



Evaluasi Penurunan Akhir Tanah Di Lapangan Menggunakan Metode Observasional: Asaoka Dan Hiperbolik Pada Proyek PPKA Seksi 2 Palembang Sumatra Selatan ¹

Evaluation Final Settlement In Field Using Observational Method: Asaoka And Hyperbolic In PPKA Project Section 2 Palembang South Sumatra

Aflah Baihaqi Efendi ^a, Indra Nurtjahjaningtyas ^{b, 2}, Luthfi Amri Wicaksono ^b

^a Program Studi S-1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember

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

ABSTRACT

In the construction of the Trans Sumatra Toll Road, the existing land that will be used as a foundation belongs to the soft soil category. This is because the original soil to be built by the toll road is swamps. The soil improvement method used in PPKA section 2 is Vacuum Consolidation. In this study, a geotechnical instrument evaluation was carried out using the Settlement Plate to evaluate the actual settlement, then calculate the final settlement prediction with the Asaoka and Hyperbolic observation methods. Then from the monitoring data, the prediction of the final settlement was calculated using the Asaoka and hyperbolic observation methods, calculated the value of the degree of consolidation from each method. So that the results of the calculation can be concluded in the form of the superiority of each method used as consideration for further planning. The results obtained in this study are the actual settlement with theoretical and settlement predictions along with the comparison of the two observation methods. The average value of the degree of consolidation also produced in the percentage of 98.68%, while the hyperbolic is 99.35%. The calculation of soil subsidence using the Asaoka method is more same with the field (actual). Because the data used for the Asaoka comes from all monitoring data on the field settlement plate.

Keywords: asaoka, hyperbolic, settlement plate, final settlement, soft soil, vacuum consolidation.

ABSTRAK

Pada pembangunan jalan Tol Trans Sumatra, tanah eksisting yang akan dijadikan pondasi tergolong dalam kategori tanah lunak. Hal itu dikarenakan tanah asli yang akan dibangun jalan tol merupakan rawa-rawa. Metode perbaikan tanah yang digunakan di PPKA seksi 2 adalah Vacuum Consolidation. Dalam kajian ini, dilakukan evaluasi instrumen geoteknik menggunakan Settlement Plate untuk mengevaluasi penurunan aktual, kemudian menghitung prediksi penurunan akhir (final settlement) dengan metode observasi Asaoka dan Hiperbolik. Kemudian dari data monitoring dihitung besar prediksi penurunan akhir tanah menggunakan metode observasi asaoka dan hiperbolik, dihitung nilai derajat konsolidasi dari setiap metode. Sehingga dari hasil perhitungan didapat kesimpulan berupa keunggulan setiap metode yang digunakan sebagai pertimbangan untuk perencanaan lanjutan. Hasil yang diperoleh dalam kajian ini adalah besar penurunan aktual dengan teoritis dan prediksi settlement beserta mengetahui perbandingan dari kedua metode observasi. Dari nilai rerata derajat konsolidasi yang dihasilkan juga pada asaoka sebesar 98,68% sedangkan pada hiperbolik sebesar 99,35%. Perhitungan penurunan tanah menggunakan metode asaoka lebih sesuai dengan lapangan (aktual). Dikarenakan data yang digunakan untuk asaoka berasal dari semua data monitoring settlement plate lapangan.

Kata kunci: asaoka, hiperbolik, settlement plate, penurunan akhir, tanah lunak, vacuum consolidation.

¹ Info Artikel: Received 13 Februari 2019, Received in revised form 3 September 2019, Accepted 11 Oktober 2019

² Corresponding author: indra.nurtj@gmail.com (I. Nurtjahjaningtyas)

PENDAHULUAN

Pada pembangunan jalan Tol Trans Sumatra, tanah existing yang akan dijadikan pondasi tergolong dalam kategori tanah lunak. Hal ini diperjelas juga oleh uji nSPT dan nilai dari hasil uji laboratorium. Metode perbaikan tanah yang digunakan di PPKA seksi 2 adalah *Vacuum Consolidation*. Dalam kajian ini dilakukan evaluasi instrumen geoteknik menggunakan *Settlement Plate*, kemudian menghitung prediksi penurunan dengan metode observasi Asaoka dan Hiperbolik serta derajat konsolidasi aktual.

Vacuum preloading merupakan salah satu metode perbaikan tanah yang dapat diterapkan pada jenis tanah lempung lunak. Sistem pembebanan ini bertujuan untuk mencapai proses konsolidasi yang lebih cepat tanpa menambah tinggi timbunan yang dapat mengakibatkan keruntuhan geser. Penggunaan kombinasi preloading dan vertical drain dimaksudkan untuk mempercepat proses konsolidasi mengingat kondisi tanah dasar yang jenuh air. (Indratna, B. and Redana, I W., 1998).

Selain waktu konstruksi menjadi lebih singkat, tidak memerlukan peralatan berat, tidak ada campuran kimia yang digunakan, sehingga merupakan metode perbaikan tanah yang ramah lingkungan (Chai, 2005).

Maksud dari penelitian ini adalah membandingkan hasil perhitungan prediksi penurunan tanah menggunakan 2 metode observasional yaitu; Asaoka dan Hiperbolik pada area tanah yang telah diperbaiki menggunakan metode *vacuum preloading* pada proyek PPKA seksi 2, Palembang, Sumatra Selatan, kemudian diambil kesimpulan dari metode tersebut yang mendekati penurunan akhir tanah aktual di lapangan.

METODOLOGI

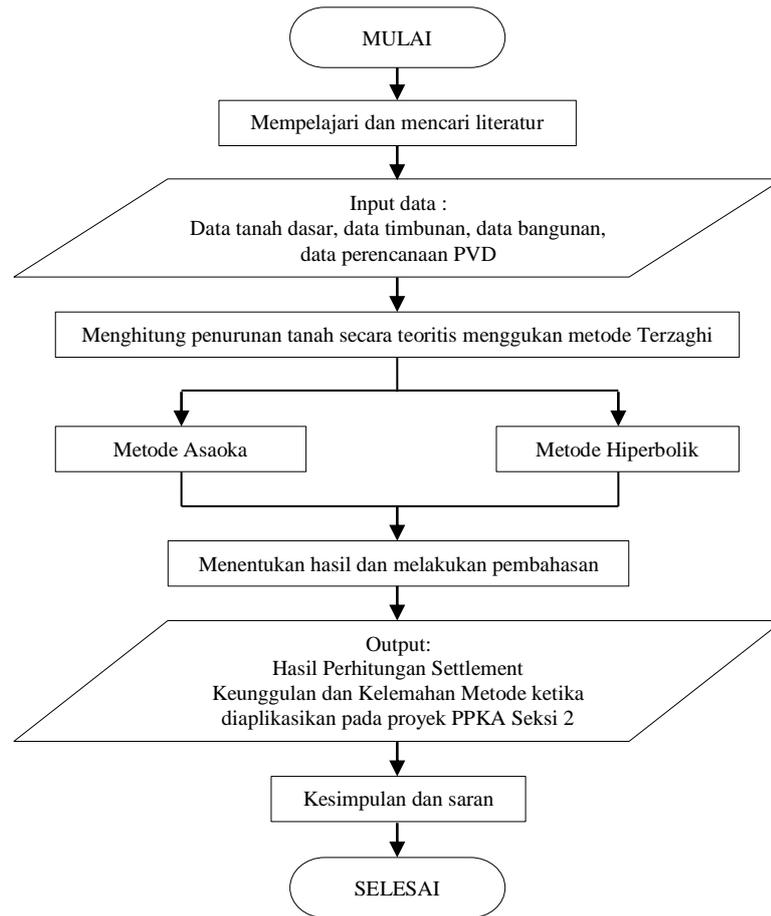
Metodologi dalam penelitian ini diuraikan melalui skema di bawah ini pada Gambar 1. diagram alir analisis.

Studi Literatur

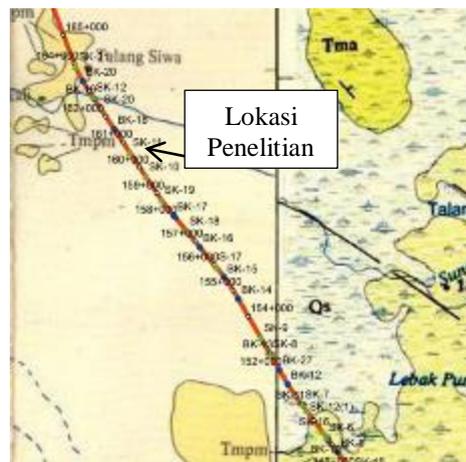
Studi literatur diperlukan dalam pengerjaan penelitian ini untuk menambah referensi dalam pengerjaan analisis settlement secara teoritis menggunakan metode Terzaghi 1D, serta evaluasi perhitungan prediksi penurunan tanah menggunakan metode observasional Asaoka dan Hiperbolik. Studi literatur didapat dari buku diktat kuliah, artikel, pedoman perencanaan, dan sumber-sumber penunjang yang terkait dalam pengerjaan penelitian.

Pengumpulan dan Analisa Data

Data yang digunakan dalam analisa penelitian ini adalah data tanah dasar, data timbunan, data perencanaan PVD, dan data monitoring *Settlement Plate* dari PT. Teknindo Geosistem Unggul. Lokasi yang ditinjau pada analisis ini adalah Jalan Tol Trans-sumatra pada Seksi 2, modul 23B (Gambar 2).

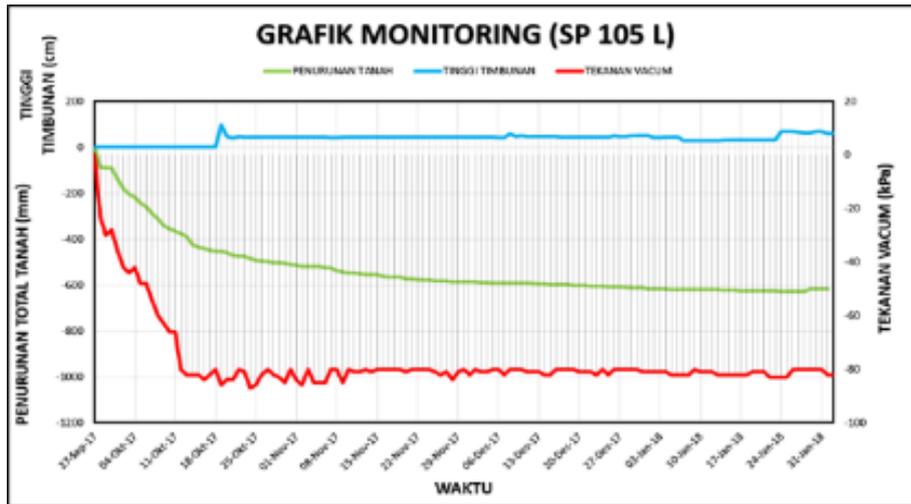


Gambar 1 Diagram alir penelitian



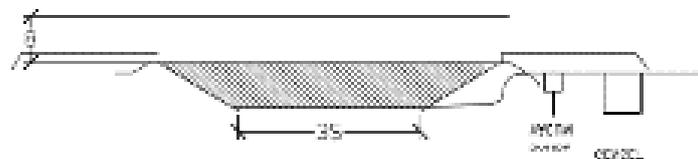
Gambar 2 Lokasi penelitian

Untuk mengetahui kedalaman tanah lunak digunakan data dari hasil uji yang diperoleh dari PT. Teknindo Gosistem Unggul yakni 8m. Data monitoring harian pada instrument SP dan potongan melintang area perbaikan tanah modul 23B disajikan secara berturut-turut pada gambar 3 dan gambar 4.



Gambar 3 Grafik Monitoring SP 105L

Data gambar rencana vacuum preloading (Gambar 3).



Gambar 4 Gambar potongan melintang area modul 23B

Metode Terzaghi 1D

Pada umumnya, tahapan konsolidasi mengaami tiga tahapan yang berbeda:

- a. Tahap I : pemampatan awal (*initial compression*),
- b. Tahap II : konsolidasi primer (*primary consolidation*),
- c. Tahap III : konsolidasi sekunder (*secondary consolidation*).

Bila suatu lapisan tanah mengalami pembebanan akibat beban di atasnya, maka tanah di dibawah aan terjadi penurunan elevasi tanah dasar (*settlement*).

Pembebanan ini mengakibatkan adanya deformasi partikel tanah dan keluarnya air pori dari tanah yang disertai berkurangnya volume tanah. Tiga komponen hal inilah yang mengakibatkan terjadinya penurunan tanah:

$$St = Si + Sc + Ss \tag{1}$$

dengan St = Penurunan tanah total, Si = Penurunan tanah segera, Sc = Penurunan tanah primer, Ss = Penurunan tanah sekunder

Penurunan Tanah Segera (*Initial Compression*)

Penurunan segera atau penurunan elastik disebabkan dari deformasi elastis tanah kering, basah dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air. *Immediate settlement* ini biasanya terjadi selama proses konstruksi berlangsung.

$$Si = \Delta\sigma B \frac{1-\mu_s^2}{Es} Ip \tag{2}$$

dengan S_i = Penurunan segera (m), $\Delta\sigma$ = Beban timbunan (kN/m²), E_s = Modulus elastisitas tanah, μ_s = Poisson's Ratio, B = Lebar timbunan (m), I_p = *Non-dimensional influence factor*.

Tapi dikarenakan besar penurunan segera sangat kecil, maka pada perhitungan studi kasus ini nilainya diabaikan.

Penurunan Tanah Primer (*Primary Consolidation*)

Penambahan beban di atas permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah dibawahnya mengalami pemampatan. Pemampatan tersebut disebabkan karena adanya deformasi partikel tanah, keluarnya air atau udara dalam pori. Untuk tanah yang terkonsolidasi lebih (*over consolidated*), dimana tanah di lapangan pada suatu kedalaman tertentu mengalami tekanan efektif overburden akibat beban diatasnya lebih kecil dari pada tekanan yang pernah dialami oleh tanah itu sebelumnya dinamakan tegangan prakonsolidasi (*preconsolidation pressure/pc*), besarnya penurunan tersebut digunakan persamaan:

Bila $\sigma'_{0} + \Delta\sigma \leq \sigma'_c$, maka:

$$S_c = \frac{C_{s,h}}{1+e_0} \times \log \left(1 + \frac{\Delta\sigma}{\sigma'_0} \right) \quad (3)$$

Bila $\sigma'_{0} + \Delta\sigma > \sigma'_c$, maka:

$$S_c = \frac{C_{s,h}}{1+e_0} \times \log \left(\frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} \right) + \frac{C_{c,h}}{1+e_0} \times \log \left(\frac{\sigma'_{0} + \Delta\sigma}{\sigma'_c} \right) \quad (4)$$

dengan h = Tebal lapisan lempung (m), e_0 = Angka pori awal, C_c = Compression Index, C_s = Compression Swelling Index, $\Delta\sigma$ = Besar tegangan tambahan akibat timbunan (t/m²), σ'_0 = Tegangan Overburden efektif (t/m²), σ'_c = Tegangan prakonsolidasi efektif (t/m²)

Penurunan Tanah Sekunder (*Secondary Consolidation*)

Penurunan akibat konsolidasi sekunder adalah penurunan yang masih berjalan setelah konsolidasi primer selesai, yaitu setelah tidak terdapat lagi tegangan air pori. Dan berlangsung dalam waktu yang lama serta kecil. Penurunan konsolidasi sekunder dihitung dengan persamaan :

$$S_s = H \cdot C_{ac} \cdot \log \frac{t_2}{t_1} \quad (5)$$

$$C_{ac} = \frac{C_a}{1+e_p} \quad (6)$$

dengan e_p = Angka pori saat konsolidasi selesai, H = Tebal lapisan tanah yang ditinjau. $t_2 = t_1 + \Delta t$, t_1 = Waktu saat konsolidasi primer selesai

Dalam perhitungan penurunan sekunder parameter C_{ac} dapat diasumsikan $0.1C_c$ sesuai dengan formula mesri.

Metode Asaoka

Metode konstruksi Asaoka (1978) merupakan metode observasi yang paling populer karena selain dapat memprediksi penurunan akhir juga dapat memungkinkan diperolehnya parameter-parameter konsolidasi. Langkah-langkah yang diambil adalah berikut ini:

Langkah-langkah perhitungan prediksi penurunan tanah metode asaoka:

1. Merekap data dari hasil monitoring sesuai interval hari yang ditentukan. Interval minimal 3 hari
2. Lalu seleksi data yang digunakan untuk diplot data, yaitu dimulai dari data penurunan tanah stabil sampai penurunan akhir yang terjadi di lapangan
3. Plot grafik data hasil yang sudah diseleksi, grafik hubungan s_n vs s_{n+1}
4. Lalu tarik garis yang membentuk 45° pada grafik yang sama
5. Kemudian cari titik perpotongan antara plot data dengan garis 45° . Titik perpotongan dapat dicari menggunakan persamaan garis linier

$$y = mx + c \quad (7)$$

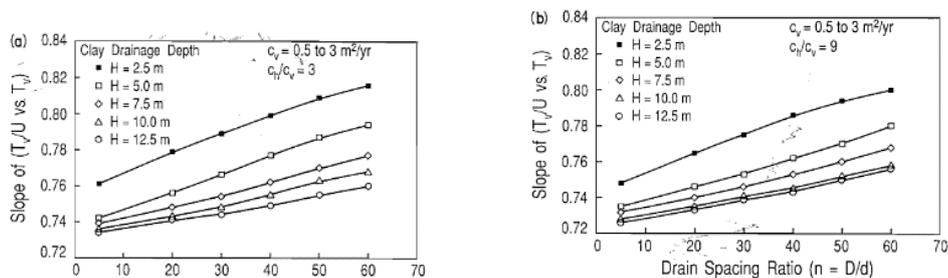
$$x = \frac{c_2 - c_1}{y_2 - y_1} \quad (8)$$

6. Dari titik perpotongan kedua garis tersebut diketahui nilai prediksi penurunan tanah dari metode asaoka.

Metode Hiperbolik

Menurut Ann Tan (1993), Metode hiperbolik digunakan untuk memperkirakan penurunan tanah primer (S_c). Prosedur sebagai berikut:

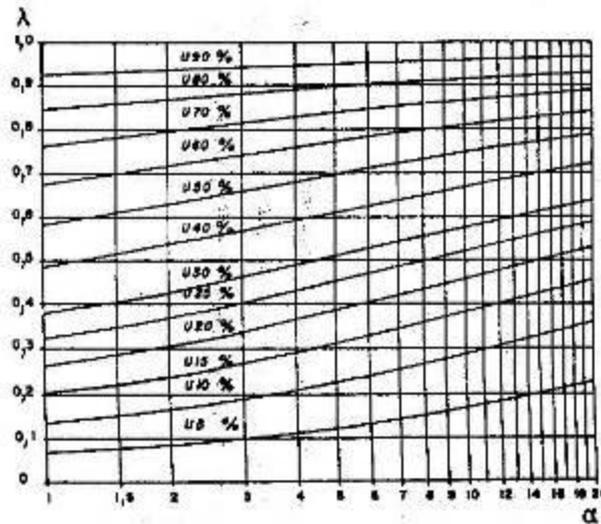
1. Rekap data hasil monitoring dari instrumen SP, lalu menentukan derajat konsolidasi (U) dari setiap penurunan tanah yang terjadi setiap hari.
2. Plot grafik berbentuk hiperbolik dari data lapangan, sebagai $t/\text{settlement}$ vs t . Dimana t adalah waktu konsolidasi saat beban konstan.
3. Identifikasi dan buat garis linier saat konsolidasi U_{50} dan U_{90} .
4. Dari parameter saluran dan tanah yang relevan (n , H , dan Ch/C_v). Tentukan dengan interpolasi nilai teoritis dari kemiringan garis linier α dari grafik bantu (gambar 7).



Gambar 5 Hubungan slope (α) dengan parameter n , H , dan Ch/C_v

Derajat Konsolidasi

Pada pembahasan ini penentuan derajat konsolidasi aktual dihitung berdasarkan hasil pengukuran settlement. Besarnya derajat konsolidasi aktual, U (%) dapat dicari secara grafis menggunakan grafik 2.5 dengan mempertemukan parameter λ dan α .



Gambar 6 Derajat Konsolidasi

$$\lambda = \frac{S_{ct}}{S} \quad (9)$$

$$\alpha = \frac{\Delta\sigma}{\sigma'_0} \quad (10)$$

dengan S_{ct} = Settlement aktual pada waktu t , S = Consolidation settlement final, diperoleh dari perhitungan teoritis atau metode observasional, $\Delta\sigma$ = Besar tegangan tambahan akibat timbunan (t/m^2), σ'_0 = Tegangan Overburden efektif (t/m^2)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil perhitungan penurunan tanah akhir dari setiap metode, selanjutnya membandingkan hasil tersebut dengan penurunan tanah aktual yang terjadi di lapangan. Sehingga dapat diketahui nilai derajat konsolidasi dari setiap metode yang telah digunakan. Jika dibandingkan dengan penelitian yang sudah dikaji dalam penelitian ini untuk ketiga metode adalah, penurunan yang dihitung menggunakan metode terzaghi 1D menghasilkan nilai yang paling besar dari hasil perhitungan dari dua metode lainnya. Sedangkan hasil penurunan dari metode observasi asaoka dan hiperbolik sama-sama mendekati dengan penurunan aktual yang terjadi di lapangan. Untuk hasil rekap penurunan yang dihitung dengan menggunakan tiga metode yang berbeda dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 1 Hasil Perhitungan *Settlement* dan Derajat Konsolidasi

No.	Titik	Penurunan Aktual (mm)	Metode Terzaghi 1D		Metode Observasional			
			(mm)		Metode Asaoka (mm)		Metode Hiperbolik S90 (mm)	
			S (mm)	U (%)	S (mm)	U (%)	S (mm)	U (%)
1	SP 105L	616	886	60.00%	622.74	99.00%	617.16	99.81%
2	SP 105	766	895	70.00%	773.22	99.00%	773.67	99.01%
3	SP 105R	631	897	60.00%	633.48	99.61%	633.81	99.56%
4	SP 107L	641	890	62.00%	644.05	99.53%	642.69	99.74%
5	SP 107	772	898	80.00%	769.27	100.00%	779.22	99.07%
6	SP 107R	719	884	71.00%	716.67	100.00%	725.94	99.04%
7	SP 109L	484	836	48.00%	500.03	97.00%	487.29	99.32%
8	SP 109	569	894	54.00%	606.22	94.00%	572.26	99.43%
9	SP 109R	438	883	40.00%	417.33	100.00%	441.78	99.14%
Rata -rata				60.56%		98.68%		99.35%

Berdasarkan hasil perhitungan final *settlement* menggunakan tiga metode, dapat diketahui hal berikut:

1. Metode terzaghi 1D

Pada hasil perbandingan metode terzaghi dengan penurunan aktual, nilai derajat konsolidasi yang dihasilkan bernilai paling kecil jika dibandingkan dengan dua metode lainnya, yaitu sebesar 60,56%. Sehingga tanah pada area tersebut masih dapat mengalami penurunan lebih lanjut sebesar 39,44%.

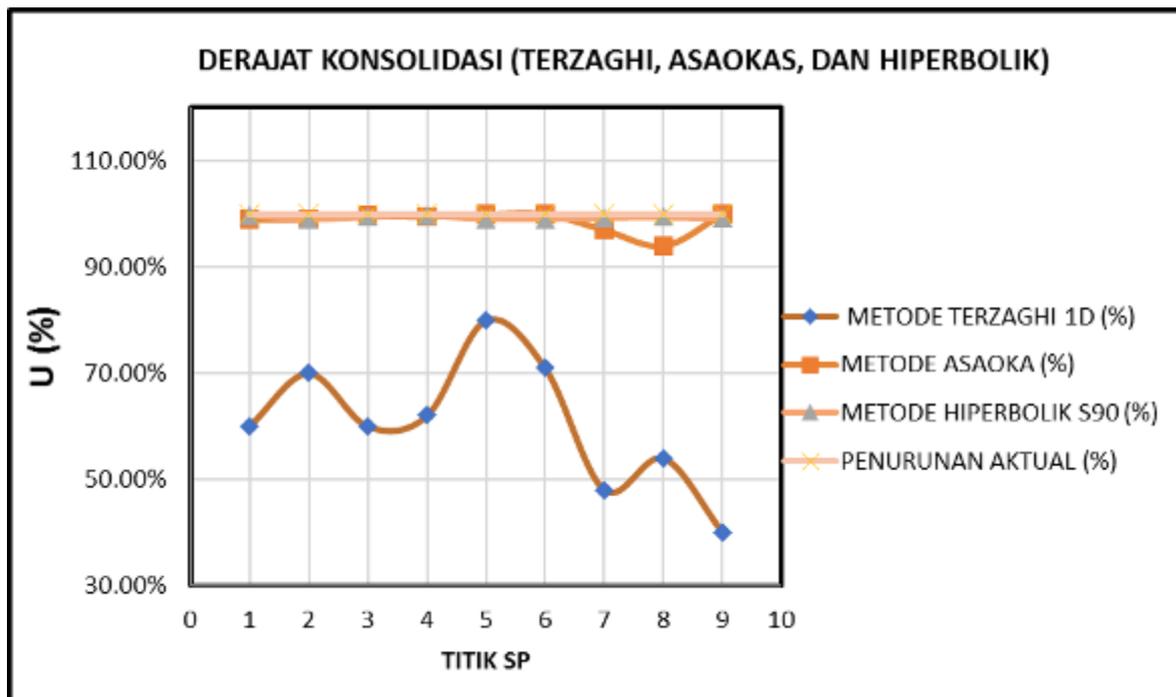
2. Metode asaoka

Sedangkan pada metode asaoka nilai U% rerata sebesar 98,68%, hal ini menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi di lapangan hampir mengalami penurunan akhir. Sehingga kemungkinan tanah untuk mengalami penurunan tanah secara normal kecil. Sehingga tidak menutup kemungkinan juga tanah pada modul 23B dapat mengalami penurunan lagi jika terdapat beban yang lebih besar dari perencanaan yang sudah diterapkan.

3. Metode hiperbolik

Metode prediksi hiperbolik menghasilkan tiga nilai kemungkinan untuk mencari penurunan akhir tanah, yaitu ketika U50%, U90%, dan antara U50% dengan U90%. Karena lebih mendekati penurunan di lapangan maka dapat dipakai nilai *settlement* (U90%), dengan nilai derajat konsolidasi rata-rata dari U90% yaitu sebesar 99,35%.

Derajat konsolidasi yang dihasilkan dari setiap metode memiliki nilai yang berbeda, dikarenakan langkah-langkah pengerjaan serta parameter yang digunakan juga berbeda. Pada metode terzaghi 1D penurunan tanah akhir yang dihasilkan memiliki nilai *settlement* yang paling besar dibandingkan dua metode lainnya. Hal ini disebabkan karena metode terzaghi menggunakan data tanah dasar pada lokasi pengujian titik bor yaitu pada sta 160+300, sedangkan pada lokasi titik SP 105L berada di lokasi sta 160+662.5 (jarak >300m). Sehingga hasil penurunan tanah secara teoritis tidak sesuai jika dibandingkan penurunan tanah aktual yang terjadi di lapangan.



Gambar 7 Derajat Konsolidasi Modul 23B

Sedangkan pada metode observasi asaoka dan hiperbolik, hasil prediksi penurunan akhir tanah yang dihasilkan memiliki nilai yang hampir sama dengan nilai penurunan tanah di lapangan. Hal ini dikarenakan parameter yang digunakan untuk menghitung prediksi penurunan tanah yang digunakan sesuai titik dari monitoring instrumen *Settlement Plate*.

Keuntungan dari melakukan perhitungan menggunakan metode terzaghi 1D, data hasil penurunan tanah dapat digunakan sebagai acuan untuk perencanaan. Sedangkan untuk dua metode observasi lainnya dapat digunakan untuk pengecekan *settlement* yang terjadi di lapangan sudah mencapai *settlement* akhir dan juga bisa digunakan untuk perhitungan balik (*back analysis*) dikarenakan hasil prediksi penurunan tanah yang dihasilkan mirip dengan penurunan aktual yang terjadi di lapangan. Untuk menghitung waktu yang diperlukan untuk mencapai derajat konsolidasi EOP (*End of Primaryconsolidation*) dari hasil perhitungan metode observasi, untuk asaoka bisa menggunakan persamaan Hausmaan, sedangkan untuk hiperbolik dapat dihitung langsung menggunakan persamaan garis linier. Untuk perhitungan waktu untuk konsolidasi pada penelitian ini tidak dibahas lebih lanjut.

Nawir, (2012) dengan penelitian yang membandingkan penurunan tanah teori terzaghi 1D dengan asaoka menyimpulkan sebagai berikut:

1. Estimasi penurunan konsolidasi yang didapat dari analisis konsolidasi Terzaghi memiliki hasil yang jauh lebih besar dari penurunan yang diperoleh dari analisis berdasarkan metode Asaoka. Dengan adanya perbedaan antara prediksi penurunan konsolidasi dengan penurunan aktual yang terjadi di lapangan, maka observasi penurunan di lapangan pada kasus-kasus konsolidasi mutlak diperlukan untuk mengoreksi prediksi konsolidasi yang telah dibuat sehingga kegiatan konstruksi dapat berjalan dengan baik dan sesuai rencana.

2. Dengan menggunakan metode Asaoka dapat diperoleh nilai penurunan akhir yang lebih mendekati penurunan aktual. Nilai penurunan ini diperoleh dari data pengamatan penurunan awal di lapangan, sehingga hasil analisis akan lebih sesuai. Dengan metode ini dapat diperoleh pula nilai m yang dapat digunakan untuk mendapatkan parameter-parameter koreksi untuk konsolidasi yang terjadi di lapangan. Dari parameter koreksi seperti koefisien konsolidasi dapat diperoleh *time-rate* yang berguna sebagai acuan pengambilan keputusan di lapangan.
3. Dengan melakukan modifikasi persamaan Hausmann lalu menerapkan ke metode asaoka, dapat digunakan untuk memprediksi besarnya penurunan terhadap waktu. Persamaan ini memberikan kurva penurunan yang lebih mendekati kurva penurunan di lapangan.
4. Hasil prediksi penurunan akhir dengan menggunakan metode Asaoka sangat bergantung pada data pengamatan penurunan yang ada. Kriteria data penurunan yang dapat digunakan untuk analisis Asaoka adalah:
 - a. Data penurunan yang sudah menunjukkan nilai tetap (asimtotik) terhadap suatu nilai tertentu
 - b. Data yang tidak fluktuatif. Jika data yang tersedia sangat luas penyebarannya, maka harus ada penyesuaian terhadap data-data tersebut
 - c. Data dengan interval waktu pengukuran yang sama.

Pada penelitian yang dilakukan (TAN, S.A. 1993) di bandara Cahangi tentang perhitungan prediksi penurunan tanah menggunakan metode hiperbolik dijelaskan sebagai berikut:

1. Secara teoritis dan plot grafik hiperbolik menunjukkan bahwa presentasi data bagian awal cekung ke bawah, kemudian diikuti oleh segmen linier yang meliputi U50% hingga U90% dari prosedur pengerjaan. Nilai invers Slope ($1 / S_i$) jika dikalikan dengan kemiringan teoritis (m) akan menghasilkan prediksi penurunan tanah yang cukup baik dari penurunan total yang terjadi di lapangan.
2. Ketika metode hiperbolik menggunakan data U50% dan U90%, penurunan akhir yang diperoleh dari titik-titik ini juga sama dengan penurunan aktual yang terjadi pada kasus Bandara Changi, yang menerapkan perbaikan tanah menggunakan PVD. Metode ini memiliki keunggulan untuk memprediksi penurunan akhir tanah, sehingga dapat dievaluasi dengan membandingkan penurunan yang terjadi di lapangan.
3. Dengan demikian, metode hiperbolik akan memberikan cara yang berguna dan praktis untuk memantau kenaikan konsolidasi di lapangan yang menggunakan PVD dan beban timbunan, serta dapat memperkirakan waktu yang tepat untuk melakukan *unloading* timbunan jika penurunan akhir telah dicapai.

Berdasarkan data perbandingan dari kedua metode observasi *settlement* (asaoka dan hiperbolik), penuruna tanah yang dihasilkan sama-sama mendekati penurunan aktual. Disisi lain metode hiperbolik belum begitu dikenal di Indonesia, sehingga sedikit yang menerapkan metode ini. Juga untuk perhitungan prediksi penurunan tanah akhir menggunakan metode observasi yang diterapkan pada proyek PPKA seksi 2 Palembang adalah metode asaoka, hal ini dikarenakan adanya rekomendasi SNI 2017 tentang persyaratan perancangan geoteknik.

KESIMPULAN

Peneliti merekomendasikan menggunakan metode asaoka dikarenakan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai EOP masih sangat memungkinkan untuk diterapkan pada proyek, sedangkan pada hiperbolik waktu mencapai EOP (End of Primary) ada yang membutuhkan satu tahun. Meskipun penurunan tanah dari hiperbolik lebih mendekati lapangan, tetapi asaoka juga tidak terlalu jauh dengan lapangan. Dari nilai rerata derajat konsolidasi yang dihasilkan juga pada asaoka sebesar 98,687% sedangkan pada hiperbolik sebesar 99.35%, dan nilai derajat konsolidasi dari kedua metode tersebut telah memenuhi kriteria siap konstruksi apabila nilai derajat kondolidasi >90%. Nilai settlement yang dihasilkan asaoka lebih sesuai dengan lapangan, karena data yang digunakan untuk metode asaoka adalah data keseluruhan dari monitoring SP (settlement plate). Metode asaoka juga direkomendasikan oleh SNI 2017 tentang persyaratan perancangan geoteknik.

DAFTAR PUSTAKA

- Asaoka, A. (1978). *Observational Procedure of Settlement Prediction*. SOIL AND FOUNDATION Japanese society of Soil Mechanic and Foundation Engineering.
- Chung, S. G.. (2009). *Hyperbolic Method for Prediction of Prefabricated drain Drains Performance*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE.
- Ekamargarezki, Y. D. (2018). *Evaluasi Kinerja Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Instrumen Geoteknik Pada Area Cluster D Kawasan Summarecon Bandung Dengan Metode Vacuum Consolidation*. Malang :Universitas Brawijaya
- Guo, J. C. (2016). *New Observational Method for Prediction of One-dimensional*. University of Toronto Engineering LIB.
- Indraratna, B. (2016). *Analytical Solution and Numerical Simulation of Vacuum Consolidation by Vertical Drains Beneath Circular Embankments*. Computers and Geotechnics.
- Länsivaara, T. (2005). *Observational Method to Predict Future Settlements*. Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.
- Mesri, N. H.-S. (2009). *The Asaoka Method Revisited*. Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.
- Nawir, H. (2012). *Prediksi Penurunan Tanah Menggunakan Prosedur Observasi Asaoka*. Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil.
- Saraswati, F. I. (2018). *Perencanaan Perbaikan Tanah unak Pada Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung Area Mall Menggunakan Metode Preload Kombinasi PVD dan PHD*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Tan, S.-A. (1993). *Hyperbolic Method for Settlements in Clays with Vertical Drains*.
- Tan, S.-A. (1995). *Validation of Hyperbolic Method for Settlement in Clay with Vertical Drains*. Soil and Foundation Japanese Society of Soil Mechanic and Foundation Engineering.