

Studi Bentuk Fondasi Dangkal Di Atas Tanah Pasir Dengan Model Eksperimen

Soewignjo Agus Nugroho^{1, *}, Ferry Fatnanta²

^{1, 2} Jurusan Teknik Sipil Universitas Riau, HR Subrantas KM 12 Pekanbaru, Indonesia

* Corresponding E-mail: nugroho.sa@eng.unri.ac.id

Diterima redaksi: 11 Februari 2022 | Selesai revisi: 5 Oktober 2022 | Diterbitkan *online*: 31 Oktober 2022

ABSTRAK

Penyebaran beban pada fondasi dangkal terdistribusi sepanjang lebar fondasi. Berbagai bentuk fondasi dangkal yaitu lajur, lingkaran, bujur sangkar, dan persegi panjang dibuat untuk analisis efek bentuk tapak fondasi dengan luasan sama terhadap kapasitas daya dukung fondasi menerima beban vertikal sentris yang bekerja di atas tanah. Pengaruh bentuk fondasi terhadap daya dukung diperkenalkan oleh Terzaghi, Meyerhof, Brinch-Hansen, dan Vesic. Pengujian model laboratorium pada tanah pasir dilakukan dengan membuat 3 (tiga) model fondasi bentuk lingkaran, bujur sangkar, dan persegi panjang dengan 3 (tiga) luasan berbeda 100 cm², 150 cm² dan 200 cm². Hasil uji model prototype menunjukkan, bentuk bujur sangkar dapat mendukung beban yang lebih besar dari pada bentuk tapak lain dengan luasan sama. Penambahan luasan 50% akan membuat kapasitas dukung fondasi bertambah 102% dan Fondasi dengan luasan tapak dua kali daya dukung fondasi bertambah 157%. Pertambahan daya dukung fondasi bentuk persegi panjang paling tinggi di bandingkan bentuk fondasi lainnya. Ada perbedaan hasil pengujian model dan beberapa formula empiris, dimana formula empiris menghasilkan peningkatan daya dukung fondasi lebih besar daripada hasil eksperimen akibat pertambahan luas tapak. Interpretasi grafik hubungan beban versus penurunan menggunakan metode Chin menunjukkan bahwa hasil mendekati nilai daya dukung fondasi dengan metode Hansen.

Kata kunci: fondasi dangkal, kapasitas dukung, model, pasir, tapak

ABSTRACT

Load distribution of shallow foundations occurs along the width of the foundation. Several shapes of shallow foundations for example strip, square, and rectangular were made to analyze the effect of the foundation shape on the same footing area on bearing capacity of the shallow foundation due to vertical centric loads. The influence of the shape of the foundation on the bearing capacity was introduced by Terzaghi, Meyerhof, Brinch-Hansen, and Vesic. Experiment model on sand in the laboratory is carried out by making 3 (three) circular, square and rectangular foundation models with 3 (three) different areas of 100 cm², 150 cm² and 200 cm². The results of the physical model test show that the square shape can support a larger load than other tread forms in same footing area. Increasing the area of 50% will increase the bearing capacity of the foundation by 102% and the foundation with a double footing area, the bearing capacity of the foundation will increase by 157%. Increasing bearing capacity rectangular shape is the highest. There are differences results of prototype models and empirical formulas, where the empirical formulas, rising of bearing capacity shallow foundation higher than experiment models due to increasing footing area. The interpretation of load versus settlement using the Chin method shows that the results are close to the value of the foundation bearing capacity using the Hansen method.

Keywords: shallow foundation, bearing capacity, model; settlement, load, sand

1. PENDAHULUAN

Struktur Fondasi adalah bagian dari bangunan yang terletak dibawah muka tanah. Konstruksi Fondasi merupakan suatu peralihan antara bangunan atas dengan tanah penopang. Fungsi fondasi yaitu untuk memikul beban yang berada diatas serta menyalurkan semua beban tersebut diatas pada tanah yang berada di bawahnya. Fondasi didefinisikan sebagai bagian dari struktur yang berhubungan langsung dengan tanah yang berfungsi memindahkan beban-beban dari struktur atas ke tanah atau bagian bawah tanah. Fondasi dipengaruhi oleh elemen bangunan dan beban di atas tanah.

Struktur Fondasi adalah konstruksi pada bagian dasar bangunan yang berfungsi meneruskan beban bagian atas struktur ke lapisan tanah yang berada di bawahnya [1]. Fondasi dangkal adalah fondasi yang mendukung beban secara langsung. Fondasi telapak merupakan bentuk fondasi dangkal dimana beban yang disalurkan disebar melalui lebar tapak fondasi dan berdiri sendiri dalam mendukung beban melalui kolom [2]. Daya dukung ultimit didefinisikan sebagai beban maksimum per satuan luas dimana tanah dasar masih dapat mendukung beban tanpa mengalami keruntuhan. Lebar fondasi mempengaruhi besarnya penurunan. Pada beban per satuan luas yang sama, tanah dibawah fondasi akan mendukung tekanan lebih besar bila lebar fondasi bertambah. Berdasarkan penelitian Terzaghi, Meyerhof, Brinch-Hansen, Vesic, bentuk, dimensi, inklinasi beban, kemiringan dasar fondasi dan permukaan tanah sangat mempengaruhi kapasitas dukung fondasi dangkal [3].

Panggabean [4] telah meneliti tentang pengaruh bentuk dasar model fondasi dangkal terhadap kapasitas dukung pada pasir dengan tingkat kepadatan tanah (D_r) 50%-70% pada tapak berbentuk segi empat, setengah lingkaran, dan prisma serta limas segi empat. Panggabean memperoleh hasil, beban ultimit pengujian model fondasi berturut-turut sebesar 79.70 kg., 49.30 kg, 38.80 kg, dan limas segi empat sebesar 32.90 kg. Selisih persentase daya dukungnya sebesar lebih kurang 38.0%-58.7%. Martini [5] menganalisis kapasitas dukung tanah pada fondasi *continuous*, *square* (bujur sangkar), *rectangular* (persegi panjang) dan *round* (bulat) dengan pembebanan Aksial.

Analisis menggunakan rumus Terzaghi & Oshaki, Hansen dan Vesic mendapatkan beban ultimit dengan kecenderungan nilai sama. Metode Meyerhof memiliki nilai yang berbeda sendiri. Untuk beban miring, metode Hansen, Vesic dan Meyerhof mempunyai nilai yang cenderung berbeda.

Hubungan rasio kedalaman dan lebar fondasi dangkal serta daya dukung ijin fondasi menggunakan data sondir (CPT) di teliti oleh Effendi [6] dengan mengambil kasus daerah wisma Putri Henricus Constant dan ruas jalan Teuku Umar Semarang. Dari tiga lokasi penelitian diatas, nilai daya dukung ijin tanah pada setiap lokasi tidak sama, nilai tegangan ijin tertinggi adalah 112.1 kN/m^2 dan nilai tegangan ijin terkecil minimum yang didapat adalah 36.7 kN/m^2 . Dengan $B = 0.5 \text{ m}$ sampai dengan $B = 1 \text{ m}$ didapatkan nilai daya dukung maksimum.

Penggunaan fondasi dangkal pada tanah lunak seperti lempung lunak, pasir longgar, dan gambut harus menggunakan perkuatan dengan tujuan meningkatkan kuat geser tanah. Perkuatan tanah gambut dengan geotextiles telah dilakukan Rahman [7], Riyadi [8] memasang geotextiles yang diletakan di atas susunan bilah bambu sedangkan Nugroho [9] di atas grid bambu. Rahman, Riyadi, dan Nugroho menyimpulkan bahwa ukuran, kedalaman dan spasi, perkuatan geotextiles, bambu bahwa material perkuatan (kombinasi geogrid dan geotextiles) yang ada dalam massa tanah memberikan kontribusi yang nyata terhadap daya dukung fondasi telapak diatas tanah gambut. Geotextile dan bambu merubah karakteristik mekanis dari tanah gambut, sehingga daya dukung menjadi tinggi.

Secara umum bertambahnya lapisan perkuatan, berupa geotekstil dan grid bambu, memberikan kontribusi yang signifikan pada peningkatan daya dukung fondasi. Hasil penelitian ini, untuk pengaruh panjang (L); lebar (B); dan kedalaman (d) pada perkuatan komposit grid bambu dan geotekstil yang memberikan daya dukung terbesar pada rasio $L/B=4$ dan $d/B=0.25$ menghasilkan rasio daya dukung (Bearing Capacity Ratio, BCR) sebesar 4 serta sudut penyebaran tegangan (α) sebesar $78,79^\circ$. Nilai s/B optimal adalah 0.5 yakni memberikan kenaikan (BCR) sebesar 4.32). Dewi [10] dan Surjandari [11] juga memberi perkuatan bambu pada tanah kohesif

untuk di lihat peningkatan daya dukungnya. Utomo [12] meneliti daya dukung ultimit fondasi dangkal pada pasir yang diperkuat geogrid melalui uji model di laboratorium. Parameter yang diteliti meliputi efek spasi geogrid (z), efek letak lapisan geogrid (u), dan letak lapisan bawah (d) dari geogrid terhadap kenaikan daya dukung ultimit fondasi. Nilai u/B=0.25-0.5 untuk fondasi bujur sangkar maupun lajur meningkatkan daya dukung ultimit hingga 2.5-3.5 kali. Nilai z/B=0.5 pada fondasi bujur sangkar memberikan kenaikan daya dukung hingga 3.5 kali sedangkan fondasi lajur nilai z/b=0.2 memberikan kenaikan daya dukung hingga 2.5 kali. Nilai d/B=1.5 pada fondasi bujur sangkar dan lajur mampu meningkatkan daya dukung fondasi hingga 5 dan 3 kali.

Daya dukung adalah kemampuan tanah untuk menahan beban atau tekanan tanpa menimbulkan keruntuhan geser dan mengalami penurunan berlebih. Kapasitas dukung yang aman terhadap keruntuhan berarti penurunan fondasi yang terjadi berada dalam batas-batas yang diijinkan. Oleh karena itu, analisis penurunan harus dilakukan karena bangunan bahaya terhadap penurunan berlebih. Daya dukung ultimit didefinisikan sebagai tekanan paling kecil yang dapat menyebabkan keruntuhan geser pada tanah pendukung. Kapasitas dukung menyatakan tahanan geser tanah untuk melawan penurunan akibat pembebanan, yaitu tahanan geser yang dapat dimobilisasi oleh tanah di sepanjang bidang gesernya.

Rumus Umum Kapasitas daya dukung fondasi:

$$q_{ult} = (cN_c)F_{sc}F_{dc}F_{ic}F_{\beta c}F_{\delta c} + (qN_q)F_{sq}F_{dq}F_{iq}F_{\beta q}F_{\delta q} + \frac{1}{2}B\gamma N_\gamma F_{s\gamma}F_{d\gamma}F_{i\gamma}F_{\beta\gamma}F_{\delta\gamma}$$

dengan :

- qult : kapasitas dukung ultimit
- D_f : kedalaman fondasi
- q=γ*D_f : tekanan *overburden*
- c : kohesi tanah
- γ : berat isi tanah
- B : lebar fondasi
- L : panjang fondasi
- N_c, N_q, N_γ : faktor faktor daya dukung
- F_{sc}, F_{sq}, F_{sγ} : faktor faktor bentuk fondasi
- F_{dc}, F_{dq}, F_{dγ} : faktor kedalaman fondasi
- F_{ic}, F_{iq}, F_{iγ} : faktor kemiringan beban

F_{βc}, F_{βq}, F_{βγ} : faktor kemiringan dasar
 F_{δc}, F_{δq}, F_{δγ} : faktor kemiringan tanah

Terzaghi (1943) memperkenalkan rumus untuk menghitung N_c, N_q, dan N_γ sebagai berikut:

$$N_q = \frac{a^2}{a \cos^2(45^\circ + \frac{\phi}{2})} \tag{1}$$

$$a = e^{(0.75\pi - \frac{\phi}{2}) \tan \phi} \tag{2}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \tag{3}$$

$$N_\gamma = \frac{\tan \phi}{2} \left(\frac{K_p}{\cos^2 \phi} - 1 \right) \tag{4}$$

Meyerhof, Hansen, dan Vesic menurunkan faktor-faktor daya dukung N_c dan N_q sebagai berikut:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2(45 + \frac{\phi}{2}) \tag{5}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \tag{6}$$

Untuk nilai N_γ dari Meyerhof, Hansen, dan Vesic diberikan pada persamaan-persamaan berikut ini:

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4\phi) \tag{7}$$

$$N_\gamma = 1.5(N_q - 1) \tan \phi \tag{8}$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi \tag{9}$$

Nilai N_c, N_q, dan N_γ untuk beberapa nilai sudut gesek internal tanah (φ) tertentu diberikan pada Tabel 1. Meyerhof (1963) dan Hansen (1975) memberikan persamaan daya dukung dengan mempertimbangkan bentuk fondasi, kemiringan beban. Vesic (1975) memberikan tambahan seperti kedalaman, bentuk fondasi, kemiringan, eksentrisitas beban, kemiringan dasar dan kemiringan permukaan dan kuat geser tanah di atas dasar fondasinya, semua terkandung dalam Tabel 2.

Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari lebih lanjut mengenai pengaruh bentuk dan dimensi tapak fondasi pada media pasir dengan kepadatan dan karakteristik properties tanah yang sama terhadap daya dukung fondasi dangkal akibat beban aksial sentris dengan permukaan dasar fondasi dan permukaan tanah datar.

Tabel 1. Bearing capacity factors for the Terzaghi, Meyerhof, Hansen, and Vesic -bearing capacity equations

ϕ	Terzaghi			$\frac{2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2}{\sin \phi}$	Meyerhof (M), Hansen (H), Vesic (V)					
	Nc	Nq	N_γ		Nc	Nq	Nq/Nc	N_γ (M)	N_γ (H)	N_γ (V)
0	5.7	1.00	0.00	0.00	5.14	1.0	0.195	0.00	0.00	0.0
5	7.3	1.60	0.50	0.146	6.49	1.6	0.242	0.10	0.10	0.40
10	9.60	2.70	1.20	0.241	8.34	2.5	0.296	0.40	0.40	1.20
15	12.90	4.40	2.50	0.294	10.97	3.9	0.359	1.10	1.20	2.60
20	17.70	7.40	5.00	0.315	14.83	6.4	0.431	2.90	2.90	5.40
25	25.10	12.70	9.70	0.311	20.71	10.7	0.514	6.80	6.80	10.90
26	27.09	14.21	10.69	0.308	22.25	11.8	0.533	8.00	7.90	12.50
28	31.61	17.81	14.59	0.289	25.79	14.7	0.570	11.20	10.90	16.70
30	37.20	22.50	19.70	0.299	30.13	18.4	0.610	15.70	15.10	22.40
32	44.04	28.52	28.05	0.276	35.47	23.2	0.653	22.00	20.80	30.20
34	52.60	36.50	36.0	0.262	42.14	29.4	0.698	31.10	28.70	41.00
36	63.53	47.16	56.65	0.247	50.55	37.7	0.746	44.40	40.00	56.20
38	77.50	61.55	82.28	0.231	61.31	48.90	0.797	64.00	56.10	77.90
40	95.70	81.30	100.40	0.214	75.25	64.10	0.852	93.60	79.40	109.30
45	172.30	173.30	297.50	0.172	133.73	134.70	1.007	262.30	200.50	271.30
50	347.50	415.10	1153.2	0.131	266.50	318.50	1.195	871.70	567.40	761.30

Tabel 2. Pengaruh bentuk fondasi, kedalaman fondasi, inclinasi dan eksentrisitas beban, kemiringan dasar fondasi, dan kemiringan permukaan tanah

Factors	Meyerhof	Hansen	Vesic
Shape	$F_{sc} = 1 + 0.2K_p \frac{B}{L}$	$F_{sc} = 0.2 \frac{B'}{L'} (\phi = 0)$	$F_{sc} = 0.2 \frac{B'}{L'} (\phi = 0)$
	$F_{sq} = F_{sy} = 1 (\phi = 0)$	$F_{sc} = 1.0 + \frac{N_q B'}{N_c L'}$	$F_{sc} = 1.0 + \frac{N_q B}{N_c L}$
	$F_{sq} = 1 + 0.1K_p \frac{B}{L}$	$F_{sq} = 1.0 + \frac{B'}{L'} \sin \phi$	$F_{sq} = 1.0 + \frac{B'}{L} \tan \phi$
	$F_{sy} = 1 + 0.1K_p \frac{B}{L}$	$F_{sy} = 1.0 - 0.4 \frac{B'}{L'}$	$F_{sy} = 1.0 - 0.4 \frac{B}{L}$
Depth	$F_{dc} = 1 + 0.2\sqrt{K_p} \frac{D_f}{B}$	$F_{dc} = 0.4 \frac{D_f}{B} (\phi = 0)$	$F_{dc} = 0.4 \frac{D_f}{B} (\phi = 0)$
	$F_{dq} = 1 + 0.1\sqrt{K_p} \frac{D_f}{B}$	$F_{dc} = 1.0 + 0.4 \frac{D_f}{B}$	$F_{dc} = 1.0 + 0.4 \frac{D_f}{B}$
	$F_{dy} = 1 + 0.1\sqrt{K_p} \frac{D_f}{B}$	$F_{dq} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 k$	$F_{dq} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 k$
	$F_{dq} = F_{dy} = 1 (\phi = 0)$	$F_{dy} = 1.00$ $k = \tan^{-1}(\frac{D_f}{B}); k = \frac{D_f}{B} \leq 1$	$F_{dy} = 1.00$ $k = \tan^{-1}(\frac{D_f}{B}); k = \frac{D_f}{B} \leq 1$
Inclination	$F_{ic} = (1 - \frac{\theta}{90})^2$	$F_{ic} = 0.5 - \sqrt{1 - \frac{H_i}{A_f C_a}}$	$F_{ic} = F_{iq} - \frac{1 - F_{iq}}{N_q - 1}$
	$F_{iq} = (1 - \frac{\theta}{90})^2$	$F_{iq} = [1 - \frac{0.5H_i}{V + A_f C_a \cot \phi}]^{\alpha_1}$	$F_{iq} = [1 - \frac{0.5H_i}{V + A_f C_a \cot \phi}]^{\alpha_1}$
	$F_{iy} = (1 - \frac{\theta}{\phi})^2$	$F_{iy} = [1 - \frac{0.7H_i}{A_f C_a \cot \phi}]^{\alpha_2}$	$F_{iy} = [1 - \frac{(0.7 - \eta^0/450)H_i}{V + A_f C_a \cot \phi}]^{\alpha_2}$
	$F_{iy} = 0, \theta > 0 (\phi = 0)$	$2 \leq \alpha_1, \alpha_2 \leq 5$	$2 \leq \alpha_1, \alpha_2 \leq 5$
Ground (base on slope)	$F_{\beta c} = 1$	$F_{\beta c} = \frac{\beta^0}{147^0}$	$F_{\beta c} = 1 - \frac{\eta^0}{147^0}$
	$F_{\beta q} = 1$	$F_{\beta q} = (1 - 0.5 \tan \beta)^5$	$F_{\beta q} = (1 - 0.5 \tan \beta)^5$
	$F_{\beta y} = 1$	$F_{\beta q} = (1 - 0.5 \tan \beta)^5$	$F_{\beta q} = (1 - 0.5 \tan \beta)^5$
	Hanya untuk $\beta=0$		
Base (tilted base)	$F_{\delta c} = 1$	$F_{\delta c} = \frac{\eta}{147^0}$	$F_{\delta c} = \frac{\eta}{147^0} (\phi = 0)$
	$F_{\delta q} = 1$	$F_{\delta c} = 1 - \frac{\eta^0}{147^0}$	$F_{\delta c} = 1 - \frac{\eta^0}{147^0}$
	$F_{\delta y} = 1$	$F_{\delta q} = e^{-2\eta \tan \phi}$	$F_{\delta q} = e^{-2\eta \tan \phi}$
	Hanya untuk $\delta=0$	$F_{\delta y} = e^{-2.7\eta \tan \phi}$ η, k in radians	$F_{\delta y} = e^{-2.7\eta \tan \phi}$ η, k in radians

2. METODOLOGI

Metode penelitian merupakan pengujian model fondasi dangkal dalam bak uji. Tahapan metodologi berupa pembuatan bak uji, prototype fondasi dangkal, pemilihan pasir uji, serta pengujian properties pasir uji. Setelah persiapan bak uji selesai, pelaksanaan pengujian dibagi menjadi pengujian pendahuluan dan pengujian utama. Pengujian pendahuluan berupa pengujian properties tanah pasir dan kontrol properties dan kepadatan pasir dalam bak. Pengujian utama berupa pengujian model fondasi telapak.

Alat dan Bahan

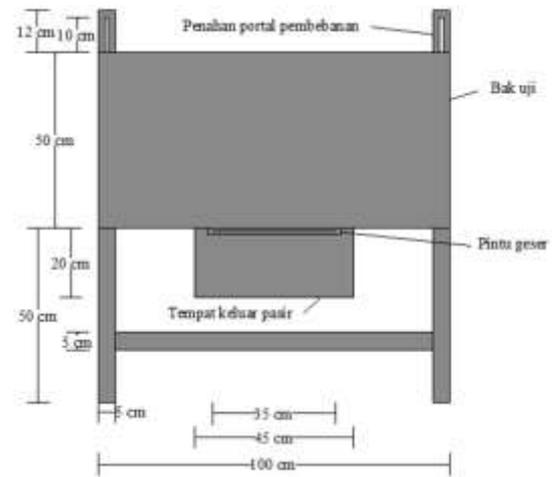
Pasir yang diambil dari Sungai Kampar, digunakan sebagai material pengujian. Pasir sungai setelah dicuci bersih dan dikeringkan dalam oven kemudian disaring. Pasir seragam yang lolos saringan # no. 10, digunakan sebagai tanah dalam bak uji. Prototypes fondasi dangkal yang digunakan untuk pengujian model terbuat dari plat baja dengan tebal 8.0 mm yang terdiri dari 3 bentuk yaitu bujur sangkar (SQ), persegi panjang (RE) dan lingkaran (CL) dengan dimensi luas tapak sama sebesar. Masing-masing bentuk dibuat dalam 3 (tiga) variasi ukuran luas yang berbeda, dapat dilihat dalam Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Variasi bentuk dan ukuran model tapak fondasi

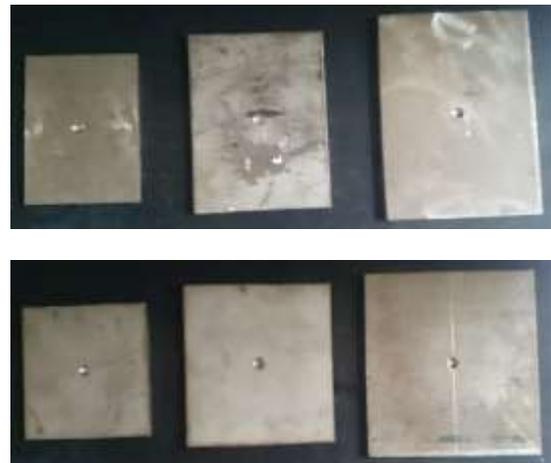
Dimensi	Shape	Square	Rectangular	Circle
A ₁	B/D	10.00	8.17	11.28
(cm ²)	L	-	12.25	-
A ₂	B/D	12.25	10.00	13.82
(cm ²)	L	-	15.00	-
A ₃	B/D	14.14	11.55	15.97
(cm ²)	L	-	17.32	-

Bak pengujian terdiri dari portal pembebanan dan bak uji. Bak uji (baja profil) mempunyai dimensi dengan panjang 120 cm, lebar 100 cm dan tinggi 50 cm. Bak uji memiliki 4 (empat) kaki dengan tinggi 50 cm [13]. Sistem pembebanan adalah berupa beban Vertikal Sentris dengan cara tulangan baja digantung pada portal yang dihubungkan langsung ke titik pusat model fondasi dangkal [14]. beban menggunakan beban konsolidasi yang digantung dibawah bak. Untuk lebih

jelasan dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Sketsa bak Uji



Gambar 2. Tapak fondasi Model

Pengujian

Uji pendahuluan terdiri dari pengujian properties tanah, pengujian berat isi tanah dan pengujian sudut geser tanah. Pengujian properties antara lain pengujian kadar air, *specific gravity*, dan analisa saringan. Berat isi tanah dicari dengan pengujian tinggi jatuh, pengujian berat volume dan pengujian *nuclear density*. Pengujian sudut geser tanah diperoleh dari pengujian tinggi jatuh dan *direct shear*.

Pengujian utama berupa pengujian model fondasi telapak dalam bak model dengan langkah pengerjaan berikut: Bak di isi pasir sampai ketebalan 17 cm dari dasar bak Pengujian. Pasir diberi beban sebesar 0,01 kg/cm² hingga kepadatannya merata. Beban

dilepas setelah kepadatan merata dan tidak lagi terjadi penurunan, kemudian dilanjutkan mengisi pasir dari ketebalan 17 cm sampai ketebalan 35 cm dari dasar bak pengujian, lakukan pembebanan sebesar 0,01 kg/cm² seperti langkah pertama (Nugroho et.al, 2015). Kontrol kepadatan untuk tiap lapisan dilakukan dengan menggunakan *Nuclear Density meter* tiap ketebalan 7,5 cm. Setelah setting untuk pasir selesai, dilanjutkan dengan setting model fondasi dangkal, setting portal pembebanan dan setting dial penurunan. Model fondasi dangkal diletakan rata diatas permukaan tanah pasir tepat ditengah bak uji. Agar mendapatkan posisi vertikal dan horisontal model fondasi dangkal, digunakan *water pass*. Besar penurunan diukur menggunakan *dial gauge*. digunakan 2 dial gauge untuk melihat penurunan fondasi di pusat tapak dan di salah satu sudut fondasi. Piston beban diletakan tepat dititik pusat luasan fondasi agar beban yang diterapkan berupa beban vertikal sentris.

Pengujian utama dimulai dengan memberi beban pada portal pembebanan, penurunan di catat pada interval waktu tertentu menggunakan *stopwatch*. Beban ditambahkan apabila pembacaan penurunan pada kedua dial gauge lebih kecil dari 0.01 mm/jam. Keruntuhan terjadi dimana pada beban yang sama, penurunan yang terjadi bertambah besar dari penurunan sebelumnya selama 2 kali pembacaan pada rentang waktu relatif singkat. Setelah terjadi keruntuhan, bak uji dibongkar. Prosedur diulang dari awal untuk pengujian utama bentuk dan ukuran fondasi yang lain.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Properties Pasir

Data hasil pengujian diperoleh dari pengujian properties di laboratorium dan pengujian model fondasi dangkal. Hasil pengujian laboratorium berupa properties tanah, densitas tanah dan sudut gesek internal tanah. Hasil uji pembebanan pada model fondasi dangkal berupa korelasi antara beban dan penurunan. Data pengujian yang dihasilkan, disajikan secara sistematis dan jelas untuk dilakukan analisa. Data-data yang diperoleh yaitu properties tanah, densitas dan

sudut gesek internal tanah serta hasil dari pengujian model fondasi.

Pengujian properties tanah pasir yang ada dalam bak, diberikan pada Tabel 3. Dari Tabel 3, tanah pasir yang dituang dalam bak merupakan jenis pasir halus dengan butiran seragam dan lepas (*loose, poorly graded sand*). Kepadatan pasir masuk katagori kepadatan sedang

Tabel 3. Sifat Fisik dan Mekanik tanah pasir

Properties	symbol	value
Spesific Gravity	Gs	2.64
Water content (%)	w	0.11
Density (kN/m ³)	γdry	16.20
Coefficient of uniformity	c _u	2.47
Coefficient of curvature	c _c	0.95
Internal friction angle	φ	32.50

Perhitungan Daya Dukung Fondasi dengan formula Empiris

Pengujian model fondasi pada kondisi beban vertikal sentris, permukaan dasar fondasi mendatar (β=0), permukaan tanah mendatar (δ=0) dan kedalaman fondasi (D_f)=0.008 m. Melihat jenis tanahnya berupa pasir murni (c=0), maka formula daya dukung fondasi pada Persamaan (1) menjadi lebih sederhana karena faktor Inklinasi beban, kemiringan dasar, dan kemiringan permukaan hilang menjadi:

$$q_{ult} = qN_q F_{sq} F_{dq} + \frac{1}{2} B \gamma N_\gamma F_{s\gamma} F_{d\gamma} \quad (10)$$

Perhitungan faktor-faktor bentuk dan kedalaman fondasi untuk metode Terzaghi, Meyerhof, Hansen, dan Vesic terangkum dalam Tabel 4 dan Tabel 5

Tabel 4. Faktor-faktor daya dukung untuk φ=32.50° bentuk lingkaran dan bujur sangkar

SQ	N _q	N _γ	F _{sq}	F _{sγ}	F _{dq}	F _{dγ}
(T)	30.31	30.54	1.00	1.00	1.00	1.00
(M)	24.58	24.00	1.33	1.01	1.33	1.01
(H)	24.58	22.54	1.54	1.02	0.60	1.00
(V)	24.58	32.60	1.64	1.02	0.60	1.00

(T) = Terzaghi, (M) = Meyerhof;
(H) = Hansen, (V) = Vesic

Tabel 5. Faktor-faktor daya dukung untuk φ=32.50° bentuk persegi empat (RE)

RE	N _q	N _γ	F _{sq}	F _{sγ}	F _{dq}	F _{dγ}
(T)	30.31	30.54	1.00	1.00	1.00	1.00
(M)	24.58	24.00	1.22	1.02	1.22	1.02

(H)	24.58	22.54	1.36	1.03	0.73	1.00
(V)	24.58	32.60	1.42	1.03	0.73	1.00

Beban vertikal sentris ultimit yang dapat didukung oleh tanah dari perhitungan Empiris menggunakan formula dari Terzaghi, Meyerhof, Hansen, dan Vesic terangkum dalam Tabel 6, Tabel 7, dan Tabel 8. Ukuran model telapak fondasi dijadikan input dimensi (B, L) pada perhitungan. Parameter-parameter diambil dari Tabel 1 dan faktor daya dukung diambil dari formula dalam Tabel 2, sementara hasil perhitungan yang lain diambil dari Tabel-tabel di atas untuk tanah pasir sesuai Tabel 3 telah dirangkum dalam Tabel 4 dan Tabel 5

Tabel 6. Beban Ultimit Fondasi bentuk Lingkaran dari beberapa Formula Empiris

Daya dukung diameter (cm):	Qult (Newton)		
	11.28	13.82	15.97
Terzaghi (T)	261	461	700
Meyerhof (M)	339	607	922
Hansen (H)	171	298	445
Vesic (V)	229	404	608

Tabel 7. Beban Ultimit Fondasi Bentuk Bujur Sangkar dari Beberapa Formula Empiris

Daya dukung Sisi (s), cm:	Qult (Newton)		
	10.00	12.25	14.14
Terzaghi (T)	235	420	635
Meyerhof (M)	306	546	826
Hansen (H)	158	273	406
Vesic (V)	210	370	550

Tabel 8. Beban Ultimit Fondasi bentuk Persegi Panjang dari beberapa Formula Empiris

Daya dukung B/L=2/3, B(cm):	Qult (Newton)		
	8.165	10.00	11.55
Terzaghi (T)	212	378	570
Meyerhof (M)	237	421	634
Hansen (H)	152	264	394
Vesic (V)	203	357	536

Perbandingan beban yang bisa dipikul oleh tapak berbentuk lingkaran dari beberapa ukuran dengan formula empiris diperlihatkan dalam **Tabel 6**. Tapak fondasi dengan diameter 11.28 cm, dengan rumus Terzaghi, sanggup mendukung beban ultimit sebesar 616 N. Beban Aksial 1116 N, merupakan beban ultimit untuk tapak dengan diameter 13.82 cm, artinya beban ultimit meningkat

81%. Luas tapak 200 cm² (diameter 15.97 cm) bisa menahan beban ultimit sampai 1704 N, pertambahan beban sebesar 177%. Penambahan luas tapak sebesar 50% dan 100% dari dimensi awal, menggunakan persamaan Meyerhof, Hansen, dan Vesic berturut-turut sebesar 79% dan 171%, 74% dan 159%, serta 76% dan 164%

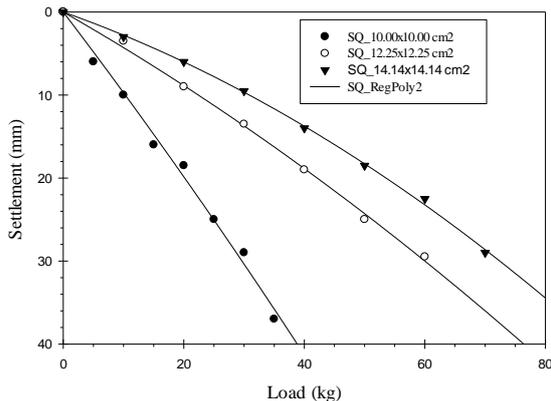
Dari **Tabel 7** terlihat bahwa bertambahnya luas sebesar 50% dari luasan semula 10.00x10.00 cm² menjadi 12.25x12.25 cm², menggunakan rumus dari Meyerhof, terjadi kenaikan daya dukung fondasi dari 310 N menjadi 550 N (sekitar 77%). Untuk perubahan luas telapak dari 10.00x10.00 cm² menjadi 14.14x14.14 cm² (100%), terjadi penambahan kuat dukung tanah sebesar 158%. Penambahan beban ultimit untuk perubahan luas tapak sebesar 150% dan 200%, juga terjadi pada formula Hansen sebesar 69% dan 156%, Vesic sebesar 76% dan 162%. dan Terzaghi (75% dan 162%). Dengan kata lain, dimensi yang perbesar mengakibatkan peningkatan daya dukung yang sama untuk semua metode untuk fondasi telapak bujur sangkar.

Tabel 8 memperlihatkan bahwa untuk formula empirik tapak fondasi bentuk persegi empat dengan perbandingan B:L=2:3, pertambahan luas sebesar 50% (10.0x15.0 cm²) akan meningkatkan daya dukung fondasi sebesar 74%-80%, sama dengan telapak bujur sangkar. Sementara untuk penambahan luas telapak sebesar 100%, terjadi peningkatan kapasitas dukung sebesar 159%-174%. Peningkatan beban ultimit yang bisa didukung fondasi bentuk persegi empat sama besar dengan bentuk bujur sangkar dan bentuk lingkaran, ini dikarenakan perbandingan lebar dan panjang (B/L) maupun bentuk tidak berpengaruh. Faktor bentuk berpengaruh pada besar beban ultimit saja, sementara prosentasi kenaikan dari ukuran awal dengan bentuk apapun relatif sama.

Hasil Uji Pembebanan fondasi

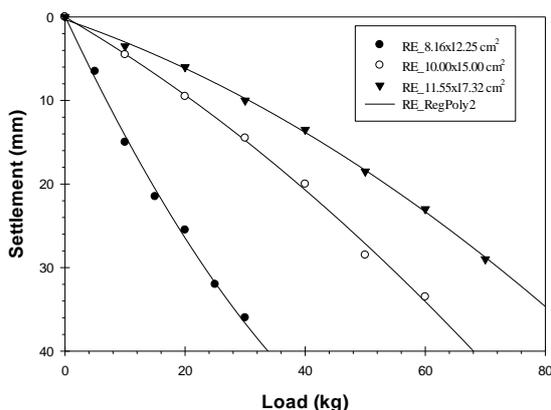
Korelasi antara beban dengan penurunan hasil uji pembebanan ditampilkan pada **Gambar 3**, **Gambar 4**, dan **Gambar 5**. Grafik-grafik mengikuti keruntuhan model *local shear failure*, artinya beban ultimit tidak terlihat jelas dalam grafik. Analisis pertambahan daya dukung fondasi ditentukan

dengan mengambil acuan terjadinya penurunan (settlement) sebesar 40 mm. Untuk fondasi bentuk bujur sangkar (Gambar 3), untuk luasan tapak 10.00x10.00 cm², 12.25x12.25 cm², dan 14.14x14.14 cm², beban yang dipikul fondasi berturut turut adalah 39.0 kg, 78.1 kg dan 92.3 kg. Jadi penambahan area 50% dan 100% akan menaikkan beban sebesar 100% dan 137%.



Gambar 3. Daya Dukung fondasi dengan Penurunan pada tapak Bujur Sangkar

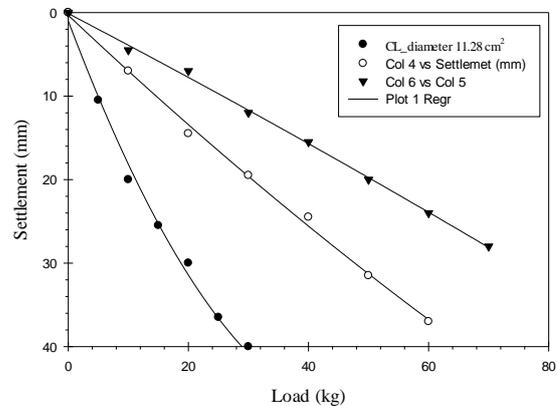
Pada **Gambar 4**, penambahan area sebesar 50% berhasil menaikkan beban yang didukung dari 34.0 kg menjadi 68.0 kg. Sedangkan untuk peningkatan area sebesar 100%, beban yang bisa didukung saat terjadi penurunan sebesar 40 mm adalah 88.2 kg. Dapat disimpulkan terjadi peningkatan daya dukung berturut turut sebesar 176% dan 268%.



Gambar 4. Daya dukung fondasi dengan Penurunan pada tapak Persegi Panjang

Untuk fondasi tapak bentuk lingkaran dengan diameter 11.28 cm, 13.82 cm, dan 15.97 cm beban yang menimbulkan penurunan 40 mm

berturut-turut adalah sebesar 30.0 kg, 68.0 kg, dan 130.5 kg. terjadi penambahan beban sebanyak 126.7% dan 335.0% pada pertambahan luas tapak 50% serta 100%

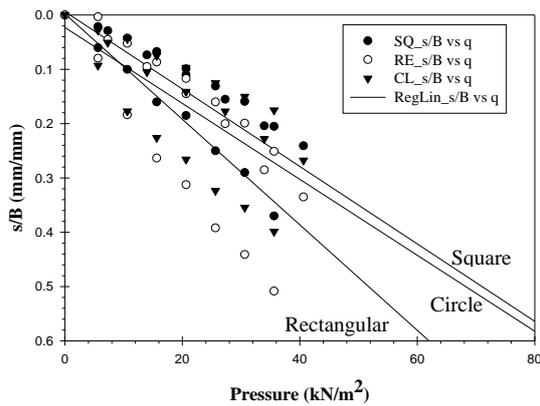


Gambar 5. Daya dukung fondasi dengan Penurunan pada tapak Lingkaran

Pada luasan fondasi pertama ($A=100 \text{ cm}^2$), terutama untuk tapak berbentuk persegi empat dan lingkaran, kurva p-y tidak berbentuk parabola melainkan terjadi penurunan pons (punching shear failure) seperti perilaku fondasi dalam. Artinya dimensi tersebut tidak sesuai digunakan pada tanah pasir karena dominan terjadi penurunan segera.

Hubungan antara s/B dengan Beban

Daya dukung fondasi tidak hanya dilihat dari besarnya penurunan. Adalah kurang tepat menentukan kapasitas dukung fondasi pada nilai penurunan yang sama tapi ukuran fondasi berbeda. Dimensi fondasi, juga berpengaruh juga pada toleransi penurunan fondasi, jadi semakin besar fondasi, penurunan yang di syaratkan juga semakin besar. Gambar 5 menampilkan beban yang bisa di dukung pada nilai perbandingan antara penurunan dan lebar fondasi yang sama.



Gambar 6. Grafik Hubungan Rasio penurunan dengan Lebar (s/B) dan Beban

Hubungan antara rasio penurunan dengan lebar tapak (s/B) dan beban pada semua ukuran dan bentuk, dapat dilihat pada Gambar 6. Kemiringan grafik yang lebih besar menggambarkan besarnya perubahan penurunan dibandingkan dengan perubahan beban. Semakin besar gradient menggambarkan besarnya settlement yang terjadi lebih tinggi apabila di pada perubahan beban yang sama. Dapat ditarik kesimpulan bahwa, penggunaan fondasi dangkal dengan sisi yang sama (square, B=L) lebih efektif dibandingkan fondasi dengan ukuran sisi berbeda (rectangular) maupun bentuk lingkaran. Artinya, pada luasan tapak fondasi yang sama beban yang bisa didukung oleh fondasi bujur sangkar lebih besar daripada fondasi bentuk lingkaran maupun bentuk persegi panjang.

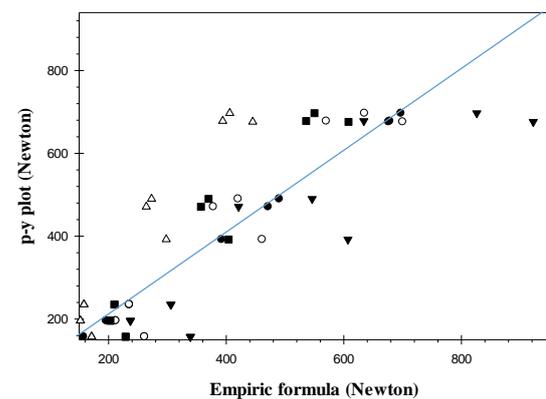
Tabel 9 menampilkan ringkasan Beban yang didukung fondasi pada beberapa ukuran dan bentuk tapak dari hubungan beban dengan penurunan menggunakan metode Chin.

Tabel 9. Pengaruh antara s/B dengan bentuk Fondasi

Deskripsi	Circle	Square	Rectangular
Chin	157	235	196
Terzaghi	261	235	212
A ₁ Meyerhof	339	306	237
Hansen	171	158	152
Vesic	229	210	203
Chin	392	490	471
A ₂ Terzaghi	461	420	378
Meyerhof	607	546	421
Hansen	298	273	264

Vesic	404	370	357
Chin	676	697	678
Terzaghi	700	635	570
A ₃ Meyerhof	922	826	634
Hansen	445	406	394
Vesic	608	550	536

Interpretasi hubungan beban dengan penurunan (p-y) menggunakan metode Chin mendapatkan nilai beban ultimit untuk masing-masing ukuran dan bentuk fondasi seperti terlihat pada Tabel 9. Bentuk tapak bujur sangkar menghasilkan beban ultimit yang paling besar diantara semua bentuk tapak untuk masing-masing ukuran luas tapak, secara general. Pemilihan dimensi fondasi dengan bentuk tapak lebih baik dipakai karena bisa mendukung beban lebih besar daripada bentuk lainnya, pada luasan yang sama. Besar beban ultimit hasil interpretasi kurva p-y menggunakan cara Chin jauh lebih kecil nilainya dibandingkan dengan menggunakan perhitungan empiris dari rumus Meyerhof tetapi mendekati dan lebih kecil daripada hasil perhitungan memakai rumus Terzaghi (lihat Gambar 7). Pertimbangan faktor keamanan, sebaiknya rumus empiris menggunakan formula Hansen dan Vesic karena hasil perhitungan kedua metode ini hampir sama dengan metode Chin dan aman karena nilai beban ultimit masih dibawah nya. secara berturut-turut adalah 1204%, 993% dan 918%.



Gambar 7. Perbandingan hasil interpretasi kurva p-y dan formula empiris

4. KESIMPULAN

Daya dukung fondasi di atas tanah pasir sangat dipengaruhi oleh dimensi luas

dan bentuk tapak. Penambahan luas tapak fondasi otomatis meningkatkan kemampuan fondasi dalam menahan beban. Penambahan luasan tapak dan kenaikan kapasitas dukung fondasi berbanding lurus.

Formula empiris dari Terzaghi, Meyerhof, Hansen, dan Vesic, bentuk lingkaran mampu menerima beban lebih besar daripada bentuk bujur sangkar maupun persegi panjang. Sementara hasil pengujian model fondasi, justru bentuk lingkaran paling rendah

Hasil interpretasi kurva p-y pada model eksperimen menunjukkan nilai beban ultimit tertinggi terjadi pada fondasi bentuk bujur sangkar, dan nilainya mendekati rumus empiris dari Terzaghi

Pemilihan sisi-sisi fondasi ukurannya sama ($B=L$), bentuk bujur sangkar lebih efektif daripada bentuk rectangular ($\frac{B}{L} > 1$)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. M. Das, N. Endah, and Indrasurya B. Mochtar, *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid 1&2*, 1st ed. Jakarta: Erlangga, 1985.
- [2] H. C. Hardiyatmo, *Teknik Fondasi 1&2*, 2nd ed. Jakarta: PT Gramedia Pustaka, 2012.
- [3] J. E. Bowles, *Bearing Capacity of Foundations*. 2015.
- [4] R. Panggabean, "Pengaruh Bentuk Dasar Model Pondasi Dangkal terhadap Kapasitas Dukung pada Pasir dengan Derajat Kejenuhan Tertentu (Studi Laboratorium)," Universitas Maranatha, 2007.
- [5] Martini, "Analisis daya dukung tanah pondasi dangkal dengan beberapa metode," *Maj. Ilm. MekTek*, vol. 9, no. 2, pp. 75–87, 2009.
- [6] E. Effendi and A. Reidesy, "Hubungan Rasio Kedalaman dan Lebar Pondasi Dangkal serta Daya Dukung Ijin Pondasi menggunakan Data CPT (Cone Penetrometer Test) (Studi Kasus Jenis Tanah didaerah Pawiyatan Luhur, Semarang)," Unika Soegojopranoto, 2008.
- [7] A. Rachman and S. A. Nugroho, "Pengaruh Geotekstil Pada Kuat Dukung Pondasi telapak Di Atas Tanah Gambut," *Media Komun. Tek. Sipil*, vol. 17, no. 2, pp. 198–208, 2009.
- [8] R. Riyadi, M. Yusa, and S. A. Nugroho, "Bearing Capacity Study of Square Foundation with Combination Geotextile and Bamboo Reinforcement," *Din. Tek. Sipil*, vol. 11, no. 1, pp. 30–33, 2011.
- [9] S. A. Nugroho, "Studi Daya Dukung Pondasi Dangkal pada Tanah Gambut dengan Kombinasi Geotekstil dan Grid Bambu," *J. Tek. Sipil*, vol. 18, no. 1, pp. 31–40, 2011.
- [10] R. Dewi and S. Sarino, "Pengaruh Perkuatan Anyaman Bambu Terhadap Peningkatan Daya Dukung Tanah Lempung," *J. Ilmu Tek. Sriwij.*, vol. 1, no. 1, p. 102967, 2013.
- [11] N. S. Surjandari, "Pengaruh anyaman bambu terhadap daya dukung dan penurunan pondasi dangkal pada tanah kohesif," 2007.
- [12] P. Utomo, "Daya dukung ultimit pondasi dangkal di atas tanah pasir yang diperkuat geogrid," *Civ. Eng. Dimens.*, vol. 6, no. 1, pp. 15–20, 2007.
- [13] Lingga P. Subrata, S. A. Nugroho, and F. Fatnanta, "Pengaruh bentuk dan dimensi tapak pondasi terhadap daya dukung pondasi dangkal akibat beban aksial pada tanah pasir," *JOM FTEKNIK Univ. Riau*, vol. 2, no. 2, pp. 1–7, 2015.
- [14] S. A. Nugroho, Lingga Panji Subrata, and F. Fatnanta, "Kajian Eksperimental dan Empirik Pengaruh Dimensi Pondasi Dangkal," in *ACES Annual Civil Engineering Seminar*, 2015, pp. 88–95.
- [15] S. A. Nugroho, F. Fatnanta, and L. P. Subrata, "Kajian eksperimental dan empirik pengaruh dimensi pondasi dangkal," in *ACES Annual Civil Engineering Seminar*, 2015, no. 2007, pp. 88–95.