

PENGARUH JARAK PONDASI DARI TEPI LERENG DAN PANJANG GEOTEKSTIL TERHADAP DAYA DUKUNG PONDASI MENERUS PADA PEMODELAN LERENG PASIR

Niken Nurdiani, As'ad Munawir, Arief Rachmansyah
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang
Jalan MT Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
Email: nikennurdiani92@gmail.com

ABSTRAK

Tanah lereng dijadikan sebagai dasar tanah untuk sebuah pemukiman ataupun pembangunan yang lain tentu memiliki resiko yang berkaitan dengan keamanan bangunan tersebut, mengingat bahwa daya dukung tanah di lereng jauh lebih kecil daripada tanah datar. Maka dari itu perlu adanya perkuatan tanah pada lereng berupa geotekstil. Analisa perkuatan dilakukan pada lereng pasir dengan kepadatan relatif 74% dengan variasi perkuatan jarak pondasi dari tepi lereng sebesar $1B$, $1,5B$, $2B$ serta variasi panjang perkuatan sebesar $0,45H$, $0,52H$, dan $0,59H$. Hasil yang didapatkan semakin panjang perkuatan dan semakin besar jarak pondasi dari tepi lereng maka nilai daya dukung akan semakin meningkat yang dibuktikan dengan nilai $BCI_{(u)}$ sebesar 3,109.

Kata kunci: perkuatan, daya dukung, BCI

PENDAHULUAN

Sejalan dengan pertambahan penduduk, terjadi pula peningkatan kebutuhan lahan sebagai salah satu kebutuhan penting manusia yaitu kebutuhan tempat tinggal. Hal tersebut mengakibatkan berkurangnya ketersediaan sumber daya lahan, sedangkan saat ini daerah perbukitan menjadi alternatif untuk kebutuhan tempat tinggal, padahal daerah perbukitan sangat rawan terhadap kelongsoran tanah. Pada prinsipnya perkuatan tanah adalah salah satu teknik pemecahan untuk meningkatkan daya dukung tanah terutama untuk konsistensi tanah lunak. Perkuatan yang dimaksudkan dalam bahasan ini yaitu dengan menggunakan geosintetik.

TUJUAN

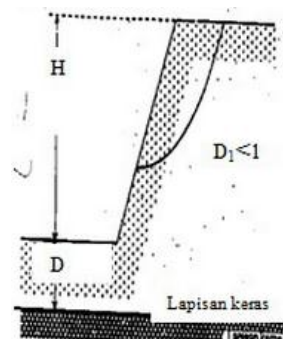
Adapun tujuan dari penelitian ini adalah Untuk mengetahui perbandingan daya dukung pondasi menerus pada lereng tanpa perkuatan dengan lereng perkuatan geotekstil. Selain itu untuk mengetahui pengaruh jarak pondasi dari tepi lereng dan panjang perkuatan geotekstil terhadap daya dukung lereng serta untuk mengetahui jarak pondasi dari tepi

lereng dan panjang perkuatan geotekstil yang maksimum pada penelitian ini.

TINJAUAN PUSTAKA

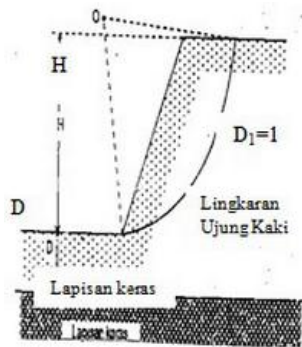
Tipe Keruntuhan Lereng

Pengamatan longsor atau keruntuhan pada lereng yang dilakukan oleh Collin (1846) menunjukkan bahwa kebanyakan peristiwa kelongsoran tanah terjadi dengan bentuk bidang longsor yang berupa lengkungan. Adapun tipe keruntuhan normal pada lereng adalah sebagai berikut :

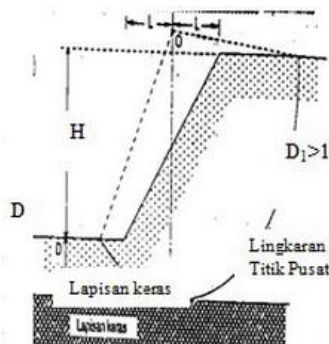


Gambar 1 Keruntuhan pada lereng (slope failure)

(Sumber : Ir. G. Djatmiko S dkk)



Gambar 2 Keruntuhan pada kaki lereng (*toe failure*)
(Sumber : Ir. G. Djatmiko S dkk)



Gambar 3 Keruntuhan dibawah kaki lereng (*base failure*)
(Sumber : Ir. G. Djatmiko S dkk)

Secara umum, longsor pada lereng disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain :

1. Bertambahnya tegangan yang bekerja
2. Berkurangnya kuat geser material

Geotekstil

Dalam struktur yang berkaitan dengan tanah, geotekstil mempunyai 4 fungsi utama yaitu:

- a. Filtrasi dan Drainase
- b. Proteksi (*erotion control*)
- c. Separator
- d. Perkuatan (*Reinforcement*)

Pengaruh pemakaian geotekstil pada tanah antara lain :

- Dapat mempengaruhi mode runtuh, penempatan geotekstil pada tanah mempunyai efek memperkuat subgrade dan memperkecil keruntuhan.

- Geotekstil dapat menyediakan tahanan (*restrain*) dari agregat dan subgrade jika ditempatkan pada batas keduanya (*interface*). Hal ini menimbulkan peningkatan kapasitas distribusi beban yang terkadang memiliki efek sebagaimana pelat.
- Akan timbul aksi membrane ketika terjadi friksi antara subgrade dan geotekstil disekitar daerah yang dibebani cukup besar, hingga dapat berperan sebagai anker. Resultan keatas gaya tarik yang timbul tersebut mendukung beban dan mengurangi tegangan yang terjadi pada subgrade.

Teori Daya Dukung

Daya dukung menyatakan tahanan geser tanah untuk melawan penurunan akibat pembebanan, yaitu tahanan geser yang dapat dikerahkan oleh tanah di sepanjang bidang-bidang gesernya. Analisis- analisis daya dukung dilakukan dengan cara pendekatan untuk memudahkan hitungan. Persamaan yang dibuat dikaitkan dengan sifat-sifat tanah dan bentuk bidang geser yang terjadi saat keruntuhan. Analisisnya dilakukan dengan menganggap bahwa tanah berkelakuan sebagai bahan yang bersifat plastis. Konsep ini pertama kali dikenalkan oleh Prandtl (1921), yang kemudian dikembangkan oleh Terzaghi (1943), Meyerhof (1955) dan lainnya (*Hardiyatmo, H.C., 2011:110-111*).

Bearing Capacity Improvement (BCI)

Bearing Capacity Improvement (BCI) adalah rasio perbandingan antara daya dukung tanah yang diberi perkuatan dan daya dukung tanah tanpa perkuatan. Nilai tersebut dapat didapat berdasarkan dua hal berikut ini yaitu daya dukung pada saat ultimit (BCI_u) dan daya dukung pada penurunan yang sama (BCI_s).

Daya Dukung Pondasi Dangkal di Atas Lereng Tanpa Perkuatan

Analisis daya dukung pondasi dangkal di atas lereng tanpa perkuatan dapat menggunakan dua analisis pendekatan dengan solusi Hansen dan Vesic dan metode Shields (1990)

Meyerhof

Untuk tanah pasir, Meyerhof menyatakan daya dukung pondasi menerus di atas lereng dengan persamaan:

$$q_u = \frac{1}{2} \gamma B N_{\gamma q}$$

Solusi Hansen

Persamaan yang dikembangkan oleh Hansen (1970) menunjukkan hasil temuan teoritis maupun eksperimental baik yang didapatkan maupun kontribusi dari penelitian sebelumnya seperti yang dilakukan Terzaghi. Dalam persamaan yang dikembangkan oleh Hansen memperhatikan pengaruh-pengaruh bentuk pondasi, kedalaman, kemiringan beban, kemiringan dasar dan kemiringan permukaan tanah.

$$q_u = c N_c s_c d_c i_c g_c b_c + D_f \gamma N_q s_q d_q i_q g_q b_q + \gamma \frac{B}{2} N_{\gamma} s_{\gamma} d_{\gamma} i_{\gamma} g_{\gamma} b_{\gamma}$$

Dimana,

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_{\gamma} = 1,5(N_q - 1) \tan \phi$$

s_c, s_q, s_{γ} = faktor bentuk pondasi

d_c, d_q, d_{γ} = faktor kedalaman

i_c, i_q, i_{γ} = faktor kemiringan beban

g_c, g_q, g_{γ} = faktor kemiringan permukaan tanah

Untuk pondasi tepat di tepi lereng:

$$g_q = g_{\gamma} = (1 - 0,5 \tan \beta)^5$$

b_c, b_q, b_{γ} = faktor kemiringan alas

Metode Shields (1990)

Shields bersama dengan peneliti lainnya telah mencoba melakukan penelitian terhadap faktor daya dukung $N_{\gamma q}$ untuk sebuah pondasi pada lereng yang memiliki sudut geser yang rendah. Pada

penelitian yang dilakukan oleh Shields ia menggunakan pemodelan *box* pasir berukuran besar dengan panjang 15 m dan lebar 2 m dan tinggi 2,2 m. Sebuah lereng dengan perbandingan H : V yaitu 2 : 1 dipilih sebagai pemodelan karena dianggap ukuran tersebut adalah uluran standar dari sebuah lereng, lereng dibuat dengan faktor-faktor penentu yang ada. Dari percobaan tersebut Shields melaporkan prosentase daya dukung tanah datar yang ia temukan dengan menggunakan persamaan *Gemperline* untuk menghitung nilai $N_{\gamma q}$ dan menggunakan persamaan daya dukung Meyerhof untuk tanah datar.

Adapun persamaan Gemperline adalah sebagai berikut :

$$N_{\gamma q} = f_{\phi} \times f_{\beta} \times f_{D/B} \times f_{B/L} \times f_{D/B, B/L} \times f_{\beta, b/B} \times f_{\beta, b/D, D/B} \times f_{\beta, b/B, B/L}$$

Dengan :

ϕ	: sudut geser dalam tanah ($^{\circ}$)
β	: sudut kemiringan lereng ($^{\circ}$)
B	: lebar pondasi (inchi)
D	: kedalaman pondasi (inchi)
L	: panjang pondasi (inchi)
b	: jarak pondasi ke puncak lereng (inchi)
f_{ϕ}	: $10^{(0,1159\phi - 2,386)}$
f_{β}	: $10^{(0,34 - 0,2 \log B)}$
$f_{D/B}$: $1 + 0,65 (D/B)$
$f_{B/L}$: $1 - 0,27 (B/L)$
$f_{D/B, B/L}$: $1 + 0,39 (D/L)$
$f_{\beta, b/B}$: $1 - 0,8 [1 - (1 - \tan \beta)^2] \{2/[2 + (b/B)^2 \tan \beta]\}$
$f_{\beta, b/D, D/B}$: $1 + 0,6 (B/L) [1 - (1 - \tan \beta)^2] \{2/[2 + (b/B)^2 \tan \beta]\}$
$f_{\beta, b/B, B/L}$: $1 + 0,33 (D/B) \tan \beta \{2/[2 + (b/B)^2 \tan \beta]\}$

METODE PENELITIAN

Pengujian Dasar

- Uji pemeriksaan dasar pada tanah, yaitu antara lain:
- Pemeriksaan analisis saringan menurut ASTM C-136-46
- Pemeriksaan berat jenis butiran tanah mengikuti ASTM D-854-58

- d. Pemeriksaan kepadatan standart (compaction) mengikuti ASTM D-698-70
- e. Pemeriksaan kekuatan geser langsung (direct shear) menurut ASTM D-3080-72
- f. Pengujian sand cone untuk mendapatkan nilai kerapatan relative model lereng mencapai 74%.

Jumlah dan Perlakuan Benda Uji

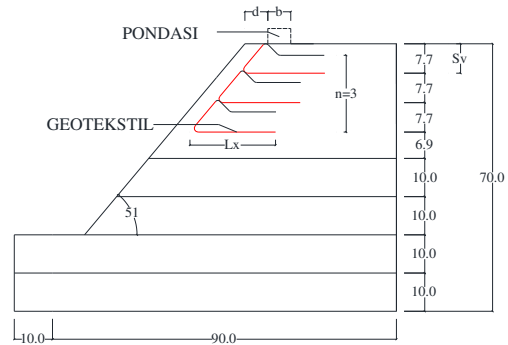
Pada penelitian ini dibuat satu model lereng tanpa perkuatan serta 9 model lereng yang diperkuat dengan geotekstil dengan tiga variasi panjang lapisan geotekstil dan tiga variasi jumlah lapisan geotekstil. Adapun variasi panjang dan jumlah lapisan geotekstil disajikan pada tabel berikut:

Tabel 1 Variasi perlakuan pondasi

DR 74% (B Pondasi=6 cm, n=3 lapisan, Sv=7,7 cm)	Jarak pondasi dari tepi lereng		
	d/B=1	d/B=1,5	d/B=2
L/H=0,45	✓	✓	✓
L/H=0,52	✓	✓	✓
L/H=0,59	✓	✓	✓

Lereng dibuat dengan sudut kemiringan 51°. Jumlah lapisan geotekstil adalah 3 lapisan. Sementara itu, pada perkuatan geotekstil panjang lipatan ditentukan sebesar 15,4 cm. Pengulangan dilakukan dengan perlakuan yang sama apabila hasil dari pengujian benda uji terdapat penyimpangan.

Pemodelan fisik lereng tanah pasir dilakukan dengan menggunakan pondasi menerus dengan lebar pondasi (B) sebesar 6 cm, jumlah lapisan 3 buah, dan jarak vertikal/spasi antar perkuatan (Sv) sebesar 7,7 cm. Pemodelan ini dilakukan dengan 3 macam variasi panjang perkuatan geotekstil (Lx), yaitu 0,45H; 0,52H; 0,59H dan 3 macam variasi jarak pondasi dari tepi lereng (d), yaitu 1B, 1,5B, dan 2B.



Gambar 4 Model Lereng Percobaan

Elemen utama yang digunakan dalam penelitian ini antara lain *box*, terbuat dari *fiber glass* dengan ukuran panjang 1,50 m, lebar 1,0 m dan tinggi box 1,00 m. Dasar box menggunakan pelat baja tebal 1,2 cm. Box dibuat cukup kaku dengan harapan agar dapat mempertahankan kondisi regangan bidang dengan memberikan perkuatan di sekeliling bagian tengah ke empat sisi *fiber glass* dengan menggunakan pelat siku baja 40.40.4.

Metode Analisis Data

Berdasarkan hasil pengujian pembebanan, diperoleh data beban dan penurunan untuk lereng tanpa perkuatan serta beban dan penurunan untuk lereng dengan perkuatan geotekstil yang divariasikan jarak pondasi dari tepi lereng dan panjang geotekstil. Daya dukung dihitung dengan rumus berikut:

$$qu = \frac{Pu}{A}$$

Dengan:

Pu: beban maksimum yang dicatat saat uji pembebanan

A: luasan pondasi

Untuk mengetahui pengaruh penggunaan geotekstil sebagai perkuatan lereng dalam meningkatkan daya dukung dilakukan analisis *Bearing Capacity Improvement (BCI)*. Nilai *BCI* diperoleh dengan rumus:

$$BCI = \frac{qu \text{ lereng dengan perkuatan}}{qu \text{ lereng tanpa perkuatan}}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Daya Dukung Tanah Lereng Tanpa Perkuatan

Untuk lereng tanpa perkuatan, terdapat beberapa cara pendekatan perhitungan secara analitik yang dapat digunakan yaitu meliputi metode Shields (1990) dan Metode Hansen. Daya dukung yang diperoleh dari kedua metode tersebut disajikan dalam Tabel berikut:

Tabel 2 Nilai daya dukung berdasar analitik dan eksperimen

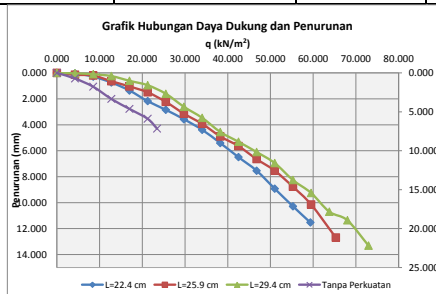
Jarak Pondasi (d/B)	Metode		
	Eksperimen (qu)	Shields (qu)	Hansen (qu)
		kN/m ²	
1	18.707	15.021	2.974
1.5	22.279	19.277	4.413
2	23.469	22.038	5.853

Analisis Daya Dukung untuk Lereng dengan Perkuatan pada Variasi Jarak Pondasi dari Tepi Lereng

Analisis daya dukung untuk lereng dengan perkuatan menghasilkan bahwa nilai daya dukung yang paling tinggi sebesar 72,959 kN/m² pada jarak 2B dan panjang 0,59H. Berdasarkan hasil pengujian eksperimen di laboratorium didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 3 Nilai daya dukung dan penurunan lereng dengan variasi jarak pondasi dan panjang geotekstil

Jarak Pondasi (d/B)	Panjang Geotekstil (L/H)	Penurunan (mm)	qu (kN/m ²)
2	0.45	11.535	59.354
	0.52	12.695	65.306
	0.59	13.310	72.959



Gambar 5 Grafik hubungan daya dukung dan penurunan lereng dengan jarak pondasi dan variasi panjang

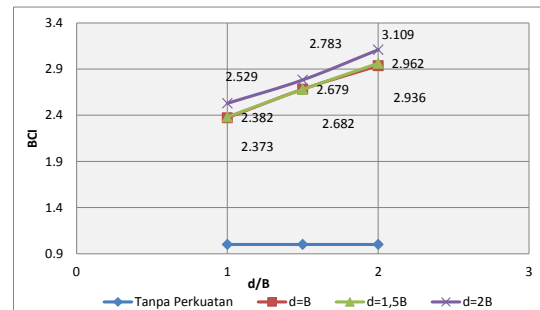
Analisis Bearing Capacity Improvement Berdasarkan Daya Dukung Ultimit ($BCI_{(u)}$)

Analisis ($BCI_{(u)}$) adalah analisis perbandingan antara beban runtuh maksimum saat diberi perkuatan geotekstil dengan beban runtuh maksimum tanpa perkuatan. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui nilai peningkatan daya dukung yang terjadi akibat adanya pemberian perkuatan geotekstil.

Hasil analisis nilai $BCI_{(u)}$ untuk variasi jarak pondasi dan panjang geotekstil disajikan pada tabel dan grafik berikut:

Tabel 4 Nilai $BCI_{(u)}$ untuk variasi jarak pondasi dan panjang geotekstil

Jarak Pondasi (d/B)	Panjang geotekstil (L/H)	q tanpa perkuatan kN/m ²	q dengan perkuatan kN/m ²	BCI
1	0.45	18.707	44.388	2.373
	0.52		50.17	2.682
	0.59		54.932	2.936
1.5	0.45	22.279	53.061	2.382
	0.52		59.694	2.679
	0.59		65.986	2.962
2	0.45	23.469	59.354	2.529
	0.52		65.306	2.783
	0.59		72.959	3.109



Gambar 6 Grafik nilai $BCI_{(u)}$ untuk variasi jarak pondasi dan panjang geotekstil

Diperoleh bahwa variasi panjang geotekstil meningkatkan daya dukung lereng. Hal ini ditunjukkan dengan nilai (BCI_u) lebih besar dari 1. Adapun nilai (BCI_u) paling maksimum pada penelitian ini diperoleh saat pemasangan $d/B=2$ dengan $L/H=0,59$ yaitu sebesar 3,109.

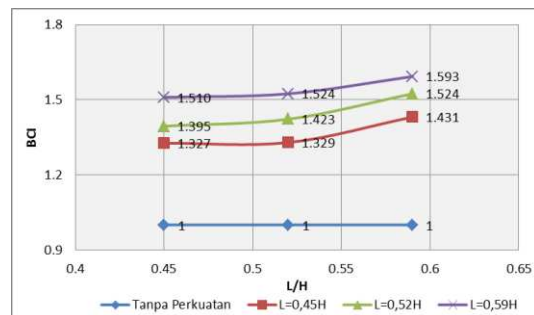
Analisis *Bearing Capacity Improvement* Berdasarkan Penurunan ($BCI_{(s)}$)

Analisis (BCIs) adalah suatu analisis perbandingan antara beban runtuh saat penurunan yang sama antara daya dukung yang diberi perkuatan geotekstil dengan tanpa perkuatan. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui nilai peningkatan daya dukung yang terjadi pada penurunan yang sama akibat adanya perkuatan geotekstil.

Hasil analisis nilai $BCI_{(s)}$ untuk variasi jarak pondasi dan panjang geotekstil saat mencapai nilai penurunan maksimum pada lereng tanpa perkuatan sebesar 4,785 mm ($s/B = 7,167\%$) disajikan pada tabel dan grafik berikut:

Tabel 5 Nilai $BCI_{(s)}$ untuk variasi jarak pondasi dan panjang geotekstil

s/B (%)	Jarak Pondasi (d/B)	Panjang geotekstil (L/H)	q dengan perkuatan kN/m ²	q tanpa perkuatan kN/m ²	BCI
6.4%	1	0.45	24.821	18.707	1.327
		0.52	26.09		1.395
		0.59	28.246		1.51
6.842%	1.5	0.45	29.616	22.279	1.329
		0.52	31.695		1.423
		0.59	33.957		1.524
7.167%	2	0.45	33.59	23.469	1.431
		0.52	35.771		1.524
		0.59	37.392		1.593



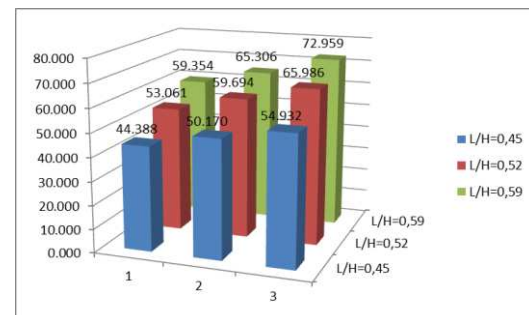
Gambar 7 Grafik nilai $BCI_{(s)}$ untuk variasi jarak pondasi dan panjang geotekstil

Berdasarkan tabel dan grafik di atas dapat diketahui bahwa nilai $BCI_{(s)}$ saat $s/B: 7,167\%$ membuktikan bahwa lereng yang menggunakan jarak pondasi 2B dengan panjang 0,59H menghasilkan daya dukung maksimal dengan nilai $BCI_{(s)}$ sebesar 1,593.

Pengaruh Panjang Perkuatan dan Jarak Pondasi dari Tepi Lereng terhadap Nilai Daya Dukung

Variasi jarak pondasi dari tepi lereng memberikan hasil yaitu semakin besar jarak pondasi dari tepi lereng maka akan semakin meningkatkan daya dukung yang ada. Sedangkan untuk variasi panjang lapisan geotekstil, kenaikan yang ditinjau dari penurunan (*settlement*) yang sama di tiap rasio s/B 2%, 4%, dan 6%, hasil peningkatan daya dukung yang didapatkan cukup seragam pula. Dari hasil ini pula juga dapat dilihat peningkatan yang cukup signifikan saat rasio $d/B=2$.

Jika pada variasi panjang lapisan geotekstil, daya dukung mengalami kenaikan maksimum saat rasio $L/H=0,59$, hal tersebut dapat dilihat dari peningkatan nilai BCI_{qu} sebesar 3,109. Sedangkan jika ditinjau dari penurunan (*settlement*) yang sama di tiap rasio s/B 2%, 4%, dan 6%, hasil peningkatan daya dukung yang seragam dan peningkatan yang cukup signifikan saat rasio $L/H=0,59$. Berikut dapat dilihat pada Gambar berikut:



KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan melihat pengaruh variasi panjang lapis geotekstil dan jarak pondasi dari tepi lereng dengan jarak vertikal antar lapis geotekstil sebesar 7,7 cm terhadap daya dukung pada pemodelan fisik

lereng pasir DR 74%, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil eksperimen dan analisis menunjukkan bahwa pengaruh geotekstil pada daya dukung lereng tanpa perkuatan dengan lereng perkuatan geotekstil mengalami peningkatan yang dapat dibuktikan pada nilai $BCI_{(qu)}$.
2. Semakin panjang lapisan geotekstil, berdasarkan hasil eksperimen dan analisis terbukti meningkatkan daya dukung tanah.
3. Untuk variasi jarak pondasi dari tepi lereng, semakin jauh pondasi dari tepi lereng maka daya dukung tanah lereng akan semakin meningkat.
4. Pada penelitian ini, panjang lapis geotekstil paling terbaik adalah 29,4 cm ($L/H=0,59$). Sedangkan untuk jarak pondasi dari tepi lereng, jarak paling maksimum adalah 12 cm ($d/B=2$).

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, Qiming. 2007. *An Experimental Study On Characteristics And Behavior Of Reinforced Soil Foundation*. Disertasi. Tidak diterbitkan. The Department of Civil and Environmental Engineering. Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College. China
- Craig RF. 1989. *Mekanika Tanah*. Edisi Keempat. Penerbit Erlangga, Jakarta
- Das BM. 2009. *Shallow Foundations*. Second Edition. Taylor & Francis Group, USA
- Endrayana MR. 2008. *Pengaruh Geotekstil terhadap Kuat Geser Pada Tanah Lempung Lunak Dengan Uji Triaksial Terkonsolidasi Tak Terdrainasi*. Skripsi. Tidak diterbitkan. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Jakarta
- Fitri WN. 2013. *Pengaruh Penempatan Pondasi dan Kemiringan Lereng Terhadap Daya Dukung Pondasi Pada Pemodelan Fisik Lereng Pasir*. Skripsi. Tidak diterbitkan. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang
- Hoang, Le CV, Nguyen VPQ, Truong TP. *Bearing Capacity of Footing Strip Resting On Slope Using Upper Bound Limit Analysis*. 2012. Journal of Engineering Technology and Education The 2012 International Conference on Green Technology and Sustainable Development (GTSD2012)
- Indrawahyuni H, Munawir A, Damayanti I. *Pengaruh Variasi Kepadatan Pada Permodelan Menggunakan Tanah Pasir Berlempung Terhadap Stabilitas Lereng*. Jurnal Rekayasa Sipil, 2009. Volume 3, No.3, hal 192-308
- Munawir A, Dewi M, Zaika Y, Soehardjono A. *Bearing Capacity on Slope Modeling with Composite Bamboo Pile Reinforcement 2013*. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) ISSN: 2249 – 8958, Volume-2, Issue-5, June 2013
- Terzaghi K, Peck RB. 1987. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*. Jilid 1. Edisi Kedua. Penerbit Erlangga. Jakarta
- Yun Hu, Zhang G, Zhang JM, Lee CF. Centrifuge modeling of geotextile-reinforced cohesive slopes. 2009. Geotextiles and Geomembranes 28 (2010) 12–22