

PENGARUH SUDUT *FOLDED PLATE* TERHADAP DAYA DUKUNG PONDASI TANAH LEMPUNG

Y.Idris¹, R.Dewi^{1*}, Yulindasari¹, dan S.A.Al Munawar¹

¹Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Sriwijaya, Palembang
Corresponding author: ratnadewi@unsri.ac.id

ABSTRAK: Pondasi *folded plate* merupakan modifikasi jenis pondasi tapak dengan penambahan lipatan pada kedua sisinya dengan panjang dan sudut tertentu. Makalah ini memaparkan hasil penelitian pemodelan pondasi *folded plate* dengan ukuran datar 15 cm x 15 cm, panjang lipatan 15 cm dengan variasi sudut 90°, 105°, 120°, 135°, dan 150°. Analisis pondasi *folded plate* dilakukan dengan melakukan uji pembebanan untuk mengetahui perbandingan antara pondasi tapak dengan pondasi *folded plate* dan seberapa besar kenaikannya. Sistem pembebanan menggunakan *load cell* dan LVDT untuk pembacaan penurunan pada pondasi. Pengujian ini dilakukan pada tanah lempung yang ditempatkan di dalam kotak uji dengan ukuran 2,1m x 1m x 1m. Hasil yang diperoleh diekspresikan dalam grafik hubungan beban dan penurunan, Metode Tangent dan metode Butler Hoy digunakan untuk menentukan nilai beban ultimit dan penurunan pondasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai daya dukung pondasi tapak sebesar 24,63 kN/m² (metode Butler Hoy) dan nilai daya dukung pondasi *folded plate* meningkat dengan bertambahnya sudut lipatan. Nilai daya dukung pondasi *folded plate* tertinggi sebesar 87,25 kN / m² pada variasi sudut 150°. Efisiensi *folded plate* terhadap pondasi tapak tertinggi adalah 276,78%.

Kata Kunci: *Folded Plate*, Tanah lempung, pondasi tapak, Daya Dukung

ABSTRAK: *Folded plate foundation is a modified type of flat foundation with the addition of folded on both sides with a specified length and angle. This paper presents the results of research on the modeling of folded plate foundations with a flat size of 15 cm x 15 cm, a folded length of 15 cm with angles variations of 90°, 105°, 120°, 135°, and 150°. Folded plate foundations were analyzed by performing a loading test to determine the ratio between the flat foundation and the folded plate foundation and how much the increase was. The loading system used a load cell and LVDT for readings of settlement in the foundation. This test was carried out on clay soil that was placed in the test box with a size of 2.1m x 1m x 1m. The results obtained were expressed in a graph of the relationship between load and settlement, the Tangent method and the Butler Hoy method were used to determine the ultimate load value and foundation settlement. The results showed that the value of the flat foundation bearing capacity is 24,63 kN/m² (Butler Hoy method) and the bearing capacity of the folded plate foundation increases with increasing folded angle. The highest bearing capacity value of the folded plate foundation is 87,25 kN/m² at the angle variation of 150°. The highest efficiency of folded plate against flat foundation is 276,78%.*

Keywords: *Folded Plate, Clay, Flat Foundation, Bearing Capacity*

PENDAHULUAN

Struktur bangunan terdiri dari dua bagian utama yaitu struktur bawah dan struktur atas dimana elemen struktur bawah meliputi struktur pondasi dan struktur atas meliputi balok, kolom, dan lain - lain. Pondasi berfungsi sebagai penyalur beban dari struktur atas yang kemudian disalurkan ke dalam tanah.

Pondasi merupakan komponen penting dalam suatu bangunan, baik itu berupa gedung, jembatan, bendungan dan bangunan sipil lainnya. Pondasi yang kuat harus

didesain secara teliti dengan nilai daya dukung pondasi yang tentunya sesuai dengan keadaan di lapangan. Pondasi memiliki dua model yaitu model pondasi dangkal dan model pondasi dalam. Model pondasi dangkal merupakan pondasi yang dibuat pada kedalaman tanah yang tidak terlalu dalam karena kondisi tanah sudah cukup keras dan mampu menopang beban di atasnya, sedangkan model pondasi dalam merupakan pondasi yang dibuat pada kedalaman yang cukup dalam dan dapat menopang beban konstruksi yang besar.

Faktor penentu desain pondasi selain beban struktur yang bekerja, jenis tanah juga berpengaruh terhadap model pondasi yang digunakan. Jenis tanah yang sering ditemukan di Sumatera Selatan adalah tanah lempung yang memiliki sifat yang kurang baik untuk struktur, dimana daya dukung pondasinya rendah. Sehingga perlu memodifikasi model pondasi dangkal untuk meningkatkan daya dukung pondasi. Beberapa peneliti telah mengembangkan model pondasi dangkal dimana daya dukung pondasi yang dimodifikasi tersebut lebih besar dari pondasi tapak biasa.

Daya dukung ultimit pondasi shell/cangkang berbentuk conical, triangular and pyramidal lebih besar jika dibandingkan dengan pondasi tapak yang konvensional, dimana pertambahan pada sudut dari pondasi cangkang mempengaruhi kenaikan kapasitas dukung ultimit pondasi (Hanna & Abdel-Rahman, 1998).

Pemodelan dengan beberapa variasi yaitu pondasi tapak konvensional, upright shell, dan sinusoidal shell yang menggunakan material high-strength polymeric concrete (UHPRFC) menunjukkan bahwa kapasitas dukung meningkat sebesar 40%-45% ketika menggunakan model pondasi cangkang. Faktor paling berpengaruh pada peningkatan kapasitas dukung yaitu sudut dari pondasi cangkang, dimana ketika sudut dinaikan 18° dapat menambah 12% dari nilai kapasitas dukung (Rinaldi et al., 2018).

Begini pula bentuk-bentuk pondasi modifikasi lainnya seperti bentuk *triangular strip footings* (Pusadkar, 2015), (Azzam & Nasr, 2015), *strip curved shell foundation model* (Thilakan & Naik, 2016) semuanya menunjukkan perilaku yang sama.

Paper ini menyajikan hasil penelitian model pondasi tapak yang dimodifikasi dengan bentuk tapak yang diberi sayap/*folded* dengan variasi sudut kemiringan dari sayap adalah 90°, 105°, 120°, 135° dan 150° terhadap garis horizontal dan panjang sayap sama dengan lebar tapak pondasi. Kinerja dari model pondasi ini ditunjukkan dengan besaran nilai efisiensi kenaikan daya dukung.

Faktor efisiensi pondasi *folded plate* yaitu peningkatan beban ultimit dari pondasi *folded* dibandingkan dengan beban ultimit pondasi tapak (Azzam & Nasr, 2015). Hal ini didefinisikan seperti dalam Persamaan (1).

$$\eta = \frac{Q_{us} - Q_{uf}}{Q_{uf}} \quad (1)$$

dimana:

η = efisiensi *folded plate*

Q_{us} = daya dukung ultimit pondasi tapak

Q_{uf} = daya dukung ultimit pondasi *folded plate*

Sedangkan untuk menentukan karakteristik penurunan pondasi *folded plate* terhadap pondasi tapak konvensional digunakan faktor penurunan non-dimensi (F_{δ}). Faktor penurunan dihitung pada beban ultimit untuk mencerminkan karakteristik penurunan dari pondasi selama proses pembebanan (Azzam & Nasr, 2015). Faktor penurunan disajikan dalam Persamaan (2).

$$F_{\delta} = \frac{\delta_u \gamma A_b}{Q_u} \quad (2)$$

dimana:

δ_u = penurunan pada beban ultimit

γ = berat volume tanah

A_b = luas penampang pondasi dalam proyeksi horizontal.

Q_u = beban pondasi ultimit

Hasil pembeban terhadap model pondasi baik pondasi tapak maupun pondasi *folded plate* dituangkan dalam grafik hubungan antara beban dan penurunan. Grafik tersebut kemudian diinterpretasikan dengan metode Tangen dan metode Butler hoy untuk mendapatkan nilai daya dukung pondasi (M. Olgun, 2017).

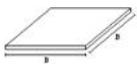
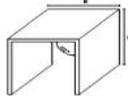
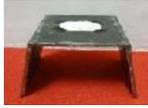
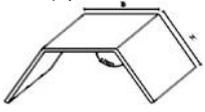
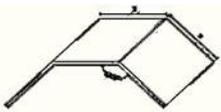
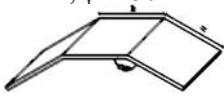
METODE PENELITIAN

Tanah yang digunakan dalam penelitian ini diambil pada lokasi pengambilan sampel yang berada di lokasi Desa Seriguna, Pedamaran, Kabupaten Ogan Komering Ilir, Sumatera Selatan. Tepatnya pada koordinat S 3°32'10,8492" , E 104°47'34,5696". Tanah yang diambil merupakan tanah terganggu (*disturbed*). Tanah yang telah diambil kemudian dilakukan pengujian propertis tanah yang meliputi pengujian kadar air, pengujian berat jenis, pengujian berat volume, pengujian analisa saringan dan hidrometer. Kemudian diklasifikasikan menggunakan metode Diagram *Lower Mississippi Valley Division U.S Engineer Dept.*

Pemodelan pondasi tapak dan pondasi *folded plate* menggunakan bahan berupa baja. Variasi pada pondasi ini terdapat pada sudut dari sayap pondasi dengan besarnya sudut 90°, 105°, 120°, 135° dan 150° dengan lebar pondasi B dan panjang sayap H tetap (Tabel 1).

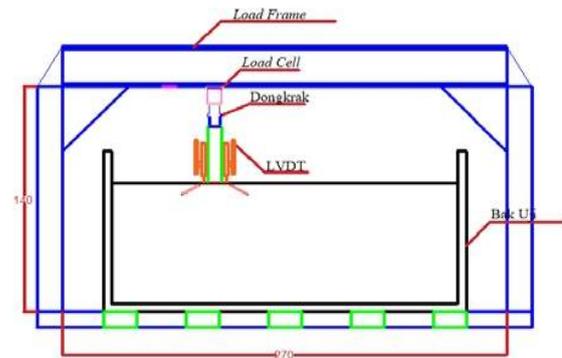
Pengujian pembebanan dilakukan pada bak uji dengan ukuran 2,1 m x 1 m x 1 m. Ukuran load frame 2,7 m x 1,4 m sebagai penahan dari load cell. Kapasitas dongkrak hidrolis 2,5 ton. Pembebanan dengan menggunakan load cell berkapasitas 20 ton dan dua buah LVDT. Gambar pemasangan alat pada pondasi dan sketsa pemodelan pembeban dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Tabel 1 Variasi model pondasi

No.	Geometri pondasi	Gambar pondasi
1.		
2.	$H = B, \phi = 90^0$ 	
3.	$H = B, \phi = 105^0$ 	
4.	$H = B, \phi = 120^0$ 	
5.	$H = B, \phi = 135^0$ 	
6.	$H = B, \phi = 150^0$ 	

Proses pengujian pembebanan dilakukan dengan pemberian beban sebesar 0,1 kN dengan cara memutar tuas dari hydraulic jack sampai terbaca di data logger beban sebesar 0,1 kN lalu di amkan selama 5 menit dan catat berapa besar penurunan yang terjadi. Dilanjutkan dengan menambah besar beban sebesar 0,1 kN menjadi 0,2 kN, di amkan selama 5 menit dan catat kembali penurunannya. Proses ini terus dilanjutkan dengan penambahan sebesar 0,1 kN sampai pondasi runtuh.

Sebelum pengujian penempatan pondasi dalam bak uji yang telah terisi tanah siap uji yang telah didiamkan selama 24 jam, dilakukan dahuu uji vane shear dengan tujuan untuk mengevaluasi kuat geser yang tidak terdrainase (q_u tanah lempung). Hal ini bertujuan untuk menyeragamkan kuat geser tanah lempung yang diuji, sehingga antara pondasi satu dengan pondasi yang lain memiliki kekuatan geser tanah yang sama pada saat diuji.



Gambar 1 Sketsa pemodelan pembebanan



Gambar 2 Foto penempatan alat dan pondasi pada tanah dalam bak uji

HASIL DAN PEMBAHASAN

Indeks Properties Tanah Lempung

Nilai pada pengujian soil properties dapat digunakan sebagai parameter penting tanah, seperti nilai dari berat volume, analisa butiran untuk menentukan jenis tanah yang digunakan, dan batas-batas atterberg. Berikut hasil pengujian dari soil properties yang diperlihatkan pada Tabel 2.

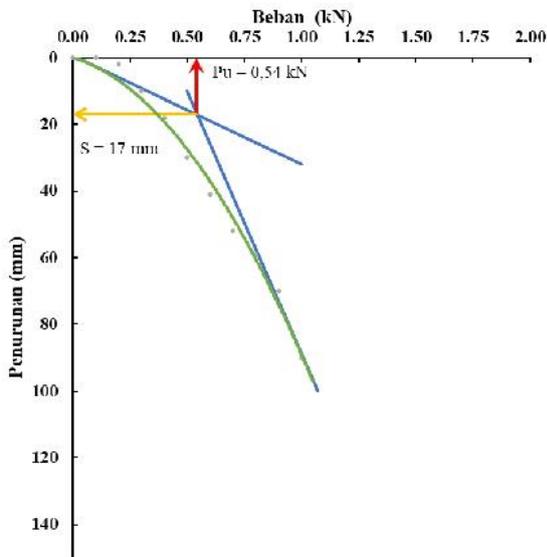
Tabel 2 Indeks Properties tanah lempung

No.	Indeks properties	Besaran
1.	Berat volume tanah (γ), kN/m ³	1,653
2.	Kadar Air (ω), %	36,074
3.	Berat jenis butiran tanah (Gs)	2,602
4.	Batas Cair (LL), %	97%
5.	Batas Plastis (PL), %	41,88%
6.	Indeks Plastisitas (IP), %	55.12%
7.	Jenis Tanah	<i>Silty Clay</i>

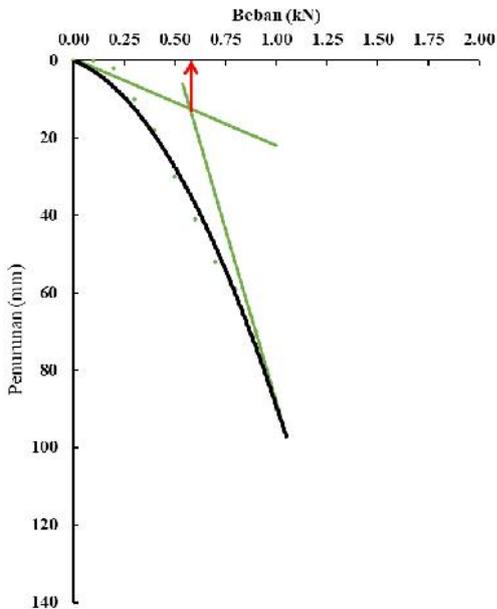
Berdasarkan pengujian analisa butiran, didapat nilai dari masing-masing persentase sand, silt, dan clay adalah 5%, 57% dan 38%. Bila diklasifikasikan menggunakan Diagram Segitiga *Lower Mississippi Valley Division US Eng Dept.*, didapat tanah silty clay atau lempung berlanau.

Hasil Pengujian Pondasi Tapak

Gambar 3 dan 4 menunjukkan hasil pengujian pembeban pondasi tapak yaitu grafik hubungan antara beban dan penurunan.



Gambar 3 Grafik penentuan beban ultimit dengan metode Tangen

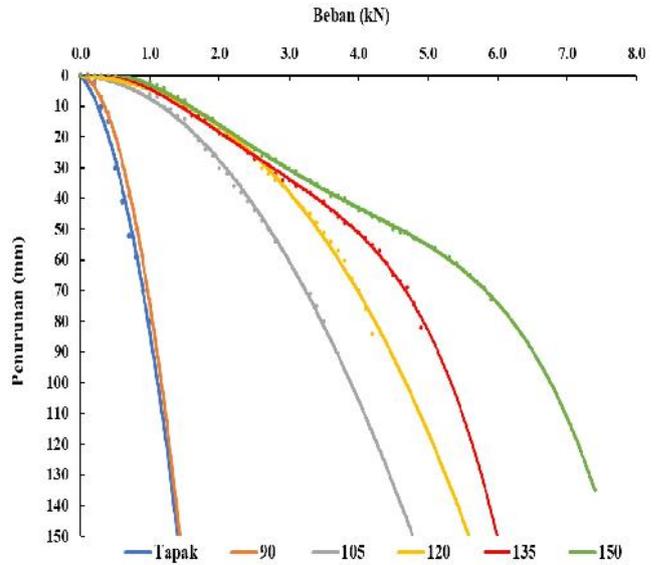


Gambar 4 Grafik penentuan beban ultimit dengan metode Butler Hoy

Penentuan hasil daya dukung dengan metode Tangen menghasilkan nilai beban ultimit sebesar 0,54 kN lalu ditambahkan dengan faktor berat pondasi dan luasan pondasi sehingga didapat daya dukung sebesar 24,63 kN/m², begitu pula untuk metode Butler Hoy didapatkan nilai daya dukung pondasi tapak sebesar 26.41 kN/m².

Hasil Pengujian Pondasi *Folded Plate*

Gambar 5 berikut merupakan hasil pengujian pembeban *folded plate* pada variasi sudut 90°, 105°, 120°, 135° dan 150°.



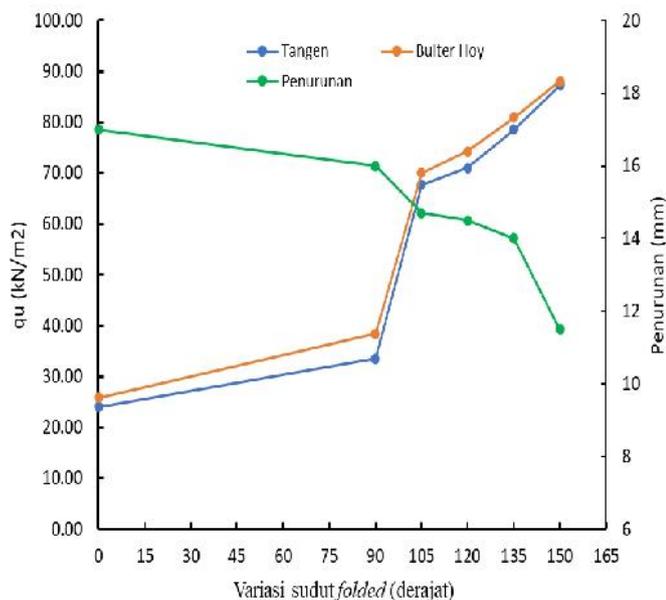
Gambar 5 Grafik hubungan antara beban dan penurunan hasil pengujian pembebanan pada pondasi *folded plate*.

Pada Gambar 5 diatas terlihat bahwa semakin besar sudut *folded plate* nya semakin besar beban yang diterapkan sampai tanah tersebut runtuh. Hal ini berbanding terbalik dengan hasil penelitian (Pusadkar, 2015) yang menggunakan pondasi *triangular strip footing* dimana semakin besar sudut puncak setitiganya maka nilai beban ultimitnya semakin kecil. Pada Gambar 5 juga terlihat bahawa pondasi *folded plate* dengan sudut 90° tidak terlihat peningkatan beban yang signifikan jika dibandingkan dengan pondasi tapak.

Nilai beban ultimit pondasi *folded plate* diperoleh dari kurva beban dan penurunan yang diinterpretasikan menggunakan metode Tangen dan Butler Hoy. Nilai beban ultimit kemudian ditambahkan dengan pengaruh beban pondasi yang dibagi dengan luasan dari masing-masing pondasi untuk mendapatkan nilai daya dukungnya (Qu) yang dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 Nilai daya dukung pondasi *folded plate*

Variasi Sudut Sayap (Derajat)	Beban Ultimit		S (mm)	Qu (kN/m ²)	
	Metode Tangen	Metode Butler Hoy		Metode Tangen	Metode Butler Hoy
0	0.54	0.58	17	24.06	25.84
90	0.71	0.82	16	33.54	38.43
105	2.27	2.35	14.7	67.70	70.04
120	3.15	3.3	14.5	70.99	74.33
135	4.22	4.35	14	78.51	80.90
150	5.32	5.37	11.5	87.25	88.07



Gambar 6 memperlihatkan bahwa daya dukung pondasi *folded plate* lebih besar dibandingkan dengan pondasi tapak, hal ini selaras dengan penelitian (AV Khrisnan et al., 2017). Pada Gambar 6 juga menunjukkan semakin besar sudut *folded* terhadap tapak semakin besar pula daya dukung pondasinya, akan tetapi berbanding terbalik dengan penurunannya. Nilai daya dukung terbesar didapat pada sudut *folded* 150⁰ yaitu sebesar 87,25 kN/m² (Metode Tangen) dan 88.07 kN/m² (Metode Butler Hoy). Dari grafik tersebut terlihat

daya dukung pondasi *folded* dengan sudut 90⁰ besarnya tidak terlalu jauh dari pondasi tapak. Penurunan terjadi semakin kecil seiring dengan bertambahnya sudut *folded* dengan penurunan terkecil sebesar 11.5mm.

Perbandingan Pondasi Tapak dan *Folded Plate*

Perbandingan daya dukung dilihat dari seberapa besar peningkatan yang terjadi pada pondasi *folded plate* terhadap pondasi tapak dan bagaimana faktor penurunan dari masing-masing pondasi (Tabel 4).

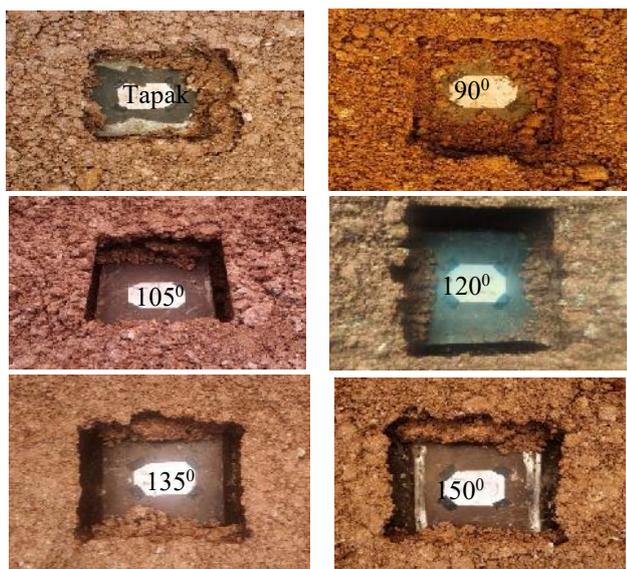
Tabel 4 Efisiensi *folded plate* dan faktor penurunan setiap variasi sudut.

Variasi Sudut <i>folded</i>	η		Faktor Penurunan
	Metode Tangen	Metode Butler Hoy	
90 ⁰	39.40%	48.73%	0.73
105 ⁰	187.40%	171.03%	0.35
120 ⁰	199.63%	187.62%	0.33
135 ⁰	233.13%	227.31%	0.29
150 ⁰	276.78%	252.12%	0.22

Peningkatan pada pondasi *folded plate* terhadap pondasi tapak yang ditandai dengan efisiensi *folded plate* mengalami kenaikan yang cukup besar. Peningkatan daya dukung pondasi *folded plate* terhadap pondasi tapak mengalami kenaikan terbesar pada sudut 150⁰ sebesar 276,78% dari pondasi tapak. Sehingga semakin besar sudut pondasi *folded plate* semakin besar pula nilai daya dukungnya. Hal ini juga diutarakan oleh (Azzam & Nasr, 2015), bahwa daya dukung *shell foundation* meningkat jika dibandingkan dengan *flat foundation* dan kenaikan sudut ketahanan geser pada pondasi juga mempengaruhi kenaikan daya dukung, dimana makin besar sudut ketahanan geser maka semakin meningkat daya dukung pondasi. (Thilakan & Naik, 2016) juga mengemukakan bahwa *shell footings* memiliki nilai daya dukung yang lebih tinggi dibandingkan dengan *flat footings* untuk pembebanan yang sama

Keadaan Tanah Setelah Pembebanan

Setelah dilakukan pengujian pembebanan kondisi tanah pada sekitar pondasi mengalami keruntuhan. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Kondisi tanah permukaan setelah pondasi runtuh

Gambar 7 merupakan kondisi tanah permukaan setelah tanah diberi pembebanan dari masing-masing pondasi. Pengamatan dilakukan terhadap daerah permukaan di sekitar pondasi yang mengalami keruntuhan yang semakin besar yaitu pada pondasi tapak sampai ke pondasi *folded plate* dengan sudut 120° dimana kondisi runtuh tanah semakin besar seiring dengan bertambahnya besar sudut *folded*. Namun pada sudut 135° kondisi runtuh tanah tidak terlalu banyak terjadi keruntuhan. Pada pondasi *folded plate* dengan sudut 150° mengalami keruntuhan tanah paling besar. Sehingga secara keseluruhan menunjukkan bahwa semakin besar sudut pondasi semakin besar zona keruntuhan yang terjadi.

Hal yang sama juga diutarakan oleh (Utami, 2019) dalam penelitiannya menyatakan bahwa semakin besar sudut kaki pondasi maka semakin dalam zona keruntuhan radial yang terjadi pada pondasi *folded plate* di tanah pasir.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian pembebanan pondasi tapak dan pondasi *folded plate* dengan variasi sudut *folded* dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Daya dukung pondasi *folded plate* dengan sudut 90°, 105°, 120°, 135° dan 150° menunjukkan peningkatan terhadap pondasi tapak di setiap variasinya. Hasil pengujian membuktikan bahwa semakin besar sudut pondasi *folded plate*, semakin besar peningkatan daya dukungnya yang artinya efisiensi *folded plate* semakin tinggi. Efisiensi *folded plate* tertinggi

sebesar 276.78% dengan daya dukung sebesar 87,25 kN/m² pada pondasi dengan sudut *folded* 150°.

2. Penambahan sudut pada pondasi *folded plate* menghasilkan penurunan semakin rendah sehingga menyebabkan factor penurunan juga semakin rendah yaitu sebesar 0.22.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Sriwijaya yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- A V, K., S V, S., & Nagarajan, V. (2017). Finite Element Analysis of HYPAR Shell Footings with Variation in Edge Beam Dimensions and Embedment Ratio. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*.
<https://doi.org/10.21276/ijee.2017.10.0201>
- Azzam, W. R., & Nasr, A. M. (2015). Bearing capacity of shell strip footing on reinforced sand. *Journal of Advanced Research*, 6(5), 727–737.
<https://doi.org/10.1016/j.jare.2014.04.003>
- Hanna, A., & Abdel-Rahman, M. (1998). Experimental investigation of shell foundations on dry sand. *Canadian Geotechnical Journal*.
<https://doi.org/10.1139/t98-049>
- M. Olgun, Y. Y. and A. H. (2017). Interpreting Load-Settlement Curves of Pile Foundations by Graphical Methods M. Olgun, Y. Yenginar and A. Hanati. *Eurasian Journal of Civil Engineering and Architecture*, 1(1), 1–10.
- Pusadkar, S. S. (2015). Behaviour of triangular shell strip footing on georeinforced layered sand. April 2011.
- Rinaldi, R., Abdel-Rahman, M., & Hanna, A. (2018). Experimental Investigation on Shell Footing Models Employing High-Performance Concrete.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-61914-9_29
- Thilakan, S., & Naik, N. P. (2016). Geotechnical Behaviour of Strip Curved Shell. *International Journal of Current Engineering and Science Research (IJCESR)*, 3(3), 13–17.
- Utami, W., (2019). Kajian Eksperimental Daya Dukung Dan Penurunan Variasi Pondasi Folded Plate Pada Tanah Pasir. Tesis Magister, Universitas Sriwijaya