

Studi Perbandingan Penurunan Fondasi Grup Menggunakan Program Plaxis 3D dan Settle3D Studi Kasus Jembatan Wampu

MUHAMMAD FARREL DITO¹, IKHYA², MUFIDHIANSYAH FAHMI³

Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung, Indonesia
Email: farrelditto@gmail.com¹, ikhyabavadal@gmail.com², mufidhiansyah@yahoo.com³

ABSTRAK

Fondasi grup tiang adalah jenis fondasi yang umum digunakan pada struktur jembatan. Salah satu yang perlu diperhatikan dalam analisis suatu fondasi adalah penurunan yang dapat terjadi pada fondasi tersebut. Penurunan dapat terjadi karena suatu lapisan tanah yang mengalami pembebanan akibat beban yang diperoleh mengakibatkan terjadinya penurunan elevasi tanah dasar. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis perbandingan penurunan yang dapat terjadi pada program Plaxis 3D dan Settle3D. Analisis perbandingan juga dilakukan dengan melakukan variasi geometri berupa variasi ketebalan pilecap dan ketebalan lapisan tanah di bawah fondasi. Hasil berupa nilai penurunan yang terjadi pada Settle3D akan dibandingkan dengan hasil penurunan pada Plaxis 3D yang menggunakan pendekatan FEM (Finite Element Method).

Kata kunci: fondasi grup, penurunan, Plaxis 3D, Settle3D

ABSTRACT

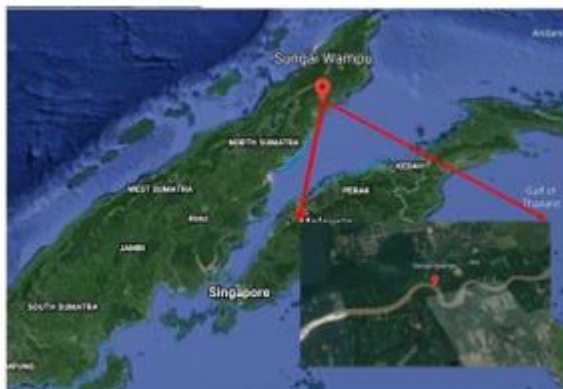
Pile group foundations are a type of foundation commonly used in a bridge structure. One of the things to note in the analysis of a foundation is the settlement that can occur on that foundation. The settlement can occur because of the load obtained from the upper structure. The study aims to conduct a comparative analysis of the settlement that can occur in Plaxis 3D and Settle3D programs. Comparative analysis is also using geometric variations in pilecap thickness and soil layer thickness under the foundation. The result of a settlement value that occurs in Settle3D will be compared to the result of a settlement in Plaxis 3D which is using the FEM (Finite Element Method).

Keywords: group foundation, settlement, Plaxis 3D, Settle3D

1. PENDAHULUAN

Proyek Jembatan Sei Wampu merupakan jembatan yang terletak di Kota Stabat Kecamatan Stabat Kabupaten Langkat, Sumatera Utara seperti terlihat pada **Gambar 1**. Jembatan ini menyebrangi Sungai Wampu dan sebagai penghubung Jalan Tol Ruas Binjai – Langsa yang terletak pada STA 23+175 – STA 23+425. Jembatan Wampu memiliki 4 buah fondasi kelompok, yaitu 2 buah abutment jembatan dan 2 buah pilar jembatan. Fondasi – fondasi kelompok tersebut memiliki geometri yang berbeda – beda.

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis serta membandingkan penurunan yang terjadi melalui program Plaxis 3D dan Settle3D dengan studi kasus Jembatan Sei Wampu. Pada penelitian ini juga dilakukan variasi ketebalan pilecap dan ketebalan lapisan tanah dibawah fondasi untuk dapat membandingkan perbedaan yang terjadi ketika dimodelkan melalui program Plaxis 3D maupun Settle3D. Ketebalan pilecap yang divariasikan sebesar 1 meter, 2 meter, 3 meter, dan 4 meter. Sedangkan, ketebalan lapisan tanah dibawah fondasi yang divariasikan sebesar 0,5L; 1L; 3L; dan 4L; dengan L adalah panjang fondasi tiang.



Gambar 1. Peta lokasi studi kasus (proyek Jembatan Sei Wampu)

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Parameter Tanah

Parameter tanah merupakan ukuran atau acuan yang digunakan untuk mengetahui atau menilai hasil suatu proses perubahan yang terjadi dalam tanah. Dalam melakukan analisis atau perhitungan penurunan fondasi diperlukan berbagai parameter tanah.

2.2 Fondasi Grup Tiang

Fondasi kelompok tiang umumnya digunakan ketika beban yang diterima jika menggunakan fondasi tunggal tidak mencukupi, dengan kata lain kapasitas daya dukung tiang tunggal tidak cukup kuat untuk menahan besarnya beban struktur di atasnya [5].

2.3 Penyebaran Beban pada Fondasi Kelompok

Fondasi tiang kelompok atau fondasi tiang grup ini memiliki beberapa teori penyebaran tegangan yang akan menjadi sebab terjadinya penurunan fondasi. Terdapat penyebaran beban yang dimulai dari 2/3 panjang fondasi dan penyebaran beban dari ujung fondasi tiang [5][7][8][12].

2.4 Penurunan Fondasi Tiang

Suatu lapisan tanah yang mengalami pembebanan akibat beban yang diperoleh dari struktur atas, akan mengalami kenaikan tegangan. Hal tersebut mengakibatkan terjadinya penurunan elevasi tanah dasar (*settlement*). Apabila suatu tanah mengalami pembebanan akibat beban

yang diperoleh di atasnya, maka tanah dibawah beban yang bekerja tersebut akan mengalami tegangan, eksek dari tegangan ini adalah terjadinya penurunan elevasi tanah dasar (*settlement*) [5][7][8][12].

2.5 Metode Elemen Hingga Plaxis 3D

Program Plaxis 3D merupakan program yang dapat memodelkan sebuah struktur secara tiga dimensi. Program Plaxis 3D dapat menghitung dan menganalisis deformasi, stabilitas, aliran tanah dalam air dan lain – lain dalam sebuah rekayasa geoteknik. Program Plaxis 3D menggunakan metode elemen hingga. Penentuan *soil model* pada program Plaxis mempengaruhi analisis serta hasil yang diperoleh.

2.6 Metode Empiris Settle3D

Penurunan (*settlement*) pada program Settle3D dapat dikalkulasi dengan metode – metode empiris yang terdapat dalam program Settle3D [4]. Mengacu pada metode Peck, Hanson, & Thornburn [3] dirumuskan pada **Persamaan 1**.

$$\delta = \frac{\sigma_L}{\Delta P_1} C_w \quad \dots(1)$$

dengan:

σ_L = loading stress,

C_w = faktor koreksi,

ΔP_1 = Beban yang diperlukan untuk menghasilkan penurunan 1 Inch

Metode lain yang dapat digunakan dalam analisis perhitungan program Settle3D adalah metode Schultze & Sheriff [1] dirumuskan pada **Persamaan 2**.

$$\delta = \frac{\sigma_L f_n \sqrt{B}}{(N_{60})^{0,87} (1+0,4D/B)} \quad \dots(2)$$

dengan:

B = load width,

D = the depth to the bottom of the load,

N_{60} = N-SPT corrected,

f_n = influence factor.

Adapun lainnya digunakan metode D'Appolonia [2] yang dirumuskan pada **Persamaan 3**.

$$\delta = \mu_0 \mu_1 \frac{\sigma_L B}{E_s} \quad \dots(3)$$

dengan:

μ_0 = embedment influence factor,

μ_1 = compressible strata influence factor,

E_s = modulus elastisitas.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Data

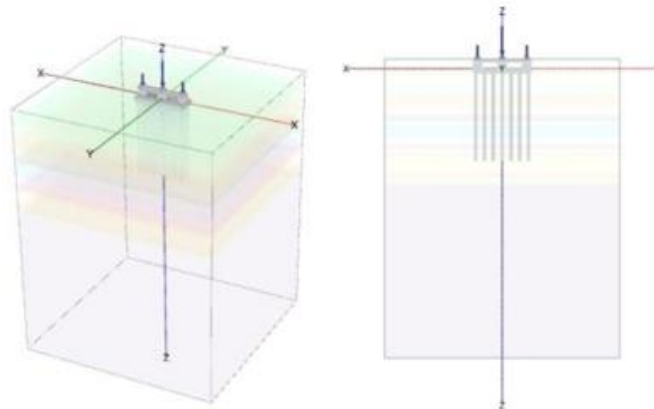
Pada analisis ini digunakan data berupa geometri fondasi serta parameter – parameter tanah yang diperoleh melalui hasil korelasi [10][13]. Berikut merupakan sketsa geometri fondasi yang dianalisis pada penelitian ini pada **Gambar 2**.

Tabel 1. Parameter Desain Fondasi

Nomor Layer	Ketebalan [m]	Kedalaman [m]	Jenis Tanah	N-SPT	N60	γ_{sat}	γ_{unsat}	C_u	C_{ref}'	ϕ'	φ	m	ν'	E'	E_{ur}
1	1	1	Lean Clay	4	4	16	15	20	2	19	0	0,9	0,4	2.6000	7.800
2	3	4		2	2	15	14	10	1	17	0	0,9	0,4	1.300	3.900
3	0,8	4,8	Lean Clay	7	7	17	16	35	3,5	20	0	0,7	0,35	4.550	13.650
4	2,2	7	ilt	5	5	15	14	-	0,1	28	0	0,5	0,35	3.500	10.500
5	8	15	Silty Sand	9	9	16	15	-	0,1	29	0	0,5	0,35	6.300	18.900
6	2	17	Silty Sand	28	30	18	17	-	0,1	34	4	0,5	0,3	19.600	58.800
7	2	19	Silty Sand	18	20	17	16	-	0,1	31	1	0,5	0,33	12.600	37.800
8	2	21	Silty Sand	14	15	17	16	-	0,1	30	0	0,5	0,33	9.800	29.400
9	4	25	Silty Sand	6	7	15	14	-	0,1	28	0	0,5	0,35	4.200	12.600
10	3,5	28,5	Silty Gravel w/ Sand	50	50	20	19	-	0,1	40	10	0,6	0,2	60.000	180.000
11	0,5	29	Lean Clay	8	9	16	15	40	4	20	0	0,8	0,35	5.200	15.600
12	6	35	Fat Clay	32	33	19	18	160	16	31	0	0,7	0,25	20.800	62.400
13	10,45	45,45	Fat Clay	30	31	19	18	150	15	30	0	0,7	0,25	19.500	58.500
14	1,55	47	Silty Sand	45	46	19	18	-	0,1	38	8	0,5	0,25	31.500	94.500
15	1,3	48,3	Fat Clay	40	41	19	18	200	20	32	0	0,7	0,25	26.000	78.000
16	6,7	55	Silty Sand	50	50	20	19	-	0,1	40	10	0,5	0,2	35.000	105.000
17	95	150	Fat Clay	50	50	19	18	250	25	32	0	0,7	0,25	32.500	97.500

3.2 Pemodelan Menggunakan Plaxis 3D

Dalam analisis menggunakan Plaxis 3D dilakukan dengan menggunakan dua buah *soil model* yaitu Hardening Soil dan Mohr-Coulomb serta beton fondasi dimodelkan dengan Linear Elastic. Dilakukan analisis terhadap fondasi pilar 2 yang ada di Jembatan Sei Wampu seperti pada Gambar 4.

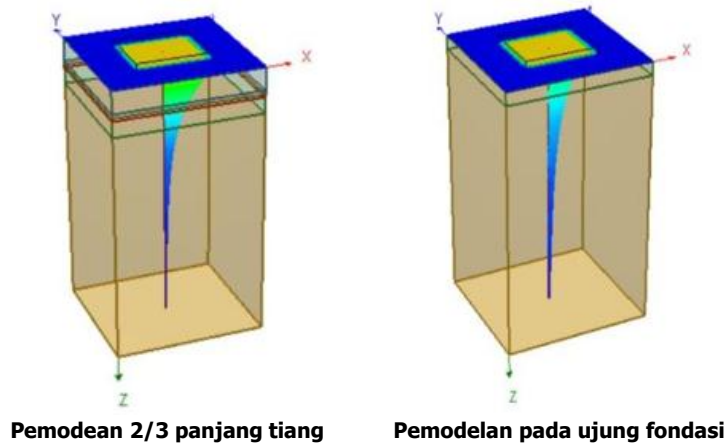


Gambar 4. Pemodelan menggunakan Plaxis 3D

3.3 Pemodelan Menggunakan Settle3D

Analisis menggunakan Settle3D diawali dengan melakukan input parameter tanah, dilanjutkan dengan input beban, dan melakukan input parameter pada metode empiris. Pemodelan menggunakan Settle3D dibagi menjadi 2 model yaitu model 2/3 panjang tiang dan ujung tiang. Pemodelan pada Settle3D dapat dilihat pada **Gambar 5**.

Ditto, dkk



Gambar 5. Pemodelan menggunakan Settle3D

3.4 Variasi Ketebalan Pilecap terhadap Penurunan

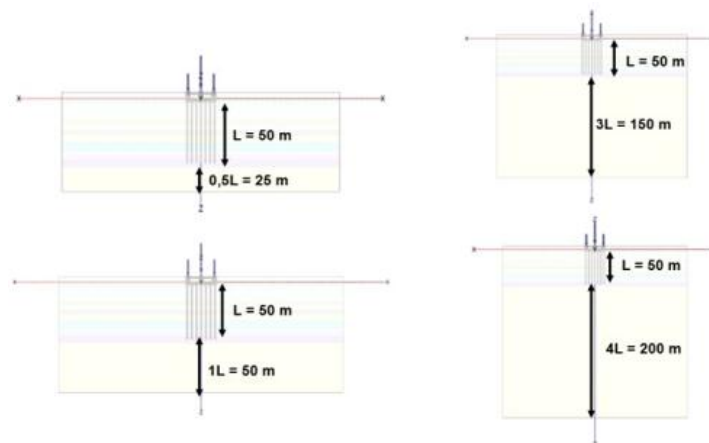
Analisis ini menggunakan Pilar 2 dengan ketebalan eksisting sebesar 2,75 meter. Variasi yang dilakukan pada variasi ketebalan pilecap ini menggunakan tebal pilecap sebesar 1 meter, 2 meter, 3 meter, dan 4 meter. Adapun jika pemodelan dilakukan melalui program Settle3D maka dilakukan dengan memasukan input beban yang menyesuaikan dengan ketebalan variasi pada tiap pilecap. Berikut merupakan input beban yang dimasukan pada program Settle3D terkait variasi tebal pilecap pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Input Beban Berdasarkan Tebal Pilecap pada Settle 3D

Tebal Pilecap [m]	Berat Sendiri Pilecap [kN/m ²]	Beban Aksial + Berat Sendiri Pilar [kN/m ²]	Beban Total [kN/m ²]
1	24	90,981	114,981
2	48		138,981
3	72		162,981
4	96		186,981

3.5 Variasi Tebal Lapisan di Bawah Fondasi terhadap Penurunan

Tebal lapisan tanah bawah fondasi yang akan divariasi adalah antara 0,5L; 1L; 3L; dan 4L; dengan L adalah kedalaman fondasi tiang. Pada analisis ini digunakan fondasi pilar 2 sebagai pemodelan dengan kedalaman fondasi tiang sebesar 49,5 meter. Berikut merupakan model yang dilakukan pada kedua program pada **Gambar 6**.

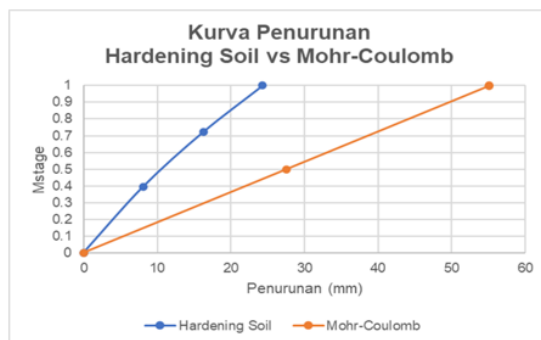


Gambar 6. Variasi ketebalan lapisan tanah di bawah fondasi pada Plaxis 3D

4. PEMBAHASAN

4.1 Analisis pada Plaxis 3D

Hasil pemodelan yang dilakukan pada program Plaxis 3D, menghasilkan besaran penurunan yang terjadi pada model Hardening Soil dan Mohr-Coulomb yang disajikan pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Perbandingan penurunan pada soil model MC dan HS

Adapun resume nilai penurunan yang terjadi kedua soil model yang digunakan terdapat pada **Tabel 3**.

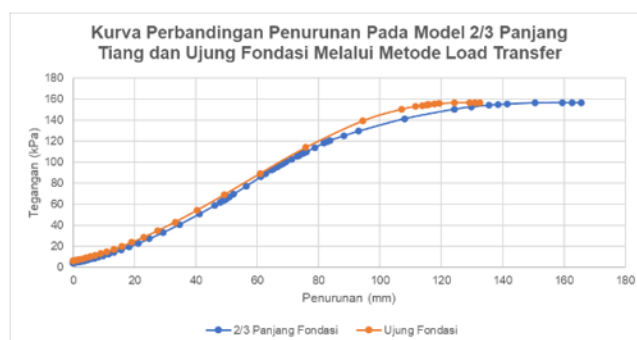
Tabel 3. Resume Penurunan Plaxis 3D Soil Model MC dan HS

Soil Model	Penurunan [mm]
Mohr-Coulomb	57,16
Hardening Soil	26,36

Berdasarkan **Tabel 3** diperoleh bahwa terjadi perbedaan penurunan yang terjadi antara kedua *soil model* dengan perbedaan yang cukup signifikan. Hal tersebut dapat terjadi salah satunya karena kedua model memiliki sifat yang berbeda, Mohr-Coulomb memiliki sifat *Linear Elastic*, sedangkan *Hardening Soil* memiliki sifat nonlinear sehingga mempengaruhi besaran penurunan yang terjadi. Berdasarkan **Gambar 7** juga dapat dibuktikan bahwa Mohr-Coulomb mengasumsikan kekakuan tanah bersifat elastis sehingga pada kondisi *loading* dan *unloading* adalah konstan (sama). Hal tersebut kurang cocok untuk membedakan tanah yang memiliki sifat nonlinear. Oleh karena itu, model *Hardening Soil* dapat dikatakan lebih cocok digunakan pada kasus ini dan lebih akurat daripada Mohr-Coulomb.

4.2 Analisis pada Settle3D

Terdapat perbedaan hasil dari pemodelan Settle3D yang dilakukan pada pemodelan dengan 2/3 panjang tiang dan ujung tiang, maupun perbedaan pada metode – metode empiris yang terdapat pada Settle3D. Berikut merupakan hasil penurunan yang diperoleh dari program Settle3D melalui metode *load transfer* terlihat pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Penurunan pada 2 jenis penyebaran tegangan

Berikut ini merupakan resume nilai penurunan yang terjadi pada kedua jenis sebaran tegangan yang digunakan berdasarkan metode – metode empiris yang digunakan dibandingkan dengan Plaxis 3D terdapat pada **Tabel 4** dan **Tabel 5**.

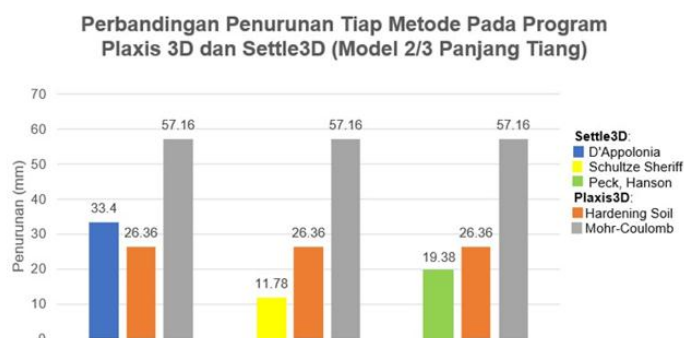
Tabel 4. Hasil Penurunan dengan Pemodelan 2/3 Panjang Tiang

Program	Metode Empiris	Penurunan [mm]	Hasil Penurunan pada Plaxis 3D [mm]		Presentase Perbedaan terhadap Plaxis 3D [%]	
			Hardening Soil	Mohr-Coulomb	Hardening Soil	Mohr-Coulomb
Settle3D (2/3 Panjang Tiang)	D'Appolonia	33,4	26,36	57,16	21,078	41,568
	Schultze Sheriff	11,78				
	Peck, Hanson	19,38				
					26,480	66,095

Tabel 5. Hasil Penurunan dengan Pemodelan Ujung Fondasi

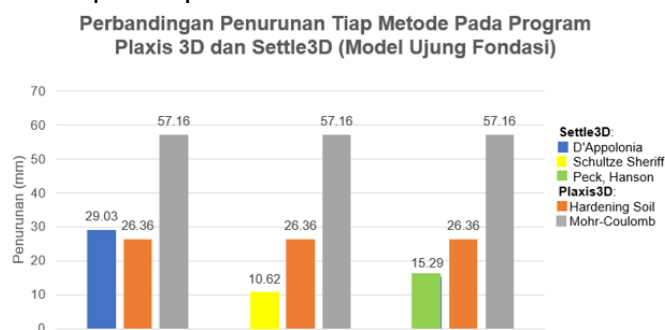
Program	Metode Empiris	Penurunan [mm]	Hasil Penurunan pada Plaxis 3D [mm]		Presentase Perbedaan terhadap Plaxis 3D [%]	
			Hardening Soil	Mohr-Coulomb	Hardening Soil	Mohr-Coulomb
Settle3D (Ujung Fondasi)	D'Appolonia	29,03	26,36	57,16	9,197	49,213
	Schultze Sheriff	10,62				
	Peck, Hanson	15,29				
					41,996	73,251

Adapun gambar barchart yang menggambarkan hasil perbedaan penurunan pada **Tabel 4** dengan pemodelan Settle3D menggunakan 2/3 panjang tiang terhadap program Plaxis 3D terdapat pada **Gambar 9**.



Gambar 9. Penurunan pemodelan 2/3 panjang tiang dan Plaxis 3D

Sedangkan untuk perbedaan penurunan pada **Tabel 5** pada pemodelan Settle3D pada ujung tiang dan Plaxis 3D dideskripsikan pada **Gambar 10**.



Gambar 10. Penurunan pemodelan ujung fondasi dan Plaxis 3D

Melalui hasil pada **Tabel 4** dan **Tabel 5** diperoleh bahwa hasil pemodelan Settle3D di ujung fondasi dengan metode D'Appolonia paling mendekati hasil yang diperoleh pada program Plaxis 3D dengan metode *Hardening Soil* dengan perbedaan sekitar 9,197%. Sehingga dapat

dikatakan bahwa hasil yang diperoleh pada pemodelan di ujung fondasi dengan metode D'Appolonia adalah hasil yang representatif. Hal tersebut dikarenakan pemodelan di ujung fondasi dianggap lebih cocok dengan kondisi asli fondasi tersebut yang duduk tepat di atas tanah keras sesuai dengan asumsi pada pemodelan di ujung fondasi.

4.3 Variasi Ketebalan Pilecap

Pada variasi ketebalan pilecap ini dilakukan pada program Plaxis 3D dengan dimensi yang dikaji sebesar 1 meter, 2 meter, 3 meter, dan 4 meter. Hasil penurunan yang diperoleh dari analisis pengaruh variasi ketebalan pilecap pada penurunan fondasi serta persentase perbedaan penurunan yang terjadi terhadap tebal pilecap eksisting melalui Plaxis 3D terdapat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Hasil Penurunan Fondasi terhadap Variasi Tebal Pilecap Plaxis 3D

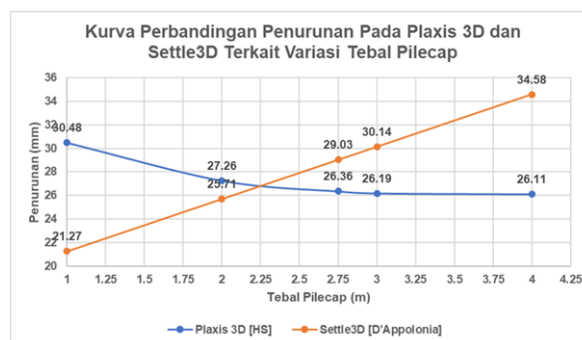
Tebal Pilecap [mm]	Penurunan [mm]	Penurunan Tebal Pilecap Eksisting [mm]	Presentase Perbedaan Penurunan [%]
1	30,48	26,36	13,5171
2	27,26		3,3015
3	26,19		0,6449
4	26,11		0,9484

Melalui hasil pada **Tabel 6** diperoleh bahwa semakin besar ketebalan pilecap maka semakin kecil penurunan yang terjadi. Hal tersebut dikarenakan dengan tebal pilecap yang bertambah maka akan menaikkan kekuatan fondasi tersebut untuk menahan beban struktur di atasnya sehingga penurunan yang terjadi akan semakin mengecil. Hasil penurunan yang diperoleh dari analisis pengaruh variasi ketebalan pilecap pada penurunan fondasi melalui program settle3D dan dibandingkan dengan Plaxis 3D terdapat pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Hasil Penurunan Fondasi terhadap Variasi Tebal Pilecap Settle3D

Tebal Pilecap [mm]	Penurunan [mm]		Presentase Perbedaan Penurunan [%]	Presentase Rata-Rata Perbedaan Penurunan [%]
	Settle3D D'Appolonia	Plaxis 3D Hardening Soil		
1	21,27	30,48	30,217	16,540
2	25,71	27,26	5,686	
2,75	29,03	26,36	9,197	
3	30,14	26,19	13,106	
4	34,58	26,11	24,494	

Berikut merupakan grafik perbandingan penurunan terkait variasi tebal pilecap antara kedua program terdapat pada **Gambar 11**.



Gambar 11. Penurunan antara Plaxis 3D dan Settle3D terkait variasi tebal pilecap

Melalui **Tabel 7** dan **Gambar 11** dapat disimpulkan bahwa terjadi perbedaan hasil pemodelan pada kedua program yang cukup signifikan. Pada Plaxis 3D, semakin besar tebal pilecap maka semakin kecil penurunan yang terjadi. Namun pada Settle3D, semakin besar tebal pilecap maka semakin besar juga penurunan yang dapat terjadi. Hal tersebut dikarenakan pada program Settle3D tidak dimodelkan fondasi secara utuh, melainkan hanya dilakukan input beban berupa aksial, beban pilar, serta beban pilecap yang semakin bertambah seiring dengan tebal yang bertambah.

4.4 Variasi Tebal Lapisan Tanah

Berikut merupakan hasil yang diperoleh melalui program Plaxis 3D dan Settle3D terkait dengan variasi ketebalan tanah terdapat pada **Tabel 8** dan **Tabel 9**.

Tabel 8. Hasil Penurunan Fondasi Terkait Variasi Tebal Lapisan Tanah Plaxis 3D

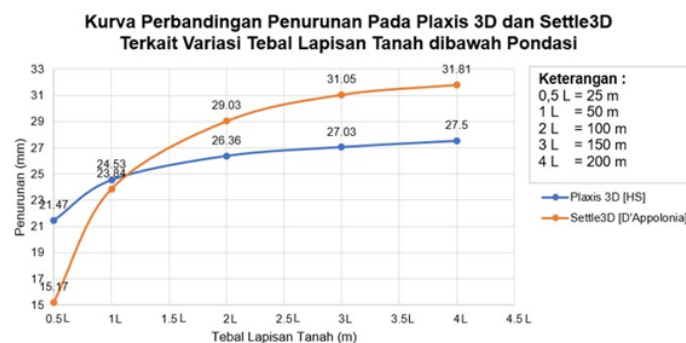
Tebal Pilecap [mm]	Penurunan [mm]	Penurunan Tebal Lapisan 2L [mm]	Presentase Perbedaan Penurunan [%]
0,5L	21,47		18,551
1L	24,53		6,942
3L	27,03	26,36	2,479
4L	27,5		4,145

Melalui hasil pada **Tabel 8** diperoleh bahwa penurunan yang terjadi terkait variasi ketebalan lapisan tanah semakin besar seiring bertambah besarnya tebal lapisan tanah dikarenakan pada metode D'Appolonia menggunakan tebal lapisan tanah sebagai variabel yang dipergunakan dalam perhitungan.

Tabel 9. Hasil Penurunan Fondasi Terkait Variasi Tebal Lapisan Tanah Settle3D dan Plaxis 3D

Tebal Pilecap [mm]	Penurunan [mm]		Presentase Perbedaan Penurunan [%]	Presentase Rata-Rata Perbedaan Penurunan [%]
	Settle3D D'Appolonia	Plaxis 3D Hardening Soil		
0,5L	15,17	21,47	29,343	
1L	23,84	24,53	2,813	13,570
2L	29,03	26,36	9,197	
3L	31,05	27,03	12,947	
4L	31,81	27,5	13,549	

Adapun perbandingan penurunan terkait variasi tebal lapisan tanah antara kedua program terdapat pada **Gambar 12**.



Gambar 12. Penurunan antara Plaxis 3D dan Settle3D Terkait Variasi Tebal Tanah

Melalui **Tabel 9** dan **Gambar 12** di atas dapat disimpulkan bahwa program Settle3D cukup representatif dalam menggambarkan penurunan yang terjadi diakibatkan oleh variasi ketebalan lapisan tanah dibawah fondasi dengan persentase perbedaan penurunan rata – rata sebesar 13,57% jika dibandingkan dengan hasil yang diperoleh pada Plaxis 3D.

5. KESIMPULAN

Melalui hasil analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa dalam beberapa hal program Settle3D mampu untuk dijadikan sebagai acuan sama baiknya dengan Plaxis 3D untuk mengakalkulasi penurunan yang terjadi pada suatu fondasi. Hal tersebut terlihat dari hasil penurunan pada pemodelan Settle3D dengan distribusi tegangan dari ujung tiang menggunakan metode D'Appolonia mendekati hasil yang diperoleh pada Plaxis 3D dengan soil model Hardening Soil. Untuk analisis variasi yang dilakukan, pada variasi ketebalan pilecap program Settle3D tidak dapat merepresentasikan pengaruh variasi ketebalan pilecap secara akurat seperti pada program Plaxis 3D dikarenakan pengaruh dari metode pemodelan yang berbeda. Sedangkan untuk variasi ketebalan lapisan tanah dibawah fondasi program Settle3D mampu merepresentasikan pengaruh yang terjadi sama baiknya dengan pemodelan melalui Plaxis3D.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Schultze, E., and G. Sherif. (1973). "Prediction of settlements from evaluated settlement observations for sand." *Proceedings Eighth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Vol. 1. No. 3.
- [2] D'Appolonia, D.J. (1980). "Soil-bentonite slurry trench cutoffs." *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 106(4), 399-417.
- [3] Peck, Ralph, B., Hanson, W.E., and Thomas, H. (1991). *Foundation engineering*. Thornburn: John Wiley & Sons.
- [4] Ahmeti, H. (2020) "Calculation of Foundation Settlements by Applying settle 3D". Kosovo, UBT Knowledge Center.
- [5] Bowles, J. E. (1988). *Analisis dan Desain Fondasi Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- [6] Christady, H. (2002). *Mekanika Tanah II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [7] Christady, H. (2008). *Teknik Fondasi 2 Edisi ke-4*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- [8] Coduto, D. P., Kitch, W. A., & Yeung, M.-C. R. (2014). *Foundation Design Principles and Practices*. California: Pearson.
- [9] Darwis. (2018). *Dasar - Dasar Mekanika Tanah* . Yogyakarta: Pena Indis.
- [10] Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah Jilid 1 (Noor Endah & Indra surya B. Mochtar, Penerjemah.)*. Surabaya: Erlangga.
- [11] Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah Jilid 2*. (Noor Endah, & Indrasurya B. Mochtar, Penerjemah.). Surabaya: Erlangga.
- [12] Das, B. M. (2011). *Principle of Foundation Engineering 7th Edition*. Stamford: Cengage Learning.
- [13] Das, B. M., Ameratunga, J., & Sivakugan, N. (2016). *Correlation of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering*. India: Springer.