

Nilai Settlement Ratio Pada Pekerjaan Perbaikan Tanah Dengan Teknik Vacuum Preloading (Studi Kasus Proyek Jalan Tol Palindra Seksi 1)

D. Herwan¹, I. Masyhur², M. H. Bigman², S. Endra², S. Rizal³, dan S. Idwan³

¹Program PascaSarjana Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

²Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

³PT Hutama Karya, Jakarta, Indonesia

E-mail: herwand@yahoo.com

ABSTRAK: Analisis untuk memprediksi penurunan konsolidasi umumnya dilakukan dengan menggunakan metode Terzaghi 1 dimensi. Berdasarkan beberapa data pengamatan lapangan (*settlement plate*) yang dilakukan, prediksi penurunan konsolidasi dengan metode tersebut memberikan nilai terlalu konservatif. Penyebabnya kemungkinan besar adalah masalah konsepnya yang terlalu sederhana dan nilainya cukup jauh dengan yang terjadi di lapangan. Penurunan berdasarkan analisis 2D memberikan hasil yang lebih baik, hal itu dapat dilihat pada perbandingan prediksi nilai penurunan berdasarkan analisis 2D elemen hingga dengan data hasil instrumentasi lapangan. Penggunaan analisis 2D untuk sebagian para praktisi juga merupakan masalah tersendiri, selain perlu pemahaman yang cukup mendalam juga membutuhkan software yang harganya tentu saja tidak murah. Dalam penelitian ini secara sederhana disampaikan suatu nilai rasio penurunan, yaitu perbandingan antara nilai penurunan yang diperoleh berdasarkan analisis 1D dan nilai penurunan yang diperoleh dari hasil pengamatan lapangan. Penelitian sebelumnya berdasarkan data laboratorium, secara tidak langsung menyebutkan nilai rasio ini antara 0.81-1.1, untuk kondisi tanah di lokasi studi dan pendekatan yang berbeda tentu saja nilainya dapat berbeda. Dengan demikian seharusnya untuk memperoleh nilai penurunan yang lebih sesuai dengan data pengamatan lapangan, maka para praktisi dapat menggunakan analisis 1D yang lebih sederhana kemudian tinggal mengkalikannya dengan rasio penurunan berdasarkan penelitian ini untuk memperoleh nilai prediksi penurunan yang lebih mendekati data pengukuran lapangan, dengan batasan-batasan tertentu. Data penyelidikan tanah (uji lapangan dan laboratorium) dalam penelitian ini tersedia cukup baik, demikian juga data hasil pengamatan lapangan seperti *settlement plate* dan piezometer. Area yang menjadi studi kasus untuk penelitian ini adalah area Proyek Jalan Tol Palindra seksi 1. Nilai rasio penurunan juga telah dibandingkan dengan penelitian sebelumnya untuk meningkatkan kualitas penelitian yang dilakukan.

Kata Kunci: Penurunan konsolidasi, *settlement* rasio, *settlement plate*

1. PENDAHULUAN

Analisis dan pemodelan *vacuum*, terutama masalah tekanan *vacuum* dan distribusi tekanan *vacuum*, merupakan tantangan tersendiri dalam perencanaan perbaikan tanah dengan metode *vacuum preloading*. Pendekatan konvensional dalam analisis penurunan timbunan adalah dengan menggunakan analisis penurunan konsolidasi 1D Terzaghi, yang dapat saja diterapkan dalam perencanaan *vacuum preloading*, yaitu dengan mengkalikannya dengan suatu faktor yang disebut *settlement ratio*.

Mekanisme konsolidasi secara sederhana telah jelaskan oleh Terzaghi (1940), dimana dalam teorinya diasumsikan struktur atau partikel tanah saling terikat satu sama lain dengan tegangan molekuler tertentu dan merupakan material yang porous dengan *properties* yang elastik. Pori tanah dianggap dipenuhi oleh air. Beban yang diberikan kepada tanah akan mengakibatkan penurunan bertahap yang tergantung kepada rate keluarnya air dari pori tanah. Terzaghi menerapkan konsep ini dalam penurunan tanah pada suatu kolom tanah di bawah beban konstan dan dijaga dari deformasi lateral. Persamaan aliran air transient pada tanah butir halus adalah sebagai berikut:

$$k_x \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{e_0}{1+e_0} \frac{S_0 \gamma_{w0}}{100} \left[C_2 \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{a_v}{e_0} \left(\frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial \sigma}{\partial t} \right) \right] \quad (1)$$

Untuk kondisi sistim:

- 1 dimensi, arah vertikal saja
- Tidak ada perubahan tegangan terhadap waktu
- *Properties* tanah dianggap tetap terhadap waktu (*uncoupled*)
- Tersaturasi penuh

Maka formula diatas dapat diubah menjadi:

$$\frac{k_z (1+e_0)}{\gamma_{w0} a_v} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial \sigma}{\partial t} \quad (2)$$

Dengan $\frac{\partial \sigma}{\partial t} = 0$, dan C_v = koefisien konsolidasi = $\frac{k_z (1+e_0)}{\gamma_{w0} a_v}$

Sehingga persamaan konsolidasi 1 dimensi Terzaghi;

$$c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial u}{\partial t} \quad (3)$$

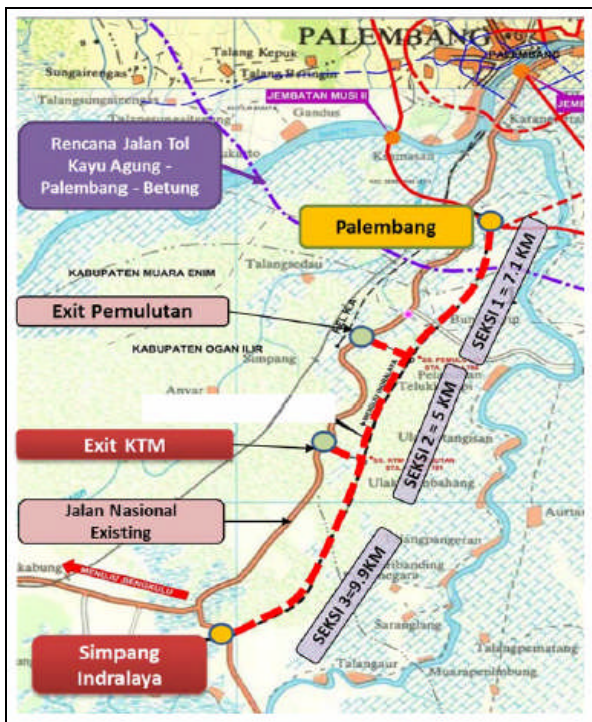


Figure 1 Proyek Tol Palembang Indralaya

Teori ini umum digunakan dalam analisis penurunan mengingat metode yang diusulkan mudah dan sangat sederhana. Namun demikian dari asumsi-asumsi yang digunakan dan penyederhanaan yang dilakukan, terdapat kondisi tertentu dimana metode ini tidak bisa digunakan. Seringkali terdapat perbedaan yang cukup besar antara hasil analisis dengan metode ini dengan hasil pengukuran di lapangan.

Untuk *settlement ratio*, dalam Stapelfeldt, T (2006) disajikan hubungan antara *settlement ratio* terhadap *stress ratio*, diketahui bahwa untuk area sekitar permukaan tanah maka nilai *settlement ratio* adalah sebesar 0.81, lalu nilai *settlement ratio* ini meningkat seiring dengan penurunan nilai *stress ratio*, hingga dicapai nilai maksimum *settlement ratio* sebesar 1.1 pada *stress ratio* 0.5.

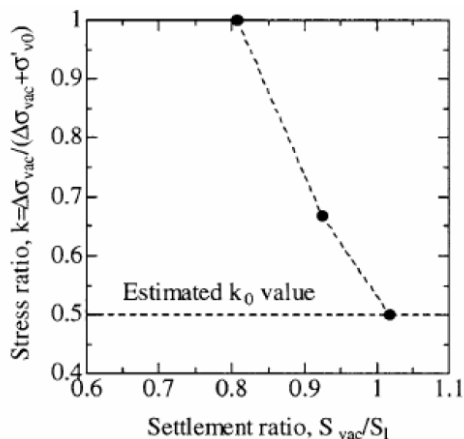


Figure 2 Settlement Ratio vs Stress Ratio (Stapelfeldt, 2006)

Sedikit berbeda yang dilakukan dalam penelitian ini, *settlement ratio* yang cari adalah nilai *settlement ratio* dari total penurunan badan timbunan yang terbaca pada instrumentasi dan pada elevasi *settlement plate*.

2. PROYEK TOL PALINDRA

Serangkaian pengujian dan pengumpulan data untuk menentukan nilai *settlement ratio* ini telah dilakukan, yaitu dari Proyek Tol Palindra Seksi 1. Proyek Tol Palindra merupakan proyek tol pertama dan terpanjang yang menggunakan teknik *vacuum preloading*. Tol ini merupakan bagian dari Tol Trans Sumatera yang menghubungkan antara Palembang dan Indralaya dengan total panjang 22 km. Terbagi menjadi 3 seksi; Seksi 1 (7.1 km, Palembang-Exit Pamulutan), Seksi 2 (5 km, Exit Pamulutan-Exit KTM)), dan Seksi 3 (9.9 km, Exit KTM-Indralaya).



Figure 3 Kondisi Lapangan Proyek Tol Palembang Indralaya

Area Tol Palindra merupakan area genangan dan rawa. Pada musim hujan, kondisi muka air dapat naik hingga 1 m di atas permukaan tanah. Pada kondisi banjir, area yang tergenang dapat mencapai 80% dari total rencana panjang jalan tol.

3. KONDISI TANAH SEKSI 1 TOL PALINDRA

Untuk Seksi 1 (STA 0+000 s.d STA 7+100) terdapat 9 titik pembooran teknik. Nilai NSPT & sampel inti menunjukkan ketebalan tanah lempung lunak berkisar antara 15.5 m hingga 33.5 m.

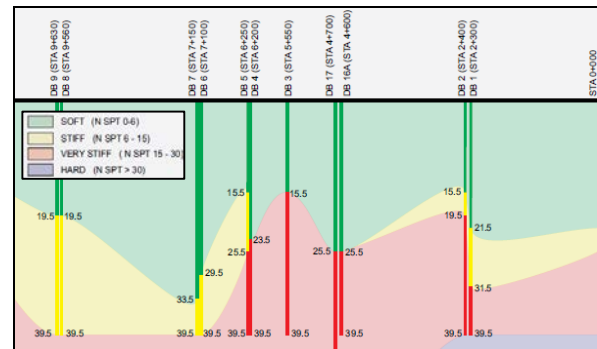


Figure 4 Stratifikasi Tanah Seksi 1 Tol Palindra

Serangkaian pengujian laboratorium pada beberapa titik bor yang telah disesuaikan dengan posisi rencana lokasi *vacuum* dilakukan untuk mengetahui *engineering properties* dari tanah di lokasi ini.

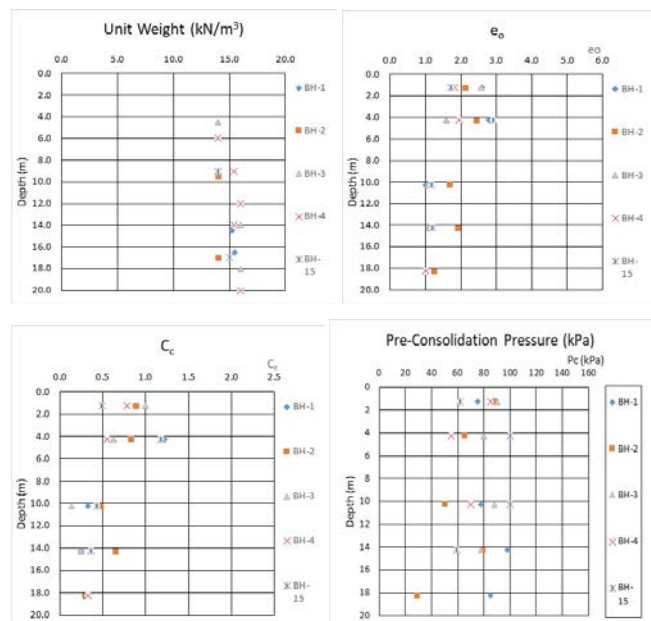


Figure 5 Nilai Properties dan Parameter Deformasi Tanah Area Seksi 1 Tol Palindra

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium nilai angka pori berkisar antara 1 hingga 3, sedangkan nilai koefisien kompresi tanah berkisar antara 0.3 hingga 1.2. Tekanan pra konsolidasi berkisar antara 50 hingga 100 kPa. Dengan elevasi *finish grade* timbunan Jalan Tol pada Seksi 1 berkisar antara 2 m hingga 11 m, sehingga tentu saja dengan kondisi tanah seperti itu maka masalah stabilitas dan penurunan akan menjadi isu utama pada pelaksanaan proyek Jalan tol ini. Setelah serangkaian proses pemilihan metode perbaikan tanah yang sesuai, dengan pertimbangan masalah stabilitas, ketersediaan material untuk timbunan, kecepatan pelaksanaan, ketersediaan teknologi dan peralatan, harga, dan resiko, maka diputuskan *vacuum preloading* sebagai metode perbaikan tanah untuk proyek ini.

4. INSTRUMENTASI VACUUM PRELOADING

Pada pelaksanaan pekerjaan *vacuum preloading*, terdapat serangkaian alat instrumentasi yang digunakan, diantaranya adalah; inklinometer, piezometer (*vibrating wire*), *vacuum gauge*, *settlement plate*, dan *extensometer*.



Figure 6 Stratifikasi Tanah Seksi 1 Tol Palindra

Monitoring dengan instrumentasi dilakukan setiap hari hingga semua persyaratan penerimaan penghentian *vacuum* dihentikan, yaitu; derajat konsolidasi sudah mencapai minimum 90%, *load ratio* juga sudah mencapai minimum 1.2 sesuai dengan persyaratan yang ada dalam Speksifikasi Khusus untuk Metode Pra-beban dan *Vacuum*.

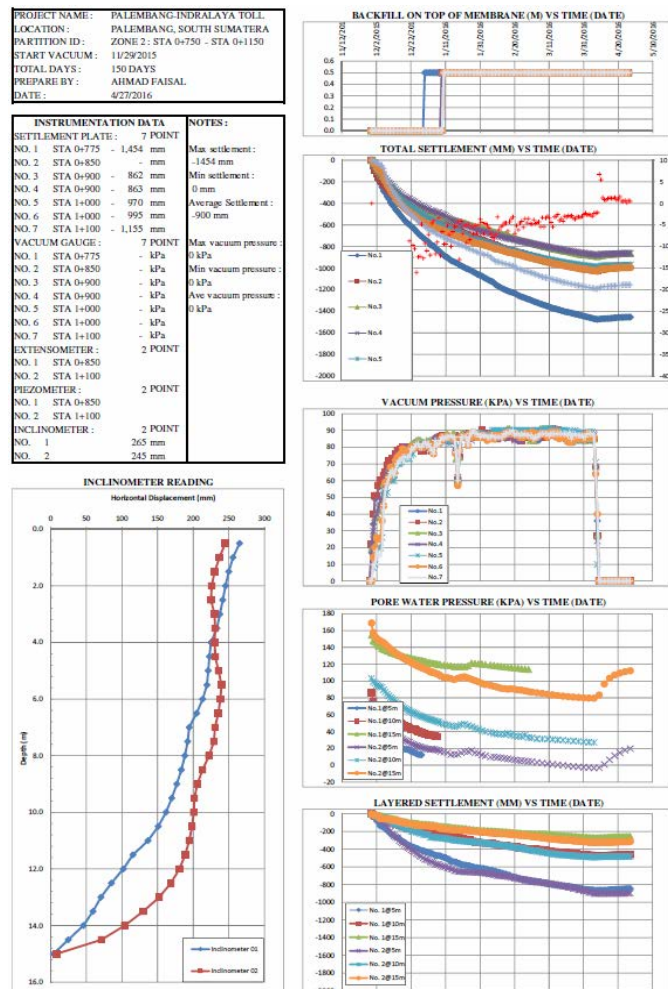


Figure 7 Hasil Monitoring Instrumentasi Zona 2 – Seksi 1

5. ANALISIS PENURUNAN DAN SETTLEMENT RATIO

Pada tahap perencanaan proyek ini, analisis prediksi besar penurunan konsolidasi telah dilakukan pada tahap perencanaan dengan menggunakan metode 1D Terzaghi. Kemudian pada tahap pelaksanaan, tahapan pemantauan dan *monitoring* instrumentasi juga dilakukan hingga semua syarat penghentian *vacuum* dipenuhi dan *vacuum* dihentikan. Berikut merupakan perbandingan antara hasil analisis 1D dengan hasil pemantuan lapangan dengan *settlement plate*:

Table 1 Settlement, Vacuum vs 1D Terzaghi

Zona	Settlement (cm)		Ratio (b/a)
	1-D Terzaghi Consolidation (a)	Settlement Plate Monitoring (b)	
B	115.98	108.500	0.94
9	69.69	43.300	0.62
19	66.46	63.100	0.95
12	86.68	77.600	0.90
17	132.26	84.900	0.64
10	63.97	46.600	0.73
10	48.28	46.600	0.97
6	128.35	100.025	0.78
25	85.42	72.225	0.85
25	97.54	72.225	0.74
13	113.06	116.425	1.03
13	163.21	116.425	0.71

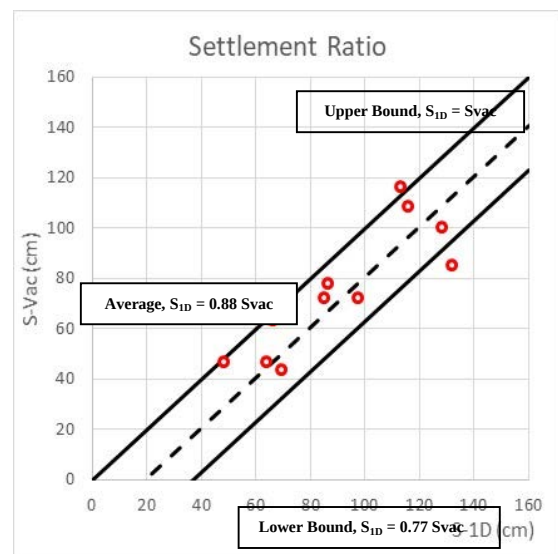


Figure 8 Settlement Ratio

Dari nilai di atas, terlihat bahwa nilai *settlement ratio* yang diperoleh adalah maksimum rata-rata sebesar 1, minimum rata-rata sebesar 0.77, dan dengan trend sebesar sebesar 0.88.

6. KESIMPULAN

Untuk perencanaan *vacuum*, analisis penurunan akibat tekanan *vacuum* dan beban *preloading* dapat saja diprediksi dengan metode konvensional 1D Terzaghi, yaitu dengan mengalkannya menggunakan suatu nilai yang disebut *settlement ratio*. Berdasarkan hasil analisis dan perbandingannya dengan data *settlement plate*, nilai *settlement ratio* untuk Zona 1 Tol Palindra adalah berkisar antara 0.77 hingga 1, dengan rata-rata sebesar 0.88. Nilai ini masih dalam rentang nilai *settlement ratio* yang diusulkan peneliti sebelumnya yaitu sebesar 0.81 hingga 1.1.

7. REFERENSI

- Bergado D. T., Chai. J. C., Miura N., and Balasubramaniam A.S. 1998. PVD Improvement of Soft Bangkok Clay with Combined Vacuum and Reduced Sand Embankment Preloading, *Geotechnical Engineering Journal*, SEAGC, 29 (1), 95-122
- Chai J. C., Carter J.P., and Hayashi S. 2006. Vacuum Consolidation and its Combination with Embankment Loading, *Can. Geotechnique*, J 43, 985-996
- Choa V. 1989. Drains and Vacuum Preloading Pilot Test, 1347-1350
- Chu J., Yan S. W. (2005): Application of the Vacuum Consolidation Method in Soil Improvement Projects. Griffin H., O'Kelly B. C. 2014. Ground Improvement by Vacuum Consolidation, *Ground Improvement*, Proceeding of The Institution of Civil Engineers Vol. 167, 274-290
- Hayashi H., Nishikawa J., and Sawai. K, 2004. Improvement Effect of Vacuum Consolidation and Prefabricated Vertical Drain in Peat Ground. Helwany, S. 2007. *Applied Soil Mechanics: with ABAQUS Applications*, John Wiley & Sons
- Indraratna B., Redana. I. W. 2000. Numerical modeling of vertical drains with smear and well resistance installed in soft clay, *Canadian Geotechnical. Journal*, 37 (1), 132-145
- Indraratna, B. 2012. Vertical drains, vacuum consolidation & preloading, University of Wollongong
- Mesri G., and Khan A. Q. 2012. Ground improvement using vacuum loading together with vertical drains, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 138(6), 680-689
- Stapelfeldt, T. 2006. Preloading and vertical drains, Electronic publication, http://www.tkk.fi/Yksikot/Rakennus/Pohja/Preloading_and_vertical_drains.pdf