

Penggunaan *Vacuum Preloading* dan *Prefabricated Vertikal Drain* untuk Perbaikan Tanah Lunak di Gedebage Bandung

Abdilla Alvian Mustofa¹, Anita Widianti²

^{1,2} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Jl. Brawijaya, Kasihan, Bantul, DIY, Telp. (0274) 387656

Email: abdilla.alvian.ft20@mail.umy.ac.id, anitawidianti@umy.ac.id

ABSTRAK

Tanah lunak merupakan jenis tanah dengan kadar air yang tinggi, memiliki nilai koefisien permeabilitas yang sangat kecil, tingkat kompresibilitas yang tinggi serta kapasitas dukung yang rendah. Karakteristik tersebut akan menimbulkan permasalahan bagi struktur yang dibangun di atasnya. Untuk menghindari kerusakan yang terjadi perlu dilakukan upaya perbaikan tanah, salah satunya dengan menggunakan *vacuum preloading* yang dikombinasi dengan drainase vertikal. Di Gedebage Bandung dilakukan perbaikan tanah menggunakan beban *vacuum* sebesar 80 kPa ditambah timbunan setinggi 2 m, dan *Prefabricated Vertikal Drain* (PVD). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan besar dan waktu penurunan konsolidasi berdasarkan data perencanaan menggunakan teori Terzaghi dengan besar dan waktu penurunan aktual menggunakan metode Asaoka. Data-data yang digunakan adalah data sekunder yang meliputi layout proyek di Gedebage Bandung, hasil penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, data perencanaan PVD, serta data hasil monitoring *settlement plate*. Berdasarkan analisis menggunakan teori Terzaghi didapatkan besarnya penurunan sebesar 1,40 m dengan estimasi waktu konsolidasi 90% selama 5 bulan, sedangkan penurunan berdasarkan metode Asaoka sebesar 0,59 m dengan waktu konsolidasi 90% selama 2,4 bulan.

Kata Kunci: Tanah Lunak, Perbaikan Tanah, *Vacuum Preloading*, *Prefabricated Vertikal Drain*

ABSTRACT

Soft soil has a high water content, a very low permeability coefficient, high compressibility, and low bearing capacity. These characteristics pose problems for structures built on top of it. Soil improvement measures are necessary to prevent damage, including vacuum preloading and vertical drainage. In the Gedebage Bandung area, soil improvement was conducted using a combination of 80 kPa vacuum pressure, a 2-meter-high embankment, and Prefabricated Vertikal Drain (PVD). This study compares the magnitude and consolidation settlement time based on planned data using Terzaghi's theory with the actual magnitude and settlement time using Asaoka's method. The data used were secondary data, including the project layout in Gedebage, Bandung, field and laboratory soil investigation data, PVD design data, and settlement plate monitoring data. Based on the analysis using Terzaghi's theory, the settlement was found to be 1.40 m with an estimated 90% consolidation time of 5 months, while the settlement based on the Asaoka method was 0.59 m with a 90% consolidation time of 2.4 months.

Keywords: *Soft Soil, Soil Improvement, Vacuum Preloading, Prefabricated Vertikal Drain*

1. PENDAHULUAN

Tanah lunak merupakan jenis tanah dengan kadar air yang tinggi, memiliki nilai koefisien permeabilitas yang sangat kecil, tingkat kompresibilitas atau pemampatan yang besar serta kapasitas dukung yang rendah [1,2]. Oleh karena itu, adanya lapisan tanah lunak pada suatu proyek konstruksi akan membatasi beban yang mampu didukung oleh tanah [3]. Disamping itu, sifat kompresibel tanah lunak dapat menyebabkan perbedaan penurunan yang dapat merusak struktur

bangunan selama masa layan [4]. Untuk menghindari kerusakan yang terjadi perlu dilakukan usaha perbaikan, salah satunya dengan melakukan pemampatan awal guna meningkatkan kapasitas dukung tanah dan mendapatkan tanah dengan pemampatan yang relatif kecil [5]. Untuk memulai pemampatan awal, tanah dibebani dengan beban awal yang lebih besar dari beban akibat bangunan dan beban kerja yang direncanakan. Metode prapembebanan ini dapat memakai tanah timbunan (*soil preloading*) atau tekanan vakum (*vacuum preloading*) sebagai beban sementara. Chai dkk

menjelaskan *vacuum preloading* adalah metode prapembebanan yang dilakukan dengan mendistribusikan tekanan *vacuum* untuk mengeluarkan air pori di dalam tanah. Ketika tekanan diterapkan terhadap massa tanah yang telah diisolasi, maka akan dihasilkan nilai *negative excess pore water pressure*. Nilai ini akan menyebabkan terdisipasinya air pori sehingga tegangan efektif tanah akan meningkat tanpa mengubah nilai tegangan total tanah. Nilai tegangan efektif yang terjadi sama dengan nilai *negative pore water pressure* yang besarnya tidak lebih dari tekanan atmosfer [6].

Perbaikan menggunakan *soil preloading* membutuhkan volume timbunan yang besar, sehingga dapat menimbulkan masalah stabilitas lerengnya. Pergerakan tanah yang berlebih pada tepi timbunan yang tinggi juga dapat merusak bangunan yang ada. Oleh karena itu *vacuum preloading* lebih tepat digunakan karena cara ini tidak membutuhkan volume timbunan yang besar. Menurut Sun dkk., *preloading* menggunakan beban *vacuum* lebih efisien untuk memampatkan tanah lunak karena tekanan *vacuum* akan meningkatkan kecepatan aliran rembesan air pori [7].

Pada tanah lunak proses konsolidasi berlangsung sangat lama dan terus menerus sehingga tidak memungkinkan proses konsolidasi dapat selesai pada masa konstruksi. Umumnya metode prapembebanan dikombinasi dengan drainase vertikal untuk mempercepat waktu konsolidasi [8]. Drainase vertikal akan menghasilkan lintasan aliran air pori ke arah horizontal sehingga dapat mempercepat proses konsolidasi pada tanah lunak [4]. Saat ini drainase vertikal yang banyak digunakan adalah *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dari geosintetik karena lebih efektif dan mutu yang seragam [9]. Ghani dkk. menunjukkan bahwa dengan beban yang sama dan jarak PVD yang sama, metode vakum dapat mengurangi waktu konsolidasi hingga 43% atau mempercepat proses konsolidasi hingga 1,7 kali lipat lebih cepat dibandingkan metode *preloading* konvensional [10].

Penelitian tentang kombinasi *vacuum preloading* dan PVD telah dilakukan di beberapa proyek pembangunan jalan tol, diantaranya pada jalan tol Palembang-Indralaya oleh Ervianty dkk [11], jalan tol Kayu Agung-Palembang oleh Aslam dan Gofar [12], dan jalan tol Semarang-Demak oleh Ralindra [13]. Secara umum hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan tekanan *vacuum* dapat mengurangi kebutuhan tanah timbunan sehingga resiko kelongsoran dapat diminimalisir, dan lebih efisien mengurangi penggunaan PVD.

Untuk memprediksi penurunan akhir pada tanah lunak dapat menggunakan teori Terzaghi, metode Asaoka atau *finite element method*. Saputro dkk. membandingkan metode Asaoka dan *finite*

element method. Hasil penelitian menunjukkan prediksi penurunan menggunakan *finite element method* memiliki eror 5% dari hasil lapangan, sedangkan menggunakan metode Asaoka memiliki eror 1% dari hasil lapangan. Prediksi penurunan menggunakan *finite element method* memiliki perbedaan yang signifikan dikarenakan metode ini memerlukan parameter-parameter tanah yang ketidakpastiannya tinggi [14]. Boangmanalu dan Istiatun membandingkan penurunan konsolidasi menggunakan teori Terzaghi dan Asaoka. Teori Terzaghi digunakan untuk menghitung besar dan waktu penurunan konsolidasi memakai parameter tanah yang didapat dari hasil uji laboratorium, sedangkan metode Asaoka memakai data penurunan aktual dari monitoring *settlement plate* dengan interval waktu tertentu setelah beban mencapai *top of preload*. Interval waktu yang dipilih yang paling konstan agar diperoleh prediksi penurunan yang akurat. Hasil perhitungan berdasarkan teori Terzaghi biasanya lebih besar dibandingkan berdasarkan penurunan aktual [15].

Daerah Gedebage yang berada di Bandung, Jawa Barat, didominasi oleh endapan tanah lunak (*soft soil*) yang berasal dari endapan sedimen dari masa lalu, karena topografinya berupa cekungan besar yang dikelilingi oleh dataran tinggi vulkanik [16,17]. Tanah lunak disini kedalamannya hingga lebih dari 20 meter. Penelitian tentang penggunaan *Vacuum Preloading* dan PVD untuk perbaikan tanah di daerah tersebut telah dilakukan oleh Sarasawati dkk. [18], serta Wahyu dan Mochtar [3], tetapi penelitian yang fokusnya memprediksi penurunan akhir menggunakan teori Terzaghi dan metode Asaoka belum dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis besar dan waktu penurunan berdasarkan data perencanaan menggunakan teori Terzaghi, yang kemudian dibandingkan dengan besar dan waktu penurunan aktual menggunakan metode Asaoka berdasarkan upaya perbaikan tanah menggunakan beban *vacuum preloading* dan PVD.

2. METODE PENELITIAN

Pengumpulan Data Sekunder

Penelitian diawali dengan pengumpulan data sekunder. Semua data sekunder didapat dari PT Teknindo Geosistem Unggul yang meliputi layout proyek di Gedebage Bandung, data hasil penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, data perencanaan PVD, serta data hasil monitoring *settlement plate* (SP).

Data hasil penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium dibutuhkan untuk mendapatkan informasi tentang karakteristik tanah di lokasi proyek. Data tersebut digunakan sebagai parameter analisis besar dan waktu penurunan konsolidasi menggunakan teori Terzaghi. Penyelidikan lapangan

yang digunakan adalah *Standart Penetration Test* (SPT), tes sondir atau *Cone Penetration Test* (CPT), dan *boring test*. Berdasarkan hasil SPT, tanah memiliki nilai N antara 2 hingga 5 sampai kedalaman 22 m, dan diklasifikasikan sebagai tanah lunak. Hasil yang sama didapatkan dari hasil CPTu yang menunjukkan lapisan permukaan didominasi oleh lempung hingga kedalaman 20 meter. Lapisan di bawahnya juga didominasi oleh lanau klempungan hingga kedalaman 28 meter.

Uji laboratorium berupa uji karakteristik fisik, konsolidasi, dan kuat geser tanah yang diambil dari salah satu lubang bor. Sampel tanah berupa tanah tidak terusik yang diambil dari 3 kedalaman yang berbeda. Hasil pengujian tersebut ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter tanah dari hasil uji laboratorium

	Kedalaman (m)		
	2,50-3,00	10,00-11,00	36,50-37,00
<i>Index & Physical Properties</i>			
γ_{sat} (t/m ³)	1,65	1,16	1,17
w (%)	54,36	209,28	222,87
<i>Uji Atterberg Limit</i>			
LL (%)	69,24	173,24	55,21
PL (%)	51,36	133,10	43,45
PI (%)	17,88	40,14	11,76
<i>Uji Konsolidasi</i>			
C _c	0,34	1,26	2,09
C _v (cm ² /detik)	0,0004	0,0004	0,0004
e ₀	1,24	6,27	5,24
<i>Uji Triaxial Unconsolidated Undrained</i>			
c (kg/cm ²)	0,24	0,13	0,15
ϕ_u (°)	7,8	7,8	6,7

PVD yang digunakan memiliki diameter 100 mm dengan ketebalan 40 mm. PVD dipasang dengan jarak 1,3 m menggunakan pola segitiga sampai dengan kedalaman 22 m (sesuai dengan kedalaman tanah lunak). Sebelum dilaksanakan pemasangan PVD, pekerjaan dimulai dengan penimbunan tanah sebagai lantai kerja dengan tebal 2 m dan lapisan pasir setebal 0,4 m. Elevasi tanah asli berada pada ketinggian +660 mdpl, ketinggian rencana (*top elevasi subgrade*) berada pada ketinggian +664 mdpl.

Data hasil monitoring *settlement plate* (SP), berupa hasil pengamatan dari awal beban diterapkan hingga beban mencapai *top of preload* yang dilakukan setiap hari. Data monitoring SP digunakan sebagai parameter untuk mengetahui besar dan lama waktu penurunan konsolidasi aktual berdasarkan metode Asaoka.

Analisis Besar dan Waktu Penurunan Konsolidasi Menggunakan Beban Rencana Berdasarkan Teori Terzaghi

Analisis besar dan waktu penurunan konsolidasi secara teoritis menggunakan teori Terzaghi dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut ini [19].

- Lapisan tanah lunak dibagi ketebalannya 1 m setiap lapisannya agar hasil analisis mendekati penurunan aktual di lapangan.
- Diasumsikan tanah di Gedebage Bandung sebagai tanah termampatkan berlebih (*over consolidated*), karena menurut sejarah geologinya tanah dasar di daerah tersebut merupakan endapan tanah lunak [16], sehingga nilai penurunan pada setiap lapisan tanah dihitung menggunakan Persamaan 1 atau Persamaan 2.

Jika $(p_o + \Delta p) \leq p_c$

$$S_{ci} = \left(\frac{C_s \cdot H_i}{1 + e_0} \log \frac{p_o + \Delta p}{p_o} \right) \quad (1)$$

Jika $(p_o + \Delta p) > p_c$

$$S_{ci} = \left(\frac{C_s \cdot H_i}{1 + e_0} \log \frac{p_c}{p_o} + \frac{C_c \cdot H_i}{1 + e_0} \log \frac{p_o + \Delta p}{p_c} \right) \quad (2)$$

Keterangan :

S_{ci} = besar penurunan konsolidasi pada setiap lapisan (m)

H_i = tebal setiap lapisan (m)

C_c = *compression Index* dari setiap lapisan

C_s = *swelling index* dari setiap lapisan

e₀ = angka pori awal

p_c = tegangan prakonsolidasi (kN/m²)

p_□ = tegangan overburden efektif di tengah-tengah setiap lapisan (kN/m²)

Δp = tambahan tegangan karena beban timbunan di tengah-tengah setiap lapisan (kN/m²)

- Nilai penurunan yang telah dihitung kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan total penurunan.
- Lamanya penurunan konsolidasi dihitung menggunakan Persamaan 3.

$$t = \frac{T_v \times H_d^2}{C_v} \quad (3)$$

Keterangan :

t = waktu konsolidasi (detik)

T_v = faktor waktu arah vertikal

C_v = koefisien konsolidasi arah vertikal (cm²/detik)

H_d = panjang lintasan air yang terdrainasi keluar dari tanah (cm)

- Lamanya penurunan konsolidasi menggunakan PVD dihitung menggunakan Persamaan 4.

$$t = \frac{T_h \times S^2}{C_h} \quad (4)$$

Keterangan :

t = waktu konsolidasi (detik)

T_h = faktor waktu arah horisontal

S = jarak antar PVD (cm)

C_h ≈ 1-3 C_v

Analisis Besar dan Waktu Penurunan Konsolidasi Menggunakan Beban Aktual Berdasarkan Metode Asaoka

Metode Asaoka merupakan metode grafis yang sering digunakan untuk memprediksi penurunan final tanah berdasarkan data monitoring dari *settlement plate* [20]. Analisis besar dan waktu penurunan konsolidasi menggunakan metode Asaoka dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut ini.

- Data hasil monitoring *settlement plate* dikumpulkan sesuai dengan interval hari yang telah ditetapkan.
- Pada penelitian ini interval yang digunakan adalah 5 hari.
- Data yang ada diseleksi untuk mencari data penurunan tanah yang stabil.
- Data yang telah diseleksi diplot pada grafik hubungan antara besarnya penurunan pada hari ke-n (S_n) dan hari ke-n+1 (S_{n+1}).
- Pada grafik yang sama ditarik garis yang membentuk sudut 45° .
- Titik perpotongan antara garis plot data dengan garis dengan sudut 45° ditentukan berdasarkan persamaan garis linier $y=mx+c$.
- Nilai prediksi penurunan diketahui dari titik perpotongan antara kedua garis tersebut.
- Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai penurunan akhir dapat dicari menggunakan Persamaan 5.

$$Uv = \frac{St}{Sp} \times 100\% \quad (5)$$

Keterangan :

Uv = derajat konsolidasi (%)

St = penurunan dari bacaan *settlement plate* (mm)

Sp = penurunan total dari metode Asaoka (mm)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

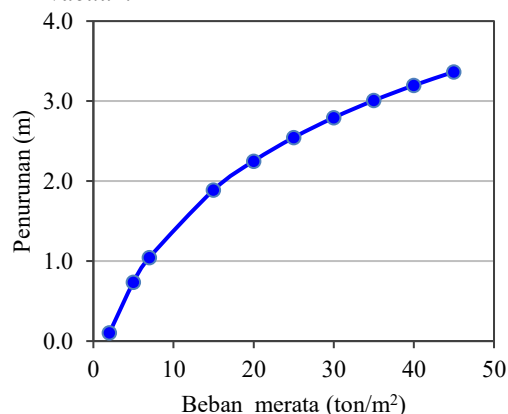
Analisis Besar dan Waktu Penurunan Konsolidasi Menggunakan Beban Rencana Berdasarkan Teori Terzaghi

Analisis Besar Penurunan Konsolidasi

Analisis besar penurunan konsolidasi menggunakan teori Terzaghi dilakukan sampai dengan kedalaman tanah lunak, yaitu 22 m. Parameter tanah yang digunakan berdasarkan pengujian laboratorium yang disajikan pada Tabel 1. Besarnya penurunan dianalisis berdasarkan beberapa variasi beban rencana berupa beban merata, dan hasilnya ditampilkan pada Gambar 1.

Beban rencana yang digunakan di Gedebage Bandung berupa timbunan *levelling* dan tekanan *vacuum*. Sebelumnya dilakukan koreksi tekanan

atmosfer untuk memperoleh beban timbunan akibat tekanan *vacuum*.



Gambar 1. Hubungan antara beban merata dan penurunan

Tekanan atmosfer (P) sebesar 1 atm (= 76 cmHg = 101,3 kPa). Gedebage Bandung dari alat altimeter berada pada ketinggian +660 m di atas permukaan laut. Perhitungan koreksi tekanan atmosfer sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned} P(660) &= 76 - \left(\frac{660}{100}\right) \text{ cmHg} = 69,4 \text{ cmHg} \\ &= \left(\frac{69,4}{76}\right) \times 101,3 \text{ kPa} = 92,5 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Jika pompa vacuum memiliki efektivitas 80% maka besarnya tekanan vacuum sebesar:

$$80\% \times 92,5 \text{ kPa} = 74 \text{ kPa} = 7,4 \text{ t/m}^2$$

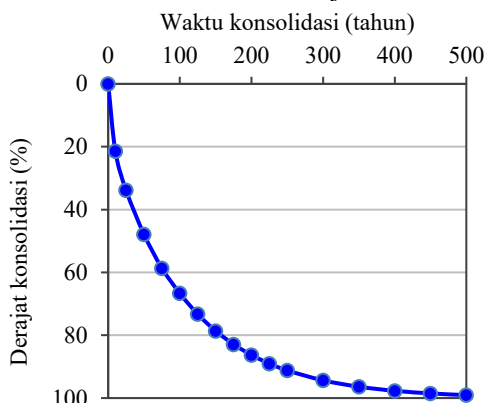
Besarnya tekanan akibat timbunan setinggi 2 m dengan berat volume timbunan $1,6 \text{ t/m}^3$ adalah $3,2 \text{ t/m}^2$, sehingga total prapembebanan adalah $10,6 \text{ t/m}^2$. Berdasarkan Gambar 1, maka estimasi penurunan sebesar 1,40 m.

Analisis Waktu Penurunan Konsolidasi

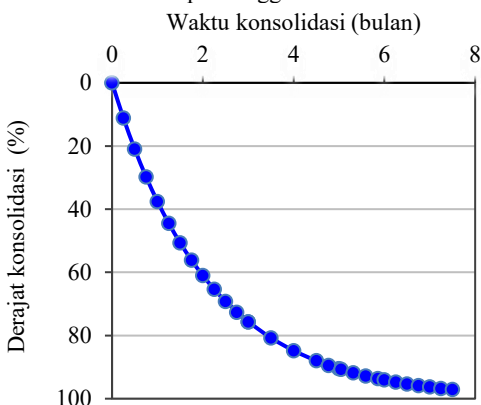
Beban prapembebanan akan menyebabkan air pori akan terdisipasi, namun jarak tanah lunak sebesar 22 m menyebabkan terdisipasinya air pori tidak dapat selesai pada saat pelaksanaan konstruksi. Berdasarkan data koefisien konsolidasi (C_v) sebesar $0,0004 \text{ cm}^2/\text{detik}$ (dari Tabel 1), dapat dianalisis waktu penurunan konsolidasi tanpa PVD. Grafik hubungan antara waktu konsolidasi (t) dengan derajat konsolidasi (Uv) ditampilkan pada Gambar 2. Dari Gambar 2 tersebut dapat diketahui bahwa jika tidak menggunakan PVD waktu yang diperlukan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% sebesar 230 tahun.

Untuk memperpendek jalur terdisipasinya air pori digunakan PVD dengan tebal 4 mm dan lebar 100 mm yang dipasang dengan pola segitiga berjarak 1,3 m sedalam tanah lunak. Hubungan antara waktu konsolidasi dengan derajat konsolidasi setelah menggunakan PVD disajikan pada Gambar

3. PVD terbukti mampu mempercepat waktu konsolidasi dari 230 tahun menjadi 5 bulan.



Gambar 2. Hubungan antara waktu dan derajat konsolidasi tanpa menggunakan PVD



Gambar 3. Hubungan antara waktu dan derajat konsolidasi menggunakan PVD

Analisis Besar dan Waktu Penurunan Konsolidasi Menggunakan Data Aktual Berdasarkan Metode Asaoka

Analisis Besar Penurunan Konsolidasi

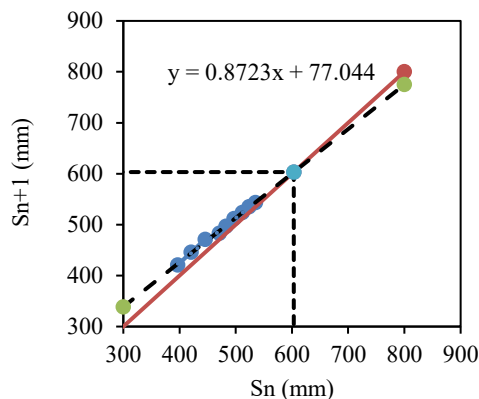
Terdapat 6 instrumen *settlement plate* (SP) yang digunakan. Analisis penurunan berdasarkan metode Asaoka dimulai pada hari ke-34 dari beban prapembebanan diterapkan. Besarnya penurunan pada hari ke-n (S_n) dan hari ke-n+1 (S_{n+1}) dari SP-01 disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Besarnya penurunan pada hari ke-n dan hari ke-n+1 dari SP-01

Besar penurunan pada hari ke-n (S_n mm)	Besar penurunan pada hari ke-n+1 (S_{n+1} mm)
397	421
421	446
446	471
471	483
483	497
497	512
512	524

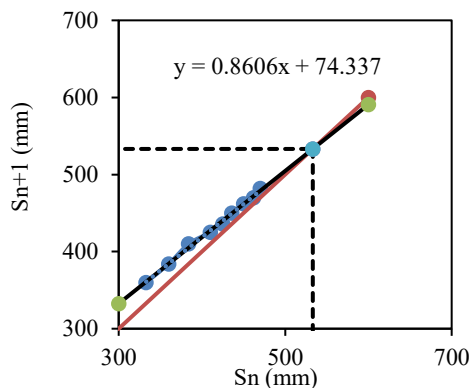
524	535
535	543

Data dari Tabel 2 kemudian diplot ke dalam Gambar 4 dan ditarik garis *trendline*. Pada grafik yang sama dibuat garis dengan sudut 45° . Besarnya penurunan akhir akan diketahui dari perpotongan garis linier kedua garis tersebut. Hasil penurunan akhir diperoleh sebesar 603,24 mm.

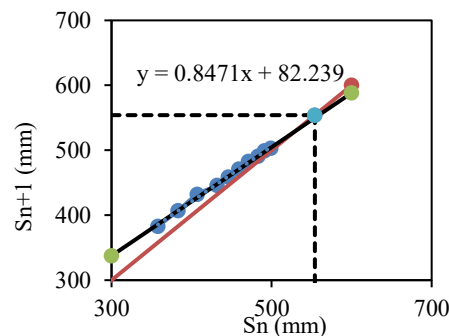


Gambar 4. Analisis besar penurunan menggunakan metode Asaoka pada SP-01

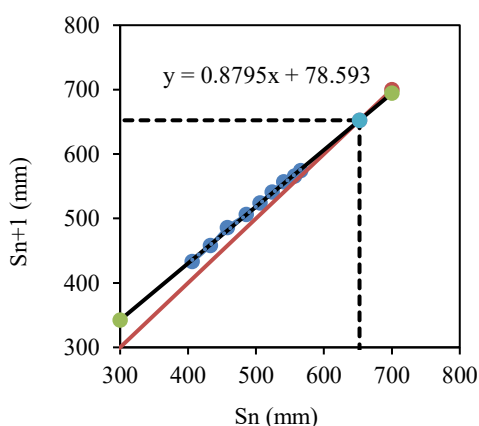
Langkah yang sama dilakukan pada *settlement plate* SP-02 sampai dengan SP-06 sehingga diperoleh besar penurunannya, seperti yang ditampilkan pada Gambar 5 sampai dengan Gambar 9.



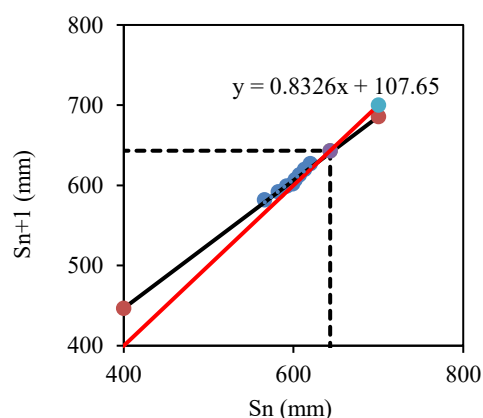
Gambar 5. Analisis besar penurunan menggunakan metode Asaoka pada SP-02



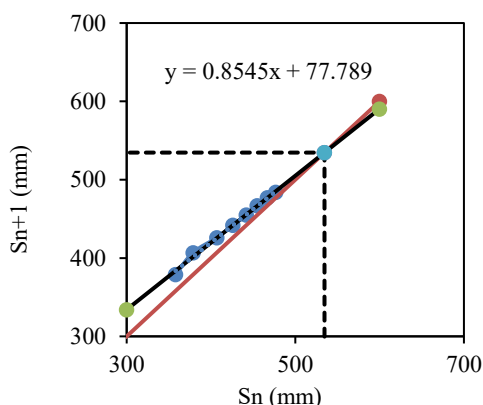
Gambar 6. Analisis besar penurunan menggunakan metode Asaoka pada SP-03



Gambar 7. Analisis besar penurunan menggunakan metode Asaoka pada SP-04



Gambar 8. Analisis besar penurunan menggunakan metode Asaoka pada SP-05



Gambar 9. Analisis besar penurunan menggunakan metode Asaoka pada SP-06

Rekapitulasi besarnya penurunan dari keenam SP tersebut ditampilkan pada Tabel 3. Rata-rata penurunan dari keenam *settlement plate* sebesar 586,78 mm atau 0,59 m. Hasil ini lebih kecil dibandingkan perhitungan berdasarkan teori Terzaghi.

Tabel 3. Rekapitulasi besarnya penurunan menggunakan metode Asaoka

SP	Penurunan Final Asaoka (mm)
SP-01	603,24
SP-02	533,19
SP-03	554,06
SP-04	652,40
SP-05	643,18
SP-06	534,62
Rata-rata	586,78

Analisis Waktu Penurunan Konsolidasi

Analisis dilakukan dengan memasukkan besar penurunan final Asaoka, kemudian dengan menggunakan bantuan *solver microsoft excel* dapat diketahui besarnya penurunan pada saat derajat konsolidasi mencapai 90%. Setelah itu didapatkan hari beberapa penurunan konsolidasi tersebut terjadi dengan melihat data hasil monitoring *settlement plate*. Rekapitulasi waktu untuk mencapai derajat konsolidasi sebesar 90% disajikan pada Tabel 4. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa dibutuhkan waktu rata-rata sebesar 71 hari (2,4 bulan) untuk mencapai derajat konsolidasi 90%. Hasil ini lebih kecil dibandingkan perhitungan berdasarkan teori Terzaghi.

Menurut Boangmanalu dan Istiatun, hasil perhitungan penurunan konsolidasi menggunakan metode Terzaghi lebih besar dibandingkan dengan menggunakan metode Asaoka. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh keterbatasan data parameter tanah yang diperoleh untuk seluruh kedalaman, sehingga memerlukan penggunaan korelasi nilai parameter tanah dalam perhitungannya. Sebaliknya, metode Asaoka menghasilkan prediksi penurunan yang lebih akurat karena menggunakan data hasil monitoring *settlement plate* di lapangan secara langsung [15].

Tabel 4. Rekapitulasi waktu konsolidasi 90%

SP	Penurunan Final Asaoka (mm)	Penurunan saat derajat konsolidasi 90% (mm)	Derajat konsolidasi 90% pada hari ke-
SP-01	603,2396	542,9157	78
SP-02	533,1906	479,8715	80
SP-03	554,0620	498,6558	77
SP-04	652,3956	587,1560	49
SP-05	643,1844	578,8660	67
SP-06	534,6199	481,1579	74
Rata-rata			71

4. KESIMPULAN

Di Gedebage Bandung dilakukan perbaikan tanah menggunakan kombinasi beban *vacuum* sebesar 80 kPa ditambah timbunan setinggi 2 m, dan

Prefabricated Vertical Drain (PVD) menggunakan pola segitiga dengan jarak 1,3 m sampai dengan kedalaman 22 m. Berdasarkan analisis menggunakan [10] teori Terzaghi didapatkan besarnya penurunan sebesar 1,40 m dengan estimasi waktu konsolidasi 90% selama 5 bulan, sedangkan penurunan berdasarkan metode Asaoka sebesar 0,59 m dengan waktu konsolidasi 90% selama 2,4 bulan. Hasil perhitungan berdasarkan metode Asaoka lebih kecil [11] dibandingkan hasil perhitungan berdasarkan teori Terzaghi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. K. Rustam, A. Resti, H. Purwanto, and F. Muhammad, The effect of gypsum plafond waste on shear strength of soft clay soil, in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 620, no. 1, p. 12039. [13]
- [2] C. K. Andini, Y. Yelvi, A. L. Wahyu, H. Sudardja, and M. Misriani, Penerapan Soil Preloading, PVD, dan PHD untuk Analisis Penurunan Konsolidasi Tanah, *J. Ilm. Rekayasa Sipil*, vol. 20, no. 2, pp. 179–189, 2023. [14]
- [3] A. L. Wahyu and I. B. Mochtar, The effectiveness of vacuum preloading on eliminate secondary settlement; case study in summarecon city bandung area's development project, in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 279, no. 1, p. 12023. [15]
- [4] W. P. Kuswanda, Perbaikan Tanah Lempung Lunak Metoda Preloading Pada Pembangunan Infrastruktur Transportasi Di Pulau Kalimantan, *Infoteknik*, pp. 188–207, 2016. [16]
- [5] H. C. Hardiyatmo, *Geosintetik untuk Rekayasa Jalan Raya, Perancangan dan Aplikasi*, Edisi Kedua. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2013. [17]
- [6] J.-C. Chai, S. Hayashi, and J. P. Carter, Characteristics of vacuum consolidation, in *Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2005, pp. 1167–1170. [18]
- [7] L. Sun, X. Gao, D. Zhuang, W. Guo, J. Hou, and X. Liu, Pilot tests on vacuum preloading method combined with short and long PVDs, *Geotext. Geomembranes*, vol. 46, no. 2, pp. 243–250, 2018. [19]
- [8] H. C. Hardiyatmo, Metode Vacuum Preloading Sebagai Salah Satu Alternatif Solusi Pembangunan Timbunan Di Atas Tanah Lunak, vol. 1, pp. 47–55, 2017. [20]
- [9] A. Zhafirah and D. Amalia, Perencanaan Preloading Dengan Penggunaan Prefabricated Vertical Drain Untuk Perbaikan Tanah Lunak Pada Jalan Tol Pejagan-Pemalang, *Potensi J. Sipil Politek*, vol. 21, no. 1, p. 10, 2019.
- M. A. H. Ghani, M. Irsyam, H. Legowo, E. Susila, and A. Nugroho, Vacuum Preloading Versus Conventional Embankment Preloading for Accelerating Consolidation Process: A Comparison Study from Analysis of Full Scale Test, pp. 1–8.
- L. Ervianty, H. C. Hardiyatmo, and S. Hapsoro, The Study of The Usage of Vacuum Preloading Method in The Construction Project of Palembang–Indralaya Toll Road, *J. Tek. ITS*, vol. 8, no. 2, pp. D29–D34, 2019.
- Z. Aslam and N. Gofar, The Effect of Soil Stabilization and Reinforcement on The Stability of Embankment on Soft Soli, *J. Tek. Sipil*, vol. 18, no. 2, pp. 356–367, 2022.
- D. F. Ralindra, Modifikasi Perbaikan Tanah Dasar Tol Semarang–Demak: Metode Vacuum Preloading dengan Prefabricated Vertical Drain, *J. Apl. Tek. Sipil*, vol. 20, no. 2, pp. 163–170, 2022.
- S. A. Saputro, A. S. Muntohar, and H. J. Liao, Ground settlement prediction of embankment treated with prefabricated vertical drains in soft soil, in *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 195, p. 3014.
- F. M. Boangmanalu and I. Istiatun, Perbandingan Penurunan Konsolidasi Metode Terzaghi dengan Asaoka pada Vacuum Preloading, *Constr. Mater. J.*, vol. 5, no. 2, pp. 125–140, 2023.
- I. Gumilar, H. Z. Abidin, L. M. Hutasoit, D. M. Hakim, T. P. Sidiq, and H. Andreas, Land subsidence in Bandung Basin and its possible caused factors, *Procedia Earth Planet. Sci.*, vol. 12, pp. 47–62, 2015.
- A. Zhafirah, Karakteristik Tanah Kawasan Gedebage Kota Bandung Berdasarkan Hasil Uji Lapangan dan Laboratorium, *J. Konstr.*, vol. 17, no. 2, pp. 94–100, 2019.
- F. I. Saraswati, Y. Zaika, and W. P. Kuswanda, Perencanaan Perbaikan Tanah Lunak pada Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung Area Mall Menggunakan Metode Preload Kombinasi PVD dan PHD, *J. Mhs. Jur. Tek. Sipil*, vol. 1, no. 1, 2018.
- H. C. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah 2*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2010.
- A. Asaoka, Observational procedure of settlement prediction, *Soils Found.*, vol. 18, no. 4, pp. 87–101, 1978.