

DAYA DUKUNG ULTIMIT PONDASI DANGKAL DI ATAS TANAH PASIR YANG DIPERKUAT GEOGRID

Pontjo Utomo

Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tadulako, Palu, Sulawesi Tengah

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan kapasitas daya dukung ultimit pondasi bujur sangkar dan pondasi lajur yang berada di atas tanah pasir yang diperkuat geogrid melalui uji model di laboratorium. Parameter yang diteliti meliputi efek letak lapisan geogrid teratas (u), efek spasi geogrid (z) dan efek letak lapisan terbawah (d) dari geogrid terhadap kenaikan daya dukung ultimit pondasi. Untuk model pondasi baik bujur sangkar maupun lajur, nilai $u/B = 0.25-0.5$ (B = lebar pondasi) mampu meningkatkan daya dukung ultimit hingga 2.5-3.5 kali daya dukung ultimit tanah pondasi tanpa perkuatan. Nilai $z/B = 0.5$ pada pondasi bujur sangkar memberikan kenaikan daya dukung hingga 3.5 kali lipat dan pondasi lajur, nilai $z/B = 0.25$ memberikan kenaikan daya dukung hingga 2.5 kali lipat. Nilai $d/B = 1.5$, pada pondasi bujur sangkar dan lajur mampu menaikkan daya dukung tanah pondasi hingga 5 kali lipat dan 3 kali lipat dibanding tanah tanpa perkuatan.

Kata kunci: daya dukung ultimit, pondasi bujur sangkar, pondasi lajur, geogrid.

ABSTRACT

This research was conducted to compare the ultimate bearing capacity of square footing and strip footing rested on geogrid-reinforced sand via model test in the laboratory. The parameters studied were the top layer depth of geogrid below the footing (u), vertical spacings of geogrid layers (z) and the depth of the deepest geogrid layer (d) below the footing. For both square and strip footing, the value of $u/B = 0.25-0.5$ (B = width of footing) can give benefit to the ultimate bearing capacity of sand up to 2.5-3.5 times greater than unreinforced sand. On the value of $z/B = 0.5$, on the square footing case, could increase the bearing capacity up to 3.5 times bigger than unreinforced sand, while on the strip footing, $z/B = 0.25$ increase the ultimate bearing capacity up to 2.5 times greater than unreinforced case. At the value of $d/B = 1.5$, both square and strip footing could give benefits which amplified the ultimate bearing capacity up to 5 times and 3 times bigger than unreinforced sand respectively.

Keywords: ultimate bearing capacity, square footing, strip footing, geogrid.

PENDAHULUAN

Dalam 30 tahun terakhir ini, terdapat banyak publikasi ilmiah yang menampilkan efek manfaat dari perkuatan tanah (*soil reinforcement*) terhadap daya dukung ultimit pondasi dangkal. Kebanyakan dari hasil-hasil yang dipublikasikan merupakan hasil percobaan melalui uji model. Material perkuatan tanah yang pernah diteliti penggunaannya antara lain : strip alumunium [1, 2, 3], serat alami berbentuk tali (*rope fibers*)[4], batang metal (*metal bars*)[5], geotextile [6] dan geogrid [7]. Semua pengujian yang menggunakan material perkuatan geosintetik (geotextile dan geogrid)

kebanyakan menggunakan model pondasi berbentuk bujur sangkar (*square footing*). Tujuan dari tulisan ini membandingkan hasil pengujian pembebanan pada pondasi dangkal berbentuk bujur sangkar (*square foundation*) dan pondasi lajur (*strip foundation*) yang berada di atas tanah pasir yang diperkuat dengan perkuatan jenis geogrid, karena dalam prakteknya geogrid lebih sering digunakan sebagai elemen perkuatan (*reinforcement element*) dibandingkan geotextile yang lebih banyak berfungsi sebagai elemen pemisah (*separator*).

KAJIAN PUSTAKA

Konsep Perkuatan Tanah

Tanah adalah material yang sangat banyak terdapat di alam dan merupakan material

Catatan: Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juni 2004. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Dimensi Teknik Sipil Volume 6 Nomor 2 September 2004.

konstruksi yang murah. Pada kebanyakan material tanah, apabila berada pada kondisi kepadatan dan kadar air tertentu akan memiliki kekuatan yang cukup untuk menopang struktur di atasnya, khususnya apabila bebannya merupakan beban kompresi atau tekan.

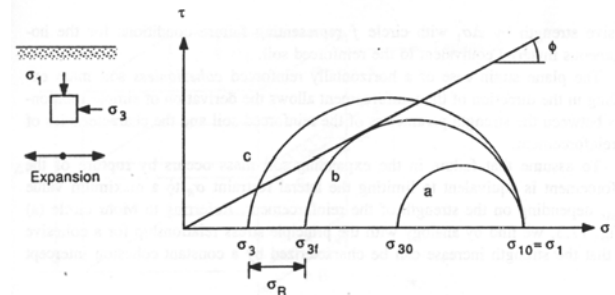
Seperti semen *Portland*, tanah adalah juga sangat lemah dalam menghadapi beban tarik (*tensile force*). Hal ini telah membatasi penggunaan tanah untuk berbagai aplikasi, misalnya untuk membuat lereng yang lebih curam dari sudut geser dalamnya sudah tidak mungkin lagi untuk dilakukan. Seperti pada kasus beton bertulang, penyisipan besi baja yang kuat terhadap tarikan dapat menghasilkan material komposit yang memiliki perilaku mekanis yang jauh lebih baik. Aspek penting yang menunjang kesuksesan dari sistem perkuatan tanah adalah bahwa kedua material tersebut harus dapat membentuk suatu geometri tertentu yang memungkinkan terjadinya transfer beban dari material yang satu kepada yang lainnya [8].

Perilaku Material Komposit Tanah-Perkuatan

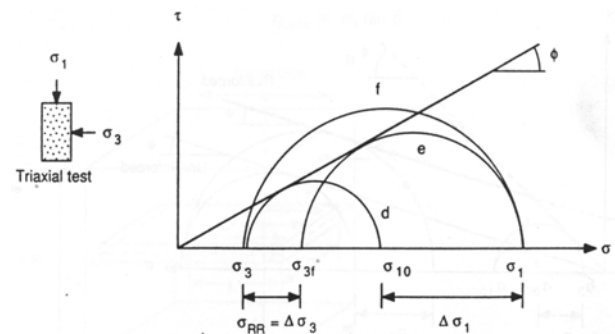
Gambar 1 memperlihatkan perubahan tegangan massa tanah granular yang mengembang ke arah horizontal. Lingkaran Mohr a menggambarkan kondisi tegangan *at rest*, sedangkan lingkaran Mohr b menggambarkan kondisi keruntuhan tanah yang tidak diperkuat, ekuivalen dengan kondisi keseimbangan plastis Rankine aktif. Terlihat bahwa perkuatan dapat memberikan kekangan (*restraint*) sebesar σ_R yang memungkinkan bagi tegangan lateral untuk berkurang sebelum kondisi keruntuhan tanah diperkuat tercapai. Hal ini diperlihatkan oleh lingkaran Mohr c [9].

Gambar 2 menunjukkan perubahan tegangan pada pengujian triaksial standar di mana tegangan sel dijaga agar konstan. Lingkaran Mohr d menggambarkan kondisi *at rest*. Adanya perkuatan menimbulkan naiknya kekuatan tekan (*compressive strength*) dari massa tanah, hal ini diperlihatkan dengan lingkaran Mohr f yang menunjukkan keruntuhan material komposit tanah-perkuatan pada pengujian triaksial kompresi dengan tegangan sebesar σ_1 . Setelah diketahui besarnya σ_1 runtuhnya, sampel tanah yang tidak diperkuat digeser dengan pengujian triaksial *lateral extension* dengan σ_1 konstan hingga terjadi keruntuhan (lingkaran Mohr e). Terlihat bahwa terjadi selisih tegangan sebesar σ_{RR} yang merupakan indikasi adanya tambahan

kekangan (*confinement*) akibat adanya perkuatan [9].



Gambar 1. Perubahan Tegangan Pada Massa Tanah Yang Mengembang [9]



Gambar 2. Perubahan Tegangan Pada Pengujian Triaksial Standar [9].

METODE PENELITIAN

Program Eksperimen

Uji model ini dilakukan dengan menggunakan kolam pasir (kontainer) berukuran 80 cm x 80 cm x 80 cm, yang secara berurutan merupakan lebar x panjang x kedalaman, terbuat dari baja yang di sekelilingnya diperkaku dengan pelat-pelat baja guna menahan gaya lateral yang mungkin timbul. Kedalaman tanah pasir yang disusun pada setiap uji pembebanan adalah tidak kurang dari 2 kali lebar pondasi ($> 2B$, B = lebar pondasi), hal ini dilakukan untuk menghindari distorsi daya dukung tanah pasir, akibat berperannya dinding lapisan bawah kontainer [10]. Agar bidang longsor tanah di samping model pondasi tidak menyentuh dinding kontainer, maka lebar kontainer minimal harus $6B$ (B = lebar pondasi) [11], sedangkan lebar kontainer dalam penelitian ini adalah 80 cm atau $8B$. Geogrid yang digunakan dalam penelitian ini adalah Geogrid produk Tenax Company SpA (Italia), TT Samp 090, merupakan *monoaxial geogrid*.

Pasir yang digunakan dalam pengujian ini berasal dari sungai Palu, yang merupakan tanah pasir halus bergradasi baik (*well graded*, SW). Model pondasi yang digunakan adalah pondasi bujur sangkar 10 x 10 cm dan pondasi lajur 10 x 80 cm (kesemuanya dibuat dari pelat baja dengan tebal = 0.8 cm)

Tabel 1. Rancangan Percobaan Pembebanan

Model	Detail
I	Pengujian pembebanan pada tanah pasir tanpa perkuatan
II	u/B = 0.25; 0.5; 0.75; 1.0; 1.5; 2.0 Parameter konstan : z/B = 0.25; B _r /B = 5; N = 5; B = 10 cm
III	z/B = 0.25; 0.5; 0.75; 1.0; 1.5; 2.0 Parameter konstan : u/B = 0.25; B _r /B = 5; N = 5; B = 10 cm
IV	d/B = 0.25; 0.5; 0.75; 1.0; 1.5; 1.75 (utk lajur hanya sampai d/B = 1.5) Parameter konstan : z/B = 0.25; u/B = 0.25; B _r /B = 5; B = 10 cm

Keterangan : u, z, B_r, d dan B sebagaimana dalam gambar 4.

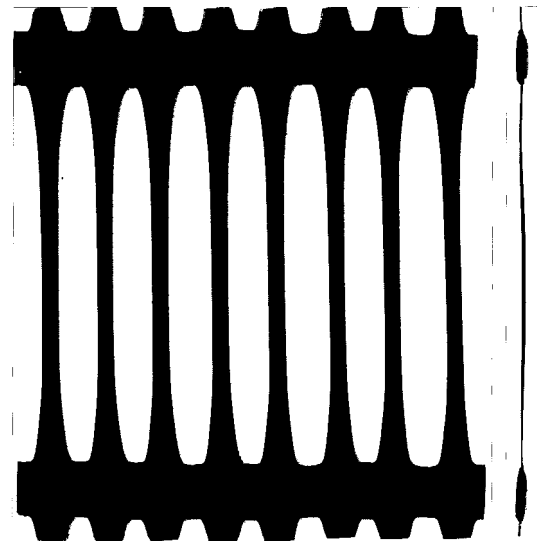
Pengujian pembebanan baik untuk pondasi bujur sangkar dan lajur dibedakan menjadi 4 macam model (Tabel 1), Model I: Tanah Pondasi dibebani tanpa perkuatan, Model II : Pengujian pembebanan dengan variasi nilai u/B (rasio letak lapisan teratas dari geogrid), Model III: Pengujian pembebanan dengan variasi nilai z/B (rasio spasi vertikal geogrid) dan Model IV: Pengujian pembebanan dengan variasi nilai d/B (letak lapisan terbawah dari geogrid).

Sebelum pengujian pembebanan dilakukan, agar diperoleh kepadatan yang seragam untuk kesemua pengujian, tanah pasir dicoba ditempatkan dalam suatu tempat (mould) yang telah diketahui volumenya dengan tinggi jatuh yang berbeda-beda, pada saat tinggi jatuhnya sekitar 70 cm, ternyata setelah dihitung memiliki berat satuan volume sebesar 1.537 t/m³, yang apabila dibandingkan dengan berat satuan volume maksimum ($\gamma_{d(max)}=1.635 \text{ t/m}^3$) dan minimumnya ($\gamma_{d(min)}=1.403 \text{ t/m}^3$), diperoleh nilai:

$$D_r = 68\% \left(D_r \% = \frac{1.537 - 1.403}{1.635 - 1.403} \times \frac{1.635}{1.403} \Rightarrow D_r = 68\% \right).$$

Oleh karena itu, untuk mendapatkan kepadatan yang seragam untuk semua uji pembebanan, maka ketika memasukkan material pasir ke dalam kontainernya, tinggi jatuh dijaga agar terus konstan setinggi 70 cm. Lapisan perkuatan diletakkan dalam massa tanah disesuaikan dengan geometri penempatannya

masing-masing, sesuai dengan rancangan percobaan. Model pondasi diletakkan di permukaan tanah pasir, kemudian beban diberikan dengan menggunakan hydraulic jack berkapasitas 10 ton yang dibautkan di kerangka pembebanan, pembebanan dilakukan dengan constant rate (1 mm/menit), besarnya beban yang bekerja diukur dengan menggunakan proving ring dan penurunan yang terjadi diukur dengan alat dial gauge (gambar 4).



Gambar 3. Geogrid TT Samp 090

Analisa Data Percobaan

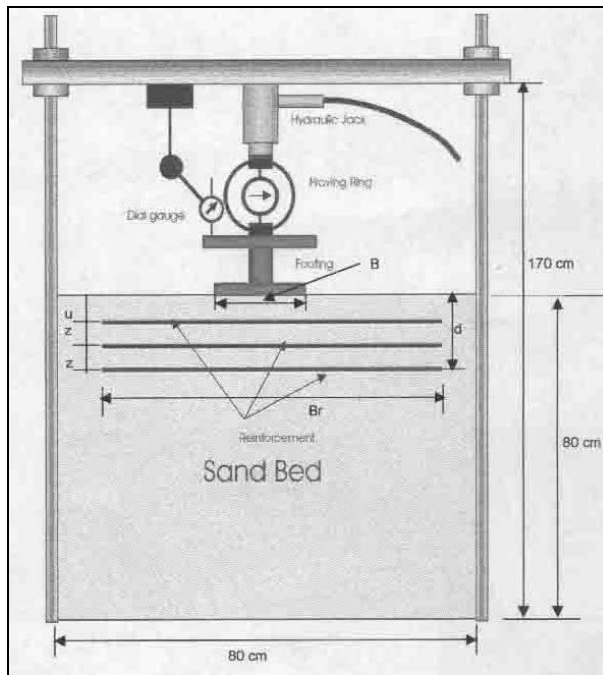
Untuk mengetahui kinerja geogrid dalam menaikkan daya dukung tanah pondasi, dilakukan analisis *dimensionless*, untuk menghasilkan nilai *Bearing Capacity Ratio* (BCR), yang merupakan rasio antara daya dukung ultimit tanah pondasi yang diperkuat dengan daya dukung ultimit tanah pondasi yang tidak diperkuat [1].

$$BCR = \frac{q_r}{q_0} \tag{1}$$

di mana :

q_r = daya dukung ultimit tanah pondasi yang diperkuat;

q_0 = daya dukung ultimit tanah pondasi yang tidak diperkuat



Gambar 4. Set Up Alat Percobaan Pembebanan

Tabel 2. Karakteristik Teknis Geogrid

Item	Property
Struktur	Mono-oriented Geogrid
Tipe mesh	Oval Mesh
Warna Standar	Hitam
Tipe polimer	High Density Polyethylene (HDPE)
Kuat Tarik Pada 2% Strain	26 kN/m
Kuat Tarik Puncak	90 kN/m
Ukuran Aperture Arah Memanjang	22 cm (Gbr 3)
Ukuran Aperture Arah Melintang	1.3 cm (Gbr 3)

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Model Tes

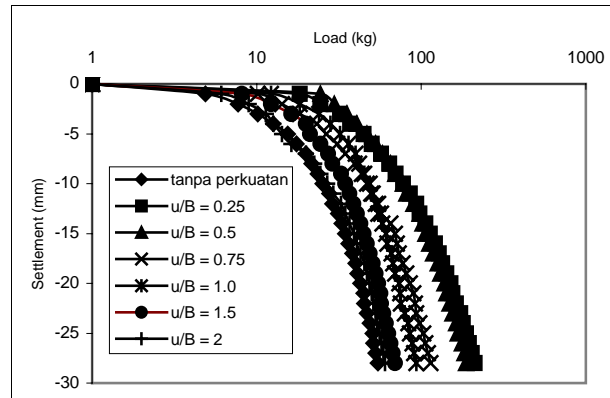
a. Pengujian Model I

Pengujian ini dilakukan pada pondasi baik bujur sangkar maupun lajur. Berdasarkan kurva beban-penurunan diperoleh beban ultimit (saat rasio settlement dengan lebar pondasi, $s/B = 15\%$) untuk pondasi bujur sangkar dan lajur adalah 34.54 kg dan 201.2 kg.

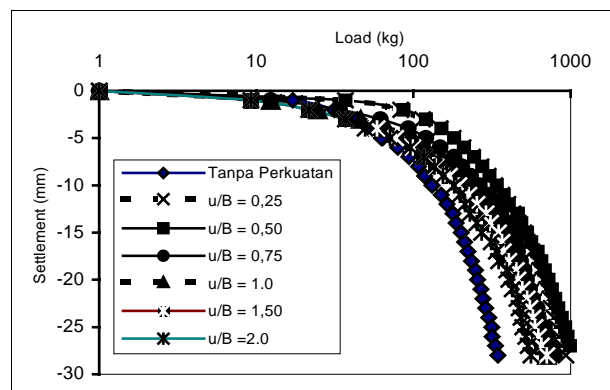
b. Pengujian Model II

Gambar 5 dan 6 menunjukkan hasil pengujian pembebanan, yaitu kurva beban lawan penurunan. Terlihat untuk kedua percobaan baik pondasi bujur sangkar dan pondasi lajur, bahwa

nilai daya dukung tanah pondasi meningkat seiring dengan semakin mengecilnya nilai u/B .



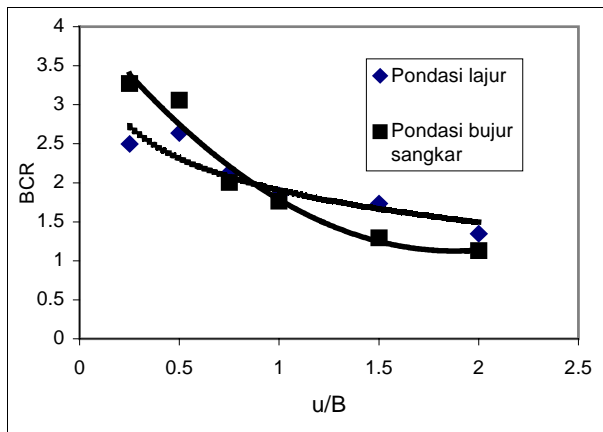
Gambar 5. Hasil Uji Pembebanan Pondasi Bujur Sangkar ($z/B=0.25$; $N=5$; $Br/B=5$; $B=10$ cm)



Gambar 6. Hasil Uji Pembebanan Pondasi Lajur ($z/B=0.25$; $N=4$; $Br/B=5$; $B=10$ cm)

Tanah pondasi secara signifikan mengalami perubahan karakteristik mekanis ketika disisipi perkuatan geogrid, yaitu dengan meningkatnya nilai daya dukung ultimit tanah pondasi. Namun nilai kenaikan daya dukung ultimit sangat dipengaruhi oleh geometri perletakan geogrid. Binquet and Lee (1975) merekomendasikan nilai u/B yang menghasilkan manfaat maksimal dari perkuatan adalah harus kurang dari 0.67. Untuk nilai u/B yang lebih besar, maka bidang longsor pada saat beban ultimit akan berada di atas lapis perkuatan teratas. Guido et.al. (1986), melaporkan bahwa u/B harus berada dalam kisaran 0.75 untuk daya dukung maksimal. Hasil dalam penelitian ini memberikan gambaran baik pada kasus pondasi bujur sangkar dan pondasi lajur, terdapat suatu nilai u/B kritis di mana penambahan nilai u/B dari nilai kritis ini tidak akan memberikan efek manfaat yang signifikan, nilai u/B kritis berkisar 1, di mana pada nilai $u/B = 1$ nilai BCR untuk pondasi bujur sangkar adalah sekitar 1.75, sedangkan untuk pondasi lajur sekitar 1.9.

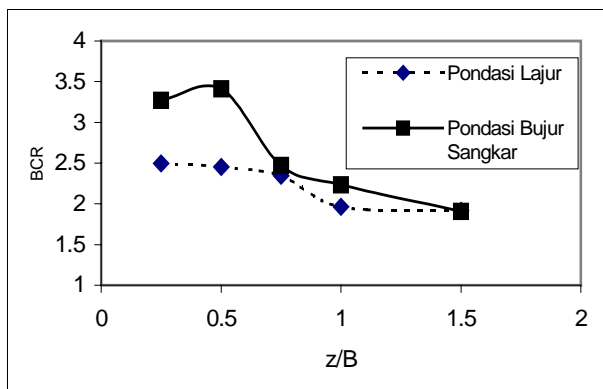
Hasil uji model ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Pfeifle and Das (1979).



Gambar 7. Hubungan u/B vs BCR

c. Pengujian Model III

Gambar 8 menunjukkan kecenderungan bahwa dengan semakin besarnya nilai z/B diikuti dengan semakin kecilnya nilai rasio daya dukung (BCR), akan tetapi pada nilai tertentu yang melampaui nilai kritis, maka nilai BCR menjadi konstan. Kedua percobaan menunjukkan hasil yang sedikit berbeda di mana untuk pondasi bujur sangkar terdapat nilai optimal dari z/B yaitu sebesar 0.5, sedangkan untuk pondasi lajur, pemasangan z/B pada 0.25-0.5 memberikan hasil maksimal bagi kenaikan daya dukung ultimit tanah pondasi.

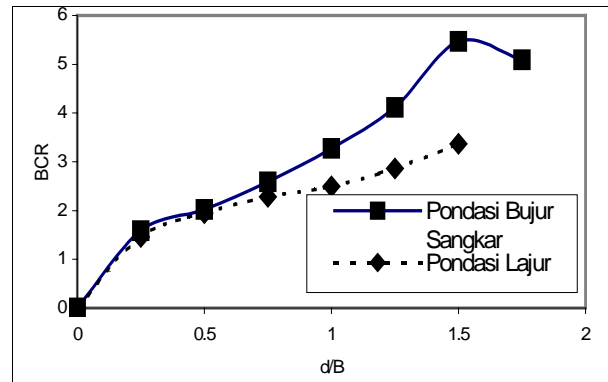


Gambar 8. Hubungan z/B vs BCR

d. Pengujian Model IV

Nilai BCR terus meningkat seiring dengan membesarnya nilai rasio d/B (Gambar 9), pada pondasi bujur sangkar nilai d/B optimal dicapai pada angka 1.5, sedangkan pada pondasi lajur belum dapat disimpulkan pada nilai berapa

daya dukung ultimit menjadi maksimal dikarenakan pengujian terhenti pada $d/B = 1.5$, diperkirakan hasil pengujian untuk d/B yang lebih besar dari $d/B = 1.5$, akan cenderung konstan, disebabkan sangat memungkinkan bahwa bidang runtuh tidak mencapai perkuatan yang paling bawah.



Gambar 9. Hubungan d/B vs BCR

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Secara umum, adanya material geogrid dalam massa tanah memberikan kontribusi yang signifikan dalam merubah karakteristik mekanis dari tanah yang diperkuatnya (daya dukung lebih tinggi).
2. Berdasarkan penelitian ini, dapat diperkirakan nilai u/B kritis yaitu sebesar 1 untuk kedua jenis model pondasi, namun direkomendasikan untuk menginstalasikan geogrid pada u/B 0.25-0.5 untuk hasil maksimal, yaitu mampu menaikkan daya dukung tanah pondasi hingga 2.5-3.5 kali dibandingkan tanah tanpa perkuatan.
3. Nilai z/B optimal untuk pondasi bujur sangkar adalah 0.5, yakni memberikan kenaikan daya dukung hingga 3.5 kali, sedangkan pondasi lajur berkisar 0.25-0.5 yang memberikan kenaikan daya dukung hingga 2.5 kali.
4. Nilai d/B optimal pada pondasi bujur sangkar dan lajur berkisar pada nilai 1.5, yakni memberikan kenaikan daya dukung 5 dan 3 kali secara berurutan dibanding tanah tanpa perkuatan.

Saran

1. Penelitian lanjutan perlu dilakukan dengan memperbanyak variasi geometri perletakan perkuatan, sehingga diharapkan dapat

menggambarkan informasi yang lebih akurat.

2. Hingga saat ini belum disepakati kesimpulan yang bersifat umum, untuk itu perlu dilakukan uji dalam skala penuh.

DAFTAR PUSTAKA

1. Binquet, J. and Lee, K.L., Bearing Capacity Tests on Reinforced Earth Slabs, *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 101 (12), 1975a, pp, 1241-1255.
2. Fragaszy, R.J. and Lawton, E., Bearing Capacity of Reinforced Subgrades, *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 110 (10), 1984, pp, 1500-1507.
3. Huang, C.C. and Tatsuoka, F., Prediction of Bearing Capacity in Level Sandy Ground Reinforced With Strip Reinforcement, *Proceedings of International Geotechnical Symposium on Theory and Practice of Earth Reinforcement*, Fukuoka, Japan, 1988, pp, 191-196.
4. Akinmusuru, J.A. and Akinbolade, J.O., Stability of Loaded Footings on Reinforced Soil, *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 107 (6), 1981, pp, 819-827.
5. Huang, C.C. and Tatsuoka, F., Bearing Capacity of Reinforced Horizontal Sandy Ground, *Geotextiles and Geomembranes*, 9, 1990, pp, 51-82.
6. Guido, V.A., Biesiadecki, G.L. and Sullivan M.L., Bearing Capacity of a Geotextile Reinforced Foundation, *Proceedings of 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, San Francisco, 3, 1985, pp, 1777-1780.
7. Guido, V.A., Chang, D.K. and Sweeny, M.A., Comparison of Geogrid and Geotextile Reinforced Earth Slabs, *Canadian Geotechnical Journal*, 23, 1986, pp, 435-440.
8. Mitchell, J.K. and Villet, W.C.B., *Reinforcement of Earth Slopes and Embankments*, Transportation Research Board, Washington D.C, 1987.
9. Hausmann, M., *Engineering Principles of Ground Modification*, International Edition, Mc Graw Hill International, Singapore, 1990.
10. Pfeifle, T.W., and Das, B.M., Model Tests for Bearing Capacity in Sand, *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 105 (9), 1979, pp, 1112-1116.
11. Yetimoglu, T., Wu, J.T.H, and Saglamer, A., Bearing Capacity of Rectangular Footing on Geogrid-Reinforced Sand, *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 120 (12), 1994, pp, 2083-2099.