

Analisis Prediksi Penurunan Akhir di Atas Tanah Lunak Berdasarkan Pengamatan *Settlement Plate* dengan Menggunakan Metode Asaoka

Azzam Pasha Alafgani^{1,*}, Nurly Gofar²

Program Studi Teknik Sipil, Program Pascasarjana, Universitas Bina Darma, Jalan Jend. Ahmad Yani No. 3, 9-10 Ulu, Seberang Ulu I, Palembang 30111¹

Koresponden*, Email: azzam.alafgani@gmail.com

Info Artikel		Abstract
Diajukan	02 Agustus 2026	<i>Prefabricated Vertical Drain (PVD) has been used to reduce both the magnitude and the time needed for consolidation settlement of construction on soft clay. The final consolidation settlement could be estimated based on observation data collected by settlement plate. There are several observation methods used for evaluating the consolidation settlement, one of which is the Asaoka method. In this study, the accuracy of the Asaoka method to estimate final settlement of an embankment in the construction of Jalan Tol Simpang Indralaya – Prabumulih Sta. -00+030 s.d Sta. 00+030 (60 m) is evaluated. The results show that the final settlement predicted by the Asaoka method is inaccurate because the water level at the existing ground level (EGL) is inconsistent. The changes in water level cause changes in the effective pressure on the foundation soil so the Asaoka plot cannot be made properly. Errors in determining the linear regression line resulted in the error in the prediction of the final settlement (S_f), so the determination of the consolidation time (t_{90}) was incorrect. Therefore, the final settlement analysis should consider the construction procedures and changes in water level.</i> Drainase Vertikal (PVD) telah digunakan untuk mengurangi besaran dan waktu yang dibutuhkan proses konsolidasi tanah lempung lunak yang dibebani dengan konstruksi. Penurunan konsolidasi dapat diperkirakan berdasarkan data observasi yang dikumpulkan dari <i>settlement plate</i>. Ada beberapa metode observasi yang digunakan untuk mengevaluasi penurunan akibat konsolidasi, salah satunya adalah metode Asaoka. Dalam penelitian ini keakuratan metode Asaoka untuk memperkirakan penurunan akhir timbunan jalan pada pembangunan Jalan Tol Simpang Indralaya – Prabumulih Sta. -00+030 s.d Sta. 00+030 (60 m) dievaluasi. Hasilnya menunjukkan bahwa penurunan akhir yang diprediksi dengan metode Asaoka tidak akurat karena ketinggian air pada permukaan tanah saat ini (EGL) tidak konsisten. Perubahan tinggi muka air menyebabkan perubahan tekanan efektif pada tanah pondasi sehingga plot Asaoka tidak dapat dibuat dengan baik. Kesalahan penentuan garis regresi linier mengakibatkan kesalahan prediksi besarnya penurunan akhir (S_f), sehingga penentuan waktu konsolidasi (t_{90}) tidak tepat. Oleh karena itu, analisis penurunan harus mempertimbangkan prosedur konstruksi dan perubahan ketinggian muka air.
Diperbaiki	10 Agustus 2026	
Disetujui	25 Agustus 2026	

Keywords: vertical drain, toll road, preloading, consolidation, soft soils.

Kata kunci: drainase vertikal, jalan tol, pembebanan awal, konsolidasi, tanah lunak.

1. Pendahuluan

Perbaikan tanah pondasi berdasarkan proses konsolidasi sangat populer di Sumatera Selatan sejak digiatkannya pembangunan jalan Tol Trans Sumatera. Jalan tol merupakan kelas jalan dengan beban lalu lintas yang tinggi yaitu mampu menahan muatan sumbu terpusat tunggal kendaraan sekurang-kurangnya 8,16 ton atau muatan sumbu terpusat tandem kendaraan sekurang-kurangnya 14,5 ton [1]. Sebagian ruas jalan tol yang dibangun di provinsi Sumatera Selatan harus melalui lahan rawa yang di bawahnya terdapat deposit tanah lempung lunak, tanah organik, bahkan tanah gambut dengan kedalaman yang cukup besar.

Besarnya beban jalan tol dapat mengakibatkan deformasi yang sangat besar dan keruntuhan lereng timbunan jalan [2].

Sedangkan Direktorat Jenderal Bina Marga [1] menetapkan bahwa kriteria penurunan yang diizinkan selama masa operasional jalan Tol adalah maksimal 10 cm, dengan kecepatan penurunan maksimum 2 cm per tahun. Dengan demikian perlu dilakukan prediksi besarnya penurunan yang akan terjadi pada tanah pondasi akibat beban timbunan maupun beban jalan.

Beberapa metode perbaikan tanah dapat digunakan untuk memperbaiki daya dukung tanah lunak antara lain penggunaan pondasi tiang, pemasangan cerucuk atau minipile, metode prakonsolidasi (pemberian beban sebelum pelaksanaan konstruksi) dan penggunaan drainase vertikal menggunakan *sand drain* atau *prefabricated vertical drain* (PVD) untuk mempercepat proses konsolidasi [3, 4].

Besarnya konsolidasi tergantung dari kompresibilitas tanah dan beban yang diberikan sedangkan lamanya proses konsolidasi tergantung dari permeabilitas tanah dan tebal lapisan [5].

Metode yang paling sesuai untuk konstruksi di atas tanah lempung lunak adalah metode yang dilandaskan pada modifikasi proses konsolidasi yaitu prakonsolidasi [4]. Prakonsolidasi adalah pemberian beban awal (*preloading*) sebelum dan selama pelaksanaan konstruksi untuk menyebabkan terjadinya proses konsolidasi. Pemberian beban timbunan harus dilakukan secara bertahap untuk menghindari terjadinya keruntuhan tanah timbunan itu sendiri [5]. Dalam proses konsolidasi secara alami, panjang pengaliran air di kontrol oleh tebal lapisan tanah yang terkonsolidasi dan keberadaan lapisan pengaliran. Makin panjang alur pengaliran air pori, makin lama proses konsolidasi. Percepatan proses konsolidasi dapat dilakukan dengan memendekkan aliran air selama proses konsolidasi akibat beban yang diberikan [6].

Salah satu cara mempercepat proses konsolidasi adalah dengan menggunakan drainase vertikal berupa kolom pasir (*sand drain*). Dengan berkembangnya aplikasi geosintetik dalam bidang teknik sipil, maka penggunaan kolom pasir digantikan dengan *prefabricated vertical drain* (PVD). Proses konsolidasi terjadi akibat penambahan beban, dalam hal ini digunakan *surchage preloading* atau tekanan vakum untuk memicu terjadinya proses konsolidasi tanah di bawah timbunan [7].

Perkiraan penurunan tanah akibat beban dipengaruhi oleh berbagai faktor sedangkan teori konsolidasi Terzaghi yang biasa digunakan sebagai dasar perhitungan konsolidasi mengandung banyak sekali anggapan [5]. Oleh karena itu metode observasi yang berdasarkan pengamatan selama dan sesudah penghamparan timbunan menjadi persyaratan dalam memprediksi penurunan total dan lamanya proses penurunan akibat beban timbunan dan beban jalan [8]. Observasi dilakukan dengan menempatkan instrumentasi untuk monitoring penurunan tanah (*settlement plate*), perubahan bentuk timbunan (*inclinometer*) dan perubahan tekanan air pori (*piezometer*) [3]. Beberapa metode telah disarankan oleh peneliti untuk mengolah data data tersebut dan memprediksi penurunan akhir, misalnya metode Asaoka [9] dan metode Hiperbolik [10]. Kedua metode ini telah terbukti sebagai metode yang baik untuk memprediksi besarnya penurunan tanah lunak akibat beban awal maupun beban konstruksi [11]. Uraian dan perbandingan antara kedua metode ini diberikan oleh [12]. Mereka menyimpulkan penurunan akhir dan waktu penurunan yang didapat dari ke dua metode hampir sama.

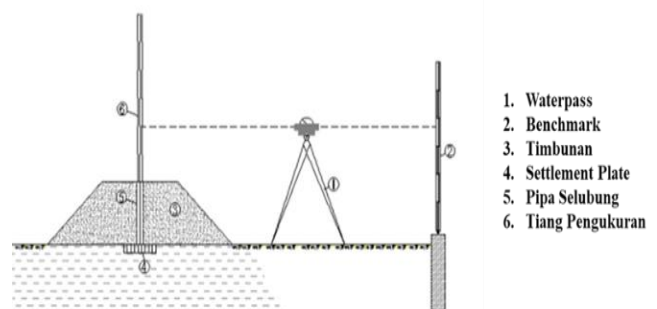
Posisi muka air tanah sangat berpengaruh terhadap besarnya tekanan efektif di dalam lapisan tanah sehingga mempengaruhi proses penurunan tanah akibat konsolidasi [3]. Naiknya posisi muka air tanah dapat berakibat pada penundaan proses konsolidasi. Studi teoritis yang dilakukan oleh menunjukkan bahwa prediksi penurunan akhir menggunakan metode Asaoka sangat dipengaruhi oleh perubahan muka air tanah yang disebabkan oleh penurunan awal timbunan sehingga hasil analisis harus dikoreksi terhadap tekanan efektif [13] [14].

Artikel ini memaparkan pembuktian hasil studi [13] menggunakan data dari studi kasus yaitu prediksi penurunan akhir timbunan jalan pada pembangunan Jalan Tol Simpang Indralaya – Prabumulih STA -00+030 s.d STA 00+030 (sepanjang 60 m) menggunakan data observasi *settlement plate* dan metode Asaoka.

2. Metode

Metode observasi berdasarkan pengamatan selama dan sesudah penghamparan timbunan menjadi persyaratan dalam memprediksi penurunan total dan lamanya proses penurunan tanah pondasi akibat beban timbunan dan beban jalan [8]. Observasi penurunan tanah pondasi dilakukan dengan memasang instrumentasi pengukuran dan memonitor hasil pengukuran penurunan vertikal (*settlement plate*).

Settlement plate (**Gambar 1**) merupakan pelat penurunan yang terdiri dari suatu batang yang di hubungkan pada suatu pelat baja bujur sangkar berukuran 60 cm × 60 cm yang diletakkan pada dasar timbunan. Pemantauan dilakukan secara berkala dengan metode pengukuran geodesi konvensional menggunakan tiang leveling dan waterpass. Pengukuran penurunan ini dilakukan dengan interval waktu yang teratur untuk mendapatkan pola laju konsolidasi. Selisih antara elevasi awal dan elevasi dalam interval waktu tertentu merupakan nilai penurunan yang terjadi. Hasil pengamatan melalui *settlement plate* digunakan untuk menentukan derajat konsolidasi dan memprediksi penurunan akhir.



Gambar 1. Ilustrasi pemasangan instrumen pengukuran

Data hasil observasi lapangan terkait penurunan tanah (*settlement*) selanjutnya diolah dan dianalisis menggunakan pendekatan observasional, yakni metode Asaoka [9]. Dalam tinjauan artikel ini, ruang lingkup pembahasan akan dikonsentrasikan secara spesifik pada pengaplikasian metode tersebut untuk mengevaluasi perilaku konsolidasi. Pemilihan metode Asaoka sangat lazim dan diandalkan dalam praktik rekayasa geoteknik masa kini karena menawarkan tingkat kepraktisan dan efisiensi analitis yang tinggi dibandingkan dengan metode perhitungan teoretis konvensional. Keunggulan utama dari metode ini terletak pada kemampuannya untuk memprediksi besaran penurunan konsolidasi akhir (*ultimate settlement*) secara langsung melalui ekstrapolasi grafis berdasarkan data faktual yang terekam. Proses analisis ini dilakukan dengan memplotkan deret waktu data penurunan yang tercatat secara periodik pada instrumen *settlement plate* dengan menggunakan interval pengamatan yang konstan. Melalui korelasi linier dari plot data historis tersebut, metode Asaoka memfasilitasi para insinyur untuk memproyeksikan target penurunan tanah secara akurat tanpa harus bergantung sepenuhnya pada asumsi parameter mekanika tanah dari uji laboratorium, sehingga menghasilkan evaluasi kinerja pemampatan yang lebih cepat, realistis, dan representatif terhadap kondisi aktual di lapangan.

Dalam metode ini penurunan dicatat pada waktu tertentu (n) dan dibuat grafik (**Gambar 2**). Menurut Asaoka, titik dimana penurunan pada waktu $n - 1$ dan waktu n bertemu merupakan perkiraan besarnya penurunan akhir dan waktunya merupakan nilai t_{90} ; dimana t_{90} adalah waktu yang diperlukan untuk mencapai konsolidasi 90%.

Metode grafis ini dikembangkan berdasarkan teori konsolidasi 1-D Terzaghi yang dimodifikasi oleh Mikasa (1963) [11][15]. Dalam teori ini penurunan (S) pada waktu (t) berbanding lurus dengan derajat konsolidasi. Maka $S_1, S_2, S_3, \dots, S_{n-1}, S_n$ pada waktu $\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots, (n-1)\Delta t, n\Delta t$ dinyatakan secara matematis melalui Persamaan (1) sebagai berikut:

$$S_n = \beta_0 + \sum_{s=1}^j \beta_s S_{n-s} \quad (1)$$

dimana β_0 adalah penurunan awal dan β_n adalah suatu ratio. Untuk $s = 1$, orde aproksimasi pertama dapat dituliskan secara Persamaan (2) adalah:

$$S_n = \beta_0 + \beta_1 S_{n-1} \quad (2)$$

Jika nilai S_n di plot pada sumbu vertikal dan nilai S_{n-1} di plot pada sumbu horizontal, maka persamaan (2) membentuk garis lurus (**Gambar 2**). Maka β_0 adalah perpotongan terhadap sumbu vertikal, dan β_1 adalah kemiringan garis tersebut terhadap horizontal.

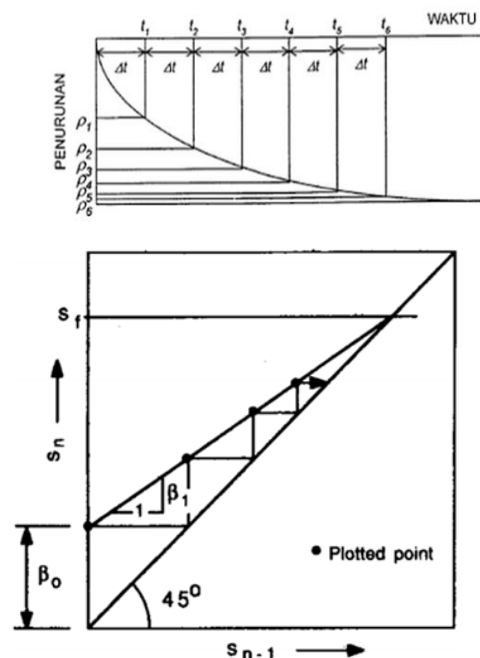
Secara teori, bila penurunan maximum sudah tercapai maka S_n akan sama dengan S_{n-1} . Garis $S_n = S_{n-1}$ membentuk sudut 45° terhadap horizontal. Penurunan akhir didapatkan dengan mengganti $S_n = S_{n-1} = S_f$ pada persamaan (2) sehingga:

$$S_f = \beta_0 + \beta_1 S_f \quad (3)$$

Waktunya tercapainya S_f merupakan nilai t_{90} ; dimana t_{90} adalah waktu yang diperlukan untuk mencapai konsolidasi 90%.

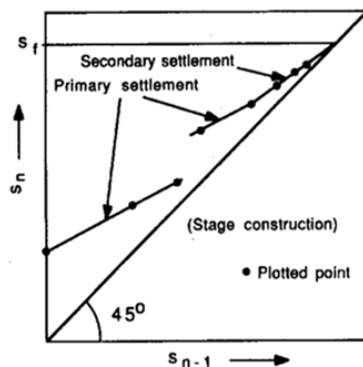
Berdasarkan Teori Terzaghi, derajat konsolidasi bisa dihitung berdasarkan bacaan penurunan (S_t) dan S_f yaitu:

$$U_v = \frac{S_t}{S_f} \times 100\% \quad (4)$$



Gambar 2. Grafik plot penurunan Asaoka (kondisi ideal)

Teori Asaoka dikembangkan untuk kondisi dimana tekanan efektif yang bekerja terhadap tanah pondasi bersifat konstan. Ketika tegangan efektif yang bekerja tidak konstan, sangat mungkin untuk mendapatkan himpunan titik-titik yang tidak linier yang menghasilkan garis regresi linier yang memotong sebagian besar titik data. Selain itu, ada kecenderungan titik-titik tersebut bisa sejajar dengan garis 45° atau bahkan menjauhi garis tersebut (**Gambar 3**).



Gambar 3. Grafik plot penurunan Asaoka (untuk penimbunan bertahap)

Perbedaan hasil dalam grafik Asaoka (**Gambar 2** dan **Gambar 3**) ini dapat dikaitkan dengan peningkatan laju

penurunan yang sangat besar jika beban yang diterapkan meningkat sebagai akibat dari penurunan muka air tanah atau timbunan menjadi terendam karena penurunan yang sedang berlangsung.

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi akurasi dari Metode Asaoka dalam memperkirakan besaran dan waktu yang diperlukan untuk penurunan timbunan jalan akibat konsolidasi. Dalam penelitian ini digunakan data yang dicatat pada *settlement plate* pada pembangunan Jalan Tol Simpang Indralaya – Prabumulih, Sumatra Selatan STA. -00+030 s.d STA. 00+030 (**Gambar 4**). Data dikumpulkan pada dua titik pengamatan yaitu SP Sta. -00+025 R, dan SP Sta. 00+025 CL. Data diolah dengan Metode Asaoka untuk mendapatkan hasil berupa penurunan akhir dan lamanya proses konsolidasi.



Gambar 4. Peta Lokasi

3. Hasil dan Pembahasan

Data observasi lapangan yang diperoleh dari pembacaan instrumen *settlement plate* pada dua titik stasiun pengamatan direpresentasikan secara komprehensif pada **Gambar 5**. Grafik tersebut memvisualisasikan korelasi antara profil tinggi pembebanan (*surcharge*) yang diaplikasikan dengan riwayat pergerakan penurunan tanah (*settlement*) yang terjadi seiring berjalannya waktu. Pada area peninjauan ini, konstruksi timbunan (*embankment*) direalisasikan hingga mencapai elevasi maksimum setinggi 7 meter, yang dirancang secara khusus untuk bekerja sebagai beban preloading guna akselerasi proses konsolidasi tanah dasar. Berdasarkan hasil pemantauan instrumentasi, tercatat adanya disparitas nilai pemampatan yang cukup signifikan antara kedua titik ukur tersebut. Titik observasi yang

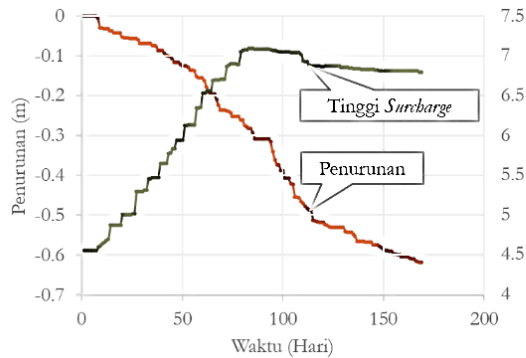
berlokasi di tepi kanan trase jalan, yakni pada Sta. -00+025 R, mengalami akumulasi penurunan mencapai 60 cm.

Angka ini secara substansial lebih besar dan menunjukkan deformasi yang lebih ekstrem jika dibandingkan dengan pencatatan pada SP STA. 00+025 CL yang terletak tepat di sumbu tengah jalan (*centerline*), di mana penurunan hanya mencapai 42 cm. Fenomena perbedaan penurunan (*differential settlement*) ini sangat mungkin dipengaruhi oleh letak geometrisnya; area tepi timbunan cenderung memiliki tingkat kekangan (*confinement*) yang lebih rendah sehingga lebih rentan terhadap efek pergerakan atau deformasi lateral tanah, berbeda dengan area tengah yang menahan beban secara lebih merata dan terpusat.

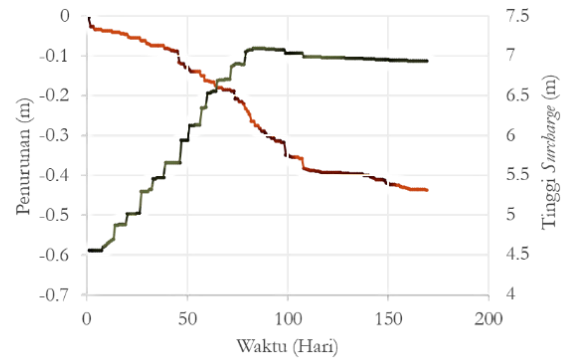
Lebih lanjut, analisis terhadap tren kurva penurunan

menunjukkan bahwa laju pemampatan tanah masih berlangsung secara progresif dan cukup masif hingga hari pengamatan ke-150. Tren pergerakan yang masih curam ini, yang secara khusus sangat dominan terlihat pada titik STA. -00+025 R, mengindikasikan bahwa proses disipasi tegangan air pori berlebih di dalam lapisan tanah masih aktif terjadi. Kondisi dinamis ini merepresentasikan bahwa lapisan tanah dasar masih berada dalam fase konsolidasi primer yang

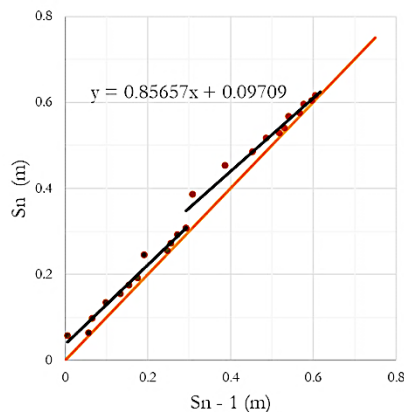
signifikan dan belum mendekati titik ekuilibrium (penurunan akhir), sehingga pemantauan berkelanjutan mutlak diperlukan sebelum tahapan konstruksi selanjutnya direalisasikan. Grafik Asaoka untuk ke dua titik pengamatan diperlihatkan pada **Gambar 6**. Dapat dilihat bahwa grafik Asaoka lebih mirip dengan **Gambar 3** karena pelaksanaan konstruksi secara bertahap (*stage construction*). Hasil analisis grafik Asaoka diringkas dalam **Tabel 1**



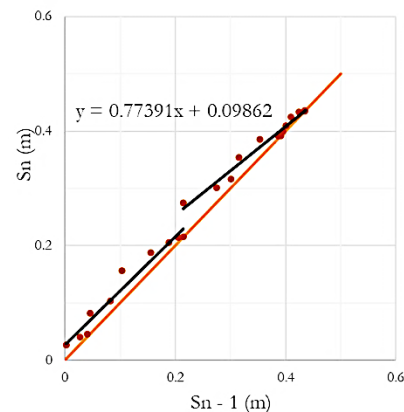
(a) SP Sta. -00+025 R



(b) SP Sta. 00+025 CL

Gambar 5. Grafik hubungan tinggi *surcharge* dengan penurunan

(a) SP Sta. -00+025 R



(b) SP Sta. 00+025 CL

Gambar 6. Plot Asaoka di lokasi studi

Kendala dalam menentukan garis regresi linear pada plot Asaoka dapat mengakibatkan kesalahan dalam menghitung prediksi besarnya penurunan akhir sehingga penentuan waktu konsolidasi menjadi tidak tepat. Pada studi ini, pengambilan garis regresi linear untuk menentukan penurunan akhir menggunakan titik plot penurunan setelah penimbunan *surcharge* selesai. Hasil analisis pada **Tabel 1** menunjukkan besarnya penurunan S_{90} yang hampir sama dengan hasil pengamatan pada **Gambar 5** yaitu penurunan 60.90 cm pada SP STA -00+025 R dan 40.40 cm pada SP STA -00+025 R. Namun waktu penurunan yang di prediksi oleh metode Asaoka jauh lebih cepat dari waktu yang

sebenarnya. Waktu penurunan t_{90} pada SP STA -00+025 R diprediksi 81 hari sedangkan **Gambar 5a** memperlihatkan bahwa penurunan masih berlangsung sampai 150 hari bahkan dengan kecepatan penurunan yang masih signifikan. Demikian juga, waktu penurunan t_{90} pada SP STA -00+025 CL diprediksi 58 hari sedangkan **Gambar 5b** memperlihatkan bahwa kecepatan penurunan masih signifikan sampai pada hari ke 105. Hal ini sama dengan penelitian terdahulu [13, 15] dimana metode Asaoka tersebut dapat memberikan hasil waktu penurunan yang lebih pendek dibandingkan dengan hasil pengamatan *piezometer* di lapangan.

Tabel 1. Rekapitulasi penurunan akhir dan derajat konsolidasi metode Asaoka

SP	S_f (meter)	U (%)	S_{90} (meter)	t_{90} (hari ke-)
-00+025 R	0.677	91.15	0.609	81
00+025 CL	0.449	97.13	0.404	58

Metode Asaoka secara empiris dinilai memiliki tingkat akurasi yang sangat representatif dan mendekati perilaku penurunan aktual di lapangan, dengan syarat utama bahwa tahapan penimbunan (*surcharge*) tidak memicu fluktuasi atau perubahan elevasi muka air tanah yang ekstrem. Stabilitas kondisi hidrogeologi ini sangat krusial karena memastikan proses disipasi tegangan air pori berlebih dapat berjalan secara konstan dan linier. Keluaran analitis dari ekstrapolasi metode ini yang mencakup estimasi besaran penurunan akhir (*ultimate settlement*) dan pencapaian target derajat konsolidasi berdasarkan data historis settlement plate berfungsi sebagai parameter fundamental bagi para praktisi geoteknik. Informasi presisi ini dijadikan acuan strategis (*basis decision making*) untuk menetapkan jadwal unloading atau pembongkaran beban preloading secara aman, sekaligus merumuskan linimasa dimulainya pekerjaan konstruksi struktur permanen di atas timbunan tersebut guna memitigasi risiko kegagalan akibat penurunan sisa (*residual settlement*) di masa mendatang. Kendati menawarkan kepraktisan, pendekatan observasional ini memiliki batasan teknis yang signifikan pada kondisi lingkungan tertentu. Pada kasus-kasus spesifik di mana tinggi muka air tanah berfluktuasi secara tidak konsisten misalnya akibat curah hujan yang intens, pengaruh siklus pasang surut, atau sistem drainase yang buruk mekanisme disipasi air dari rongga pori tanah akan terganggu dan terhambat. Keterlambatan pengaliran air pori ini secara langsung mereduksi tegangan efektif tanah, yang mengakibatkan tertunda atau melambatnya laju pemampatan konsolidasi primer secara dinamis. Dalam kondisi anomali hidrogeologi semacam ini, keandalan Metode Asaoka akan menurun drastis. Laju penurunan yang berfluktuasi membuat kurva hubungan antara penurunan pada waktu ke- n (S_n) terhadap waktu sebelumnya (S_{n-1}) menghasilkan sebaran titik data yang acak (*scattered*). Akibatnya, penarikan garis regresi linier yang menjadi basis utama perhitungan dalam grafik Asaoka tidak dapat dikonstruksikan secara valid. Kegagalan dalam membentuk tren regresi ini pada akhirnya membuat metode Asaoka tidak mampu memproyeksikan target konvergensi penurunan akhir dengan akurat, sehingga membutuhkan metode alternatif atau instrumen tambahan seperti piezometer untuk memonitor disipasi tegangan secara lebih komprehensif.

4. Simpulan

Prosedur pengamatan Asaoka memberikan prediksi besaran penurunan akhir yang baik. Namun untuk waktu

penurunan yang di prediksi dengan metode Asaoka terlalu cepat bila dibandingkan dengan data hasil pengamatan. Hasil penelitian ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya.

Perbedaan hasil prediksi penurunan ini disebabkan oleh proses penimbunan di tanah rawa menyebabkan perubahan tinggi muka air, karena tinggi muka air yang tidak konsisten dan keterlambatan pengaliran air pada lapisan pasir dapat mengakibatkan tertundanya proses konsolidasi. Perubahan muka air pada timbunan menyebabkan perubahan besanya tekanan efektif yang bekerja pada tanah pondasi sehingga plot Asaoka tidak dapat dibuat dengan baik karena kendala dalam menentukan garis regresi linear. Kesalahan dalam menentukan garis regresi linear berakibat terhadap penentuan waktu konsolidasi (t_{90}) menjadi tidak tepat. Karenanya; analisis penurunan akhir harus mempertimbangkan prosedur konstruksi yang sebenarnya dan perubahan ketinggian air pada setiap tahap konstruksi.

Daftar Pustaka

- [1] Direktorat Jenderal Bina Marga, "Manual Desain Perkerasan Jalan," Nomor 02/M/BM/2013, 2013
- [2] Jitno, H. and Gofar, N. "(2005) Stability and Deformation Analysis of Failed Embankments Founded on Soft Clays" *Malaysian Journal of Civil Engineering*. 17 (1):1-12. 2005
- [3] Han, J., "Principles and Practices of Ground Improvement Engineering Principles of Ground Modification," Wiley., 435 pp, 2015
- [4] Deris F.R., Fauzi, A., Hika, M.A.S., Wahyuni, F., Triaswati M. N., Sukobar, Prajitno, A.F.H. "Modifikasi Perbaikan Tanah Dasar Tol Semarang–Demak: Metode Vacuum Preloading dengan Prefabricated Vertical Drain" *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil* 20 (2): 163-169. 2022
- [5] Gofar, N. dan Mohamed, R., "Ground Improvement by Preloading and Vertical Drain," Penerbit Universiti Teknologi Malaysia, ISBN 978-983-52-0573-6, 2008
- [6] Gofar N., Maizir. H. and Yang, E.H., "Effect of Smear on the acceleration of Consolidation Process by Preloading and Vertical Drains," *Proceedings 15th ISGE Annual Scientific Meeting (PIT HATTI XV)*, Yogyakarta, Indonesia. 10-11, 2011
- [7] Hardiyatmo, "Metode vacuum Preloading sebagai Salah Satu Alternatif Solusi Pembangunan Timbunan di

Atas Tanah Lunak,” *Penerbit Universitas Gadjah Mada*, Yogyakarta, 2016

- [8] SNI 8460:2017., “Persyaratan Perancangan Geoteknik,” *Badan Standardisasi Nasional*, 2017
- [9] Asaoka, A., “Observational Procedure of Settlement Prediction,” *Soils and Foundation*, 18 (4): 87-101, 1978
- [10] Tan, S.A., “Validation of Hyperbolic Method for Settlement in Clays with Vertical Drains,” *Soils and Foundation*, 35(1):101-113, 1995
- [11] CIRIA, “The Observational Method in Ground Engineering: Principles and Applications,” Report No. 185, 1999
- [12] Andi, NF. & Gofar, N. (2021) Estimasi Penurunan Jalan di atas Tanah yang diperbaiki dengan PVD menggunakan metode observasi. *Jurnal Rekayasa* 11(2):136-152 <https://doi.org/10.37037/jrftsp.v11i1.98>
- [13] Gofar, N “Pengaruh Perubahan Muka Air Tanah Terhadap Prediksi Penurunan Jalan Tol Di Atas Tanah Lunak Yang Diperbaiki dengan Pembebanan Awal Dan Drainase Vertikal Gofar” Laporan Penelitian Mandiri Program Studi Teknik Sipil. Program Pascasarjana. Universitas Bina Darma, Palembang 2021.
- [14] Arhab & Gofar, N. “Percepatan Proses Konsolidasi Tanah Lempung dengan Aplikasi Tekanan Vakum dan Drainase Vertikal. *Rekayasa Sipil*. 17(3):300-307, 2023.
- [15] Mikasa, “Consolidation of Soft Clay,” *Kajimashuppan-kai*, Tokyo, 1963

Halaman ini sengaja dikosongkan