

**PERENCANAAN PERBAIKAN TANAH LUNAK PADA PEMBANGUNAN
CLUSTER D KAWASAN KOTA SUMMARECON BANDUNG
MENGUNAKAN KOMBINASI METODE *VACUUM CONSOLIDATION*
DENGAN *PREFABRICATED VERTICAL DRAIN***

**NASKAH PUBLIKASI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**HANNA MAULIDYA FADHILLAH
NIM. 135060100111042**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

**PERENCANAAN PERBAIKAN TANAH LUNAK PADA PEMBANGUNAN CLUSTER D
KAWASAN KOTA SUMMARECON BANDUNG MENGGUNAKAN KOMBINASI METODE
VACUUM CONSOLIDATION DENGAN PREFABRICATED VERTICAL DRAIN**

*(Design of Soft Soil Improvement in Cluster D Summarecon City Bandung Development Using
the Combination of Vacuum Consolidation Method with Prefabricated Vertical Drain)*

Hanna Maulidya Fadhillah, As'ad Munawir, Wahyu P. Kuswanda
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Jawa Timur, Indonesia-Telp (0341) 566710, 587711
Email: hmaulidya@yahoo.com

ABSTRAK

Tanah dengan kondisi yang mudah mampat akan menyebabkan terjadinya penurunan tanah yang relatif besar. Sebagai pendukung dari infrastruktur suatu konstruksi, tanah dengan spesifikasi tersebut memerlukan proses perbaikan tanah. Tujuan utama dari perbaikan tanah adalah untuk meningkatkan kekuatan tanah dan mengurangi pemampatan yang mungkin terjadi.

Pada proyek Kawasan Kota Summarecon Bandung, khususnya Cluster D, metode perbaikan tanah yang digunakan adalah metode *Vacuum Consolidation* dengan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD). Prinsip utama dari metode ini adalah dengan menghilangkan tekanan atmosfer yang ada di tanah yang akan di konsolidasi dan tetap bertahan dalam kondisi vakum sampai waktu tertentu. Tipe tanah yang cocok untuk metode ini adalah tanah dengan konsistensi sangat lunak hingga lunak, dengan nilai N-SPT sebesar 0-4.

Dari data yang diperoleh, ditunjukkan bahwa area Cluster D memiliki kedalaman tanah kompresibel rata-rata sebesar 20 m. Pada data laboratorium, nilai C_c sangat kecil yang memungkinkan terjadinya penurunan yang lebih kecil dari keadaan asli di lapangan. Sehingga dilakukan korelasi terhadap nilai C_c . Untuk mendapatkan beban rencana, koreksi tekanan atmosfer perlu dilakukan agar sesuai dengan efektivitas pompa vakum. Selanjutnya dilakukan perhitungan waktu konsolidasi alami diikuti dengan desain PVD dan daya dukung pondasi yang direncanakan.

Lama waktu yang diperlukan agar tanah mencapai konsolidasi 90% tanpa dilakukan perbaikan tanah adalah 194 tahun, sedangkan dengan pelaksanaan perbaikan tanah hanya memerlukan 22 minggu dengan desain PVD segitiga jarak 120 cm. Untuk desain pondasi, yang digunakan adalah pondasi dangkal dengan bentuk persegi. Panjang dan lebarnya adalah 150 cm serta kedalmanya adalah 50 cm. Daya dukung pondasi sebelum perbaikan tanah adalah $0,396 \text{ kg/cm}^2$ dan sesudah perbaikan tanah adalah $0,567 \text{ kg/cm}^2$.

Kata kunci : penurunan tanah, perbaikan tanah lunak, *vacuum consolidation*, *prefabricated vertical drain*, daya dukung pondasi

ABSTRACT

An easily compressed soil will cause a relatively great settlement. As a supporter of the infrastructure of a construction, soil with mentioned specification requires a process of soil improvement. The main purpose of soil improvement is to increase the strength of the soil and to decrease the settlement that might happen in the future.

At Summarecon City Bandung project, especially Cluster D, the chosen method of soil improvement is the Vacuum Consolidation method with Prefabricated Vertical Drain (PVD). The main principal of this method is with eliminating the atmospheric pressure until a certain time. Soil type that fits with this method is soil with the consistency of very soft to soft, by the N-SPT value of 0-4.

From the data obtained it is shown that Cluster D area has the average compressible soil depth of 20 m. In laboratory data, the value of C_c is very low which allows a lower settlement from the original state in the field. So correlation of C_c value is needed. To get the planned load, atmospheric pressure correction needs to be done to match the effectiveness of the vacuum pump. Furthermore, the calculation of natural consolidation time followed by the design of PVD and the foundation's carrying capacity is planned.

The duration needed until the soil reached 90% consolidation without the soil improvement is 194 years, but with the soil improvement has been done it only takes 22 weeks with the triangle PVD design by the distance of 120 cm. For the foundation design, shallow foundation is used with the square shape. The length and width is 150 cm and the depth is 50 cm. The foundation's carrying capacity before the soil improvement is $0,396 \text{ kg/cm}^2$ and after the soil improvement is $0,567 \text{ kg/cm}^2$.

Keywords : soil settlement, soft soil improvement, *vacuum consolidation*, *prefabricated vertical drain*, foundation's carrying capacity.

PENDAHULUAN

Beberapa wilayah di Indonesia memiliki lapisan tanah lunak yang sangat tebal Artinya, tanah keras terletak jauh di bawah permukaan tanah yang menyebabkan beberapa proyek pembangunan konstruksi memerlukan perencanaan tanah ekstra agar tidak terjadi penurunan (*settlement*) yang signifikan. Salah satunya adalah tanah yang berada di daerah kota Bandung. Menurut PPID Kota Bandung, Kota Bandung dikelilingi oleh pegunungan, sehingga bentuk morfologi wilayahnya bagaikan sebuah mangkok raksasa, serta berada pada ketinggian ± 768 m di atas permukaan laut. Dan juga Kota Bandung bagian selatan sangat rentan terhadap masalah banjir terutama pada musim hujan. Kawasan Kota Summarecon Bandung merupakan sebuah proyek yang berlokasi di Gedebage, Bandung, Jawa Barat.

Berdasarkan analisa penyelidikan tanah, kondisi tanah di Gedebage merupakan tanah lunak dimana partikel tanah padat lebih sedikit dibandingkan kandungan air dan udaranya. Konstruksi tidak akan dapat didkung oleh tanah lunak akibat tanah tidak dapat menahan beban konstruksi, sehingga proyek pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung Cluster D direncanakan menggunakan metode *Vacuum Consolidation* sebagai solusi untuk permasalahan tanah tersebut.

Metode *Vacuum Consolidation* adalah teknik yang menerapkan penghisapan vakum ke tanah yang terisolasi massal untuk mengurangi tekanan atmosfer di dalamnya, sehingga dengan cara mengurangi tekanan air pori di dalam tanah tegangan efektif dapat meningkat tanpa mengubah tegangan total. Dengan meningkatkan teknik konstruksi, serta mengembangkan metode analisis untuk merancang, metode ini telah menjadi metode yang efektif untuk perbaikan tanah lunak.

Dalam pengadopsian metode ini, *Sand Drain* dan *Prefabricated Vertical Drain* sering digunakan untuk mendistribusikan tekanan vakum dan debit air pori. Tekanan vakum dengan nominal 80 kPa biasanya digunakan dalam desain meskipun tekanan tersebut terkadang dapat mencapai nilai yang lebih tinggi yaitu 90 kPa. Metode ini sangat efektif digunakan pada tanah dengan konsistensi sangat lunak hingga lunak, karena tekanan 80 kPa dapat langsung diterapkan tanpa menyebabkan masalah stabilitas.

Adapun tujuan yang akan dicapai dalam perencanaan ini adalah:

1. Menjelaskan metode perbaikan tanah dengan *Vacuum Consolidation* di dunia konstruksi.
2. Menganalisis lama waktu yang diperlukan agar tanah termampatkan tanpa dan dengan perbaikan tanah menggunakan kombinasi metode *Vacuum Consolidation* dengan

Prefabricated Vertical Drain pada proyek Kawasan Kota Summarecon Bandung.

3. Menganalisis besar daya dukung pondasi sebelum dan sesudah perbaikan tanah menggunakan kombinasi metode *Vacuum Consolidation* dengan *Prefabricated Vertical Drain*.

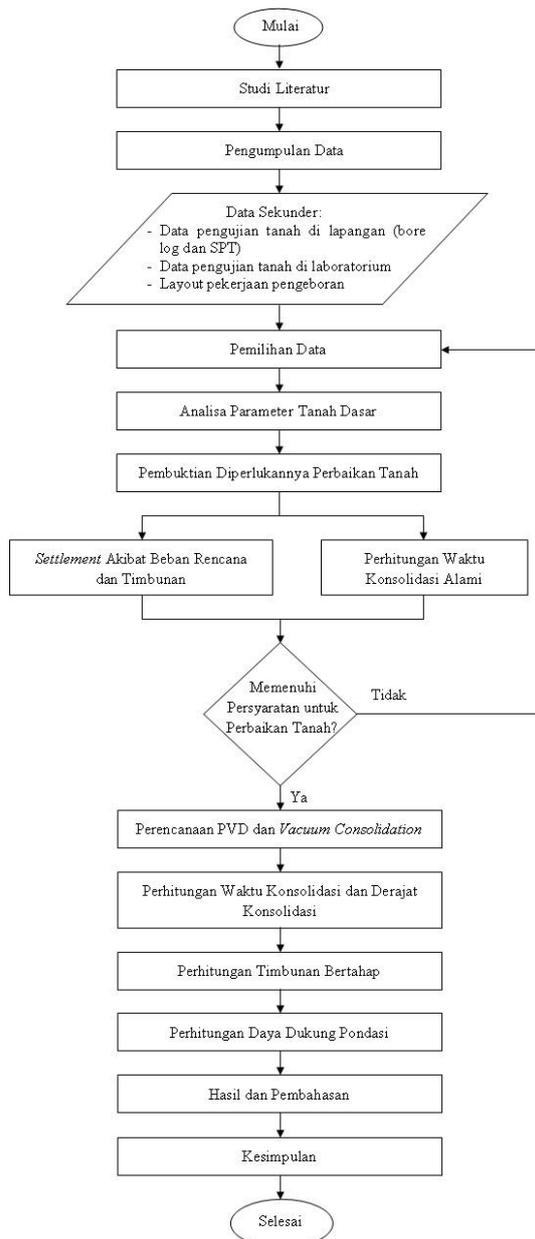
Batasan Masalah

Berhubungan dengan keterbatasan kajian yang dimiliki, adapun batasan masalah yang diberikan pada perencanaan ini, yaitu:

1. Metode perbaikan tanah yang digunakan adalah kombinasi metode *Vacuum Consolidation* dengan *Prefabricated Vertical Drain*.
2. Wilayah perencanaan adalah proyek Kawasan Kota Summarecon Bandung Cluster D.
3. Beban bangunan/struktur ditentukan oleh PT. Teknindo Geosistem Unggul.
4. Beban rencana diasumsikan sendiri.
5. Elevasi imbunan rencana adalah 3 m.
6. Perhitungan penurunan sekunder tidak dilakukan.
7. Efisiensi pompa vakum adalah sebesar 80%.
8. Faktor efek *smear* karena mandrel dianggap sama dengan faktor antar jarak PVD, sedangkan faktor *well resistance* diabaikan (dianggap = 0).
9. Perencanaan dibatasi sampai dengan perhitungan daya dukung pondasi.

METODE

Untuk memulai pengerjaan, perencanaan parameter tanah dasar dipilih dan dianalisis terlebih dahulu. Data-data yang diperoleh dapat digunakan untuk menghitung penurunan tanah dan daya dukung pondasi sebelum perbaikan tanah, serta memberi alternatif solusi terhadap permasalahan tanah lunak pada lokasi tersebut. Data yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari instansi terkait, yaitu PT. Teknindo Geosistem Unggul untuk mengetahui data tanah dari lokasi kajian. Area kajian merupakan area pembangunan rumah contoh untuk Kawasan Kota Summarecon Bandung dengan desain rumah 2 lantai dan memiliki beban struktural sebesar 22 kPa. Kajian ini dibuat dengan beberapa tahapan agar mencapai tujuan yang diharapkan. Tahapan perencanaan pada kajian ini dapat dilihat pada diagram alir pada **Gambar 1**.

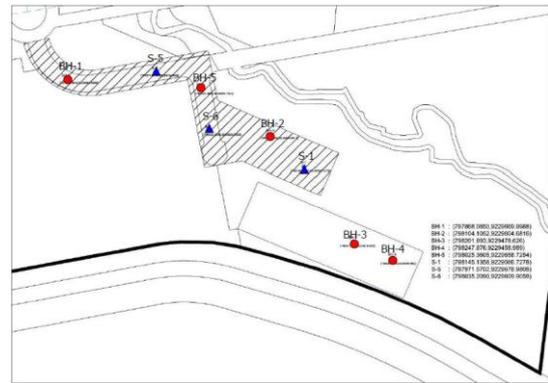


Gambar 1. Diagram Alir (*Flowchart*) Metode Kerja

HASIL DAN PEMBAHASAN

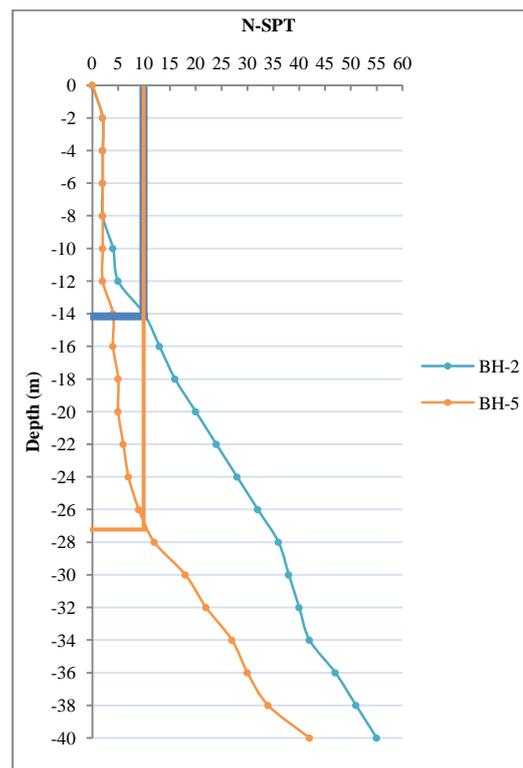
Hasil Analisa Tanah

Pada area yang direncanakan (Cluster D), data yang telah diperoleh menunjukkan bahwa untuk merencanakan PVD dapat menggunakan hasil laboratorium pada titik BH-2 dan BH-5, serta data sondir S-1 dan S-6. Sebelum memulai menghitung desain PVD, perhitungan waktu konsolidasi dilakukan terlebih dahulu untuk mengetahui perlu atau tidaknya area tersebut diperbaiki. Area perencanaan dapat dilihat pada **Gambar 2**.

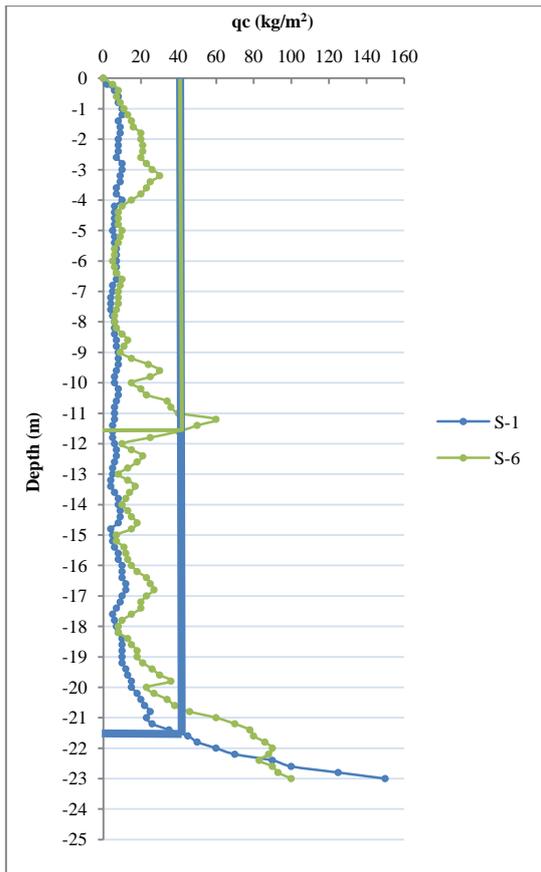


Gambar 2. Lokasi Penyelidikan Tanah

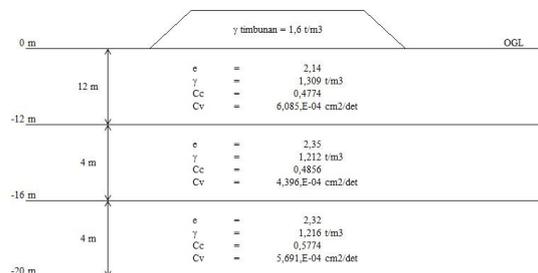
Pada grafik N-SPT (**Gambar 3**) dan grafik sondir (**Gambar 4**) menunjukkan bahwa titik BH-2 dan BH-5 serta titik S-1 dan S-6 memiliki kedalaman tanah *compressible* rata-rata sebesar 20 m. Pada data laboratorium, nilai C_c sangat kecil sehingga diperlukan korelasi. Setelah semua data dianalisis, sketsa penampang melintang tanah dapat digambarkan seperti yang terlihat pada **Gambar 5**.



Gambar 3. Grafik N-SPT dari Titik BH-2 dan BH-5



Gambar 4. Grafik Sondir dari Titik S-1 dan S-6



Gambar 5. Sketsa Penampang Melintang Tanah

Koreksi Tekanan Atmosfer

Dalam penentuan beban rencana, diperlukan koreksi tekanan atmosfer. Besarnya tekanan atmosfer pada ketinggian lokasi Cluster D Kawasan Kota Summarecon Bandung (+660 m) adalah sebesar 92,5 kPa. Apabila efektivitas pompa *vacuum* yang diharapkan adalah 80%, maka besar beban rencana akibat tekanan vakum adalah 7,4 t/m² atau setara dengan tinggi timbunan 4,625 m.

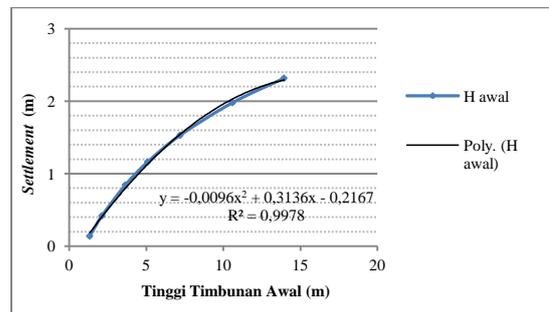
Tinggi Timbunan

Tinggi timbunan diperlukan untuk menghitung timbunan bertahap. Untuk mendapatkan tinggi timbunan akhir, diperlukan menghitung besar *settlement* dengan beban yang diasumsikan. Beban asumsi yang digunakan

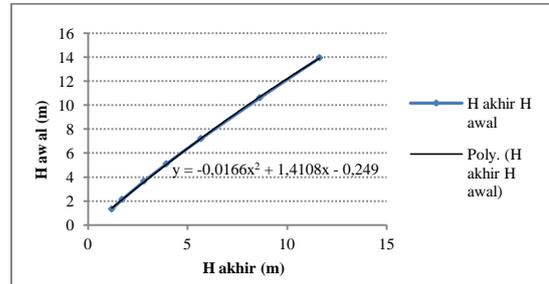
adalah: 2 t/m², 3 t/m², 5 t/m², 7 t/m², 10 t/m², 15 t/m², dan 20 t/m². Dari perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan hasil akhir yang ditunjukkan pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Tinggi Timbunan dan *Settlement*

q akhir (t/m ²)	Settlement (m)	H awal (m)	H akhir (m)
2	0,140	1,337	1,197
3	0,421	2,138	1,717
5	0,844	3,653	2,808
7	1,163	5,102	3,939
10	1,531	7,207	5,676
15	1,981	10,613	8,632
20	2,318	13,949	11,631



Gambar 6. Hubungan *Settlement* Konsolidasi dengan Tinggi Timbunan



Gambar 7. Hubungan Tinggi Timbunan Awal dengan Timbunan Akhir

Dari persamaan polinomial yang diperoleh dari grafik-grafik diatas dapat dihitung tinggi timbunan akhir. Apabila tekanan vakum dianggap sebagai beban nyata, maka timbunan yang diperlukan adalah setinggi 9,543 m. Sedangkan kenyataannya tekanan vakum merupakan beban maya (tidak nyata) sehingga tanah hanya membutuhkan timbunan sebesar 4,918 m. Untuk merencanakan timbunan bertahap, tekanan vakum dianggap beban nyata sehingga dapat menggunakan tinggi timbunan 9,543 m yang kemudian dibulatkan menjadi 9,6 m.

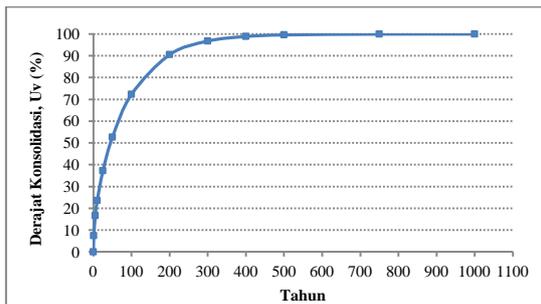
Waktu Konsolidasi Alami Tanah Dasar

Perhitungan waktu konsolidasi alami tanah dasar dilakukan sebagai pembuktian diperlukan

atau tidaknya perbaikan tanah. Dari **Gambar 5** dapat dilihat bahwa kondisi tanah terbagi menjadi beberapa lapis. Sehingga diperlukan perhitungan C_v gabungan agar waktu konsolidasi dapat dihitung. Kemudian didapatkan waktu konsolidasi alami pada $T_{90\%}$ adalah selama 194,634 tahun. Berikut adalah tabel dan grafik waktu konsolidasi alami tanpa perbaikan tanah.

Tabel 2. Waktu Konsolidasi Alami

Tahun (t)	T_v	U_v (%)
0	0	0
1	0,00	7,45
5	0,02	16,65
10	0,04	23,55
25	0,11	37,24
50	0,22	52,67
100	0,44	72,34
200	0,87	90,56
300	1,31	96,78
400	1,74	98,90
500	2,18	99,63
750	3,27	99,97
1000	4,36	100,00



Gambar 8. Grafik Waktu Konsolidasi Alami

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa tanah pada Cluster D Kawasan Kota Summarecon Bandung memerlukan perbaikan tanah.

Desain Prefabricated Vertical Drain

Prefabricated Vertical Drain (PVD) merupakan bahan sintesis untuk sistem drainase yang dipasang vertikal di dalam tanah lunak dengan menggunakan mandrel. PVD memiliki lebar 10 cm dengan ketebalan antara 0,2 – 0,5 cm. Umumnya, PVD bersifat *non-woven* yang berfungsi sebagai penyaring.

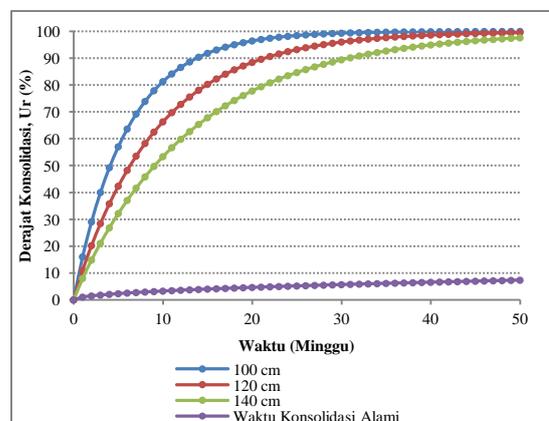
Dari perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya, dapat diketahui bahwa tanah pada area yang direncanakan memerlukan pekerjaan perbaikan tanah. Kedalaman pemasangan PVD yang direncanakan adalah 20 m, sedangkan jarak antara PVD berbeda yaitu 100 cm, 120 cm, dan 140 cm. Tebal PVD adalah 0,5 cm dengan lebar 10 cm.

Perbandingan lama waktu yang diperlukan agar tanah mencapai U_r 90% dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

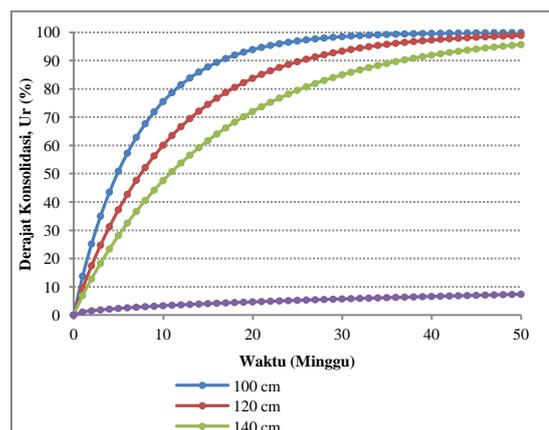
Tabel 3. Perbandingan Lama Waktu dengan Pola dan Jarak PVD

Jarak (cm)	Lama Waktu	
	Pola Segitiga	Pola Segiempat
100	14 minggu	17 minggu
120	22 minggu	26 minggu
140	31 minggu	37 minggu

Berikut adalah grafik perbandingan hubungan waktu konsolidasi dengan derajat konsolidasi dengan PVD dan tanpa PVD (alami).



Gambar 9. Perbandingan Hubungan Waktu Konsolidasi dengan Derajat Konsolidasi pada Desain PVD Pola Pemasangan Segitiga dengan Waktu Konsolidasi Alami



Gambar 10. Perbandingan Hubungan Waktu Konsolidasi dengan Derajat Konsolidasi pada Desain PVD Pola Pemasangan Segiempat dengan Waktu Konsolidasi Alami

Dapat disimpulkan bahwa desain PVD yang tepat dan efektif adalah dengan menggunakan pola segitiga dengan jarak pemasangan 120 cm.

Timbunan Bertahap

Timbunan bertahap diperlukan untuk mendapatkan nilai Cu setelah perbaikan tanah yang diakibatkan terjadinya konsolidasi. Penimbunan dilakukan dengan menimbun lapis demi lapis sesuai dengan ketebalan yang direncanakan. Berikut adalah skema dari timbunan bertahap.

Tabel 4. Skema Penimbunan Bertahap

Tinggi Timbunan	Waktu (Minggu)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,6 m	1								
2,6 m	2	1							
3,6 m	3	2	1						
4,6 m	4	3	2	1					
5,6 m	5	4	3	2	1				
6,6 m	6	5	4	3	2	1			
7,6 m	7	6	5	4	3	2	1		
8,6 m	8	7	6	5	4	3	2	1	
9,6 m	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Dari penimbunan bertahap, tanah dasar mengalami perubahan tahanan. Perubahan ini dapat digunakan untuk mencari kenaikan nilai kohesi tanah *undrained* (Cu). Kenaikan dapat terlihat apabila nilai Cu baru lebih besar daripada Cu lama.

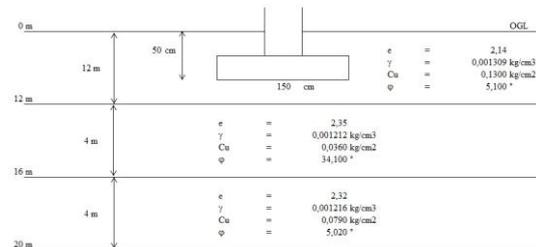
Tabel 5. Kenaikan Nilai Cu

Kedalaman (m)	$\Sigma \Delta \sigma$ (kg/cm ²)	Cu baru	Cu lama	Peningkatan (%)
1	0,5400	0,159	0,130	22,58
2	0,6007	0,169	0,130	30,00
3	0,6471	0,176	0,130	35,65
4	0,6886	0,183	0,130	40,71
5	0,7277	0,189	0,130	45,49
6	0,7654	0,195	0,130	50,08
7	0,8021	0,201	0,130	54,56
8	0,8381	0,207	0,130	58,96
9	0,8737	0,212	0,130	63,30
10	0,9088	0,218	0,130	67,59
11	0,9437	0,223	0,130	71,84
12	0,9783	0,229	0,130	76,07
13	0,8837	0,221	0,036	513,75
14	0,9084	0,225	0,036	525,17
15	0,9329	0,229	0,036	536,53
16	0,9573	0,233	0,036	547,82
17	0,9886	0,234	0,079	196,19
18	1,0132	0,238	0,079	201,24
19	1,0377	0,242	0,079	206,27
20	1,0621	0,246	0,079	211,29

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa perencanaan perbaikan tanah dapat meningkatkan nilai Cu.

Daya Dukung Pondasi

Pondasi yang direncanakan adalah pondasi dangkal dengan bentuk persegi. Ukuran pondasi adalah 150 cm untuk panjang dan lebar, serta 50 cm untuk kedalamannya. Sketsa penampang melintang tanah dengan pondasi dangkal dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 11. Sketsa Penampang Melintang Tanah dengan Pondasi Dangkal

Setelah dilakukan perhitungan, diketahui bahwa daya dukung ijin pondasi sebelum perbaikan tanah adalah sebesar 0,3962 kg/cm². Sedangkan daya dukung ijin pondasi setelah perbaikan tanah adalah sebesar 0,5884 kg/cm². Dari hasil perhitungan tersebut, dapat dilihat bahwa daya dukung ijin sebelum perbaikan tanah melebihi beban struktur yang diketahui, yaitu sebesar 0,22 kg/cm². Hal tersebut menunjukkan bahwa apabila dilaksanakan konstruksi pada tanah tersebut maka tanah sudah cukup kuat untuk menahan beban, akan tetapi tanah akan mengalami penurunan yang signifikan sehingga dapat terjadi kegagalan konstruksi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari perencanaan ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Berasal dari Swedia, metode *Vacuum Consolidation* diperkenalkan oleh Kjellman pada tahun 1952. Dengan menggunakan prinsip penghisapan vakum, metode ini mulai berkembang di sejumlah negara dan telah dibuktikan berhasil dalam perbaikan tanah. Akan tetapi, penggunaan alat ini di Indonesia belum terkenal dikarenakan kurangnya literatur, pemahaman prinsip dasar, serta besarnya biaya yang dibutuhkan untuk menggunakan alat vakum. Salah satu proyek di Indonesia yang menggunakan metode ini adalah proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung.
2. Pada perencanaan ini, besarnya tekanan *vacuum* yang digunakan pada ketinggian

+660 m adalah 92,5 kPa. Dengan efektivitas pompa sebesar 80%, besar tekanan *vacuum* menjadi 74 kPa atau setara dengan 4,625 m timbunan tanah. Desain PVD yang dianggap paling efisien adalah pola segitiga dengan jarak 120 cm. Dengan desain tersebut, lama waktu yang diperlukan agar tanah mencapai konsolidasi 90% adalah sebagai berikut:

- Tanpa perbaikan tanah : 194 tahun
 - Dengan perbaikan tanah : 22 minggu
3. Pondasi yang digunakan adalah pondasi dangkal dengan bentuk persegi, dengan panjang dan lebar sebesar 150 cm dan kedalaman 50 cm. Daya dukung pondasi yang terjadi adalah sebagai berikut:
- Sebelum perbaikan tanah : 0,3962 kg/cm²
 - Setelah perbaikan tanah : 0,5884 kg/cm²

Saran

Berdasarkan perencanaan perbaikan tanah dengan metode *Vacuum Consolidation* ini, penulis menyarankan hal-hal berikut:

1. Penyelidikan dan analisis geoteknik sangat perlu dilakukan sebelum pekerjaan konstruksi dimulai, agar dapat diketahui baik atau tidaknya tanah pada area tersebut.
2. Pada gambar lokasi penyelidikan tanah dapat dilihat bahwa beberapa titik penyelidikan tanah tidak diambil di lokasi. Untuk kedepannya, titik penyelidikan tanah sebaiknya diambil di lokasi.
3. Metode vakum membutuhkan timbunan tanah lebih sedikit daripada metode lain.
4. Untuk menentukan parameter tanah dasar diperlukan pengecekan atas kewajaran data tersebut. Apabila laporan penyelidikan tanah kurang wajar, maka dilakukan perubahan dengan cara korelasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (Tanpa Tahun). *Sejarah Kota Bandung*. Pejabat Pengelola Informasi dan Dokumentasi Kota Bandung.
- Chu J., Yan S., Indraratna B. (2008). *Vacuum Preloading Techniques – Recent Development and Applications*. Published by GeoCongress.
- Dam LTK., Sandanbata I., Kimura M., (2006). *Vacuum Consolidation Method – Worldwide Practice and the Latest Improvement in Japan*. Hazama Corporation, Japan.
- Das BM. (1993). *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, jilid pertama. Texas University, El Paso.
- Griffin H., O’Kelly BC. (2013). *Ground Improvement by Vacuum Consolidation – A Review*. Published by Institution of Civil Engineers.
- Holtz, RD., et al. (1991). *Prefabricated Vertical Drains: Design and Performance*. CIRIA Ground Engineering Report: Ground Improvement. Butterworth – Heinemann Ltd, Oxford.
- Indraratna, B., Rujikiatkamjorn, C., Sathananthan, I. (2005). *Radial Consolidation of Clay Using Compressibility Indices And Varying Horizontal Permeability*. Canadian Geotechnical Journal.
- Masse, F., Spaulding CA., Wong, Pr. IC., Varaksin S. (2001). *Vacuum Consolidation: A Review of 12 Years of Successful Development*. Geo-Odyssey Conference, Virginia.
- Mochtar, I.B. (2000). *Teknologi Perbaikan Tanah dan Alternatif Perencanaan pada Tanah Bermasalah (Problematic Soils)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.