



## Seminar Nasional Insinyur Profesional (SNIP)

Alamat Prosiding: snip.eng.unila.ac.id



### Soil Improvement With Vacuum Preloading System Pada Proyek Jalan Tol Kayu Agung – Palembang – Betung

Adib, H. Qowiyyul<sup>a\*</sup>, Widyawati, Ratna<sup>b</sup>, Despa, Dikpride<sup>c</sup>, Armada, Dedi Pria<sup>d</sup>

<sup>a</sup>PT Waskita Karya (Persero) Tbk, Jl MT Haryono No. 10 RT 11 RW 11 Cawang, Kecamatan Jatinegara, Kota Jakarta Timur, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 13340

<sup>b,c</sup> Program Profesi Insinyur Fakultas Teknik Unila, Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro, Bandar Lampung 35145

<sup>d</sup>PT Multi Struktur Aroya

#### INFORMASI ARTIKEL

#### ABSTRAK

##### Riwayat artikel:

Diterima : 6 Maret 2023

##### Kata kunci:

Tanah Lunak

*Prefabricated Vertical Drain*

Penurunan konsolidasi

PVD Preload

*Vacuum System*

Dewasa ini, pemerataan infrastruktur menjadi pusat perhatian bagi pemerintah. Pemerintah saat ini tengah gencar mensosialisasikan pembangunan infrastruktur Indonesia sentris. Pembangunan yang bersifat menyeluruh dan menyentuh setiap pelosok negeri. Pembangunan yang diharapkan dapat membuka potensi lokal menuju kemandirian daerah sekaligus turut mendukung kemajuan perekonomian nasional. Daerah Sumatera Selatan juga menjadi salah satu sasaran pembangunan infrastruktur. Jalan Tol Trans Sumatera adalah jaringan jalan tol sepanjang 2.818km di Indonesia yang direncanakan menghubungkan kota-kota di pulau Sumatera, dari Lampung hingga Aceh. Pembangunan jalan bebas hambatan kemudian berlanjut pada pembangunan proyek Jalan Tol Ruas Kayu Agung-Palembang Betung Paket I seksi 1A. Ruas Jalan Tol Ruas Kayu Agung-Palembang Betung Paket I seksi 1A memiliki panjang ±13,4km. Kondisi area proyek tol Kayu Agung – Palembang– Betung yang merupakan mayoritas adalah rawa yang menjadikan infrastruktur jalan dibangun pada tanah area lunak, sehingga masalah penurunan berlebihan menjadi faktor yang penting dan harus dicari solusinya. Pada lokasi tanah yang bersifat lunak, sebelum dilakukan pembangunan infrastruktur umumnya perbaikan tanah harus dilakukan lebih dulu guna menjamin stabilitas jangka pendek maupun jangka panjangnya. Seperti halnya pada bangunan infrastruktur jalan area proyek tol Kayu Agung – Palembang–Betung untuk rentang penanganan awal antara Sta 5+000- 5+360. Di antara rentang tersebut, hasil sondir yang dilakukan terdapat tanah lunak dengan kedalaman yang bervariasi. Dengan adanya kedalaman tanah lunak tersebut, maka penurunan yang terjadi cukup besar. Untuk menangani penurunan yang terjadi tersebut, salah satu solusinya dengan mempercepat penurunan konsolidasi. Percepatan konsolidasi yang dimaksud adalah dengan menambahkan material *Prefabricated Vertical Drain* (PVD). *Vertical drain* ini sendiri dibedakan menjadi dua metode, yaitu metode PVD *Preload* dan metode PVD *Vacuum*. Penurunan yang terjadi terhadap tanah dasar akan menyebabkan pemampatan serta kuat geser akan meningkat, sehingga kapasitas daya dukung tanah dasar juga akan meningkat.

## 1. PENDAHULUAN

Pada prinsipnya tanah merupakan dasar yang menerima beban akibat bangunan yang berada di atasnya, (Moningka, dkk, 2015). Bangunan tidak boleh dibangun di atas tanah yang mudah memampat (*compressible*) karena dikawatirkan terjadinya perbedaan penurunan tanah (*differential settlement*) yang lebih besar dari pada batas toleransi bangunan tersebut, untuk menangani penurunan tersebut dilakukan dengan cara mempercepat konsolidasi agar tanah dapat cepat mengalami penurunan dengan waktu singkat dan tidak melebihi batas toleransi bangunan yang sudah

direncanakan. Perbaikan tanah lunak dengan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) merupakan cara yang paling banyak digunakan saat ini. Pemasangan PVD ke dalam tanah mereduksi lintasan drainase sehingga mempercepat proses konsolidasi

Perbaikan tanah lunak dengan PVD berdasarkan SNI 8460-2017 adalah material geosintetik komposit yang digunakan dalam perbaikan tanah lunak berpermeabilitas rendah, berkompresibilitas tinggi yang dikombinasikan dengan prapembebanan (*preloading*) berupa tanah timbunan. Material PVD ini terdiri dari *plastic core* (inti) dan *filter jacket* (selimut). *Vertical drain* ini sendiri dibedakan

menjadi dua metode, yaitu metode PVD *Preload* dan metode PVD *Vacuum*. Penjelasannya sebagai berikut:

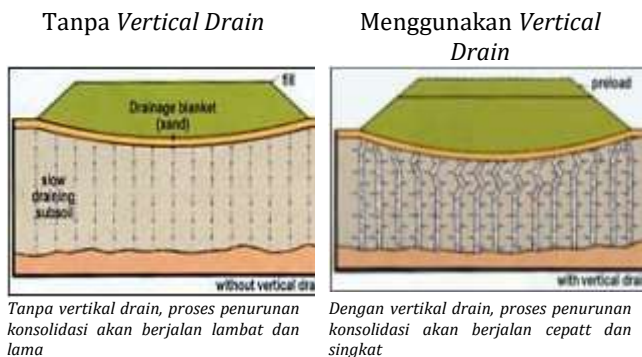
#### A. Vertical Drain Preload

Seperti yang telah diketahui tanah dasar di beberapa STA pada lokasi proyek ini merupakan tanah lunak yang cukup tebal. Menyebabkan penurunan yang sangat besar dalam jangka waktu yang lama, daya dukung tanah yang sangat rendah mengganggu stabilitas konstruksi/timbunan.

Permasalahan yang terjadi adalah penurunan tanah dasar yang dapat berlangsung dalam jangka waktu yang sangat lama. Salah satu alternatif untuk mengatasi permasalahan ini adalah pemasangan *vertical drain* (Indraratna, 2008)

Prinsip *vertical drain* ini adalah mempercepat terjadinya proses konsolidasi dengan menyediakan jalur-jalur vertikal untuk mengeluarkan air tanah dari lapisan tanah dasar yang lunak, sehingga air tanah akan terperas keluar dan tanah dasar akan mengalami penurunan akibat terjadinya proses konsolidasi pada lapisan tanah lunaknya dalam waktu yang lebih cepat dibanding konsolidasi secara alami (SNI 8460-2017).

Penurunan yang terjadi terhadap tanah dasar akan menyebabkan pemampatan serta kuat geser akan meningkat, sehingga kapasitas daya dukung tanah dasar juga akan meningkat. Dari gambar 1 dapat diketahui perbedaan pergerakan air pada proses penurunan konsolidasi dengan dan tanpa *vertical drain*. Proses penurunan yang tidak didukung dengan *vertical drain* terlihat terjadi penurunan konsolidasi berjalan lambat dan lama. Sementara dengan *vertical drain*, penurunan konsolidasi akan berjalan dengan cepat dan singkat.



**Gambar 1.** Tanpa *vertical drain* & dengan *vertical drain*

#### B. Vertical Drain Vacuum

Indraratna (2008) mengatakan pada metode percepatan konsolidasi konvensional, seperti metode *vertical drain* dibutuhkan timbunan sebagai preloading untuk mendisipasi air pori dari tanah dasar, kadang kala penempatan beban preloading ini menimbulkan beberapa masalah salah seperti:

- Kapasitas daya dukung tanah dasar yang rendah membuat tinggi preloading menjadi terbatas.
- Membutuhkan waktu lama karena preloading harus dilakukan dengan konstruksi bertahap.
- Ketersediaan material untuk preloading

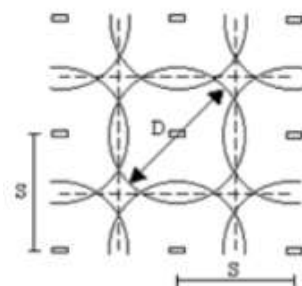
Untuk menghindari permasalahan tersebut tersebut, PT Tetrasa Geosinindo sejak salah satu distributor material geosintetik di Indonesia dengan bekerja sama dengan para ahli dari sektor Pendidikan mengembangkan system *vacuum preloading*, dan diciptakan suatu system dengan nama *Geostructure Vacuum System / GVS*. GVS merupakan suatu

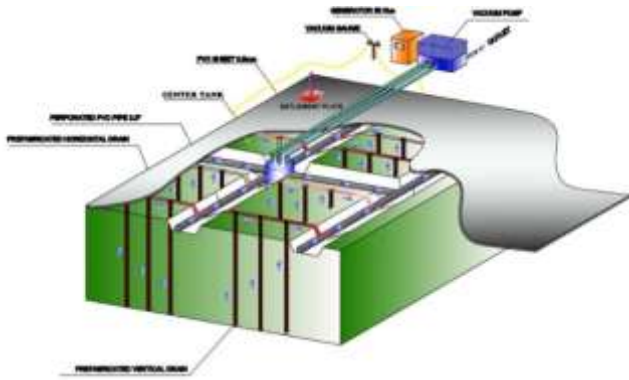
metode stabilitas tanah menggunakan hisapan vakum sebagai preloading untuk mempercepat proses konsolidasi. Jika preloading juga ditambahkan selama proses hisapan vakum, maka proses konsolidasi dengan beban setara hisapan vakum akan menjadi lebih cepat.

Kesitimewaan penggunaan metode GVS ini diantaranya sebagai berikut:

- 1) Mampu memisahkan air dan udara melalui penyerapan udara oleh pompa vakum, sedangkan air ditampung untuk dikeluarkan dengan pompa air.
- 2) Kemungkinan kehilangan tekanan dapat diminimalisir karena air dan udara dihisap secara terpisah.
- 3) Tekanan air pori berkurang secara cepat (bahkan sampai negatif) akibat hisapan vakum sebesar 70 kPa (setara dengan kira-kira 4 m tanah). Sebagai hasilnya, tanah akan mengalami tekanan dan kuat geser tanah akan meningkat.
- 4) Dengan hisapan vakum yang terdistribusi, penurunan tiap lapisan tanah terjadi secara cepat dan simultan sehingga *residual settlement* menjadi lebih kecil.
- 5) Peningkatan beban lebih cepat dibandingkan metode konvensional sehingga waktu konstruksi menjadi lebih pendek dan biaya konstruksi dapat dikurangi.
- 6) Akibat dari penurunan besar dalam jangka waktu singkat, akan terjadi retakan sepanjang sisi area yang diperbaiki. Retakan ini berjarak sekitar 10 m dari sisi area perbaikan.
- 7) GVS tidak menimbulkan polusi karena tidak menggunakan material kimia tambahan seperti semen atau kapur. Material buangan hanya berupa air yang dihisap oleh pompa.

Ujung atas dari vertikal drain dihubungkan dengan horizontal drain yang dipasang pada lapisan pasir. Kemudian horizontal drain tersebut dihubungkan dengan jaringan pipa perforasi Untuk memastikan efisiensi dari hisapan vakum, jarak antara material - material yang digunakan harus disesuaikan dengan konfigurasi yang optimum. Pemasangan *vertical drain* pada metode GVS menggunakan pola segi empat dengan jarak antar drain 1 m seperti pada Gambar 2 berikut.





Gambar 2. Ilustrasi Pemasangan Vertical Drain Metode GVS

## 2. METODOLOGI

Tanah dasar dengan konsistensi lunak yang sangat dalam menyebabkan penurunan konsolidasi yang besar dan membutuhkan waktu yang sangat lama. Oleh karena itu, dilakukan upaya untuk mempercepat penurunan konsolidasi yaitu dengan prefabricated vertical drain. Metode ini bertujuan untuk mempercepat terjadinya penurunan konsolidasi, sehingga di atas tanah tersebut dapat segera dilakukan pekerjaan konstruksi (Moningka, dkk, 2015).

Alur penelitian Konsolidasi Pada Tanah Lempung Lunak terdapat pada gambar 3 dibawah ini



Gambar 3 Alur Penelitian Konsolidasi Pada Tanah Lempung Lunak

Beberapa pengujian terhadap karakteristik tanah untuk menentukan metode perbaikan tanah yang akan digunakan pada lokasi yang ditinjau.

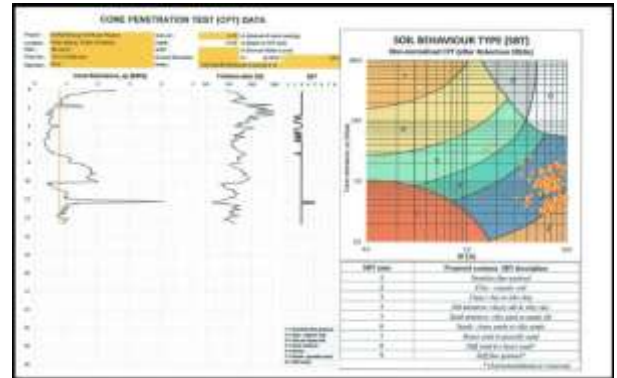
Urutan langkah kerja pekerjaan Vacuum System setelah lahan siap dikerjakan (timbunan pasir di lokasi sudah dilaksanakan) adalah sebagai berikut:

- Pemasangan Vertical Drain,
- Pemasangan Horizontal Drain System,
- Pemasangan tangki pemisah,
- Pemasangan alat instrumentasi untuk monitoring pekerjaan,

- Pemasangan lapisan proteksi dan lapisan kedap,
- Penggalan angkur,
- Pelaksanaan Vacuum System, dan
- Pemasangan geotextile sebelum timbunan tanah.

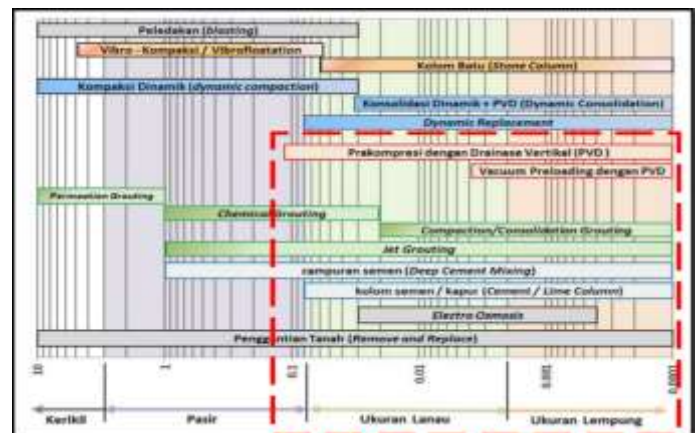
### A. Pengujian CPT dan SBT

Dilakukan uji sondir untuk mengetahui stratifikasi tanah.



Gambar 3. Hasil Dari Pengujian Cone Penetration Test dan Soil Behaviour Type

Pada Data CPT Test berikut, diketahui kondisi tanah yang merupakan tanah lempung dengan Nilai  $q_c < 0,8$  Mpa pada kedalaman tanah lebih dari 2 meter. Setelah didapat hasil pengujian kondisi tanah selanjutnya akan disesuaikan berdasarkan jenis-jenis metode perbaikan tanah sesuai SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik.



Gambar 4. Jenis Jenis Metoda Perbaikan tanah Berdasarkan SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik

Berdasarkan SNI 8460:2017. Persyaratan Perancangan Geoteknik terkait Jenis-Jenis Metoda Perbaikan tanah, maka untuk tanah Lempung dengan Nilai  $q_c < 0,8$  Mpa pada kedalaman tanah lebih dari 2 meter salah satu metoda yang disarankan adalah dengan menggunakan metoda PVD + Vacuum. Hal tersebut bertujuan untuk :

- Mengurangi besar penurunan (*settlement*) setelah pembangunan.
- Mempercepat penurunan (konsolidasi) dan meningkatkan daya dukung tanah.
- Mempercepat waktu penurunan (konsolidasi).
- Menyubstitusi sebagian atau seluruh material tanah timbunan yang digunakan dalam metode pra

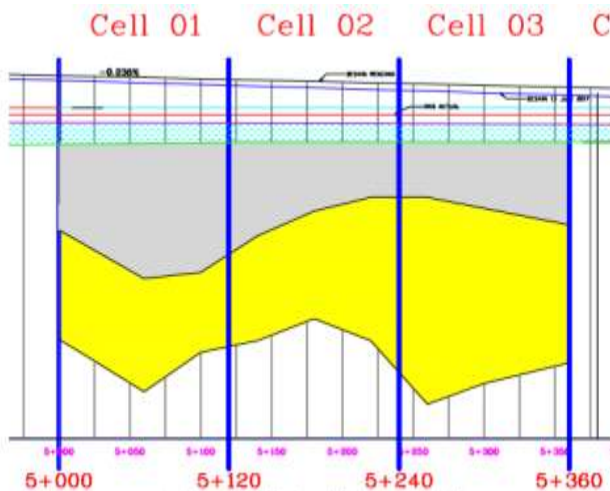


pembebanan konvensional dengan tekanan atmosfer yang timbul dari proses prapembebanan hampa udara.

- Meniadakan material timbunan untuk beban kontra (penstabil terhadap kelongsoran ditepi-tepi area perbaikan).
- Menaikkan stabilitas timbunan

#### B. Stratifikasi tanah

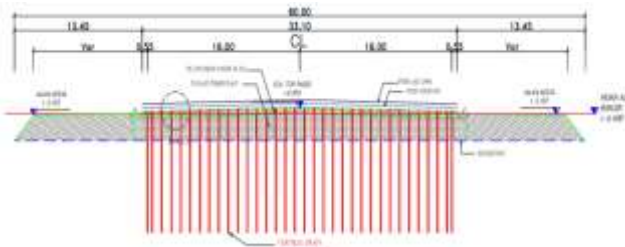
Stratifikasi tanah yang bisa dibuat dari data sondir yang dilakukan mulai bulan Februari 2018 bisa dilihat pada gambar-gambar berikut.



Gambar 5 Stratifikasi Tanah (STA 5+000 - 5+360)

#### C. Tipikal Potongan Melintang

Tipikal potongan melintang untuk pengerjaan vertikal drain pada proyek ini adalah sebagai berikut.



Gambar 6. Tipikal Potongan Melintang

#### D. Tanah timbunan

Tanah timbunan yang direncanakan pada proyek ini adalah tanah dengan berat volume 17 kN/m<sup>3</sup>. Tanah timbunan ini juga berfungsi sebagai material preloading.

#### E. Beban rencana

Beban rencana adalah beban kendaraan yang akan bekerja di atas konstruksi yaitu beban merata sebesar 20 kPa. Serta ditambahkan dengan beban dari tebal lapis perkerasan setebal 0,85 m. Dengan asumsi tebal lapis perkerasan memiliki berat jenis 19 kN/m<sup>3</sup>, maka beban rencana total adalah 36,15 kN/m.

Beban tersebut dikalikan dengan faktor beban 1,3.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Pembagian Cell

Untuk satu sel penanganan, luas efektif yang bisa ditangani dengan metode vakum adalah 4000 m<sup>2</sup>.

Dengan total panjang penanganan 1000 m, pembagian cellnya adalah menjadi 9 cell penanganan. Adapun pembagian cell-cell penanganannya adalah sebagai berikut.

Tabel 1 Pembagian Cell-Cell Penanganan

No	STA	Panjang Penanganan (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Lebar Platform (m)	Ketinggian Timbunan Rencana (m)
1	5+000 - 5+120	120	3972	33,1	3,923
2	5+120 - 5+240	120	3972	33,1	3,539
3	5+240 - 5+360	120	3972	33,1	3,244
4	5+360 - 5+480	120	3972	33,1	2,952
5	5+480 - 5+600	120	3972	33,1	2,118
6	5+600 - 5+720	120	3972	33,1	1,617
7	5+720 - 5+840	120	3972	33,1	1,752
8	5+840 - 5+920	80	2648	33,1	1,596
9	5+920 - 6+000	80	2648	33,1	1,676

Catatan:

- Tinggi timbunan pada tabel di atas adalah tinggi timbunan sampai bawah lapis perkerasan jalan. Dimana berdasarkan gambar, tebal lapis perkerasan adalah 0,85 m. Dalam perhitungan ini, lapis perkerasan dianggap sebagai beban luar.
- Perbedaan panjang penanganan dikarenakan perbedaan lebar platform.
- Dari 9 cell, baru 3 cell yang sudah disondir, yaitu cell 1, 2, dan 3.

#### B. Perhitungan besar dan waktu penurunan

Penurunan yang terjadi pada kondisi Normal Consolidated. Contoh yang diambil adalah pada cell awal yaitu pada STA 5+000 - 5+040. Adapun data-data pada cell tersebut adalah sebagai berikut.

- Timbunan rencana : 3,923 m
- $\gamma_{\text{timbunan}}$  : 17 kN/m<sup>3</sup>
- Beban vakum: 80 Kpa
- Tinggi platform: 2,583 m
- $\Delta P = 80 + 2,583 \times 17 = 123,911 \text{ kN/m}$

Tabel 2 Lapisan Tanah STA 5+000 - 5+040

Kedalaman	H (m)	qc (kg/cm <sup>2</sup> )	a	mv
0,0 - 7,2	7,2	5,214	3,043	0,00063

Jadi penurunan yang terjadi pada tanah tersebut adalah sebagai berikut.

$$S_1 = 0,00063 \cdot 123,911 \cdot 7,2 = 0,562 \text{ m}$$

Maka penurunan total yang terjadi dengan derajat konsolidasi 100% adalah 0,562 m. Sedangkan untuk derajat konsolidasi 90%, besar penurunannya adalah 0,506 m.

#### C. Resume besar dan waktu penurunan alamiah

Resume hasil perhitungan besar dan waktu penurunan alamiah yang terjadi dengan menggunakan rumus yang telah dijabarkan sebelumnya adalah sebagai berikut:

Tabel 3 Besar dan Waktu Penurunan Alamiah

Cell	STA	Tinggi Timbunan Rencana (m)	Kedalaman tanah lunak (m)	S100% (m)	S90% (m)	Sisa Penurunan (m)	Waktu Penurunan Alamiah (tahun)
1	5+000 - 5+040	3,923	7,2	0,562	0,506	0,056	8,8
	5+040 - 5+120		9,8	0,771	0,694	0,077	16,3
2	5+120 - 5+160	3,539	6,8	0,437	0,394	0,044	7,8
	5+160 - 5+200		5,2	0,398	0,359	0,040	4,6
	5+200 - 5+240		4,0	0,280	0,252	0,028	2,7
3	5+240 - 5+300	3,244	4,0	0,346	0,312	0,035	2,7
	5+300 - 5+360		5,6	0,484	0,436	0,048	5,3

#### D. Metode PVD vakum

Metode pertama adalah dengan menggunakan metode PVD vakum. Besarnya tekanan yang diperlukan diperhitungkan terhadap elevasi rencana dan beban rencana sehingga dapat ditentukan apakah diperlukan tanah timbunan tambahan di luar beban vakum.

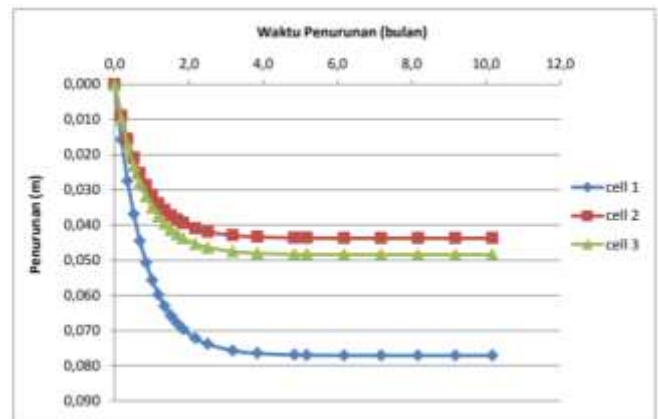
Tabel 4 Hasil Analisis Metode PVD Vakum

Cell	STA	Tinggi Timbunan Rencana (m)	Timbunan Platform (m)	Timbunan Tambahan yang diperlukan Sebagai Preload (m)	Tinggi timbunan mengejar elevasi (m)	Total timbunan yang diperlukan (m)
1	5+000 - 5+040	3,923	2,583	0,000	1,847	4,429
	5+040 - 5+120	3,923	2,583	0,092	1,942	4,617
2	5+120 - 5+160	3,539	2,491	0,000	1,441	3,933
	5+160 - 5+200	3,539	2,491	0,000	1,406	3,897
	5+200 - 5+240	3,539	2,491	0,000	1,300	3,791
3	5+240 - 5+300	3,244	2,490	0,000	1,066	3,556
	5+300 - 5+360	3,244	2,490	0,000	1,190	3,680

Tinggi tambahan yang diperlukan sebagai pengganti *preloading* adalah timbunan tambahan yang diperlukan diluar beban pompa vakum untuk mengganti beban preload. Atau dalam arti, dengan beban pompa vakum saja, belum cukup untuk mengganti beban timbunan rencana dan beban luar rencana. Tinggi timbunan untuk mengejar elevasi adalah tinggi timbunan yang dibutuhkan untuk mencapai ketinggian elevasi rencana setelah penurunan konsolidasi mencapai 90% (sampai bawah lapisan perkerasan), sehingga timbunan untuk mengejar elevasi tersebut bisa dilakukan setelah proses konsolidasi selesai.

#### E. Sisa penurunan

Sisa penurunan yang terjadi setelah beban kerja terjadi pada ke-3 cell tersebut bisa dilihat pada gambar berikut



## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan konsolidasi pada proyek jalan tol Kayu Agung Palembang Betung Paket I Seksi 1A bisa dilihat sebagai berikut.

1. Prefabricated vertical drain (PVD) berfungsi sebagai saluran untuk mengeluarkan air pori tanah dengan adanya PVD maka air pori tanah dapat mudah keluar ke permukaan tanah. PVD harus dikombinasikan dengan beban baik berupa tanah timbunan (Preloading) maupun kombinasi Preloading dan tekanan vakum.
2. Dengan adanya PVD maka waktu yang dibutuhkan untuk konsolidasi tanah lebih cepat jika dibandingkan dengan waktu konsolidasi alami tanah.
3. Jika menggunakan metode Preloading, diperlukan waktu konstruksi timbunan bertahap agar memperoleh nilai daya dukung tanah dasar yang mencukupi untuk dapat menopang beban timbunan di atasnya
4. Besar penurunan konsolidasi yang terjadi pada derajat konsolidasi 90% adalah antara 0,252 – 0,694 m tergantung dari tebal tanah lunak dan tinggi timbunan rencana.
5. Waktu penurunan alaminya adalah antara 2,7 – 16,3 tahun tergantung dari kedalaman tanah lunaknya.
6. Waktu penurunan yang direncanakan adalah selama 2 bulan. Jarak vertikal drain dengan pola segiempat yang dibutuhkan untuk mencapai penurunan konsolidasi 90% dalam waktu tersebut adalah jarak 1,0 m.
7. Timbunan platform awal rata-rata memiliki ketinggian yang beragam dari eksisting. Dimana 0,5 m bagian atasnya adalah pasir, dan sisanya timbunan tanah.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan Rahmat, Ridho dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan artikel ini dengan baik. Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan dan motivasi dalam penyelesaian artikel ini. Semoga artikel inidapat bermanfaat dan dapat memberikan sumbangan ilmu pengetahuan secara umum.

Tabel 5 Sisa Penurunan

**DAFTAR PUSTAKA**

- Burt G Look. (2007). *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*.
- FHWA. (1986). *Prefabricated Vertical Drains, Colume-1: Engineering Guidelines*, Federal Highways Administration, US. Departement of Transportation, Washington, DC
- Hardiyatmo, H.C (2014). *Mekanika Tanah 2, Edisi -V*. Yogyakarta: Gadjia Mada University Press
- Hardiyatmo, H.C (2020). *Perbaikan Tanah*. Yogyakarta: Gadjia Mada University Press
- Indraratna. B. (2008). *Recent Advancements in the use of prefabricated vertical drains in soft soils*.
- Joseph E. Bowles. (1989). *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*.
- Moningga, dkk, (2015). *Pyhsical and Chemical Properties of Sediment in Tondano Lake*. Portal Garuda.
- Paulus. (2001). *In Situ Testing and Soil Properties Correlations*.
- T. Lunne, P.k Robertson, J.J.M Rowell. (1997). *Cone Penetration Testing*