



Evaluasi Settlement dan Analisa Balik Parameter Desain Tanah Pada Perbaikan Tanah Metode Preloading Kombinasi PVD¹

Settlement Evaluation and Back Analysis of the Ground Design Parameters on the Soil Improvement of Preloading Method Combined With PVD

Intan Kamila Adiba^a, Januar Fery Irawan^b, Luthfi Amri Wicaksono^{c, 2}

^a Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember

^b Program Studi Teknik Pertambangan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember

^c Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember

ABSTRACT

The use of the preloading method, which combined with PVD, is now a common method of soil improvement that proved effective in increasing bearing capacity and reducing settlement on soft soil ground types like former rice fields. In order to reach an optimum effectiveness of soil improvement, an evaluation of the settlement should be done by reviewing the performance of soil improvement along with geotechnical instruments installed in the field. In this study, the back analysis method is used to determine the soil design parameters that are following the actual conditions in the field. The results obtained from the evaluation of settlement conducted is the difference between settlement calculation theoretically before the improvement of soil with the available field data of monitoring Settlement Plate. An average percentage of 118% was obtained from the calculation. In contrast, an average percentage of 2.87% was obtained as the difference between the final settlement prediction of Asaoka's with actual settlements based on Settlement Plate readings data in the field. The parameters of the soil results from the back analysis gave new values with each of the average of $C_h = 0.02936$; $C_c = 0.27313$; $k_v = 0.00005$ m/day; and $m_v = 0.00064 \text{ m}^2/\text{kN}$. The difference between theoretical settlement recalculated using the soil parameter of the back analysis method with the actual settlement based on monitoring of Settlement Plate gave an average percentage of 12.66%.

Keywords: settlement, back analysis, preloading, PVD

ABSTRAK

Metode *Preloading* yang dikombinasikan dengan PVD merupakan salah satu metode perbaikan tanah yang terbukti efektif dalam meningkatkan daya dukung tanah dan mengurangi *settlement* pada tanah jenis lunak seperti tanah bekas sawah. Agar perbaikan tanah yang dilakukan memiliki efektifitas optimum, perlu adanya evaluasi terhadap *settlement* yang terjadi dengan meninjau kinerja perbaikan tanah beserta instrumen-instrumen geoteknik yang terpasang di lapangan. Selain itu, dilakukan Metode Analisa Balik untuk mengetahui parameter desain tanah yang sesuai dengan keadaan sesungguhnya di lapangan. Hasil yang didapatkan dari evaluasi *settlement* yang dilakukan adalah selisih *settlement* secara teoritis sebelum adanya perbaikan tanah dengan *settlement* berdasarkan *monitoring Settlement Plate* di lapangan dalam persentase rata-rata sebesar 118%, sedangkan selisih antara *final settlement* prediksi Asaoka dengan *settlement* akhir berdasarkan *monitoring Settlement Plate* di lapangan mendapatkan persentase rata-rata sebesar 2,15%. Parameter-parameter tanah hasil dari analisa balik memiliki nilai baru dengan masing-masing rata-rata sebesar $C_h = 0,02936$; $C_c = 0,27313$; $k_v = 0,00005$ m/hari; dan $m_v = 0,00064 \text{ m}^2/\text{kN}$. Sedangkan untuk selisih antara *settlement* secara teoritis yang dihitung kembali menggunakan parameter tanah hasil analisa balik

¹ Info artikel: Received 28 Juli 2019, Received in revised from 27 Agustus 2019, Accepted 14 Januari 2020.

² Corresponding author: luthfiamri.teknik@unej.ac.id (L.A. Wicaksono)

dengan *settlement* aktual berdasarkan data bacaan *Settlement Plate* mendapatkan persentase rata-rata sebesar 12,66%.

Kata kunci: settlement, analisa balik, preloading, PVD

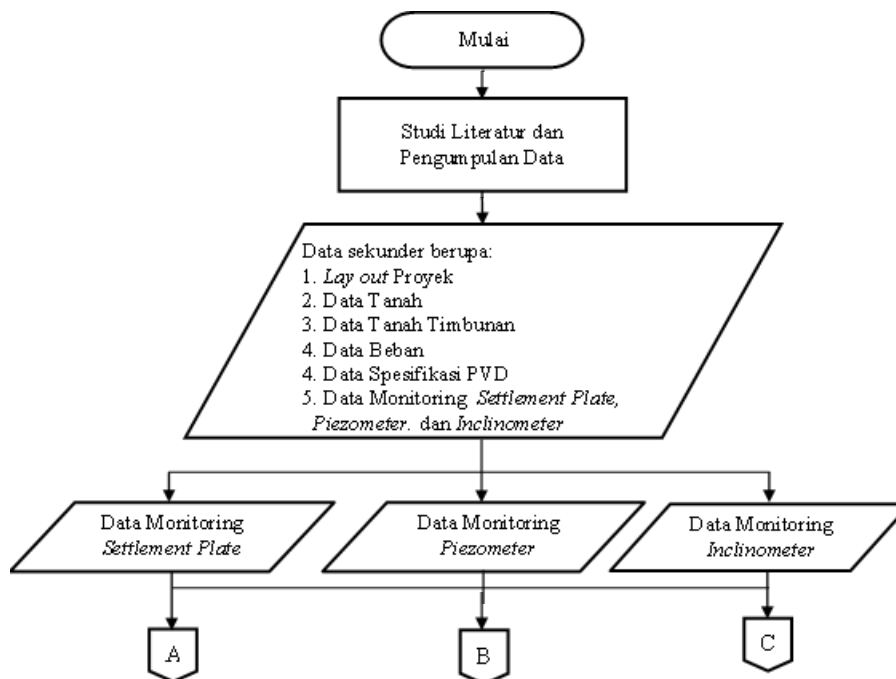
PENDAHULUAN

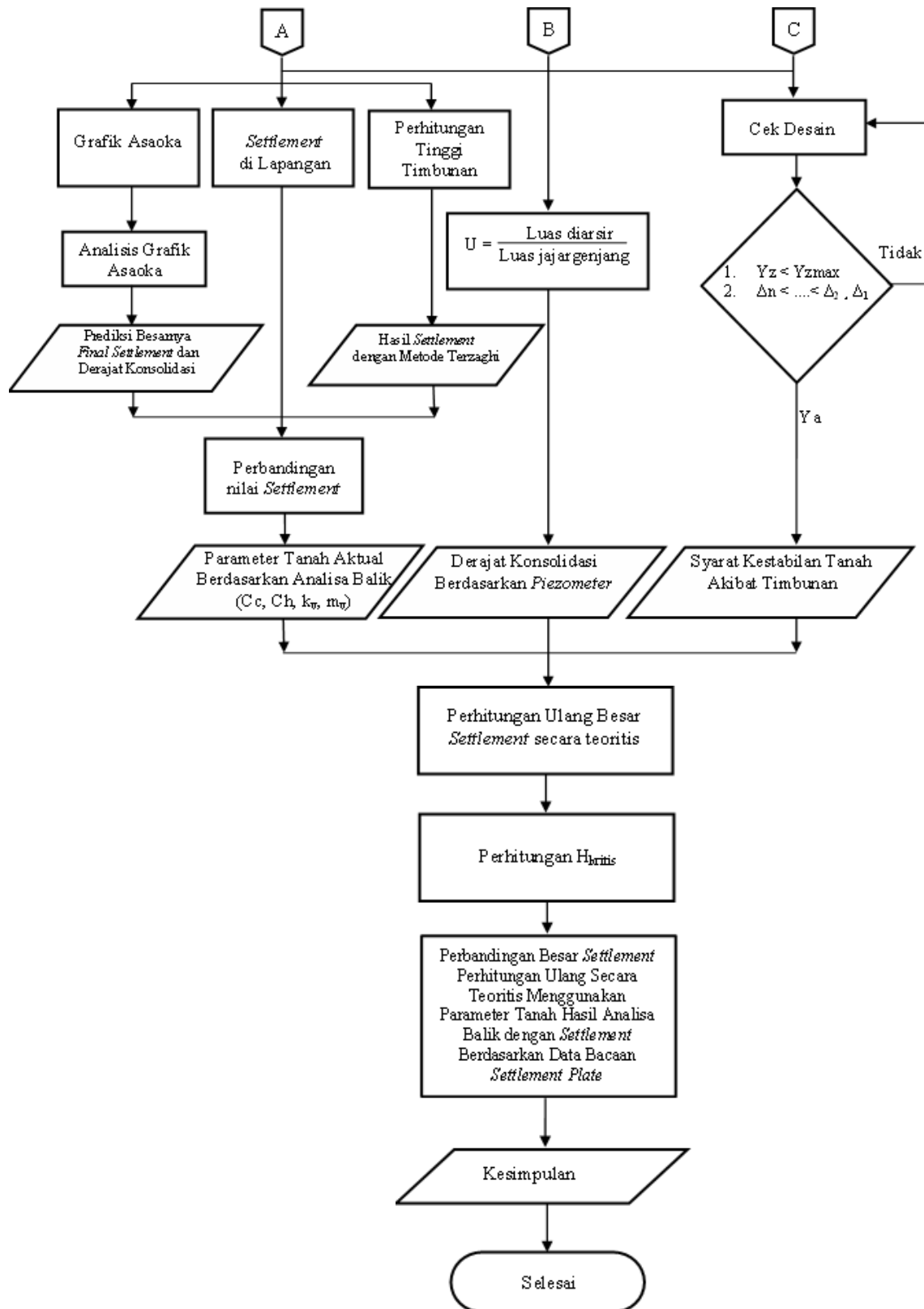
Tanah dengan kadar air tinggi seperti tanah bekas sawah merupakan persoalan utama pada setiap pembangunan konstruksi jalan tol maupun gedung. Selain memiliki karakteristik daya dukung yang rendah dan *settlement* yang besar, tanah jenis ini memiliki resiko dapat merusak konstruksi yang dibangun sebelum mencapai umur rencana. Salah satu upaya perbaikan tanah yang lazim digunakan untuk meningkatkan daya dukung dan mengurangi *settlement* pada tanah jenis tersebut adalah Metode *Preloading* yang dikombinasikan dengan PVD.

Agar perbaikan tanah memiliki efektivitas yang optimum, perlu adanya evaluasi terhadap *settlement* yang terjadi dengan meninjau kinerja perbaikan tanah Metode *Preloading* yang dikombinasikan dengan PVD (*Prefabricated Vertical Drains*) dan instrumen geoteknik yang terpasang di lapangan serta parameter desain tanah yang digunakan. Evaluasi ini bertujuan untuk mengetahui selisih nilai *settlement* pada setiap perbandingan yang dilakukan, antara lain perbandingan *settlement* secara teoritis sebelum adanya perbaikan tanah dengan *settlement* berdasarkan data bacaan *Settlement Plate* di lapangan, perbandingan antara *final settlement* prediksi Asaoka dengan *settlement* akhir berdasarkan *monitoring Settlement Plate* serta perbandingan *settlement* secara teoritis yang dihitung kembali menggunakan parameter tanah hasil analisa balik dengan *settlement* aktual berdasarkan data bacaan *Settlement Plate*.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam evaluasi adalah sebagai berikut





Gambar 1 Bagan alir metodologi evaluasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Selain perhitungan nilai settlement di lapangan, derajat konsolidasi yang tercapai di lapangan juga akan dihitung melalui data bacaan Settlement Plate dan data bacaan piezometer, kemudian untuk kestabilan lereng timbunan di lapangan akan dibuktikan dengan perhitungan berdasarkan data bacaan inclinometer dan perhitungan penentuan tinggi kritis timbunan (Hcr) setelah perhitungan ulang settlement secara teoritis dengan parameter tanah hasil analisa balik. Perhitungan analisa balik bertujuan untuk mendapatkan parameter-parameter tanah yang sesuai dengan keadaan lapangan yang sesungguhnya melalui data bacaan instrumen geoteknik Settlement Plate. Parameter tanah yang didapatkan dari analisa balik di antaranya adalah koefisien konsolidasi tanah arah horisontal (Ch), indeks pemampatan (Cc), koefisien kompresibilitas volume (mv), dan permeabilitas tanah arah vertikal (kv).

Perhitungan Settlement Konsolidasi Metode Terzaghi

Perhitungan settlement konsolidasi tanah berdasarkan Metode Terzaghi atau yang biasa disebut teoritis terdiri dari perhitungan tegangan *overburden* efektif, perhitungan tegangan akibat beban timbunan, perhitungan besar settlement, dan perhitungan waktu settlement.

Hasil perhitungan settlement yang didapatkan berdasarkan rumus di atas dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1 Hasil settlement Metode Terzaghi

STA	Settlement Dengan Metode Terzaghi (m)	STA	Settlement Dengan Metode Terzaghi (m)
31+000	1,9486	31+800	3,3118
31+050	1,4850	32+100	1,9685
31+200	1,8246	32+150	1,9495
31+250	1,2701	32+300	1,4114
31+350	1,0340	32+400	1,3677
31+400	1,5615	32+900	1,6217
31+750	2,7962	32+950	1,5715
		Rata-rata	1,7944

Settlement Akhir Monitoring Settlement Plate

Monitoring SP dimulai secara bertahap dan bergiliran dari setiap Settlement Plate yang terpasang di lapangan. Besar settlement akhir yang terbaca Settlement Plate dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2 Settlement akhir monitoring settlement plate

STA	Lama Monitoring SP (minggu)	Penurunan Akhir Bacaan SP (m)	STA	Lama Monitoring SP (minggu)	Penurunan Akhir Bacaan SP (m)
31+000	6	1,284	31+800	5	0,287
31+050	9	1,380	32+100	7	0,432

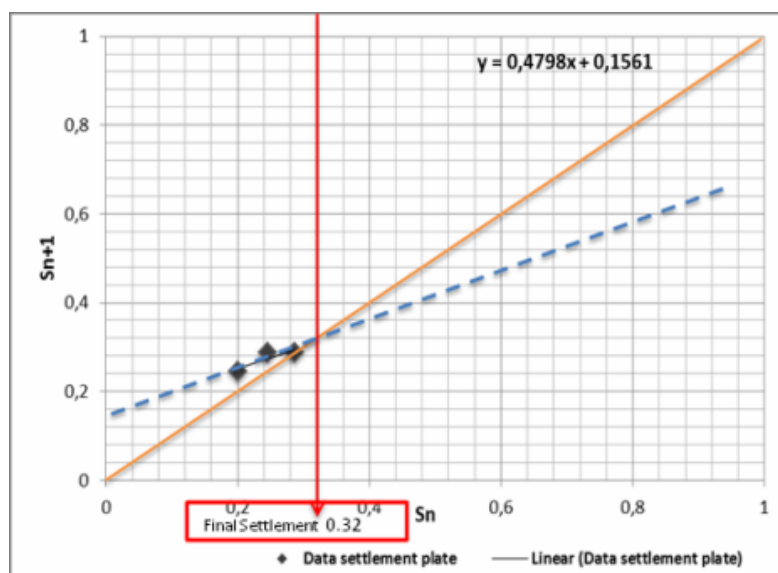
STA	Lama Monitoring SP (minggu)	Penurunan Akhir Bacaan SP (m)	STA	Lama Monitoring SP (minggu)	Penurunan Akhir Bacaan SP (m)
31+200	8	0,693	32+150	7	0,483
31+250	7	0,778	32+300	9	0,414
31+350	7	0,611	32+400	9	0,415
31+400	5	0,688	32+900	9	0,458
31+750	5	0,207	32+950	9	0,449
Rata-rata					0,613

Prediksi *Settlement* Akhir Metode Asaoka

Prediksi *settlement* akhir Metode Asaoka menggunakan data pengamatan *Settlement Plate* yang ditinjau, yaitu dengan membuat grafik antara *settlement* pada waktu $n+1$ (S_{n+1}) untuk Sumbu Y dan *settlement* pada waktu n (S_n) untuk Sumbu X. Perpotongan *trendline linier* dari titik plot grafik dengan garis $S_{n+1} = S_n$ merupakan *settlement* akhir (S_f) untuk masing-masing *Settlement Plate* yang ditinjau. Contoh perhitungan prediksi *settlement* akhir Metode Asaoka berdasarkan salah satu data pengamatan *Settlement Plate* dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 2 berikut

Tabel 3 Data pengamatan *settlement*

Minggu ke-	Interval	S_n (m)	S_{n+1} (m)
11	7	0,085	0,149
12	7	0,149	0,2
13	7	0,200	0,246
14	7	0,246	0,287
15	7	0,287	0,287



Gambar 2 Prediksi *settlement*

Hasil prediksi *settlement* akhir Metode Asaoka untuk seluruh *Settlement* yang ditinjau dapat dilihat pada Tabel 4 berikut

Tabel 4 Hasil prediksi *settlement* akhir metode Asaoka

STA	Penurunan Akhir Prediksi ASAOKA (m)	STA	Penurunan Akhir Prediksi ASAOKA (m)
31+000	1,36	31+800	0,32
31+050	1,40	32+100	0,44
31+200	0,70	32+150	0,50
31+250	0,79	32+300	0,44
31+350	0,63	32+400	0,44
31+400	0,71	32+900	0,47
31+750	0,21	32+950	0,47
		Rata-rata	0,63

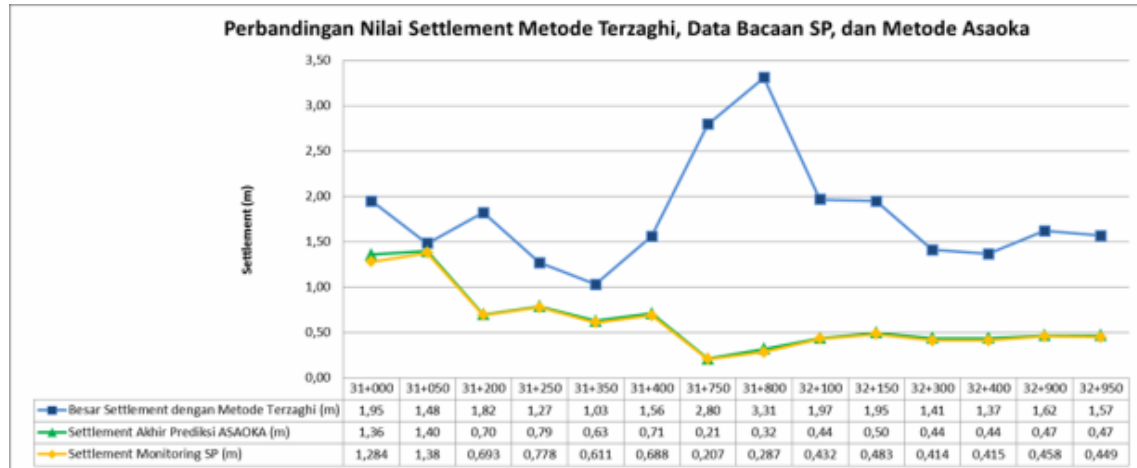
Perbandingan Nilai *Settlement* Metode Terzaghi, *Settlement* Akhir Monitoring *Settlement* Plate, dan *Settlement* Akhir Prediksi Asaoka

Hasil analisis dari perhitungan nilai *settlement* ketiganya yakni dengan Metode Terzaghi untuk kondisi tanah awal sebelum adanya perbaikan, prediksi *settlement* akhir dengan Metode Asaoka, dan nilai *settlement* akhir *monitoring* menggunakan Instrumen *Settlement* *Plate* yang dipasang saat perbaikan tanah di lapangan sedang berlangsung didapatkan perbandingan dan selisih nilai *settlement* seperti pada Tabel 5 berikut

Tabel 5 Perbandingan *settlement* metode Terzaghi, *settlement* akhir monitoring *settlement* plate dan *settlement* akhir prediksi Asaoka

STA	Settlement Dengan Metode Terzaghi (m)	Settlement Monitoring SP (m)	Selisih a Dengan b (%)	Settlement Akhir Prediksi ASAOKA (m)	Selisih d Dengan b (%)
	a	b		d	
31+000	1,9486	1,284	66,4647	1,36	7,60
31+050	1,4850	1,38	10,4994	1,40	2,00
31+200	1,8246	0,693	113,1564	0,70	0,70
31+250	1,2701	0,778	49,2146	0,79	1,20
31+350	1,0340	0,611	42,2984	0,63	1,90
31+400	1,5615	0,688	87,3531	0,71	2,20
31+750	2,7962	0,207	258,9233	0,21	0,30
31+800	3,3118	0,287	302,4844	0,32	3,30
32+100	1,9685	0,432	153,6460	0,44	0,80
32+150	1,9495	0,483	146,6471	0,50	1,70
32+300	1,4114	0,414	99,7424	0,44	2,60
32+400	1,3677	0,415	95,2660	0,44	2,50
32+900	1,6217	0,458	116,3717	0,47	1,20
32+950	1,5715	0,449	112,2525	0,47	2,10
Rata-rata	1,7944	0,61	118,17	0,63	2,15

Berdasarkan tabel di atas, dapat dilihat selisih dari masing-masing perhitungan yang telah dilakukan. Selisih nilai settlement secara teoritis (Metode Terzaghi) dengan nilai *settlement monitoring Settlement Plate* rata-rata sebesar 1,18 m atau 118%, sedangkan selisih settlement akhir prediksi Asaoka dengan nilai settlement monitoring SP rata-rata sebesar 0,02 m atau 2,15%. Kurva perbandingan nilai *settlement* dari ketiganya dapat dilihat pada Gambar 3 berikut



Gambar 3 Kurva perbandingan nilai *settlement*

Analisa Balik Parameter Tanah untuk Desain *Preloading* Kombinasi PVD

Perhitungan analisa balik meliputi parameter tanah koefisien konsolidasi tanah arah horizontal (C_h), koefisien kompresibilitas volume (m_v), permeabilitas tanah arah vertikal (k_v) dan indeks pemampatan (C_c). Rekapitulasi parameter-parameter tanah hasil analisa balik ditunjukkan pada Tabel 6

Tabel 6 Rekapitulasi parameter tanah hasil analisa balik

STA	C_h (m ² /hari)	m_v (m ² /kN)	K_v (m/hari)	C_c	C_h/C_v
31+000	0,02015	0,00067	5,75E-05	0,5500	2,358612
31+050	0,01766	0,00102	8,73E-05	0,5480	2,06722
31+200	0,02566	0,00039	3,34E-05	0,3069	3,003605
31+250	0,02331	0,00079	6,77E-05	0,3703	2,728027
31+350	0,04274	0,00125	0,000107	0,2860	5,00272
31+400	0,04211	0,00056	4,74E-05	0,3681	4,928639
31+750	0,03427	0,00023	1,91E-05	0,0752	4,202349
31+800	0,03252	0,00015	1,21E-05	0,1080	3,988296
32+100	0,03981	0,00043	3,51E-05	0,1729	4,882336
32+150	0,03064	0,00050	4,06E-05	0,1984	3,757814
32+300	0,01792	0,00076	6,17E-05	0,1848	2,197257
32+400	0,02662	0,00081	6,58E-05	0,1895	3,264172
32+900	0,02574	0,00066	5,4E-05	0,2236	3,156344
32+950	0,03194	0,00070	5,7E-05	0,2306	3,916926
Rata-rata	0,02936	0,00064	0,00005	0,2723	3,53245

Perhitungan Ulang *Settlement* Secara Teoritis Menggunakan Parameter Tanah Hasil Analisa Balik

Parameter tanah hasil analisa balik yang didapatkan sebelumnya digunakan pada perhitungan ulang *settlement* secara teoritis. Tujuan perhitungan ulang *settlement* secara teoritis ini adalah untuk mengetahui nilai *settlement* yang didapatkan dengan parameter desain tanah sesuai dengan keadaan sebenarnya di lapangan sehingga kemudian

dibandingkan dengan nilai *settlement* hasil *monitoring* menggunakan *Settlement Plate*. Dari perbandingan nilai *settlement* tersebut, akan didapatkan selisih nilai *settlement* di antara keduanya. Rekapitulasi perhitungan ulang dan perbandingan nilai *settlement* yang didapatkan ditunjukkan pada Tabel 7 berikut,

Tabel 7 Rekapitulasi *settlement* perhitungan ulang secara teoritis menggunakan parameter tanah hasil analisa balik

STA	Settlement Perhitungan Ulang Dengan Metode Terzaghi Menggunakan Parameter Tanah Hasil Analisa Balik (m)	STA	Settlement Perhitungan Ulang Dengan Metode Terzaghi Menggunakan Parameter Tanah Hasil Analisa Balik (m)
31+000	1,3463	31+800	0,3023
31+050	1,0990	32+100	0,2675
31+200	0,7501	32+150	0,3068
31+250	0,7417	32+300	0,2269
31+350	0,5027	32+400	0,2326
31+400	0,8972	32+900	0,3453
31+750	0,1196	32+950	0,3560
		Rata-rata	0,5353

Perbandingan Nilai *Settlement* Perhitungan Ulang Secara Teoritis Menggunakan Parameter Tanah Hasil Analisa Balik dengan *Settlement Monitoring Settlement Plate*

Hasil perhitungan ulang *settlement* secara teoritis menggunakan parameter tanah Cc hasil analisa balik mendapatkan nilai *settlement* yang lebih kecil dibandingkan *settlement* yang didapatkan pada perhitungan sebelumnya dengan metode yang sama yakni Terzaghi. Perbandingan nilai *settlement* dari perhitungan keduanya dapat dilihat pada Tabel 8

Tabel 8 Rekapitulasi perbandingan nilai *settlement* perhitungan ulang secara teoritis menggunakan parameter hasil analisa balik dengan nilai *settlement* secara teoritis sebelum adanya perbaikan tanah

STA	Settlement Perhitungan Ulang Dengan Metode Terzaghi Menggunakan Parameter Tanah Hasil Analisa Balik (m)	Besar Settlement Dengan Metode Terzaghi Sebelum Adanya Perbaikan Tanah (m)	Selisih b Dengan a (m)	Selisih b Dengan a (%)
	a	b		
31+000	1,3463	1,9486	0,6024	60,24
31+050	1,0990	1,4850	0,3860	38,60
31+200	0,7501	1,8246	1,0745	107,45

STA	Settlement Perhitungan Ulang Dengan Metode Terzaghi Menggunakan Parameter Tanah Hasil Analisa Balik (m)	Besar Settlement Dengan Metode Terzaghi Sebelum Adanya Perbaikan Tanah (m)	Selisih b Dengan a (m)	Selisih b Dengan a (%)
31+250	0,7417	1,2701	0,5285	52,85
31+350	0,5027	1,0340	0,5313	53,13
31+400	0,8972	1,5615	0,6643	66,43
31+750	0,1196	2,7962	2,6766	267,66
31+800	0,3023	3,3118	3,0096	300,96
32+100	0,2675	1,9685	1,7010	170,10
32+150	0,3068	1,9495	1,6426	164,26
32+300	0,2269	1,4114	1,1846	118,46
32+400	0,2326	1,3677	1,1351	113,51
32+900	0,3453	1,6217	1,2764	127,64
32+950	0,3560	1,5715	1,2155	121,55
Rata-rata	0,5353	1,5268	1,2592	125,92

Berdasarkan tabel di atas selisih antara *settlement* perhitungan ulang secara teoritis menggunakan parameter tanah hasil analisa balik dengan *settlement* secara teoritis sebelum adanya perbaikan tanah di lapangan mendapatkan persentase rata-rata sebesar 125,92%. Untuk perbandingan *settlement* perhitungan ulang secara teoritis menggunakan parameter tanah hasil analisa balik dengan nilai *settlement monitoring* SP di lapangan dapat dilihat pada Tabel 9 berikut,

Tabel 9 Rekapitulasi perbandingan nilai *settlement* perhitungan ulang secara teoritis menggunakan parameter hasil analisa balik dengan nilai *settlement* di lapangan

STA	Settlement perhitungan ulang dengan Metode Terzaghi menggunakan parameter tanah hasil analisa balik (m)	Settlement akhir bacaan SP (m)	Selisih a Dengan b (%)
	a	b	
31+000	1,3463	1,284	6,23
31+050	1,0990	1,38	28,10
31+200	0,7501	0,693	5,71
31+250	0,7417	0,778	3,63
31+350	0,5027	0,611	10,83
31+400	0,8972	0,688	20,92
31+750	0,1196	0,207	8,74
31+800	0,3023	0,287	1,53
32+100	0,2675	0,432	16,45
32+150	0,3068	0,483	17,62
32+300	0,2269	0,414	18,71

STA	Settlement perhitungan ulang dengan Metode Terzaghi menggunakan parameter tanah hasil analisa balik (m)	Settlement akhir bacaan SP (m)	Selisih a Dengan b (%)
32+400	0,2326	0,415	18,24
32+900	0,3453	0,458	11,27
32+950	0,3560	0,449	9,30
Rata-rata	0,5353	0,3697	12,66

Berdasarkan tabel di atas didapatkan bahwa nilai *settlement* perhitungan secara teoritis dengan parameter Cc hasil analisa balik memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan *settlement monitoring* SP, selisih rata-rata yang didapatkan di antara keduanya ialah sebesar 12,66% akan tetapi jauh lebih kecil jikadibandingkan persentase rata-rata selisih antara *settlement* perhitungan secara teoritis menggunakan parameter Cc hasil analisa balik dengan *settlement* secara teoritis sebelum adanya perbaikan tanah di lapangan, yakni sebesar 125,92%.

KESIMPULAN

Hasil evaluasi *settlement* dan analisa balik parameter desain tanah pada perbaikan tanah Metode *Preloading* kombinasi PVD dapat disimpulkan,

1. Selisih yang didapatkan antara *settlement* secara teoritis atau Metode Terzaghi sebelum adanya perbaikan tanah dengan *settlement* di lapangan berdasarkan data bacaan *Settlement Plate* dalam persentase rata-rata sebesar 118%. Sedangkan selisih antara prediksi *final settlement* menggunakan Metode Asaoka dengan *settlement* aktual berdasarkan data bacaan SP akibat beban *Preloading* yang dikombinasikan dengan PVD di lapangan mendapatkan persentase rata-rata sebesar 2,15%.
2. Berdasarkan perhitungan analisa balik didapatkan parameter-parameter yang memiliki nilai baru dengan rata-rata sebagai berikut
 - a. Nilai Ch = 0,02936
 - b. Nilai Cc = 0,27313
 - c. Nilai kv = 0,00005 m/hari
 - d. Nilai mv = 0,00064 m²/kN
3. Selisih antara *settlement* hasil perhitungan ulang menggunakan parameter tanah hasil analisa balik dengan *settlement* di lapangan berdasarkan data bacaan *Settlement Plate* mendapatkan persentase rata-rata sebesar 12,66%.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, D.W., dan M. E. Noor. 2017. Perencanaan perbaikan tanah dasar dan perkuatan stabilitas timbunan jalan tol Pasuruan-Grati sta 30+100 s.d sta 31+500. *Jurnal Teknik ITS*. 6(2): E72-E76.
- Asaoka, Akira. 1978. Observational procedure of settlement prediction. *Soil and foundations japanese society of soil Mechanics and Foundation Engineering*. 18(4): 87-101.

- Aspar, Wimpie Agoeng N., Fitriani, Eka Nur, dan Arthono, Andri. 2017. Perhitungan kembali nilai koefisien konsolidasi pada perbaikan tanah lempung lunak. *Jurnal Teknologi*. 7(1): 1-13.
- Craig, R. F. 1986. *Soil Mechanics*. Fourth Edition. Dundee: Department of Civil Engineering University of Dundee. Terjemahan oleh Budi Susilo. Soepandji. 1987. *Mekanika Tanah*. Jakarta: Erlangga.
- Das, B. M., Sivakugan, N., dan Ameratunga, Jay. 2016. *Correlations of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering*. India: Springer India.
- Indraratna, B., Rujikiatkamjorn, C., Wijeyakulasuriya, V., McIntosh, G., dan Kelly, R. 2010. Soft soils improved by prefabricated vertical drains: performance and prediction. In Almeida, M (ed), *Symposium on New Techniques for Design and Construction in Soft Clays*. 227-246.
- Lilabsari, Zahra F., Munawir, A., Zaika, Y., dan Kuswanda, Wahyu P. 2018. Evaluasi kinerja perbaikan tanah lunak dengan menggunakan *preloading* dan *prefabricated vertical drain* (PVD). *Rekayasa Sipil*. 12(2): 112-117.
- Ningsih, Ana C., Ma'ruf, M. Farid, dan Wicaksono, Luthfi Amri. 2018. Perencanaan perbaikan tanah lunak menggunakan metode *preloading* dan *prefabricated vertical drain* (PVD). *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*. 2(1): 1-12.
- Soedarmo, G. Djatmiko, dan Purnomo, S. J. Edy. 1993. *Mekanika Tanah 1*. Malang: Kanisius.
- Terzaghi, Karl., dan B. Peck., Ralph. 1993. *Soil Mechanics in engineering practice*. Terjemahan oleh Bagus. Witjaksono dan Benny Krisna. R. 1993. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa Jilid 1*. Jakarta : Erlangga.