

SIMULASI PERILAKU PONDASI GABUNGAN TELAPAK DAN SUMURAN DENGAN VARIASI DIMENSI TELAPAK DAN DIAMETER SUMURAN PADA TANAH LEMPUNG BERLAPIS DITINJAU DARI NILAI PENURUNAN

Habib Abduljabar Waskito ¹⁾, Niken Silmi Surjandari ²⁾, Yusep Muslih Purwana ³⁾

¹⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

²⁾ Pengajar Fakultas Teknik, Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

³⁾ Pengajar Fakultas Teknik, Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524. Email: habibabduljabar@student.uns.ac.id

Abstract

Combined of footplate and caisson foundation is an alternative of modification foundation for middle building. Using combined of footplate and caisson foundation, is hoped to can decrease the settlement than footplate or caisson only. This research is modelled combined of footplate and caisson foundation (Telasur Foundation) with variation dimension of footplate and diameter of caisson in the clay with 2 layers. Helping tools for this research is used Plaxis 3D Foundation to help analysis of this Telasur Foundation. Result of the research showing the behavior of settlement graphics for footplate, caisson, and combined of footplate and caisson foundation have same behavior with settlement graphics in clay. Using combined of footplate and caisson foundation make the value of settlement foundation getting smaller than footplate or caisson only. Increasing dimension of footplate and diameter of caisson, give the value of settlement that getting small. For increasing 0,1 m from dimension of footplate can decrease the average value settlement to 2,215% meanwhile increasing 0,1 m from diameter of caisson can decrease the average value settlement to 3,722%.

Key words: *combined of footplate and caisson foundation, clay, plaxis 3D foundation, settlement.*

Abstrak

Pondasi gabungan telapak dan sumuran merupakan salah satu alternatif modifikasi pondasi untuk bangunan tingkat menengah. Penggunaan gabungan pondasi telapak dan sumuran ini diharapkan dapat mengurangi besar penurunan dibandingkan pondasi telapak atau sumuran saja. Penelitian ini memodelkan pondasi gabungan telapak dan sumuran (Pondasi Telasur) dengan variasi dimensi telapak dan diameter sumuran pada tanah lempung berlapis. Sebagai alat bantu penelitian digunakan bantuan Program Plaxis 3D Foundation untuk membantu analisis Pondasi Telasur ini. Hasil penelitian menunjukkan perilaku grafik penurunan terhadap beban untuk pondasi telapak, pondasi sumuran, serta pondasi gabungan telapak dan sumuran mempunyai perilaku yang sama dengan grafik penurunan terhadap beban pada tanah lempung. Adanya gabungan telapak dan sumuran membuat nilai penurunan pondasi menjadi semakin kecil dibandingkan pondasi telapak atau sumuran saja. Semakin besar dimensi telapak dan diameter sumuran, memberikan nilai penurunan yang semakin kecil. Setiap kenaikan 0,1 m dari dimensi telapak mengurangi nilai penurunan rata-rata sebesar 2,215% sedangkan setiap kenaikan 0,1 m dari diameter sumuran mengurangi nilai penurunan rata-rata sebesar 3,722%.

Kata kunci: penurunan, plaxis 3D foundation, pondasi gabungan telapak dan sumuran, tanah lempung.

PENDAHULUAN

Penggunaan modifikasi pondasi gabungan pada proyek bangunan sipil sudah mulai banyak digunakan. Hal ini bertujuan untuk menciptakan desain pondasi baru yang lebih efisien secara struktural maupun ekonomi. Beberapa proyek sudah mengaplikasikan penggunaan modifikasi pondasi gabungan yang disesuaikan dengan kondisi lapangan, salah satunya yaitu gabungan pondasi telapak dan sumuran. Namun, dalam penggunaannya kadang-kadang tidak didahului dengan studi penelitian terlebih dahulu. Penggunaan gabungan pondasi telapak dan sumuran ini diharapkan dapat mengurangi nilai penurunan dibandingkan pondasi telapak atau sumuran saja.

Budhi Sulistyanto (2014) melakukan penelitian mengenai simulasi perilaku pondasi gabungan telapak dan sumuran dengan variasi dimensi telapak dan diameter sumuran. Penelitian terdahulu ini mensimulasikan perilaku pondasi gabungan telapak dan sumuran terhadap penurunan tanah yang terjadi. Pemodelan yang dilakukan dengan variasi dimensi telapak dan diameter sumuran pada tanah lempung homogen. Pemodelan pondasi gabungan ini dibuat dalam Program Plaxis 3D Foundation. Hasil penurunan dari model pondasi gabungan dapat mengurangi nilai penurunan tanah dengan cukup signifikan. Mengacu pada penelitian terdahulu, pada penelitian ini memodelkan pondasi gabungan telapak dan sumuran (Pondasi Telasur) dengan variasi dimensi telapak dan diameter sumuran pada tanah lempung berlapis. Sebagai alat bantu penelitian digunakan bantuan Program Plaxis 3D Foundation untuk membantu analisis Pondasi Telasur ini.

LANDASAN TEORI

Pondasi Telapak

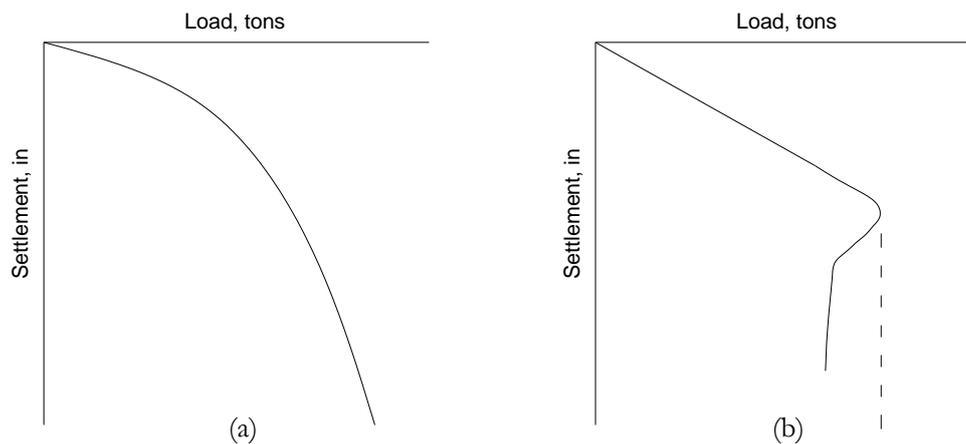
Pondasi telapak umumnya digunakan untuk mendukung kolom (Hardiyatmo, 2006). Pondasi ini berupa tiang yang bersambung dengan kolom dan sebuah plat di bawahnya yang fungsinya untuk menyalurkan beban struktur ke tanah. Pondasi ini banyak dipakai karena selain ekonomis juga pelaksanaannya mudah dan tidak memerlukan peralatan khusus. Pondasi telapak dinilai efektif untuk menahan beban struktur hingga dua lantai. Pondasi telapak termasuk pondasi dangkal karena perbandingan kedalaman dan lebar pondasinya ($D_f/B \leq 1$). (Peck dkk., 1953), dalam Hardiyatmo (2006).

Pondasi Sumuran

Pondasi sumuran merupakan jenis peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi dalam (Hardiyatmo, 2006). Peck, dkk. (1953) membedakan pondasi sumuran dengan pondasi dangkal dari nilai kedalaman (D_f) dibagi lebarnya (B). Untuk pondasi sumuran nilai $D_f/B > 4$. Disebabkan oleh biaya pembuatan pondasi yang relatif murah, pondasi sumuran telah banyak dipakai untuk mendukung bangunan-bangunan gedung, jembatan, pilar jembatan layang dan lain sebagainya. Kapasitas dukung pondasi sumuran adalah jumlah dari tahanan gesek dinding dan tahanan ujung, sama seperti pondasi tiang.

Penurunan

Istilah penurunan (*settlement*) digunakan untuk menunjukkan gerakan titik tertentu pada bangunan terhadap titik referensi yang tetap. Pada umumnya, penurunan yang tidak seragam lebih membahayakan bangunan daripada penurunan total. Karakteristik grafik penurunan pada tanah lempung memiliki perilaku yang jauh berbeda dengan tanah pasir. Perbedaan ini berkaitan erat dengan perilaku kedua tanah yang berbeda ketika diberi beban. Tanah lempung ketika diberi beban mengalami penurunan segera yang kecil sedangkan penurunan segera pada tanah pasir besar, (Prakash and Sharma, 1990). Karakteristik bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kurva Pengujian Pembebanan untuk Pile pada (a) Tanah Pasir dan (b) Tanah Lempung (Prakash dan Sharma, 1989)

Plaxis 3D Foundation

Plaxis 3D Foundation merupakan Program Plaxis tiga dimensi yang dikembangkan untuk analisis konstruksi pondasi. Program ini terdiri dari tiga sub-program pada *User Interface* yaitu *Input*, *Output*, dan *Curves*. *Input* digunakan untuk mengatur geometri, parameter model, dan fase perhitungan. *Output* digunakan untuk menampilkan hasil perhitungan. Sedangkan *Curves* berfungsi untuk melakukan plot grafik angka hasil. *Input* Program adalah program yang terdiri dari dua mode yang berbeda yaitu *Model* dan *Calculation*. Mode *Model* berfungsi untuk membuat dan mengatur model geometri dan untuk membuat jaring elemen hingga secara dua dimensi dan tiga dimensi. Mode *Calculation* berisikan semua fasilitas untuk mengatur fase perhitungan yang merepresentasikan tahap-tahap yang berbeda dari pembebanan dan konstruksi, termasuk kondisi awal geometri. Geometri dari suatu kasus geoteknik harus dibuat terlebih dahulu dalam *input* program model ini. Parameter-parameter juga harus didefinisikan secara keseluruhan agar *Initial Condition* terbentuk sesuai dengan kondisi sebenarnya. Perhitungan dapat dilakukan dengan masuk ke mode *Calculation*. Perhitungan elemen hingga dapat dibagi menjadi beberapa rangkaian fase perhitungan (*sequential calculation phase*). Fase perhitungan yang paling awal (*initial phase*) selalu memperhitungkan kondisi tegangan awal suatu geometri model berdasarkan beban gravitasi (*gravity loading*) atau prosedur K0 (*K0 procedure*). Setelah perhitungan awal ini, rangkaian perhitungan selanjutnya dapat dilakukan sesuai dengan yang diinginkan. Pembuatan model pondasi dengan bantuan Program Plaxis 3D Foundation diperlukan beberapa urutan langkah pengerjaan. Langkah-langkah tersebut antara lain: perencanaan geometri model 3D, *input* parameter, penyusunan elemen hingga, penyusunan fase dan kalkulasi, serta rekapitulasi *output*.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data simulasi berdasarkan kondisi riil tanah lempung berlapis. Data simulasi ini sebagai data parameter tanah yang akan dimasukkan ke dalam Program Plaxis 3D Foundation. Data simulasi dapat dilihat pada Tabel 3.1. Tanah yang digunakan dalam analisis merupakan jenis tanah lempung berlapis dengan 2 lapisan. Lapisan pertama merupakan tanah lempung plastisitas sedang dengan kedalaman 4 m dari muka tanah. Lapisan kedua merupakan tanah lempung plastisitas tinggi dari kedalaman 4 m menerus ke bawah.

Tabel 1. Parameter Tanah pada Simulasi Pondasi Gabungan

Parameter	Lapisan Tanah		Satuan
	Lapisan Tanah 1 (0,00-4,00 m)	Lapisan Tanah 2 (4,00-7,50 m)	
	Tanah Lempung	Tanah Lempung	
w	40,41	30,34	%
γ_b	1,63	1,68	gr/cm ³
G_s	2,62	2,66	-
Gravel	0	0	%
Sand	8,38	1,08	%
Silt & Clay	91,62	98,92	%
LL	38,92	52,19	%
PL	20,47	20,88	%
PI	18,45	31,31	%
c	0,513	1,302	kg/cm ²
ϕ	18,68	3,38	□
Klasifikasi tanah	CL (Lempung Anorganik Plastisitas Sedang)	CH (Lempung Anorganik Plastisitas Tinggi)	-

Data sekunder yang didapatkan, diolah terlebih dahulu supaya satuan-satuannya sama dengan satuan dalam input program. Data tanah yang digunakan sebagai input ke dalam Program Plaxis 3D Foundation ditampilkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Material Tanah untuk *Input* Program Plaxis 3D Foundation

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

Penelitian ini diawali dengan menentukan beban yang diterima per kolom pada bangunan tingkat menengah. Beban tersebut kemudian diaplikasikan pada model pondasi. Skema pembebanan menggunakan cara *static loading test* yang mengacu pada ASTM D 1143 – 81, dimana pembebanan menggunakan beban maksimum sebesar 200% dari beban rencana. Jadi beban yang akan diberikan pada model pondasi sebesar 2000 kN. Beberapa model pondasi dibuat untuk menentukan besarnya perubahan nilai penurunan pada masing-masing variasi pondasi. Model pondasi ini dibuat dengan variasi dimensi telapak dan diameter sumuran. Model dan variasi pondasi gabungan yang dibuat dipaparkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Model Variasi Pondasi

No	Tipe Pondasi	Telapak		Sumuran	
		Dimensi	Panjang	Diameter	Panjang
1	Telapak	1,5 m x 1,5 m	1,5 m	-	-
2	Sumuran	-	-	1,0 m	4,5 m
3	Telasur 1	1,2 m x 1,2 m	1,5 m	1,0 m	4,5 m
4	Telasur 2	1,3 m x 1,3 m	1,5 m	1,0 m	4,5 m
5	Telasur 3	1,4 m x 1,4 m	1,5 m	1,0 m	4,5 m
6	Telasur 4	1,5 m x 1,5 m	1,5 m	1,0 m	4,5 m
7	Telasur 5	1,6 m x 1,6 m	1,5 m	1,0 m	4,5 m
8	Telasur 6	1,7 m x 1,7 m	1,5 m	1,0 m	4,5 m
9	Telasur 7	1,8 m x 1,8 m	1,5 m	1,0 m	4,5 m
10	Telasur 8	1,5 m x 1,5 m	1,5 m	0,7 m	4,5 m
11	Telasur 9	1,5 m x 1,5 m	1,5 m	0,8 m	4,5 m
12	Telasur 10	1,5 m x 1,5 m	1,5 m	0,9 m	4,5 m
13	Telasur 11	1,5 m x 1,5 m	1,5 m	1,1 m	4,5 m
14	Telasur 12	1,5 m x 1,5 m	1,5 m	1,2 m	4,5 m
15	Telasur 13	1,5 m x 1,5 m	1,5 m	1,3 m	4,5 m

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis penurunan pondasi dilakukan untuk mengetahui karakteristik grafik penurunan terhadap beban. 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 1. Rekapitulasi hasil penurunan pondasi terhadap beban ditampilkan pada Tabel 4 untuk variasi dimensi telapak dan Tabel 5 untuk variasi diameter sumuran.

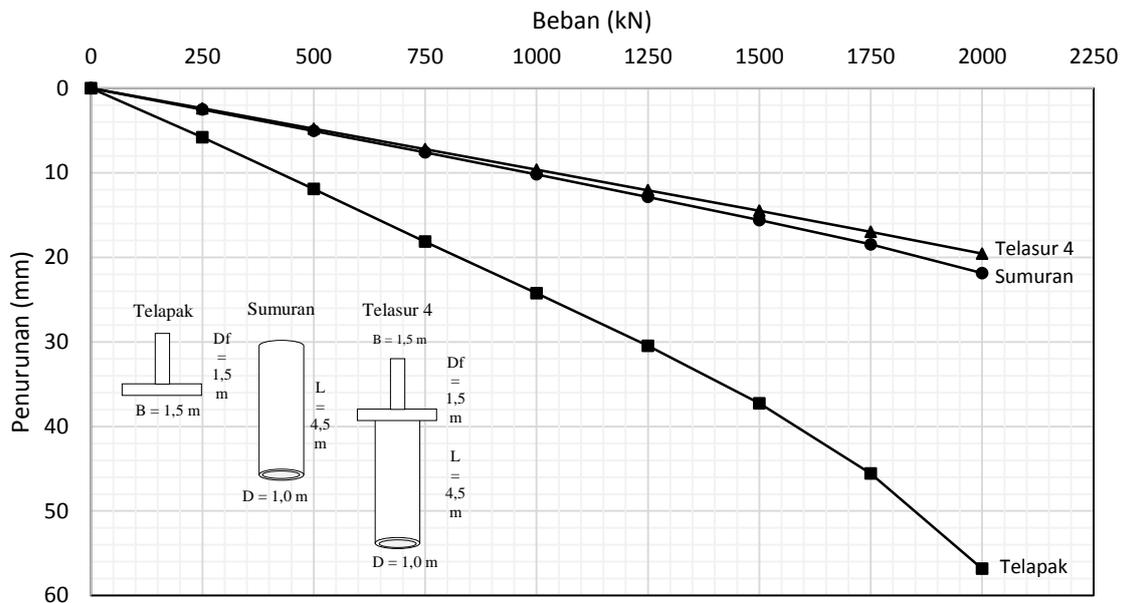
Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Penurunan Pondasi Variasi Dimensi Telapak

Beban (kN)	Penurunan (mm)								
	Telapak	Sumuran	Telasur 1	Telasur 2	Telasur 3	Telasur 4	Telasur 5	Telasur 6	Telasur 7
250	5,804	2,512	2,533	2,483	2,442	2,392	2,348	2,306	2,265
500	11,916	5,044	5,104	4,998	4,903	4,791	4,702	4,618	4,537
750	18,139	7,586	7,647	7,507	7,377	7,205	7,069	6,887	6,822
1000	24,246	10,182	10,202	10,008	9,832	9,641	9,466	9,283	9,125
1250	30,470	12,854	12,765	12,518	12,310	12,062	11,837	11,629	11,429
1500	37,271	15,608	15,403	15,077	14,813	14,497	14,224	13,975	13,730
1750	45,566	18,477	18,141	17,729	17,370	16,983	16,657	16,343	16,062
2000	56,821	21,873	21,085	20,531	20,086	19,569	19,138	18,768	18,433

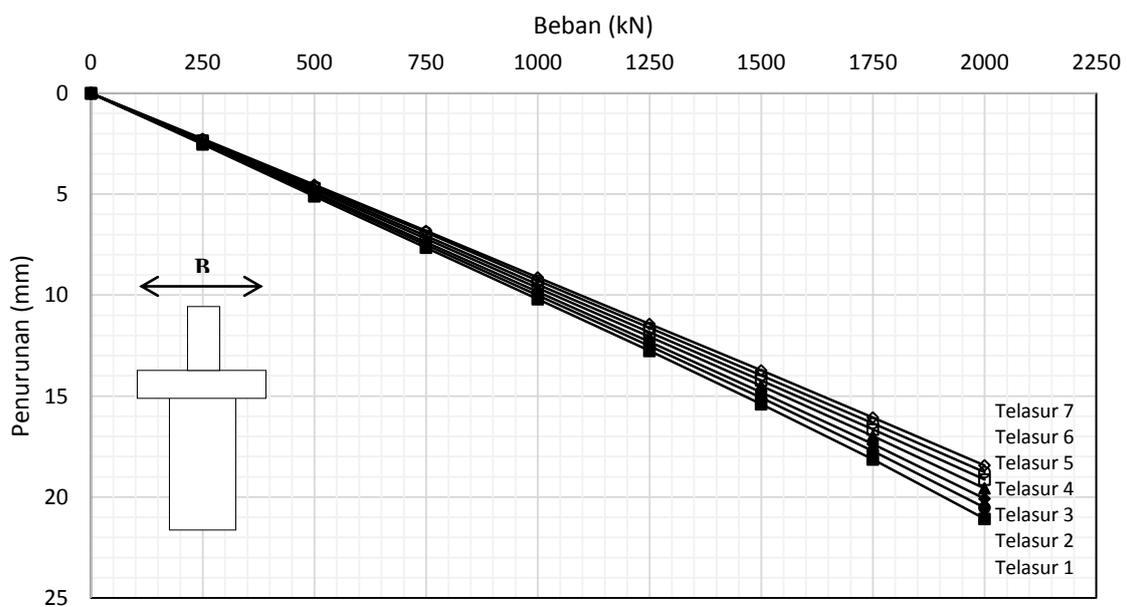
Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Penurunan Pondasi Variasi Diameter Sumuran

Beban (kN)	Penurunan (mm)								
	Telapak	Sumuran	Telasur 8	Telasur 9	Telasur 10	Telasur 4	Telasur 11	Telasur 12	Telasur 13
250	5,804	2,512	2,674	2,570	2,469	2,392	2,319	2,255	2,195
500	11,916	5,044	5,366	5,155	4,967	4,791	4,650	4,514	4,403
750	18,139	7,586	8,085	7,763	7,488	7,205	6,995	6,780	6,579
1000	24,246	10,182	10,819	10,382	9,960	9,641	9,345	9,052	8,780
1250	30,470	12,854	13,566	13,004	12,503	12,062	11,781	11,319	10,998
1500	37,271	15,608	16,385	15,683	15,052	14,497	14,029	13,586	13,232
1750	45,566	18,477	19,308	18,426	17,655	16,983	16,418	15,896	15,547
2000	56,821	21,873	22,557	21,376	20,407	19,569	18,891	18,267	17,958

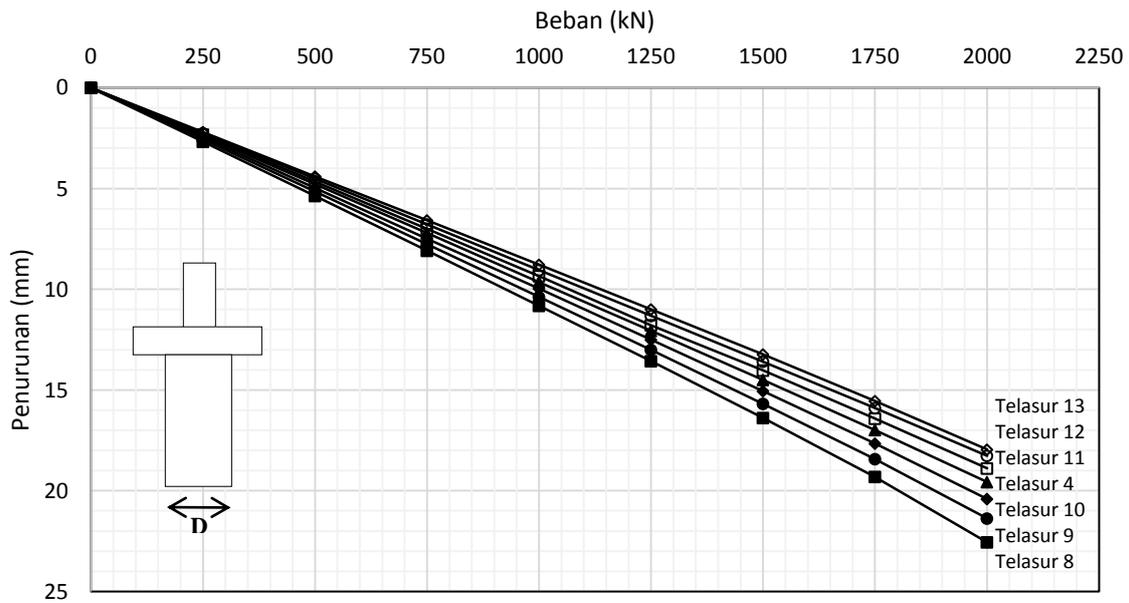
Hasil penurunan pada beban 2000 kN masing-masing model dapat dihitung persentasenya untuk setiap kenaikan dimensi telapak maupun diameter sumuran. Setiap kenaikan 0,1 m dari dimensi telapak mengurangi besar penurunan rata-rata sebesar 2,215% sedangkan setiap kenaikan 0,1 m dari diameter sumuran mengurangi besar penurunan rata-rata sebesar 3,722%. Hasil penurunan pondasi pada Tabel 2 dan Tabel 3 dibuat sebuah grafik yang menunjukkan grafik penurunan pondasi terhadap beban pada tanah lempung berlapis. Grafik penurunan tersebut ditampilkan ke dalam Gambar 2 sampai Gambar 4. Pada Gambar 2, model pondasi telasur 4 digunakan sebagai acuan untuk perbandingan penurunan terhadap pondasi telapak atau sumuran saja. Pemilihan pondasi telasur 4 sebagai acuan dikarenakan model inilah yang mempunyai dimensi telasur normal yaitu dimensi telapak 1,5 m dan kedalaman 1,5 m serta diameter sumuran 1,0 m dengan panjang sumuran 4,5 m.



Gambar 2. Grafik Hasil Penurunan Pondasi Telapak, Sumuran, dan Gabungan Telapak dan Sumuran (Telasur 4)



Gambar 3. Grafik Hasil Penurunan Pondasi Telasur pada Variasi Dimensi Telapak



Gambar 4. Grafik Hasil Penurunan Pondasi Telasur pada Variasi Diameter Sumuran

Grafik penurunan yang dihasilkan oleh *output* penurunan tersebut memiliki karakteristik yang hampir sama dengan grafik penurunan terhadap beban pada tanah lempung sesuai teori dari Prakash dan Sharma (1989). Pada Gambar 2 sampai Gambar 4 menunjukkan karakteristik tersebut. Hanya saja perubahan penurunan yang besar ketika penambahan beban dari grafik tidak begitu jelas terlihat. Hal ini dimungkinkan karena model pondasi belum mencapai titik *failure*. Model pondasi masih mampu menahan beban yang diberikan sehingga pondasi maupun tanah di sekitar belum mengalami *collapse*.

Pada beban yang sama yaitu 2000 kN, pondasi telasur 4 menghasilkan penurunan sebesar 19,569 mm atau berkurang 65,559% dari penurunan pondasi telapak dan 10,533% dari penurunan pondasi sumuran. Hasil ini menunjukkan bahwa penggabungan pondasi telapak dan sumuran dapat mengurangi nilai penurunan pondasi telapak lebih signifikan daripada pondasi sumuran. Secara keseluruhan, hasil penurunan dari model pondasi telasur lebih kecil dibandingkan dengan penurunan pada pondasi telapak maupun sumuran saja. Hal ini dikarenakan dengan adanya gabungan pondasi, maka pondasi tersebut akan saling bekerja sama dalam menahan beban daripada jika dibandingkan pondasi telapak atau sumuran saja. Perubahan ukuran dimensi telapak maupun diameter sumuran pada pondasi telasur ikut mempengaruhi besarnya penurunan. Gambar 3 dan 4 dapat dilihat dimana semakin besar dimensi telapak dan diameter sumuran, maka penurunan yang terjadi semakin kecil. Cuma ada satu model yang menghasilkan penurunan hampir sama dengan pondasi sumuran saja yaitu model telasur 8 dengan diameter sumuran 0,7 m. Hal ini dimungkinkan karena diameter sumuran model pondasi telasur tersebut lebih kecil dari pondasi sumuran saja.

SIMPULAN

Perilaku grafik penurunan terhadap beban untuk pondasi telapak, pondasi sumuran, serta pondasi gabungan telapak dan sumuran menunjukkan perilaku yang sama dengan grafik penurunan terhadap beban pada tanah lempung. Adanya gabungan telapak dan sumuran membuat nilai penurunan pondasi menjadi semakin kecil dibandingkan pada pondasi telapak atau sumuran saja. Semakin besar dimensi telapak dan diameter sumuran, memberikan nilai penurunan yang semakin kecil. Setiap kenaikan 0,1 m dari dimensi telapak mengurangi nilai penurunan rata-rata sebesar 2,215% sedangkan setiap kenaikan 0,1 m dari diameter sumuran mengurangi nilai penurunan rata-rata sebesar 3,722%.

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 Dr. Niken Silmi Surjandari, S.T., M.T. dan Yusep Muslih Purwana, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberi arahan dan masukan dalam penelitian ini.

REFERENSI

- Brinkgreve, R.B.J., W. Broere. 2004. Plaxis 3D Foundation Tutorial Manual version 1. Netherlands: Delf University of Technology & PLAXIS bv.
- Bowles, Joseph E., 1968. Foundation Analysis and Design. Indianapolis: McGraw-Hill Book Company.
- 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.
- 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.
- Sulistiyanto, Budi, 2014. Simulasi Perilaku Pondasi Gabungan Foot Plat dan Sumuran Dengan Variasi Dimensi Foot Plat dan Diameter Sumuran. Surakarta : Universitas Sebelas Maret.
- Terzaghi, Karl, Ralph B. Peck, 1967. Soil Mechanics in Engineering Practice. New York : Wiley – Interscience.