

Pemilihan Perkuatan Geosintetik pada Lereng di Atas Tanah Lunak Berdasarkan Interaksinya dengan Tanah

Eka Nur Fitriani, Suprapti, Pintor Tua Simatupang
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik - Universitas Mercu Buana

ABSTRAK: Dalam perencanaan perkuatan tanah dengan geosintetik diperlukan parameter kekuatan geser antara geosintetik dengan tanah. Telah dilakukan studi sebelumnya mengenai parameter kuat geser tanah dengan menggunakan pengujian uji geser langsung, untuk itu perlu dilakukan penelitian terkait dengan analisis stabilitas lereng berdasarkan interaksinya dengan tanah agar didapatkan material yang cocok pada perkuatan lereng di atas tanah lunak. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan material geosintetik yang cocok untuk lereng yang berdiri di atas tanah lunak dengan memepertimbangkan angka keamanannya. Jenis geosintetik yang digunakan yaitu *woven geotextile polypropylene*, *woven geotextile polyester*, *geocomposite* dan *geogrid*. Dibuatkan 3 model lereng dengan ketinggian 10 m dan sudut kemiringan 30°, 45°, dan 60° dengan timbunan yang digunakan merupakan tanah granular. Berdasarkan analisis didapatkan bahwa rasio interaksi antara geosintetik dengan tanah tidak berpengaruh terhadap angka keamanan tetapi berpengaruh kepada total perpindahan dan kuat tarik yang diperlukan. Geosintetik yang cocok digunakan untuk perkuatan adalah jenis *Geogrid*.

Kata Kunci: angka keamanan, geosintetik, perkuatan lereng, tanah lunak

ABSTRACT: In design soil reinforcement with geosynthetics, shear strength parameters between geosynthetics and soil are needed. Previous studies have been carried out on the parameters of the shear strength of the soil using the direct shear test, for this reason, it is necessary to conduct research related to the analysis of slope stability based on its interaction with the soil in order to obtain a suitable material for slope reinforcement on soft soil. This study aims to determine the suitable geosynthetic material for slopes that stand on soft soil by considering its safety factor. The types of geosynthetics used are woven geotextile polypropylene, woven geotextile polyester, geocomposite and geogrid. Three slope models were made with a height of 10 m and slope angles of 30°, 45°, and 60° with the embankment used as granular soil. Based on the analysis, it was found that the interaction ratio between the geosynthetic and the soil has no effect on the safety value but does affect the total displacement and required tensile strength. Geosynthetics that are suitable for retrofitting are the Geogrid type.

Keywords: safety factor, geosynthetics, slope reinforcement, soft soil

1 PENDAHULUAN

Tanah mempunyai peran penting sebagai tempat penyokong sebuah struktur. Karena di Indonesia mempunyai topografi yang berbeda membuat terbentuknya kondisi alam yaitu lereng terutama pada dataran tinggi. Lereng adalah permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap bidang horisontal. Apabila dijumpai dua permukaan

tanah yang berbeda ketinggiannya, maka akan ada gaya-gaya yang bekerja mendorong sehingga tanah yang lebih tinggi kedudukannya cenderung bergerak kearah bawah yang menyebabkan terjadinya longsor, Putra dkk. (2010). Untuk mengurangi dampak tersebut, penulis ingin membahas tentang salah satu metode perbaikan tanah, yaitu geosintetik.

Geosintetik sudah banyak digunakan sebagai metode perbaikan tanah, selain harganya murah

juga penerapannya mudah. Pengaplikasian geosintetik memelurkan pengetahuan yang lebih lanjut mengenai geosintetik. Parameter dalam perkuatan tanah menggunakan geosintetik yaitu sudut gesek antar tanah dengan geosintetik (δ) dan kohesi (c). Parameter tersebut di dapatkan melalui uji geser langsung (*direct shear strength*) dan uji gaya cabut (*pull out*). Dari hasil pengujian tersebut akan dihitung *safety factor* terhadap penggunaan geosintetik terhadap factor keamanan.

Dari hasil penelitian terdahulu terkait dengan hubungan interaksi antara tanah dan geosintetik, akan di analisis menggunakan software yang berbasis *finite element method* untuk mendapatkan *safety factor* berdasarkan interaksi antara tanah dan geosintetik.

2 STUDI LITERATUR

Material geosintetik telah diterapkan secara luas sebagai material teknik sipil di bidang geoteknik dengan tujuan environmental dan perkuatan tanah. Konstruksi sipil yang menggunakan geosintetik sebagai perkuatan yaitu embankment tanah, lereng dan dinding penahan tanah.

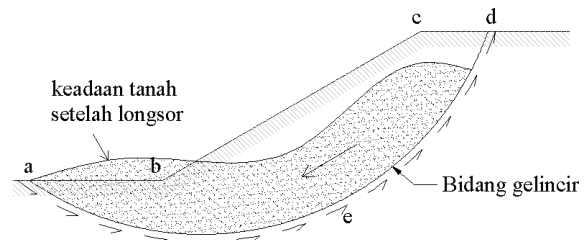
Telah banyak studi dilakukan yang menunjukkan bahwa mobilisasi gesekan dan pelebaran pada *interface* antara tanah dan geosintetik sangat bergantung pada karakteristik bentuk partikel tanah, kepadatan relatif tanah, tegangan normal, derajat kejenuhan, sementasi tanah di satu sisi dan kategori polimer geosintetik seperti tekstur permukaan, kekasaran dan kuat tarik, Abdi & Safdari Seh Gonbad (2018), Afzali-Nejad et al. (2018, 2017), Anubhav & Basudhar (2010), Anubhav & Wu (2015), Athanasopoulos (1993, 1996), Choudhary & Krishna (2016), Coronel (2006), Das et al. (2005), DeJong & Westgate (2009), Esmaili et al. (2014), Evgin & Fakharian (1996), Ferreira et al. (2015), Fowmes et al. (2017), Frost et al. (2012), Hatami & Esmaili (2015), Khoury et al. (2011), Lee & Manjunath (2000), Linos & Dietz (2005), Liu et al. (2016), A. Martinez & Frost (2017), Alejandro Martinez et al. (2015), Mařín et al. (2006), Negussey et al. (1989), Punetha et al. (2017), Puri (2008, 2017), Ramamurthy et al. (2017), Rifa'i (2009), Rinne (1989),

Rishavilenda & Desiani (2018), Saputra et al. (2013), Vangla & Gali (2016), Vangla & Latha Gali (2016), Vieira & Pereira (2016).

Dalam halnya design perkuatan tanah dengan menggunakan geosintetik diperlukan pengetahuan mengenai perilaku *interface* antara tanah dengan geosintetik. Parameter penting dalam analisis interaksi tanah yang diperkuat dengan geosintetik yaitu parameter kuat geser *interface* yaitu mobilisasi sudut gesek *interface* tanah- geosintetik (δ) dan adhesi (c_a). Penentuan parameter kuat geser *interface* tanah dan geosintetik didapat dengan melakukan pengujian uji geser langsung, Abdi & Safdari Seh Gonbad (2018), Lee & Manjunath (2000), Liu et al. (2016), Punetha et al. (2017), Puri (2017), Rifa'i (2009), Rishavilenda & Desiani (2018), Saputra et al. (2013), Vieira & Pereira (2016).

2.1 Stabilitas Lereng

Lereng adalah bidang miring yang menghubungkan bidang-bidang lain yang mempunyai elevasi yang berbeda, Turangan & Sompie (2014). Lereng dapat terbentuk secara alami maupun dengan bantuan manusia. Komponen gravitasi cenderung menggerakkan tanah ke arah bawah pada permukaan tanah yang tidak terbentuk secara horizontal. Jika komponen gravitasi tersebut besar yang melampaui gaya lawan terhadap gesernya, maka akan terjadi kelongsoran pada lereng. Kondisi ini dapat ditanggulangi dengan gaya dorong tidak melebihi batas gaya lawannya yang berasal dari kekuatan geser tanah.



Gbr. 1. Kelongsoran Lereng, Hidayah (2007).

2.2 Analisis Stabilitas Lereng

Mengutip dari Hardiyatmo, menurut Octavian dkk. (2014), Putra (2019) menyatakan bahwa pada umumnya analisis kestabilan lereng berdasarkan konsep keseimbangan plastis batas (*limit plastic equilibrium*). Kelongsoran bisa dianggap 2 dimensi sepanjang permukaan

bidang longsor tertentu. Menurut Nazir, Putra (2019), menyatakan bahwa sebuah lereng dikatakan stabil apabila lereng tersebut tidak mengalami kelongsoran.

3 METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada perkuatan lereng dengan menggunakan geosintetik diatas tanah lunak. Analisis lereng menggunakan software berbasis *finite element method* (FEM).

3.1 Parameter Tanah Dasar

Parameter tanah dasar merupakan tanah lempung lunak yang diambil dari data proyek di daerah Indramayu. Tanah dasar berupa tanah lempung lunak yang rata-rata memiliki nilai N-SPT 1-3 sampai dengan kedalaman 20 m. Berikut data tanah dasar yang dimasukkan ke dalam analisis.

Lapisan 1 $\gamma = 14,92 \text{ kN/m}^3$ $c = 0,9 \text{ kPa}$ $\phi = 3,19^\circ$	4 m
Lapisan 2 $\gamma = 14,71 \text{ kN/m}^3$ $c = 1,5 \text{ kPa}$ $\phi = 4,899^\circ$	3 m
Lapisan 3 $\gamma = 14,23 \text{ kN/m}^3$ $c = 10,1 \text{ kPa}$ $\phi = 2,879^\circ$	4 m

Gbr. 2. Data Tanah.

Tanah timbunan berupa tanah pasir dengan properties sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Berat tanah } (\gamma_{\text{sat}}) &= 19,66 \text{ kN/m}^3 \\ \text{Koheesi } (c) &= 4,6 \text{ kPa} \\ \text{Sudut geser } (\phi) &= 30^\circ\end{aligned}$$

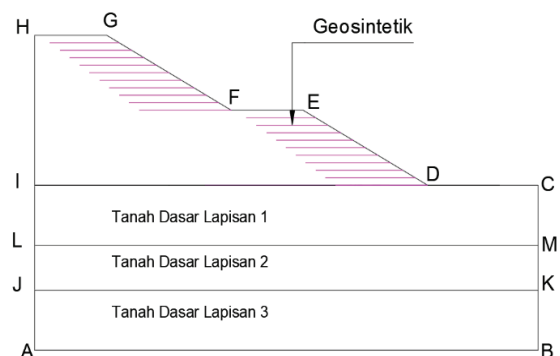
3.2 Material Geosintetik

Material geosintetik yang digunakan yaitu *woven geotextile* PP, *woven geotextile* PET, *Geocomposit* dan *Geogrid*. Dengan data yang digunakan yaitu sebagai berikut :

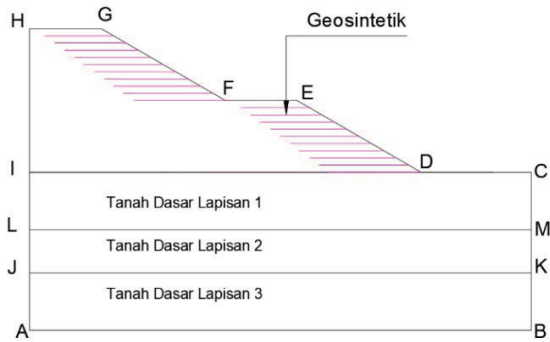
1. *Woven geotextile* PP yang digunakan tipe Maxmat 200 dengan kuat tarik MD 40 kN/m dan CD 30 kN/m, serta rasio interaksi antara *geotextile woven* dengan pasir sebesar 0,8, Simatupang & Fitriani (2020)
2. *Woven geotextile* PET yang digunakan DJ 50 dengan kuat tarik MD 50 kN/m dan CD 50 kN/m serta rasio interaksi antara *geotekstile woven* dengan pasir sebesar 0,79, Simatupang & Fitriani (2020)
3. *Geocomposite* yang digunakan PEC 50/50 dengan kuat tarik MD 50 kN/m dan CD 50 kN/m serta rasio interaksi antara *geocomposite* dengan pasir yaitu 0,71, Simatupang & Fitriani (2020)
4. *Geogird* yang digunakan yaitu GG 40/40 dengan kuat tarik MD 40 kN/m dan CD 40 kN/m serta rasio interaksi antara *geogrid* dengan pasir yaitu 0,87, Simatupang & Eka (2020)

3.3 Pemodelan Lereng

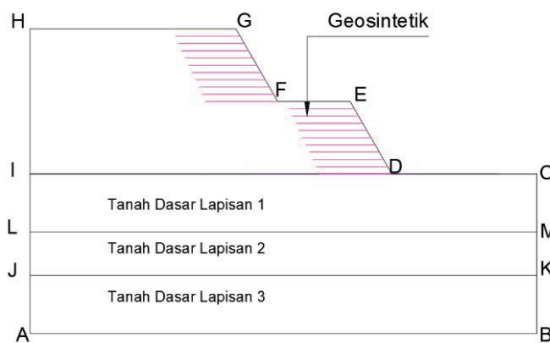
Tinggi lereng timbunan bertulang geosintetik dengan $H = 10 \text{ m}$ dengan kemiringan 30° , 45° , dan 60° , data tanah dasar dan timbunan seperti yang dijelaskan pada sub bab 5.1.1. Tidak ada beban terbagi merata di atas lereng $q=0$ dan tekanan air pori $u = 0$. Geosintetik dipasang lapis per lapis dengan jarak tulan antar vertical S_v adalah 0,5 m. Geometri dapat dilihat pada Gbr. 3 sampai dengan Gbr. 5 di bawah ini.



Gbr. 3. Pemodelan dengan Kemiringan Lereng 30° .



Gbr. 4. Pemodelan dengan Kemiringan Lereng 45°.

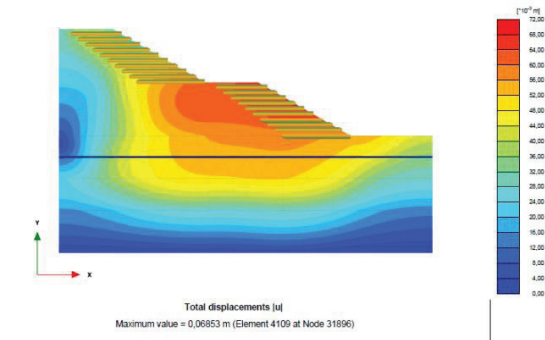


Gbr.5. Pemodelan dengan Kemiringan Lereng 60°.

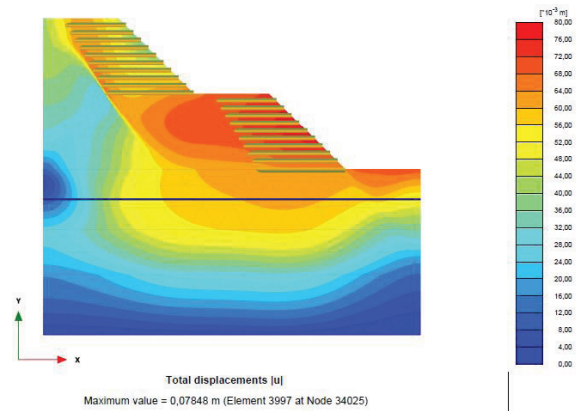
4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

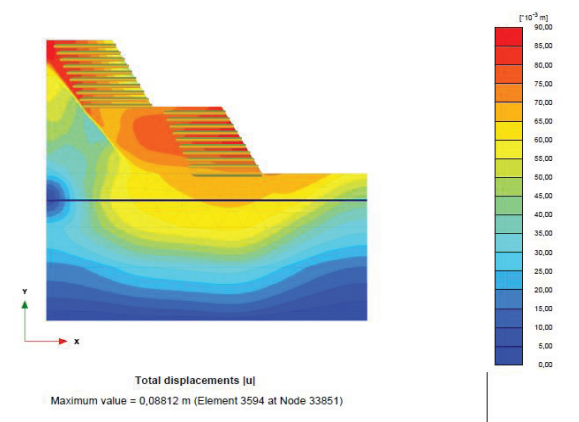
Berdasarkan analisis *finite element method* didapatkan nilai penurunan (deformasi), kuat tarik geosintetik yang diperlukan, dan kurva hubungan antara total perpindahan dengan angka keamanan, contoh keluaran dari software berbasis finite elemen method pada geotextile woven PP, $\beta = 30^\circ$, 45° , dan 60° ditunjukkan pada Gbr. 6 sampai dengan Gbr. 8. Untuk hasil analisis setiap geosintetik pada masing-masing kemiringan dapat dilihat pada Tabel 1.



Gbr. 6. Perpindahan Total Woven PP pada $\beta = 30^\circ$ Sebesar 6,853 cm.



Gbr. 7. Total Perpindahan Woven PP pada $\beta = 45^\circ$ Sebesar 7,848 cm.



Gbr. 8. Perpindahan Total Woven PP pada $\beta = 60^\circ$ Sebesar 8,812 cm.

Tabel 1. Rekapitulasi Analisis Finite Element Method.

β (°)	Geosintetik	R_{inter}	EA (kN/m)	Total Penurunan (cm)	T_{ult} (kN/m)	SF
30	Woven PP	0,8	240	6,853	0,5779	1,193
	Woven PET	0,79	300	6,853	0,6568	1,192
	PEC	0,71	300	6,924	0,7540	1,191
	Geogrid GG	0,87	240	6,810	0,5291	1,191
45	Woven PP	0,8	240	7,848	0,8593	1,091
	Woven PET	0,79	300	7,791	0,9605	1,092
	PEC	0,71	300	7,860	1,0770	1,092
	Geogrid GG	0,87	240	7,789	7,8260	1,091
60	Woven PP	0,8	240	8,812	1,081	1,064
	Woven PET	0,79	300	8,784	1,228	1,067
	PEC	0,71	300	13,620	1,397	1,067
	Geogrid GG	0,87	240	8,736	0,9858	1,066

4.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis finite elemen method dapat dirangkum pada Tabel 8 didapatkan bahwa lereng dengan ketinggian 10 m yang dibentuk menjadi 2 trap masing-masing setinggi 5 m, masih aman dengan ditandai angka keamanan 1,066. Jika dilihat angka keamanan semakin tegak lereng, maka semakin kecil dan kekuatan tarik geosintetik yang diperlukan semakin besar, begitu juga dengan total perpindahannya akan semakin besar.

Pada analisis dilakukan kepada modulus elastisitas geosintetik yang berbeda yaitu 240 kN/m dan 300 kN/m (berdasarkan spesifikasi geosintetik pada distributor). Modulus elastis dengan 240 kN/m yaitu pada *geotextile woven* PP dan *Geogrid* GG dengan rasio interaksi dengan tanah sebesar 0,8 dan 0,87 didapatkan angka keamanan yang sama bedanya pada kemiringan lereng 30° dan 60°. Dari ketiga kemiringan tersebut didapatkan total displacement pada *woven geotextile* PP lebih besar daripada *Geogrid* GG, begitu pula dengan kuat tarik yang diperlukannya. Modulus elastis dengan 300 kN/m yaitu pada *geotextile woven* PET dan *Geocomposit* PEC dengan rasio interaksi dengan tanah sebesar 0,79 dan 0,71 didapatkan angka keamanan yang sama bedanya pada kemiringan lereng 30°. Dari ketiga kemiringan tersebut didapatkan total displacement pada *geocomposit* PEC lebih besar daripada *Woven Geotextile* PET, begitu pula dengan kuat tarik yang diperlukannya. Itu artinya semakin besar rasio interaksi antara tanah dengan geosintetik, maka semakin kecil perpindahan total dan kuat tarik yang diperlukannya.

Jika dilihat dari keempat material geosintetik, secara angka keamanan lereng rata-rata sama, yang membedakan hanya total displacement dan kuat tarik diperlukan, maka ditentukan total displacement dan kuat tarik yang diperlukan yang paling kecil yaitu pada material *Geogrid* GG.

5 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan dari keempat tipe geosintetik (*Woven* PP, *Woven* PET, *Geocomposit* PEC dan *Geogrid* GG), *Geogrid*

GG sangat cocok digunakan pada perkuatan, karena berdasarkan hasil analisis dari ketiga lereng tersebut *Geogrid* GG menghasilkan nilai total perpindahan dan kuat tarik yang lebih kecil, walaupun jika dilihat angka keamanan lereng yang dipasang pada keempat geosintetik tersebut rata-rata sama.

DAFTAR PUSTAKA - REFERENCES

- Abdi, M. R., & Safdari Seh Gonbad, M. 2018. Studying the Effect of Roughness on Soil-Geotextile Interaction in the Direct Shear Test. *Journal of Engineering Geology* 12(5):0.
- Afzali-Nejad, A., Lashkari, A., & Farhadi, B. 2018. Role of Soil Inherent Anisotropy in Peak Friction and Maximum Dilation Angles of Four Sand-Geosynthetic Interfaces. *Geotextiles and Geomembranes* 46(6): 869–881. Diakses tanggal 2018.08.003. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem>.
- Afzali-Nejad, A., Lashkari, A., & Shourijeh, P. T. 2017. Influence of Particle Shape on the Shear Strength and Dilation of Sand-Woven Geotextile Interfaces. *Geotextiles and Geomembranes* 45(1): 54–66. Diakses tanggal 2016.07.005. dari <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem>.
- Anubhav, & Basudhar, P. K. 2010. Modeling of Soil-Woven Geotextile Interface Behavior from Direct Shear Test Results. *Geotextiles and Geomembranes* 28(4):403–408. Diakses tanggal 2009.12.005. dari <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem>.
- Anubhav, & Wu, H. 2015. Modeling of Non-linear Shear Displacement Behaviour of Soil-Geotextile Interface. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering* 1(2): 1–10. Diakses dari <https://doi.org/10.1007/s40891-015-0021-7>.
- Athanasopoulos, G. A. 1993. Effect of Particle Size on the Mechanical Behavior of Sand-Geotextile Composites. *Geotextiles and Geomembranes* 12(3): 255–273. Diakses dari [https://doi.org/10.1016/0266-1144\(93\)90029-N](https://doi.org/10.1016/0266-1144(93)90029-N).
- Athanasopoulos, G. A. 1996. Results of Direct Shear Tests on Geotextile Reinforced Cohesive Soil. *Geotextiles and Geomembranes* 14(11): 619–644. Diakses dari [https://doi.org/10.1016/S0266-1144\(97\)00002-2](https://doi.org/10.1016/S0266-1144(97)00002-2).
- CivilTech. 2017. *Allpile Version 7 User's Manual Volume 1 and 2*. United States of America.
- Das, B.M. 1994 *Mekanika Tanah Jilid I: Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis*. Diterjemahkan oleh Endah, N., Mochtar, I.B. Jakarta: Erlangga.
- Choudhary, A. K., & Krishna, A. M. 2016. Experimental Investigation of Interface Behaviour of Different Types of Granular Soil/Geosynthetics. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering* 2(1): 1–11. Diakses dari <https://doi.org/10.1007/s40891-016-0044-8>.
- Coronel, J. J. 2006. *Frictional Interaction Properties Between Geomaterials and Geosynthetics*. Louisiana

- State University and Agricultural and Mechanical College.
- Das, B.M. 1994. *Mekanika Tanah Jilid II: Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis*. Diterjemahkan oleh Endah, N., Mochtar, I.B. Jakarta: Erlangga.
- Das, B. M., Endah, N., & Mochtar, I. B. 1995. *Mekanika Tanah Jilid I: Prinsip- Prinsip Rekayasa Geoteknis*. Jakarta: Erlangga. 1–291.
- Das, A., Kothari, V. K., & Vandana, N. 2005. A Study on Frictional Characteristics of Woven Fabrics. *Autex Research Journal* 5(3): 133–140.
- DeJong, J. T., & Westgate, Z. J. 2009. Role of Initial State, Material Properties, and Confinement Condition on Local and Global Soil-Structure Interface Behavior. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 135(11): 1646–1660. Diakses dari [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2009\)135:11\(1646\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2009)135:11(1646)).
- Esmaili, D., Hatami, K., & Miller, G. A. 2014. Influence of Matric Suction on Geotextile Reinforcement-Marginal Soil Interface Strength. *Geotextiles and Geomembranes* Vol. 42:139–153. Diakses dari <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2014.01.005>.
- Evgin, E., & Fakharian, K. 1996. Effect of Stress Paths on the Behaviour of Sand-Steel Interfaces. *Can. Geotech* 33: 853–856.
- Ferreira, F. B., Vieira, C. S., & Lopes, M. L. 2015. Direct Shear Behaviour of Residual Soil-Geosynthetic Interfaces – Influence of Soil Moisture Content, Soil Density and Geosynthetic Type. *Geosynthetics International* 22(3): 257–272. Diakses dari <https://doi.org/10.1680/gein.15.00011>.
- Fowmes, G. J., Dixon, N., Fu, L., & Zaharescu, C. A. 2017. Rapid Prototyping of Geosynthetic Interfaces: Investigation of Peak Strength Using Direct Shear Tests. *Geotextiles and Geomembranes* 45(6): 674–687. Diakses pada tanggal 2017.08.009 dari <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem>.
- Frost, J. D., Kim, D., & Lee, S. W. 2012. Microscale Geomembrane-Granular Material Interactions. *KSCCE Journal of Civil Engineering* 16(1): 79–92. Diakses dari <https://doi.org/10.1007/s12205-012-1476-x>.
- Gouw, T. 2018. Common Mistakes in Designing MSE Wall with Finite Element Method. *International Conference on Geosynthetics* 11: 16–21.
- Hardiyatmo, H. C. 2002. *Mekanika Tanah I*. In *Journal of Chemical Information and Modeling* Vol. 3. Diakses dari <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Hardiyatmo, H. C. 2017. *Geosintetik Untuk Rekayasa Jalan Raya Perancangan dan Aplikasi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hatami, K., & Esmaili, D. 2015. Unsaturated Soil-Woven Geotextile Interface Strength Properties from Small-Scale Pullout and Interface Tests. *Geosynthetics International* 22(2): 161–172. Diakses dari <https://doi.org/10.1680/gein.15.00002>.
- Hidayah, S., & Gratia, Y. R. 2007. *Program Analisis Stabilitas Lereng*. Diakses dari <http://eprints.undip.ac.id/33864/1/1818.pdf>.
- Khoury, C. N., Miller, G. A., & Hatami, K. 2011. Unsaturated Soil-Geotextile Interface Behavior. *Geotextiles and Geomembranes* 29(1): 17–28.
- Diakses dari <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2010.06.009>.
- Lee, K. M., & Manjunath, V. R. 2000. Soil-Geotextile Interface Friction by Direct Shear Tests. *Canadian Geotechnical Journal* 37(1): 238–252. Diakses dari <https://doi.org/10.1139/t99-124>.
- Lin, S. M., & Dietz, M. S. 2005. The Peak Strength of Sand-Steel Interfaces and The Role of Dilation. *Soils and Foundations* 45(6): 1–14. Diakses dari <https://doi.org/10.3208/sandf.45.1>.
- Liu, F. Y., Wang, P., Geng, X., Wang, J., & Lin, X. 2016. Cyclic and Post-Cyclic Behaviour from Sand-Geogrid Interface Large-Scale Direct Shear Tests. *Geosynthetics International* 23(2): 129–139. Diakses dari <https://doi.org/10.1680/jgein.15.00037>.
- Martinez, A., & Frost, J. D. 2017. The Influence of Surface Roughness Form on the Strength of Sand-Structure Interfaces. *Géotechnique Letters* 7(1): 104–111. Diakses dari <https://doi.org/10.1680/jgele.16.00169>.
- Martinez, Alejandro, Frost, J. D., & Hebler, G. L. 2015. Experimental Study of Shear Zones Formed at Sand/Steel Interfaces in Axial and Torsional Axisymmetric Tests. *Geotechnical Testing Journal* 38(4): 409–426. Diakses dari <https://doi.org/10.1520/GTJ20140266>.
- Mašin, D., Tamagnini, C., Viggiani, G., & Costanzo, D. 2006. Directional Response of a Reconstituted Fine-Grained Soil - Part II: Performance of Different Constitutive Models. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics* 30(13): 1303–1336. Diakses dari <https://doi.org/10.1002/nag>.
- Negussey, D., Wijewickreme, W. K. D., & Vaid, Y. P. 1989. Geomembrane Interface Friction. *Canadian Geotechnical Journal* 26(1): 165–169. Diakses dari <https://doi.org/10.1139/t89-018>.
- Permana, G. W. 2017. Analisis Stabilitas Lereng dan Penanganan Longsoran Menggunakan Metode Elemen Hingga Plaxis V.8.2. Studi Kasus: Ruas Jalan Liwa Simpang Gunung Kemala STA.263+650. *Jurnal Rekayasa*.
- Punetha, P., Mohanty, P., & Samanta, M. 2017. Microstructural Investigation on Mechanical Behavior of Soil-Geosynthetic Interface in Direct Shear Test. *Geotextiles and Geomembranes* 45(3): 197–210. Diakses pada tanggal 2017.02.001 dari <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem>.
- Puri, A. 2008. Prediction of the Apparent Friction Coefficient on the Soil- Geotextile Interface Based on Empirical Data. *Saintis Jurnal* 10(1): 46–51.
- Puri, A. 2017. Pengaruh Indeks Plastisitas terhadap Kuat Geser Bidang Kontak Tanah Kohesif dan Geotekstil. *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil dan Perencanaan (KN-TSP) 2017* 85–92. Pekanbaru.
- Puspasirini, A., & Meriza K, A. M. 2008. *Analisis Penanganan Penurunan Tanah di Tanah Mas Semarang Utara*.
- Putra, Z. S. 2019. *Analisis Kestabilan Menggunakan Metode Bishop Studi Kasus Embung Sikundur Kecamatan Tenggulun Kabupaten Aceh Tamiang*.
- Ramamurthy, P., Chellamani, K. P., Dhurai, B., & Subramaniam, V. 2017. Study on Frictional

- Characteristics of Medical Wipes in Contact with Mechanical Skin Equivalents. *Fibres and Textiles in Eastern Europe* 25(2): 120–127. Diakses dari <https://doi.org/10.5604/12303666.1232874>.
- Rifa'i, A. 2009. Perilaku Interaksi Tanah-Geotekstil terhadap Parameter Kuat Geser. *Dinamika Teknik Sipil* 9(1): 92–100.
- Rinne, N. F. 1989. *Evaluation of Interface Friction Between Cohesionless Soil and Common Construction Materials*. The University of British Columbia. Retrieved from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038080616301196>.
- Rishavilenda, D. S., & Desiani, A. 2018. Perbandingan Kuat Geser Tanah Pasir Menggunakan Geotextile Woven dan Non Woven Geotextile Berdasarkan Uji Direct Shear. *Jurnal Teknik Sipil* 14(2): 105–200.
- Saputra, N. A., Effendi, R., & Markawie. 2013. Kekuatan Geser Antarmuka Laterit Palangkaraya dan Geotekstil Berdasarkan Uji Geser Langsung. *Teknologi Berkelanjutan. Sustainable Technology Journal* 2(1) 63–72.
- Sompie, G. M. E., Sompie, O. B. A., & Rondonuwu, S. 2018. Analisis Stabilitas Tanah dengan Model Material Mohr Coulomb dan Soft Soil. *Jurnal Sipil Statik* 6(10): 783–792.
- Suryolelono, K.B., 2000, *Geosintetik Geoteknik Edisi 1*. Cetakan 1. Yogyakarta: Nafiri.
- Turangan, A. E., & Sompie, O. B. A. 2014. Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Fellenius: Studi Kasus Kawasan Citraland STA. 1000 m. *Jurnal Sipil Statik*.
- Vangla, P., & Gali, M. L. 2016. Shear Behavior of Sand-Smooth Geomembrane Interfaces Through Micro-Topographical Analysis. *Geotextiles and Geomembranes* 44(4): 592–603. Diakses pada 2016.04.001 dari <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem>.
- Vangla, P., & Latha Gali, M. 2016. Effect of Particle Size of Sand and Surface Asperities of Reinforcement on Their Interface Shear Behaviour. *Geotextiles and Geomembranes* 44(3): 254–268. Diakses pada 2015.11.002 dari <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem>.
- Vieira, C. S., & Pereira, P. M. 2016. Interface Shear Properties of Geosynthetics and Construction and Demolition Waste from Large-Scale Direct Shear Tests. *Geosynthetics International* 23(1): 62–70.

