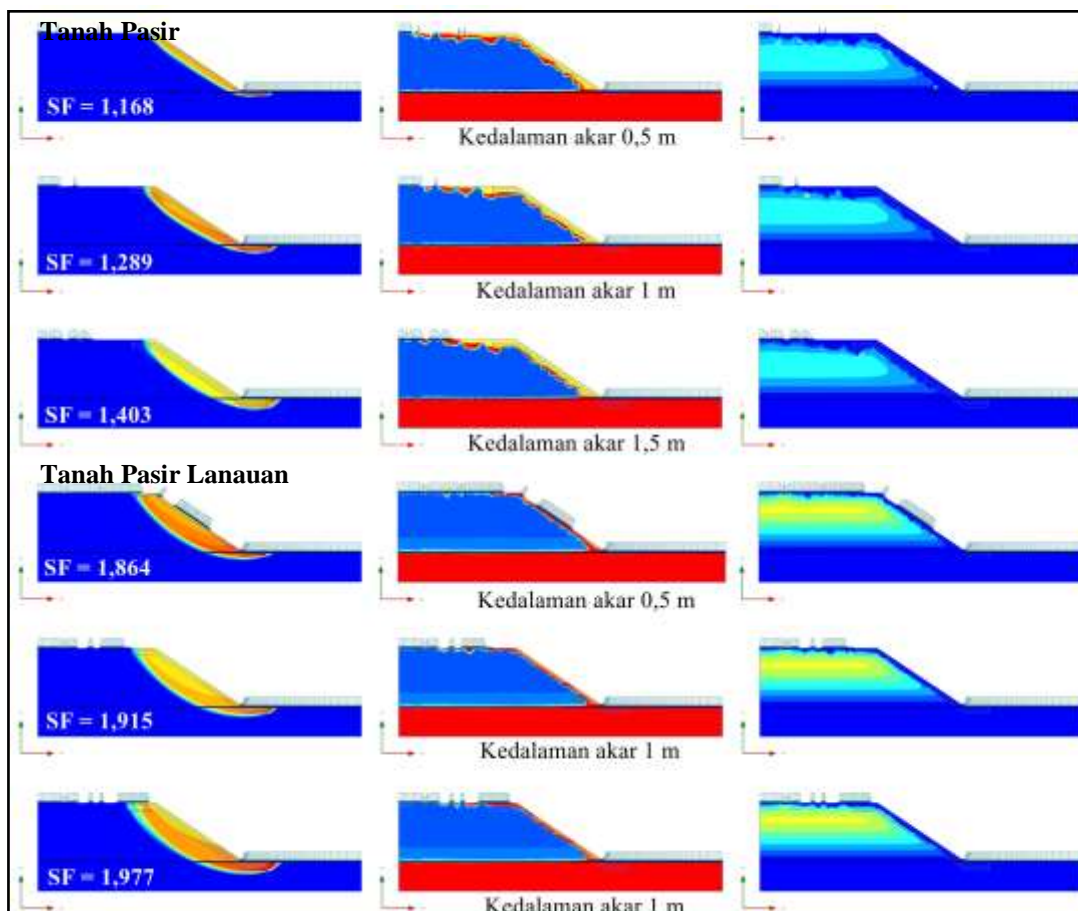
Tabel 5. Nilai Faktor Keamanan (SF) stabilitas lereng menggunakan perkuatan tanaman *Switchgrass* Tanpa hujan (Diameter akar 1,91 mm)

No	Kemiringan Lereng	Kedalaman Akar (m)	Nilai SF	
			Pasir	Pasir Lanauan
1	1 : 1,5	0,5	1.213	1.886
2		1	1.312	1.930
3		1,5	1.414	1.983
4	1 : 1,75	0,5	1.381	2.045
5		1	1.463	2.080
6		1,5	1.553	2.214
7	1 : 2	0,5	1.545	2.209
8		1	1.614	2.239
9		1,5	1.698	2.274

Pada gambar dan tabel di atas, dihasilkan bahwa semakin dalam kedalaman akar yang dimodelkan maka nilai faktor keamanan semakin besar. Dan diameter akar yang paling besar pengaruhnya terhadap nilai faktor keamanan adalah diameter sebesar 0,75 mm, walaupun pengaruh tersebut tidak jauh berbeda dengan diameter akar 1,125 mm dan 1,91 mm.

3.5.2 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Perkuatan Tanaman *Switchgrass* Dengan Hujan.

Analisis stabilitas lereng dengan menggunakan perkuatan tanaman *Switchgrass* dengan hujan selama 24 jam, analisis hanya dilakukan pada pemodelan dengan diameter akar 0,75 mm. Hasil analisis berupa bidang longsor, nilai faktor keamanan, diagram *saturation*, dan diagram *suction* ditunjukkan pada **Gambar 9** dan **Tabel 6**. Adanya penurunan nilai faktor keamanan akibat hujan selama 24 jam pada semua pemodelan stabilitas lereng.



Gambar 9. Hasil analisis stabilitas lereng menggunakan perkuatan tanaman *Switchgrass* dengan hujan pada kemiringan lereng 1 : 1,5.

Tabel 6. Nilai Faktor Keamanan (SF) stabilitas lereng menggunakan perkuatan tanaman *Switchgrass* dengan hujan

No	Kemiringan Lereng	Kedalaman Akar (m)	Nilai SF	
			Pasir	Pasir Lanauan
1	1 : 1,5	0,5	1.168	1.864
2		1	1.289	1.915
3		1,5	1.403	1.977
4	1 : 1,75	0,5	1.304	2.034
5		1	1.423	2.063
6		1,5	1.521	2.116
7	1 : 2	0,5	1.405	2.198
8		1	1.577	2.211
9		1,5	1.671	2.265

4. KESIMPULAN

Terjadi perubahan tipe bidang longsor, pada tanah pasir sebelum lereng menggunakan perkuatan tanaman *Switchgrass* bidang longsor yang terjadi merupakan tipe keruntuhan lereng dan setelah menggunakan perkuatan menjadi tipe keruntuhan dasar. Bidang longsor yang terbentuk pada tanah pasir lanauan sebelum diberi

perkuatan bidang longsor merupakan tipe keruntuhan kaki dan setelah diberi perkuatan bidang longsor yang terjadi merupakan tipe keruntuhan dasar.

Hasil analisis menunjukkan kenaikan nilai faktor keamanan akibat perkuatan tanaman *Switchgrass*. Persentase kenaikan terbesar pada kondisi tanpa hujan terjadi pada tanah pasir dengan kemiringan lereng 1 : 1,5 terhadap diameter akar 0,75 mm dengan kedalaman akar 1,5 m, yaitu sebesar 13,79%. Pada kondisi dengan hujan terjadi pada tanah pasir dengan kemiringan lereng 1 : 1,5 terhadap diameter akar 0,75 mm dengan kedalaman akar 1,5 m, yaitu sebesar 16,24%.

Terjadi penurunan nilai faktor keamanan pada perkuatan tanaman *Switchgrass* setelah adanya hujan selama 24 jam, Persentase penurunan terbesar terjadi pada tanah pasir terhadap kemiringan lereng 1 : 2 dengan kedalaman akar 0,5 m sebesar 4,75% dan persentase penurunan terkecil terjadi pada tanah pasir lanauan terhadap kemiringan lereng 1 : 2 dengan kedalaman akar 1,5 m sebesar 0,31%.

DAFTAR PUSTAKA

- Cazzuffi, 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*.
- Coder, Kim. D. (2010). Root Strength & Tree Anchorage. Warnell Scholl of Forestry & Natural Resources University of Georgia.
- Das, B. M. (1995). Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik), Jilid 2, Erlangga, Jakarta, Indonesia.
- Faisal, H., & Normaniza, O. (2008). Shear strength of soil containing vegetation roots. *Soils and Foundation*, 48(4), pp. 587-596.
- Geologi Rekayasa Unhas, 2011.
(<http://geologirekayasaunhas.blogspot.co.id>), diakses tanggal 25 Oktober 2015.
- Geological Mindset, 2014.
(<http://rhaydenmazzrhezky.blogspot.co.id>), diakses tanggal 25 Oktober 2015.
- Hamdhan, I. N. (2013). A Contribution to Slope Stability Analysis with the Finite Element Method. Graz. Gruppe Geotechnil Graz.
- Pratiwi, D. A. (2015). Pengaruh Infiltrasi Hujan Dalam Analisis Stabilitas Lereng Kondisi Jenuh Sebagian Menggunakan Metode Elemen Hingga. Bandung: Institut Teknologi Nasional.
Pustekom, 2007.
(<http://idkf.bogor.net>), diakses tanggal 25 Oktober 2016.
- Santiawan, I Nym G, W., Wardana, I Gusti N., & Redana, I Wayan. (2007). Penggunaan Vegetasi (Rumput Gajah) Dalam Menjaga Kestabilan Tanah Terhadap Kelongsoran. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil* Vol 11, No. 1.
- Simon, A., & Collison, J. (2002). Quantifying the Mechanical and Hydrologic Effect of Riparian Vegetation on Streambank Stability. *Earth Surface Processes Landforms* 27, 527-546.
- Stokes, Alexia., Spanos, Ioannis., Norris, Joanne E., & Cammeraat, Erik. (2004). Eco- and Ground Bio-Engineering The Use of Vegetation to Improve Slobe Stability. *Proceedings of the First International Conference on Eco-Engineering*.
- Trestyawan, V.F. (2015). Pengaruh Hujan Terhadap Perkuatan Lereng dengan Kondisi Partially Saturated Soil Menggunakan Metode Elemen Hingga (Studi Kasus Ruas

Jalan Pasir Madang – Kiarabeha Kab. Bogor, Jawa Barat). Bandung: Institut Teknologi Nasional.
Vetiver Indonesia, 1990.
(<https://vetiverindonesia.wordpress.com>), diakses tanggal 21 Oktober 2015.
Wu, T., McKinnell, I., & Swanston, D. (1979). Strength of tree roots and landslides on Prince of Wales Island, Alaska. *Canadian Geotechnical Journal* 16, 19-33.