

Efek Kerapatan Relatif (D_r) Terhadap Daya Dukung Fondasi Dangkal pada Tanah Pasiran dengan Beban Sentris

Heni Pujiastuti

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram, Jl. KH. Ahmad Dahlan No. 1
Pagesangan Mataram NTB, E-mail: pujiastutih@gmail.com

Abstrak

Fondasi dangkal biasa dipakai untuk mendukung bangunan yang relatif tidak besar misalnya fondasi rumah tinggal dan gedung bertingkat biasa. Kerapatan relatif (D_r) umumnya digunakan untuk menunjukkan tingkat kerapatan tanah berbutir kasar di lapangan. Pada rumus daya dukung fondasi dangkal yang diusulkan oleh Terzaghi pada tahun 1943 kerapatan relatif (D_r) terwakili oleh nilai sudut gesek dalam tanah (ϕ) yang digunakan sebagai dasar untuk menentukan nilai faktor daya dukung dan berlaku untuk semua jenis tanah. Untuk mengetahui pengaruh kerapatan relatif terhadap daya dukung ultimit fondasi dangkal pada tanah pasir akibat beban sentris dilakukan pengujian eksperimen di Laboratorium Geoteknik Universitas Muhammadiyah Mataram dan Laboratorium Struktur Universitas Mataram. Secara garis besar pengujian dilakukan sebagai berikut: fondasi dengan dimensi fondasi 20x20cm, 30x30cm, 40x40cm, 20x30cm, 20x40cm, dan 30x40cm, bahan dari plat besi dan media pasir dengan variasi kerapatan relatif terdiri dari 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% dan 100% diletakkan dalam kotak pengujian lalu dilakukan pembebanan sentris pada fondasi. Pengujian dilakukan sampai fondasi mengalami keruntuhan. Dilakukan pencatatan terhadap beban dan penurunan yang terjadi. Hasil Penelitian menunjukkan bahwa Kerapatan relatif (D_r) berpengaruh terhadap daya dukung ultimit fondasi dangkal yaitu Semakin besar nilai kerapatan relatif (D_r) tanah pasir daya dukung fondasi ultimit ($q_{ultimit}$) juga semakin besar.

Kata-kata Kunci: Pasir, kerapatan relatif, daya dukung, fondasi dangkal, beban sentris.

Abstract

Shallow foundation used to support relative small buildings for examples house foundation and ordinary multistoried building. Relative density (D_r) usually indicate density level of granular soil in the field. In the Terzaghi's bearing capacity formula for shallow foundation (1943), relative density (D_r) was represented by value of angle of internal friction (ϕ) which is used as a basic to determine a value bearing capacity factor and was applied on every types of soil. To investigate the effects of relative density to the bearing capacity formula of shallow foundation on sand under centric load, study has been performed at the Geotechnical Laboratory Muhammadiyah Mataram University and Structure Laboratory Mataram University. Procedure of the research is: foundations was made from rigid iron plate with dimensions of 20x20cm, 30x30cm, 40x40cm, 20x30cm, 20x40cm, and 30x40cm, and sand media with various relative density of 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% and 100% was laid on box testing and applied with centric loads. Test was stopped when the foundation ruptured. Results obtained from this research show that the relative density (D_r) determine the ultimate bearing capacity shallow foundation, the greater relative density of sand greater the ultimate bearing capacity of foundation.

Keywords: Sand, relative density, bearing capacity, shallow foundation, centric load.

1. Pendahuluan

Fondasi merupakan struktur bangunan bawah yang berfungsi menyalurkan dan memindahkan beban struktur yang berada di atasnya ke tanah dasar. Fondasi dangkal biasa dipakai untuk mendukung bangunan yang relatif tidak besar misalnya fondasi rumah tinggal dan gedung bertingkat biasa.

Di lapangan seringkali dijumpai jenis fondasi dangkal yang berbentuk bujur sangkar dan persegi panjang dibandingkan bentuk lingkaran yang jarang dipakai. Ada dua kriteria untuk mengontrol perencanaan fondasi dangkal yaitu perkiraan daya dukung ultimit fondasi dan estimasi penurunan fondasi akibat beban yang bekerja.

Kerapatan relatif (Dr) umumnya digunakan untuk menunjukkan tingkat kerapatan tanah berbutir kasar di lapangan. Pada rumus daya dukung fondasi dangkal yang diusulkan oleh Terzaghi pada tahun 1943 kerapatan relatif (Dr) terwakili oleh nilai sudut gesek dalam tanah (ϕ) yang digunakan sebagai dasar untuk menentukan nilai faktor daya dukung dan berlaku untuk semua jenis tanah. Pada penelitian ini akan dikaji mengenai keterlibatan kerapatan relatif (Dr) pada rumus daya dukung fondasi dangkal khususnya untuk tanah pasir.

2. Tinjauan Pustaka

Persamaan daya dukung fondasi dangkal yang paling populer dan sering digunakan dalam perencanaan adalah yang diusulkan oleh Terzaghi pada tahun 1943, sebagai berikut:

$$q_{ult} = \alpha c N_c + q^* N_q + 0,5 \beta \gamma B N_\gamma \quad (1)$$

dengan q_{ult} = daya dukung ultimit, $\alpha\beta$ = faktor bentuk, N_c, N_q, N_γ = faktor daya dukung, c = kohesi tanah, q^* = tegangan total, B = lebar fondasi dan γ = berat volume tanah di dasar fondasi (Hatmoko, 2001).

Parameter tanah yang sangat berpengaruh pada persamaan daya dukung di atas adalah kohesi dan sudut gesek dalam tanah, demikian halnya faktor-faktor daya dukung sangat tergantung pada kedua parameter tersebut dan faktor bentuk fondasi serta kedalamannya. Faktor daya dukung terhadap kohesi (N_c) dan terhadap beban (N_q) adalah komponen kohesi dan tambahan beban (*surchage*) yang penentuannya relatif tetap tidak terpengaruh dengan kekasaran permukaan gesek antara fondasi dengan tanah (Griffiths, 1982; Bolton dan Lau, 1993). Sedangkan nilai N_γ yang dipengaruhi oleh kekasaran permukaan gesek antara fondasi dengan tanah (Griffiths, 1982; Bolton dan Lau, 1993; Michalowski, 1997; Erickson dan Drescher, 2002).

3. Metode Penelitian

3.1 Bahan dan alat

1. Tanah pasir

Tanah pasir yang dipakai adalah tanah pasir yang telah disaring untuk memisahkan batu apung dari pasir.

2. Kotak pengujian

Kotak pengujian dari rangkaian rangka profil baja siku dan WF kemudian dilas dan ikat baut sehingga membentuk kotak dengan ukuran 1 m x 1m x 1 m, pada tepi kotak dipasang fiber glass dengan tebal 5 mm untuk mencegah pasir keluar dari kotak. Selain itu pada bagian bawah kotak dilengkapi lubang drainase, agar air pada kotak dapat keluar dengan baik. Selengkapannya kotak pengujian dapat dilihat pada **Gambar 1**.

3. Model fondasi

Model fondasi dibuat dari bahan pelat besi yang cukup kaku dengan tebal pelat 10 mm dengan variasi dimensi antara lain 20x20x1cm, 30x30x1cm, 40x40x1cm, 20x30x1cm, 20x40x1cm, dan 30x40x1cm. Penentuan dimensi model ini mengacu pada Sabnis (1983), Sufardal (1999) dan Pujiastuti (2001) yaitu untuk beban statis dan model keruntuhan material linier perbandingan antara prototipe dan model sebagai berikut : skala beban terpusat $S_p = S_E \cdot S_G^2$; tegangan : $S_\sigma = S_E$; lendutan : $S_d = S_G$. Dengan mengambil skala geometri (ratio antara geometri prototipe dengan model) $S_G = 10$ dan skala bahan $S_E = 8$, maka perbandingan antara dimensi model dengan dimensi sesungguhnya di lapangan dapat diprediksi (**Tabel 1**).

4. Hidrolick Jack, Proving Ring, Dial Gauge

5. Alat uji sifat fisik dan mekanik

Antara lain: kadar air, berat volume, berat jenis, uji saringan, kerapatan relatif dan uji geser langsung.



Gambar 1. Setup pengujian model fondasi

Tabel 1. Dimensi model dan prediksi dimensi lapangan

No	Dimensi Model	Besaran	Satuan	Dimensi lapangan	Besaran	Satuan
1	Tebal pelat	1	cm	Tebal slab beton	0.1	m
2	Lebar pelat	10	cm	Lebar slab beton	1	m
3	Panjang pelat	20	cm	Panjang slab beton	2	m
4	Beban	1	kg	Beban	0.8	ton
5	Lendutan	1	mm	Lendutan	1	cm
6	Tegangan	1	kg/cm ²	Tegangan	8	kg/cm ²

4.2 Pengaruh kerapatan relatif (Dr) terhadap berat volume tanah

Dari hasil uji kerapatan relatif diperoleh Berat volume kering minimum ($\gamma_{d\min}$) 1,47 gr/cm³, Berat volume kering maksimum ($\gamma_{d\max}$) 1,64 gr/cm³. Apabila kerapatan relatif (Dr) adalah:

$$D_r = \frac{\gamma_d - \gamma_{d\min}}{\gamma_{d\max} - \gamma_{d\min}} \frac{\gamma_{d\max}}{\gamma_d} \quad (2)$$

maka:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_{d\min} \gamma_{d\max}}{(\gamma_{d\max} - D_r (\gamma_{d\max} - \gamma_{d\min}))} \quad (3)$$

sedangkan $\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+w}$ maka: $\gamma_b = \gamma_d (1+w)$

dengan :

- Dr : kerapatan relatif
- $\gamma_{d(\max)}$: berat volume kering maksimum (gr/cm³)
- $\gamma_{d(\min)}$: berat volume kering minimum (gr/cm³)
- γ_d : berat volume kering dalam keadaan aslinya (gr/cm³)
- γ_b : berat volume tanah basah (gr/cm³)
- w : kadar air (%)

maka dengan memberikan nilai Dr dari 10% sampai dengan 100% serta nilai kadar air (w) = 7.91% maka nilai berat volume kering dan basah dapat dihitung seperti ditunjukkan dalam Tabel 2. Dari tabel terlihat bahwa Berat volume tanah kering dan berat volume tanah basah mengalami peningkatan seiring dengan pertambahan Dr. Jadi kerapatan relatif tanah berpengaruh terhadap berat volume tanah.

4.3 Klasifikasi keruntuhan geser fondasi berdasarkan kerapatan relatif (Dr)

Keruntuhan fondasi terjadi apabila beban yang diberikan telah mencapai beban ultimit, yang berarti fondasi akan mengalami penurunan yang sangat besar tanpa penambahan beban lebih lanjut. Menurut Weber

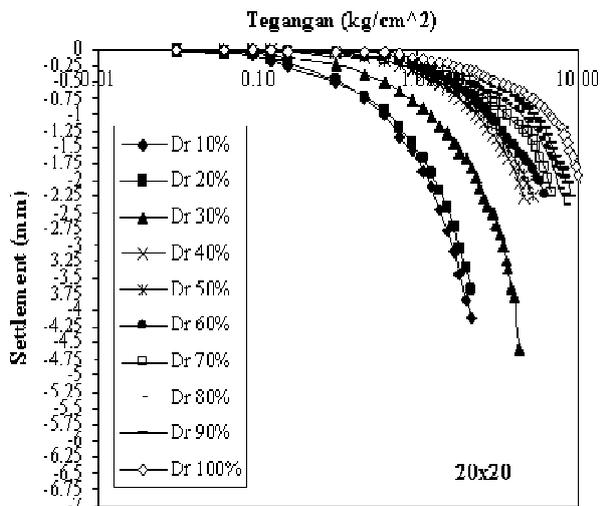
Tabel 2. Hubungan kerapatan relatif (Dr) dan berat volume kering dan basah

Kerapatan relatif (Dr)	Berat volume kering (gr/cm ³)	Berat volume basah (gr/cm ³)
10%	1.49	1.60
20%	1.50	1.62
30%	1.52	1.64
40%	1.53	1.65
50%	1.55	1.67
60%	1.57	1.69
70%	1.58	1.71
80%	1.60	1.73
90%	1.62	1.75
100%	1.64	1.77

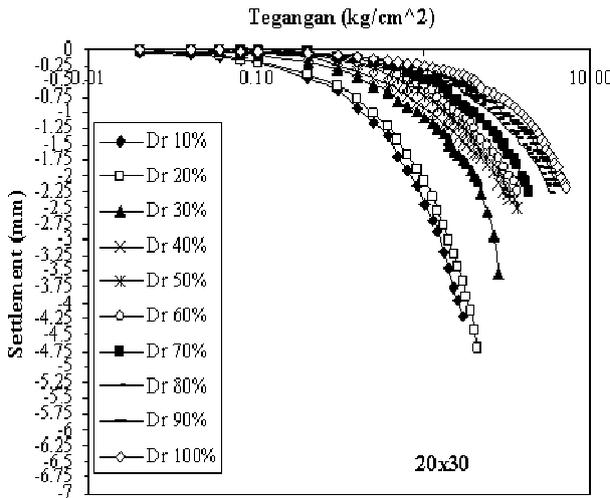
(2006) keruntuhan geser fondasi dibedakan menjadi tiga macam yaitu *general shear failure*, *local shear failure* dan *punching shear failure*, secara umum *general shear failure* terjadi pada tanah yang berkompresibilitas rendah, *local shear failure* terjadi pada tanah yang berkompresibilitas sedang dan *punching shear failure* terjadi pada tanah yang berkompresibilitas tinggi.

Penentuan jenis keruntuhan fondasi dari grafik hubungan antara beban dan penurunan dapat dilakukan sebagai berikut : *general shear failure*, beban batas dapat teramati dengan baik, pada *local shear failure* tegangan batas atau beban batas tidak begitu jelas sehingga untuk menentukannya dengan memberikan batas pada penurunan dan *punching shear failure* beban atau tegangan batas tidak bisa dipastikan penentuannya sama dengan pada *local shear failure*.

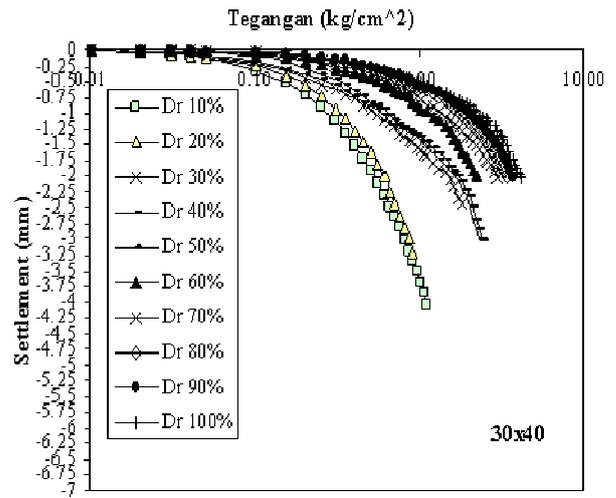
Grafik hubungan antara tegangan dan penurunan (*settlement*) dengan variasi kerapatan relatif (Dr) pada berbagai dimensi model fondasi ditunjukkan pada Gambar 4 sampai dengan Gambar 8. Dengan melihat bentuk grafik yang terbentuk, perilaku keruntuhan geser pada pasir yang mempunyai kerapatan relatif (Dr) 10% sampai 30% adalah sama yaitu mengalami keruntuhan dengan tipe *punching shear failure*, sedangkan mulai Dr 40% sampai dengan 70% pasir mempunyai perilaku yang sama yaitu mengalami keruntuhan dengan tipe *local shear failure*, sedangkan pasir dengan Dr 80% sampai dengan 100% mengalami tipe keruntuhan geser yang sama yaitu *general shear failure*. Hal ini mengacu pada pendapat Jamiolkowski (2001 yang menyatakan bahwa tanah yang mempunyai Dr 10%-30% adalah sangat lepas sampai lepas, 40%-70% adalah medium sampai padat dan 80%-100% adalah sangat padat yang dikaitkan dengan pendapat Weber (2006) di atas.



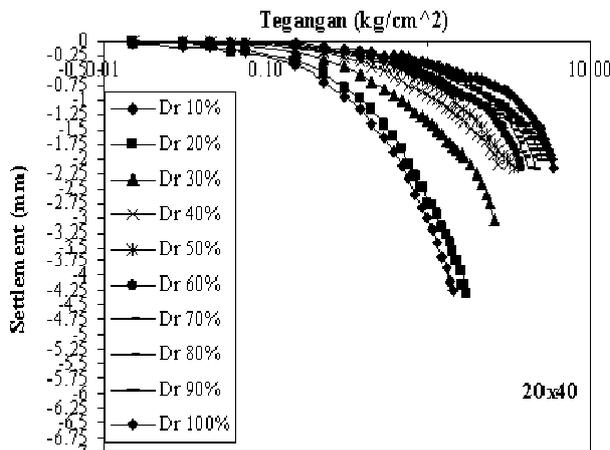
Gambar 4. Grafik hubungan settlement dan tegangan fondasi ukuran 20 x 20 cm



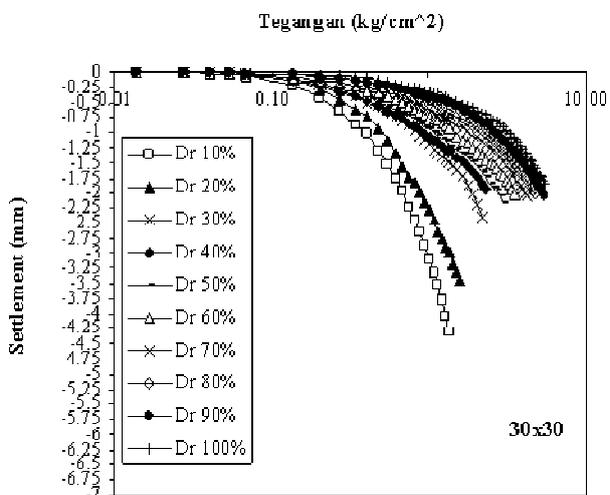
Gambar 5. Grafik hubungan settlement dan tegangan fondasi ukuran 20 x 30 cm



Gambar 8. Grafik hubungan settlement dan tegangan fondasi ukuran 30 x 40 cm



Gambar 6. Grafik hubungan settlement dan tegangan fondasi ukuran 20 x 40 cm



Gambar 7. Grafik hubungan settlement dan tegangan fondasi ukuran 30 x 30 cm

4.4 Pengaruh kerapatan relatif terhadap daya dukung ultimit fondasi

Daya dukung fondasi ultimit ($q_{ultimit}$) ditentukan dari grafik hubungan tegangan dan penurunan **Gambar 4 - 9**, yaitu pada saat penurunan mencapai 10% lebar fondasi (B) (Cerrato dan Lutenegegar, 2003). Daya dukung ultimit tersebut kemudian dipergunakan untuk membuat rumus hubungan antara $q_{ultimit}$ terhadap faktor Dr . Pada **Gambar 10** diperlihatkan Grafik *trend line* (regresi) hubungan $q_{ultimit}$ fondasi bujur sangkar dengan dimensi 10x10, 20x20, 30x30 serta 40x40, dengan Dr dari 10%-100%. Sedangkan **Gambar 11** diperlihatkan Grafik *trend line* hubungan $q_{ultimit}$ fondasi persegi panjang dengan dimensi 10x20, 20x30, 20x40, 30x40, dengan Dr dari 10%-100%. Dari grafik tersebut terlihat bahwa $q_{ultimit}$ berbanding lurus terhadap Dr . Semakin besar nilai kerapatan relatif nilai daya dukung fondasi juga semakin besar. Sedangkan hasil regresi dengan menggunakan software Microsoft Excel dapat diperoleh persamaan empiris sebagai berikut :

$$q_{ultimit} = 0,0588Dr^{0,9964} \text{ untuk fondasi berbentuk bujur sangkar} \quad (4)$$

$$q_{ultimit} = 0,0587Dr^{0,9709} \text{ untuk fondasi berbentuk persegi panjang} \quad (5)$$

4.5 Hubungan faktor daya dukung (N_γ) dengan kerapatan relatif (Dr)

Pada rumus daya dukung yang diusulkan oleh Terzaghi (1943) menyatakan:

$$q_{ult} = \alpha c N_c + q^* N_q + 0,5\beta\gamma B N_\gamma \quad (6)$$

dengan q_{ult} = daya dukung ultimit, $\alpha\beta$ = faktor bentuk, N_c, N_q, N_γ = faktor daya dukung, c = kohesi tanah, q^* = tegangan total, B = lebar fondasi dan γ = berat volume tanah di dasar fondasi. Kondisi eksperimen adalah fondasi pada tanah pasir, karena c sangat kecil

dianggap nol, sehingga suku pertama bernilai nol. Fondasi terletak pada permukaan tanah sehingga $q^* = \gamma \cdot D_f$ dengan γ : berat volume tanah dan D_f adalah kedalaman fondasi yang bernilai nol sehingga suku kedua persamaan di atas juga nol, sehingga persamaan Terzaghi yang sesuai dengan kondisi eksperimen adalah:

$$q_{ult} = 0,5\gamma B N_\gamma \quad (7)$$

Dari eksperimen diperoleh :

$$q_{ultimit} = 0,0588 D_r^{0,9964} \text{ untuk fondasi berbentuk bujur sangkar} \quad (8)$$

$$\text{dan } q_{ultimit} = 0,0587 D_r^{0,9709} \text{ untuk fondasi berbentuk persegi panjang} \quad (9)$$

Dengan memsubtitusikan **Persamaan (8)** dan **(9)** ke **Persamaan (7)** diperoleh nilai N_γ sebagai berikut :

$$N_\gamma = \frac{0,147 \cdot D_r^{0,9964}}{\gamma \cdot B}$$

$$\text{untuk fondasi berbentuk bujur sangkar} \quad (10)$$

$$N_\gamma = \frac{0,1174 \cdot D_r^{0,9709}}{\gamma \cdot B}$$

$$\text{untuk fondasi berbentuk persegi panjang} \quad (11)$$

Hubungan antara faktor daya dukung (N_γ), lebar fondasi (B) dan kerapatan relatif (Dr) untuk $\gamma = 1,58 \text{ gr/cm}^2$ dapat dilihat pada **Gambar 12** dan **13**.

Dari **Gambar 12** dan **13** terlihat bahwa semakin bertambah kerapatan relatif (Dr) akan meningkatkan N_γ dan semakin besar lebar fondasi akan semakin kecil N_γ dengan grafik asimtotis, hal ini disebabkan mobilisasi rata-rata kuat geser sepanjang permukaan runtuh dari tanah yang mendukung fondasi dangkal berkurang dengan bertambahnya ukuran fondasi, disebabkan karena penurunan sudut geser dalam tanah (ϕ) sebagaimana rumus berikut : $\tau = c + \sigma \tan \phi$; τ : kuat geser; σ : tegangan normal dan ϕ : sudut geser dalam tanah.

5. Kesimpulan

5.1 Kesimpulan

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa:

1. Semakin bertambah kerapatan relatif (Dr) tanah pasir semakin besar berat volume tanah kering dan berat volume tanah basah.

2. Kerapatan relatif (Dr) pada tanah pasir berpengaruh terhadap perilaku keruntuhan fondasi yaitu perilaku keruntuhan geser pada pasir yang mempunyai kerapatan relatif (Dr) 10% sampai 30% adalah tipe punching shear failure, pasir dengan Dr 40% sampai 70% adalah tipe local shear failure, sedangkan pasir dengan Dr 80% sampai 100% adalah tipe general shear failure.

3. Semakin besar nilai kerapatan relatif (Dr) nilai daya dukung fondasi ultimit ($q_{ultimit}$) juga semakin besar, hasil regresi diperoleh persamaan empiris sebagai berikut :

$$q_{ultimit} = 0,0588 D_r^{0,9964} \text{ untuk fondasi berbentuk bujur sangkar}$$

$$q_{ultimit} = 0,0587 D_r^{0,9709} \text{ untuk fondasi berbentuk persegi panjang}$$

4. Semakin besar kerapatan relatif (Dr) nilai koefisien N_γ juga semakin besar.

5.2 Saran

1. Dalam eksperimen ini memakai tinjauan pembebanan sentris, sedangkan yang seringkali terjadi di lapangan adalah pembebanan eksentris, sehingga perlu kiranya dilakukan penelitian lebih lanjut dengan tinjauan pembebanan eksentris.
2. Perlu dilakukan hal yang sama pada bentuk fondasi lingkaran

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional atas dukungan dana dan program untuk penelitian ini, juga pada Laboratorium Geoteknik UMM dan Laboratorium Struktur UNRAM, atas penggunaan fasilitasnya.

Daftar Pustaka

- Bolton, M.D., and Lau, C.K., 1993, Vertical Bearing Capacity Factors for Circular and Strip Footings on Mohr-Coulomb Soil, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 30, 1024-1033.
- Cerato, A.B., and Lutenegeger, A., 2003, *J. Scale Effect of Shallow Foundation Bearing Capacity on Granular Material*, BGA International Conference on foundation, Thomas Telford Publishing, Thomas Telford Ltd, 1 Heron Quay, London E14.4JD.

Erickson, H.L., and Drescher, A., 2002, Bearing Capacity of Circular Footing, *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, ASCE, Vol. 128, No.1, pp. 38-43.

Griffiths, D.V., 1982, Computations of Bearing Capacity Factors Using Finite Elements, *Geotechnique*, Vol. 32, No.3, 195-202.

Hatmoko, J.T., 2001, Evaluasi Keandalan Daya Dukung Fondasi Dangkal pada Tanah Pasir, *Jurnal Teknik Sipil* Vol. 2 No.1 Hal 27-38, Yogyakarta: Fakultas Teknik Universtas Atma Jaya Yogyakarta.

Jamiolkowski, M., and Lancellotta, R., Lo Presti Editors D., 2001, *Pre Failure Deformation Characteristic of Geomaterial*, AA Balkema, a Member of Swets & Zeitlinger Publisher.

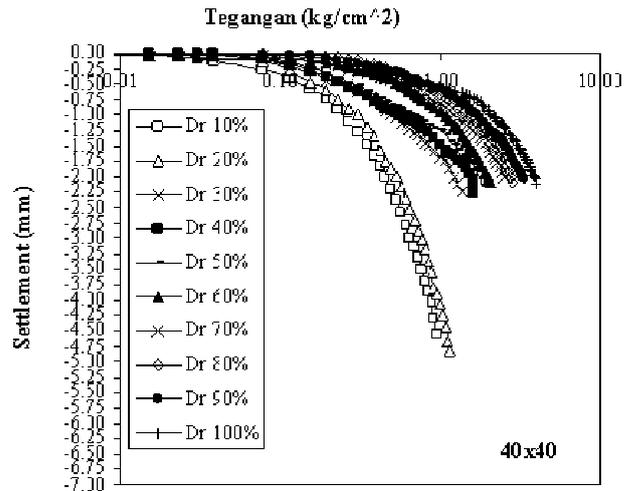
Michalowski, R.L., 1997, *An Estimate of The Influence of Soil Weight on Bearing Capacity Using Limit Analysis*, Soils and Foundation, Vol.37, No.4, 57-64.

Pujiastuti, H., 2001, Uji Beban Fleksibel pada Tanah Lempung yang Diperkuat dengan Pemasangan Tiang-tiang, Tesis, Jurusan Ilmu-ilmu Teknik, Yokyakarta: Program Studi Teknik Sipil, Program Pasca Sarjana, Universitas Gadjah Mada.

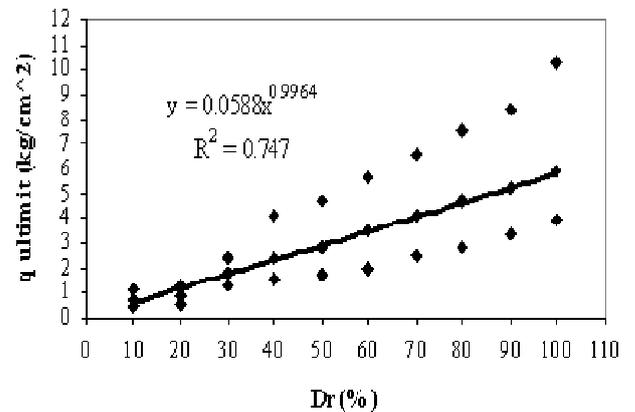
Sabnis, G.M., Haris H.G., White R.N., and Mirza, M.S., 1983, *Structural Modeling and Experimental Techniques*, Prentice Hall Inc., Englewood Clift.

Sufardal, H., 1999, *Perilaku Fondasi Cakar Ayam Akibat Beban Terpusat*, Tesis, Jurusan Ilmu-ilmu Teknik, Yogyakarta: Program Studi Teknik Sipil, Program Pasca Sarjana, Universitas Gadjah Mada.

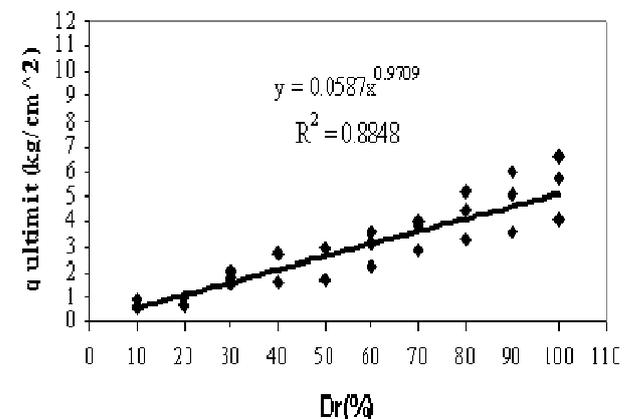
Weber, R.P., 2006, *Bearing Capacity of Shallow for Non Getechnical Engineers* [http://www.pdhengineer.com/course%20web/civil%](http://www.pdhengineer.com/course%20web/civil%20).



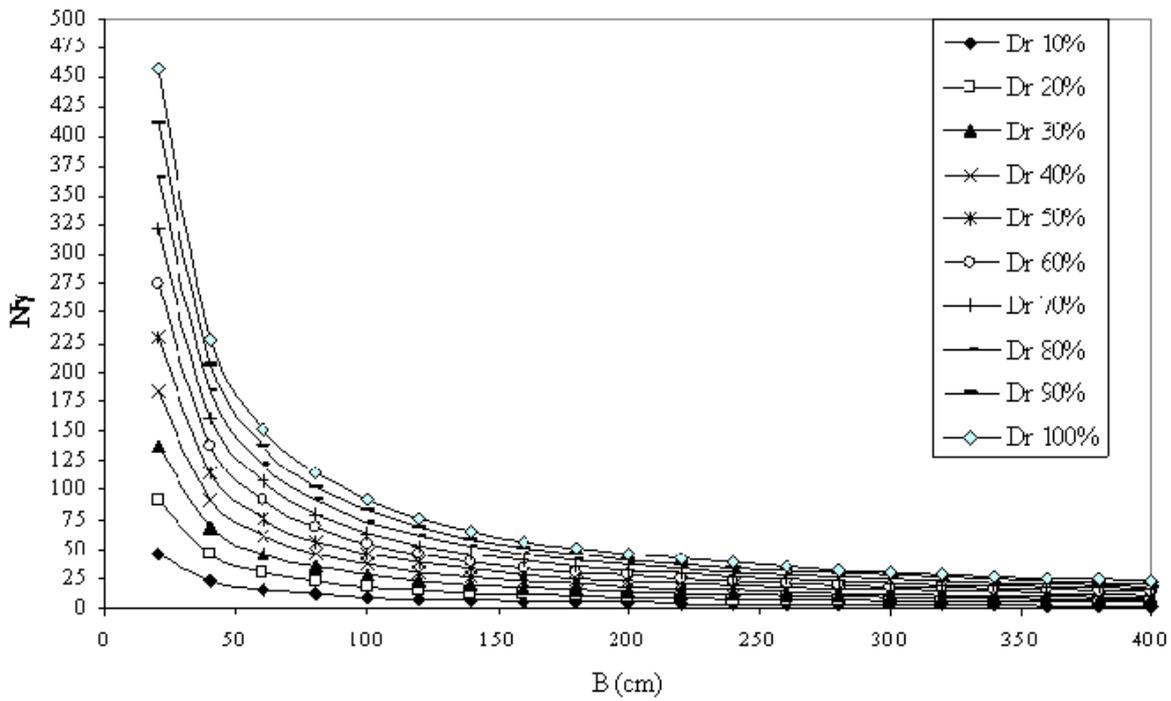
Gambar 9. Grafik hubungan settlement dan tegangan fondasi ukuran 40 x 40 cm



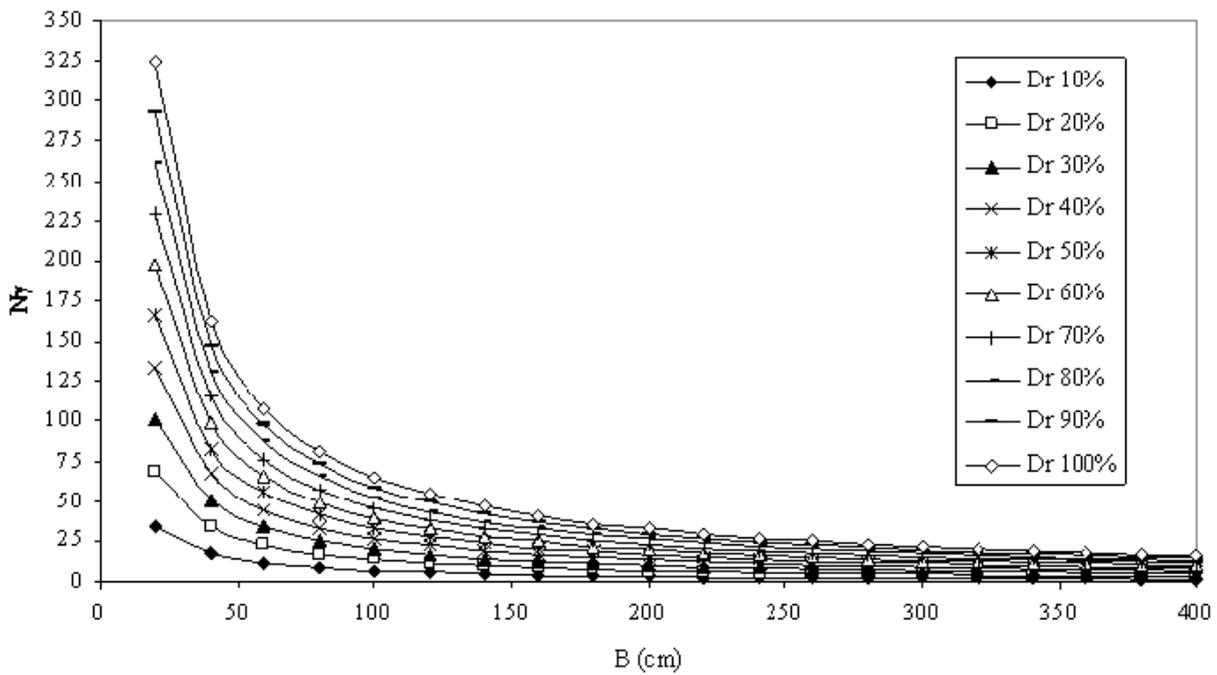
Gambar 10. Grafik hubungan kerapatan relatif (Dr) dan daya dukung ultimit (q ultimit) fondasi bujur sangkar



Gambar 11. Grafik hubungan kerapatan relatif (Dr) dan daya dukung ultimit (q ultimit) fondasi persegi panjang



Gambar 12. Grafik hubungan antara faktor daya dukung (N_f), lebar fondasi (B) dan kerapatan relatif(Dr) untuk fondasi bujur sangkar (untuk $\gamma = 1.58 \text{ gr/cm}^2$)



Gambar 13. Grafik hubungan antara faktor daya dukung (N_f), lebar fondasi (B) dan kerapatan relatif (Dr) untuk fondasi persegi panjang (untuk $\gamma = 1.58 \text{ gr/cm}^2$)