

## PROBLEMATIKA PEMBANGUNAN INFRASTRUKTUR PADA TANAH LEMPUNG LUNAK DAN ALTERNATIF METODA PENANGANANNYA

Wahyu P. Kuswanda

Direktur PT. Teknindo Geosistem Unggul  
Gedung Wisma SIER, Lantai 1, Jl. Rungkut Industri Raya No.10 Surabaya 60293  
Telp. : 031-8475062 Faks. : 031-8475063 Website : www.geosistem.co.id  
E-mail: wahyu@geosistem.co.id

### Abstrak

Problema utama pembangunan infrastruktur pada tanah lempung lunak adalah daya dukung tanah dasarnya yang relatif rendah dan pemampatan tanah dasarnya yang relatif besar serta berlangsung relatif lama. Apabila tanpa dilakukan perbaikan pada tanah dasarnya terlebih dahulu maka infrastruktur yang dibangun berpotensi akan mengalami kerusakan sebelum mencapai umur yang direncanakan. Untuk menangani problema tersebut diantara beberapa alternatif yang bisa dilakukan adalah melakukan perbaikan tanah dasar dengan metoda *preloading* dengan penggunaan *prefabricated vertical drain* dan metoda *vacuum consolidation*.

Kata kunci : tanah lempung lunak, pemampatan, *preloading*, *prefabricated vertical drain*, *vacuum consolidation*

### 1. PENDAHULUAN

Lahan basah (*wetland*) adalah wilayah-wilayah yang tanahnya jenuh dengan air, baik bersifat permanen (menetap) atau musiman. Termasuk di dalam lahan basah ini, di antaranya adalah rawa-rawa (termasuk rawa bakau), paya, dan gambut. Tanah pada di lahan basah biasanya merupakan tanah lunak. Sekitar 20 juta hektar atau lebih dari 10% luas daratan di Indonesia merupakan tanah lunak yang terdiri dari tanah lempung lunak (*soft clay soil*) dan tanah gambut (*peat soil*). Distribusi tanah lempung lunak di Indonesia berada di sepanjang pantai utara Pulau Jawa, pantai timur Pulau Sumatera, pantai barat Pulau Kalimantan, pantai selatan Pulau Kalimantan, pantai timur Pulau Kalimantan, pantai selatan Pulau Sulawesi, pantai barat Pulau Papua dan pantai selatan Pulau Papua. Peta penyebaran tanah lempung lunak di Indonesia ditunjukkan pada **Gambar 1**.



■ : tanah lempung lunak

**Gambar 1.** Penyebaran tanah lempung lunak

Makalah ini membahas problematika pembangunan infrastruktur pada tanah lempung lunak dan alternatif metoda penanganannya. Diantara beberapa alternatif penanganannya yang dibahas pada makalah ini hanya metoda *preloading* dengan penggunaan *prefabricated vertical drain* dan metoda *vacuum consolidation* saja.

### 2. PERAN TANAH PADA BANGUNAN

Tanah memiliki 3 (tiga) peran utama pada bangunan infrastruktur, yaitu sebagai pendukung, bahan dan beban bangunan infrastruktur seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2**. Sebagai peran pendukung, tanah harus mempunyai daya dukung yang mampu mendukung bangunan infrastruktur yang berada di atasnya. Apabila tanah mengalami pemampatan maka penurunan bangunan yang diakibatkannya tidak menyebabkan bangunan rusak seperti yang diilustrasikan pada **Gambar 3**.



**Gambar 2.** Peran tanah pada bangunan



**Gambar 3.** Syarat tanah pendukung bangunan

### 3. PROBLEMATIKA LEMPUNG LUNAK

Sebagai pendukung bangunan infrastruktur, tanah lempung lunak mempunyai karakteristik daya dukung yang relatif rendah dan pemampatannya yang relatif besar serta berlangsung relatif lama. Sehingga apabila tanpa dilakukan perbaikan terlebih dahulu maka bangunan infrastruktur yang dibangun di atasnya berpotensi mengalami kerusakan sebelum mencapai umur konstruksi yang direncanakan.

Pada **Gambar 4** sampai dengan **Gambar 9** ditunjukkan contoh-contoh kerusakan bangunan infrastruktur yang dibangun pada tanah lempung lunak. Pada **Gambar 4** ditunjukkan contoh



**Gambar 4.** Kerusakan timbunan badan jalan



**Gambar 5.** Kerusakan jalan perkerasan lentur



**Gambar 6.** Kerusakan jalan perkerasan kaku



**Gambar 7.** Kerusakan oprit jembatan



**Gambar 8.** Kerusakan konstruksi jembatan



**Gambar 9.** Kerusakan tiang lampu jalan

kerusakan timbunan tanah badan jalan. Pada **Gambar 5** ditunjukkan kerusakan jalan perkerasan lentur (*flexible pavement*). Pada **Gambar 6** ditunjukkan contoh kerusakan jalan perkerasan kaku (*rigid pavement*). Pada **Gambar 7** ditunjukkan contoh kerusakan oprit jembatan. Pada **Gambar 8** ditunjukkan contoh kerusakan kons-truksi jembatan. Pada **Gambar 9** ditunjukkan contoh kerusakan tiang lampu jalan. Semua contoh-contoh kerusakan tersebut hanyalah sebagian dari contoh problematika pembangunan infrastruktur pada tanah lempung lunak yang terjadi.

### 3. PENANGANAN LEMPUNG LUNAK

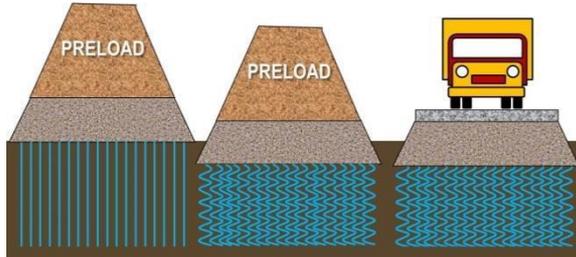
Untuk menangani problema pembangunan infra-struktur pada tanah lempung lunak pada **Tabel 1** ditunjukkan beberapa metoda perbaikan tanah dimana untuk tanah lempung lunak metoda perbaikan yang tersedia adalah *preloading (with vertical drain)*, *electro-osmosis*, *vacuum consolidation*, *lightweight fill*, *stone column*, *jet grouting*, *lime columns*, *fracture grouting*, *ground freezing*, *vitrification*, *electrokinetic treatment* dan *electroheating*. Dari berbagai metoda tersebut yang dibahas pada makalah ini hanya metoda *preloading (with vertical drain)* dan metoda *vacuum consolidation* saja.

**Tabel 1.** Metoda perbaikan tanah

GROUND IMPROVEMENT METHOD	TYPE OF SOIL		GROUND IMPROVEMENT OBJECTIVES				
	GRANULAR	COHESIVE	BEARING CAPACITY	SETTLEMENT CONTROL	LATERAL STABILITY	ENVIRONMENTAL CONTROL	LIQUEFACTION RESISTANCE
Vibrocompaction	√	-	√	√	-	-	√
Dynamic Compaction	√	-	√	√	-	√	√
Blasting	√	-	√	√	-	-	√
Compaction Grouting	√	-	√	√	-	-	-
Preloading / Vertical Drains	-	√	√	√	-	-	-
Electro-osmosis	-	√	√	√	-	-	-
Vacuum Consolidation	-	√	√	√	-	-	-
Lightweight Fill	√	√	-	-	-	-	-
Mechanical Stabilization	√	-	√	√	√	-	-
Soil Nailing	√	-	-	√	-	-	-
Soil Anchoring	-	-	-	√	-	-	-
Micropiles	√	-	√	√	√	-	-
Stone Columns	-	√	√	√	√	-	√
Fiber Reinforcement	√	-	√	√	√	-	-
Permeation Grouting	√	-	√	√	-	√	-
Jet Grouting	√	√	√	√	√	√	√
Deep Soil Mixing	√	-	√	√	√	√	√
Lime Columns	-	√	√	√	√	√	√
Fracture Grouting	-	√	√	√	-	√	-
Ground Freezing	√	√	-	-	√	√	-
Vitrification	√	√	-	-	-	√	-
Electrokinetic Treatment	-	√	-	√	-	√	-
Electroheating	-	√	-	√	-	√	-
Biotechnical Stabilization	√	-	-	-	√	√	-

#### 3.1. Metoda *Preloading* dengan PVD

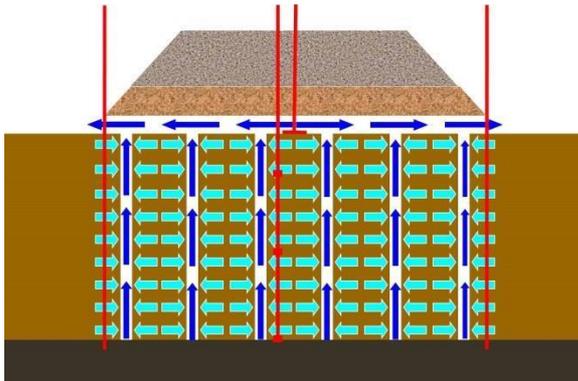
Pada metoda *preloading* dengan PVD (*prefabricated vertical drain*), perbaikan tanah dilakukan dengan cara meletakkan beban (*preload*) pada tanah dasar sesuai dengan beban kerja (*work load*) dan beban konstruksi (*construction load*) yang direncanakan. Durasi pembebanan dilakukan sampai konsolidasi tanah dasar mencapai derajat konsolidasi yang direncanakan. Apabila derajat konsolidasi tanah dasar telah mencapai pada derajat yang direncanakan maka *preload* dibongkar dan konstruksi dimulai pelaksanaannya. Ilustrasi metoda *preloading* dengan PVD ditunjukkan pada **Gambar 10**.



**Gambar 10.** Prinsip *preloading* dengan PVD

Perbaikan tanah lempung lunak metoda *pre-loading* dengan PVD merupakan satu sistem perbaikan tanah yang terdiri dari pekerjaan *preload*, PVD, *horizontal drain* dan instrumen

geoteknik seperti yang ditunjukkan **Gambar 11**. *Preload* berfungsi untuk memampatkan tanah dasar. PVD berfungsi untuk mempercepat proses pemampatan tanah. *Horizontal drain* berfungsi untuk mengalirkan air pori dari PVD ke arah horisontal ke luar timbungan *preload*. Instrumen geoteknik berfungsi untuk memantau proses dan mengetahui kinerja hasil perbaikan tanah yang telah dilakukan.



**Gambar 11.** Sistem *preloading* dengan PVD

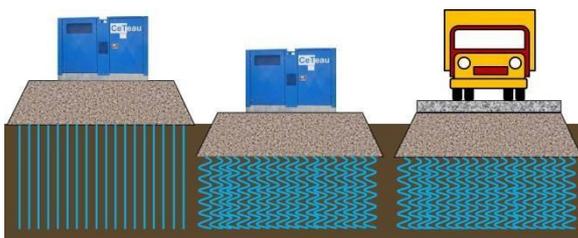


**Gambar 12.** Proses *preloading* dengan PVD

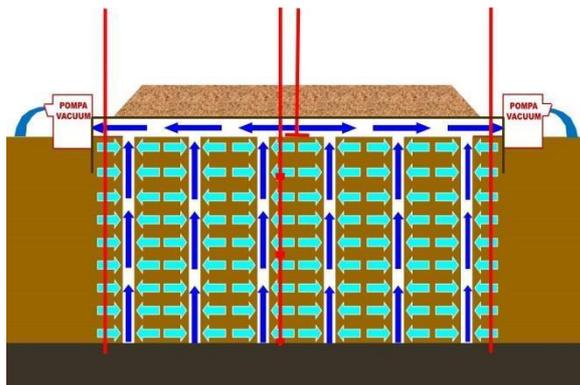
Pada perbaikan tanah lempung lunak metoda *preloading* dengan PVD, *input*-nya adalah tanah yang mudah mampat (*compressible soil*), selanjutnya dilakukan aktivitas percepatan pemampatan (*consolidation acceleration*) dan menghasilkan *output* berupa tanah yang sudah selesai pemampatannya (*non-compressible soil*).

### 3.2. Metoda *Vacuum Consolidation*

Pada metoda *vacuum consolidation*, perbaikan tanah dilakukan dengan cara menghisap (*vacuum*) tanah dasar sesuai dengan beban kerja (*work load*) dan beban konstruksi (*construction load*) yang direncanakan. Durasi penghisapan dilakukan sampai konsolidasi tanah dasar mencapai derajat konsolidasi yang direncanakan. Apabila derajat konsolidasi tanah dasar telah mencapai pada derajat yang direncanakan maka penghisapan dihentikan dan konstruksi dimulai pelaksanaannya. Ilustrasi metoda *vacuum consolidation* ditunjukkan pada **Gambar 13**.



**Gambar 13.** Prinsip *vacuum consolidation*



**Gambar 14.** Sistem *vacuum consolidation*

Perbaikan tanah lempung lunak metoda *vacuum consolidation* merupakan satu sistem perbaikan tanah yang terdiri dari pekerjaan *vacuum*, PVD, *horizontal drain*, lapisan kedap air dan instrumen geoteknik seperti yang ditunjukkan **Gambar 14**. *Vacuum* berfungsi untuk memampatkan tanah dasar. PVD berfungsi untuk mempercepat proses pemampatan tanah. *Horizontal drain* berfungsi untuk mengalirkan air pori dari PVD ke arah pompa *vacuum*. Lapisan kedap air berfungsi untuk membatasi ruang di dalam tanah yang akan dihisap oleh pompa *vacuum*. Instrumen geoteknik berfungsi untuk memantau pro-ses dan mengetahui kinerja hasil perbaikan tanah yang telah dilakukan.



**Gambar 15.** Proses *vacuum consolidation*

Pada perbaikan tanah lempung lunak metoda *vacuum consolidation*, *input*-nya adalah tanah yang mudah mampat (*compressible soil*), selanjutnya dilakukan aktivitas percepatan pemampatan (*consolidation acceleration*) dan menghasilkan *output* berupa tanah yang sudah selesai pemampatannya (*non-compressible soil*).

### 3.3. Komparasi *Preloading* dan *Vacuum*

Kesamaan antara metoda *preloading* dengan PVD dengan metoda *vacuum consolidation* yang utama adalah keduanya memerlukan PVD, *horizontal drain* dan instrumen geoteknik. Untuk mempercepat proses konsolidasi, kedua-duanya juga dilakukan dengan cara memperpendek jarak titik pemasangan PVD. Perbedaan antara metoda *preloading* dengan PVD dengan metoda *vacuum consolidation* yang utama adalah dalam hal cara untuk mengeluarkan air porinya. Pada metoda *preloading* dengan PVD, air pori dikeluarkan dengan cara dibebani menggunakan *preload*. Sedangkan pada metoda *vacuum consolidation*, air pori dikeluarkan dengan cara dihisap dengan pompa *vacuum*. Selain itu pada metoda *vacuum consolidation* diperlukan lapisan kedap air untuk membatasi ruang di dalam tanah yang akan dihisap oleh pompa *vacuum*.

Dalam hal durasi pelaksanaan pekerjaan, metoda *vacuum consolidation* relatif lebih cepat dibandingkan dengan metoda *preloading* dengan PVD. Hal ini dikarenakan pada metoda *vacuum*

*consolidation*, proses pengeluaran air pori langsung bekerja penuh begitu pompa *vacuum* mulai bekerja. Sedangkan pada metoda *pre-loading* dengan PVD, proses pengeluaran air pori baru akan bekerja penuh ketika tinggi timbunan *preload* telah mencapai puncaknya. Disamping itu pada metoda *preloading* dengan PVD diperlukan durasi untuk melakukan pem-bongkaran timbunan *preload* ketika konsolidasi tanah dasar telah tercapai sesuai dengan yang direncanakan.

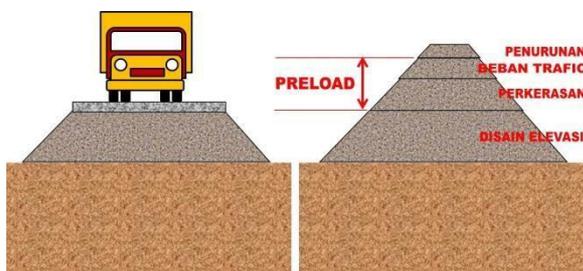
Metoda *preloading* dengan PVD dan metoda *vacuum consolidation*, keduanya mempunyai kelebihan dan kekurangan. Kekurangan metoda yang satu merupakan kelebihan metoda yang lain dan sebaliknya kelebihan metoda yang satu merupakan kekurangan metoda yang lain. Kekurangan metoda *preloading* dengan PVD yang paling menonjol adalah dalam hal menjaga stabilitas timbunan *preload*. Sedangkan kelebihan metoda *preloading* dengan PVD yang paling menonjol adalah dalam hal tidak perlunya lapis-an kedap air. Pada metoda *vacuum consolidation* lapisan kedap air merupakan salah satu hal yang sangat menentukan keberhasilan hasil pekerjaannya. Apabila permukaan tanah dasar tidak berupa tanah lempung maka lapisan kedap air harus dipasang sangat dalam mengelilingi lahan perbaikan tanah. Lapisan kedap air harus dipa-sang lebih dalam lagi apabila dijumpai lapisan pasir di dalam tanah lempung lunak yang diperbaiki.

#### 4. PERENCANAAN PRELOAD/VACUUM

Salah satu hal penting yang menentukan keber-hasilan metoda *preloading* dengan PVD adalah dalam hal perencanaan timbunan *preload*. Se-dangkan pada metoda *vacuum consolidation* salah satu hal penting yang menentukan keber-hasilannya adalah dalam hal perencanaan pe-mompaan *vacuum*.

##### 4.1. Perencanaan Timbunan Preload

*Preload* harus direncanakan sesuai dengan be-ban konstruksi (*construction load*) dan beban kerja (*work load*) yang akan berada di atas tanah dasar. *Output* hasil perencanaan *preload* berupa data berat jenis ( $\gamma$ ) dan tinggi timbunan *preload*.

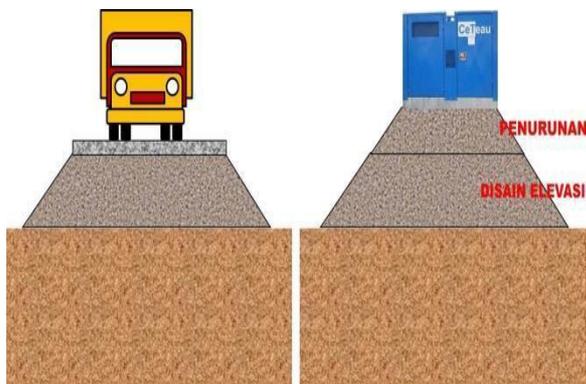


**Gambar 16.** Perencanaan timbunan *preload*

Misalnya beban konstruksi (perkerasan jalan) sebesar  $0,875 \text{ ton/m}^2$  dan beban kerja (lalu-lintas)  $4,6 \text{ ton/m}^2$  maka apabila digunakan tanah timbunan dengan berat jenis ( $\gamma$ ) sebesar  $1,75 \text{ ton/m}^3$  direncanakan tinggi timbunan *preload* sebesar 4,13 meter. Timbunan *preload* setinggi 4,13 meter itulah yang dibongkar apabila konso-lidasi tanah dasar telah mencapai sesuai dengan yang direncanakan ( $U_r > 90\%$ ). Selanjutnya digantikan dengan beban yang sama, yaitu beban konstruksi (perkerasan jalan) sebesar  $0,875 \text{ ton/m}^2$  dan beban kerja (lalu-lintas)  $4,6 \text{ ton/m}^2$ .

#### 4.2. Perencanaan Tekanan *Vacuum*

Tekanan *vacuum* harus direncanakan sesuai dengan beban konstruksi (*construction load*) dan beban kerja (*work load*) yang akan berada di atas tanah dasar. *Output* hasil perencanaan *vacuum* berupa efisiensi dan efektivitas tekanan *vacuum* dan jumlah pompa *vacuum*.

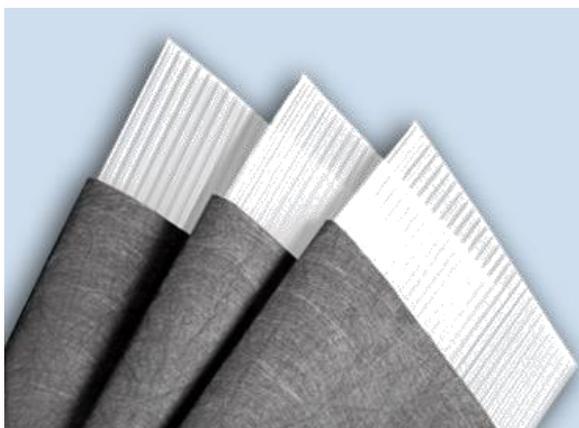


**Gambar 17.** Perencanaan tekanan *vacuum*

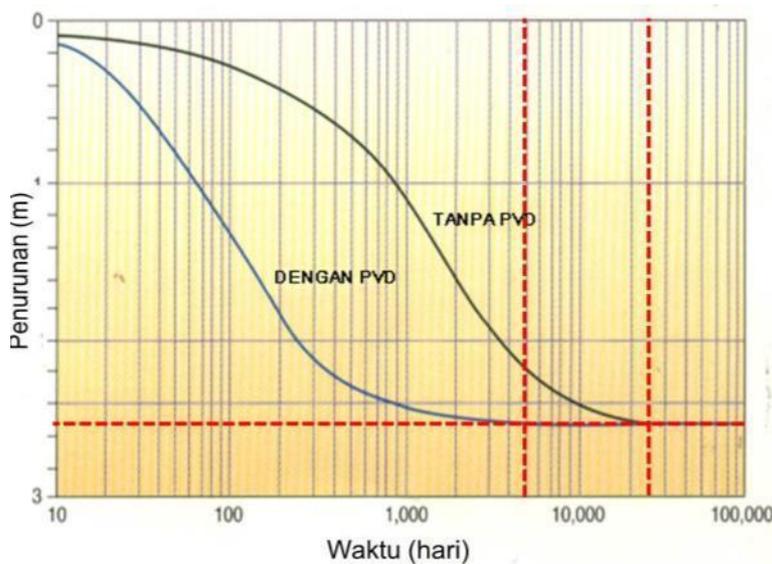
Misalnya beban konstruksi (perkerasan jalan) sebesar  $0,875 \text{ ton/m}^2$  dan beban kerja (lalu-lintas)  $4,6 \text{ ton/m}^2$  maka tekanan pompa *vacuum* sebesar  $1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa} = 10 \text{ ton/m}^2$  yang bekerja dengan efisiensi 80% akan bekerja dengan efektivitas 73%. Jumlah pompa *vacuum* direncanakan sesuai dengan kapasitas debit pompa *vacuum*.

#### 5. PERENCANAAN PVD

PVD (*prefabricated vertical drain*) merupakan salah satu produk geosintetik (*geosynthetics products*) yang berfungsi sebagai pengalir air (*drainage*). PVD merupakan material komposit yang terdiri dari inti (*core*) dan penyaring (*filter*) seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 18**. Fungsi PVD pada pekerjaan perbaikan tanah lempung lunak metoda *preloading* dengan PVD dan metoda *vacuum consolidation* adalah untuk mempercepat waktu proses konsolidasi seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 19**.



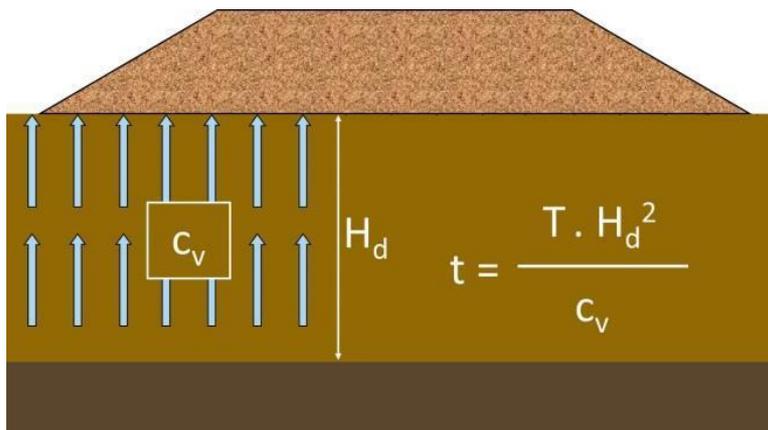
**Gambar 18.** Material PVD



**Gambar 19.** Fungsi PVD

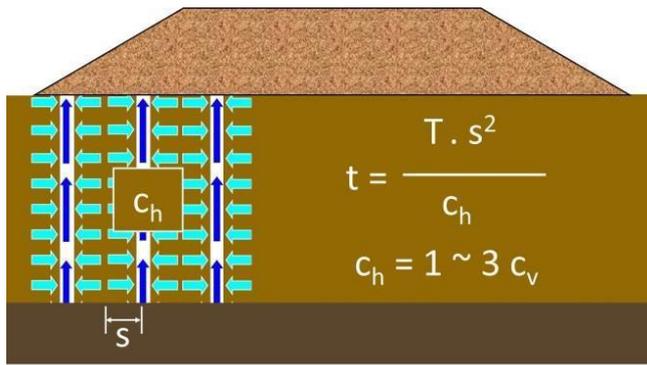
### 5.1. Jarak Pemasangan PVD

PVD dapat mempercepat waktu konsolidasi dikarenakan PVD dapat memperpendek jarak pengaliran air pori. Apabila tanpa menggunakan PVD, waktu konsolidasi tanah lempung lunak diilustrasikan seperti pada **Gambar 20**. Air pori mengalir ke arah vertikal sesuai dengan besarnya koefisien konsolidasi vertikal ( $C_v$ ) sepanjang tebal lapisan tanah lunak ( $H_d$ ). Waktu konsolidasi ( $t$ ) ditentukan oleh besarnya kuadrat dari tebal lapisan tanah lunak ( $H_d$ ) dibagi dengan koefisien konsolidasi vertikal ( $C_v$ ).



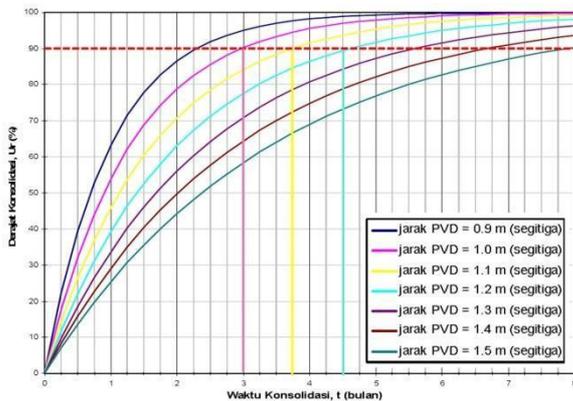
**Gambar 20.** Proses konsolidasi tanpa PVD

Apabila digunakan PVD, waktu konsolidasi tanah lempung lunak diilustrasikan seperti pada **Gambar 21**. Air pori mengalir ke arah horison-tal sesuai dengan besarnya koefisien konsolidasi horisontal ( $C_h$ ) sepanjang setengah dari jarak pemasangan PVD ( $s$ ). Waktu konsolidasi ( $t$ ) ditentukan oleh besarnya kuadrat dari setengah jarak pemasangan PVD ( $s$ ) dibagi dengan koefisien konsolidasi horisontal ( $C_h$ ).



**Gambar 21.** Proses konsolidasi dengan PVD

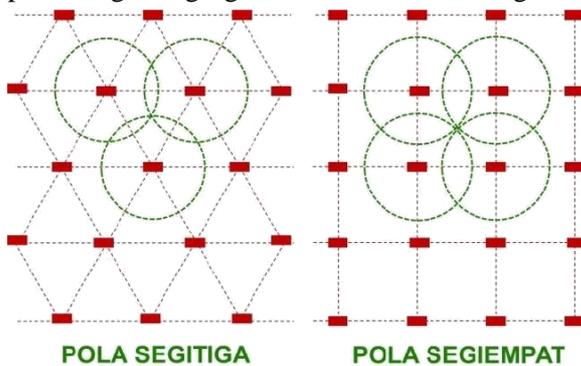
Misalnya pada tanah lempung lunak setebal 10 meter tidak digunakan PVD dan waktu konsolidasinya selama 100 tahun, apabila digunakan PVD dengan jarak 2 meter dan nilai  $c_h = 2c_v$  maka waktu konsolidasinya akan dipercepat 200 kalinya. Pada **Gambar 22** ditunjukkan grafik hubungan antara derajat dan waktu konsolidasi untuk beberapa jarak pemasangan PVD dimana semakin pendek jarak pemasangan PVD, akan semakin cepat waktu konsolidasinya.



**Gambar 22.** Jarak PVD dan waktu konsolidasi

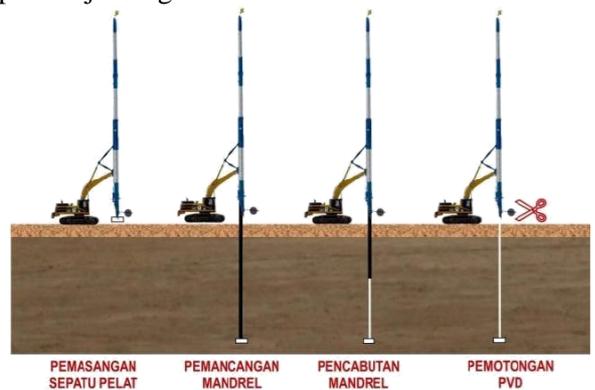
## 5.2. Pola Pemasangan PVD

Ada 2 (dua) macam pola pemasangan PVD, yaitu pola segitiga (*triangular pattern*) dan pola bujursangkar (*square pattern*) seperti yang di-tunjukkan pada **Gambar 23**. Pada umumnya pola pemasangan segitiga lebih efektif dibandingkan dengan pola bujursangkar.



**Gambar 23.** Pola pemasangan PVD

ISBN : 978-602-648-300-3



**Gambar 24.** Metoda pemasangan PVD

### 5.3. Kedalaman Pemasangan PVD

Konsolidasi terjadi pada tanah yang mempunyai kemampumampatan yang tinggi (*compressible soil*). Oleh karena PVD berfungsi untuk mempercepat proses konsolidasi maka PVD dipasang sepanjang tebal lapisan tanah yang mempunyai kemampumampatan yang tinggi. Untuk menentukan suatu tanah mempunyai kemampumampatan yang tinggi dan mengetahui berapa tebalnya, dapat digunakan tabel konsistensi tanah kohesif pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Konsistensi tanah kohesif

Konsistensi tanah	Taksiran harga kekuatan geser undrained, $C_u$		Taksiran harga SPT, harga N
	kPa	ton/m <sup>2</sup>	
Sangat lunak ( <i>very soft</i> )	0 – 12,5	0 – 1,25	0 – 2,5
Lunak ( <i>soft</i> )	12,5 – 25	1,25 – 2,5	2,5 – 5
Menengah ( <i>medium</i> )	25 – 50	2,5 – 5	5 – 10
Kaku ( <i>stiff</i> )	50 – 100	5 – 10	10 – 20
Sangat kaku ( <i>very stiff</i> )	100 – 200	10 – 20	20 – 40
Keras ( <i>hard</i> )	> 200	> 20	> 40

Sumber : Mochtar (2006), revised (2012)

Tanah kohesif yang berkemampumampatan tinggi adalah tanah yang dominan mengandung lanau (*silt*) dan lempung (*clay*) dengan konsistensi sangat lunak (*very soft*), lunak (*soft*) dan menengah (*medium*). Dalam praktek, biasanya ditentukan dengan nilai  $N-SPT \leq 10$  atau  $C_u \leq 40a$ . kP

### 5.4. Metoda Pemasangan PVD

Metoda pemasangan PVD ditunjukkan pada **Gambar 24**. Material PVD yang lentur dapat dimasukkan ke dalam tanah dengan menggunakan selongsong besi (*mandrel*) yang dipancang ke dalam tanah dengan menggunakan alat berat. Agar PVD dapat tertinggal di dalam tanah digunakan sepatu pelat (*anchor plate*) yang dipasang pada ujung bawah material PVD.



**Gambar 25.** Pola pemasangan PVD di lapangan



**Gambar 26.** Pemasangan sepatu pelat

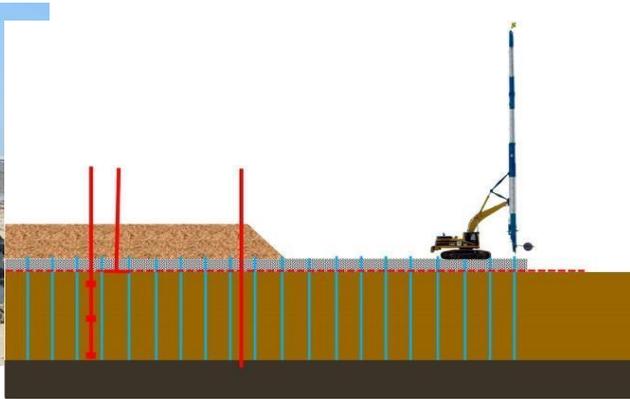


**Gambar 27.** Pemancangan *mandrel* ke tanah

Pemasangan PVD dimulai dengan membuat pola pemasangan PVD di lapangan seperti yang



**Gambar 28.** Pemotongan PVD di atas tanah



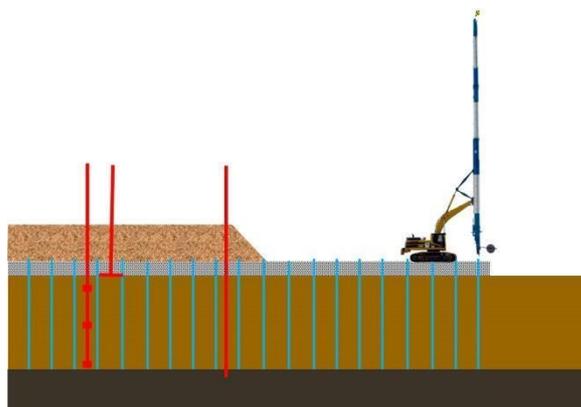
**Gambar 30.** Penggunaan pasir dan 1 *geotextile*

ditunjukkan pada **Gambar 25**. Selanjutnya dilakukan pemasangan sepatu pelat seperti pada **Gambar 26**. Kemudian *mandrel* dipancangkan ke dalam tanah seperti pada **Gambar 27**. Setelah mencapai kedalaman yang direncanakan, *mandrel* ditarik ke atas dan dilakukan pemotongan PVD di atas permukaan tanah seperti pada **Gambar 28**.

#### 6. PERENCANAAN *HORIZONTAL DRAIN*

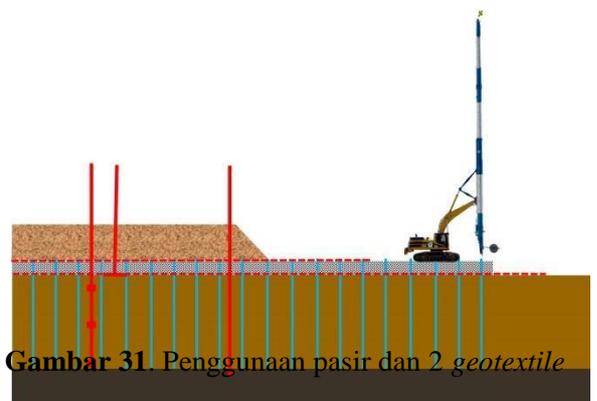
*Horizontal drain* diperlukan untuk mengalirkan air secara horisontal yang berasal dari PVD pada perbaikan tanah lempung lunak metoda *pre-loading* dengan PVD maupun metoda *vacuum konsolidation*. Ada berbagai macam alternatif *horizontal drain* yang bisa digunakan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 29** sampai **Gambar 34**.

##### 6.1. Alternatif *Horizontal Drain*

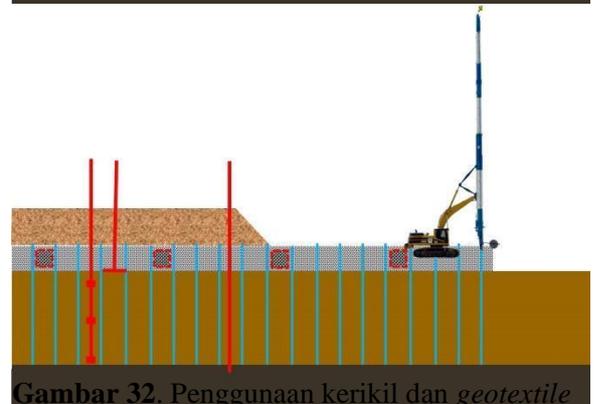


**Gambar 29.** Penggunaan pasir

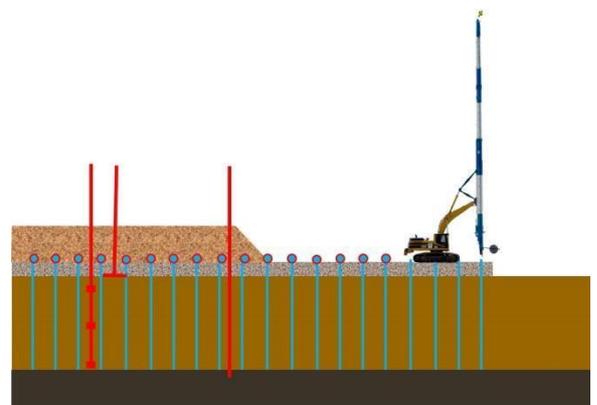
Pada **Gambar 29** ditunjukkan alternatif *horizontal drain* dengan menggunakan pasir. Pada **Gambar 30** dengan menggunakan pasir dan 1 lapis *geotextile* di bawahnya. Pada **Gambar 31** dengan menggunakan pasir dan 2 lapis *geotextile* di bawah dan di atas pasir.



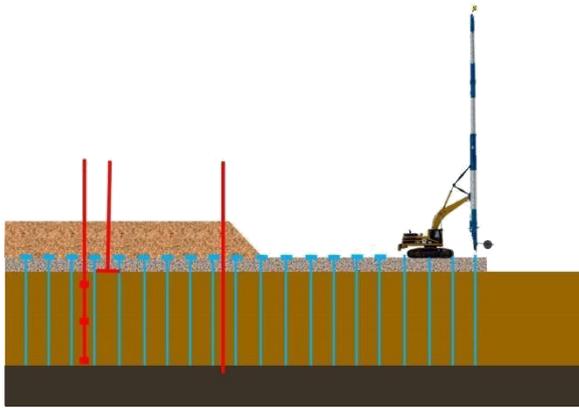
**Gambar 31.** Penggunaan pasir dan 2 *geotextile*



**Gambar 32.** Penggunaan kerikil dan *geotextile*



**Gambar 33.** Penggunaan pipa dan *geotextile*



**Gambar 34.** Penggunaan PHD

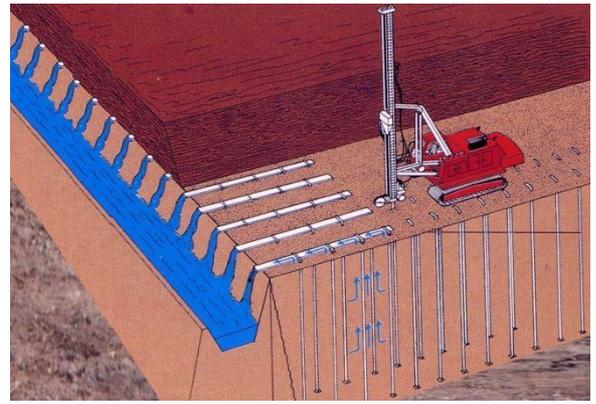
Apabila permeabilitas pasir sangat kecil dan untuk membuat *horizontal drain* yang lebih tebal memerlukan biaya yang tinggi maka di dalam pasir tersebut dipasang *subdrain* yang di-buat dari kerikil yang dibungkus *geotextile* seperti pada **Gambar 32**. Apabila untuk penggunaan pasir biayanya sangat tinggi maka *horizontal drain* dibuat dari pipa berlubang (*perfo-rated pipe*) yang dibungkus *geotextile* seperti pada **Gambar 33**. Sebagai alternatif pengganti pipa berlubang (*perforated pipe*) yang dibungkus *geotextile* digunakan *prefabricated horizontal drain* (PHD) seperti pada **Gambar 34**.

### 6.2. Penggunaan PHD

PHD (*prefabricated horizontal drain*) merupakan salah satu produk geosintetik (*geosynthetics products*) yang berfungsi sebagai pengalir air (*drainage*). PHD merupakan material komposit yang terdiri dari inti (*core*) dan penyaring (*filter*) seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 35**. Fungsi PHD pada pekerjaan perbaikan tanah lempung lunak metoda *preloading* dengan PVD dan metoda *vacuum consolidation* adalah untuk menampung dan mengalirkan air yang berasal dari PVD seperti pada **Gambar 36**.



**Gambar 35.** Material PHD



**Gambar 36.** Fungsi PHD



**Gambar 37.** PHD metoda *preloading*



**Gambar 38.** PHD metoda *vacuum consolidation*  
 Pada **Gambar 37** ditunjukkan penggunaan PHD sebagai *horizontal drain* pada pekerjaan perbaikan tanah tanah lempung lunak metoda *preloading* dengan PVD. PHD yang digunakan ukuran 20mm x 100mm. Pada **Gambar 38** ditunjukkan penggunaan PHD sebagai *horizontal drain* pada pekerjaan perbaikan tanah tanah lempung lunak metoda *vacuum consolidation*. PHD yang digunakan ukuran 20mm x 300mm.

### 7. INSTRUMENTASI GEOTEKNIK

Pemasangan instrumen geoteknik (*geotechnical instrument*) pada pekerjaan perbaikan tanah lempung lunak metoda *preloading* dengan PVD dan metoda *vacuum consolidation* berfungsi untuk memantau proses pelaksanaan selama

pekerjaan berlangsung dan mengetahui kinerja hasil pekerjaan perbaikan tanah yang telah dilakukan.

**7.1. Settlement Plate**

Yang dimaksud dengan material *settlement plate* adalah seperti yang ditunjukkan **Gambar 39**. Pemasangan *settlement plate* berfungsi untuk mengetahui penurunan yang terjadi pada permukaan tanah seperti pada **Gambar 40**.



**Gambar 39.** Material *settlement plate*



**Gambar 40.** Pemasangan *settlement plate*



**Gambar 41.** Alat monitoring *settlement plate*



**Gambar 42.** Monitoring *settlement plate*



**Gambar 43.** Grafik monitoring *settlement plate*

Untuk monitoring *settlement plate* digunakan alat bantu seperti **Gambar 41**. Berdasarkan data monitoring *settlement plate* pada **Gambar 42** dapat dibuat grafik hubungan antara penurunan tanah dasar dan waktu seperti pada **Gambar 43**.

**7.2. Pneumatic Piezometer**

Yang dimaksud dengan material *pneumatic piezometer* adalah seperti ditunjukkan pada **Gambar 44**. Pemasangan *pneumatic piezometer* berfungsi untuk mengetahui perubahan tekanan air pori pada tanah dasar seperti **Gambar 45**.



**Gambar 44.** Material *pneumatic piezometer*



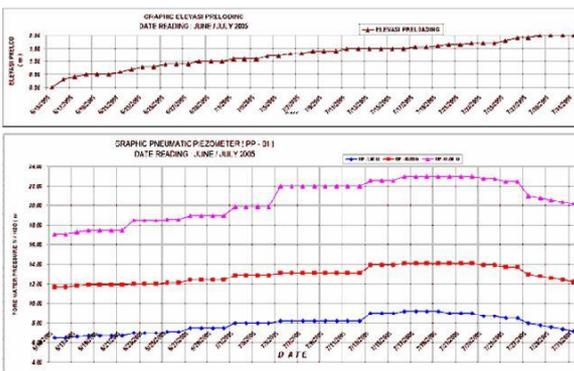
Gambar 45. Pemasangan *pneumatic piezometer*



Gambar 46. Alat monitoring *pneu. piezometer*



Gambar 47. Monitoring *pneumatic piezometer*



Gambar 48. Grafik monitoring *pneu.piezometer*  
ISBN : 978-602-648-300-3

Untuk monitoring *pneumatic piezometer* menggunakan *read out* seperti pada Gambar 46. Berdasarkan data monitoring *pneumatic piezometer* pada Gambar 47 dapat dibuat grafik hubungan antara tekanan air pori dan waktu seperti pada Gambar 48.

### 7.3. *Inclinometer*

Yang dimaksud material *inclinometer* adalah seperti pada Gambar 49. Pemasangan *inclinometer* berfungsi untuk mengetahui deformasi lateral tanah dasar seperti pada Gambar 50.



Gambar 49. Material pipa *inclinometer*



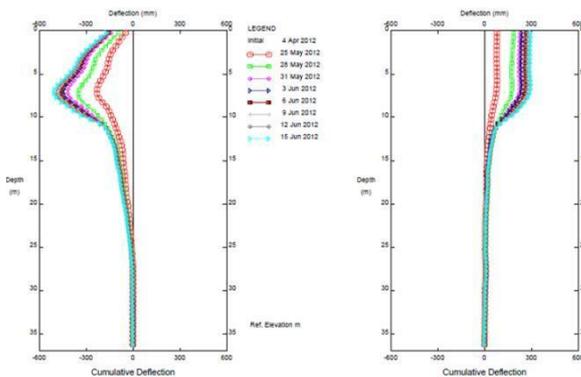
Gambar 50. Pemasangan *inclinometer*



Gambar 51. Alat monitoring *inclinometer*



Gambar 52. Monitoring inclinometer

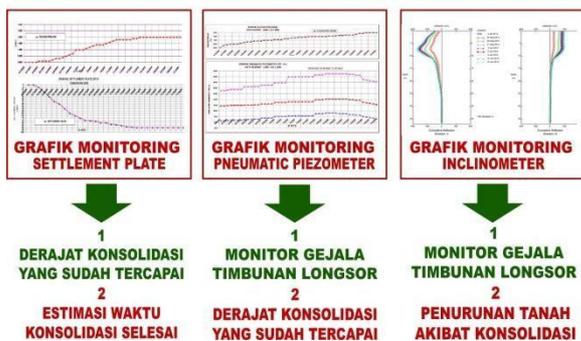


Gambar 53. Grafik monitoring inclinometer

Berdasarkan data hasil monitoring *inclinometer* pada Gambar 52 dibuat grafik hubungan antara deformasi dan waktu seperti pada Gambar 53.

7.4. Evaluasi Instrumen Geoteknik

Evaluasi monitoring instrumen geoteknik menghasilkan informasi seperti pada Gambar 54.



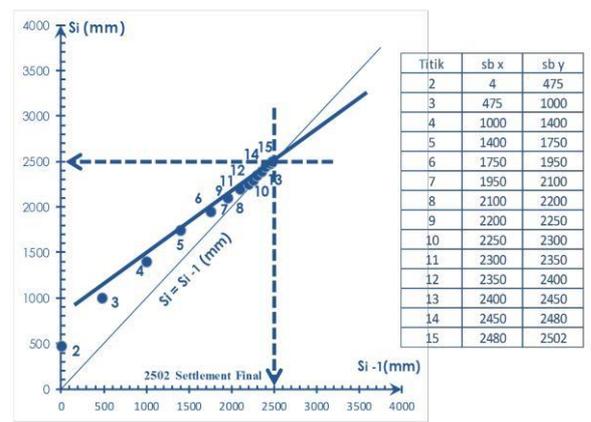
Gambar 54. Evaluasi instrumen geoteknik  
 Berdasarkan grafik hasil monitoring *settlement plate* pada Gambar 43 dapat diketahui derajat konsolidasi yang telah tercapai dan diketahui kapan derajat konsolidasi akan mencapai 90%. Berdasarkan grafik hasil monitoring *pneumatic piezometer* pada Gambar 48 dapat diketahui

ISBN : 978-602-648-300-3

tanda-tanda akan terjadinya kelongsoran dan diketahui derajat konsolidasi yang telah tercapai. Berdasarkan grafik hasil monitoring *inclinometer* pada Gambar 53 dapat diketahui terjadinya deformasi lateral tanah dasar dan diketahui penurunan tanah yang terjadi benar-benar akibat terjadinya konsolidasi dan bukan diakibatkan oleh adanya deformasi lateral tanah dasar.

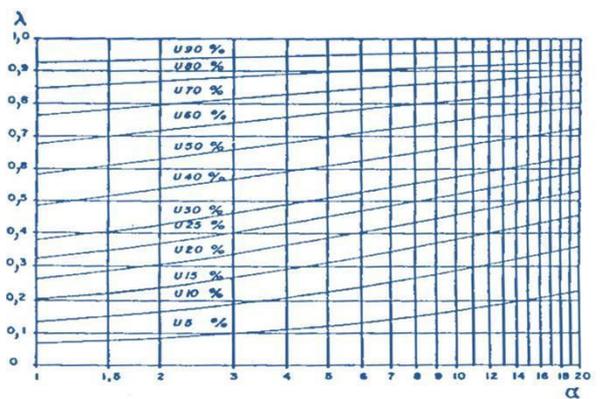
Evaluasi grafik hasil monitoring *settlement plate* pada Gambar 43 dilakukan dengan menggunakan metoda ASAOKA seperti pada Gambar 55 untuk mengetahui :

- a. penurunan total yang akan terjadi
- b. waktu untuk mencapai penurunan total



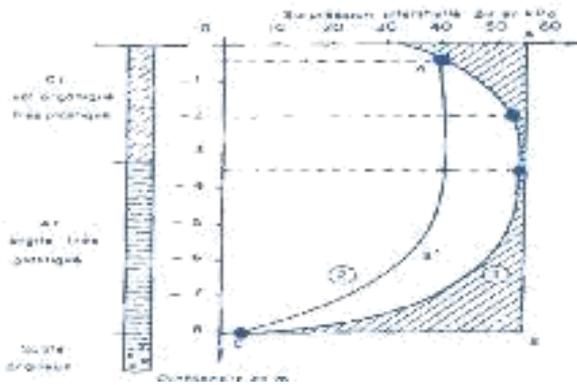
Gambar 55. Metoda Asaoka

Evaluasi grafik hasil monitoring *settlement plate* pada Gambar 43 dilakukan dengan menggunakan grafik PEIGNAUD pada Gambar 56 untuk mengetahui derajat konsolidasi yang telah tercapai.

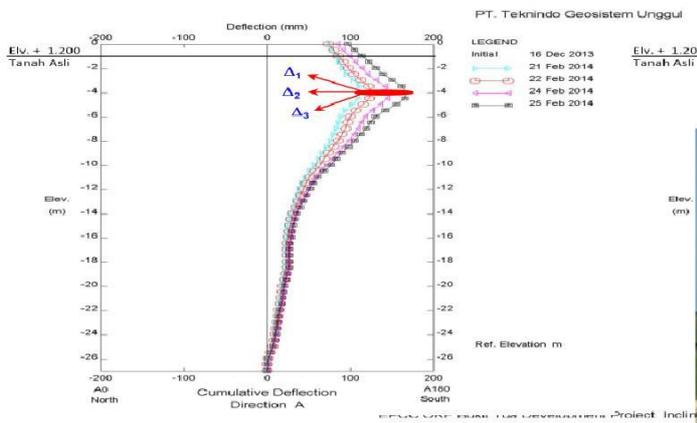


Gambar 56. Grafik Peignaud

Evaluasi grafik hasil monitoring *pneumatic piezometer* pada Gambar 48 dilakukan dengan menggunakan grafik pada Gambar 57 untuk mengetahui derajat konsolidasi yang telah tercapai.



**Gambar 57.** Grafik evaluasi *pne*. *piezometer*  
Evaluasi grafik hasil monitoring *inclinometer* pada **Gambar 53** dilakukan dengan metoda perhitungan pada **Gambar 58** untuk mengetahui adanya deformasi lateral pada tanah dasar yang

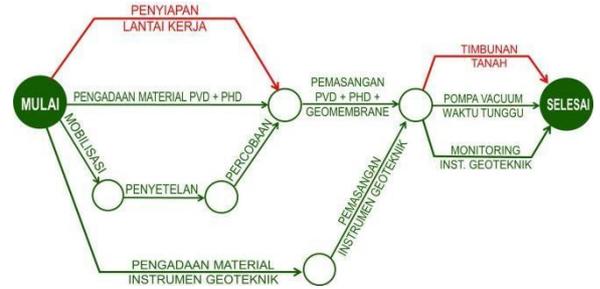


**Gambar 58.** Grafik evaluasi *inclinometer*  
**8. PELAKSANAAN PEKERJAAN**  
**8.1. Rencana Jaringan Kerja**

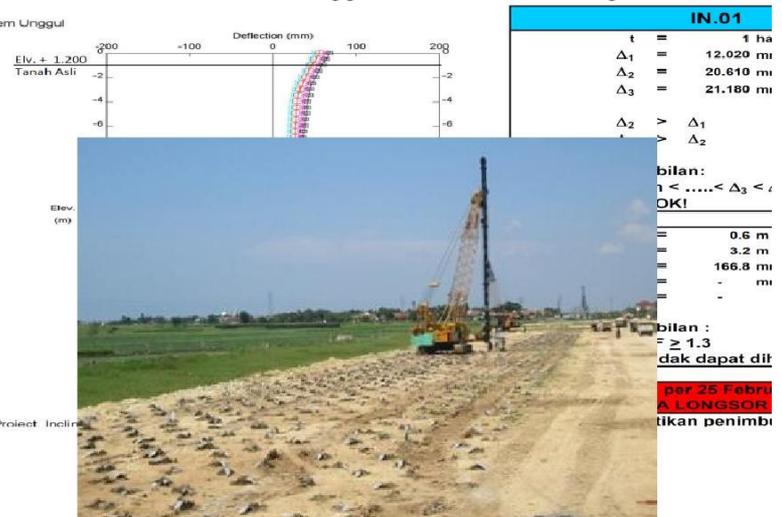
Rencana jaringan kerja (*network planning*) pelaksanaan pekerjaan perbaikan tanah lempung lunak metoda *preloading* dengan PVD ditunjukkan pada **Gambar 59** dan metoda *vacuum consolidation* ditunjukkan pada **Gambar 60**.



**Gambar 59.** Metoda *preloading* dengan PVD



**Gambar 60.** Metoda *vacuum consolidation*  
Pada metoda *preloading* dengan PVD, waktu tunggu konsolidasi dihitung setelah ketinggian timbunan *preload* mencapai puncaknya. Kemudian setelah derajat konsolidasi yang direncanakan telah tercapai, dilakukan pembongkaran timbunan *preload*. Pada metoda *vacuum consolidation*, waktu tunggu konsolidasi dihitung



**Gambar 61.** Pekerjaan PVD



**Gambar 62.** Pekerjaan PHD



**Gambar 63.** Pekerjaan *preload*



**Gambar 64.** Pekerjaan pembongkaran *preload*

Setelah berdasarkan hasil evaluasi monitoring instrumen geoteknik, derajat konsolidasi telah mencapai sesuai dengan yang direncanakan, dilakukan pembongkaran *preload* seperti pada **Gambar 64**.

### 8.3. Metoda *Vacuum Consolidation*



**Gambar 65.** Pekerjaan PVD

ISBN : 978-602-648-300-3

pada metoda *preloading* dengan PVD. Pekerjaan PHD ditunjukkan pada **Gambar 61**. Pekerjaan *preload* ditunjukkan pada **Gambar 62**.

Pekerjaan *geomembrane* ditunjukkan pada **Gambar 68**. Pekerjaan monitoring tekanan pompa *vacuum* ditunjukkan pada **Gambar 69**.

Apabila pada metoda *preloading* dengan PVD dilakukan monitoring tinggi timbunan *preload* dengan menggunakan *settlement plate* maka pada metoda *vacuum consolidation* dilakukan monitoring tekanan pompa *vacuum* dengan menggunakan *vacuum gauge*. Pompa *vacuum* dihidupkan dan dimonitor terus-menerus sampai derajat konsolidasi telah mencapai sesuai dengan yang direncanakan.



**Gambar 66.** Pekerjaan PHD



**Gambar 67.** Pekerjaan *geomembrane*

Pada **Gambar 65** ditunjukkan pekerjaan PVD pada metoda *vacuum consolidation*. Pekerjaan PHD ditunjukkan pada **Gambar 66**. Pekerjaan *geomembrane* ditunjukkan pada **Gambar 67**.



**Gambar 68.** Pekerjaan pompa *vacuum*



**Gambar 69.** Pekerjaan monitoring *vacuum*

## 9. PENUTUP

Metoda perbaikan tanah lunak (*soft soil improvement*) telah dipelajari Penulis sejak tahun 1991 sehingga memungkinkan dapat dituliskan pada makalah ini. Oleh sebab itu Penulis mengucapkan terima kasih yang tidak terhingga kepada semua pihak yang telah membantu proses belajar Penulis, terutama kepada :

- a. Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, MSc, PhD, Guru Besar Geoteknik ITS, yang telah mengajarkan teori teknik perbaikan tanah (*soil improvement*) secara umum.
- b. Prof. Ir. Noor Endah Mochtar, MSc, PhD, Guru Besar Geoteknik ITS, yang telah mengajarkan teori teknik perbaikan tanah gambut (*peat soil*).
- c. Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi, DEA, Guru Besar Geoteknik ITS, yang telah memberikan kepercayaan untuk melaksanakan disain teknik yang ditanganinya.
- d. Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA, Guru Besar Geoteknik ITS, yang telah memberikan kepercayaan untuk melaksanakan disain teknik yang ditanganinya.
- e. Prof. Ir. Paulus P. Rahadrjo, MSCE, PhD, Guru Besar Geoteknik UNPAR, yang telah memberikan kepercayaan untuk melaksanakan disain teknik yang ditanganinya.
- f. Prof. Ir. Masyhur Irsyam, MSE, PhD, Guru Besar Geoteknik ITB, yang telah memberikan kritik dan saran.
- g. Prof. Dr. Ir. Hary Christady Hardiyatmo, M.Eng, Guru Besar Geoteknik UGM, yang telah memberikan kritik dan saran.
- h. Segenap Direksi, staf dan karyawan PT. Teknindo Geosistem Unggul yang telah bersama-sama “makan asam dan garam” selama hampir 20 tahun belajar sekaligus mengamalkan ilmu perbaikan tanah tanah.

## Referensi

- [1]. Kuswanda, Wahyu P., Penerapan Sistem Kontrak Berbasis Kinerja pada Pekerjaan Perbaikan Tanah Lunak, *Proceedings Konferensi Regional Teknik Jalan Ke-10 (KRTJ-10)*, HPJI, Surabaya, 2008.
- [2]. Kuswanda, Wahyu P., Peranan Instrumen Geoteknik untuk Mendukung Kontrak Berbasis Kinerja Pembangunan Prasarana Transportasi di Indonesia, *Proceedings Seminar Nasional Teknik Jalan 2013*, HPJI, Medan, 2013.
- [3]. Kuswanda, Wahyu P., Pemantauan Instrumen Geoteknik sebagai Indikator Kinerja Tanah Dasar Lunak pada Kontrak Pembangunan Jalan Berbasis Kinerja, *Proceedings Konferensi Regional Teknik Jalan Ke-12 (KRTJ-12)*, HPJI, Bandung, 2013.
- [4]. Kuswanda, Wahyu P., Penerapan Kontrak Berbasis Kinerja Pembangunan Prasarana Transportasi pada Tanah Lempung Lunak, *Proceedings Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah 2014 (ATPW-2014)*, Program Diploma Teknik Sipil, FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2014.
- [5]. Kuswanda, Wahyu P., Aplikasi Instrumen Geoteknik pada Pembangunan Prasarana Transportasi, *Proceedings Simposium In-ternasional ke-17 Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi*, Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi (FSTP) dan Universitas Jember, Jember, 2014.
- [6]. Kuswanda, Wahyu P., Penanganan Problema Pembangunan Infrastruktur Transportasi pada Tanah Lempung Lunak, *Proceedings Seminar Nasional Teknik Jalan 2014*, HPJI, Palangkaraya, 2014.
- [7]. Kuswanda, Wahyu P., Urgensi Monitoring Kinerja Tanah Lempung Lunak pada Pembangunan Prasarana Transportasi di Indonesia, *Proceedings Konferensi Regional Teknik Jalan Ke-13 (KRTJ-13)*, HPJI, Makasar, 2014.
- [8]. Kuswanda, Wahyu P., Rekayasa Geoteknik Tanah Lempung Lunak pada Pembangunan Infrastruktur Transportasi, *Proceedings Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah 2015 (ATPW-2015)*, Program Diploma Teknik Sipil, FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015.

ISBN : 978-602-648-300-3