

SIMULASI PERILAKU PONDASI GABUNGAN TELAPAK DAN SUMURAN DENGAN VARIASI KEDALAMAN TELAPAK PADA TANAH LEMPUNG BERLAPIS

Ari Purnomo¹⁾, Niken Silmi Surjandari²⁾, R. Harya Dananjaya H.I.³⁾

¹⁾ Mahasiswa Program S1 Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

²⁾ Pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

³⁾ Pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

Jalan Ir. Sutami No.36A Surakarta 57126. Telp: 0271647069. Email : ari.purnomo93.ap@gmail.com

Abstract

The development of the number of people stimulates the development of the number of high buildings to meet residence need. These high buildings includes in a medium burden category. It is added with the fact that the condition of the soil is categorized as soft ground. The main problem if a building is on the soft ground is capacity reduction. The often done solution is soil improvement, whereas it is not effective for small project. Hence, investigation about foot plate and caisson foundation models is done. This research aims to determine the graph behavior of load of the telasur model. The telasur foundation model is hoped to reduce the settlement than the foot plate and caisson foundations. This research uses layered clay data with medium and stiff clays. Next, this data parameter input mixed with software Finite Element Method. The foot plate depth variations are 1.5 m; 1.6 m; 1.7 m; 1.8 m; 1.9 m and 2.0 m on the settlement telasur foundation. For increasing 0,1 m from depth of footplat can decrease the average value settlement to 1,83%

Keywords : Layered Clay, Settlement and Telasur

Abstrak

Perkembangan jumlah penduduk yang semakin banyak, mendorong pembangunan gedung-gedung bertingkat untuk memenuhi kebutuhan tempat tinggal. Gedung-gedung bertingkat ini termasuk bangunan dengan kategori beban menengah. Kenyataan ini juga ditambah dengan kondisi lahan yang masuk dalam kategori tanah lunak. Permasalahan utama bila suatu bangunan berada di atas tanah lunak adalah penurunan dan daya dukung. Solusi yang sering dilakukan adalah perbaikan tanah, namun hal ini tidak efektif untuk proyek kecil. Oleh karena itu, dilakukan penelitian tentang model pondasi gabungan telapak dan sumuran (telasur). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku grafik penurunan terhadap beban model pondasi telasur. Model Pondasi telasur diharapkan bisa mengurangi nilai penurunan dibandingkan pondasi telapak dan sumuran. Penelitian ini menggunakan data tanah lempung berlapis dengan karakteristik lempung sedang dan lempung kaku. Selanjutnya, data parameter *input* ini diolah dengan program metode elemen hingga untuk mendapatkan hasil berupa nilai penurunan dan tegangan. Pengaruh variasi kedalaman telapak 1,5 m; 1,6 m; 1,7 m; 1,8 m; 1,9 m dan 2,0 m terhadap nilai penurunan pondasi telasur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar kedalaman telapak maka semakin kecil nilai penurunan yang diberikan. Setiap kenaikan 0,1 m dari kedalaman telapak mengurangi nilai penurunan rata-rata sebesar 1,83%.

Kata Kunci : Lempung Berlapis, Penurunan dan Telasur.

PENDAHULUAN

Perkembangan jumlah penduduk yang semakin banyak, mendorong pembangunan gedung-gedung bertingkat untuk memenuhi kebutuhan tempat tinggal. Gedung-gedung bertingkat ini termasuk dalam bangunan dengan kategori beban menengah. Kenyataan ini juga ditambah dengan kondisi lahan yang masuk dalam kategori tanah lunak. Apabila tanah pendukung yang dijumpai adalah tanah bermasalah, misalnya tanah lunak, maka pemilihan jenis pondasi akan lebih sulit. Permasalahan utama bila suatu bangunan di atas tanah lunak adalah penurunan dan daya dukung (Bowles, 1979).

Perencanaan pondasi tidak lepas dari perhitungan kuat daya dukung tanah. Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah untuk menahan beban konstruksi. Daya dukung tanah dianalisis agar pondasi tidak mengalami keruntuhan geser (*shear failure*) dan penurunan berlebih. Daya dukung tanah tersebut ditentukan oleh jenis dan karakter tanah. Tanah berlapis adalah tanah yang memiliki lapisan sebanyak dua atau lebih dengan perbedaan jenis dan atau karakter antar lapisannya. Tanah berlapis memiliki karakteristik yang berbeda dengan tanah homogen. Tanah berlapis dapat memiliki lapisan tanah yang baik maupun jelek. Oleh karena itu, daya dukung pondasi pada tanah berlapis perlu ditinjau lebih lanjut.

Penggunaan pondasi dangkal untuk bangunan-bangunan kategori beban menengah tidak dianjurkan, karena beban yang ditahan oleh kolom cukup besar, dikhawatirkan pondasi dangkal tidak mampu menahan beban. Pondasi yang tidak mampu menahan beban akhirnya akan *collapse* (Bata, 2014). Ketika pondasi mengalami *collapse* maka dapat menyebabkan kegagalan struktur pada pondasi tersebut. Selain itu, penggunaan pondasi tiang pada bangunan yang termasuk kategori beban menengah dianggap kurang efektif. Sehingga penggunaan pondasi gabungan telapak dan sumuran menjadi salah satu alternatif untuk bangunan kategori beban menengah.

Adanya kombinasi kinerja antara komponen gabungan pondasi telapak dan sumuran membuat jenis pondasi ini efektif untuk mengurangi penurunan total yang akan terjadi pada keseluruhan struktur (Majid, 2014) dan (Sulistyanto, 2014). Komponen pondasi telapak diharapkan tetap dapat menahan beban dengan tingkat keamanan yang cukup, sedangkan komponen pondasi sumuran lebih berperan dalam mengatasi penurunan tanah. Hal ini berarti gabungan pondasi telapak-sumuran juga ditentukan oleh efek interaksi antara tanah dengan struktur.

Dengan mempertimbangkan beberapa hal di atas, penelitian ini dilakukan dengan mensimulasikan model gabungan pondasi telapak dan pondasi sumuran dengan variasi tertentu yang disebut dengan nama Pondasi Telasur (Telapak dan Sumuran) menggunakan bantuan Program Plaxis 3D Foundation. Simulasi ini diharapkan mampu menunjukkan perilaku grafik penurunan dan nilai daya dukung pondasi telasur, sehingga dapat dibandingkan dengan pondasi telapak ataupun pondasi sumuran.

LANDASAN TEORI

Pondasi

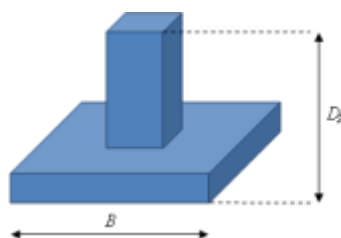
Pondasi adalah bagian dari struktur yang berfungsi untuk menyalurkan beban struktur ke tanah di bawahnya (Terzaghi dan Peck, 1967). Apabila beban struktur tidak terlalu besar dan letak kedalaman tanah kerasnya cukup dangkal dapat menggunakan pondasi telapak. Sedangkan apabila beban struktur cukup besar dan letak tanah keras cukup dalam dapat menggunakan pondasi tiang. Setiap pondasi memiliki kedalaman pondasi (D_f) yakni jarak vertikal muka tanah dengan ujung pondasi.

Terdapat dua klasifikasi pondasi yakni pondasi dalam dan pondasi dangkal. Pondasi dangkal didefinisikan sebagai pondasi yang mendukung bebannya secara langsung, seperti: pondasi telapak, pondasi memanjang, dan pondasi rakit. Pondasi dalam didefinisikan sebagai pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batuan yang terletak relatif jauh dari permukaan, contohnya pondasi sumuran dan pondasi tiang (Hardiyatmo, 2006). Menurut DAS (1995) pondasi dibedakan menjadi pondasi dangkal (*shallow foundation*) dan pondasi dalam (*deep foundation*). Dikatakan pondasi dalam apabila perbandingan antara kedalaman pondasi (D_f) dengan diameternya (B) adalah lebih besar sama dengan 10 ($D_f/B \geq 10$). Sedangkan pondasi dangkal apabila $D_f/B \leq 4$.

Pondasi Telapak

Pondasi telapak umumnya digunakan untuk mendukung kolom (Hardiyatmo, 2006). Pondasi ini berupa tiang yang bersambung dengan kolom dan sebuah plat di bawahnya yang fungsinya untuk menyalurkan beban struktur ke tanah. Pondasi ini banyak dipakai karena ekonomis dan dinilai efektif untuk menahan beban struktur hingga dua lantai. Pondasi telapak termasuk pondasi dangkal karena perbandingan kedalaman dan lebar pondasinya ($D_f/B \leq 1$) (Hardiyatmo, 2006).

Salah satu hal penting dalam perencanaan pondasi telapak adalah perhitungan tegangan kontak maksimum yang dapat ditahan oleh tanah di bawah pondasi tanpa menyebabkan keruntuhan dan penurunan yang berlebihan pada pondasi (Terzaghi dan Peck, 1967). Tahap desain pondasi telapak diawali dengan menentukan besarnya gaya kontak yang diterima tanah tiap satuan luas akibat beban luar. Beban luar yang dimaksud adalah beban akibat gaya tekan kolom dan juga momen di sekitar area kolom. Setelah itu ditentukan kapasitas daya dukung tanah di bawah pondasi. Kemudian dibandingkan antara tegangan kontak dengan daya dukung tanah. Model pondasi telapak dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pondasi Telapak

Tegangan kontak adalah tegangan yang bekerja di dasar pondasi (Terzaghi dan Peck, 1967). Besarnya tegangan kontak dapat ditentukan dengan persamaan 1 sebagai berikut (Hardiyatmo, 2006):

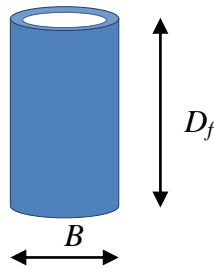
$$q = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(1)$$

dengan:

- q = tekanan sentuh yaitu tekanan yang terjadi pada kontak antara dasar pondasi dan tanah dasar pada titik (x_0, y_0)
- P = jumlah beban vertikal
- A = luas dasar pondasi

Pondasi Sumuran

Di Indonesia, pondasi *caisson* sering dibuat dalam bentuk silinder sehingga umumnya disebut pondasi sumuran karena bentuknya menyerupai sumur (Hardiyatmo, 2006). *Caisson* adalah pondasi tiang yang berupa lubang, dimana diameter lubang ini cukup besar, sehingga memungkinkan untuk dimasuki orang (diameter 30 inci atau lebih) (Bowles, 1968). Menurut Hardiyatmo (2006), *caisson* merupakan peralihan dari pondasi dangkal ke pondasi dalam. Model pondasi sumuran disajikan pada Gambar.2.



Gambar 2. Pondasi Sumuran

Ada dua macam pondasi kaison yakni pondasi kaison bor dan kaison (Hardiyatmo, 2006). Pembuatan pondasi kaison bor diawali dengan proses pengeboran dan dilanjutkan dengan pengecoran beton. Untuk memperbesar kapasitas daya dukung, dasar kaison dapat diperbesar menurut bentuk lonceng. Sedang pondasi kaison yang berbentuk silinder atau kotak beton dibuat dengan membenamkan silinder beton ditempatnya, bersamaan dengan penggalian tanah.

Asumsi dalam perhitungan daya dukung pondasi sumuran adalah kapasitas dukung pondasi disumbangkan oleh tahanan ujung pondasi dan tahanan gesek dinding. Kapasitas daya dukung pondasi dengan asumsi ini dapat ditentukan dari persamaan 2 berikut ini (Cooke dan Withaker, 1966, dalam Hardiyatmo, 2006):

$$Q_u = Q_s + Q_b \dots\dots\dots(2)$$

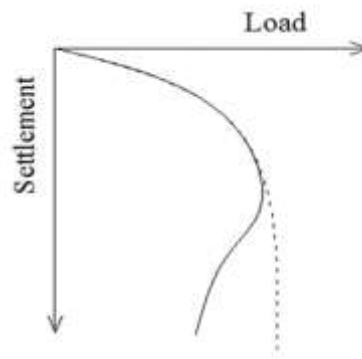
dengan:

- $Q_s = A_s a_d c$ = tahanan adhesi dinding tiang (kN)
- c = kohesi tanah rata-rata di sekitar pondasi kaison (kN/m²)
- a_d = faktor adhesi (nilainya di antara 0,35 – 0,45)
- $Q_b = A_b (c_b N_c + D_f \gamma)$ = tahanan dukung ujung tiang (kN)
- c_b = kohesi tanah di bawah dasar pondasi (kN/m²)
- D_f = kedalaman pondasi (m)
- A_b = luas dasar kaison (m²)
- Q_u = beban ultimit pada kaison (kN)

Penurunan

Secara garis besar, pengujian kapasitas daya dukung pondasi di lapangan akan menghasilkan grafik penurunan terhadap beban. Sesuai dengan namanya, grafik ini menyatakan hubungan antara pembebanan yang diberikan pada pondasi dengan penurunan segera pondasi. Pembebanan yang baik harus diberikan hingga pondasi *collapse* agar dapat ditentukan besar daya dukung ultimit (Q_u). Pada beberapa kondisi, pembebanan hingga pondasi *collapse* tidak dapat dilakukan, oleh karena itu diperlukan beberapa kriteria untuk mengestimasi besarnya daya dukung ultimit (Q_u) dari grafik penurunan terhadap beban.

Dalam kondisi ekstrim, tanah terbagi menjadi dua jenis yakni tanah lempung dan tanah pasir. Berdasar pada teori yang ada, pasir dan lempung memiliki perilaku yang jauh berbeda, termasuk pada karakteristik grafik penurunannya. Perbedaan ini berkaitan erat dengan perilaku kedua tanah yang berbeda ketika dikenai beban. Tanah pasir ketika dikenai beban cenderung memiliki penurunan segera yang besar, sedangkan penurunan segera pada tanah lempung kecil (Prakash and Sharma, 1990). Karakteristik bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Karakteristik Grafik Penurunan Terhadap Beban Tanah Lempung (Shamsher P. & Hari D. Sharma, 1990)

Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) adalah menyusun sebuah obyek (sistem) yang kompleks dari beberapa elemen kecil yang sederhana dan atau membagi sebuah obyek (sistem) yang kompleks menjadi beberapa bagian kecil yang dapat diatur (Liu, 2003). Analisis metode elemen hingga mendiskretisasi sebuah kontinum menjadi beberapa elemen dan di setiap elemen dipilih fungsi sederhana untuk memperkirakan variasi dari variabel lapangan seperti perpindahan dan tekanan pori (Agrensa, 2012).

Plaxis 3D Foundation merupakan Program Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*), dikembangkan untuk analisis konstruksi pondasi. Perkembangan dari Plaxis dimulai tahun 1987 di *Delft University of Technology* sebagai inisiatif dari Departemen Pekerjaan Umum dan Manajemen Keairan Pemerintah Belanda (*Rijkswaterstaat*).

Plaxis terdiri dari tiga subprogram pada *user interface* yaitu *Input*, *Output*, dan *Curves*. *Input* digunakan untuk mengatur geometri, parameter model, dan fase perhitungan. *Output* digunakan untuk menampilkan hasil perhitungan. *Curves* berfungsi untuk melakukan plot grafik angka hasil. *Toolbar* pada *user interface* digunakan untuk memudahkan penggunaan beberapa fitur program.

METODE PENELITIAN

Metode yang Digunakan

Penelitian ini mempelajari analisis perilaku pondasi gabungan antara pondasi telapak dengan pondasi sumuran pada tanah lempung berlapis yang ditinjau dari variasi kedalaman telapak. Dengan menggunakan Plaxis 3D Foundation, diharapkan akan didapatkan nilai penurunan dari beban aksial kolom ke pondasi. Analisis model pondasi telapak menggunakan skema pembebanan dengan cara *static loading test* yang mengacu pada ASTM D 1143 – 81, dimana pembebanan menggunakan beban bertahap sampai sebesar 200% dari beban rencana 1000 kN. Jadi beban yang akan diberikan pada model pondasi sebesar 2000 kN. Model variasi pondasi gabungan disajikan pada Tabel 1. Data parameter tanah dan beton yang digunakan disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 1. Model Variasi Pondasi Gabungan

NO	Tipe Pondasi	Telapak		Sumuran	
		Dimensi	Kedalaman	Diameter	Panjang
1	Telapak	1,5m X 1,5m	1,5m	-	-
2	Sumuran	-	-	1m	4,5m
3	Telasur 1	1,5m X 1,5m	1,5m	1m	4,5m
4	Telasur 2	1,5m X 1,5m	1,6m	1m	4,5m
5	Telasur 3	1,5m X 1,5m	1,7m	1m	4,5m
6	Telasur 4	1,5m X 1,5m	1,8m	1m	4,5m
7	Telasur 5	1,5m X 1,5m	1,9m	1m	4,5m
8	Telasur 6	1,5m X 1,5m	2,0m	1m	4,5m

Tabel 2. Parameter Tanah pada Simulasi Pondasi Gabungan

Parameter	Nilai	
	Lapisan Tanah 1 (0,00-4,00 m)	Lapisan Tanah 2 (4,00-7,50 m)
Model Material	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Perilaku Material	Undrained	Undrained
Berat Isi Tanah Tidak Jenuh (g_{unsat})	16,87 kN/m ³	17,73 kN/m ³
Berat Isi Tanah Jenuh (g_{sat})	16,02 kN/m ³	16,52 kN/m ³
Modulus Young (E)	7000 kN/m ²	15000 kN/m ²
Angka Poisson (ν)	0,3	0,3
Kohesi (c)	50,33 kN/m ²	127,73 kN/m ²
Sudut Gesek Dalam (φ)	18,68°	3,38°
Sudut Dilatasi (ψ)	0°	0°
Faktor Reduksi Interface (R_{inter})	1	1

Tabel 3. Parameter Beton pada Simulasi Pondasi Gabungan

Parameter	Nilai
Material beton:	
Berat volume beton	= 24 kN/m ³
Kuat tekan beton, f'_c	
• f'_c 25 Mpa	= $2,5 \times 10^4$ kN/m ³
Modulus elastisitas beton (E)	
• f'_c 25 Mpa	= $2,35 \times 10^7$ kN/m ²
Poisson's Ratio beton	
• f'_c 25 Mpa	= 0,2

Analisis Penurunan Pondasi Menggunakan Plaxis 3D Foundation

Penelitian ini menggunakan *software* dalam proses *running* perhitungan analisis dengan program Plaxis 3D Foundation. Analisis perhitungan nilai penurunan pada Plaxis 3D dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan data parameter tanah dan beton untuk *input* membuat model pada Plaxis 3D
2. Membuat variasi model pondasi gabungan telapak dan sumuran (telasur)
3. Perencanaan geometri model Plaxis 3D
4. Memasukkan data parameter tanah dan beton pada *input material sets* program plaxis 3D
5. Membuat dan menyusun fase-fase pembanan dan kalkulasi
6. Menampilkan output hasil perhitungan Plaxis 3D yang berupa nilai penurunan
7. Menganalisa hasil penurunan semua variasi model pondasi
8. Membuat grafik penurunan terhadap beban untuk semua variasi model pondasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penurunan Pondasi pada Tanah Lempung Berlapis

Hasil kalkulasi dari Program Plaxis 3D Foundation adalah nilai penurunan. Analisis penurunan pondasi ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik grafik penurunan terhadap beban. Dari hasil output model pondasi telapak, sumuran, dan variasi pondasi telasur dapat dilihat karakteristik penurunannya. Hasil penurunan tersebut diharapkan mendekati karakteristik grafik penurunan terhadap beban pada tanah lempung seperti pada Gambar 3. Rekapitulasi hasil penurunan terhadap beban ditampilkan pada Tabel 4 berikut :

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Penurunan Pondasi Telasur Variasi Kedalaman Telapak

Beban (kN)	Penurunan (mm)								Keterangan
	Telapak	Sumuran	Telasur 1	Telasur 2	Telasur 3	Telasur 4	Telasur 5	Telasur 6	
	$D_f = 1.5$ m	$D_f = 4.5$ m	$D_{f1} = 1.5$ m	$D_{f1} = 1.6$ m	$D_{f1} = 1.7$ m	$D_{f1} = 1.8$ m	$D_{f1} = 1.9$ m	$D_{f1} = 2.0$ m	
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$B_1 = 1.5$ m
100	2.54	1.00	0.95	0.94	0.93	0.92	0.89	0.87	$B_2 = 1$ m
200	4.62	2.01	1.91	1.88	1.87	1.84	1.81	1.75	
300	7.00	3.02	2.86	2.82	2.80	2.75	2.71	2.62	$D_{f2} = 4.5$ m
400	9.45	4.03	3.83	3.76	3.70	3.67	3.61	3.50	
500	11.92	5.04	4.79	4.71	4.68	4.60	4.52	4.37	$B_1 =$
600	14.40	6.06	5.76	5.66	5.62	5.53	5.44	5.25	
700	16.89	7.09	6.73	6.61	6.53	6.46	6.35	6.14	Dimensi Telapak
800	19.39	8.11	7.69	7.56	7.52	7.39	7.27	7.02	
900	21.92	9.13	8.67	8.52	8.46	8.32	8.18	7.91	$D_{f1} =$
1000	24.47	10.15	9.64	9.47	9.41	9.25	9.10	8.80	
1100	27.02	11.17	10.61	10.43	10.37	10.19	10.02	9.69	Kedalaman Telapak
1200	29.59	12.20	11.57	11.39	11.33	11.14	10.95	10.58	
1300	32.17	13.25	12.55	12.35	12.29	12.08	11.88	11.47	$B_2 =$
1400	34.76	14.30	13.52	13.29	13.25	13.02	12.81	12.37	
1500	37.55	15.38	14.50	14.25	14.21	13.97	13.74	13.27	Diameter Sumuran
1600	40.55	16.48	15.49	15.22	15.18	14.92	14.67	14.17	
1700	43.65	17.59	16.48	16.20	16.15	15.88	15.61	15.07	$D_{f2} =$
1800	47.66	18.72	17.49	17.19	17.15	16.84	16.56	15.98	
1900	52.14	19.91	18.51	18.19	18.16	17.84	17.53	16.90	Panjang Sumuran
2000	56.82	21.32	19.57	19.21	19.10	18.84	18.51	17.84	

Keterangan:

$B_1 = 1.5$ m, $B_2 = 1$ m, $L_p = 4.5$ m

B_f = Dimensi Telapak (m)

D_{f1} = Kedalaman Telapak (m)

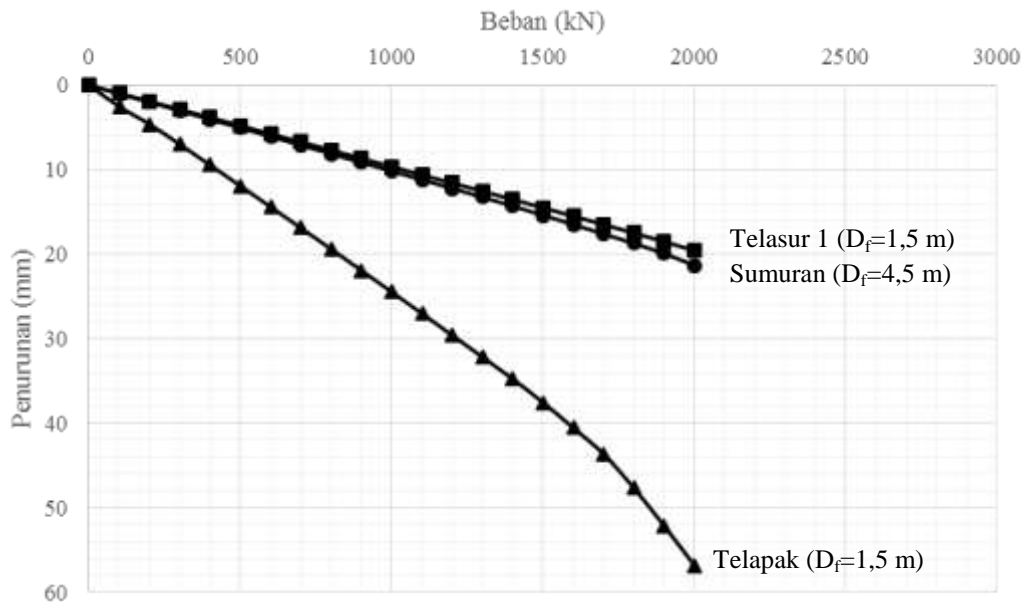
B_2 = Diameter Sumuran (m)

L_p = Panjang Sumuran (m)

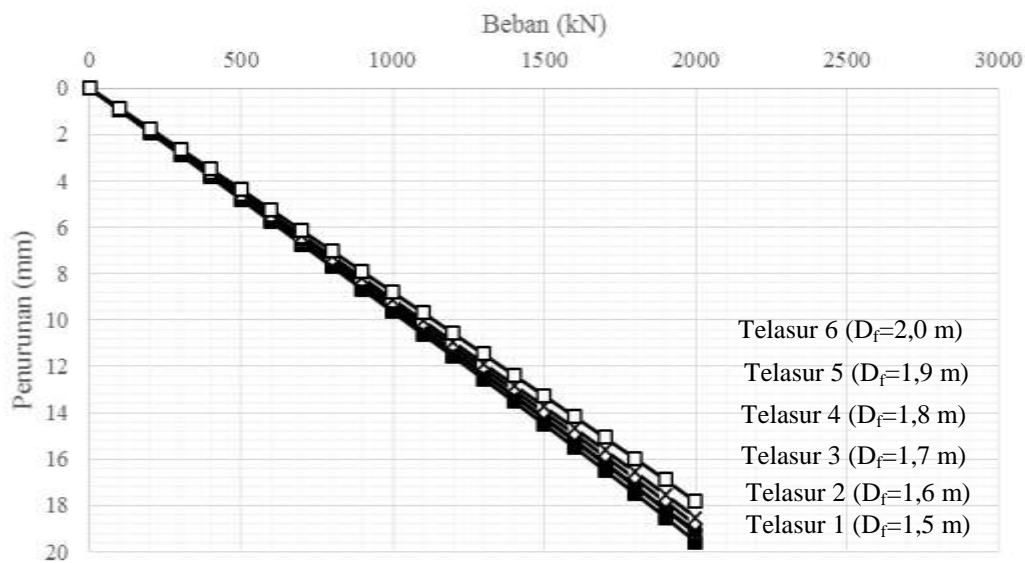
Model variasi pondasi pada Tabel 4 mengacu pada Tabel 1. Karakteristik grafik penurunan pondasi telapak, sumuran, dan telasur 1 akan dianalisis untuk mengetahui perilaku penurunan masing-masing variasi model pondasi telasur. Model pondasi telasur 1 sampai 6 digunakan untuk menganalisis pengaruh variasi kedalaman telapak terhadap penurunan. Hasil penurunan pondasi pada Tabel 4 dibuat sebuah grafik yang menunjukkan perilaku penurunan pondasi terhadap beban pada tanah lempung berlapis. Grafik penurunan tersebut disajikan pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Hasil penurunan dari model pondasi telasur lebih kecil dibandingkan dengan penurunan pada pondasi telapak saja maupun sumuran saja. Pada beban yang sama yaitu 2000 kN, pondasi telapak dan pondasi sumuran menghasilkan penurunan sebesar 56,82 mm dan 21,32 mm sedangkan penurunan pondasi telasur sebesar 19,57 mm atau turun 65,56% dari penurunan pondasi telapak dan 8,21% dari penurunan pondasi sumuran. Adanya variasi nilai kedalaman telapak pada pondasi telasur juga mempengaruhi besarnya penurunan. Pada Gambar 5 dapat diketahui bahwa semakin besar kedalaman telapak, maka penurunan yang terjadi semakin kecil.

Penggabungan pondasi telapak dan pondasi sumuran (telasur) dapat mengurangi nilai penurunan yang terjadi. Pondasi Telasur dengan variasi kedalaman telapak, rata-rata nilai penurunan setiap kenaikan 0,1 m kedalaman telapak dari 1,5 m sampai 2,0 m berkurang sebesar 1,83%.



Gambar 4. Grafik Hasil Penurunan Pondasi Telapak, Sumuran, dan Telasur 1



Gambar 5. Grafik Hasil Penurunan Pondasi Telasur pada Variasi Kedalaman Telapak

SIMPULAN

Model pondasi gabungan pondasi telapak dan sumuran (telasur) menghasilkan nilai penurunan yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai penurunan pada pondasi telapak maupun sumuran saja. Perilaku grafik penurunan terhadap beban untuk pondasi telapak, pondasi sumuran, serta pondasi gabungan telapak dan sumuran (telasur) menunjukkan perilaku yang hampir sama dengan grafik penurunan terhadap beban pada tanah lempung sesuai teori dari Prakash dan Sharma (1989). Semakin besar kedalaman telapak, memberikan nilai penurunan yang semakin kecil. Penggabungan pondasi telapak dan pondasi sumuran (telasur) dapat mengurangi nilai penurunan yang terjadi. Pondasi Telasur dengan variasi kedalaman telapak, rata-rata nilai penurunan setiap kenaikan 0,1 m kedalaman telapak dari 1,5 m sampai 2,0 m berkurang sebesar 1,83%.

REKOMENDASI

1. Penelitian ini dapat dikembangkan lagi dengan memodelkan pondasi gabungan telapak dan sumuran pada tanah berlapis lebih dari 2 lapis.
2. Memodelkan pondasi gabungan telapak dan sumuran dengan mempertimbangkan pengaruh muka air tanah.
3. Memodelkan pondasi gabungan telapak dan sumuran dengan variasi tebal telapak atau ketebalan sumuran.
4. Pemodelan pembebanan dengan cara *cyclic loading* seperti pengujian pembebanan yang dilakukan di lapangan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih pertama ditujukan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan nikmatnya. Selanjutnya kepada kedua orangtua yang senantiasa mendoakan, Dr. Niken Silmi Surjandari, S.T., M.T. dan R. Harya Dananjaya H. I, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberi arahan dan masukan dalam penelitian ini.

REFERENSI

- Agrensa, Fico Dio, 2012, Perilaku Model Tereduksi Di Laboratorium Struktur Rel Kereta Api Dengan Perkuatan Cerucuk Kayu Ditinjau Dari Pola Lendutan Akibat Pembebanan Statis Repetitif Divalidasi Analisis Plaxis 3D. Skripsi. Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Bowles, Joseph E., 1968. *Foundation Analysis and Design*. Indianapolis: McGraw-Hill Book Company.
- Brinkgreve, R.B.J., W. Broere. 2006. *Plaxis 3D Foundation Tutorial Manual version 1.5*. Netherlands : Delf University of Technology & PLAXIS bv
- Briaud, Prof. Jean-Louis dkk. 2013. *ISSMGE Combined Pile-Raft Foundation Guideline*. Germany : Technische Universitat Darmstadt.
- Hardyatmo, Hary Christady, 2006. *Teknik Pondasi 1*. Yogyakarta : Beta Offset.
- Hardyatmo, Hary Christady, 2008. *Teknik Pondasi 2*. Yogyakarta : Beta Offset.
- Hardyatmo, Hary Christady, 2010. *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.
- Liu, Yijun. "Lecture Note : Introduction to the Finite Element Method". 6 September 2013. <http://urbana.mie.uc.edu/ylu/FEM-525/FEM-525.htm>
- Majid, Rensia Erlyana, 2014. *Simulasi Perilaku Pondasi Gabungan Foot Plat dan Sumuran Dengan Variasi Kedalaman Foot Plat dan Panjang Sumuran*. Surakarta : Universitas Sebelas Maret.
- Prakash, Shamsher, Hari D. Sharma, 1990. *Pile Foundation in Engineering Practice*. New York : Wiley – Intersection Publication.
- Sulistyanto, Budi, 2014. *Simulasi Perilaku Pondasi Gabungan Foot Plat dan Sumuran Dengan Variasi Dimensi Foot Plat dan Diameter Sumuran*. Surakarta : Universitas Sebelas Maret.
- Sulistyo, Wahyu Ady, Ridha Anissa Imaniar, Ignasius Rahmat Santoso, Trihanyndio Rendy Satrya, Ria Asih Aryani Soemitro, 2012. *Studi Pengaruh Pembebanan Statis dan Dinamis Terhadap Pondasi Dangkal dengan Perkuatan Tiang Buis dari Komposisi Optimal Beton yang Menggunakan Material Limbah di Kabupaten Bangkalan (Pemodelan di Laboratorium)*. Jurnal Teknik ITS, No. 1 Vol, 1 September 2012 ISSN 2301-9271. Hal D24 - D29.
- Terzaghi, Karl, Ralph B. Peck, 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. New York : Wiley – Interscience.