

STUDI KASUS PERBANDINGAN ANALISIS PENURUNAN AKIBAT TIMBUNAN, DI TANGERANG, BANTEN

Fachry Ibrahim¹, Gregorius Sandjaja S.² dan Aksan Kawanda³

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: fchryIbrahim58@gmail.com

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: gregoriuss@ft.untar.ac.id

³ Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: akawanda@geotech-indonesia.com

ABSTRAK

Permasalahan yang sering terjadi dalam konstruksi pembangunan jalan adalah kondisi tanah dasar pada permukaan tanah yang lunak. Apabila tidak dilakukan perbaikan tanah terlebih dahulu pada jenis tanah ini, maka tanah dasar akan mengalami penurunan yang relatif besar, maka dari itu penimbunan yang dilakukan pada tanah lunak akan mengalami penurunan konsolidasi. Konsolidasi merupakan fenomena dalam mekanika tanah yang sering menimbulkan permasalahan geoteknik yang terjadi pada waktu yang lama. perbaikan tanah dilakukan dengan pemasangan PVD yang diberi beban untuk mempercepat proses konsolidasi demi tercapainya penurunan akhir. Studi ini bertujuan untuk mengetahui penurunan konsolidasi dengan metode Terzaghi, program FEM (finite element method), dan metode Asaoka, lalu membandingkan hasil dari penurunan konsolidasi ketiga metode dengan aktual. Prediksi penurunan konsolidasi teori Terzaghi, memberikan hasil yang lebih besar dari penurunan aktual. Pada prediksi penurunan tanah dengan FEM, analisis terhadap penurunan dan waktu sangat bergantung terhadap parameter, sehingga metode ini tidak memberikan hasil yang cukup baik jika tidak berdasarkan parameter pada tanah aslinya. Estimasi hasil dari Asaoka dapat diperoleh nilai penurunan akhir yang lebih mendekati penurunan aktual lapangan. Nilai penurunan ini diperoleh berdasarkan pengamatan penurunan awal di lapangan, sehingga hasil analisis akan lebih sesuai.

Kata kunci: Penurunan konsolidasi, teori Terzaghi, *finite element method*, teori Asaoka.

1. PENDAHULUAN

Tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas, yang terletak di atas batuan dasar. Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel-partikel ruang yang berisi air, udara ataupun keduanya. Pada Kondisi tanah dasar dalam konstruksi pembangunan jalan merupakan permasalahan yang sering terjadi, terlebih pada permukaan tanah lunak. Apabila tidak dilakukan perbaikan tanah terlebih dahulu pada jenis tanah ini, maka jalan yang dibangun akan mengalami penurunan yang relatif besar pada tanah dasar, maka dari itu penimbunan yang dilakukan pada tanah lunak akan mengalami penurunan konsolidasi.

Konsolidasi merupakan fenomena dalam mekanika tanah yang sering menimbulkan permasalahan geoteknik yang terjadi pada waktu yang lama. Konsolidasi terjadi akibat berkurangnya volume atau berkurangnya rongga pori dari tanah jenuh yang berpermeabilitas rendah akibat beban statis yang bekerja dalam periode tertentu, di mana prosesnya dipengaruhi oleh kecepatan terperasnya air pori keluar dari rongga tanahnya. Maka dari itu diperlukan perbaikan tanah dengan dilakukan pemasangan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) yang diberi beban untuk mempercepat proses konsolidasi demi tercapainya penurunan akhir.

Jika lapisan tanah mengalami pembebanan maka lapisan tanah akan mengalami regangan atau penurunan. Regangan yang terjadi dalam tanah di sebabkan oleh berubahnya susunan tanah oleh pengurangan rongga pori/air didalam tanah. Jumlah dari regangan sepanjang kedalaman lapisan merupakan penurunan total tanahnya. Penurunan akibat beban adalah jumlah total dari penurunan segera (*immediate settlement*) dan penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*).

Studi parameter tanah

Analisis parameter tanah yang dilakukan adalah dengan mengelompokkan tanah sesuai karakteristik tanah, penentuan parameter tanah dari beberapa data tanah dengan cara korelasi parameter tanah yang tidak diketahui.

Korelasi parameter tanah

Berat volume tanah jenuh didapatkan berdasarkan nilai N-SPT dengan merujuk pada Tabel 1 dan berat volume tanah kering dengan merujuk pada Tabel 2.

Tabel 1. Korelasi Empiris Antara Nilai N-SPT dan Berat Volume Tanah Jenuh (γ_{sat}) untuk Tanah Kohesif (Lambe & Whitman 1969, dari Terzaghi & Peck 1948)

N-SPT	Konsistensi	q_u (kN/m ²)	γ_{sat} (kN/m ³)
< 2	Very Soft	< 25	16 - 19
2 - 4	Soft	25 - 50	16 - 19
4 - 8	Medium	50 - 100	17 - 20
8 - 15	Stiff	100 - 200	19 - 22
15 - 30	Very Stiff	200 - 400	19 - 22
> 30	Hard	> 400	19 - 22

Tabel 2. Korelasi Empiris antara Berat Volume Tanah Jenuh dan Berat Volume Tanah Kering (Budhu, 2000)

Jenis tanah	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{dry} (kN/m ³)
Kerikil	20 - 22	15 - 17
Pasir	18 - 20	13 - 16
Lanau	18 - 20	14 - 18
Lempung	16 - 20	14 - 21

Angka pori (e) didapatkan berdasarkan hubungan antara angka pori dan porositas dengan persamaan 1:

$$e = \frac{n}{1-n} \quad (1)$$

Berat spesifik atau berat jenis (*specific gravity*) (G_s) didapatkan berdasarkan persamaan 2:

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w(G_s+e)}{1+e} \quad (2)$$

Berat volume tanah basah atau lembab (γ_b) dapat dinyatakan berdasarkan persamaan 3:

$$\gamma_b = \frac{G_s \gamma_w (1+W)}{1+e} \quad (3)$$

S_u atau C_u yang merupakan kuat geser *undrained* menurut Bowles (1988) dapat ditentukan berdasarkan persamaan 4:

$$S_u = C_u = 6 \times \text{N-SPT} \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (4)$$

Beban terbagi rata berbentuk trapesium memanjang tak hingga

$\Delta\sigma$ merupakan tambahan tegangan akibat pengaruh beban timbunan yang ditinjau di tengah-tengah lapisan. Menurut Braja M. Das (1986), dalam bukunya “*Principles of Foundation Engineering, Second Edition*” diagram tegangan tanah akibat timbunan adalah sebagai persamaan berikut:

$$\Delta\sigma = \frac{q_0}{\pi} \left[\left(\frac{B1+B2}{B2} \right) (\alpha1 + \alpha2) - \frac{B1}{B2} \alpha2 \right] \quad (5)$$

dengan $\Delta\sigma$ = tegangan akibat beban timbunan yang ditinjau di tengah lapisan, q_0 = beban timbunan ($\gamma_{\text{timbunan}} \times H_{\text{timbunan}}$), $B1$ = setengah lebar timbunan, $B2$ = panjang proyeksi horizontal kemiringan timbunan, $\alpha1 = \tan^{-1} \left(\frac{B1+B2}{Z} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{B1}{Z} \right)$, $\alpha2 = \tan^{-1} \left(\frac{B1}{Z} \right)$ dan Z = kedalaman yang ditinjau

Teori Terzaghi

Teori konsolidasi satu dimensi Terzaghi telah lama dipergunakan untuk memprediksi penurunan serta waktu konsolidasi. Teori ini sudah sangat lazim dipergunakan dan dianggap dapat menjelaskan penurunan akibat kompresi dan drainase satu dimensi pada tanah secara baik.

Fase pemampatan konsolidasi primer (*primary consolidation*)

Pemampatan konsolidasi primer merupakan proses keluarnya air dan udara dari dalam tanah akibat bekerjanya beban luar yang dipengaruhi oleh waktu. Besar pemampatan konsolidasi primer pada lapisan tanah lunak setebal H dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Das, 1985).

Untuk lempung *normally consolidated*:

$$S_c = C_c \frac{H}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta p}{\sigma'_0} \right) \quad (6)$$

Untuk lempung *overconsolidated*:

(a) Bila $\sigma'_0 + \Delta p < \sigma'_c$:

$$S_c = C_s \frac{H}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta p}{\sigma'_0} \right) \quad (7)$$

(b) Bila $\sigma'_0 + \Delta p > \sigma'_c$:

$$S_c = C_s \frac{H}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} \right) + C_c \frac{H_i}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta p}{\sigma'_c} \right) \quad (8)$$

dengan S_c = besar pemampatan konsolidasi, C_c = indeks pemampatan tanah, C_s = indeks pemampatan kembali, H = tebal lapisan tanah, σ'_0 = tekanan *overburden* efektif, σ'_c = tekanan prakonsolidasi dan Δp = tambahan tegangan

Analisis dan pemodelan penurunan tanah dengan FEM (*finite element method*)

Analisis dan prediksi penurunan konsolidasi tanah dapat dilakukan dengan FEM. Program pemodelan tanah yang menggunakan dasar teori metode elemen hingga bertujuan untuk memperoleh hasil desain perhitungan yang dibutuhkan dengan menginput parameter-parameter tanah dan elemen lain yang berperan dalam pekerjaan konstruksi.

Nilai parameter tanah yang digunakan dalam pemodelan FEM diperoleh dari data laboratorium maupun dari referensi korelasi parameter berdasarkan tipe tanah, berikut langkah-langkah pada analisis dengan FEM:

1. Langkah *input* merupakan langkah awal untuk melakukan pemodelan kondisi geoteknik yang terdiri dari koordinat dimensi dan segala parameter tanah yang akan ditinjau.
2. Langkah kalkulasi merupakan langkah setelah pemodelan selesai dan langsung diperoleh berbagai model perhitungan sesuai tujuan Analisis.
3. Merupakan langkah akhir dengan mengeluarkan hasil akhir pada Analisis.

Prosedur observasi Asaoka

Pada prosedur observasi Asaoka, hubungan antara penurunan tanah dan waktu diturunkan melalui persamaan diferensial berdasarkan persamaan dasar konsolidasi (Mikasa, 1963), yaitu:

$$\varepsilon_v = C_v \varepsilon_{zz} \quad (9)$$

dengan $\varepsilon(t, z)$ = regangan vertikal (regangan volume), $t (\geq 0)$ = waktu, z = kedalaman dari bagian atas lempung dan C_v = koefisien konsolidasi

Persamaan dasar konsolidasi ini diturunkan menjadi persamaan diferensial linier biasa oleh Asaoka (1978) untuk mendapatkan persamaan yang dapat menentukan nilai penurunan pada interval waktu ke- j , yang dituliskan sebagai:

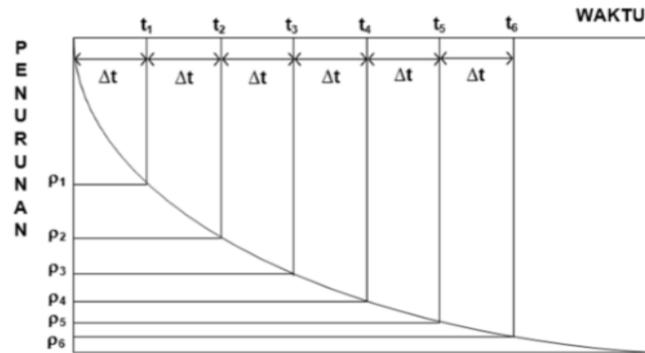
$$\rho_j = \frac{\beta_0}{1-\beta_1} - \left\{ \frac{\beta_0}{1-\beta_1} - \rho_0 \right\} (\beta_1)^j \quad (10)$$

Dimana ρ_j adalah besarnya penurunan tanah pada waktu $t = tj$, dan koefisien β_0 dan β_s ($s = 1, 2, \dots, n$) adalah parameter yang tidak diketahui.

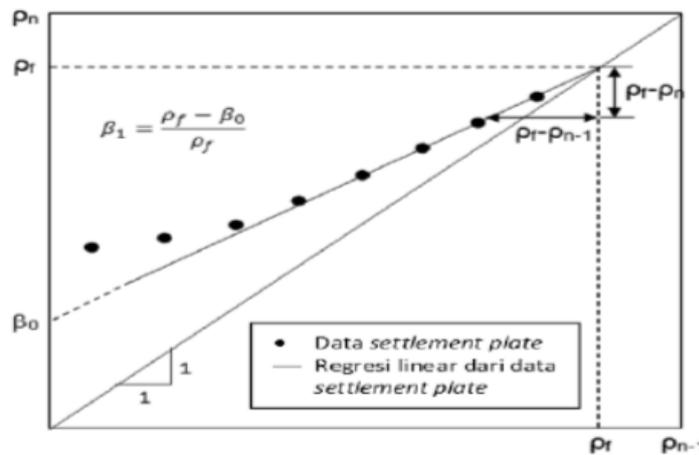
Pengukuran data penurunan tanah di lapangan dilakukan dengan menggunakan instrumen *settlement plate*. Untuk memperoleh prediksi penurunan akhir tanah, maka data-data penurunan ini harus dipilih, sehingga diperoleh nilai

penurunan $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \dots, \rho_n$ dengan interval waktu Δt yang konstan seperti dilihat pada Gambar 1. Kemudian nilai ρ_n (sumbu-y) dan nilai ρ_{n-1} (sumbu-x) diplot sehingga akan diperoleh titik-titik yang membentuk garis lurus, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. β_0 adalah waktu titik plot pertama dari regresi linear ρ_n dan ρ_{n-1} . Penurunan akhir (ρ_f) adalah titik pertemuan antara garis $\rho_n = \rho_{n-1}$ (bersudut 45°) dengan *trendline* dari garis ρ_n vs ρ_{n-1} sebenarnya. Setelah diperoleh penurunan akhir (ρ_f) maka dapat dicari nilai β_1 yang merupakan kemiringan dari garis ρ_n vs ρ_{n-1} sebenarnya, yang memberikan hubungan:

$$\beta_1 = \frac{\rho_f - \beta_0}{\rho_f} \tag{11}$$



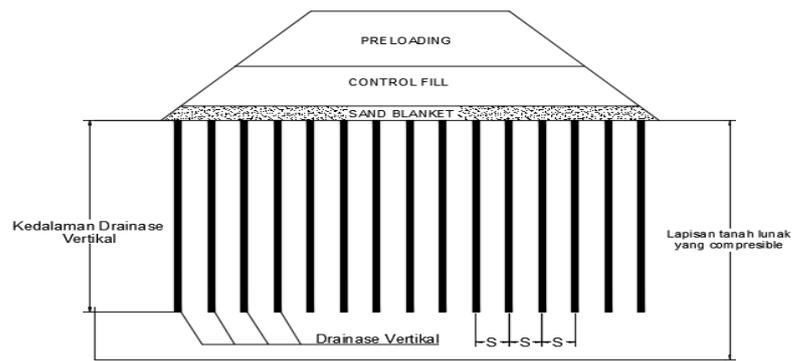
Gambar 1. Prosedur Analisis Data Monitoring Penurunan dengan Interval Waktu yang Konstan (Magnan and Deroy, 1980)



Gambar 2. Analisis Prediksi Penurunan Akhir Metode Asaoka (1978)

Prefabricated vertical drains (PVD)

Perbaikan tanah dengan metode konsolidasi secara umum dapat diartikan sebagai upaya yang dilakukan dengan menempatkan beban statis yang bersifat sementara (*pre-loading*) di atas lapisan tanah yang akan diperbaiki. Akibat beban tersebut, maka tanah akan mengalami pemadatan akibat tekanan dari beban sementara tersebut. Oleh karena proses konsolidasi membutuhkan waktu yang lama, maka biasanya metode konsolidasi tidak berdiri sendiri, melainkan dikombinasi dengan metode lain kombinasi dengan metode drainase (penyaluran air tanah ke permukaan tanah).



Gambar 3. Visualisasi penggunaan PVD

Pada perencanaan vertikal drain pada umumnya dihitung dengan menggunakan persamaan Barron (1948) yang relatif sederhana yaitu:

$$t = \frac{D^2}{8C_r} F_n \ln \frac{1}{1-U_h} \quad (12)$$

dengan t = waktu yang diperlukan untuk mencapai U_h , U_h = derajat konsolidasi rata-rata akibat tekanan air pori ke arah horizontal, d_e = diameter pengaruh satu drain, S = jarak as ke as vertikal drain, C_r = koefisien konsolidasi akibat disipasi air pori ke arah radial (horizontal), $F_n = \ln(D/d_w) - (3/4)$, faktor jarak vertikal drain, $d_w = (a+b)/2 \approx 50$ mm diameter sumur ekuivalen vertikal drain, a = lebar vertikal drain dan b = ketebalan vertikal drain

Dengan memasukkan harga t tertentu, dapat dicari harga U_h pada lapisan tanah yang dipasang PVD. Selain konsolidasi akibat aliran air pori arah horizontal, juga terjadi konsolidasi akibat aliran air pori arah vertikal U_v . Harga U_v dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$T_v = (t \times C_v) / (H d_r)^2 \quad (13)$$

dengan T_v = faktor waktu, t = waktu yang dipilih, C_v = koefisien konsolidasi dan $H d_r$ = jarak air pori di lapisan tanah untuk mengalir keluar

Harga U_v dapat dicari dengan rumus:

Untuk U_v antara 0 s/d 60%

$$U_v = \left(2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \right) 100\% \quad (14)$$

Untuk U_v antara 60% s/d 100%

$$U = (100 - 10^a)\% \quad (15)$$

dengan U_v = derajat konsolidasi arah vertical, T_v = faktor waktu arah vertical dan $a = (1.781 - T)/0.933$

Derajat konsolidasi rata-rata U dapat dicari dengan cara:

$$U = [1 - (1 - U_h)(1 - U_v)]\% \quad (16)$$

U_h dicari menggunakan persamaan:

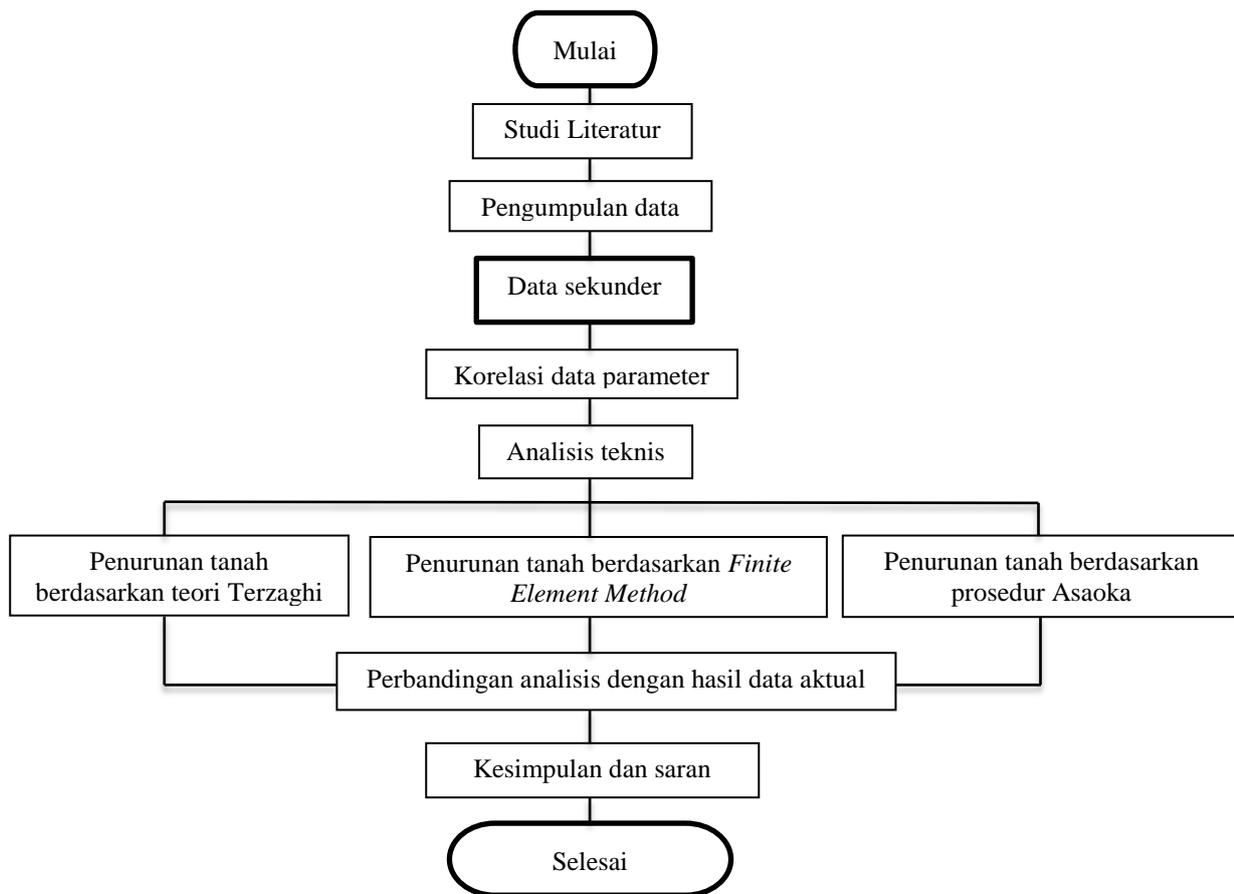
$$U_h = \left[1 - \left(1 / e^{\left(\frac{t \times 8 \times C_h}{d_e^2 \times F(n)} \right)} \right) \right] \% \quad (17)$$

dengan U = derajat konsolidasi total, U_v = derajat konsolidasi arah vertical, U_h = derajat konsolidasi arah horizontal, e = bilangan natural, t = waktu konsolidasi, C_h = koefisien konsolidasi arah horizontal, d_e = diameter ekuivalen dari lingkaran tanah pengaruh PVD dan $F(n)$ = faktor hambatan disebabkan karena jarak antar PVD

2. METODOLOGI PENELITIAN

Kerangka berpikir

Seluruh langkah kerja yang akan dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat melalui kerangka berpikir yang dapat dilihat melalui Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 3. Rekapitulasi Data Parameter Tanah Dasar

Kedalaman (m)	0 - 2	2 - 4	4 - 6	6 - 8	8 - 11	11 - 12	12 - 15
NSPT	5	7	11	9	9	14	17
γ_{sat} (kN/m ³)	16.38	19.25	18.38	19.43	15.27	21.57	16.41
γ_d (kN/m ³)	9.90	17.79	12.84	18.00	8.23	20.50	10.00
γ_b (kN/m ³)	15.78	18.91	17.74	19.09	14.60	20.81	15.48
e	1.68	0.82	1.10	0.79	2.17	0.47	1.62
C_c	0.50	0.48	0.60	0.39	0.59	0.39	0.47
C_s	0.10	0.10	0.12	0.08	0.12	0.08	0.09
C_v (cm ² /s)	5.13E-04	9.75E-04	8.30E-04	1.14E-03	2.34E-04	1.00E-03	5.18E-04
K (cm/s)	1.13E-06	5.75E-06	4.30E-06	6.03E-06	7.02E-08	9.39E-06	1.18E-06
S_u (kN/m ²)	30	42	74	54	54	84	102
ϕ (°)	27	26	24	27	28	24	26
E	5400	7560	13320	9720	9720	15120	18360
ν	0.2						

Catatan: Data yang ditebalkan merupakan data hasil korelasi

Analisis penurunan metode Terzaghi

Perhitungan penurunan konsolidasi primer ditinjau pada setiap kedalaman dengan interval 1 m. Berikut adalah tabel perhitungan penurunan untuk kedalaman per 1 m.

Tabel 4. Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer

Kedalaman (m)	H (m)	e	C _c	C _s	σ _o ' (t/m ²)	Δσ (t/m ²)	σ _c ' (t/m ²)	Sc (m)
0 - 1	1	1.68	0.50	0.10	7.5779	6.4089	15.7938	0.0100
1 - 2	1	1.68	0.50	0.10	9.1557	6.1188	15.0643	0.0092
2 - 2.75	0.75	0.82	0.48	0.10	10.6427	5.8705	22.0938	0.0076
2.75 - 3	0.25	0.82	0.48	0.10	11.4564	5.7840	21.6906	0.0024
3 - 4	1	0.82	0.48	0.10	12.0345	5.4290	21.4253	0.0086
4 - 5	1	1.10	0.60	0.12	12.9160	5.0734	42.7296	0.0082
5 - 6	1	1.10	0.60	0.12	13.7541	4.7311	42.0633	0.0073
6 - 7	1	0.79	0.39	0.08	14.6447	4.4102	27.9283	0.0050
7 - 8	1	0.79	0.39	0.08	15.5877	4.1145	27.4959	0.0044
8 - 9	1	2.17	0.59	0.12	16.3226	3.8448	27.1811	0.0034
9 - 10	1	2.17	0.59	0.12	16.8494	3.6004	26.9661	0.0031
10 - 11	1	2.17	0.59	0.12	17.3762	3.3794	26.7593	0.0029
11 - 12	1	0.47	0.39	0.08	18.2181	3.1798	45.9404	0.0037
12 - 13	1	1.62	0.47	0.09	19.1172	2.9994	57.8583	0.0023
13 - 14	1	1.62	0.47	0.09	19.7585	2.8360	57.3831	0.0021
14 - 15	1	1.62	0.47	0.09	20.3997	2.6878	56.9267	0.0019
Penurunan =								0.0821

Tabel 5. Perhitungan Waktu Penurunan Konsolidasi Menggunakan PVD

Perhitungan Penurunan (PVD)

t (hari)	C _h (m ² /tahun)	T _v	U _v	T _r	U _r	U	Sc (m)
10	2.3472	0.0005	0.026	0.0583	0.1837	0.2049	0.0168
20	2.3472	0.0011	0.0368	0.1167	0.3336	0.3581	0.0294
40	2.3472	0.0021	0.052	0.2333	0.5559	0.579	0.0476
60	2.3472	0.0032	0.0637	0.35	0.704	0.7229	0.0594
80	2.3472	0.0043	0.0736	0.4666	0.8028	0.8173	0.0671
100	2.3472	0.0053	0.0823	0.5833	0.8686	0.8794	0.0722
130	2.3472	0.0069	0.0938	0.7583	0.9285	0.9352	0.0768
170	2.3472	0.0090	0.1073	0.9916	0.9682	0.9717	0.0797
190	2.3472	0.0101	0.1134	1.1082	0.9788	0.9812	0.0805
220	2.3472	0.0117	0.1220	1.2832	0.9885	0.9899	0.0812
240	2.3472	0.0128	0.1275	1.3999	0.9923	0.9933	0.0815
260	2.3472	0.0138	0.1327	1.5165	0.9949	0.9956	0.0817

Analisis penurunan finite element method (FEM)

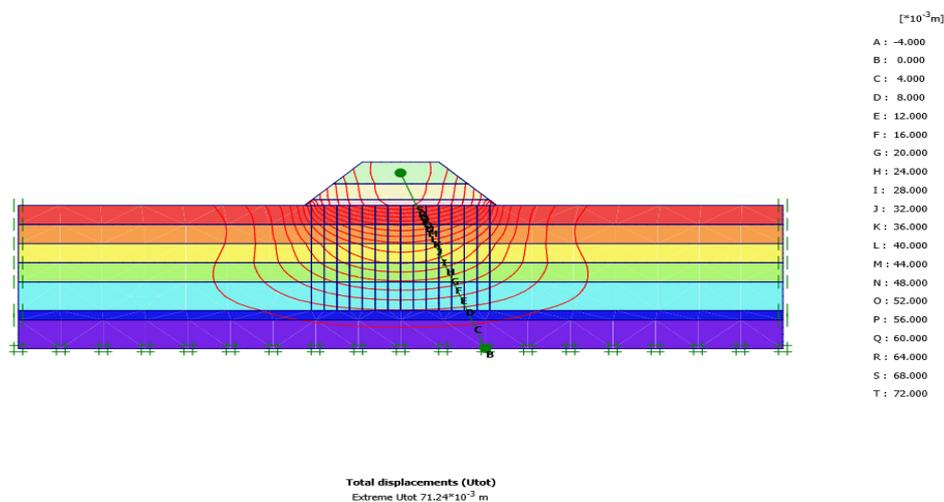
Pada Analisis penurunan finite element method akan diolah parameter tanah dasar dan timbunan:

Tabel 6. Parameter *Input* Tanah Timbunan
Parameter Tanah Timbunan

Jenis tanah	<i>Preloading</i>	<i>Control Fill</i>	<i>Sand Blanket</i>
Tipe	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>	<i>Undrained</i>
γ_{sat} (kN/m ³)	17	20	20
γ_{unsat} (kN/m ³)	13	17	17
<i>C</i> (kN/m ²)	30	30	0.1
ϕ (°)	15	15	35
<i>E</i> (kN/m ²)	10000	40000	25000
<i>Kx</i> (m/hari)	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-03
<i>Ky</i> (m/hari)	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-03
Poisson's Ratio	0.3	0.3	0.3

Tabel 7. Parameter *Input* Tanah Dasar
Parameter Tanah Dasar

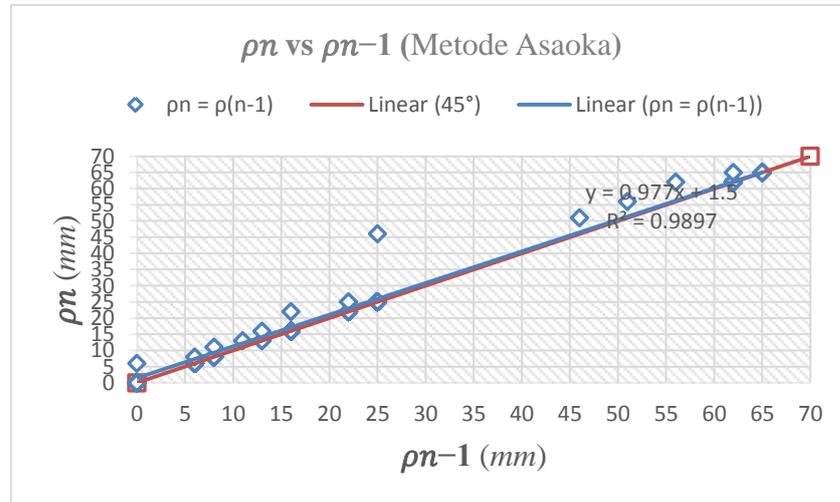
Lapisan (m)	0 - 2	2 - 4	4 - 6	6 - 8	8 - 11	11 - 12	12 - 15
Jenis tanah	<i>Elastic Silt with Sand</i>	<i>Elastic Silt with Sand</i>	<i>Fat Clay</i>				
Tipe	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>
<i>N-SPT</i>	5	7	11	9	9	14	17
γ_{sat} (kN/m ³)	16.38	19.25	18.38	19.43	15.27	21.57	16.41
γ_{unsat} (kN/m ³)	15.78	18.91	17.74	19.09	14.60	20.81	15.48
<i>C</i> (kN/m ²)	30	42	66	54	54	84	102
ϕ (°)	27	26	24	27	28	24	26
<i>E</i> (kN/m ²)	5400	7560	13320	9720	9720	15120	18360
<i>Kx</i> (m/hari)	9.76E-04	4.97E-03	3.72E-03	5.21E-03	6.07E-05	8.11E-03	1.02E-03
<i>Ky</i> (m/hari)	9.76E-04	4.97E-03	3.72E-03	5.21E-03	6.07E-05	8.11E-03	1.02E-03
Poisson's Ratio	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2



Gambar 5. Konsolidasi Total Finite Element Method (FEM)

Analisis penurunan metode Asaoka

Analisis dengan *plot* grafik antara penurunan pada waktu n (ρ_n) pada sumbu- y dan penurunan pada waktu $n-1$ (ρ_{n-1}) pada sumbu x . Perpotongan *trendline linier* dari titik *plot* grafik dengan garis $\rho_n = \rho_{n-1}$ merupakan penurunan akhir (hf) timbunan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik ρ_n vs (ρ_{n-1}) Metode Asaoka

Tabel 8. Perhitungan Waktu Penurunan Konsolidasi menggunakan PVD

Perhitungan Waktu Penurunan Kombinasi (PVD)							
t (hari)	C_h ($m^2/tahun$)	T_v	U_v	T_r	U_r	U	S_c (m)
30	3.5775	0.0008	0.0321	0.2667	0.6046	0.6173	0.04040
60	3.5775	0.0016	0.0454	0.5334	0.8437	0.8508	0.05568
90	3.5775	0.0024	0.0556	0.8001	0.9382	0.9416	0.06163
120	3.5775	0.0032	0.0642	1.0668	0.9756	0.9771	0.06395
160	3.5775	0.0043	0.0742	1.4224	0.9929	0.9934	0.06502
180	3.5775	0.0049	0.0787	1.6002	0.9962	0.9965	0.06522

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

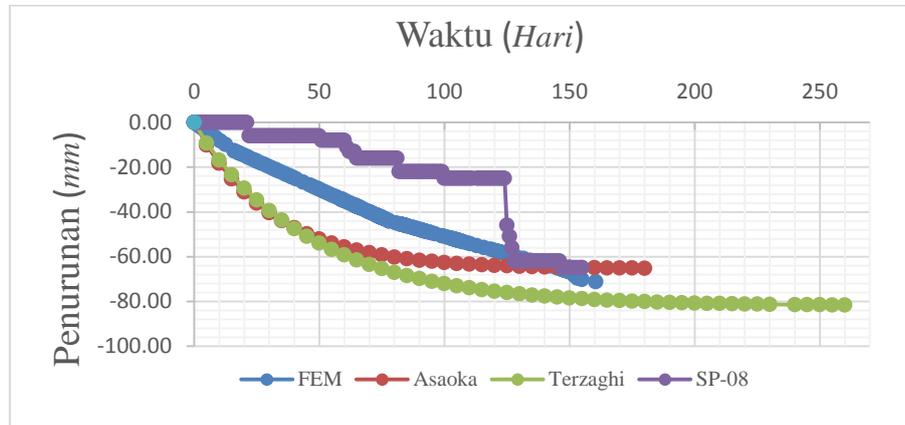
1. Hasil penurunan dari metode Asaoka adalah hasil penurunan yang paling mendekati hasil aktual. Hasil perhitungan penurunan dan waktu dari ketiga metode dengan hasil aktual dilapangan pada Tabel 9 dan Gambar 7.

Tabel 9. Hasil Penurunan Konsolidasi Analisis dan Aktual

Penurunan Konsolidasi Primer (mm)			
SP-08	Terzaghi	FEM	Asaoka
65	82.10	71.24	65.22

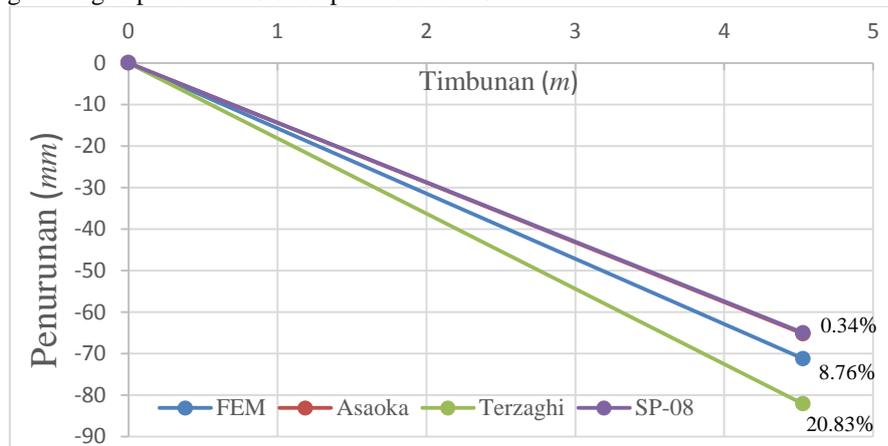
Tabel 10. Hasil Waktu Penurunan Konsolidasi Analisis dan Aktual

Waktu Penurunan Konsolidasi Primer (hari)			
SP-08	Terzaghi	FEM	Asaoka
155	260	160	180



Gambar 7. Grafik Perbandingan Penurunan vs Waktu

- Estimasi hasil dari metode Asaoka dapat diperoleh nilai penurunan akhir yang lebih mendekati penurunan aktual lapangan dengan perbedaan 0.34% pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Perbandingan % Penurunan

DAFTAR PUSTAKA

Asaoka, A. (1978). *Observational Procedure of Settlement Prediction*. Japanese Geotechnical Society, Tokyo.
 Bowles, J.E. (1984). *Physical and Geotechnical Properties of Soils*. McGraw-Hill Book Company, New York.
 Barron, R. A. (1948). *Consolidation of Fine-Grained Soils by Drain Wells*. Transactions of ASCE, Vol. 113.
 Das, Braja M. (1985). *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik)*. Erlangga, Jakarta.
 Lambe, W. (1969). *Soil Mechanics*. John Wiley & Sons, New York.
 Magnan J.P. and Deroy J.M. (1980). "Analyse Graphique Des Tassements Observes Sous Les Ouvrage"s. Bull. Liaison Labo. P.&Ch, Sept-Okt 1980, 109.
 Mikasa, M. (1963). *Consolidation of Soft Clay*. Kajimashuppan-kai, Tokyo.
 Terzaghi, K. (1943). *Theoretical Soil Mechanics*. John Wiley & Sons, New York.