

**EVALUASI KINERJA PERBAIKAN TANAH LUNAK  
MENGUNAKAN INSTRUMEN GEOTEKNIK PADA AREA CLUSTER  
D KAWASAN KOTA SUMMARECON BANDUNG DENGAN METODE  
*VACUUM CONSOLIDATION***

**SKRIPSI**  
TEKNIK SIPIL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**YOHANES DIBALFLORENDE EKAMARGAREZKI**  
NIM. 135060107111056

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**MALANG**  
**2018**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**EVALUASI KINERJA PERBAIKAN TANAH LUNAK**  
**MENGGUNAKAN INSTRUMEN GEOTEKNIK PADA AREA**  
**CLUSTER D KAWASAN KOTA SUMMARECON BANDUNG**  
**DENGAN METODE *VACUUM CONSOLIDATION***

**SKRIPSI**

**TEKNIK SIPIL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**YOHANES DIBALFLORENDE EKAMARGAREZKI**  
**NIM. 135060107111056**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 28 Desember 2017

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Dr. Ir. As'ad Munawir, MT.**  
NIP. 19591111 198601 1 003

**Ir. Wahyu P. Kuswanda**

**Mengetahui,**  
**Ketua Program Studi S1**

**Dr. Eng. Indradi W., ST., M. Eng (Prac)**  
NIP. 19810220 200604 1 002

## HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

Judul Skripsi:

Evaluasi Kinerja Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Instrumen Geoteknik pada Area Cluster D Kawasan Kota Summarecon Bandung dengan Metode *Vacuum Consolidation*

Nama Mahasiswa : Yohanes Dibalflorende Ekamargarezki

NIM : 135060107111056

Program Studi : Teknik Sipil

Tim Dosen Penguji:

Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Yulvi Zaika, ST., MT.

Dosen Penguji 2 : Dr. Ir. As'ad Munawir, MT.

Dosen Penguji 3 : Ir. Wahyu P. Kuswanda

Tanggal Ujian : 18 Desember 2017

SK Penguji :1672/UN10.F07/SK/2017

## **LEMBAR ORISINALITAS SKRIPSI**

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini terbukti bahwa terdapat unsur-unsur plagiaris, saya sanggup menerima hukuman / sanksi apapun, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 9 Januari 2018

Mahasiswa,

**Yohanes Dibalflorende Ekamargarezki**

NIM. 135060107111056

## **RIWAYAT HIDUP**

Yohanes Dibalflorende Ekamargarezki lahir di Dilli tanggal 24 November 1995. Anak pertama dari Bapak Rofinus Ngilo dan Ibu Ni Nengah Pariti. Menjalani pendidikan SD (Sekolah Dasar) di SDK St. Ursula Ende, pada tahun 2001. Setelah itu SMP (Sekolah Menengah Pertama) di SMPK Fr. Ndao Ende, dan lulus pada tahun 2010. Menjalani pendidikan SMA (Sekolah Menengah Atas) di SMA Katholik Syuradikara Ende, lulus pada tahun 2013.

Menyelesaikan S1 Teknik Sipil di Universitas Brawijaya pada tahun 2017. Pada saat menjalani kehidupan kampus, ikut berpartisipasi dalam kepanitiaan Seminar Nasional (2014 dan 2015).

Malang, Desember 2017

Penulis

## LEMBAR PERUNTUKAN

*Skripsi ini dipersembahkan untuk 2 orang yang paling saya cintai.*

*Pertama, Ibunda Ni Nengah Pariti. Wanita penyabar dan tangguh yang mendidik anak-anaknya dengan penuh cinta dan kasih sayang.*

*Kedua, Ayahanda Rofinus Ngilo. Guru terbaik yang tak pernah lelah mengajarkan, memberikan semangat dan membimbing saya menjadi pribadi yang lebih baik.*

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, yang senantiasa memberikan nikmat, kekuatan, dan kemudahan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Evaluasi Kinerja Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Instrumen Geoteknik pada Area Cluster D Kawasan Kota Summarecon Bandung dengan Metode *Vacuum Consolidation*”** ini.

Penulisan skripsi ini diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik dan diharapkan dapat bermanfaat bagi ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang Mekanika Tanah dan Geoteknik. Selain itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Keluarga penulis, Bapak Rofinus Ngilo, Ibu Ni Nengah Pariti, dan adik-adik saya Zelin, Tiara, Kerin, serta keluarga besar tercinta yang selalu memberikan doa, dukungan, dan segala bantuan kepada penulis.
2. Ir. Sugeng P. Budio, MS. dan Ir. Siti Nurlina, MT., selaku Ketua Jurusan dan Sekretaris Jurusan Teknik Sipil FT-UB yang membantu kelancaran skripsi ini.
3. Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac), selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil FT-UB yang sangat membantu dalam kelancaran skripsi ini.
4. Dr. Ir. As’ad Munawir, MT. dan Ir. Wahyu P. Kuswanda sebagai dosen pembimbing atas segala arahan, masukan, dan bimbingan yang telah diberikan dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Bu Iis, Pak Danang, Pak Juraini, serta para staf dibawah naungan PT. Teknindo Geosistem Unggul yang dengan sabar membagikan ilmu kepada penulis guna menyelesaikan skripsi.
6. Fenny Dwi Nilamsari sebagai partner yang selalu memberikan dukungan dan doa dalam melancarkan skripsi ini.
7. Tim Skripsi “Anak Babe luv-luv”, Fanny, Hanna, Zahra, Ryan yang saling bekerja sama sehingga melancarkan penyelesaian skripsi.
8. “Kmk-T Sipil”, Alda, Inka, Renny, Valni, Vivin, Adven, Brian, Stefanus yang merupakan keluarga pertama di malang yang selalu saling support selama masa perkuliahan.

9. Teman-teman dari grup “EZ”, Ayu, Hanna, Louce, Yiyin, Bondan, Dewa, Emil, Fachreza, Gunawan, Iqbal yang telah memberikan dukungan serta saling membantu selama masa perkuliahan.
10. Abdi, Febrian, Irfan, Theo Mahendra, Bintang, atas keseruan serta petualangannya selama kuliah di Jurusan Teknik Sipil FT-UB
11. Keluarga Besar Mahasiswa Sipil dan Mahasiswa Teknik Sipil Angkatan 2013 serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Walaupun demikian, penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam skripsi ini dan jauh dari kata sempurna. Semoga segala bantuan yang telah diberikan oleh berbagai pihak dijadikan sebagai amal soleh. Sehingga pada akhirnya skripsi ini dapat bermanfaat untuk semua orang.

Malang, Desember 2017

Penulis



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xi
<b>RINGKASAN</b> .....	xiii
<b>SUMMARY</b> .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	3
1.4 Pembatasan Masalah.....	3
1.5 Tujuan Penelitian.....	3
1.6 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Tanah Lunak.....	5
2.2 Penurunan Tanah ( <i>Settlement</i> ) .....	5
2.2.1 Penurunan Segera ( <i>Immediate Settlement</i> ) .....	5
2.2.2 Penurunan akibat beban ( <i>Consolidation Settlement</i> ).....	6
2.2.3 Penurunan akibat Konsolidasi Primer .....	7
2.2.4 Penurunan sekunder ( <i>secondary settlement –S<sub>s</sub></i> ).....	10
2.3 Teori dan Perencanaan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD).....	11
2.3.1 <i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD).....	11
2.3.2 Parameter Tanah .....	12
2.3.2.1 Zona Pengaruh PVD .....	13
2.3.2.2 Koefisien Konsolidasi Vertikal ( <i>C<sub>v</sub></i> ).....	13
2.3.2.3 Koefisien Konsolidasi Horizontal ( <i>Ch</i> ).....	13
2.3.2.4 Indeks Pemampatan ( <i>C<sub>c</sub></i> ) .....	14
2.3.2.5 Indeks Pengembangan ( <i>C<sub>s</sub></i> ).....	14
2.3.2.6 Diameter Ekuivalen ( <i>dw</i> ) .....	15

2.3.2.7 Koefisien Kompresibilitas Volume ( $m_v$ ) .....	16
2.3.2.8 Faktor Hambatan.....	16
2.3.3 Penentuan Waktu Konsolidasi dengan PVD .....	17
2.4 Perbaikan Tanah Lunak menggunakan <i>Vacuum Consolidation</i> .....	19
2.4.1 Metode <i>Vacuum Consolidation</i> .....	19
2.4.2 Keuntungan Metode <i>Vacuum Consolidation</i> .....	19
2.4.3 Rasio kelebihan tekanan air pori pada <i>Vacuum Consolidation</i> .....	20
2.4.4 Metode Pelaksanaan <i>Vacuum Consolidation</i> .....	21
2.5 Instrumentasi Geoteknik .....	24
2.5.1 Inclinometer.....	24
2.5.2 <i>Vibrating Wire Piezometer</i> .....	25
2.5.3 <i>Settlement Plate</i> .....	25
2.5.4 <i>Vacuum Gauge</i> .....	27
2.5.5 Kestabilan Tanah akibat Timbunan di Lapangan.....	27
2.5.6 Koreksi Tekanan Atmosfer .....	28
2.6 Prediksi Penurunan Tanah di Lapangan menggunakan Metode Asaoka.....	28
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>31</b>
3.1 Lokasi Penelitian.....	31
3.2 Metode Pengumpulan Data.....	31
3.2.1 Data Sekunder .....	32
3.2.1.1 Data tanah dasar .....	32
3.2.1.2 Data timbunan.....	32
3.2.1.3 Data Bangunan.....	33
3.2.1.4 Data material dan pemasangan PVD .....	33
3.2.1.5 Data bacaan <i>Settlement Plate</i> .....	33
3.2.1.6 Data bacaan <i>Piezometer</i> .....	33
3.2.1.7 Data <i>Inclinometer</i> .....	34
3.2.1.8 Data <i>Vacuum Gauge</i> .....	34
3.2.2 Metode Interview .....	34
3.2.3 Metode Literatur.....	34
3.3 Tahapan Analisis .....	34
3.4 Diagram Alur ( <i>Flowchart Design</i> ).....	36
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>37</b>
4.1 Hasil Pengumpulan Data .....	37

4.1.1 Data Tanah Dasar .....	37
4.1.2 Data Material dan Pemasangan PVD .....	38
4.1.3 Data <i>Settlement Plate</i> .....	39
4.1.4 Data pembacaan <i>Vibrating Wire Piezometer</i> (VWP).....	43
4.1.5 Data <i>Inclinometer</i> .....	46
4.1.6 Data <i>Vacuum Gauge</i> .....	48
4.2 Hasil Pengolahan Data .....	51
4.2.1 Penentuan Parameter Tanah .....	51
4.2.2 Perhitungan Teoritis Penurunan Tanah menggunakan Metode Terzaghi .....	52
4.2.3 Prediksi penurunan tanah Metode Asaoka .....	56
4.2.4 Penentuan derajat konsolidasi berdasarkan <i>settlement plate</i> .....	58
4.2.5 Penentuan Derajat Konsolidasi Berdasarkan Bacaan Piezometer.....	58
4.2.6 Analisis Balik Parameter Tanah untuk desain <i>Vacuum Consolidation</i> menggunakan <i>Vertical drains</i> .....	60
4.2.6.1 Nilai Koefisien Konsolidasi Arah Horizontal (Ch) berdasarkan estimasi Asaoka .....	60
4.2.6.2 Nilai Koefisien Kompresibilitas Volume (mv) .....	60
4.2.6.3 Nilai Permeabilitas Tanah Arah Vertikal (kv) .....	60
4.2.6.4 Nilai Indeks Kompresi (Cc) .....	61
4.2.7 Kestabilan Tanah akibat timbunan di lapangan .....	62
4.2.8 Efektifitas tekanan vakum yang terjadi di dalam tanah.....	64
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	67
5.1 Kesimpulan .....	67
5.2 Saran .....	68
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	69
<b>LAMPIRAN</b> .....	71



## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat Umum Lempung Lunak .....	5
Tabel 2.2	Nilai Indeks Pemampatan ( $C_c$ ) Berbagai Jenis Tanah Lempung .....	14
Tabel 4.1	Koordinat Lokasi Penyelidikan Tanah .....	37
Tabel 4.2	Data bacaan <i>Settlement Plate</i> SP.02 sampai dengan hari ke 87 .....	37
Tabel 4.3	Data Bacaan <i>Piezometer</i> VWP-02 hingga hari ke-67 .....	43
Tabel 4.4	Pergeseran Lateral monitoring IN-02 arah B tanggal 26 Maret hingga 29 Maret 2017 (mm) .....	46
Tabel 4.5	Data Bacaan VG-03 hingga 27 Maret 2017 .....	49
Tabel 4.6	Rekapitulasi data tanah dasar .....	51
Tabel 4.7	Perhitungan Penurunan Konsolidasi akibat preloading 1 SP-03 .....	54
Tabel 4.8	Perhitungan teoritis berdasarkan penimbunan yang terjadi di lapangan .....	54
Tabel 4.9	Perbandingan Penurunan Aktual dan Penurunan Teoritis hingga Hari Ke-87 .....	55
Tabel 4.10	Besar penurunan hari ke-n ( $S_n$ ) dan besar penurunan hari ke n+1 ( $S_{n+1}$ )....	56
Tabel 4.11	Hasil Estimasi Penurunan Akhir dengan Metode Asaoka.....	58
Tabel 4.12	Derajat konsolidasi berdasarkan prediksi Metode Asaoka.....	58
Tabel 4.13	Parameter Tanah Hasil <i>Back Analysis</i> .....	62



## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Grafik koefisien $f_1$ dan $f_2$ .....	6
Gambar 2.2	Grafik waktu- pemampatan selama konsolidasi untuk suatu penambahan beban yang diberikan.....	7
Gambar 2.3	<i>Karakteristik konsolidasi lempung yang terkonsolidasi normal dengan sensitivitas rendah hingga sedang.</i> .....	9
Gambar 2.4	<i>Karakteristik konsolidasi lempung yang terlalu terkonsolidasi dengan sensitivitas rendah hingga sedang</i> .....	9
Gambar 2.5	Tahapan penurunan tanah.....	10
Gambar 2.6	Pola Pemasangan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> .....	12
Gambar 2.7	Gambar Diameter Ekuivalen .....	15
Gambar 2.8	Ilustrasi Zona Gangguan.....	18
Gambar 2.9	Ilustrasi skema sistem pembebanan vakum.....	21
Gambar 2.10	Pelapisan tanah dengan pasir.....	21
Gambar 2.11	Pemasangan PVD .....	22
Gambar 2.12	Pipa horizontal.....	22
Gambar 2.13	Membran penutup.....	22
Gambar 2.14	Penggalian parit .....	23
Gambar 2.15	Pompa vakum .....	23
Gambar 2.16	Ilustrasi Posisi Instrumen Geoteknik di lapangan .....	24
Gambar 2.17	<i>Inclinometer</i> .....	24
Gambar 2.18	(a) <i>Vibrating Wire Piezometer recorder</i> .....	25
	(b) Proses penggunaan <i>Vibrating wire piezometer</i> .....	25
Gambar 2.19	(a) Material <i>settlement plate</i> .....	26
	(b) (b) alat monitoring <i>settlement plate</i> .....	26
Gambar 2.20	Grafik penurunan - waktu sampai pada penurunan akhir .....	26
Gambar 2.21	<i>Vacuum Gauge</i> .....	27
Gambar 2.22	Prosedur analisis data monitoring penurunan dengan interval waktu yang konstan .....	29
Gambar 2.23	Prediksi Penurunan Akhir dengan metode Asaoka .....	30

Gambar 3.1	Lokasi Penelitian Area Cluster D .....	31
Gambar 3.2	Ilustrasi Rumah Contoh Area Cluster D .....	33
Gambar 4.1	Layout lokasi penyelidikan tanah dasar.....	37
Gambar 4.2	<i>Vertical drains</i> tipe CeTeau Drain CT-D822.....	38
Gambar 4.3	Pemasangan <i>Vertical drain</i> serta horizontal drain di lapangan .....	38
Gambar 4.4	Layout letak Instrumen Geoteknik yang digunakan pada Area Cluster D ....	39
Gambar 4.5	Grafik elevasi timbunan pada SP.02 selama 87 hari.....	42
Gambar 4.6	Grafik Monitoring <i>Vacuum Gauge</i> SP.02 selama 87 hari .....	42
Gambar 4.7	Grafik penurunan tanah pada SP.02 selama 87 hari .....	42
Gambar 4.8	Grafik Elevasi Timbunan hingga hari ke 67 .....	45
Gambar 4.9	Grafik Monitoring <i>Vacuum Gauge</i> hingga hari ke 67 .....	45
Gambar 4.10	Grafik monitoring <i>Piezometer</i> hingga hari ke 67 .....	46
Gambar 4.11	Grafik Bacaan Inclinometer 02 Arah B pada Tanggal 26 Maret hingga 29 Maret 2017 .....	48
Gambar 4.12	Sketsa Penampang melintang tanah.....	52
Gambar 4.13	Grafik tahapan timbunan .....	55
Gambar 4.14	Grafik Penurunan Tanah antara Perhitungan Teoritis dan Penurunan Aktual .....	56
Gambar 4.15	Ilustrasi posisi <i>Vibrating Wire Piezometer</i> di lapangan.....	59
Gambar 4.16	Skema tekanan air pori tanah dari bacaan <i>Vibrating Wire Piezometer</i> .....	59
Gambar 4.17	Ilustrasi penggunaan <i>Inclinometer</i> di lapangan .....	62
Gambar 4.18	Grafik Monitoring VG-03.....	65





## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Data boring log, N-SPT dan data tanah hasil uji coba laboratorium.....	71
Lampiran 2.	Data monitoring settlement plate, grafik monitoring Vacuum Gauge serta penurunan.....	77
Lampiran 3.	Data <i>Vibrating wire piezometer</i> .....	92
Lampiran 4.	Data Inclinometer .....	97
Lampiran 5.	Perhitungan Teoritis Penurunan akibat Preloading + Pompa Vakum .....	101
Lampiran 6.	Perbandingan Penurunan Teoritis dan Penurunan Aktual.....	117
Lampiran 7.	Estimasi Asaoka tiap <i>settlement plate</i> .....	120
Lampiran 8.	Data monitoring <i>Vacuum Gauge</i> .....	128

## RINGKASAN

**Yohanes Dibalflorende Ekamargarezki**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Desember 2017, *Evaluasi Kinerja Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Instrumen Geoteknik pada Area Cluster D Kawasan Kota Summarecon Bandung dengan Metode Vacuum Consolidation*, Dosen Pembimbing: Dr. Ir. As'ad Munawir, MT. dan Ir. Wahyu P. Kuswanda.

Tanah lunak merupakan tanah yang memiliki kuat geser rendah serta tingkat kompresibilitas yang tinggi, sehingga apabila akan dilakukan pekerjaan konstruksi di atasnya diperlukan suatu perbaikan tanah guna memperkuat daya dukungnya. Terdapat beberapa metode dalam perbaikan tanah lunak. Salah satu cara ialah metode *Vacuum Consolidation*. Agar metode perbaikan tanah yang digunakan mempunyai efektifitas yang tinggi perlu diadakannya evaluasi pada penggunaan instrumen geoteknik.

Dalam kajian ini dilakukan evaluasi mencakup 4 instrumen geoteknik dimana *Settlement Plate* digunakan untuk mengevaluasi penurunan teoritis, menghitung prediksi penurunan akhir (*final settlement*) dengan metode observasi Asaoka serta derajat konsolidasi aktual. Hasil perhitungan derajat konsolidasi *Settlement Plate* dibandingkan dengan evaluasi kelebihan tekanan air pori tanah menggunakan bacaan *Wire Vibrating Piezometer*. *Inclinometer* digunakan untuk mengontrol pergeseran tanah lateral serta kestabilan tanah akibat beban di lapangan. *Vacuum Gauge* berfungsi untuk mengontrol efektifitas tekanan vakum pada tanah yang diberikan. Efektivitas pompa vakum yang digunakan sebesar 80%. Kegagalan desain pada penggunaan *Vacuum Consolidation* dapat terjadi disebabkan kesalahan perencana dalam menentukan parameter-parameter desain tanah, sehingga dalam kajian ini membahas parameter desain tanah yang berdasarkan yang terjadi di lapangan menggunakan *back analysis method*.

Hasil yang diperoleh dalam kajian ini adalah perbandingan penurunan aktual dan teoritis rata-rata sebesar 1,04. Untuk rata-rata prediksi penurunan tanah akhir (*final settlement*) didapatkan nilai sebesar 1546,36 mm. Derajat konsolidasi aktual dari bacaan *Wire Vibrating Piezometer* adalah 79,1% dan dari bacaan *Settlement Plate* adalah 87,62% dengan selisih perbedaannya sebesar 8,52%. Dari bacaan *Inclinometer* terdapat pergeseran lateral yang terjadi dibawah tanah namun tidak menyebabkan indikasi kelongsoran. Pompa vakum mencapai tekanan efektifnya sebesar 74 KPa secara berturut-turut pada bacaan ke 91 (hari ke-45), bacaan ke 63 (hari ke-31), bacaan ke 70 (hari ke-35) dan bacaan ke 91 (hari ke-45). Hasil dari *back analysis method* merupakan nilai  $C_h$  dimana nilai  $C_h$  yang baru adalah 3,55  $C_v$ .

Kata Kunci: Asaoka, Instrumen geoteknik, Penurunan akhir, tanah lunak, *Vacuum Consolidation*



## SUMMARY

**Yohanes Dibalflorende Ekamargarezki**, Civil Engineering Department, Faculty of Engineering University of Brawijaya, December 2017, *Performance Evaluation of Soft Soil Improvement Using Geotechnical Instruments at Development of Summarecon City Bandung Area Cluster D with Vacuum Consolidation Method*, Academic Supervisor: Dr. Ir. As'ad Munawir, MT. and Ir. Wahyu P. Kuswanda.

*Soft Soil is a type of soil that has a low shear strength and high compressibility level, so if it will be done construction work on it required a land improvement in order to strengthen its carrying capacity. There are several methods of soft soil improvement. One of them is the Vacuum Consolidation method. In order for the soil improvement methods used to have high effectiveness it is necessary to evaluate the use of geotechnical instruments.*

*In this study, the evaluation covers 4 (four) geotechnical instruments, where Settlement Plate was used to evaluate the theoretical settlement, to calculate the final settlement prediction with Asaoka observation method and the actual consolidation degree. The calculation result of consolidation degree from Settlement Plate is compared with evaluation of excess pore soil pressure using monitoring Wire Vibrating Piezometer. The Inclinator is used to control lateral ground shift and soil stability due to load in the field. Vacuum Gauge works to control the effectiveness of vacuum pressure on the given soil. The effectiveness of the vacuum pump used is 80%. The failure of design in using Vacuum Consolidation may occur because of the mistake of planner in determining soil design parameters, therefore this study also discusses soil design parameters in actual condition using back analysis method.*

*The results obtained in this study are comparison of actual and theoretical settlement on average of 1,04. To predict final settlement it can be obtained the value 1546,36 mm. The actual consolidation degree from Wire Vibrating Piezometer reading is 79,1% and from the Settlement Plate reading is 87,62% with the difference of 8,52%. From the Inclinator readings there is a lateral shift that occurs under the ground but does not cause indications of sliding. The vacuum pump reached its effective pressure of 74 KPas consecutively at the 91st reading (day 45), the 63th reading (day 31), the 70th reading (day 35) and the 91th reading (day 45). The result of back analysis method is Ch value where the new Ch value is 3,55 Cv.*

**Keywords:** *Asaoka, Geotechnical instruments, Final settlement, Soft soil, Vacuum Consolidation*



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pembangunan merupakan suatu gambaran apakah wilayah tersebut dapat dikatakan telah berkembang atau tidak. Namun seiring berjalannya waktu, ketersediaan lahan dengan kondisi tanah dasar yang baik untuk mendirikan bangunan semakin sulit didapat sehingga memicu penggunaan lahan dengan kondisi tanah dasar lunak. Masalah yang terjadi pada bangunan yang didirikan pada lapisan tanah lunak ialah daya dukung tanah rendah dan *settlement* (penurunan) yang besar. Penurunan ini terjadi disebabkan oleh proses konsolidasi pada tanah.

Salah satu metode perbaikan tanah yang sering digunakan ialah dengan sistem prapembebanan menggunakan timbunan atau yang lebih dikenal dengan istilah preloading. Metode ini sendiri membutuhkan sejumlah tanah timbunan sehingga setelah proses perbaikan selesai, pembuangan tanah urugan yang tidak dibutuhkan merupakan suatu persoalan lain yang harus diperhatikan. Kelongsoran timbunan pada metode ini pun tak dapat dihindari karena besarnya beban yang diberikan pada tanah lunak tersebut bergantung pada kekuatan tanah lunak yang akan diperbaiki.

Kawasan Kota Summarecon Bandung merupakan sebuah proyek dengan kawasan residensial, komersial, dan Summarecon Teknopolis yang berlokasi di Gedebage, Bandung, Jawa Barat. Dalam upaya mewujudkan wilayah tersebut menjadi kawasan terpadu yang mencakup pusat bisnis dan industri kreatif, maka tak luput dari berbagai pembangunan. Salah satunya ialah Area Vacuum (Cluster D) yang merupakan area sebagai rumah contoh dari beberapa properti cluster yang ada. Berdasarkan analisa penyelidikan tanah (*soil investigation*), kondisi tanah di Gedebage merupakan tanah lunak dimana partikel tanah padat lebih sedikit dibandingkan kandungan air dan udaranya. Konstruksi tidak akan dapat didukung oleh tanah lunak akibat tanah tidak dapat menahan beban, sehingga proyek pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung Cluster direncanakan menggunakan metode *Vacuum Consolidation* sebagai solusi untuk permasalahan tanah tersebut. Metode perbaikan tanah yang ditinjau dalam penelitian ini ialah perbaikan tanah lunak tanpa menggunakan timbunan sehingga kelemahan yang ada dapat di minimalisir.

Metode *Vacuum Consolidation* merupakan suatu sistem untuk mempercepat proses konsolidasi pada tanah lunak dengan menggunakan tekanan vakum lewat pipa horizontal yang tersambung pada *prefabricated vertical drain* (PVD) di dalam tanah. Tekanan udara diatas permukaan tanah dibuat negatif dengan bantuan pompa vakum, sehingga akibat dari perbedaan tekanan inilah air tanah keluar dan menyebabkan tanah menjadi mampat.

Raju (2009) dalam jurnal Masrur Abdull Hamid Ghani “Vacuum Preloading Versus Conventional Embankment Preloading for Accelerating Consolidation Process : A Comparisson Study from Analysis of Full Scale Test” mengatakan bahwa metode vacuum consolidation dapat menjaga stabilitas internal yang lebih baik karena tidak ada peningkatan mendadak dalam tekanan pori berlebih. Stabilitas yang lebih baik juga dapat terjadi sebagai akibat dari tekanan negatif yang disebabkan gerakan tekan lateral (Qian, 1992).

Nawir dkk (2012) melakukan penelitian studi kasus timbunan di Bontang, Kalimantan Timur, Indonesia. Memprediksi penurunan tanah menggunakan metode terzaghi, metode elemen hingga, dan metode Asaoka. Dari studi yang dilakukan disimpulkan bahwa estimasi penurunan konsolidasi yang didapat dari analisis konsolidasi Terzaghi memiliki hasil yang jauh lebih besar dari penurunan yang diperoleh dari analisis berdasarkan metode Asaoka artinya hasil estimasi dari Terzaghi mendapatkan nilai yang lebih besar dari nilai penurunan aktual di lapangan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis akan menganalisa penurunan yang terjadi pada perbaikan tanah lunak dengan Metode *Vacuum Consolidation* sesuai data lapangan. Untuk memperoleh efisiensi dalam perbaikan tanah tersebut perlu dilakukannya evaluasi baik dari segi instrumentasi geoteknik maupun evaluasi penurunan tanah akhir (final settlement).

Dalam penelitian ini digunakan Metode Asaoka, dimana analisis ini meninjau studi kasus yang terjadi pada Kawasan Kota Summarecon Bandung Area Vacuum (Cluster D).

## **1.2 Identifikasi Masalah**

Perbaikan tanah lunak dengan metode *Vacuum Consolidation* mengkondisikan tanah agar mengalami pemampatan jauh lebih cepat dibandingkan dengan proses pemampatan tanah secara alami yang membutuhkan waktu bertahun-tahun. Dengan demikian daya dukung tanah yang telah dimampatkan menjadi jauh lebih baik dari sebelumnya dan siap untuk konstruksi. Selain itu penggunaan instrumen geoteknik berperan dalam meninjau seberapa besar penurunan yang terjadi.



### 1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, penulis merumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana perbandingan penurunan tanah secara teoritis dengan keadaan aktual yang terjadi di lapangan serta penurunan akhir tanah akibat tekanan vakum dengan menggunakan metode Asaoka?
2. Bagaimana derajat konsolidasi, kestabilan tanah yang terjadi di lapangan, serta efektifitas tekanan vakum yang terjadi di area Cluster D?
3. Bagaimana hasil parameter-parameter tanah yang digunakan berdasarkan *back analysis method*?

### 1.4 Batasan Masalah

1. Layout dan lokasi perencanaan sudah ditentukan, yaitu Proyek Kawasan Kota Summarecon Bandung, Area Vacuum (Cluster D)
2. Data yang digunakan dalam penelitian adalah data sekunder yang berasal dari PT. Teknindo Geosistem Unggul.
3. Perbaikan Tanah Lunak menggunakan tekanan vakum dan *Prefabricated Vertical Drain*
4. Pemasangan PVD yang digunakan pola segitiga
5. Instrumen Geoteknik yang digunakan yakni *Settlement Plate, Vibrating Wire Piezometer, Inclinometer* serta *Vacuum Gauge*
6. Metode prediksi penurunan tanah ialah Teori Asaoka menggunakan data dari monitoring *settlement plate*
7. Data Settlement plate yang digunakan ialah 4 titik *Settlement Plate*, 1 titik Piezometer dan Inclinometer serta 4 titik *Vacuum Gauge*
8. Efisiensi Pompa *Vacuum* sebesar 80 %

### 1.5 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan sebagai berikut :

1. Membandingkan penurunan tanah yang terjadi secara teoritis dan di lapangan serta memprediksi penurunan tanah akhir dengan Teori Asaoka berdasarkan data monitoring *Settlement Plate*
2. Mengetahui derajat konsolidasi yang tercapai, kestabilan tanah timbunan yang terjadi di lapangan, serta kinerja pompa vakum yang digunakan
3. Mengetahui parameter-parameter tanah yang sesuai dengan kondisi lapangan

## 1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini ialah sebagai berikut :

1. Menambah wawasan akan penggunaan instrumen geoteknik pada perbaikan tanah lunak dengan Metode *Vacuum Consolidation*
2. Mampu memprediksi penurunan tanah akhir yang terjadi dengan pendekatan Teori Asaoka
3. Sebagai referensi dan acuan baru untuk kalangan akademis dalam analisis lebih lanjut mengenai prediksi penurunan tanah menggunakan Metode *Vacuum Consolidation* dengan Teori Asaoka

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tanah Lunak

Menurut Panduan Geoteknik 1, 2001 tanah lunak ialah tanah yang jika tidak dikenali dan diselidiki secara berhati-hati dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak dapat ditolerir, tanah tersebut mempunyai kuat geser yang rendah dan kompresibilitas yang tinggi. Adapun yang termasuk dalam kategori tanah ini ialah lempung lunak. Sifat umum lempung lunak diuraikan oleh Toha (1989) dalam Tabel 2.1

Tabel 2.1  
Sifat Umum Lempung Lunak

No	Parameter	Nilai
1	Kadar Air	80 - 100%
2	Batas Cair	80 - 110%
3	Batas Plastik	30 - 45%
4	Lolos Saringan no. 200	> 90%
5	Kuat Geser	20 - 40 kN/m <sup>2</sup>

Sumber : Toha, 1989

#### 2.2 Penurunan Tanah (*Settlement*)

Ketika kondisi dimana lapisan tanah mengalami regangan sebagai akibat dari pembebanan ialah Penurunan (*Settlement*). Regangan yang terjadi dalam tanah ini disebabkan oleh berubahnya susunan tanah maupun pengurangan rongga pori atau air dalam tanah tersebut. Jumlah dari regangan sepanjang kedalaman lapisan merupakan penurunan total tanahnya. Penurunan akibat beban adalah jumlah total dari penurunan segera (*immediate settlement*) dan penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*).

##### 2.2.1 Penurunan Segera (*Immediate Settlement*)

Pemampatan yang diakibatkan oleh perubahan elastis tanah tanpa adanya perubahan kadar air disebut Penurunan Segera. Perhitungan pemampatan segera ini umumnya didasarkan pada pemampatan yang diturunkan dari teori elastisitas. Secara teoritis terlihat mudah namun dalam penggunaannya sulit untuk memprediksi besarnya penurunan.

Hal ini tidak hanya karena tanah dalam kondisi alamnya tidak homogeny dan anistropis dengan modulus elastisitas yang bertambah dengan kedalamannya, tetapi juga terdapat kesulitan dalam mengevaluasi kondisi tegangan dan regangan di lapisannya. Untuk menghitung besarnya nilai penurunan segera, persamaan didasarkan pada teori elastisitas dengan *poisson ratio* = 0,5 dan modulus elastisitas *undrain*

$$S_i = \frac{I_v q B}{E_u} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

$I_v$  = faktor pengaruh yang tergantung pada geometri timbunan

$q$  = tegangan yang bekerja pada tanah dasar

$B$  = lebar daerah yang terbebani

$E_u$  = modulus elastisitas *undrain*

Faktor  $I_v$  dapat dihitung dengan analisa teori *elastic* untuk penurunan di pojok bebab garis (*strip load*) merata sesuai dengan Persamaan (2.2).

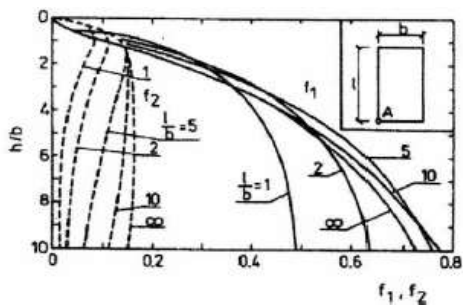
$$I_v = (1 - v^2)f_1 + (1 - v - 2v^2)f_2 \dots\dots\dots (2.2)$$

Untuk kasus pembebanan undrain, Persamaan (2.2) tereduksi menjadi

$$I_v = \frac{3}{4} f_1 \dots\dots\dots(2.3)$$

$$E_u = \frac{215 C_u \ln F}{I_p} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan koefisien  $f_1$  dan  $f_2$  dapat dilihat pada **Gambar 2.1**



Gambar 2.1 Grafik koefisien  $f_1$  dan  $f_2$   
 Sumber : PT. Teknindo Geosistem Unggul

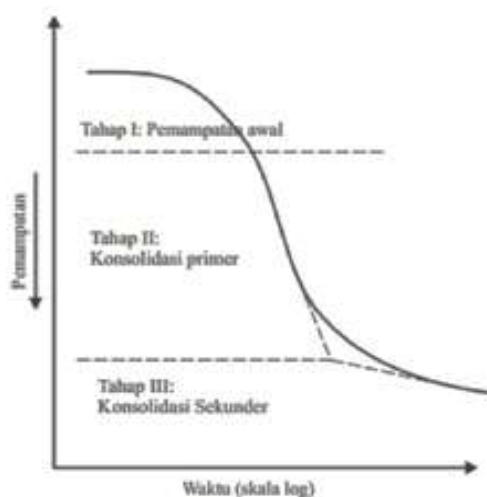
**2.2.2 Penurunan akibat beban ( Consolidation Settlement )**

Dalam Braja M. Das, 1985, dijelaskan bahwa penurunan konsolidasi merupakan hasil dari perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori-pori tanah. Pada umumnya, tahapan konsolidasi dapat ditunjukkan oleh grafik hubungan antara pemampatan dan waktu. Dari grafik pada **Gambar 2.2** dapat dilihat bahwa ada tiga tahapan yang berbeda yang dapat terjadi pada tanah.

Tahap I : Pemampatan awal (*initial compression*), yang pada umumnya terjadi disebabkan oleh pembebanan awal (*preloading*).

Tahap II : Konsolidasi primer (*primary consolidation*), yaitu periode selama tegangan air pori secara lambat laun dipindahkan ke dalam tegangan efektif, sebagai akibat dari keluarnya air dari pori-pori tanah.

Tahap III : Konsolidasi sekunder (*secondary consolidation*), yaitu yang terjadi setelah tegangan air pori hilang seluruhnya. Pemampatan yang terjadi adalah disebabkan oleh penyesuaian yang bersifat plastis dari butir-butir tanah setelah konsolidasi primer.



Gambar 2.2 Grafik waktu- pemampatan selama konsolidasi untuk suatu penambahan beban yang diberikan

Sumber : Braja M. Das, Jilid 1 : 184

### 2.2.3 Penurunan akibat Konsolidasi Primer

Penurunan konsolidasi merupakan penurunan yang terjadi karena terdisipasinya tegangan air pori pada tanah kondisi *undrained* menuju tanah berkondisi *drained*. Menurut Weasley (1977) dalam Yunias (2010), apabila suatu lapisan tanah mengalami tambahan beban di atasnya, maka seiring berjalannya waktu maka air pori akan mengalir keluar dari pori-pori tanah tersebut dan volume total tanah akan menjadi lebih kecil. Pada umumnya konsolidasi berlangsung satu arah kearah vertikal. Hal ini terjadi karena lapisan yang ditambahkan oleh beban tidak bergerak kearah horizontal sebab ditahan oleh tanah disekelilingnya.

Untuk menghitung besarnya konsolidasi yang terjadi, Braja M. Das memberikan beberapa perumusan sesuai dengan kondisi tanah, yaitu untuk tanah terkonsolidasi normal (*normally consolidated*) dan tanah terkonsolidasi lebih (*over consolidated*).

Tanah terkonsolidasi normal terjadi dimana tegangan overburden efektif pada saat ini merupakan tegangan maksimum yang dialami oleh tanah. Untuk tanah dengan derajat sensitivitas rendah hingga sedang serta angka pori  $e_0$  dan tegangan overburden  $\sigma'_0$ , perubahan angka pori ditunjukkan pada kurva 1 **Gambar 2.3**. Kurva 2 menunjukkan hasil uji konsolidasi untuk contoh tanah yang struktur tanahnya tidak rusak (*undisturbed*). Jika struktur contoh tanah tersebut rusak dan kemudian dibentuk kembali (*remolded*), maka letak grafik  $e$  dengan  $\log \sigma$  akan terbentuk seperti pada kurva 3. Sehingga persamaan untuk tanah yang terkonsolidasi secara normal dimana  $e$  dengan  $\log \sigma$  merupakan garis lurus adalah

$$S = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \log\left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_0}\right) \dots\dots\dots (2.5)$$

Tanah yang terkonsolidasi lebih (*over consolidated*) terjadi apabila tegangan efektif overburden pada saat ini lebih kecil dari tegangan yang pernah dialami oleh tanah itu sebelumnya, dimana tegangan overburden efektif maksimum yang pernah dialami dinamakan tegangan prakonsolidasi. Braja M. Das mengungkapkan tanah *over consolidated* dengan derajat sensitivitas rendah sampai sedang dan pernah mengalami tegangan prakonsolidasi serta angka pori  $e_0$  dan tegangan overburden  $\sigma'_0$ , kurva konsolidasi ditunjukkan oleh garis *cbd* (**Gambar 2.4**). Dimana *bd* merupakan bagian dari kurva pemampatan asli. Untuk contoh tanah yang tingkat kerusakannya tidak terlalu besar ditunjukkan oleh kurva 2. Schmertmann (1953) pada Braja M. Das menyimpulkan bahwa kemiringan garis *cb*, yang merupakan garis pemampatan ulang (*recompression*) lapangan, mempunyai kemiringan yang hampir sama dengan kemiringan kurva pantul (*rebound curve*) *fg* dari hasil uji konsolidasi di laboratorium. Sehingga untuk tanah *over consolidated* dirumuskan sebagai berikut :

Bila  $\sigma'_0 + \Delta\sigma \leq \sigma'_c$ , maka:

$$S = \frac{C_s \cdot h}{1 + e_0} \log\left(1 + \frac{\Delta\sigma}{\sigma'_0}\right) \dots\dots\dots (2.6)$$

Bila  $\sigma'_0 + \Delta\sigma > \sigma'_c$ , maka:

$$S = \frac{C_s \cdot h}{1 + e_0} \log\left(\frac{\sigma'_c}{\sigma'_0}\right) + \frac{C_c \cdot h}{1 + e_0} \log\left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_c}\right) \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

$h$  = tebal lapisan lempung

$\sigma'_0$  = tegangan overburden efektif

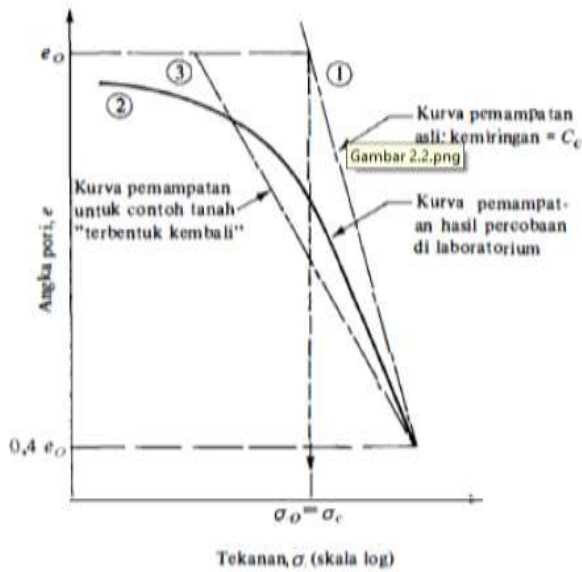
$e_0$  = angka pori awal (*Initial Void Ratio*)

$\sigma'_c$  = tegangan prakonsolidasi efektif

$C_s$  = Indeks pemuaian  
(*Surcharge*)

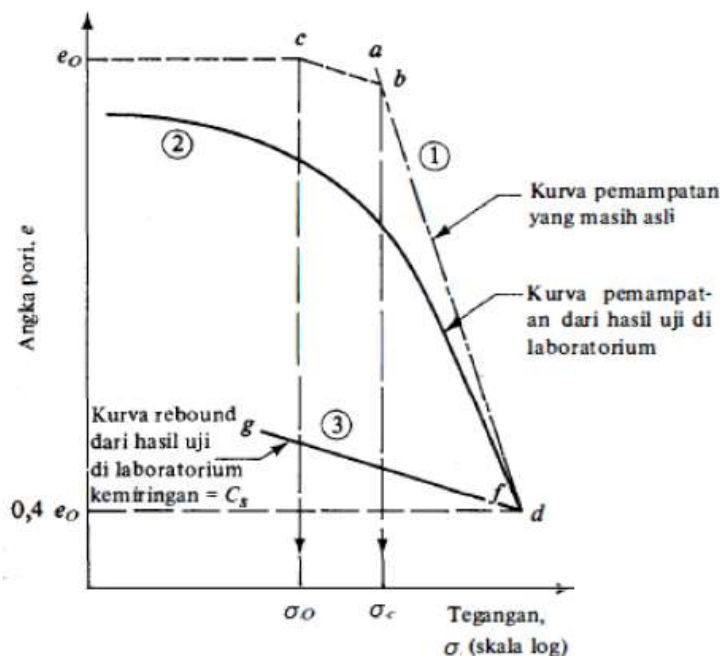
$\Delta\sigma$  = penambahan tegangan

$C_c$  = Indeks pemampatan



Gambar 2.3 Karakteristik konsolidasi lempung yang terkonsolidasi normal dengan sensitivitas rendah hingga sedang.

Sumber : Braja M. Das Jilid 1 (1985)



Gambar 2.4 Karakteristik konsolidasi lempung yang terlalu terkonsolidasi dengan sensitivitas rendah hingga sedang

Sumber : Braja M. Das Jilid 1 (1985)

**2.2.4 Penurunan sekunder (secondary settlement –S<sub>s</sub>)**

Penurunan sekunder terjadi setelah adanya penurunan konsolidasi. Penurunan ini terjadi akibat adanya penyesuaian butir-butir tanah pada kerangka tanah setelah tegangan air pori berlebih terdisipasi sempurna (u = 0). Pada proses penurunan sekunder tidak terjadi perubahan tegangan efektif tanah sehingga pada umumnya berlangsung pada waktu yang sangat lama. Konsolidasi sekunder dapat dirumuskan sebagai berikut

$$S_s = \frac{c_a \cdot h}{1 + e_p} \log \frac{t}{t_p} \dots\dots\dots (2.8)$$

$\frac{c_a}{c_c} = 0,05 \pm 0,01$  untuk tanah lempung dan lanau

$\frac{c_a}{c_c} = 0,06 \pm 0,01$  untuk tanah gambut

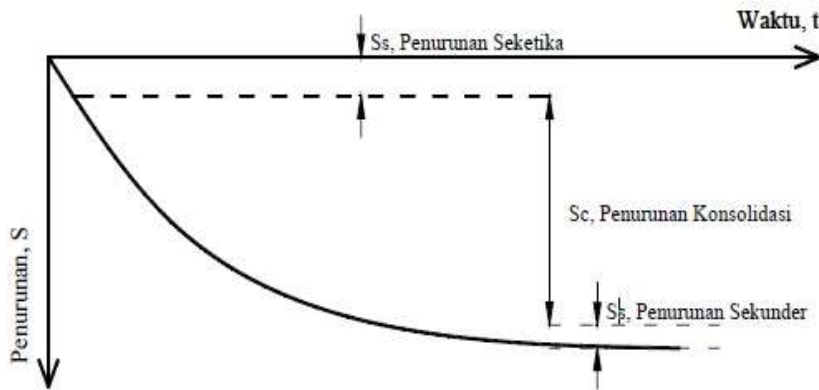
Dimana :

$c_a$  = koefisien konsolidasi sekunder

$t_p$  = lama konsolidasi primer (hari)

$t$  = umur dari masa layan timbunan (hari)

$e_p$  = angka pori pada saat konsolidasi primer



Gambar 2.5 Tahapan penurunan tanah  
 Sumber : Gouw, 2010

Untuk mengetahui total penurunan yang terjadi seperti pada **Gambar 2.5** dapat dihitung dari penjumlahan ketiga jenis penurunan. Menurut Das (1985), besarnya penurunan tanah total ditunjukkan pada persamaan (2.9).

$$S_t = S_i + S_c + S_s \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan :

$S_t$  = total penurunan yang terjadi

$S_i$  = Penurunan segera (*immediate settlement*)

$S_c$  = Penurunan akibat konsolidasi primer (merupakan hasil dari perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat keluarnya air yang menempati pori-pori tanah)



$S_s$  = Penurunan akibat konsolidasi sekunder (merupakan akibat dari perubahan plastis tanah)

## 2.3 Teori dan Perencanaan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)

### 2.3.1 *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)

*Prefabricated Vertical Drain* (PVD) ialah produk berbentuk pita (potongan melintang segiempat) yang terdiri atas material penyaring geotekstil yang membungkus inti plastik. Ukuran *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) adalah 10 cm lebar dengan ketebalan antara 3-4 cm (Bo et al., 2003a). Material dibentuk dari inti plastik yang berguna untuk mengalirkan air yang terjebak pada saringan geotekstil (Schaefer,1997). Fungsi utama saringan drainase vertikal adalah untuk memastikan partikel halus tidak lolos dan menyumbat saluran drainase dalam inti (Hansbo, 1981).

Penggunaan *prefabricated vertical drain* (PVD) lebih sering digunakan karena memiliki banyak keuntungan dibandingkan dengan penggunaan *sand drains*, diantaranya:

- a. Gangguan pada tanah yang diakibatkan pada saat pemasangan lebih kecil
- b. Waktu yang dibutuhkan saat kontrol kualitas lebih cepat
- c. Kualitas PVD cenderung seragam karena dibuat di pabrik
- d. Pemasangan lebih cepat dan ekonomis
- e. Tahan terhadap deformasi besar tanpa terlalu banyak kehilangan fungsi drainase
- f. Kontaminasi butiran halus tanah asli yang menyebabkan terhambatnya aliran air jauh lebih kecil

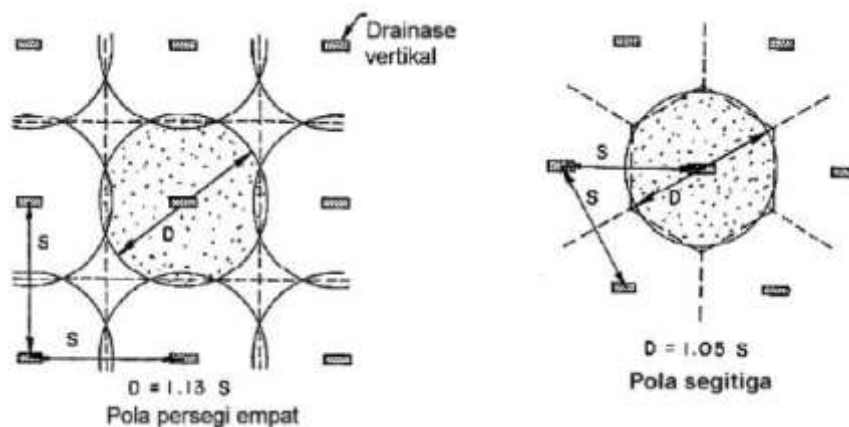
*Vertical drains* hanya mempercepat laju konsolidasi primer karena banyaknya air yang terdrainase pada konsolidasi primer tersebut. Sedangkan konsolidasi sekunder hanya disebabkan oleh keluarnya sebagian kecil dari air, sehingga penurunan sekunder tidak dipercepat dengan adanya *vertical drain*.

Teori konsolidasi untuk vertical drain telah dikembangkan oleh Barron (1984) untuk menganalisis kinerja aliran pasir. Barron menggunakan asumsi-asumsi dasar sebagai berikut:

1. Lempung bersifat jenuh dan homogen

2. Semua regangan kompresif dalam masa tanah terjadi dalam arah vertikal
3. Tidak ada aliran air pori
4. Air pori dan butiran mineral bersifat inkompresif bila dibandingkan dengan kerangka lempung.
5. Berlaku hukum Darcy untuk permeabilitas, koefisien permeabilitas  $k$  tidak tergantung pada lokasi
6. Tidak ada tekanan air pori berlebih dalam drain
7. Tambahan (*increment*) beban pada awalnya dipengaruhi air pori berlebih
8. Zona pengaruh dari tiap-tiap drain berbentuk silinder

Drainase vertical biasanya dipasang dengan pola segitiga atau pola persegi empat seperti pada **Gambar 2.6**



*Gambar 2.6 Pola Pemasangan Prefabricated Vertical Drain*

Sumber : Pedoman Perancangan PVD

### 2.3.2 Parameter Tanah

Parameter tanah ini digunakan untuk menentukan waktu konsolidasi yang akan terjadi.

#### 2.3.2.1 Zona Pengaruh PVD

Zona Pengaruh PVD ( $D$ ) merupakan variabel kontrol karena merupakan fungsi dari jarak antar PVD. PVD umumnya dipasang dalam pola persegi empat atau segitiga. Jarak antar PVD ( $S$ ) untuk menentukan  $D$  disajikan dalam persamaan berikut:

$$D = 1.13 \times S \rightarrow \text{Pola Segiempat}$$

$$D = 1.05 \times S \rightarrow \text{Pola Segitiga}$$

Dimana S adalah jarak titik tengah antar satu vertical drain ke vertical drain yang lain.

### 2.3.2.2 Koefisien Konsolidasi Vertikal ( $C_v$ )

Koefisien konsolidasi vertikal merupakan koefisien yang menyatakan kecepatan proses konsolidasi pada tanah dengan arah vertikal. Nilai koefisien konsolidasi vertikal dapat diperoleh melalui uji konsolidasi dengan menggunakan Persamaan (2.10)

$$C_v = \frac{k}{\gamma_w \cdot m_v} \quad (2.10)$$

Dimana:

$C_v$  = koefisien konsolidasi vertikal

$k$  = koefisien permeabilitas tanah

$\gamma_w$  = berat jenis air

Untuk tanah berlapis dengan ketebalan yang berbeda, koefisien konsolidasi vertikal dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.11)

$$C_v \text{ gabungan} = \frac{(H_1 + H_2 + \dots + H_n)^2}{\left(\frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{C_{vn}}}\right)^2} \quad (2.11)$$

### 2.3.2.3 Koefisien Konsolidasi Horizontal ( $C_h$ )

Koefisien konsolidasi horizontal dapat ditentukan dari nilai koefisien vertikal ( $C_v$ ) dengan persamaan

$$C_h = \frac{K_h}{K_s} C_v \quad (2.12)$$

Dimana perbandingan antara koefisien permeabilitas horizontal dan vertikal berkisar antara 1 sampai 5 kali koefisien konsolidasi vertikal.

$C_v$  = Koefisien konsolidasi vertikal

$C_h$  = Koefisien konsolidasi horizontal

$K_h$  = permeabilitas horizontal zona tak terganggu

$K_s$  = permeabilitas horizontal zona terganggu (*smear zone*)

### 2.3.2.4 Indeks Pemampatan ( $C_c$ )

Indeks pemampatan yang digunakan untuk menghitung besarnya penurunan yang terjadi di lapangan sebagai akibat dari konsolidasi dapat ditentukan dari kurva yang menunjukkan hubungan antara angka pori dan tekanan yang didapat dari uji konsolidasi di laboratorium (Das, Braja. M, 1985).

Berdasarkan hasil penelitian Holtz dan Kovacs (1981) nilai indeks pemampatan berbagai jenis tanah lempung dengan klasifikasi menurut Unified Soil Classification (USC) dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2

Nilai Indeks Pemampatan ( $C_c$ ) Berbagai Jenis Tanah Lempung

Jenis Tanah	Indeks Pemampatan ( $C_c$ )
Normally consolidated medium sensitive clays	0,2 – 0,5
Chicago silty clay (CL)	0,1 – 0,3
Boston blue clay (CL)	0,3 – 0,5
Swedish medium, sensitive clays (CL – CH)	1 – 3
Canadian Leds clay (CL – CH)	1 – 4
Mexico City clay (MH)	7 – 10
Organic clays (OH)	>4
Peats (Pt)	10 – 15
Organics silt and clayey silts (ML – MH)	1,5 – 4
San Francisco Bay Mud (CL)	0,4 – 1,2
San Francisco Old Bay Clays (CH)	0,7 – 0,9
Bangkok clay (CH)	0,4

Untuk tanah lempung *undisturbed* dan *remolded*, Terzaghi dan Peck (1967) menyarankan untuk menggunakan rumus empiris yang ditunjukkan pada Persamaan (2.13) dan (2.14)

$$C_c = 0,009(LL - 10) \quad (2.13)$$

$$C_c = 0,007(LL - 10) \quad (2.14)$$

$$C_c = 0,006 LL + 0,13 e_o^2 - 0,13 \quad (2.15)$$

Dimana LL merupakan batas cair dalam nilai persen.

Untuk mendapatkan nilai korelasi  $C_c$  BIAREZ dan FAVRE merumuskan sebagai berikut

$$C_c = 0,009 (LL - 13) \quad (2.16)$$

Dengan nilai LL dalam persen.

### 2.3.2.5 Indeks Pengembangan ( $C_s$ )

Indeks pengembangan bernilai lebih kecil dari indeks pemampatan yang nilainya ditentukan di laboratorium dengan ketentuan  $C_s \approx \frac{1}{5}$  sampai  $\frac{1}{10} C_c$

### 2.3.2.6 Diameter Ekuivalen ( $d_w$ )

Teori konsolidasi dengan drainase radial hanya berlaku dengan asumsi bahwa tanah mengalami proses drainase dengan potongan melintang berbentuk lingkaran, dengan persamaan konsolidasi radial meliputi diameter PVD,  $d$ . Oleh karena itu, PVD segiempat harus diekuivalenkan dengan diameter ekuivalen  $d_w$ , sebagai diameter drain lingkaran yang

mempunyai kinerja drain radial yang sama secara teoritis. Perancangan diameter ekuivalen dihitung dengan persamaan berikut.

$$d_w = (2(a+b) / \pi) \quad (2.17)$$

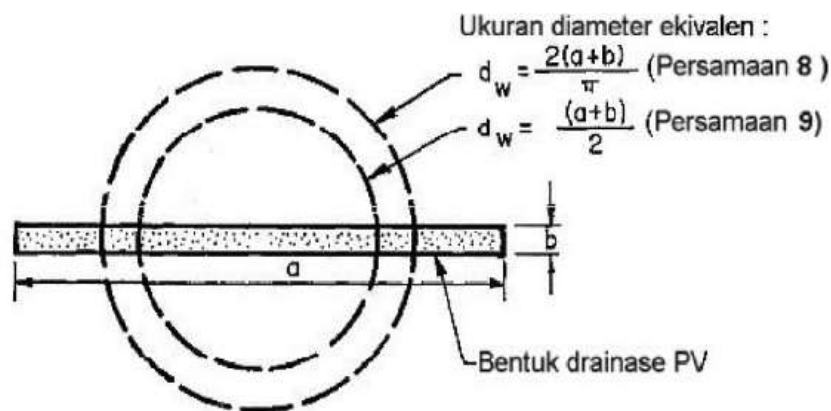
dengan pengertian :

a adalah lebar potongan melintang PVD (m)

b adalah tebal potongan melintang PVD (m)

Persamaan (2.17) dapat berlaku secara umum bila bagian dari luas keliling PVD yang memungkinkan aliran air masuk (tidak tertahan oleh inti PVD) melebihi 10 sampai 20 % dari keliling total. Untuk jenis PVD pada umumnya hal ini mudah diperoleh. Rembesan dalam lapisan antara bukaan ke saluran drainase, secara teoritis akan mengurangi pengaruh tahanan inti PVD. Dengan demikian Persamaan (2.18) dimodifikasi menjadi persamaan berikut.

$$d_w = (a+b) / 2 \quad (2.18)$$



Gambar 2.7 Gambar Diameter Ekuivalen  
Sumber : Pedoman Perencanaan PVD

### 2.3.2.7 Koefisien Kompresibilitas Volume ( $m_v$ )

Koefisien kompresibilitas volume adalah setiap peningkatan tekanan yang menghasilkan regangan volumetrik dalam elemen tanah lempung dimana nilai  $m_v$  diperoleh melalui Persamaan (2.19)

$$S_c = m_v \times \Delta \sigma \times H_0$$

$$m_v = \frac{S_c}{\Delta \sigma \times H_0} \quad (2.19)$$

Dimana:

$S_c$  = besarnya penurunan tanah

$m_v$  = koefisien kompresibilitas perubahan volume

$\Delta \sigma$  = penambahan tegangan vertikal

H = kedalaman tanah kompresibel

### 2.3.2.8 Faktor Hambatan

i. Faktor hambatan akibat jarak antar PVD

Perhitungan besar faktor hambatan yang diakibatkan jarak antar PVD dihitung dengan persamaan berikut

$$F_n = \frac{n^2}{n-1} - \ln(n) - \frac{3n^2-1}{4n^2}$$

$$F_n = \frac{1}{1-\frac{1}{n^2}} \ln(n) - \frac{3-\frac{1}{n^2}}{4}, \text{ jika nilai } \frac{1}{n^2} \approx 0$$

$$F(n) = \ln(n) - \frac{3}{4} \text{ atau}$$

$$F_n = \ln \frac{D}{d_w} - \frac{3}{4} \quad (2.20)$$

$$n = \frac{D}{d_w}$$

ii. Faktor hambatan akibat efek *smear*

Pada pemasangan vertikal drain sering diasumsikan bahwa vertikal drain tidak mengubah parameter tanah disekitarnya, namun pada kenyataannya saat proses penetrasi, mandrel akan bergesekan dengan tanah sehingga tanah tersebut akan mengalami gangguan. Daerah tanah yang mengalami gangguan akan berkurang permeabilitasnya sehinggalah akhirnya akan menghambat laju konsolidasi, hal ini dikenal dengan istilah efek *smear*.

Efek *smear* akan meningkat seiring dengan semakin besarnya diameter drain serta faktor lainnya seperti metode instalasi, ukuran mandrel, dan ukuran plat jangkar. Perlakuan permeabilitas dan kompresibilitas dalam zona *smear* berbeda dengan perilaku tanah tidak terganggu, sehingga perlu diperhitungkan faktor *smear* dengan persamaan

$$F_s = \left( \frac{K_h}{K_s} - 1 \right) \ln \frac{d_s}{d_w} \quad (2.21)$$

Dimana

$F_s$  = Faktor efek *smear*

$K_h$  = permeabilitas horizontal zona tak terganggu

$K_s$  = permeabilitas horizontal zona terganggu (*smear zone*)

$d_w$  = diameter vertikal drain

$d_s$  = diameter zona terganggu (minimal 2,5 kali diameter mandrel)

iii. Faktor tahanan alir ( $F_s$ )

Faktor tahanan alir diperhitungkan sebagai faktor batas kemampuan drain untuk bekerja secara efektif, yaitu kemampuan drain untuk mengalirkan air sebelum tertekuk/terhimpit tanah disekitar drain akibat adanya tegangan aktif lateral tanah. Jika kapasitas drain telah mencapai batasnya saat proses konsolidasi maka secara keseluruhan proses konsolidasi menjadi terhambat.

$$F_r = \frac{\pi K_h L^2}{6 q_w} \quad (2.22)$$

Dimana

$K_h$  = permeabilitas horizontal zona tak terganggu

$L$  = seluruh panjang PVD ketika air hanya dapat mengalir lewat salah satu ujung PVD, dan sama dengan setengah panjang PVD ketika air dapat mengalir keluar melalui kedua ujung PVD

$q_w$  = kapasitas alir sumur ekuivalen PVD pada gradien hidrolik sebesar satu

### 2.3.3 Penentuan Waktu Konsolidasi dengan PVD

Penentuan waktu konsolidasi didasarkan teori aliran pasir vertikal menurut Barron (1984), dengan menggunakan asumsi teori Terzaghi tentang konsolidasi linier satu dimensi. Teori tersebut menetapkan hubungan antara waktu, diameter drain, jarak antara drain, koefisien konsolidasi dan rata-rata derajat konsolidasi. Untuk mempercepat konsolidasi dibuat suatu konstruksi vertical drain, yang ditanamkan ke dalam lapisan tanah secara vertical. Pola pemasangan vertical drain yang terpasang dilapangan setempat direncanakan dengan jarak tertentu.

Pada perencanaan *vertical drain* pada umumnya dihitung menggunakan persamaan Barron (1948) yang menentukan waktu konsolidasi

$$t = \frac{D^2}{8C_r} F_n \ln \frac{1}{1-U_h} \quad (2.23)$$

Dimana:

$t$  = waktu yang diperlukan untuk mencapai  $U_h$

$U_h$  = derajat konsolidasi rata-rata akibat disipasi tekanan air pori ke arah horizontal (radial)

$F_n$  = Faktor jarak vertical drain

$d_w$  = diameter sumur ekuivalen vertical drain

$D$  = diameter pengaruh satu drain

$C_r$  = koefisien konsolidasi akibat disipasi air pori ke arah radial (horizontal)

Dalam persamaan Barron (1948) hanya terdapat faktor jarak vertical drain. Selanjutnya rumus disempurnakan oleh Hansbo (1979) dengan mempertimbangkan faktor gangguan dan hambatan alir.

$$t = \frac{D^2}{8C_r} F_n + F_s + F_r \ln \frac{1}{1-U_h} \quad (2.24)$$

Dimana:

$F_n$  = faktor jarak vertical drain

$F_s$  = faktor gangguan (*smear*)

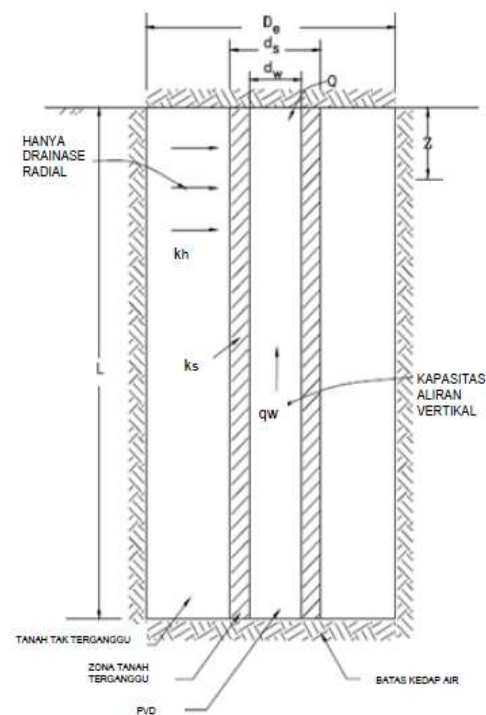
$U_h$  = derajat konsolidasi rata-rata akibat disipasi tekanan air pori kearah horizontal (radial)

$D$  = diameter pengaruh satu drain

$F_r$  = faktor hambatan alir

$C_r$  = koefisien konsolidasi akibat disipasi air pori kearah radial (horizontal)

Argumentasi efek gangguan didasarkan atas cara memasukkan vertical drain (PVD) ke dalam tanah. Dimensi penampang medral yang cukup besar mengakibatkan tanah disekitarnya terdesak dan terganggu seperti diilustrasikan pada **Gambar 2.8**. Secara teoritis permeabilitas tanah di daerah yang terganggu akan berkurang dan menjadi lebih kecil dari permeabilitas tanah asli (Hansbo, 1979), akibatnya dapat terjadi perlambatan disipasi air pori.



**Gambar 2.8** Ilustrasi Zona Gangguan  
Sumber : Pedoman Perencanaan PVD



## 2.4 Perbaikan Tanah Lunak menggunakan *Vacuum Consolidation*

### 2.4.1 Metode *Vacuum Consolidation*

Metode *Vacuum Consolidation* adalah suatu sistem untuk mempercepat proses konsolidasi pada tanah lunak dengan menggunakan tekanan vakum. 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.

Metode ini sendiri pada awalnya diperkenalkan di Swedia oleh Kjellman (1952). Sistem pembebanan seperti ini bertujuan untuk mencapai proses konsolidasi yang lebih cepat tanpa menambahkan tinggi timbunan yang dapat mengakibatkan keruntuhan geser.

### 2.4.2 Keuntungan Metode *Vacuum Consolidation*

Adapun beberapa keuntungan dari metode *Vacuum Consolidation* dibandingkan prapembebanan konvensional dalam perbaikan tanah lunak yakni (Qian, 1992) dalam jurnal ilmiah Teknik Elektro, Informatika, Mesin dan Sipil (Mediatek, 2012):

- Tegangan efektif meningkat seiring dengan peningkatan tekanan isap dan pergeseran lateral tanah dapat ditahan. Dengan demikian keruntuhan geser dapat diminimalisir.
- Tinggi tekanan vakum dapat didistribusikan sampai kedalaman yang jauh di bawah lapisan tanah dengan menggunakan sistem PVD.
- Volume tambahan timbunan untuk pembebanan dapat diturunkan dan tetap mencapai besar penurunan yang sama.

Chai (2005) dalam jurnal Mediatek (2012) mengatakan, dengan sistem ini proses konsolidasi dapat tercapai lebih cepat tanpa perlu menambahkan tinggi timbunan yang dapat mengakibatkan keruntuhan geser. Selain itu waktu konstruksi menjadi lebih singkat, tidak memerlukan peralatan berat, tidak ada campuran kimia yang digunakan, sehingga merupakan metode perbaikan tanah yang ramah lingkungan.

### 2.4.3 Rasio kelebihan tekanan air pori pada *Vacuum Consolidation*

Indraratna (2005) memberikan analisa secara luas untuk pembebanan vakum yang dihubungkan dengan PVD. Salah satunya adalah rasio kelebihan tekanan pori ( $R_u = \Delta p / \bar{u}_o$ ) pada perbaikan tanah dengan metode drainase vertikal dan menggunakan pembebanan vakum, dapat ditunjukkan oleh persamaan berikut yang telah direvisi:

$$R_u = \left( 1 + \frac{p_o (1+k_1)}{u_o} \right) e^{(-8T_h/\mu)} - \frac{p_o (1+k_1)}{u_o} \quad (2.25)$$

$$\bar{U}_h = 1 - \left[ \left( 1 + \frac{p_o (1+k_1)}{u_o} \right) e^{(-8T_h/\mu)} - \frac{p_o (1+k_1)}{u_o} \right] \quad (2.26)$$

$$\mu = \ln \left( \frac{n}{s} \right) + \left( \frac{k_h}{k_s} \right) \ln(s) - 0,75 + \pi z(2l - z) \left( \frac{k_h}{q_w} \right) \left( 1 - \frac{k_h/k_s - 1}{(k_h/k_s)(n/s)^2} \right) \quad (2.27)$$

Bentuk sederhana dari  $\mu$  dapat diberikan sebagai berikut:

$$\mu = \ln \left( \frac{n}{s} \right) + \left( \frac{k_h}{k_s} \right) \ln(s) - 0,75 + \pi z(2l - z) \quad (2.28)$$

Untuk drainase ideal, *smear* dan tahanan sumur diabaikan sehingga, persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi:

$$\mu = \ln(n) - 0,75 \quad (2.29)$$

Dengan mengasumsikan  $p_o = 0$  kedalam persamaan (3), solusi original dari Hansbo (1981) dapat diperoleh, sebagai berikut:

$$\bar{U}_h = (1 - e^{(-8T_h/\mu)}) \quad (2.30)$$

dimana:

$P_o$  = tekanan vakum pada permukaan tanah dan sepanjang drainase (kPa)

$k_1$  = rasio tekanan vakum pada bagian dasar dan bagian atas drainase

VPR = *vacuum pressure ratio* (rasio tekanan vakum) ( $P_o/\bar{u}_o$ ).

$u_o$  = kelebihan tekanan pori awal (kPa)

$k_h$  = koefisien permeabilitas horisontal tanah dalam zona tak terganggu (m/s)

$k_s$  = koefisien permeabilitas horisontal tanah dalam zona terganggu (m/s)

$T_h$  = faktor waktu arah horisontal.

$n$  = rasio dari  $d_e/d_w$ .

$d_e$  = diameter ekuivalen silinder tanah/diameter pengaruh (m)

$d_w$  = diameter ekuivalen drainase vertikal (m)

$s$  = rasio dari  $d_s/d_w$ .

$d_s$  = diameter dari zona terganggu (m)

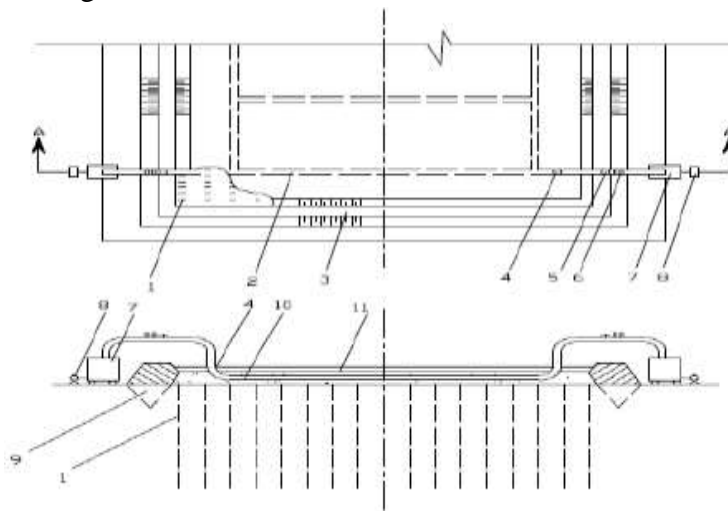
$z$  = kedalaman (m)

$l$  = tebal lapisan tanah/ekivalen panjang drainase vertikal (m)

$q_w$  = kapasitas aliran drainase (m<sup>3</sup>/s)

#### 2.4.4 Metode Pelaksanaan *Vacuum Consolidation*

Tipikal pembebanan vakum terlihat pada **Gambar 2.9** (Chu,2000). PVD dan pipa horizontal digunakan untuk mendistribusikan tekanan vakum dan kehilangan air pori.



*Gambar 2.9* Ilustrasi skema sistem pembebanan vakum  
Sumber : J. Chu, S.Yan, B.Indraratna, 2008

Keterangan :

- |  |                        |
|--|------------------------|
| 1. PVD ( <i>prefabricated vertical drain</i> ) | 7. Pompa Jet           |
| 2. Pipa horizontal                             | 8. Pompa Sentrifugal   |
| 3. Dinding tumpuan ( <i>revetment</i> )        | 9. Saluran Parit       |
| 4. Pembuangan air ( <i>water outlet</i> )      | 10. Pipa utama vakum   |
| 5. Katup                                       | 11. Membran Pembungkus |
| 6. Meteran vakum ( <i>vacuum gauge</i> )       |                        |

Untuk tahapan pelaksanaan pekerjaan *Vacuum Consolidation* dijelaskan sebagai berikut:

- a. Area yang akan dikonsolidasi dilapisi terlebih dahulu dengan pasir.



*Gambar 2.10* Pelapisan tanah dengan pasir  
Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul

## b. Pemasangan PVD.



*Gambar 2.11* Pemasangan PVD  
Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul

## c. Pipa horizontal dipasang.



*Gambar 2.12* Pipa horizontal  
Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul

## d. Dilanjutkan dengan memasang membran penutup.



*Gambar 2.13* Membran penutup  
Sumber : PT. Teknindo Geosistem Unggul

e. Penggalian parit perifer.



*Gambar 2.14* Penggalian parit  
Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul

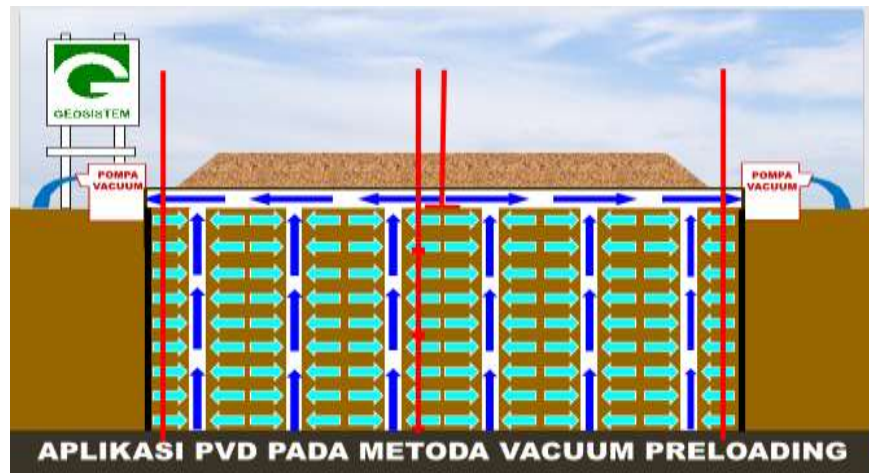
f. Diakhiri dengan pemasangan vakum.



*Gambar 2.15* Pompa vakum  
Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul

## 2.5 Instrumentasi Geoteknik

Penggunaan Instrumen geoteknik memiliki peran penting dalam proses perbaikan tanah lunak. Hal ini dikarenakan instrument geoteknik berfungsi untuk memonitoring proses pelaksanaan selama pekerjaan berlangsung serta mengetahui kinerja hasil perbaikan tanah yang telah dilakukan.



Gambar 2.16 Ilustrasi Posisi Instrumen Geoteknik di lapangan  
 Sumber : PT. Teknindo GeosistemUnggul

### 2.5.1 Inclinator

Inclinometer ialah sebuah instrumentasi yang digunakan untuk memantau pergerakan lahan yang terjadi dibawah permukaan seperti pergerakan pada tanah longsor, tanggul, dll. Inclinator bekerja dengan menanamkan *casing* Inclinator yang berbahan seperti PVC pada area tepi timbunan dengan tingkatan kedalaman tertentu yang diasumsikan akan terjadi pergerakan pada tanah.



Gambar 2.17 Inclinator  
 Sumber : PT. Teknindo Geosistem Unggul

### 2.5.2 Vibrating Wire Piezometer

*Vibrating Wire Piezometer* mengubah tekanan air pori di dalam tanah menjadi sinyal frekuensi melalui diafragma, kawat baja yang dikencangkan serta sebah koil elektronik. Instrumen ini berfungsi untuk mengetahui perubahan air pori pada tanah dasar. Instrumen ini berperan penting dalam mengantisipasi ketidakvalidannya pembacaan data pada *Settlement Plate*.



Gambar 2.18 (a) *Vibrating Wire Piezometer* recorder (b) Proses penggunaan *Vibrating wire piezometer*

Dari tegangan air pori yang didapat dari alat piezometer maka dapat ditentukan nilai derajat konsolidasi dengan cara membandingkan kelebihan tegangan air pori yang keluar pada saat  $t = t_1$  ( $\Delta U_e$ ) dengan kelebihan tegangan air pori saat beban pertama kali bekerja,  $t = 0$  ( $U_e$ ). Sehingga derajat konsolidasi dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$U_v = \frac{1 - \Delta U_e}{U_e} \quad (2.31)$$

Dimana :

$U_e$  = tegangan air pori awal ( $t = 0$ )

$\Delta U_e$  = tegangan air pori bacaan Piezometer

### 2.5.3 *Settlement Plate*

*Settlement plate* merupakan salah satu instrumen geoteknik yang berfungsi untuk memonitoring proses penurunan tanah. Penurunan tanah ini nantinya yang akan menjadi pembanding apakah kondisi tanah dasar tersebut masih penurunan atau telah mencapai penurunan akhir. Data *settlement plate* belum begitu valid dikarenakan proses pemasangannya salah (human error) ataupun materialnya yang tidak baik kualitasnya.



Gambar 2.19 (a) Material *settlement plate* (b) alat monitoring *settlement plate*  
Sumber : PT. Teknindo GeosistemUnggul

Untuk mendapatkan nilai derajat konsolidasi dari bacaan *settlement plate* ( $U_{v-sp}$ ) maka dilakukan perhitungan dengan membandingkan besar penurunan di lapangan pada waktu  $t$  terhadap penurunan total. Salah satu cara yang digunakan untuk memprediksi penurunan akhir ( $S_c$ ) adalah dengan menggunakan metode Asaoka.

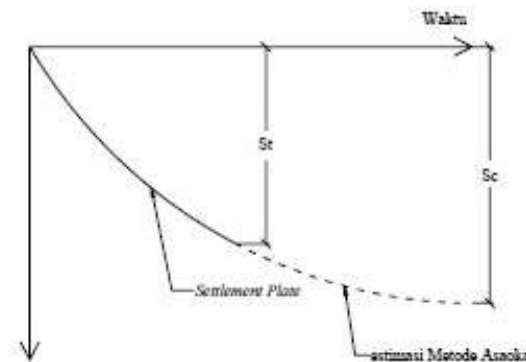
Setelah mendapat nilai penurunan akhir maka hasil tersebut di-plot dalam grafik penurunan-waktu seperti pada **Gambar 2.20**, sehingga nilai derajat konsolidasi dari bacaan *settlement plate* ( $U_{v-sp}$ ) dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.32)

$$U_{v-sp} = \frac{S_t}{S_c} \quad (2.32)$$

Dengan:

$S_t$  = penurunan konsolidasi dari bacaan *settlement plate* pada waktu  $t$

$S_c$  = penurunan konsolidasi pada waktu tak terhingga



*Gambar 2.20* Grafik penurunan - waktu sampai pada penurunan akhir  
Sumber: Yunias, Lishia, Skripsi, 2010

#### 2.5.4 Vacuum Gauge

Vacuum Gauge merupakan salah satu instrument geoteknik yang digunakan untuk mengukur tekanan di dalam tanah yang sedang dilakukan pengerjaan dengan *Vacuum Consolidation*.



*Gambar 2.21* Vacuum Gauge  
Sumber : PT. Teknindo Geosistem Unggul



### 2.5.5 Kestabilan Tanah akibat Timbunan di Lapangan

Untuk mengetahui pergeseran tanah lateral akibat beban timbunan yang terjadi di atasnya ditinjau menggunakan *Inclinometer*. Terdapat 2 persyaratan kestabilan yakni persyaratan pertama  $Y_z < Y_z$  izin dengan  $Y_z$  merupakan nilai pergeseran tanah yang dihitung dengan Persamaan (2.33) dan  $Y_z$  izin adalah nilai pergeseran tanah maksimum yang diizinkan.  $Y_z$  izin dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.34). Persyaratan kedua ialah  $\Delta n < \dots < \Delta 3 < \Delta 2 < \Delta 1$ . Dimana  $\Delta n$  merupakan selisih bacaan data aktual *Inclinometer* yang digunakan.

Syarat kestabilan 1 ( $Y_z < Y_z$  max)

$$Y_z = \frac{Y_z \text{ max}}{FS} \quad (2.33)$$

$$Y_z \text{ izin} = 0,16 \times S_c \quad (2.34)$$

Syarat Kestabilan 2

$$\Delta n < \dots < \Delta 3 < \Delta 2 < \Delta 1$$

Dengan :

$Y_z$  = Pergeseran tanah yang terjadi saat ini

$Y_z$  izin = Pergeseran tanah maksimum yang diizinkan

$S_c$  = Penurunan tanah secara teoritis

$FS$  = faktor keselamatan ( $FS = 1,3$ )

### 2.5.6 Koreksi Tekanan Atmosfer

Koreksi tekanan atmosfer sendiri berfungsi untuk mengetahui seberapa besar tekanan yang terjadi di area tersebut. Besarnya tekanan atmosfer bergantung dari ketinggian lokasi yang akan dilakukan perbaikan tanah dengan persamaan :

$$P(h) = 76 - \left(\frac{h}{100}\right) \text{ cmHg} \quad (2.35)$$

Yang mana tekanan atmosfer ( $P$ ) = 1 atm = 76 cmHg = 101,3 KPa. Selain menggunakan ketinggian lokasi, tekanan atmosfer juga dapat diperoleh menggunakan Altimeter.

## 2.6 Prediksi Penurunan Tanah di Lapangan menggunakan Metode Asaoka

Metode Asaoka (1978) adalah salah satu metode yang digunakan untuk memprediksi besarnya penurunan akhir (*final settlement*). Metode ini merupakan metode observasi untuk konsolidasi satu arah yang paling populer, karena selain dapat memprediksi penurunan akhir juga dapat memungkinkan diperolehnya parameter-parameter konsolidasi yang lebih akurat.

Umumnya analisis penurunan tanah memerlukan data lapangan dan data laboratorium. Dengan metode ini besarnya penurunan tanah actual dapat diprediksi tanpa membutuhkan parameter-parameter seperti data-data laboratorium, namun yang digunakan pada analisis konsolidasi ini yaitu hasil pengamatan lapangan, seperti data tekanan air pori, panjang drainase, regangan maksimum tanah dan koefisien konsolidasi. Metode asaoka ini merupakan suatu alat bantu untuk memprediksi penurunan tanah dengan menggunakan *curve fitting*. Tetapi dengan menggunakan metode asaoka, kebutuhan akan data-data tanah dan hasil yang diperoleh pun cukup diandalkan.

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

$$\dot{\epsilon} = C_v \epsilon_{zz} \quad (2.36)$$

dimana :

$\epsilon(t, z)$  = regangan vertikal (regangan volumetrik)

$t (\geq 0)$  = waktu

$z$  = kedalaman dari bagian atas lapisan lempung

$c_v$  = koefisien konsolidasi

Walaupun nilai nilai permeabilitas dan koefisien kompresibilitas bervariasi terhadap waktu, persamaan diatas tetap efektif ketika nilai  $C_v$  konstan (Mikasa, 1963).

Persamaan dasar konsolidasi ini dipilih oleh Asaoka (1978) untuk diturunkan menjadi persamaan diferensial linier biasa karena lebih sederhana daripada persamaan konsolidasi Terzaghi. Persamaan akhir untuk menentukan nilai penurunan pada interval waktu ke- $j$  dapat dituliskan sebagai

$$\rho_j = \frac{\beta_0}{1-\beta_1} - \left\{ \frac{\beta_0}{1-\beta_1} - \rho_0 \right\} (\beta_1)^j \quad (2.37)$$

Dimana  $\rho_j$  adalah besarnya penurunan tanah pada waktu  $t = t_j$  dan koefisien  $\beta_0$  dan  $\beta_s$  ( $s = 1, 2, \dots, n$ ) adalah parameter yang tidak diketahui.

Pengukuran data penurunan tanah di lapangan dilakukan dengan menggunakan instrumen *settlement plate*. Sehingga diperoleh nilai penurunan  $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_n$  dengan interval waktu  $\Delta t$  yang konstan seperti dilihat pada **Gambar 2.22**. Kemudian nilai  $\rho_n$  (sumbu-y) dan nilai  $\rho_{n-1}$  (sumbu-x) diplot sehingga akan diperoleh titik-titik yang membentuk garis lurus, seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.23**.  $\beta_0$  adalah waktu titik plot pertama dari regresi linier  $\rho_n$  dan  $\rho_{n-1}$ . Penurunan akhir ( $\rho_f$ ) adalah titik pertemuan antara garis  $\rho_n = \rho_{n-1}$  (bersudut

45°) dengan trendline dari garis  $\rho_n$  vs  $\rho_{n-1}$  sebenarnya. Setelah diperoleh penurunan akhir ( $\rho_f$ ) maka dapat dicari nilai  $\beta_1$  yang merupakan kemiringan dari garis-garis  $\rho_n$  vs  $\rho_{n-1}$  sebenarnya, yang memberikan hubungan

$$\beta_1 = \frac{\rho_f - \beta_0}{\rho_f} \quad (2.38)$$

Dari hasil prediksi penurunan akhir, dapat diketahui nilai koefisien horizontal yang sesuai dengan tanah di lapangan. Dalam bukunya Gouw (2008), persamaan untuk menghitung balik nilai koefisien arah horizontal berdasarkan kemiringan grafik asaoka adalah sebagai berikut

$$\frac{\pi^2 C_v}{8H^2} + \frac{8C_h}{D^2 F_n} = -\frac{\ln \beta}{\delta t} \quad (2.39)$$

Dimana:

$\delta t$  = interval waktu pada grafik asaoka

$\beta$  = kemiringan garis  $\rho_n$  vs  $\rho_{n+1}$  pada grafik asaoka

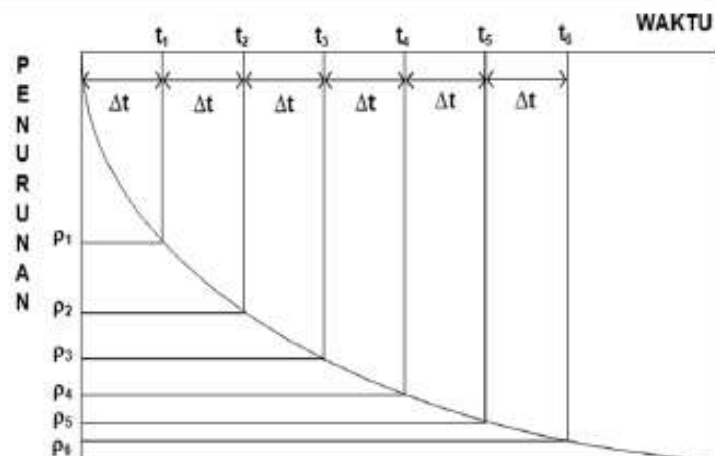
$H$  = panjang PVD

$F_n$  = faktor hambatan disebabkan karena jarak antar PVD

$C_r = C_h$  koefisien konsolidasi tanah arah horisontal

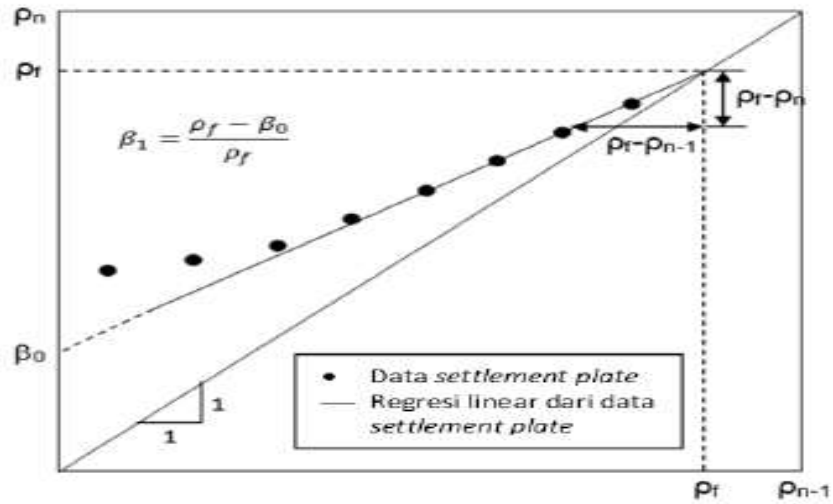
$C_v$  = koefisien konsolidasi tanah arah vertikal

$D$  = diameter equivalen dari lingkaran tanah yang merupakan daerah pengaruh dari PVD



Gambar 2.22 Prosedur analisis data monitoring penurunan dengan interval waktu yang konstan

Sumber : Asaoka, 1978



Gambar 2.23 Prediksi Penurunan Akhir dengan metode Asaoka  
Sumber : Asaoka, 1978

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian ini berada di proyek pembangunan Summarecon Bandung di Gedebage, Provinsi Jawa Barat. Spesifik pengambilan data dilakukan pada area *Vacuum* (Cluster D) yang mana akan dijadikan sebagai pembangunan rumah contoh untuk cluster Amanda & Btari. Lokasi disajikan dalam **Gambar 3.1**.



*Gambar 3.1* Lokasi Penelitian Area Cluster D  
Sumber : PT. Teknindo Geosistem Unggul

#### 3.2 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan cara mengumpulkan data-data sekunder, interview pihak-pihak terkait serta pengumpulan data dari literatur yang ada.

### 3.2.1 Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian merupakan data yang diperoleh dari PT. Teknindo Geosistem Unggul. Data yang didapat meliputi data tanah dasar, data timbunan, data bacaan *settlement plate* dan data bacaan *Vibrating Wire piezometer*.

#### 3.2.1.1 Data tanah dasar

Data yang didapat merupakan data tanah dasar yang meliputi: data sondir, SPT, dan data hasil laboratorium (*specific gravity* ( $G_s$ ), *unit weight* ( $\gamma$ ), kadar air ( $\omega$ ), batas cair ( $\omega_L$ ), batas plastis ( $\omega_P$ ), indeks plastisitas (IP), *void ratio* ( $e$ ), porositas ( $n$ ), derajat saturasi ( $S_r$ ), persen lolos saringan no.200, kohesi tanah ( $C$ ), sudut geser ( $\phi$ ), indeks kompresi ( $C_c$ ), tegangan prakonsolidasi ( $P_c$ )).

Data tanah digunakan terhadap tiap kedalaman sehingga data tersebut dapat digunakan untuk analisa dan evaluasi parameter tanah dasar yang dirinci sebagai berikut:

- Data parameter tanah yang didapat dari hasil laboratorium dianalisa sesuai dengan masing-masing lapisan tanah
- Data *borelog* dan SPT digunakan untuk mengelompokkan tanah dasar menjadi beberapa lapisan sesuai kekerasannya.
- Nilai koefisien konsolidasi arah vertikal ( $C_v$ ) didapat dari data sekunder yang ada sedangkan nilai koefisien konsolidasi arah horizontal ( $C_h$ ) diasumsikan dua kali lipat dari koefisien konsolidasi arah vertikal ( $C_h = 2C_v$ )
- Nilai koefisien kompreibilitas volume ( $m_v$ ) didapat melalui korelasinya dengan koefisien kompresibilitas ( $C_c$ ). Didapat dari persamaan

#### 3.2.1.2 Data timbunan

Data timbunan yang diperoleh dengan penentuan tekanan atmosfer pada daerah Summarecon Bandung sendiri. Yang nantinya kemudian dikonversi dengan nilai efektifitas pompa vakum yang diharapkan sehingga diperoleh beban yang digunakan pada proyek tersebut.

### 3.2.1.3 Data Bangunan

Area Cluster D merupakan area *Vacuum* yang mana akan dibangun rumah contoh. Rumah dengan desain 2 lantai. Ilustrasi bangunan dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Ilustrasi Rumah Contoh area Cluster D

Sumber : [www.griyabagus.com](http://www.griyabagus.com)

### 3.2.1.4 Data material dan pemasangan PVD

Data yang diperoleh adalah pola pemasangan PVD, jarak antar PVD serta kedalaman pemasangan PVD.

### 3.2.1.5 Data bacaan *Settlement Plate*

Data pengamatan *settlement plate* yang didapat merupakan data pengamatan sejak 30 desember 2016 yaitu hari pertama proses penimbunan *surcharge* sampai hari ke-87 tanggal 27 Maret 2017. Jumlah *settlement plate* proyek ini adalah sebanyak 4 titik (SP.01 – SP.04)

### 3.2.1.6 Data bacaan *Piezometer*

Data pengamatan *piezometer* yang diperoleh merupakan data pengamatan sejak awal Januari 2017 yaitu sehari setelah data *settlement plate* dimana letak VWP-1 bersebelahan dengan SP.01 dan VWP-2 bersebelahan dengan SP.03. Data yang digunakan hanya VWP-02 untuk mewakili tekanan air pori di lapangan.

### 3.2.1.7 Data *Inclinometer*

Data pengamatan *inclinometer* yang diperoleh merupakan data pengamatan sejak periode pertama pada 29 Januari 2107 hingga periode ke-9 pada Maret 2017. Dengan data yang digunakan hanya data *inclinometer* 02 untuk mewakili tanah timbunan di lapangan.

### 3.2.1.8 Data *Vacuum Gauge*

Data yang digunakan ialah VG-1, VG-2, VG-3 dan VG-4 yang mana dimulai pada tanggal 1 februari 2017 hingga 27 Maret 2017.

### 3.2.2 Metode Interview

Interview dilakukan dengan cara mewawancarai pihak-pihak yang terkait langsung di lapangan yang berkaitan dengan permasalahan tentang evaluasi perbaikan tanah lunak. Data yang diperoleh dari metode ini adalah:

- Kondisi lingkungan di lokasi yang tidak diketahui dari data yang diberikan
- Asumsi penyebab perbaikan tanah
- Pelaksanaan perbaikan tanah di lokasi proyek

### 3.2.3 Metode literatur

Metode literatur digunakan untuk mengidentifikasi, mengolah data, dan metoda kerja yang digunakan. Data tertulis yang digunakan pada penelitian ini umumnya berasal dari instansi terkait, data tersebut antara lain:

- Peta lokasi wilayah Summarecon Bandung
- Gambar layout lokasi pengujian data tanah yang digunakan
- Data-data tanah dasar
- Data monitoring instrument geoteknik yang berkaitan dengan penelitian

## 3.3 Tahapan Analisis

Tahapan analisis dalam penulisan tugas akhir ini adalah menghitung besar penurunan konsolidasi secara teoritis, prediksi besar *final settlement* dengan penggunaan metode Asaoka, mencari nilai parameter-parameter tanah yang ada sesuai dengan data di lapangan, menghitung derajat konsolidasi, kestabilan tanah akibat timbunan, serta tekanan efektif yang diterima tanah dari penggunaan pompa vakum. Langkah-langkah yang harus dikerjakan untuk memprediksi penurunan konsolidasi menggunakan metode Asaoka ialah sebagai berikut:

- Pembacaan data *settlement plate* dari data sekunder yang di peroleh dari PT. Teknindo Geosistem Unggul



- Gambarkan kurva waktu-penurunan, kemudian bagi bagian yang melengkung menjadi beberapa jarak dengan besaran tegangan waktu yang sama atau konstan ( $\Delta t$ ), diperoleh waktu penurunan ( $t_1, t_2, t_3, \dots t_n, t_{n+1}$ )
- Tarik garis tegak lurus dari titik waktu hingga berpotongan dengan kurva beban - penurunan yang ada sehingga diperoleh besarnya penurunan ( $S_1, S_2, S_3 \dots S_n, S_{n+1}$ ).
- Nilai penurunan yang diperoleh dalam  $S_n$  diplot terhadap  $S_{n+1}$  dalam suatu grafik
- Buat garis regresi dengan sudut  $45^\circ$ , garis yang berpotongan inilah yang menunjukkan Final Settlement. (Pada saat  $S_n = S_{n+1}$  tidak terjadi lagi penurunan)

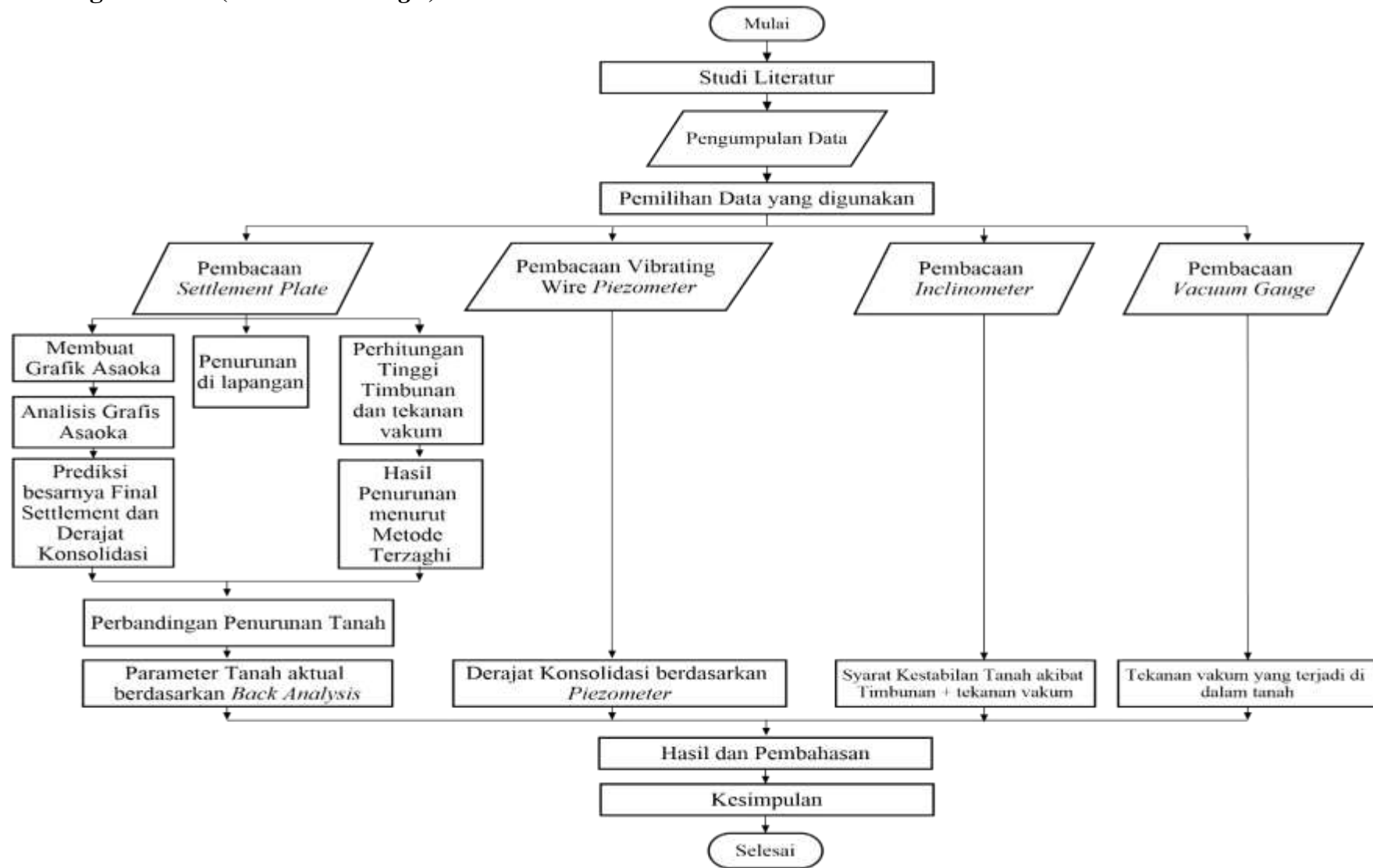
Nilai besarnya penurunan konsolidasi yang terjadi juga dapat diketahui dari pembacaan *settlement plate*. Besarnya penurunan konsolidasi secara teoritis serta besarnya penurunan konsolidasi dari bacaan *settlement plate* di-plot pada suatu grafik lalu dibandingkan antara keduanya.

Dari hasil prediksi tersebut kemudian dilakukan perhitungan derajat konsolidasi dengan membandingkan hasil penurunan riil di lapangan dengan prediksi final settlement menggunakan Asaoka. Kemudian setelah itu dilakukan perhitungan derajat koonsolidasi menggunakan data monitoring *vibrating wire piezometer* yang berfungsi untuk memvalidasi apakah derajat konsolidasi yang dihasilkan dari monitoring *settlement plate* sesuai dengan *piezometer*.

Dengan diperoleh nilai parameter tanah aktual, maka dapat diketahui desain pemasangan pompa vakum dan *prefabricated vertical drain* telah efektif atau tidak sehingga dapat memaksimalkan kinerja perbaikan tanah lunak di area tersebut. Syarat kestabilan pada tanah timbunan ditinjau berdasarkan data *inclinometer*. Dari hasil pengolahan data dapat diketahui longsor atau tidaknya timbunan yang digunakan. Sedangkan data *Vacuum Gauge* menggunakan koreksi atmosfer yang kemudian dihitung berdasarkan efektivitas pompa vakum tersebut sebesar 80%.

Secara garis besar tahapan penelitian dan tahapan analisis penelitian dapat dilihat pada bagan alir yang ditunjukkan pada subbab selanjutnya.

### 3.4 Diagram Alur (*Flowchart Design*)



## BAB IV

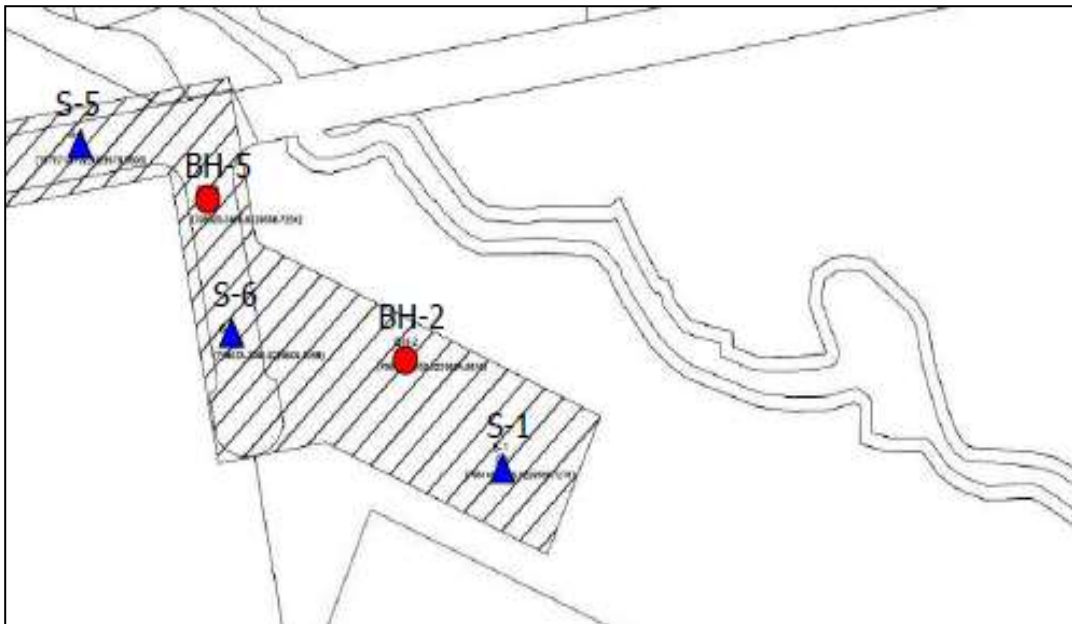
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan sebagai berikut :

##### 4.1.1 Data Tanah Dasar

Data Tanah dasar yang digunakan dalam penelitian ini ialah data sekunder hasil percobaan sondir, SPT dan laboratorium berdasarkan sample tanah yang diambil dari titik bor BH-2 dan BH-5 kemudian digabung menjadi satu zona tanah. Layout lokasi pengeboran serta koordinat disajikan pada **Gambar 4.1** dan Tabel 4.1.



*Gambar 4.1* Layout lokasi penyelidikan tanah dasar  
Sumber : PT. Teknindo Geosistem Unggul

Tabel 4.1  
Koordinat Lokasi Penyelidikan Tanah

Titik Uji	Koordinat	
	X	Y
BH-2	798104.1	9229605
BH-5	798025.4	9229659

Kedalaman pengeboran guna pengambilan sampel pada titik BH-2 dan BH-5 sejauh 50 m dari elevasi awal +660. Data *boring log*, N-SPT dan data tanah hasil uji coba laboratorium secara spesifik dapat dilihat pada **Lampiran 1**.

#### 4.1.2 Data Material dan Pemasangan PVD

*Vertical drains* dipasang pada area penelitian dengan rincian pemasangan sebagai berikut:

- Kedalaman pemasangan : 20 m dari elevasi  $\pm 660$
- Pola pemasangan : Segitiga berjarak 120 cm
- Tipe *vertical drains* : CeTeau Drain CT-D822 **Gambar 4.2**
- Lebar *vertical drains* (a) : 100 mm
- Tebal *vertical drains* (b) : 4 mm

Pemasangan *vertical drain* ditunjukkan pada **Gambar 4.3**.



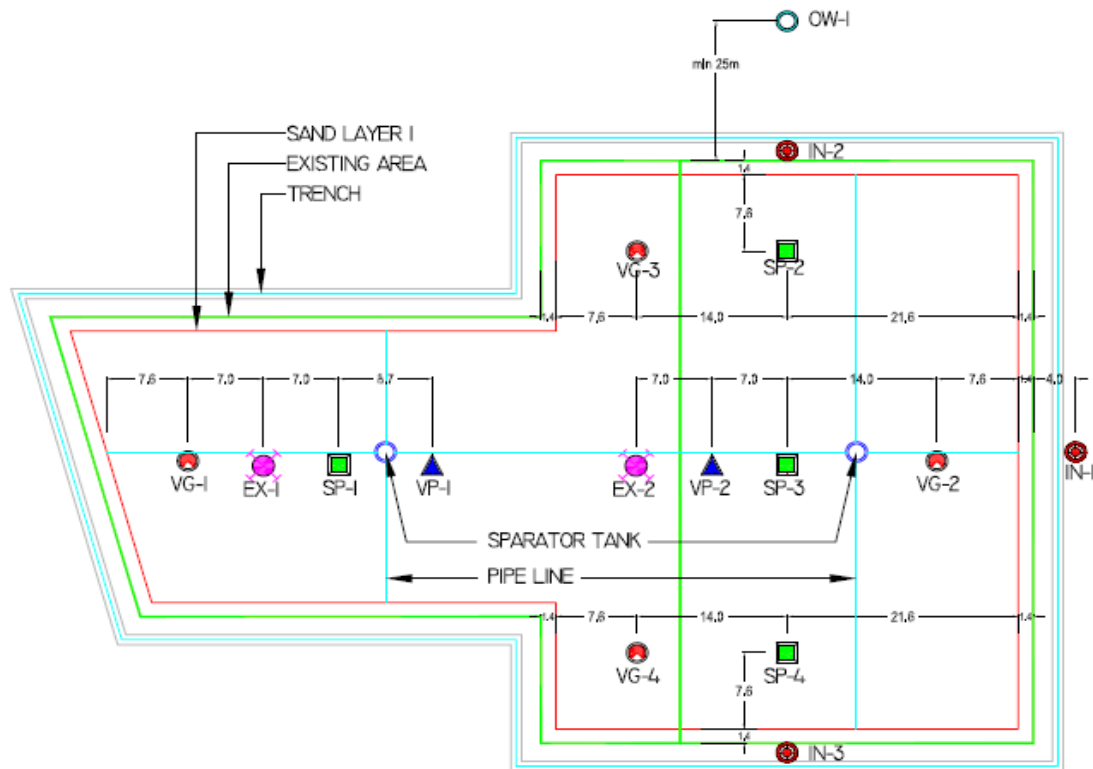
*Gambar 4.2 Vertical drains tipe CeTeau Drain CT-D822*

Sumber : PT. Teknindo Geosistem Unggul



*Gambar 4.3 Pemasangan Vertical drain serta horizontal drain di lapangan*

Sumber : PT. Teknindo Geosistem Unggul



Gambar 4.4 Layout letak Instrumen Geoteknik yang digunakan pada Area Cluster D  
Sumber : PT. Teknindo Geosistem Unggul

#### 4.1.3 Data Settlement Plate

Untuk mengamati penurunan yang terjadi di lapangan maka digunakan *settlement plate*. Pekerjaan pengamatan *settlement plate* pada proyek Summarecon Bandung area Cluster D sendiri dimulai pada tanggal 31 desember 2016 hingga monitoring data terakhir yang diperoleh pada 27 Maret 2017. Pada penelitian ini, sesuai dengan batasan masalah digunakan 4 titik sampel yang ada yakni SP.01, SP.02, SP.03 dan SP.04 seperti pada **Gambar 4.4**.

Kemudian pada Tabel 4.2 menunjukan contoh data settlement plate pada titik SP.02 dari hari pertama pengerjaan hingga hari ke-87. **Gambar 4.5**, **Gambar 4.6**, **Gambar 4.7** menunjukan grafik elevasi timbunan,, grafik monitoring *vacuum gauge*, serta grafik penurunan selama 87 hari.

Tabel 4.2

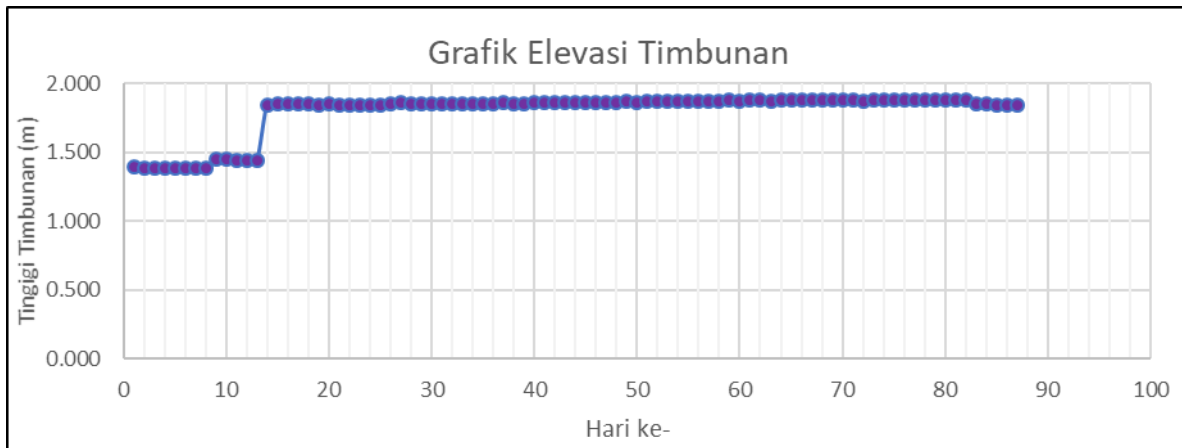
Data bacaan *Settlement Plate* SP.02 sampai dengan hari ke 87

Tanggal	Hari ke -	Tinggi Timbunan (mm)	Vacuum Gauge (Kpa)	Total Penurunan (mm)
30 Dec 16	IR	1.395	-	0
31 Dec 16	1	1.386		-10

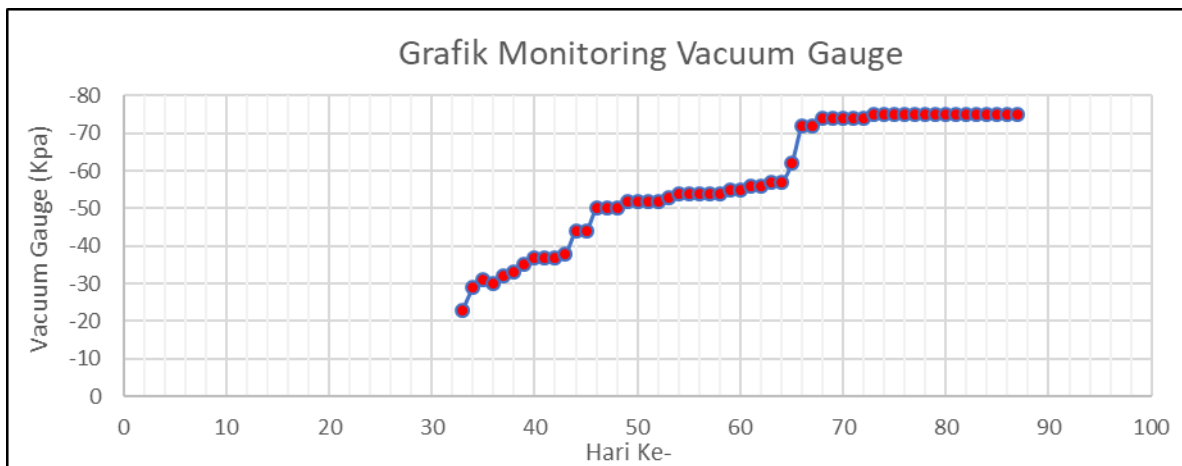
Tanggal	Hari ke -	Tinggi Timbunan (mm)	Vacuum Gauge (Kpa)	Total Penurunan (mm)
1 Jan 17	2	1.386		-10
2 Jan 17	3	1.386		-10
3 Jan 17	4	1.386		-10
4 Jan 17	5	1.386		-10
5 Jan 17	6	1.386		-10
6 Jan 17	7	1.386		-10
7 Jan 17	8	1.453		-68
8 Jan 17	9	1.447		-68
9 Jan 17	10	1.445		-68
10 Jan 17	11	1.445		-68
11 Jan 17	12	1.445		-68
12 Jan 17	13	1.847		-73
13 Jan 17	14	1.850		-76
14 Jan 17	15	1.850		-76
15 Jan 17	16	1.851		-77
16 Jan 17	17	1.851		-77
17 Jan 17	18	1.847		-79
18 Jan 17	19	1.849		-79
19 Jan 17	20	1.844		-79
20 Jan 17	21	1.840		-81
21 Jan 17	22	1.845		-83
22 Jan 17	23	1.840		-84
23 Jan 17	24	1.841		-85
24 Jan 17	25	1.853		-98
25 Jan 17	26	1.858		-99
26 Jan 17	27	1.852		-99
27 Jan 17	28	1.851		-100
30 Jan 17	31	1.851		-126
31 Jan 17	32	1.851		-141
1 Feb 17	33	1.848	-23	-150
2 Feb 17	34	1.851	-29	-174
3 Feb 17	35	1.855	-31	-213
4 Feb 17	36	1.857	-30	-250
5 Feb 17	37	1.853	-32	-272
6 Feb 17	38	1.856	-33	-293
7 Feb 17	39	1.858	-35	-315
8 Feb 17	40	1.858	-37	-346
9 Feb 17	41	1.859	-37	-380
10 Feb 17	42	1.859	-37	-400
11 Feb 17	43	1.860	-38	-421
12 Feb 17	44	1.861	-44	-462
13 Feb 17	45	1.860	-44	-494

Tanggal	Hari ke -	Tinggi Timbunan (mm)	Vacuum Gauge (Kpa)	Total Penurunan (mm)
14 Feb 17	46	1.863	-50	-544
15 Feb 17	47	1.863	-50	-585
16 Feb 17	48	1.868	-50	-622
17 Feb 17	49	1.865	-52	-653
18 Feb 17	50	1.866	-52	-680
19 Feb 17	51	1.867	-52	-704
20 Feb 17	52	1.870	-52	-730
21 Feb 17	53	1.872	-53	-754
22 Feb 17	54	1.871	-54	-780
23 Feb 17	55	1.873	-54	-808
24 Feb 17	56	1.873	-54	-826
25 Feb 17	57	1.873	-54	-845
26 Feb 17	58	1.876	-54	-863
27 Feb 17	59	1.874	-55	-879
28 Feb 17	60	1.877	-55	-892
1 Mar 17	61	1.878	-56	-909
2 Mar 17	62	1.875	-56	-919
3 Mar 17	63	1.877	-57	-933
4 Mar 17	64	1.878	-57	-944
5 Mar 17	65	1.877	-62	-951
6 Mar 17	66	1.876	-72	-961
7 Mar 17	67	1.877	-72	-971
8 Mar 17	68	1.877	-74	-989
9 Mar 17	69	1.879	-74	-998
10 Mar 17	70	1.879	-74	-1005
11 Mar 17	71	1.870	-74	-1023
12 Mar 17	72	1.879	-74	-1040
13 Mar 17	73	1.879	-75	-1050
14 Mar 17	74	1.878	-75	-1059
15 Mar 17	75	1.879	-75	-1067
16 Mar 17	76	1.880	-75	-1076
17 Mar 17	77	1.879	-75	-1085
18 Mar 17	78	1.880	-75	-1094
19 Mar 17	79	1.880	-75	-1102
20 Mar 17	80	1.880	-75	-1111
21 Mar 17	81	1.877	-75	-1116
22 Mar 17	82	1.850	-75	-1129
23 Mar 17	83	1.849	-75	-1138
24 Mar 17	84	1.846	-75	-1142
25 Mar 17	85	1.845	-75	-1149
26 Mar 17	86	1.846	-75	-1156
27 Mar 17	87	1.843	-75	-1162

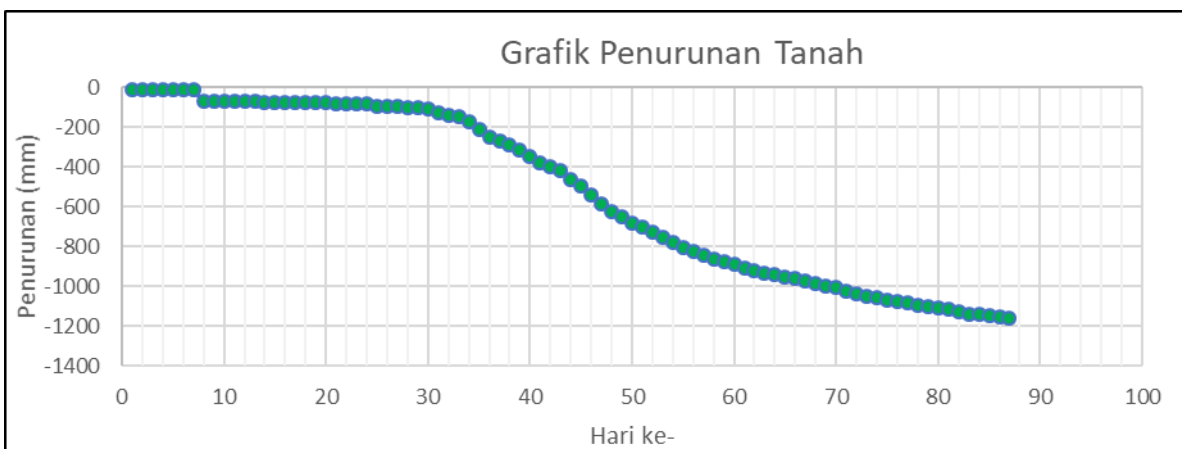
Hasil bacaan *settlement plate* ini kemudian dijadikan acuan untuk memprediksi besarnya *final settlement* yang dapat dicapai dengan menggunakan teori pendekatan Asaoka. Data monitoring *settlement plate*, grafik monitoring Vacuum Gauge serta penurunannya dapat dilihat pada **Lampiran 2**.



Gambar 4.5 Grafik elevasi timbunan pada SP.02 selama 87 hari



Gambar 4.6 Grafik Monitoring Vacuum Gauge SP.02 selama 87 hari



Gambar 4.7 Grafik penurunan tanah pada SP.02 selama 87 hari



#### 4.1.4 Data pembacaan *Vibrating Wire Piezometer* (VWP)

Data bacaan *Vibrating wire piezometer* digunakan untuk mengetahui besarnya tegangan air pori tanah pada kedalaman tertentu. Pengamatan *piezometer* VWP.02 yang bersebelahan dengan SP.03 dimulai sejak tanggal 20 Januari 2017 hingga data terakhir monitoring yakni 27 Maret 2017.

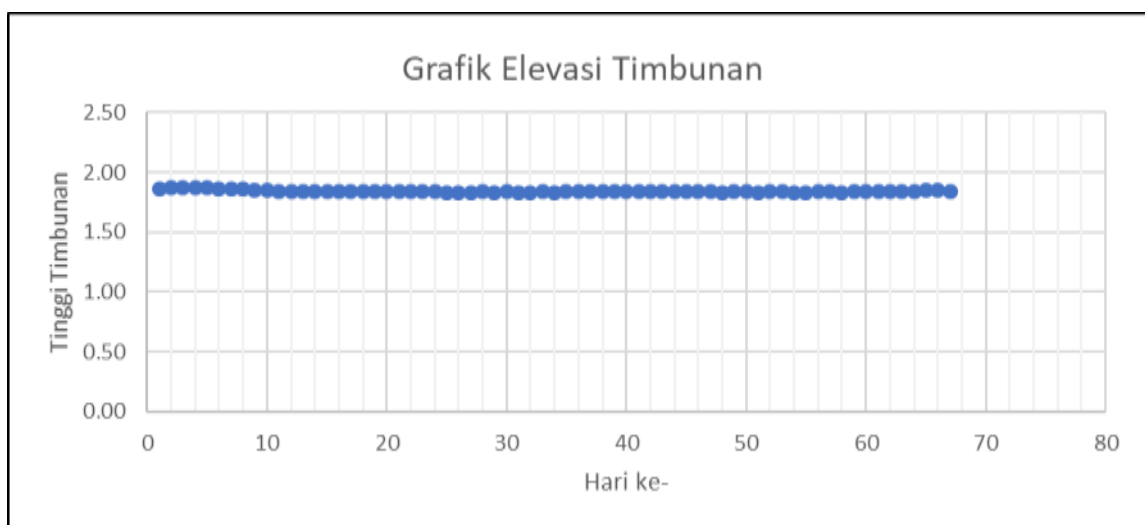
*Piezometer* tipe ini dibaca rutin tiap hari sebanyak satu kali mulai pukul 07.00 hingga pukul 10.00 WIB. Hasil bacaan *piezometer* ini kemudian digunakan untuk dapat mengetahui derajat konsolidasi yang terjadi di lapangan. Contoh data monitoring *piezometer* VWP.02 dari hari pertama hingga hari ke-67 disajikan pada Tabel 4.3. Grafik elevasi timbunan, Grafik monitoring *Vacuum Gauge*, serta grafik tekanan air pori tiap tip masing-masing ditunjukkan pada **Gambar 4.8**, **Gambar 4.9**, dan **Gambar 4.10**. Sedangkan data sekunder selengkapnya mengenai monitoring *Vibrating wire piezometer* dapat dilihat pada **Lampiran 3**.

Tabel 4.3  
Data Bacaan *Piezometer* VWP-02 hingga hari ke-67

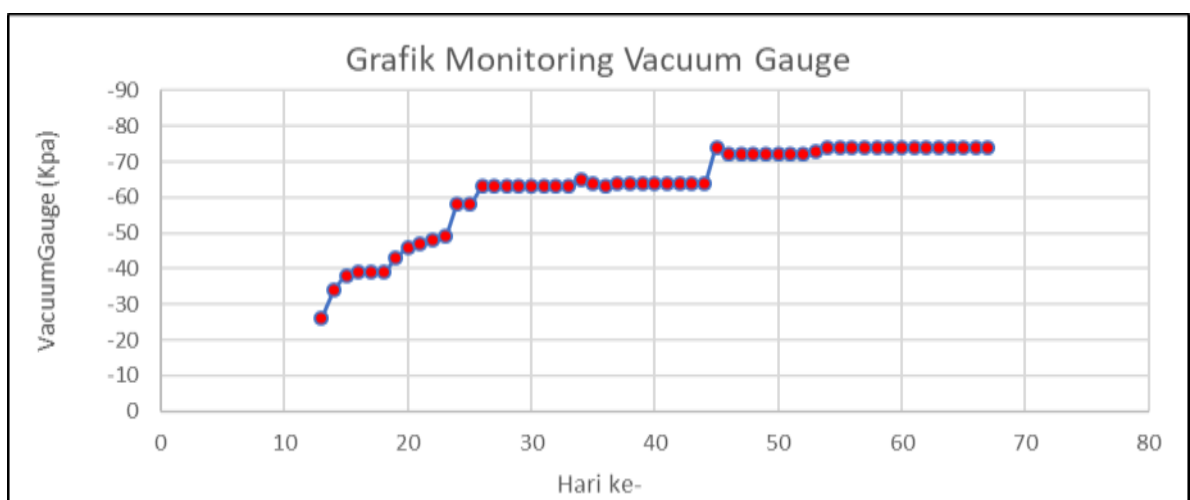
Tanggal	Hari Ke-	Tekanan Air Pori (Kpa)			Tinggi Timbunan SP.03 (m)	Vacuum Degree VG.02 (Kpa)
		Tip 1 (L= 20m)	Tip 2 (L= 15m)	Tip 3 (L= 100m)		
19 Jan 17	IR	-	-	-	1.856	-
20 Jan 17	1	199.8	149.3	78.1	1.862	
21 Jan 17	2	200.1	149.6	78.2	1.867	
22 Jan 17	3	199.8	149.0	78.1	1.871	
23 Jan 17	4	200.0	149.1	78.4	1.874	
24 Jan 17	5	200.3	149.3	78.7	1.869	
25 Jan 17	6	200.5	149.4	78.7	1.866	
26 Jan 17	7	200.5	149.1	78.5	1.859	
27 Jan 17	8	200.5	149.0	78.5	1.860	
28 Jan 17	9	200.6	149.0	78.4	1.855	
29 Jan 17	10	200.5	147.9	76.8	1.852	
30 Jan 17	11	199.5	143.7	70.3	1.841	
31 Jan 17	12	198.7	142.9	70.8	1.844	0
1 Feb 17	13	198.8	141.7	69.9	1.839	-26
2 Feb 17	14	197.7	138.6	64.3	1.840	-34
3 Feb 17	15	195.8	135.8	61.2	1.838	-38
4 Feb 17	16	194.4	134.0	59.4	1.838	-39
5 Feb 17	17	193.8	133.2	59.1	1.838	-39
6 Feb 17	18	193.6	132.7	58.8	1.837	-39
7 Feb 17	19	192.4	130.5	54.7	1.838	-43
8 Feb 17	20	190.4	128.1	52.7	1.836	-46

Tanggal	Hari Ke-	Tekanan Air Pori (Kpa)			Tinggi Timbunan SP.03 (m)	Vacuum Degree VG.02 (Kpa)
		Tip 1 (L=20m)	Tip 2 (L=15m)	Tip 3 (L=100m)		
9 Feb 17	21	189.7	127.0	51.5	1.837	-47
10 Feb 17	22	189.2	125.9	50.0	1.839	-48
11 Feb 17	23	188.9	125.2	48.1	1.837	-49
12 Feb 17	24	186.0	122.1	43.0	1.835	-58
13 Feb 17	25	187.4	125.1	45.4	1.833	-58
14 Feb 17	26	182.4	118.9	38.0	1.834	-63
15 Feb 17	27	181.9	118.7	38.8	1.833	-63
16 Feb 17	28	180.3	116.6	36.8	1.835	-63
17 Feb 17	29	179.6	115.5	36.1	1.833	-63
18 Feb 17	30	179.2	114.8	36.0	1.835	-63
19 Feb 17	31	180.0	115.1	37.0	1.832	-63
20 Feb 17	32	178.5	113.2	35.0	1.832	-63
21 Feb 17	33	177.5	112.0	33.2	1.837	-63
22 Feb 17	34	176.7	111.3	31.1	1.832	-65
23 Feb 17	35	176.3	110.7	32.4	1.837	-64
24 Feb 17	36	176.3	110.4	32.4	1.838	-63
25 Feb 17	37	176.1	109.9	32.4	1.838	-64
26 Feb 17	38	175.7	109.3	32.4	1.835	-64
27 Feb 17	39	175.7	109.1	33.1	1.837	-64
28 Feb 17	40	176.4	109.4	33.3	1.839	-64
1 Mar 17	41	176.2	108.4	32.9	1.839	-64
2 Mar 17	42	176.9	108.6	33.0	1.839	-64
3 Mar 17	43	177.2	108.3	33.0	1.839	-64
4 Mar 17	44	178.0	108.0	33.2	1.839	-64
5 Mar 17	45	177.5	107.6	33.0	1.840	-74
6 Mar 17	46	177.4	107.5	33.1	1.838	-72
7 Mar 17	47	177.3	107.3	33.1	1.839	-72
8 Mar 17	48	178.4	107.7	33.3	1.834	-72
9 Mar 17	49	178.7	107.3	33.4	1.840	-72
10 Mar 17	50	178.6	106.9	33.2	1.839	-72
11 Mar 17	51	178.7	106.7	33.4	1.827	-72
12 Mar 17	52	178.5	106.6	33.5	1.835	-72
13 Mar 17	53	178.1	105.8	32.3	1.837	-73
14 Mar 17	54	177.7	105.4	32.2	1.832	-74
15 Mar 17	55	177.0	104.2	31.8	1.833	-74
16 Mar 17	56	177.1	104.1	31.8	1.835	-74
17 Mar 17	57	177.8	104.6	33.2	1.839	-74
18 Mar 17	58	177.1	103.7	31.5	1.828	-74
19 Mar 17	59	177.2	103.5	31.7	1.835	-74
20 Mar 17	60	177.1	103.4	31.7	1.836	-74

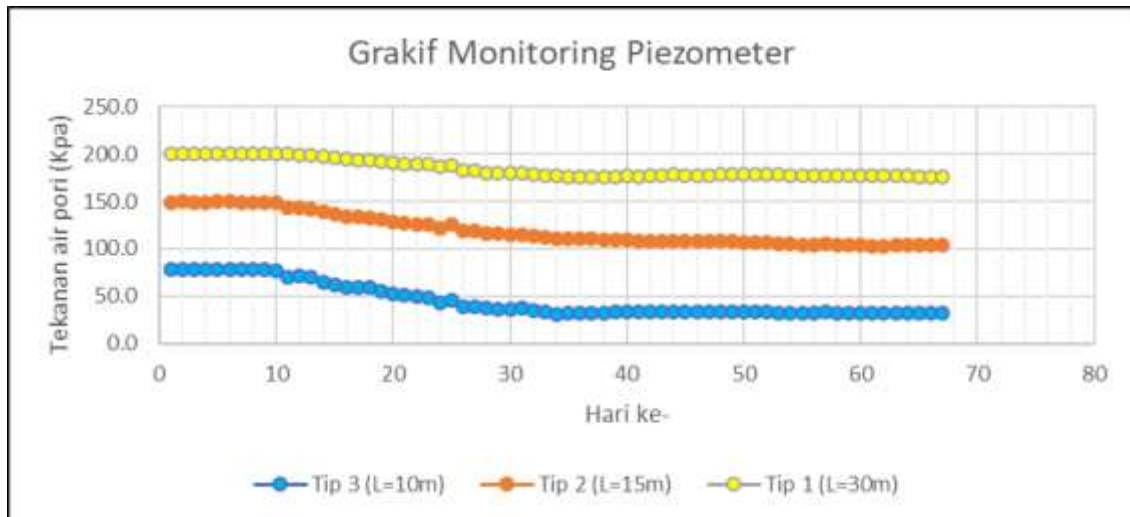
Tanggal	Hari Ke-	Tekanan Air Pori (Kpa)			Tinggi Timbunan SP.03 (m)	Vacuum Degree VG.02 (Kpa)
		Tip 1 (L= 20m)	Tip 2 (L= 15m)	Tip 3 (L= 100m)		
21 Mar 17	61	176.8	103.0	31.9	1.838	-74
22 Mar 17	62	176.6	103.0	32.2	1.835	-74
23 Mar 17	63	177.4	104.4	32.6	1.836	-74
24 Mar 17	64	176.8	103.9	31.9	1.844	-74
25 Mar 17	65	176.3	103.7	32.1	1.848	-74
26 Mar 17	66	176.1	103.6	32.2	1.848	-74
27 Mar 17	67	175.9	103.4	32.2	1.838	-74



Gambar 4.8 Grafik Elevasi Timbunan hingga hari ke 67



Gambar 4.9 Grafik Monitoring Vacuum Gauge hingga hari ke 67



Gambar 4.10 Grafik monitoring *Piezometer* hingga hari ke 67

#### 4.1.5 Data *Inclinometer*

Guna memantau pergerakan lateral tanah yang terjadi dibawah permukaan digunakan *Inclinometer*. Data yang digunakan merupakan hasil monitoring IN-02 dimulai pada akhir Januari hingga akhir bulan Maret 2017. Hasil bacaan monitoring *inclinometer* ini kemudian digunakan untuk mengetahui pergeseran lateral tanah di lapangan. Data bacaan *inclinometer* terakhir yang didapat pada tanggal 26 Maret 2017 hingga 29 Maret 2017 arah B disajikan pada Tabel 4.4. **Gambar 4.11** merupakan grafik dari bacaan *inclinometer*.

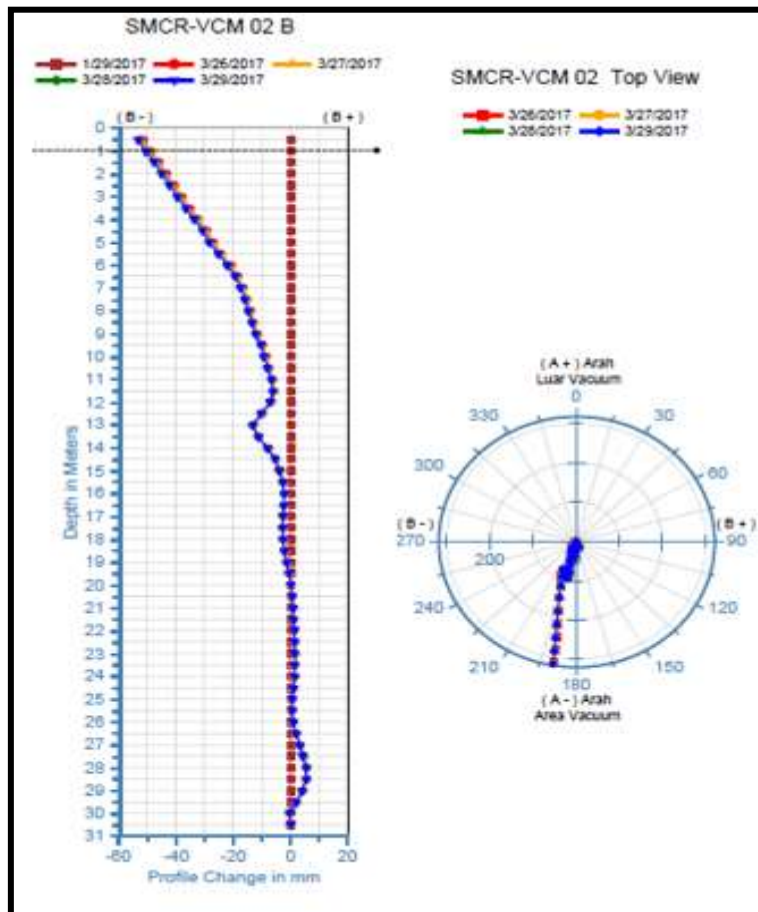
Tabel 4.4

Pergeseran Lateral monitoring IN-02 arah B tanggal 26 Maret hingga 29 Maret 2017 (mm)

Kedalaman (m)	29 Januari 2017	26 Maret 2017	27 Maret 2017	28 Maret 2017	29 Maret 2017
0.5	0	-51.22	-52.26	-52.99	-53.35
1	0	-48.63	-49.51	-50.25	-50.62
1.5	0	-46.01	-46.78	-47.48	-47.91
2	0	-43.35	-44.03	-44.65	-45.09
2.5	0	-40.62	-41.33	-41.98	-42.35
3	0	-37.89	-38.57	-39.19	-39.5
3.5	0	-35.18	-35.83	-36.42	-36.67
4	0	-32.28	-32.91	-33.48	-33.72
4.5	0	-29.32	-29.92	-30.52	-30.72
5	0	-27.12	-27.71	-28.28	-28.46
5.5	0	-24.07	-24.6	-25.11	-25.27
6	0	-20.9	-21.37	-21.86	-21.98
6.5	0	-18.43	-18.86	-19.31	-19.43
7	0	-16.5	-16.91	-17.33	-17.42

<b>Kedalaman (m)</b>	<b>29 Januari 2017</b>	<b>26 Maret 2017</b>	<b>27 Maret 2017</b>	<b>28 Maret 2017</b>	<b>29 Maret 2017</b>
7.5	0	-15.03	-15.45	-15.85	-15.93
8	0	-13.9	-14.28	-14.71	-14.76
8.5	0	-12.77	-13.12	-13.56	-13.58
9	0	-11.46	-11.8	-12.23	-12.23
9.5	0	-9.78	-10.09	-10.5	-10.47
10	0	-8.53	-8.81	-9.19	-9.17
10.5	0	-7.45	-7.66	-8.04	-7.97
11	0	-6.22	-6.37	-6.72	-6.65
11.5	0	-5.69	-5.82	-6.14	-6.09
12	0	-6.51	-6.67	-7	-6.93
12.5	0	-9.78	-9.93	-10.25	-10.18
13	0	-12.85	-13	-13.26	-13.22
13.5	0	-11.05	-11.17	-11.38	-11.31
14	0	-7.76	-7.82	-8	-7.93
14.5	0	-5.26	-5.32	-5.48	-5.43
15	0	-3.68	-3.76	-3.89	-3.84
15.5	0	-2.59	-2.63	-2.74	-2.73
16	0	-2.16	-2.21	-2.31	-2.27
16.5	0	-2.27	-2.3	-2.43	-2.36
17	0	-2.49	-2.48	-2.66	-2.62
17.5	0	-2.65	-2.61	-2.83	-2.78
18	0	-2.57	-2.5	-2.73	-2.65
18.5	0	-2.13	-2.01	-2.22	-2.13
19	0	-1.38	-1.2	-1.43	-1.31
19.5	0	-0.54	-0.38	-0.59	-0.44
20	0	0.09	0.25	0.06	0.22
20.5	0	0.54	0.68	0.49	0.66
21	0	0.81	0.93	0.74	0.89
21.5	0	1.04	1.13	0.93	1.12
22	0	1.27	1.36	1.19	1.34
22.5	0	1.5	1.56	1.41	1.51
23	0	1.69	1.71	1.61	1.67
23.5	0	1.65	1.68	1.6	1.63
24	0	1.42	1.44	1.41	1.4
24.5	0	1.09	1.09	1.08	1.05
25	0	0.71	0.73	0.72	0.66
25.5	0	0.48	0.49	0.47	0.39
26	0	0.9	0.92	0.89	0.8
26.5	0	2.02	2.03	1.97	1.91
27	0	3.29	3.32	3.25	3.19
27.5	0	4.47	4.52	4.45	4.4
28	0	5.33	5.42	5.4	5.32
28.5	0	5.36	5.45	5.43	5.36
29	0	4.15	4.2	4.22	4.14

Kedalaman (m)	29 Januari 2017	26 Maret 2017	27 Maret 2017	28 Maret 2017	29 Maret 2017
29.5	0	1.81	1.82	1.82	1.78
30	0	-0.33	-0.32	-0.3	-0.35
30.5	0	0	0	0	0



Gambar 4.11 Grafik Bacaan *Inclinometer* 02 Arah B pada Tanggal 26 Maret hingga 29 Maret 2017

Sumber : PT. Teknindo Geosistem Unggul

#### 4.1.6 Data *Vacuum Gauge*

Untuk mengetahui tekanan vakum yang terjadi di dalam tanah telah mencapai tegangan efektif yang ingin dicapai digunakan *Vacuum Gauge*. Tabel 4.5 menunjukkan contoh data bacaan *Vacuum Gauge*-03 yang letaknya berdampingan dengan SP-02 hingga 27 Maret 2017.

Tabel 4.5  
Data Bacaan VG-03 hingga 27 Maret 2017

Tanggal	Hari ke-	VG-03 dgn SP-02 (Kpa)
<i>30 Dec 16</i>		-
<i>31 Dec 16</i>	<i>1</i>	
<i>1 Jan 17</i>	<i>2</i>	
<i>2 Jan 17</i>	<i>3</i>	
<i>3 Jan 17</i>	<i>4</i>	
<i>4 Jan 17</i>	<i>5</i>	
<i>5 Jan 17</i>	<i>6</i>	
<i>6 Jan 17</i>	<i>7</i>	
<i>7 Jan 17</i>	<i>8</i>	
<i>8 Jan 17</i>	<i>9</i>	
<i>9 Jan 17</i>	<i>10</i>	
<i>10 Jan 17</i>	<i>11</i>	
<i>11 Jan 17</i>	<i>12</i>	
<i>12 Jan 17</i>	<i>13</i>	
<i>13 Jan 17</i>	<i>14</i>	
<i>14 Jan 17</i>	<i>15</i>	
<i>15 Jan 17</i>	<i>16</i>	
<i>16 Jan 17</i>	<i>17</i>	
<i>17 Jan 17</i>	<i>18</i>	
<i>18 Jan 17</i>	<i>19</i>	
<i>19 Jan 17</i>	<i>20</i>	
<i>20 Jan 17</i>	<i>21</i>	
<i>21 Jan 17</i>	<i>22</i>	
<i>22 Jan 17</i>	<i>23</i>	
<i>23 Jan 17</i>	<i>24</i>	
<i>24 Jan 17</i>	<i>25</i>	
<i>25 Jan 17</i>	<i>26</i>	
<i>26 Jan 17</i>	<i>27</i>	
<i>27 Jan 17</i>	<i>28</i>	
<i>28 Jan 17</i>	<i>29</i>	
<i>29 Jan 17</i>	<i>30</i>	
<i>30 Jan 17</i>	<i>31</i>	
<i>31 Jan 17</i>	<i>32</i>	
<i>1 Feb 17</i>	<i>33</i>	<i>-23</i>
<i>2 Feb 17</i>	<i>34</i>	<i>-29</i>
<i>3 Feb 17</i>	<i>35</i>	<i>-31</i>
<i>4 Feb 17</i>	<i>36</i>	<i>-30</i>
<i>5 Feb 17</i>	<i>37</i>	<i>-32</i>
<i>6 Feb 17</i>	<i>38</i>	<i>-33</i>

Tanggal	Hari ke-	VG-03 dgn SP-02 (Kpa)
7 Feb 17	39	-35
8 Feb 17	40	-37
9 Feb 17	41	-37
10 Feb 17	42	-37
11 Feb 17	43	-38
12 Feb 17	44	-44
13 Feb 17	45	-44
14 Feb 17	46	-50
15 Feb 17	47	-50
16 Feb 17	48	-50
17 Feb 17	49	-52
18 Feb 17	50	-52
19 Feb 17	51	-52
20 Feb 17	52	-52
21 Feb 17	53	-53
22 Feb 17	54	-54
23 Feb 17	55	-54
24 Feb 17	56	-54
25 Feb 17	57	-54
26 Feb 17	58	-54
27 Feb 17	59	-55
28 Feb 17	60	-55
1 Mar 17	61	-56
2 Mar 17	62	-56
3 Mar 17	63	-57
4 Mar 17	64	-57
5 Mar 17	65	-62
6 Mar 17	66	-72
7 Mar 17	67	-72
8 Mar 17	68	-74
9 Mar 17	69	-74
10 Mar 17	70	-74
11 Mar 17	71	-74
12 Mar 17	72	-74
13 Mar 17	73	-75
14 Mar 17	74	-75
15 Mar 17	75	-75
16 Mar 17	76	-75
17 Mar 17	77	-75
18 Mar 17	78	-75
19 Mar 17	79	-75
20 Mar 17	80	-75
21 Mar 17	81	-75



Tanggal	Hari ke-	VG-03 dgn SP-02 (Kpa)
22 Mar 17	82	-75
23 Mar 17	83	-75
24 Mar 17	84	-75
25 Mar 17	85	-75
26 Mar 17	86	-75
27 Mar 17	87	-75

## 4.2 Hasil Pengolahan Data

Data-data yang ada kemudian diolah sedemikian rupa untuk mendapatkan *Final settlement*, Derajat konsolidasi, Kestabilan timbunan, Tekanan efektif yang terjadi di dalam tanah, serta parameter-parameter tanah aktual.

### 4.2.1 Penentuan Parameter Tanah

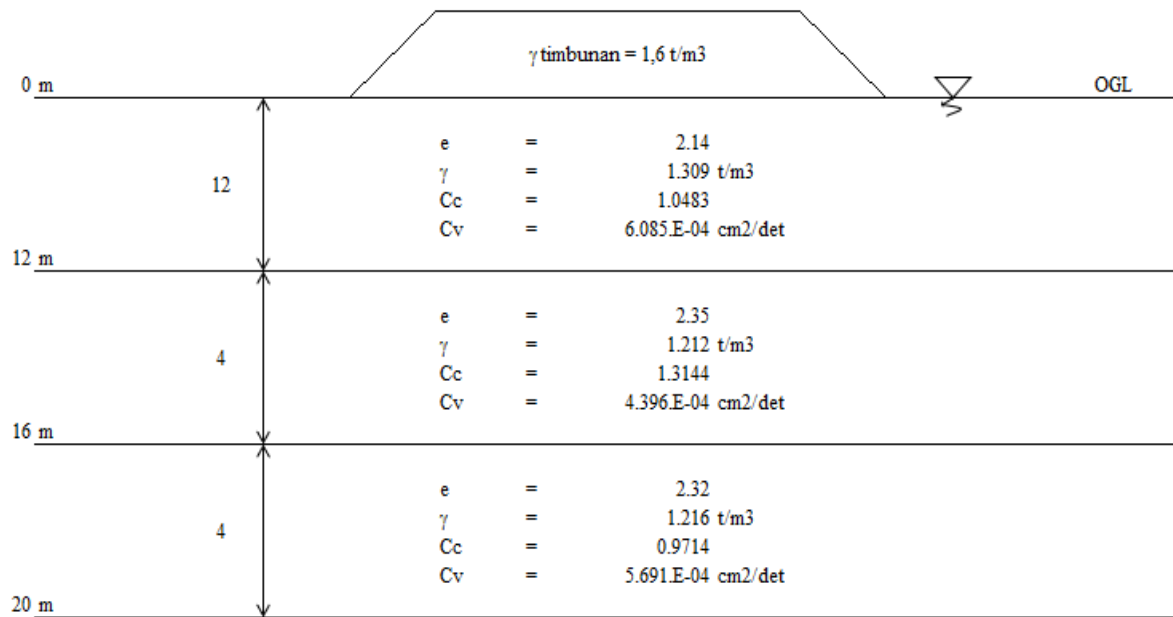
Sampel tanah dari BH-2 dan BH-5 diambil hingga kedalaman 50 meter. Dari hasil sampel tanah tersebut terlihat bahwa muka air tanah (*Ground Water Level*) terbaca pada kedalaman 0,0 meter. Pada kedalaman 0– 12 m merupakan tanah lunak-kaku dengan nilai SPT kisaran 2 dan 5. Untuk tanah kedalaman 12 – 16 m merupakan tanah lanau lempungan dengan nilai SPT kisaran 10 dan 16. Tanah pada kedalaman 16-20 m merupakan tanah lanau pasiran dengan konsistensi kaku. Sedangkan pada kedalaman 20-50 m merupakan tanah pasir lanauan dengan konsistensi medium-padat, N-SPT kisaran 24 hingga 60.

**Gambar 4.12** merupakan penampang melintang tanah.

Sampel tanah yang telah dilakukan pengujian di laboratorium dianalisa menggunakan metode statistik dengan cara pengelompokan berdasarkan konsistensi dan jenis tanah yang sama. Hasil rekapitulasi parameter tanah dasar yang digunakan tertera pada Tabel 4.6. Nilai parameter tanah itu kemudian digunakan dalam Analisa perhitungan *settlement* awal. Nilai  $C_s$  diambil  $1/6 C_c$  sedangkan diasumsikan  $C_h = 2C_v$ .

Tabel 4.6  
Rekapitulasi data tanah dasar

Kedalaman (m)	$\gamma$	$e_0$	$C_c$	$C_v$ ( $m^2/hari$ )	$C_s$
0 - 12	1.309	2.140	1.048	0.00526	0.17472
12 - 16	1.212	2.345	1.314	0.00380	0.21906
16 - 20	1.216	2.315	0.971	0.00492	0.16189
Rata-Rata	1.245	2.267	1.111	0.00484	0.185



Gambar 4.12 Sketsa Penampang melintang tanah

#### 4.2.2 Perhitungan Teoritis Penurunan Tanah menggunakan Metode Terzaghi

Penurunan yang digunakan dalam perencanaan dihitung berdasarkan teori *One way dimension settlement*. Kondisi tanah adalah *over consolidated* sehingga besar penurunan dapat dihitung dengan Persamaan 2.6 atau persamaan 2.7 dengan lapisan tanah H tiap 1 m hingga mencapai kedalaman *Prefabricated Vertical Drain* (20m) pada tiap preloading.

Contoh penurunan akibat Preloading 1 + Tekanan Vakum pada SP.03

Diketahui :

Tahap	Waktu Penimbunan		tinggi (m)	Vacuum Gauge	$\Delta\sigma'$ (t/m)
	Dari hari ke-	Sampai hari ke-			
p1	1	33	1.435	0	2.296
p2	34	46	0	26	2.6
p3	47	64	0	37	3.7
p4	65	87	0	11	1.1

Kedalaman (m)	$\gamma_{\text{timb}}$	$\gamma_w$	$\gamma_{\text{sat}}$	e0	cc	cs
0 - 12	1.6	1	1.309	2.14	0.4773	0.0795
12 - 16	1.6	1	1.212	2.35	0.4855	0.0809
16 - 20	1.6	1	1.215	2.32	0.5773	0.0962

tinggi timbunan adalah 1,435 m, jika  $\gamma_{\text{timbunan}} = 1,6 \text{ t/m}^2$  maka,

$$\Delta\sigma' = 1,435 \times 1,6 = 2,296 \text{ t/m}$$

Tegangan efektif,  $\sigma_o'$ , yang diterima tanah pada kondisi awal/belum dibebani dihitung sebagai berikut:

Kedalaman 0 – 12 m (per kedalaman 1 m)

$$\begin{aligned}\sigma_o' &= ((Y_{sat} - Y_w) \times z) \\ &= ((1,309 - 1) \times 0,5) \\ &= 0,1545 \text{ t/m}\end{aligned}$$

Kedalaman 12-16 m (per kedalaman 1 m)

$$\begin{aligned}\sigma_o' &= ((Y_{sat} - Y_w) \times z) \\ &= ((1,212 - 1) \times 0,5) \\ &= 2,643 \text{ t/m}\end{aligned}$$

Kedalaman 16 - 20 m (per kedalaman 1 m)

$$\begin{aligned}\sigma_o' &= ((Y_{sat} - Y_w) \times z) \\ &= ((1,215 - 1) \times 0,5) \\ &= 3,555 \text{ t/m}\end{aligned}$$

Tegangan prakonsolidasi akibat beban,  $\sigma_c'$ , dapat dihitung dengan  $2 + \sigma_o'$  (2 merupakan fluktuasi muka air tanah)

Kedalaman 0 - 12 m (per kedalaman 1 m)

$$\begin{aligned}\sigma_c' &= 2 + \sigma_o' \\ &= 2,1545 \text{ t/m}\end{aligned}$$

Kedalaman 12 - 16 m (per kedalaman 1 m)

$$\begin{aligned}\sigma_c' &= 2 + \sigma_o' \\ &= 4,643 \text{ t/m}\end{aligned}$$

Kedalaman 16 - 20 m (per kedalaman 1 m)

$$\begin{aligned}\sigma_c' &= 2 + \sigma_o' \\ &= 5,555 \text{ t/m}\end{aligned}$$

Bila tanah tersebut diberi timbunan awal setinggi 1,435 m dan nilai tegangan efektif dan tegangan prakonsolidasi serta perubahannya telah diketahui maka penurunan yang terjadi pada kedalaman 1 m adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}S_c &= \frac{Cc \cdot H}{1 + e_0} \log \left( \frac{\sigma_o + \Delta\sigma}{\sigma_c'} \right) + \frac{Cs \cdot H}{1 + e_0} \log \left( \frac{\Delta c'}{\sigma_o'} \right) \\ S_c &= \frac{0,477 \times 1}{1 + 2,14} \log \left( \frac{2,450}{2,1545} \right) + \frac{0,079 \times 1}{1 + 2,14} \log \left( \frac{2,1545}{0,1545} \right) \\ S_c &= 0,0374 \text{ m}\end{aligned}$$

Penurunan akibat preloading 1 dihitung hingga kedalaman 20 m. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.7

Tabel 4.7

Perhitungan Penurunan Konsolidasi akibat preloading 1 SP-03

No Layer	H (m)	z (m)	$\sigma'_o$	$\sigma'_c$	$\sigma'_o + \Delta\sigma$	$(\sigma'_o + \Delta\sigma)/\sigma'_c$	Sc (m)	$\sum Sc$ (m)
1	1	0.5	0.1545	2.1545	2.4505	1.137386865	0.037496	0.037496
2	1	1.5	0.4635	2.4635	2.7595	1.120154252	0.025874	0.06337
3	1	2.5	0.7725	2.7725	3.0685	1.106762849	0.020759	0.084129
4	1	3.5	1.0815	3.0815	3.3775	1.096057115	0.017577	0.101706
5	1	4.5	1.3905	3.3905	3.6865	1.087302758	0.015334	0.11704
6	1	5.5	1.6995	3.6995	3.9955	1.080010812	0.013641	0.130682
7	1	6.5	2.0085	4.0085	4.3045	1.073843083	0.012308	0.142989
8	1	7.5	2.3175	4.3175	4.6135	1.068558193	0.011225	0.154214
9	1	8.5	2.6265	4.6265	4.9225	1.06397925	0.010324	0.164538
10	1	9.5	2.9355	4.9355	5.2315	1.05997366	0.009563	0.174101
11	1	10.5	3.2445	5.2445	5.5405	1.05644008	0.008909	0.18301
12	1	11.5	3.5535	5.5535	5.8495	1.053299721	0.008342	0.191352
13	1	12.5	2.64375	4.64375	4.93975	1.063741588	0.009815	0.201167
14	1	13.5	2.85525	4.85525	5.15125	1.060964935	0.009309	0.210477
15	1	14.5	3.06675	5.06675	5.36275	1.058420092	0.008855	0.219332
16	1	15.5	3.27825	5.27825	5.57425	1.056079193	0.008445	0.227776
17	1	16.5	3.55575	5.55575	5.85175	1.053278135	0.009552	0.237328
18	1	17.5	3.77125	5.77125	6.06725	1.051288716	0.009147	0.246476
19	1	18.5	3.98675	5.98675	6.28275	1.049442519	0.008776	0.255251
20	1	19.5	4.20225	6.20225	6.49825	1.047724616	0.008434	0.263685

Tabel penurunan konsolidasi selengkapnya dapat dilihat pada **Lampiran 4**. Timbunan dari bacaan SP.03 dibagi ke dalam 4 periode (*preloading 1 – preloading 4*). Sebelum penimbunan *preloading 2*, terlebih dahulu dilakukan *preloading 1* dimana dari penimbunan tersebut berdasarkan perhitungan teoritis akan terjadi penurunan sebesar 263 mm.

Hasil perhitungan besar penurunan konsolidasi dari bacaan SP.03 yang diakibatkan tahapan timbunan *preloading 1* dijumlahkan dengan besar penurunan konsolidasi akibat penimbunan tahap selanjutnya menjadi total penurunan seperti yang terlihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8

Perhitungan teoritis berdasarkan penimbunan yang terjadi di lapangan

Tahap	Hari Ke-	Penurunan (mm)	Total Penurunan (mm)
Tanah Awal	0	0	0
Preloading 1	33	-263.6853405	-263.6853405
VG 1	46	-611.0593874	-874.7447279
VG2	64	-413.7597758	-1288.504504
VG3	87	-23.33119841	-1311.835702

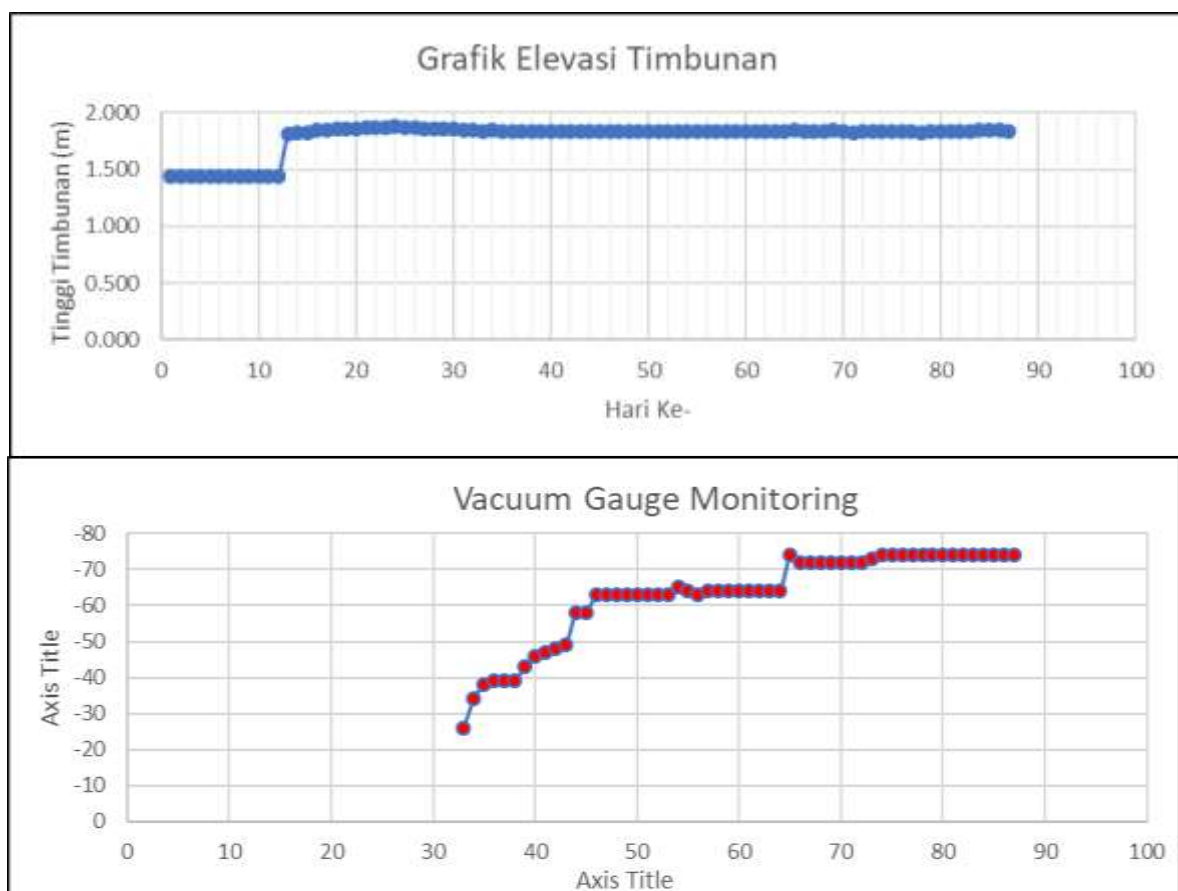
Jadi, besar penurunan konsolidasi akhir yang didapat dari data timbunan bacaan SP.03 adalah sebesar 1311,83 mm. Untuk perhitungan teoritis SP.01, SP.02, SP.04 dapat dilihat di **Lampiran 5**.

Perbandingan Penurunan aktual dan Penurunan Teoritis dapat dilihat pada Tabel 4.9 sedangkan grafik perbandingan penurunan aktual dan teoritis pada SP.03 dapat dilihat pada **Gambar 4.13**

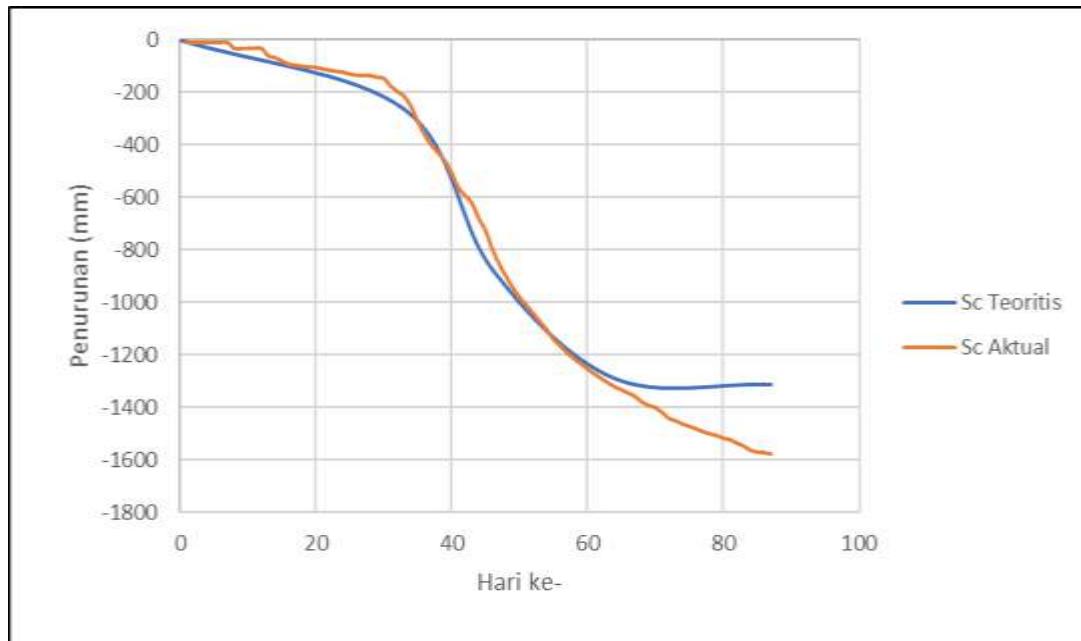
Tabel 4.9

Perbandingan Penurunan Aktual dan Penurunan Teoritis hingga Hari Ke-87

Settlement Plate	Penurunan aktual s.d. hari ke 87 (mm)	Penurunan s.d hari ke 87 secara Teoritis (mm)	Perbandingan Sc Aktual dan Teoritis
sp.01	1444	1383	1.043962307
sp.02	1162	1245	0.933313205
sp.03	1578	1312	1.202894537
sp.04	1235	1247	0.990338067
Rata-rata	1355	1297	1.042627029



Gambar 4.13 Grafik tahapan timbunan



Gambar 4.14 Grafik Penurunan Tanah antara Perhitungan Teoritis dan Penurunan Aktual

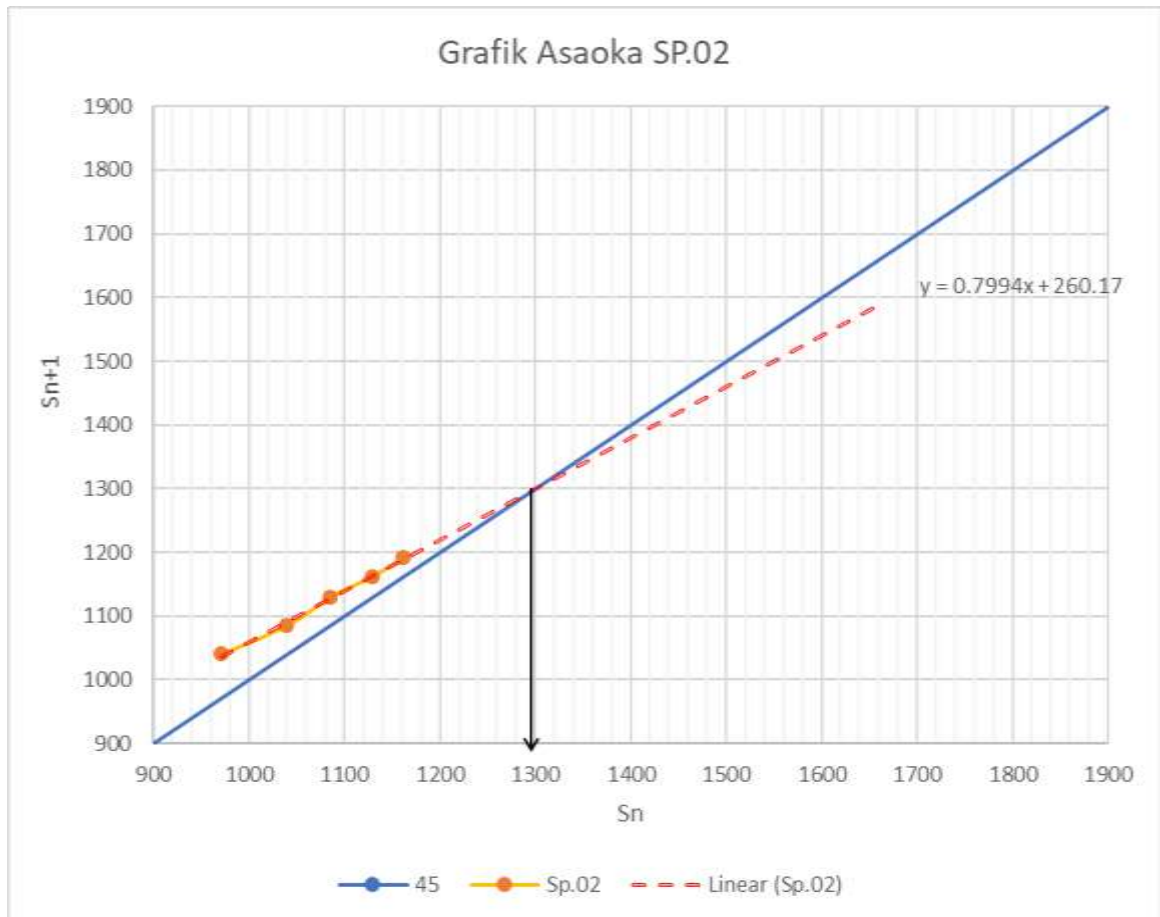
#### 4.2.3 Prediksi penurunan tanah Metode Asaoka

Prediksi besarnya penurunan konsolidasi dapat juga dilakukan dengan metode Asaoka. Prediksi penurunan metode Asaoka dihitung berdasarkan data *settlement plate* yang ada, Sebagai contoh digunakan data *settlement plate* SP.02 yang dimulai pada hari ke-67.

Tabel 4.10

Besar penurunan hari ke- $n$  ( $S_n$ ) dan besar penurunan hari ke  $n+1$  ( $S_{n+1}$ )

Hari ke- $n$	Interval (hari)	$S_n$	$S_{n+1}$
67	5	971	1040
72	5	1040	1085
77	5	1085	1129
82	5	1129	1162
87	5	1162	1191



Gambar 4.14 Prediksi penurunan akhir Metode Asaoka berdasarkan data SP.02

Dari perolehan data *settlement plate* maka dapat dibuat kurva hubungan waktu dan penurunan seperti yang ada pada **Gambar 4.7**. Dari kurva hasil bacaan *settlement plate* SP.02 pada hari ke-67 sampai dengan hari ke-87 dapat ditentukan berapa penurunan yang terjadi pada hari tertentu (hari ke- $n$ ) seperti ditunjukkan pada Tabel 4.10, sehingga kurva  $S_n$  terhadap  $S_{n+1}$  dapat dibuat.

Selanjutnya dilakukan prediksi penurunan akhir menggunakan metode Asaoka dengan bantuan program Microsoft Excel dalam mencari nilai regresinya sehingga diketahui prediksi penurunan akhir yang dapat tercapai seperti terlihat pada (**Gambar 4.14**). Berdasarkan metode Asaoka penurunan yang tercapai pada saat konsolidasi 99,99% akibat tekanan vakum yakni sebesar 1297 mm.

Hal ini dilakukan pula terhadap data SP.01, SP.03, SP.04 sehingga diperoleh estimasi penurunan akhir seperti terlihat pada Tabel 4.11

Tabel 4.11  
Hasil Estimasi Penurunan Akhir dengan Metode Asaoka

Settlement Plate	Penurunan s.d. hari ke 87 (mm)	Penurunan Akhir Prediksi ASAOKA (mm)
sp.01	1444	1717.7133
sp.02	1162	1296.6935
sp.03	1578	1711.3655
sp.04	1235	1459.7054

#### 4.2.4 Penentuan derajat konsolidasi berdasarkan *settlement plate*

Penentuan nilai derajat konsolidasi dapat dilakukan dari bacaan *settlement plate* ( $U_{v-sp}$ ) yaitu dengan membandingkan besar penurunan di lapangan pada waktu tertentu ( $t$ ) terhadap penurunan konsolidasi total yang diperoleh dari metode Asaoka, seperti pada Persamaan 2.32

Contoh perhitungan diambil dari data Asaoka SP.02, dimana berdasarkan metode tersebut diketahui penurunan konsolidasi akhir adalah 1297 mm, sedangkan pada hari ke-87 (sejak mesin vakum dinyalakan) penurunan konsolidasi yang dicapai berdasarkan bacaan *settlement plate* adalah 1162 mm. Sehingga derajat konsolidasi yang tercapai pada hari ke-87 adalah sebagai berikut:

$$U_{v-sp} = \frac{S_t}{S_c}$$

$$U_{v-sp} = \frac{1162}{1297}$$

$$U_{v-sp} = 0,896 \approx 89,6\%$$

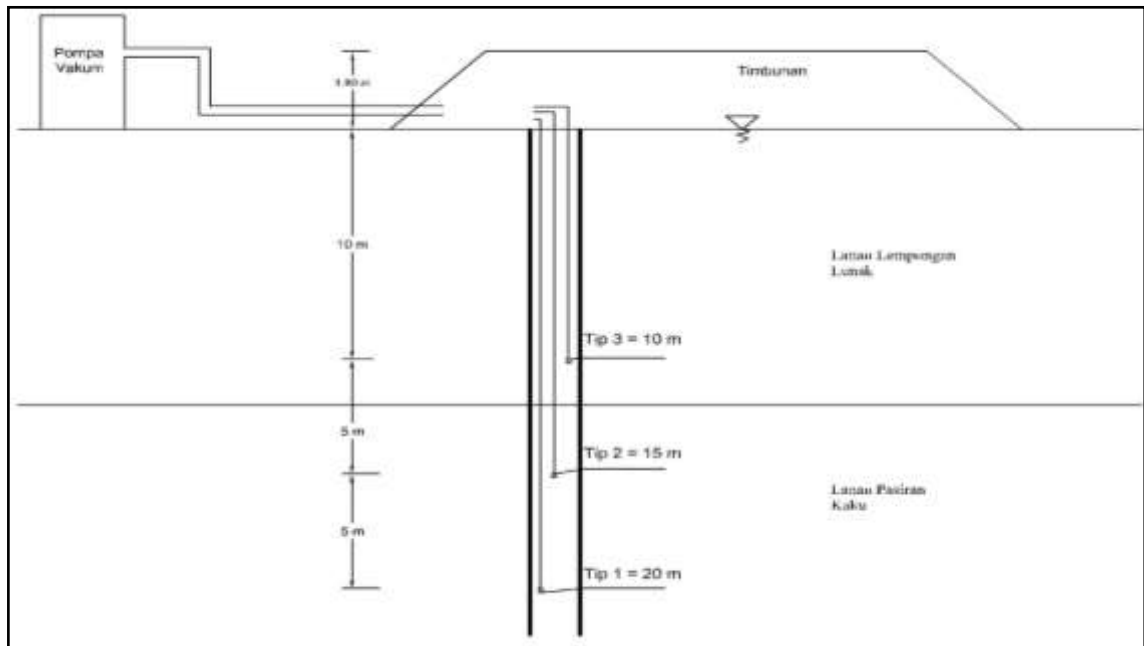
Tabel 4.12  
Derajat konsolidasi berdasarkan prediksi metode Asaoka

Settlement Plate	Penurunan s.d. hari ke 87 (mm)	Penurunan Akhir Prediksi ASAOKA (mm)	Derajat Konsolidasi (%)
sp.01	1444	1717.7133	84.0652
sp.02	1162	1296.6935	89.6125
sp.03	1578	1711.3655	92.2071
sp.04	1235	1459.7054	84.6061

#### 4.2.5 Penentuan Derajat Konsolidasi Berdasarkan Bacaan *Piezometer*

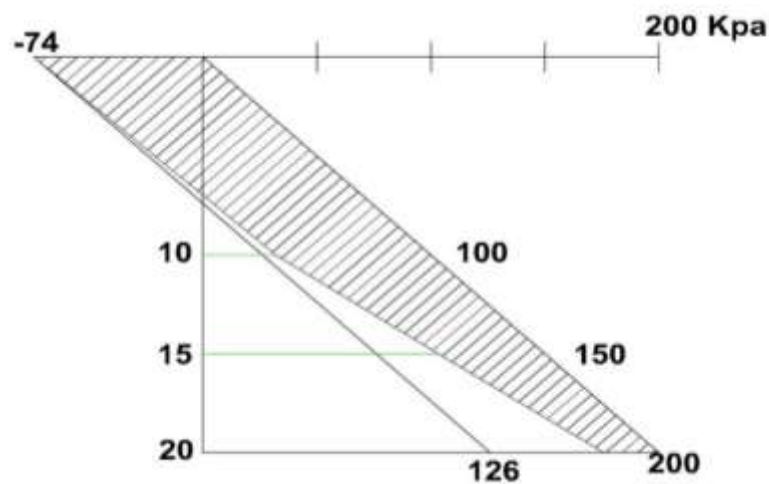
Derajat konsolidasi juga dapat ditentukan melalui bacaan *piezometer* dimana pada SP.01, SP.02, SP.03 dan SP.04 digunakan data bacaan piezometer VWP-02.





Gambar 4.15 Ilustrasi posisi *Vibrating Wire Piezometer* di lapangan

Dari data bacaan *piezometer* VWP-02 dapat dilihat bahwa puncak tegangan air pori tanah berlebih dari tip 1, tip 2 dan tip 3 berturut-turut adalah sebesar 175,9, 103,4, dan 33,2. Lewat bacaan tersebut dapat dihitung derajat konsolidasi yang tercapai pada hari ke-87 melalui data bacaan *piezometer* VWP-02, yaitu sebagai berikut:



Gambar 4.16 Skema tekanan air pori tanah dari bacaan *Vibrating Wire Piezometer*

$$U_{pp} = \frac{\text{Luas daerah arsir}}{\text{Luas jajar genjang}} \times 100\%$$

$$U_{pp} = \frac{117,175}{148} \times 100$$

$$U_{pp} = 79,1 \%$$

#### 4.2.6 Analisis Balik Parameter Tanah untuk desain *Vacuum consolidation* menggunakan *Vertical drains*

Perhitungan analisa balik meliputi parameter tanah koefisien konsolidasi tanah arah horizontal ( $C_h$ ), koefisien kompresibilitas volume ( $m_v$ ), permeabilitas tanah arah vertikal ( $k$ ) dan indeks pemampatan ( $C_c$ ) yang dijabarkan sebagai berikut

##### 4.2.6.1 Nilai Koefisien Konsolidasi Arah Horizontal ( $C_h$ ) berdasarkan estimasi Asaoka

Dari Gambar 4.14 dapat diketahui besarnya nilai  $\beta$  untuk dimasukkan ke dalam Persamaan 2.39.

$$\frac{\pi^2 C_v}{8H^2} + \frac{8C_h}{D^2 F_n} = -\frac{\ln \beta}{\delta_t}$$

$$\frac{\pi^2 \cdot 0,0048}{8 \times 20^2} + \frac{8C_h}{1,26^2 \times 2,196} = -\frac{\ln 0,799}{5}$$

$$C_h = 0,0195$$

##### 4.2.6.2 Nilai Koefisien Kompresibilitas Volume ( $m_v$ )

Pada Persamaan 2.19 dimana  $S_{ct}$  merupakan penurunan akhir hasil estimasi dari metode Asaoka (sebenarnya), oleh karena itu apabila  $H_0$  dan  $\Delta\sigma$  diketahui maka nilai  $m_v$  dapat dihitung balik seperti contoh dari SP.02 berikut:

$$m_v = \frac{S_{ct}}{\Delta\sigma \cdot H_0}$$

$$m_v = \frac{1,297}{74 \times 20}$$

$$m_v = 0,0008 \text{ m}^2/\text{kN}$$

Jadi, berdasarkan data SP.02 diketahui nilai koefisien kompresibilitas volume adalah sebesar 0,0008  $\text{m}^2/\text{kN}$ . Nilai koefisien kompresibilitas berdasarkan data SP.01, SP.03, SP.04 masing-masing dihitung yang hasilnya tertera pada Tabel 4.13

##### 4.2.6.3 Nilai Permeabilitas Tanah Arah Vertikal ( $k_v$ )

Pada Persamaan 2.10 dengan  $k$  yang dimaksud adalah permeabilitas tanah arah vertikal. Apabila nilai  $C_v$  diketahui sebesar 0,0048  $\text{m}^2/\text{hari}$ ,  $\gamma_w$  adalah 10  $\text{kN}/\text{m}^3$  dan nilai  $m_v$  yang didapat adalah sebesar 0,0008  $\text{m}^2/\text{kN}$  maka nilai  $k$  dapat diperoleh dengan cara sebagai berikut:

$$C_v = \frac{k}{\gamma_w \cdot m_v}$$

$$k = C_v \times \gamma_w \times m_v$$

$$k = 0,00482 \times 10 \times 0,0008$$

$$k = k_v = 4,24 \times 10^{-5} \text{ m/hari}$$

Jadi, nilai permeabilitas tanah arah vertikal adalah sebesar  $4,24 \times 10^{-5}$  m/hari. Nilai permeabilitas tanah arah vertikal berdasarkan data SP.01, SP.03, SP.04 masing-masing terhitung yang hasilnya ada pada Tabel 4.13.

#### 4.2.6.4 Nilai Indeks Kompresi (Cc)

Setelah parameter-parameter tanah dari analisa balik berdasarkan kondisi lapangan didapatkan maka dilakukan perhitungan ulang penurunan menggunakan metode Terzaghi.

Berdasarkan data lapangan dari *settlement plate* SP.02:

$$S_c = 1,297 \text{ m} \qquad \sigma_o' = 54,16 \text{ kN/m}^2$$

$$H_o = 20 \text{ m} \qquad \Delta\sigma = 74 \text{ kN/m}^2$$

$$e_o = 2,27$$

Sehingga dengan menggunakan persamaan (2.5)  $S_c = \frac{C_c}{1+e_o} \cdot H \cdot \log \left( \frac{\sigma_o' + \Delta\sigma'}{\sigma_o'} \right)$  nilai  $C_c$  dapat dihitung balik.

$$C_c = \frac{S_c}{\left( \frac{H_o}{1+e_o} \times \log \frac{\sigma_o' + \Delta\sigma}{\sigma_o'} \right)}$$

$$C_c = \frac{1,297}{\left( \frac{20}{1+2,27} \times \log \frac{54,16 + 74}{54,16} \right)}$$

$$C_c = 0,566$$

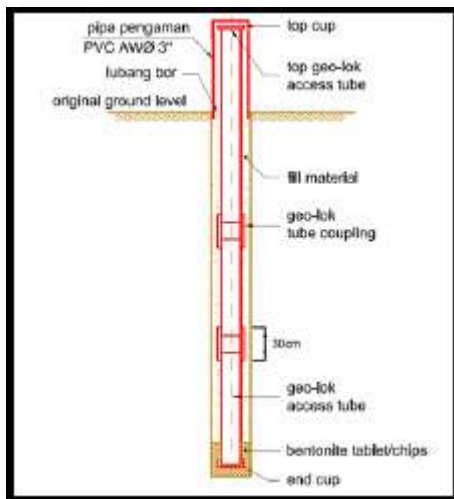
Berdasarkan data lapangan SP.03 dapat diketahui nilai koefisien kompresibilitas tanah sebesar 0,566. Nilai indeks kompresibilitas tanah berdasarkan data SP.01, SP.03, SP.04 tertera pada Tabel 4.13

Tabel 4.13  
Parameter Tanah Hasil *Back Analysis*

Settlement plate	Ch (m <sup>2</sup> /hari)	Ch/C <sub>v</sub>	m <sub>v</sub> (m <sup>2</sup> /kN)	K <sub>v</sub> (m/hari)	C <sub>c</sub>
SP.01	0.01331	2.74995	0.00116	5.62E-05	7.50E-01
SP.02	0.01952	4.03158	0.00088	4.24E-05	5.66E-01
SP.03	0.02162	4.46691	0.00116	5.60E-05	7.47E-01
SP.04	0.01435	2.96521	0.00099	4.77E-05	6.37E-01
Rata2	0.01720	3.55341	0.00104	0.00005	0.67520

#### 4.2.7 Kestabilan Tanah akibat timbunan di lapangan

Kestabilan tanah timbunan dapat ditentukan melalui bacaan *inclinometer* dimana digunakan data bacaan inclinometer IN-02 yang terletak dekat dengan SP-03. Ilustrasi pemasangan *inclinometer* dapat dilihat pada **Gambar 4.16**.



**Gambar 4.17** Ilustrasi penggunaan *Inclinometer* di lapangan  
Sumber : PT. Teknindo Geosistem Unggul

Dari bacaan *inclinometer* IN-02 pada **Tabel 4.4** dapat dilihat bahwa puncak pergeseran tanah lateral terjadi pada kedalaman 2 m untuk arah A Utara-Selatan) maupun arah B (Timur-Barat). Dari data monitoring tersebut kemudian di analisis kestabilan timbunan di lapangan dengan syarat pada persamaan 2.33 dan 2.34.

- Syarat Kestabilan 1 ( $Y_z < Y_{z \max}$ )

$$H_{\text{timbunan SP-02}} = 1386 \text{ mm}$$

$$S_c \text{ teoritis SP-02} = 1245,03 \text{ mm}$$

$$Y_z \text{ izin} = 0,16 \times S_c$$

$$= 0,16 \times 1245,03$$

$$= 199,20 \text{ mm}$$

$$Y_z = \frac{Y_z \text{ max}}{SF}$$

$$Y_z = \frac{210,48}{1,3}$$

$$Y_z = 161,90 \text{ mm}$$

Karena  $Y_z < Y_z \text{ max}$  maka timbunan yang digunakan dinyatakan aman dari kelongsoran.

- Syarat Kestabilan 2 ( $\Delta_n < \dots < \Delta_3 < \Delta_2 < \Delta_1$ )

Untuk arah A diketahui:

$$Y_0 = 0 \text{ mm}$$

$$Y_3 = 211,77 \text{ mm}$$

$$Y_1 = 210,48 \text{ mm}$$

$$Y_4 = 212,52 \text{ mm}$$

$$Y_2 = 211,22 \text{ mm}$$

$$\Delta_1 = |Y_1 - Y_0|$$

$$\Delta_3 = |Y_3 - Y_2|$$

$$= |210,48 - 0|$$

$$= |211,77 - 211,22|$$

$$= 210,48 \text{ mm}$$

$$= 0,55 \text{ mm}$$

$$\Delta_2 = |Y_2 - Y_1|$$

$$\Delta_4 = |Y_4 - Y_3|$$

$$= |211,22 - 210,48|$$

$$= |212,52 - 211,77|$$

$$= 0,74 \text{ mm}$$

$$= 0,75 \text{ mm}$$

Karena  $\Delta_4 > \Delta_3 < \Delta_2 < \Delta_1$  maka tanah timbunan pada arah A dinyatakan aman.

Untuk arah B diketahui:

$$Y_0 = 0 \text{ mm}$$

$$Y_3 = 44,65 \text{ mm}$$

$$Y_1 = 43,35 \text{ mm}$$

$$Y_4 = 45,09 \text{ mm}$$

$$Y_2 = 44,03 \text{ mm}$$

$$\Delta_1 = |Y_1 - Y_2|$$

$$\Delta_3 = |Y_3 - Y_2|$$

$$= |43,35 - 0|$$

$$= |44,65 - 44,03|$$

$$= 43,35 \text{ mm}$$

$$= 0,62 \text{ mm}$$

$$\Delta_2 = |Y_2 - Y_1|$$

$$\Delta_4 = |Y_4 - Y_3|$$

$$= |44,03 - 43,35|$$

$$= |45,09 - 44,65|$$

$$= 0,68 \text{ mm}$$

$$= 0,44 \text{ mm}$$

Karena  $\Delta_4 < \Delta_3 < \Delta_2 < \Delta_1$  maka tanah timbunan pada arah B dinyatakan aman dari longsor.

Dari kedua perhitungan syarat kestabilan timbunan dapat dilihat bahwa tanah timbunan aman dari longsor baik arah A (Utara-Selatan) maupun arah B (Timur-Barat).

#### 4.2.8 Efektifitas tekanan vakum yang terjadi di dalam tanah

Untuk mengetahui efektifitas tekanan vakum yang terjadi di dalam tanah dengan menggunakan mesin vakum, terlebih dahulu dilakukan koreksi tekanan atmosfer pada Area Cluster D.

Tekanan atmosfer ( $P$ ) = 1 atm

$$= 101,3 \text{ kpa}$$

Besarnya tekanan atmosfer bergantung dari ketinggian lokasi yang akan dilakukan perbaikan tanah dengan persamaan 2.35 :

$$P(h) = 76 - (h/100)\text{cmHg}$$

$$= 76 - (660/100)$$

$$= 69,4 \text{ cmHg}$$

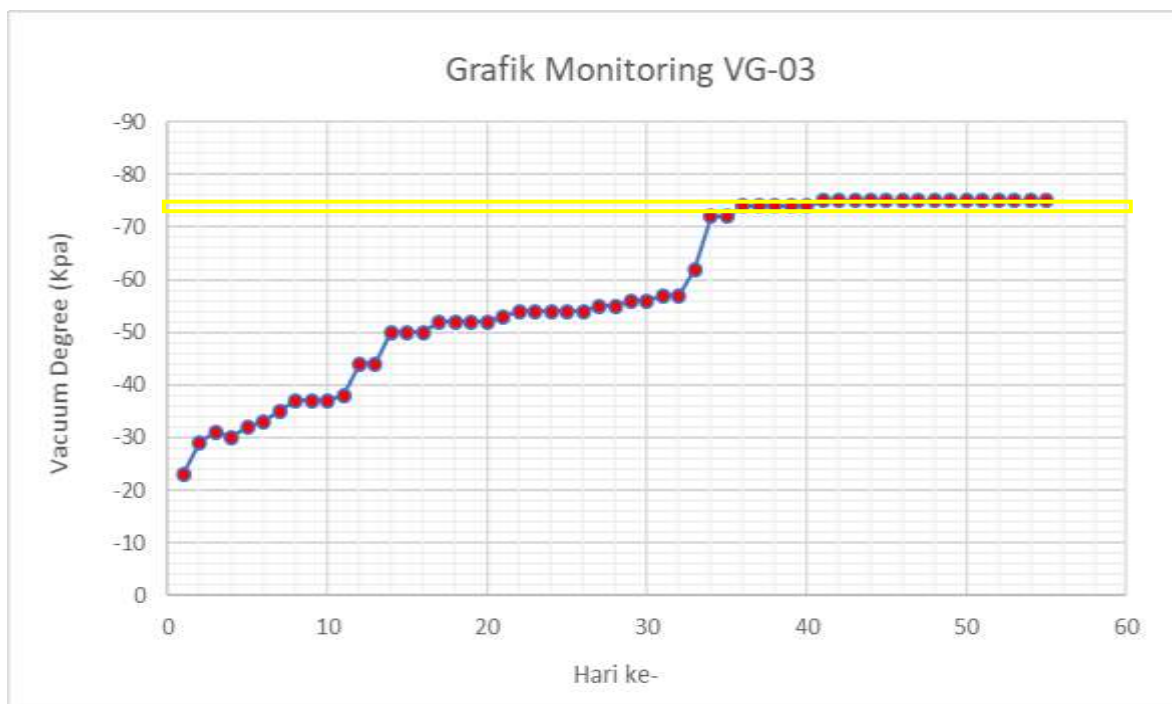
$$= 69,4/76 \times 101,3 \text{ Kpa}$$

$$= 92,5 \text{ Kpa}$$

Efektifitas pompa vakum sendiri diasumsikan sebesar 80%, maka tekanan efektif yang dapat disalurkan :

$$80\% \times 92,5 \text{ Kpa} \approx 74 \text{ Kpa}$$

Pada **Gambar 4.18** merupakan contoh grafik monitoring VG-03. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa efektifitas pompa vakum dimulai pada bacaan ke-70 atau pada hari ke-35 tanggal 8 Maret 2017 (pada tanda kotak kuning). Grafik monitoring *vacuum gauge* lainnya dapat dilihat pada **Lampiran 6**.



Gambar 4.18 Grafik Monitoring VG-03

(halaman sengaja dikosongkan)



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

1. a. Perbandingan besarnya penurunan aktual dan penurunan teoritis untuk SP-01, SP-02, SP-03, SP-04 berturut-turut adalah sebesar 1,04, 0,933, 1,202, dan 0,99 dengan perbandingan rata-rata 1,04. Dari hasil tersebut terlihat bahwa Penurunan aktual mendekati atau lebih besar dari perhitungan teoritis.  
  
b. Dari teori pendekatan Asaoka diketahui besar prediksi penurunan akhir SP-01, SP-02, SP-03, SP-04 berturut-turut adalah sebesar 1717,7 mm, 1296,6 mm, 1711,36 mm, 1459,7 mm.
2. a. Derajat konsolidasi rata-rata *settlement plate* sebesar 87,62% sedangkan derajat konsolidasi berdasarkan monitoring *piezometer* sebesar 79,1%. Hasil ini lebih kecil dibandingkan derajat konsolidasi *Settlement Plate*.  
  
b. Sesuai dengan syarat kestabilan yang dibutuhkan untuk monitoring *Inclinometer* timbunan serta tekanan dari pompa vakum pada area Cluster D, pergeseran lateral maksimum yang terjadi di bawah tanah tidak menunjukkan indikasi longsor baik arah A (Utara-Selatan) maupun B (Timur-Barat). Hal ini terjadi karena pergeseran lateral vakum mengarah kedalam tanah.  
  
c. Sesuai dengan koreksi tekanan atmosfer yang telah dilakukan, untuk *VG1*, *VG2*, *VG3*, *VG4* hasil monitoring terlihat bahwa efektifitas pompa vakum sebesar 74 KPa secara berturut-turut pada bacaan ke 91 (hari ke-45), bacaan ke 63 ( hari ke-31), bacaan ke 70 (hari ke-35) dan bacaan ke 91 (hari ke-45).
3. Dari analisa balik diperoleh rata-rata parameter tanah baru sebagai berikut:

$$Ch/Cv = 3,55$$

$$mv = 0,00104 \text{ m}^2/\text{kN}$$

$$kv = 0,000005 \text{ m/hari}$$

$$Cc = 0,675$$

Parameter tanah tersebut dapat digunakan sebagai referensi apabila ada proyek perluasan lahan selanjutnya dengan lokasi lahan disekitar obyek penelitian.

## 5.2 Saran

1. Titik penyelidikan tanah dasar disarankan harus sesuai dengan lokasi perbaikan tanah agar data yang diperoleh lebih akurat.
2. Untuk pemantauan derajat konsolidasi, wajib digunakan data hasil monitoring dari *settlement plate* dan *piezometer*. Agar dapat mengontrol konsolidasi yang terjadi sesungguhnya.
3. Pekerjaan perbaikan tanah di area cluster D ditunggu hingga mencapai target (90%) dengan kondisi pompa vakum tidak dimatikan.
4. Dari hasil penelitian ini, parameter-parameter tanah baru yang telah diperoleh dapat dijadikan acuan untuk pengerjaan perbaikan tanah di area tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Asaoka, A., 1978, Observational Procedure of Settlement Prediction, Soils and Foundation, No.4.
- B. Indraratna, C. Rujikiatkamjorn, H. Khabbaz, I Sathananthan, M. Shahin. 2005. Analytical and numerical solution for soft clays consolidations using geosynthetic vertical drains with special reference to embankment.
- B. Indraratna, J. Chu, S. Yan. 2008. Vacuum Preloading Techniques-Recent Development and Applications.
- Das, B.M .2006. Buku Mekanika Tanah, Jilid 1
- Ghani, Mashrur A.H. Vacuum Preloading Versus Conventional Embankment Preloading for Accelerating Consolidation Process : A Comparisson Study from Analysis of Full Scale Test
- Kuswanda, Wahyu P. 2016. Perbaikan Tanah Lempung Lunak Metoda Preloading Pada Pembangunan Infrastruktur Transportasi Di Pulau Kalimantan, Seminar Nasional Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat, Banjarmasin, 2016
- Mediatek. 2012. Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Informatika, Mesin dan Sipil vol. 6
- Nawir, H., Apoji, D., Fatimatuzahro, R., Pambudji, M.D., 2012, Prediksi penurunan tanah menggunakan prosedur Asaoka Studi Kasus: Timbunan di Bontang Kalimantan Timur, jurnal teknik sipil, rekayasa sipil vol. 19,pp-133-148
- Panduan Geoteknik 1.2002. Proses Pembentukan dan Sifat-Sifat Dasar Tanah Lunak. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah
- Pasaribu, Togu Hotlan dan Rudi Iskandar. Analisa Penurunan pada Tanah Lunak akibat Timbunan (Studi Kasus Runway Bandara Medan Baru)

PERANCANGAN *PREFABRICATED VERTICAL DRAIN* (PVD), Pedoman Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil (Rancangan-1), Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

Wahyudi, Herman. Dr.Ir .DEA.1997. Teknik Reklamasi, Surabaya

Yunias, Lishia. 2010. Analisa Balik Parameter Desain Preloading Dengan Vertical Drains – Studi Kasus Perbaikan Tanah PT. Pupuk Kaltim Bontang. Skripsi. Jakarta. Universitas Bina Nusantara  
Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. *Mekanika Tanah 2*. Yogyakarta:

## LAMPIRAN

Lampiran 1. Data boring log, N-SPT dan data tanah hasil uji coba laboratorium

BORING LOG										Hole No.	BH-2								
Project : PERSEKAWAN TANAH DASAR LURAK MITOGA VACUUM + PERSEKAWAN PROYEK PEMBANGUNAN KAWASAN KOTA SUMBARANG				Title : Rilye boring		Site location : TONG		Date : 20.10.2018		Soil Tester : Ade									
Location : SANGUNG				Scale : 1:100		Date : 20.10.2018		Checked by : Shuman		Approved by :									
Coordinates		Easting		North		Easting		North		Easting									
X		Y		Z		X		Y		Z									
Date	Ground Water Level (m)	Depth (m)	Graph Symbol	ROCK/SOIL DESCRIPTION	USCS Chart	Core Recovery (%)	ROCK CLASSIFICATION		Core Dia. & Barrel Type	LL PENETRATION TEST						Depth (m)	Soil/rock Sample		
							Class	Joint Interval		N Value			GRAPH (N Value)						
										H1	H2	H3	H1	H2	H3				
Casting/inserted & Dia.		H1		H2		H3		H1		H2		H3							
				Lapis lempungan Adu kaiberman Lunak															
				Lapis pasir Adu kaiberman Lunak - Kaku															
				Lapis lempungan Adu kaiberman Kaku															
				Lapis pasir Adu kaiberman Kaku															
				Pasir lempuan Adu - abu Medium															
				Pasir lempuan Hijau Padat															









SOIL TESTING LABORATORY									
Project		: PERBAIKAN TANAH DASAR LUNAK KOTA SUMMARECON				Check by		: Sri	
Location		: Bandung				Date		: Nov. 2016	
						Boring No.		: BH - 2	
Laboratory Test Resume									
No. Sample				UDS 1	UDS 2	UDS 3	UDS 4	UDS 5	
Depth				1.00 - 1.45	5.00 - 5.45	9.00 - 9.45	15.00 - 15.45	19.00 - 19.45	
Index Properties		symbol	unit						
1.	Density	$\gamma$	t/m <sup>3</sup>	1.523	1.268	1.257	1.172	1.292	
2.	Water content	$\omega$	%	61.18	64.63	55.47	63.49	56.50	
3.	Specific of gravity	$G_s$	-	2.50	2.56	2.61	2.53	2.54	
	Void ratio	$e$	-	1.64	2.32	2.22	2.52	2.08	
	Porosity	$n$	-	0.62	0.70	0.69	0.72	0.68	
	Degree of saturation	$S_r$	%	93.00	71.24	65.05	63.57	69.05	
4.	Plastic limit	PL	%	39.37	50.81	38.43	51.65	41.36	
	Liquid limit	LL	%	64.11	65.08	56.11	64.10	56.98	
	Plasticity index	PI	%	24.74	14.27	17.68	12.45	15.62	
5.	Grain size	Gravel	G	%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Sand	S	%	2.54	7.42	22.45	4.10	29.42
		Silt	M	%	78.55	85.34	68.71	51.07	63.08
		Clay	C	%	18.91	7.24	8.84	44.83	7.50
Engineering properties									
6.	Unconfined	$q_u$	kg/cm <sup>2</sup>	0.378	-	0.142	0.072	0.281	
	Compression Test	$q_u'$	kg/cm <sup>2</sup>	0.225	-	0.106	0.048	0.187	
		$S_t$	-	1.684	-	1.333	1.500	1.500	
		$c_u$	kg/cm <sup>2</sup>	0.189	-	0.071	0.036	0.140	
7.	Triaxial - UU Test	$\phi$	°	6.03	-	5.10	34.10	6.62	
		$c$	kg/cm <sup>2</sup>	0.142	-	0.078	0.055	0.100	
8.	Direct Shear Test	$\phi$	°	-	5.26	-	-	-	
		$c$	kg/cm <sup>2</sup>	-	0.004	-	-	-	
9.	Consolidation Test	$C_c$	-	0.4341	1.4583	1.2111	1.3704	0.6744	
		$C_v$	cm <sup>2</sup> /detik	6.793E-04	5.696E-04	6.217E-04	3.682E-04	6.673E-04	

SOIL TESTING LABORATORY									
Project		: PERBAIKAN TANAH DASAR LUNAK KOTA SUMMARECON				Check by		: Sri	
Location		: Bandung				Date		: Nov. 2016	
						Boring No.		: BH - 5	
Laboratory Test Resume									
No. Sample				UDS 1	UDS 2	UDS 3	UDS 4	UDS 5	
Depth				5.00 - 5.45	8.00 - 9.45	15.00 - 15.45	19.00 - 19.45	23.00 - 23.45	
Index Properties		symbol	unit						
1.	Density	$\gamma$	t/m <sup>3</sup>	1.233	1.264	1.251	1.139	1.226	
2.	Water content	$\omega$	%	62.51	63.45	56.86	58.51	62.69	
3.	Specific of gravity	G <sub>s</sub>	-	2.48	2.52	2.53	2.55	2.56	
	Void ratio	e	-	2.27	2.25	2.17	2.55	2.40	
	Porosity	n	-	0.69	0.69	0.68	0.72	0.71	
	Degree of saturation	S <sub>r</sub>	%	68.27	70.86	66.23	58.51	66.90	
4.	Plastic limit	PL	%	46.72	39.13	40.53	40.01	41.26	
	Liquid limit	LL	%	62.99	63.88	57.17	59.08	63.06	
	Plasticity index	PI	%	16.28	24.76	16.64	19.07	21.80	
5.	Grain size	Gravel	G	%	0.00	0.61	0.25	0.00	0.62
		Sand	S	%	3.03	25.35	31.15	39.27	49.85
		silt	M	%	66.67	66.70	50.76	54.26	47.03
		Clay	C	%	10.30	7.34	17.84	6.47	2.50
Engineering properties									
6.	Unconfined	q <sub>u</sub>	kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-	0.037	0.225	
	Compression Test	q <sub>u</sub> '	kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-	0.024	0.160	
		S <sub>t</sub>	-	-	-	-	1.516	1.407	
		c <sub>u</sub>	kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-	0.018	0.112	
7.	Triaxial - UU Test	$\phi$	°	-	-	-	3.42	3.85	
		c	kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-	0.013	0.089	
8.	Direct Shear Test	$\phi$	°	1.78	2.54	3.42	-	-	
		c	kg/cm <sup>2</sup>	0.0040	0.0054	0.0042	-	-	
9.	Consolidation Test	G <sub>c</sub>	-	0.9931	1.1449	1.2583	1.2683	1.0005	
		C <sub>v</sub>	cm <sup>2</sup> /detik	5.278E-04	6.442E-04	5.109E-04	4.708E-04	5.882E-04	

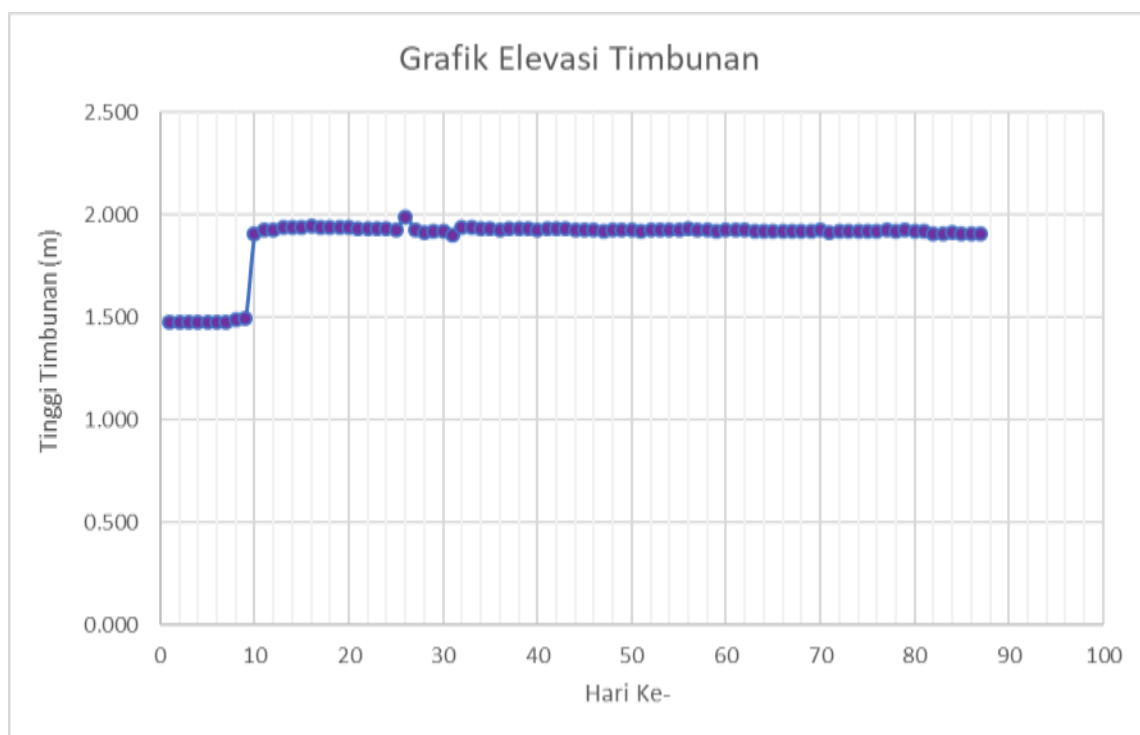
**Lampiran 2. Data monitoring *settlement plate*, grafik monitoring Vacuum Gauge serta penurunan**

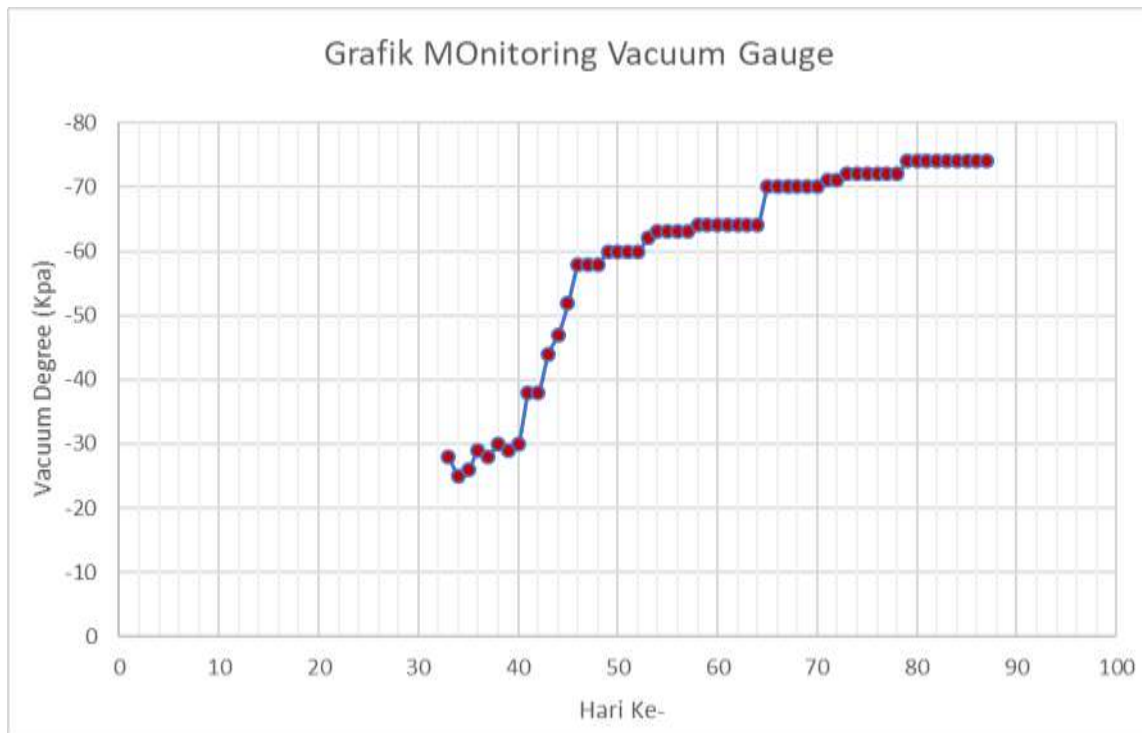
- Sp-01

Tanggal	Hari ke -	Tinggi Timbunan (m)	Vacuum Degree (Kpa)	Total Penurunan Lapangan (mm)
30 Dec 16	IR	1.487	-	0
31 Dec 16	1	1.480		-7
1 Jan 17	2	1.480		-7
2 Jan 17	3	1.480		-7
3 Jan 17	4	1.480		-7
4 Jan 17	5	1.480		-7
5 Jan 17	6	1.480		-7
6 Jan 17	7	1.480		-7
7 Jan 17	8	1.489		-31
8 Jan 17	9	1.497		-39
9 Jan 17	10	1.911		-46
10 Jan 17	11	1.924		-59
11 Jan 17	12	1.930		-68
12 Jan 17	13	1.938		-75
13 Jan 17	14	1.942		-81
14 Jan 17	15	1.942		-81
15 Jan 17	16	1.943		-82
16 Jan 17	17	1.942		-81
17 Jan 17	18	1.939		-81
18 Jan 17	19	1.941		-83
19 Jan 17	20	1.942		-84
20 Jan 17	21	1.934		-87
21 Jan 17	22	1.936		-89
22 Jan 17	23	1.931		-89
23 Jan 17	24	1.932		-90
24 Jan 17	25	1.929		-94
25 Jan 17	26	1.992		-97
26 Jan 17	27	1.924		-97
27 Jan 17	28	1.915		-98
28 Jan 17	29	1.920		-102
29 Jan 17	30	1.918		-103
30 Jan 17	31	1.903		-127
31 Jan 17	32	1.937		-142
1 Feb 17	33	1.937	-28	-159
2 Feb 17	34	1.936	-25	-188
3 Feb 17	35	1.934	-26	-231
4 Feb 17	36	1.930	-29	-275

5 Feb 17	37	1.935	-28	-304
6 Feb 17	38	1.932	-30	-329
7 Feb 17	39	1.931	-29	-351
8 Feb 17	40	1.930	-30	-374
9 Feb 17	41	1.932	-38	-409
10 Feb 17	42	1.933	-38	-434
11 Feb 17	43	1.931	-44	-465
12 Feb 17	44	1.929	-47	-513
13 Feb 17	45	1.927	-52	-563
14 Feb 17	46	1.927	-58	-648
15 Feb 17	47	1.923	-58	-708
16 Feb 17	48	1.926	-58	-767
17 Feb 17	49	1.925	-60	-816
18 Feb 17	50	1.924	-60	-854
19 Feb 17	51	1.922	-60	-884
20 Feb 17	52	1.929	-60	-918
21 Feb 17	53	1.924	-62	-947
22 Feb 17	54	1.927	-63	-979
23 Feb 17	55	1.924	-63	-1011
24 Feb 17	56	1.933	-63	-1034
25 Feb 17	57	1.926	-63	-1060
26 Feb 17	58	1.924	-64	-1079
27 Feb 17	59	1.923	-64	-1101
28 Feb 17	60	1.925	-64	-1117
1 Mar 17	61	1.927	-64	-1139
2 Mar 17	62	1.924	-64	-1151
3 Mar 17	63	1.923	-64	-1165
4 Mar 17	64	1.922	-64	-1180
5 Mar 17	65	1.922	-70	-1191
6 Mar 17	66	1.922	-70	-1204
7 Mar 17	67	1.923	-70	-1218
8 Mar 17	68	1.922	-70	-1235
9 Mar 17	69	1.921	-70	-1245
10 Mar 17	70	1.925	-70	-1258
11 Mar 17	71	1.917	-71	-1280
12 Mar 17	72	1.922	-71	-1297
13 Mar 17	73	1.922	-72	-1307
14 Mar 17	74	1.922	-72	-1317
15 Mar 17	75	1.922	-72	-1326
16 Mar 17	76	1.921	-72	-1333
17 Mar 17	77	1.926	-72	-1348
18 Mar 17	78	1.923	-72	-1354
19 Mar 17	79	1.925	-74	-1361

20 Mar 17	80	1.921	-74	-1370
21 Mar 17	81	1.920	-74	-1379
22 Mar 17	82	1.906	-74	-1390
23 Mar 17	83	1.907	-74	-1401
24 Mar 17	84	1.912	-74	-1411
25 Mar 17	85	1.906	-74	-1422
26 Mar 17	86	1.909	-74	-1436
27 Mar 17	87	1.909	-74	-1444





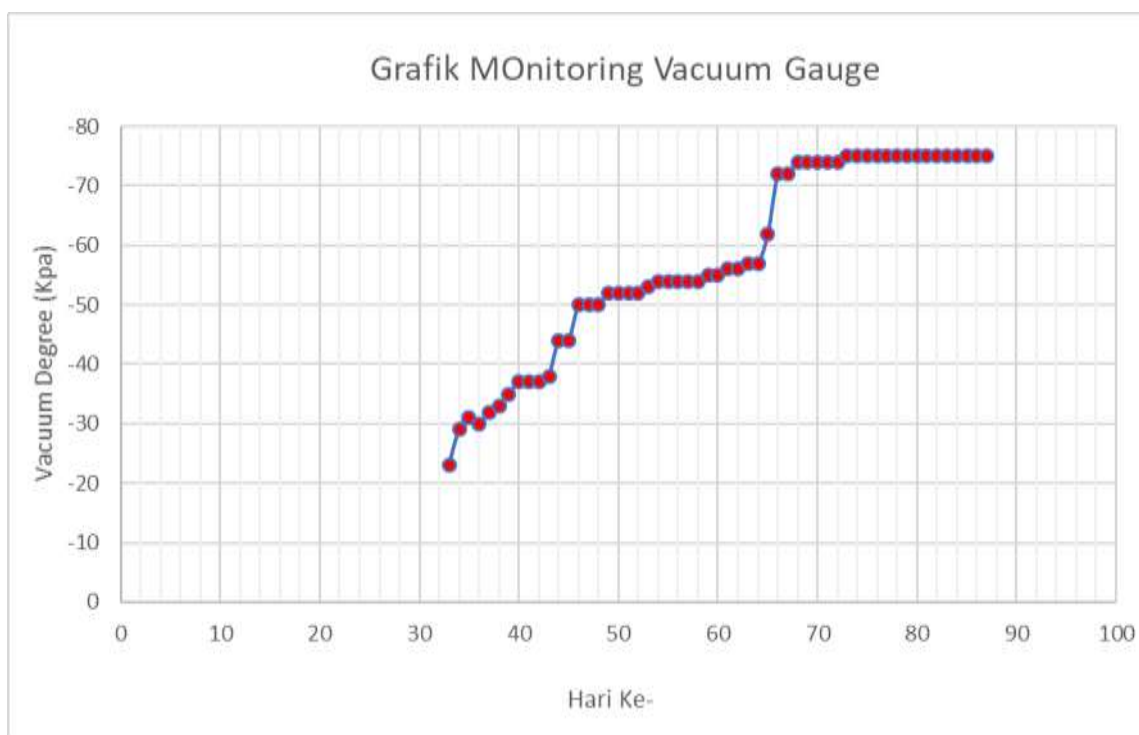
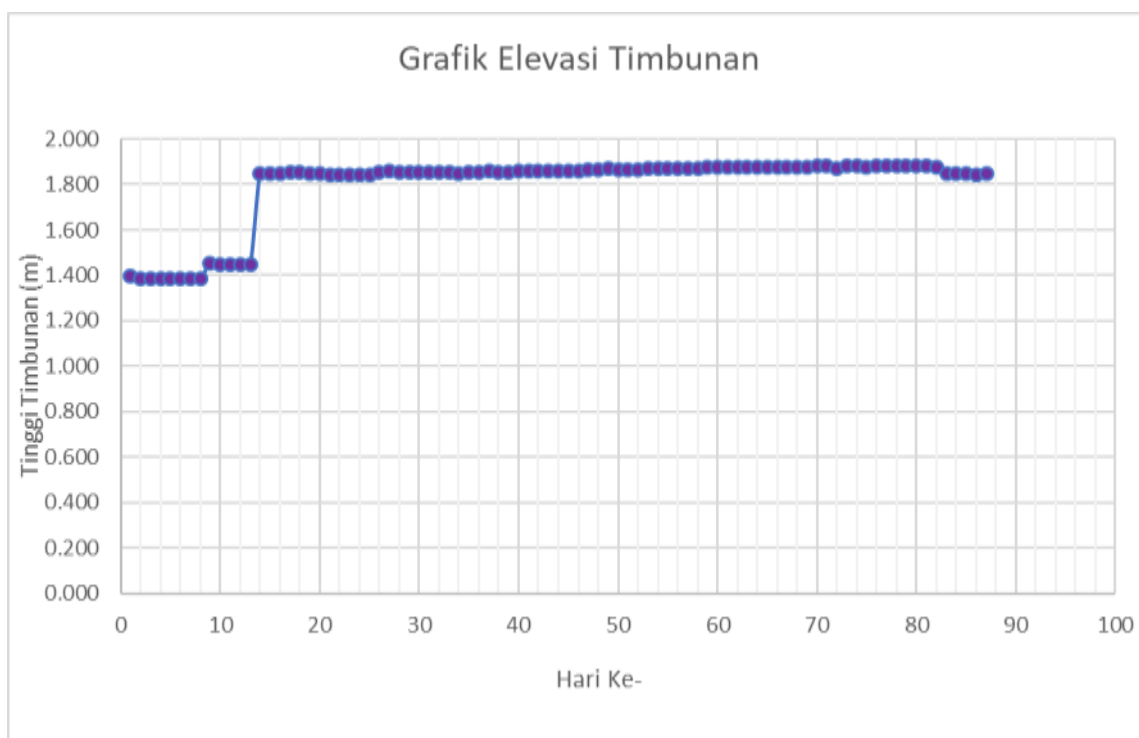
- SP-02

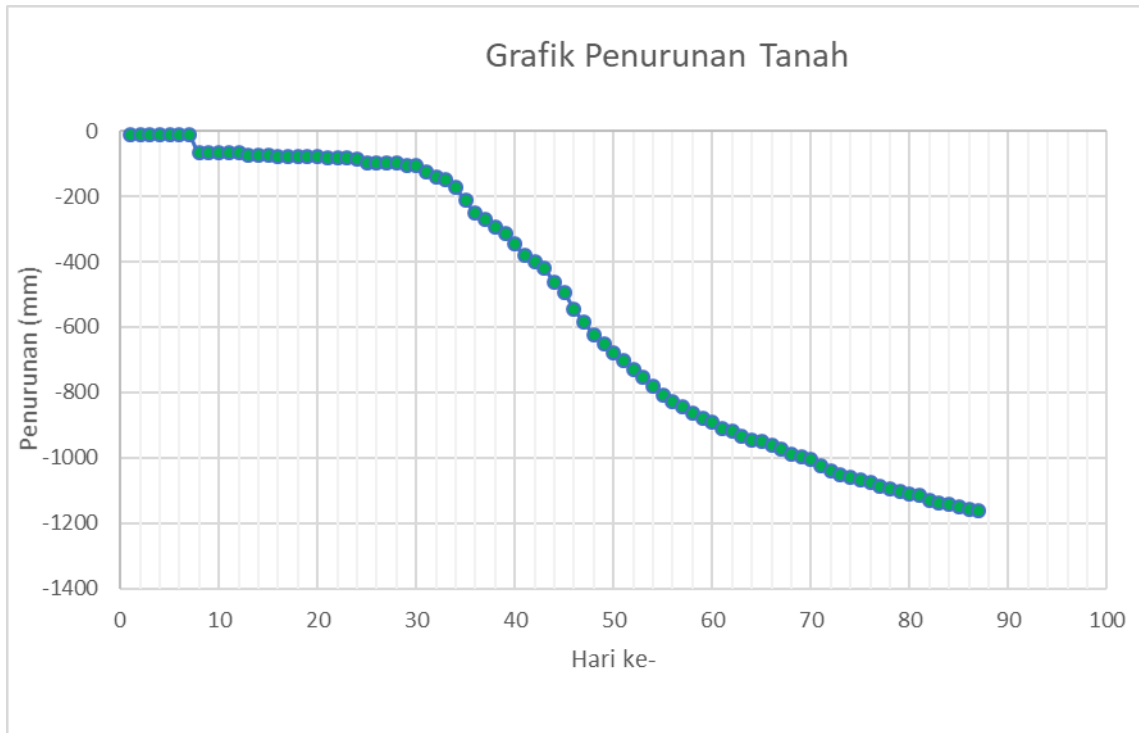
Tanggal	Hari ke -	Tinggi Timbunan (mm)	Vacuum Degree (Kpa)	Total Penurunan (mm)
30 Dec 16	IR	1.395	-	0
31 Dec 16	1	1.386		-10
1 Jan 17	2	1.386		-10
2 Jan 17	3	1.386		-10
3 Jan 17	4	1.386		-10
4 Jan 17	5	1.386		-10
5 Jan 17	6	1.386		-10
6 Jan 17	7	1.386		-10
7 Jan 17	8	1.453		-68
8 Jan 17	9	1.447		-68
9 Jan 17	10	1.445		-68
10 Jan 17	11	1.445		-68
11 Jan 17	12	1.445		-68
12 Jan 17	13	1.847		-73
13 Jan 17	14	1.850		-76
14 Jan 17	15	1.850		-76
15 Jan 17	16	1.851		-77
16 Jan 17	17	1.851		-77
17 Jan 17	18	1.847		-79
18 Jan 17	19	1.849		-79
19 Jan 17	20	1.844		-79
20 Jan 17	21	1.840		-81
21 Jan 17	22	1.845		-83
22 Jan 17	23	1.840		-84
23 Jan 17	24	1.841		-85
24 Jan 17	25	1.853		-98
25 Jan 17	26	1.858		-99
26 Jan 17	27	1.852		-99
27 Jan 17	28	1.851		-100
28 Jan 17	29	1.855		-105
29 Jan 17	30	1.852		-107
30 Jan 17	31	1.851		-126
31 Jan 17	32	1.851		-141
1 Feb 17	33	1.848	-23	-150
2 Feb 17	34	1.851	-29	-174
3 Feb 17	35	1.855	-31	-213
4 Feb 17	36	1.857	-30	-250
5 Feb 17	37	1.853	-32	-272
6 Feb 17	38	1.856	-33	-293

7 Feb 17	39	1.858	-35	-315
8 Feb 17	40	1.858	-37	-346
9 Feb 17	41	1.859	-37	-380
10 Feb 17	42	1.859	-37	-400
11 Feb 17	43	1.860	-38	-421
12 Feb 17	44	1.861	-44	-462
13 Feb 17	45	1.860	-44	-494
14 Feb 17	46	1.863	-50	-544
15 Feb 17	47	1.863	-50	-585
16 Feb 17	48	1.868	-50	-622
17 Feb 17	49	1.865	-52	-653
18 Feb 17	50	1.866	-52	-680
19 Feb 17	51	1.867	-52	-704
20 Feb 17	52	1.870	-52	-730
21 Feb 17	53	1.872	-53	-754
22 Feb 17	54	1.871	-54	-780
23 Feb 17	55	1.873	-54	-808
24 Feb 17	56	1.873	-54	-826
25 Feb 17	57	1.873	-54	-845
26 Feb 17	58	1.876	-54	-863
27 Feb 17	59	1.874	-55	-879
28 Feb 17	60	1.877	-55	-892
1 Mar 17	61	1.878	-56	-909
2 Mar 17	62	1.875	-56	-919
3 Mar 17	63	1.877	-57	-933
4 Mar 17	64	1.878	-57	-944
5 Mar 17	65	1.877	-62	-951
6 Mar 17	66	1.876	-72	-961
7 Mar 17	67	1.877	-72	-971
8 Mar 17	68	1.877	-74	-989
9 Mar 17	69	1.879	-74	-998
10 Mar 17	70	1.879	-74	-1005
11 Mar 17	71	1.870	-74	-1023
12 Mar 17	72	1.879	-74	-1040
13 Mar 17	73	1.879	-75	-1050
14 Mar 17	74	1.878	-75	-1059
15 Mar 17	75	1.879	-75	-1067
16 Mar 17	76	1.880	-75	-1076
17 Mar 17	77	1.879	-75	-1085
18 Mar 17	78	1.880	-75	-1094
19 Mar 17	79	1.880	-75	-1102
20 Mar 17	80	1.880	-75	-1111
21 Mar 17	81	1.877	-75	-1116



22 Mar 17	82	1.850	-75	-1129
23 Mar 17	83	1.849	-75	-1138
24 Mar 17	84	1.846	-75	-1142
25 Mar 17	85	1.845	-75	-1149
26 Mar 17	86	1.846	-75	-1156
27 Mar 17	87	1.843	-75	-1162



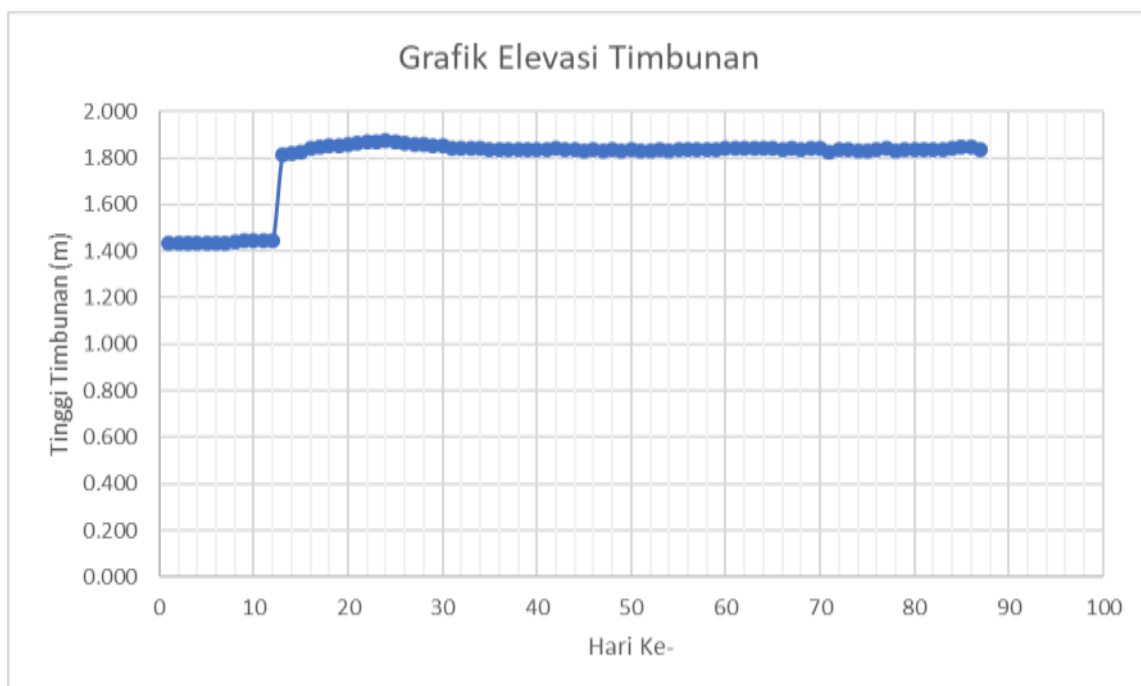


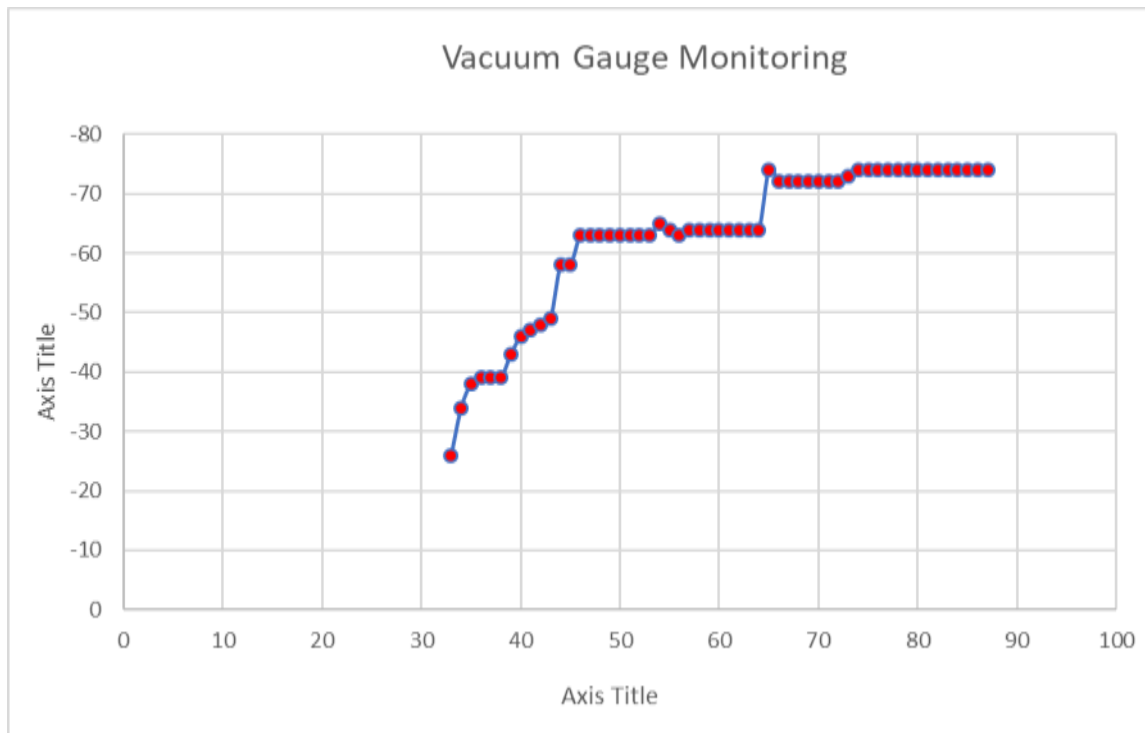
- Sp-03

Tanggal	Hari ke -	Tinggi Timbunan (mm)	Vacuum Degree (Kpa)	Total Penurunan (mm)
30 Dec 16	IR	1.441	-	0
31 Dec 16	1	1.435		-11
1 Jan 17	2	1.435		-11
2 Jan 17	3	1.435		-11
3 Jan 17	4	1.435		-11
4 Jan 17	5	1.435		-11
5 Jan 17	6	1.435		-11
6 Jan 17	7	1.435		-11
7 Jan 17	8	1.441		-34
8 Jan 17	9	1.443		-34
9 Jan 17	10	1.443		-34
10 Jan 17	11	1.443		-34
11 Jan 17	12	1.443		-34
12 Jan 17	13	1.813		-62
13 Jan 17	14	1.820		-69
14 Jan 17	15	1.827		-82
15 Jan 17	16	1.844		-94
16 Jan 17	17	1.847		-98
17 Jan 17	18	1.852		-102

18 Jan 17	19	1.855		-105
19 Jan 17	20	1.856		-106
20 Jan 17	21	1.862		-112
21 Jan 17	22	1.867		-117
22 Jan 17	23	1.871		-121
23 Jan 17	24	1.874		-124
24 Jan 17	25	1.869		-132
25 Jan 17	26	1.866		-136
26 Jan 17	27	1.859		-137
27 Jan 17	28	1.860		-137
28 Jan 17	29	1.855		-144
29 Jan 17	30	1.852		-148
30 Jan 17	31	1.841		-177
31 Jan 17	32	1.844		-198
1 Feb 17	33	1.839	-26	-216
2 Feb 17	34	1.840	-34	-255
3 Feb 17	35	1.838	-38	-311
4 Feb 17	36	1.838	-39	-362
5 Feb 17	37	1.838	-39	-402
6 Feb 17	38	1.837	-39	-431
7 Feb 17	39	1.838	-43	-462
8 Feb 17	40	1.836	-46	-508
9 Feb 17	41	1.837	-47	-564
10 Feb 17	42	1.839	-48	-595
11 Feb 17	43	1.837	-49	-624
12 Feb 17	44	1.835	-58	-682
13 Feb 17	45	1.833	-58	-728
14 Feb 17	46	1.834	-63	-800
15 Feb 17	47	1.833	-63	-855
16 Feb 17	48	1.835	-63	-902
17 Feb 17	49	1.833	-63	-945
18 Feb 17	50	1.835	-63	-981
19 Feb 17	51	1.832	-63	-1012
20 Feb 17	52	1.832	-63	-1042
21 Feb 17	53	1.837	-63	-1074
22 Feb 17	54	1.832	-65	-1105
23 Feb 17	55	1.837	-64	-1142
24 Feb 17	56	1.838	-63	-1167
25 Feb 17	57	1.838	-64	-1193
26 Feb 17	58	1.835	-64	-1215
27 Feb 17	59	1.837	-64	-1235
28 Feb 17	60	1.839	-64	-1254
1 Mar 17	61	1.839	-64	-1273

2 Mar 17	62	1.839	-64	-1290
3 Mar 17	63	1.839	-64	-1307
4 Mar 17	64	1.839	-64	-1322
5 Mar 17	65	1.840	-74	-1334
6 Mar 17	66	1.838	-72	-1346
7 Mar 17	67	1.839	-72	-1359
8 Mar 17	68	1.834	-72	-1380
9 Mar 17	69	1.840	-72	-1393
10 Mar 17	70	1.839	-72	-1402
11 Mar 17	71	1.827	-72	-1420
12 Mar 17	72	1.835	-72	-1443
13 Mar 17	73	1.837	-73	-1452
14 Mar 17	74	1.832	-74	-1464
15 Mar 17	75	1.833	-74	-1473
16 Mar 17	76	1.835	-74	-1483
17 Mar 17	77	1.839	-74	-1493
18 Mar 17	78	1.828	-74	-1501
19 Mar 17	79	1.835	-74	-1508
20 Mar 17	80	1.836	-74	-1518
21 Mar 17	81	1.838	-74	-1524
22 Mar 17	82	1.835	-74	-1537
23 Mar 17	83	1.836	-74	-1548
24 Mar 17	84	1.844	-74	-1564
25 Mar 17	85	1.848	-74	-1571
26 Mar 17	86	1.848	-74	-1573
27 Mar 17	87	1.838	-74	-1578



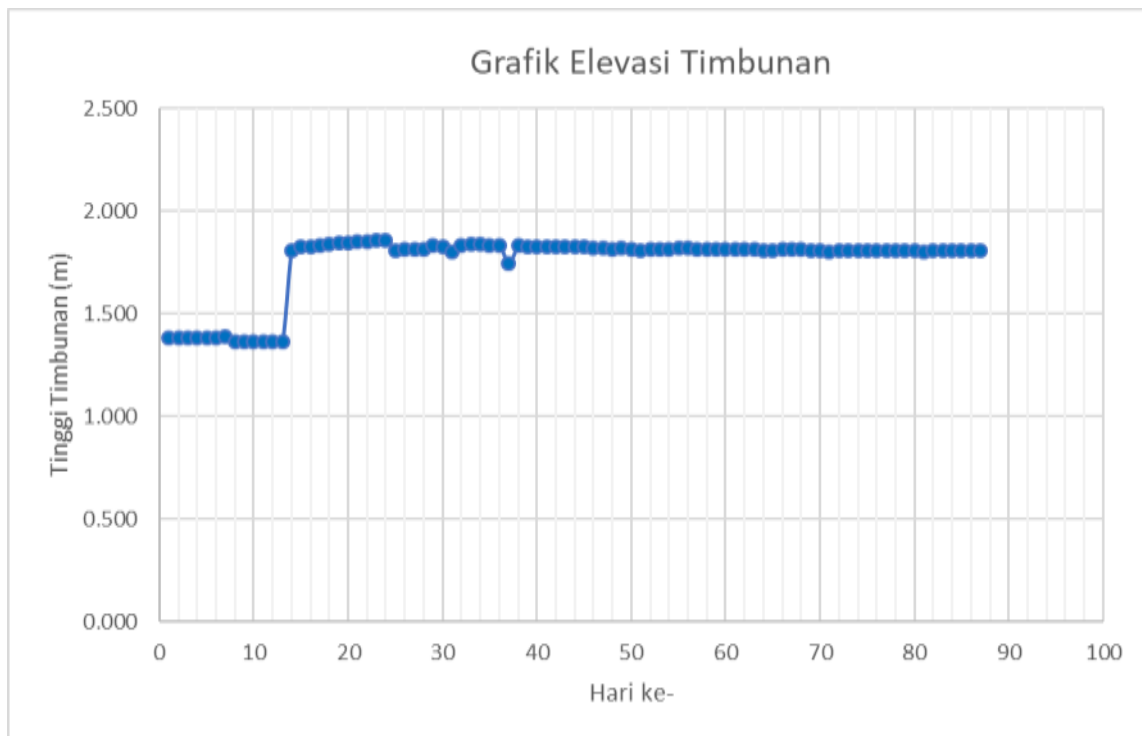


- Sp-04

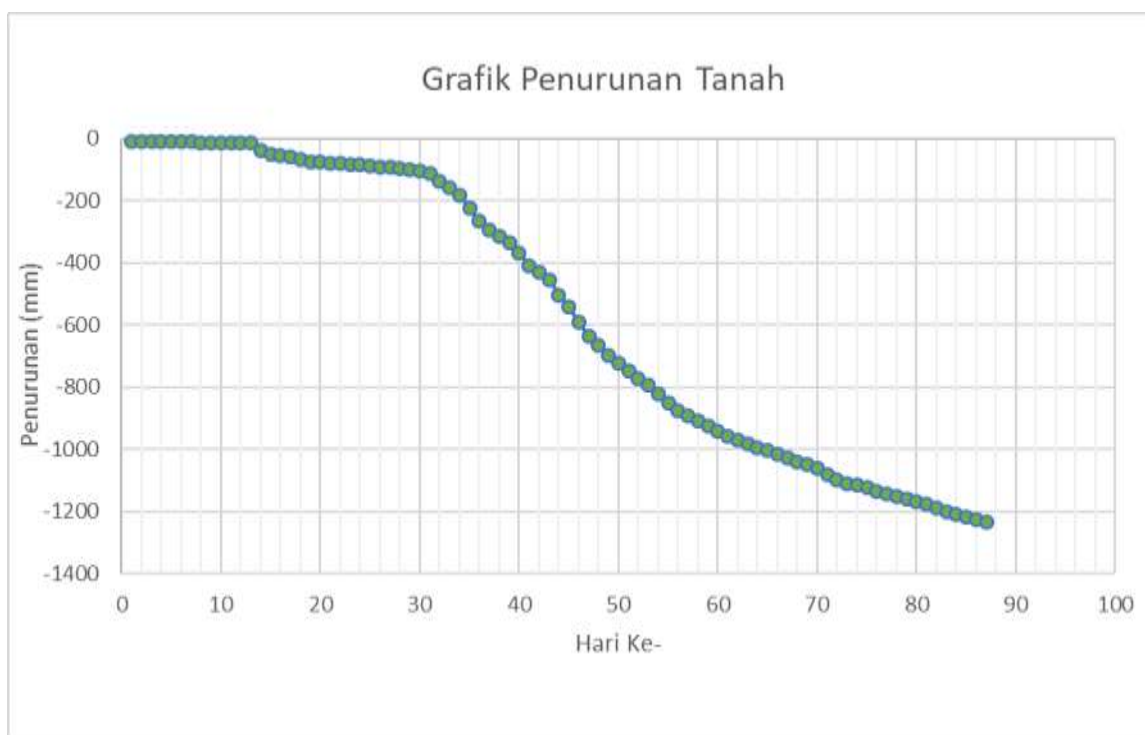
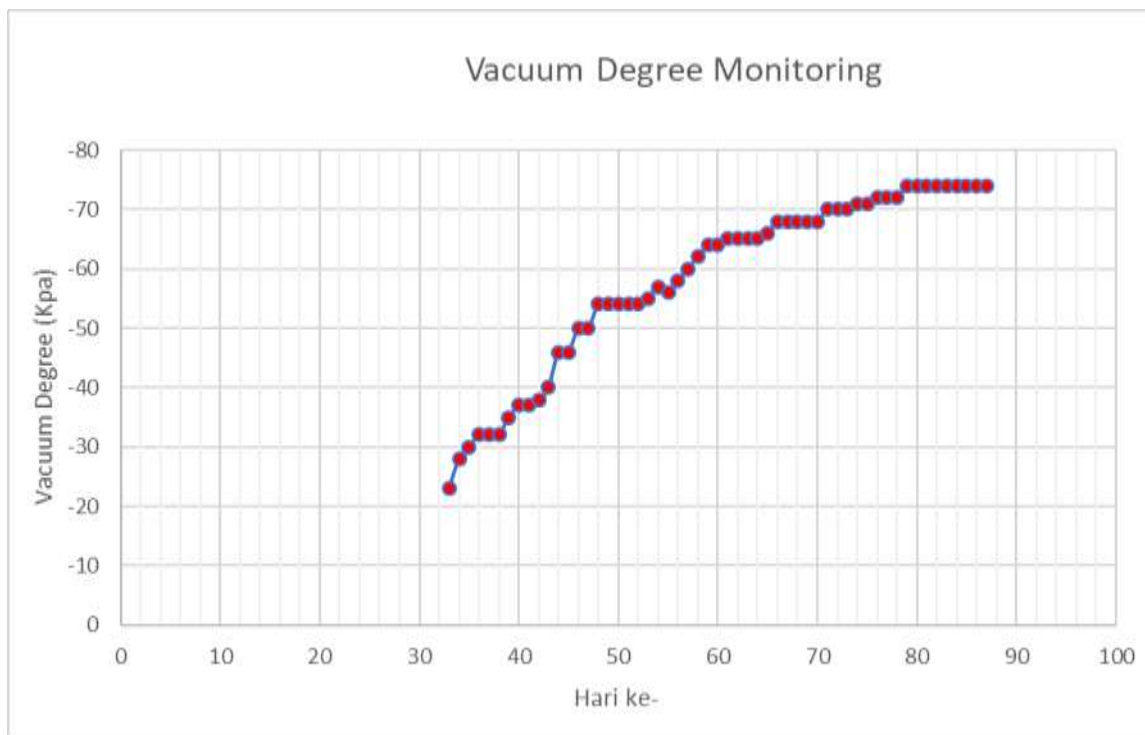
Tanggal	Hari ke -	Tinggi Timbunan (mm)	Vacuum Degree (Kpa)	Total Penurunan (mm)
30 Dec 16	<i>IR</i>	<i>1.392</i>	-	<i>0</i>
31 Dec 16	1	1.385		-8
1 Jan 17	2	1.385		-8
2 Jan 17	3	1.385		-8
3 Jan 17	4	1.385		-8
4 Jan 17	5	1.385		-8
5 Jan 17	6	1.385		-8
6 Jan 17	7	1.387		-10
7 Jan 17	8	1.366		-12
8 Jan 17	9	1.366		-12
9 Jan 17	10	1.367		-13
10 Jan 17	11	1.367		-13
11 Jan 17	12	1.367		-13
12 Jan 17	13	1.367		-13
13 Jan 17	14	1.810		-37
14 Jan 17	15	1.824		-51
15 Jan 17	16	1.828		-55
16 Jan 17	17	1.833		-60
17 Jan 17	18	1.839		-66
18 Jan 17	19	1.846		-73
19 Jan 17	20	1.848		-75
20 Jan 17	21	1.852		-79
21 Jan 17	22	1.853		-80
22 Jan 17	23	1.856		-83
23 Jan 17	24	1.858		-85
24 Jan 17	25	1.810		-87
25 Jan 17	26	1.817		-92
26 Jan 17	27	1.815		-93
27 Jan 17	28	1.812		-95
28 Jan 17	29	1.833		-100
29 Jan 17	30	1.826		-103
30 Jan 17	31	1.802		-111
31 Jan 17	32	1.834		-135
1 Feb 17	33	1.838	-23	-157
2 Feb 17	34	1.841	-28	-184
3 Feb 17	35	1.834	-30	-224
4 Feb 17	36	1.835	-32	-266
5 Feb 17	37	1.745	-32	-292
6 Feb 17	38	1.831	-32	-314

7 Feb 17	39	1.830	-35	-336
8 Feb 17	40	1.830	-37	-369
9 Feb 17	41	1.829	-37	-407
10 Feb 17	42	1.827	-38	-430
11 Feb 17	43	1.830	-40	-454
12 Feb 17	44	1.827	-46	-502
13 Feb 17	45	1.825	-46	-541
14 Feb 17	46	1.821	-50	-592
15 Feb 17	47	1.820	-50	-634
16 Feb 17	48	1.817	-54	-665
17 Feb 17	49	1.818	-54	-697
18 Feb 17	50	1.815	-54	-723
19 Feb 17	51	1.811	-54	-747
20 Feb 17	52	1.817	-54	-770
21 Feb 17	53	1.814	-55	-794
22 Feb 17	54	1.815	-57	-821
23 Feb 17	55	1.818	-56	-852
24 Feb 17	56	1.818	-58	-873
25 Feb 17	57	1.817	-60	-892
26 Feb 17	58	1.813	-62	-907
27 Feb 17	59	1.812	-64	-925
28 Feb 17	60	1.813	-64	-939
1 Mar 17	61	1.814	-65	-957
2 Mar 17	62	1.812	-65	-968
3 Mar 17	63	1.815	-65	-984
4 Mar 17	64	1.811	-65	-995
5 Mar 17	65	1.811	-66	-1004
6 Mar 17	66	1.814	-68	-1016
7 Mar 17	67	1.812	-68	-1026
8 Mar 17	68	1.812	-68	-1041
9 Mar 17	69	1.809	-68	-1049
10 Mar 17	70	1.811	-68	-1061
11 Mar 17	71	1.804	-70	-1081
12 Mar 17	72	1.811	-70	-1098
13 Mar 17	73	1.811	-70	-1108
14 Mar 17	74	1.810	-71	-1114
15 Mar 17	75	1.808	-71	-1124
16 Mar 17	76	1.810	-72	-1134
17 Mar 17	77	1.809	-72	-1143
18 Mar 17	78	1.810	-72	-1151
19 Mar 17	79	1.811	-74	-1159
20 Mar 17	80	1.807	-74	-1169
21 Mar 17	81	1.801	-74	-1176

22 Mar 17	82	1.806	-74	-1190
23 Mar 17	83	1.807	-74	-1202
24 Mar 17	84	1.809	-74	-1211
25 Mar 17	85	1.806	-74	-1218
26 Mar 17	86	1.808	-74	-1225
27 Mar 17	87	1.806	-74	-1235







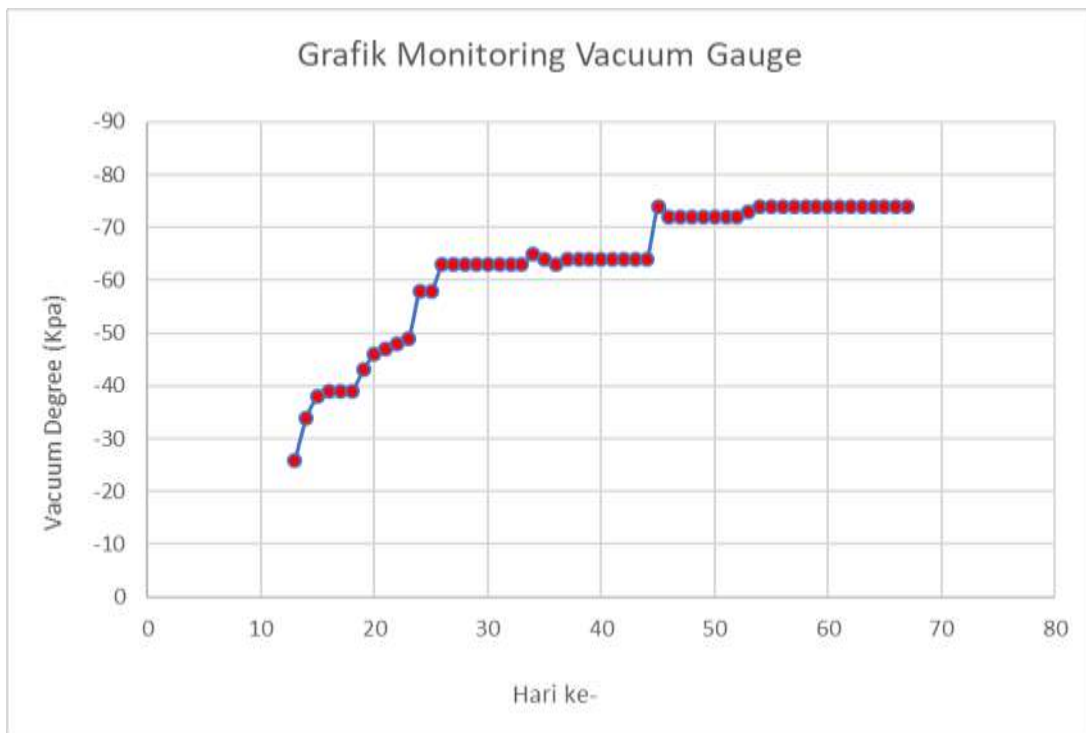
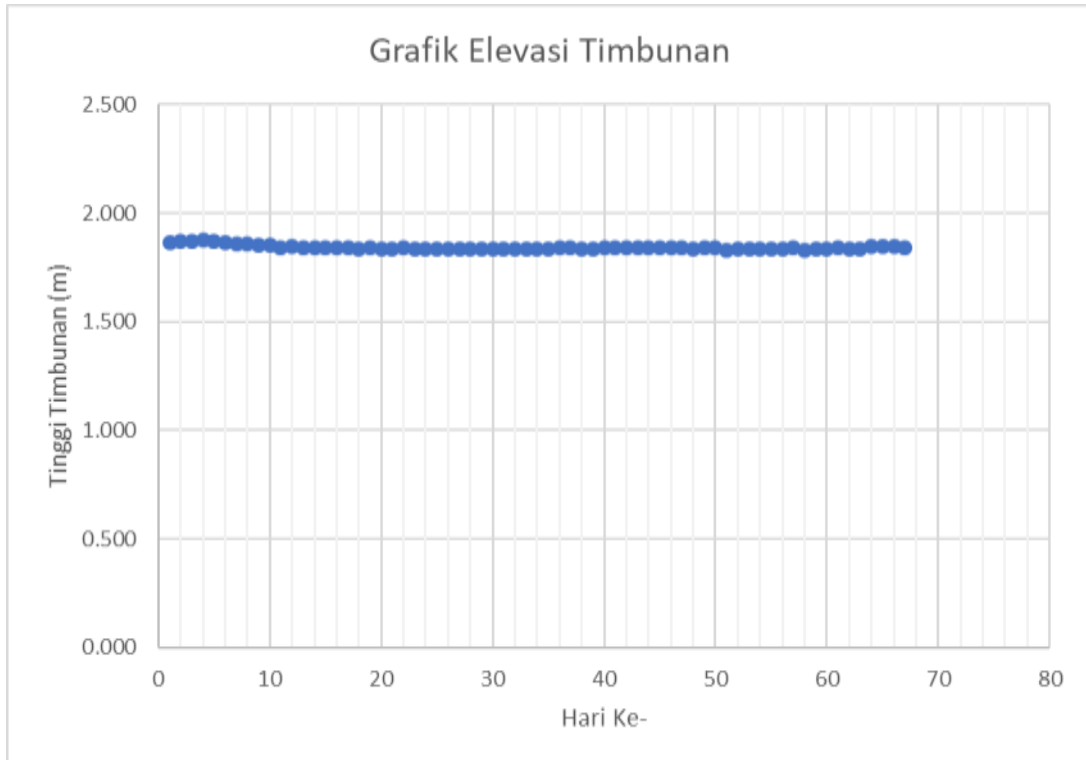
**Lampiran 3. Data *Vibrating wire piezometer***

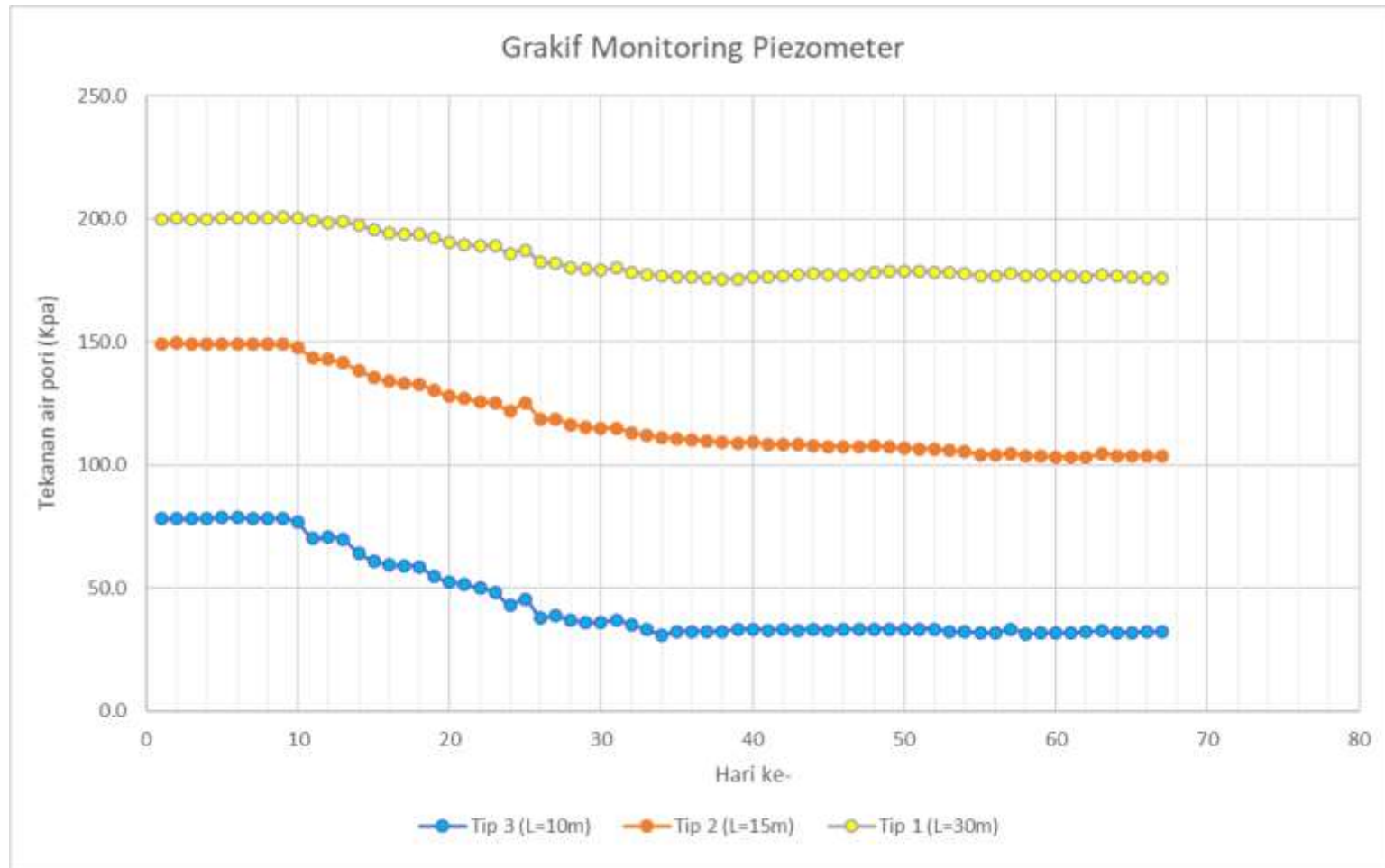
- VWP-02

Tanggal	Hari Ke-	Tekanan Air Pori (Kpa)			Tinggi Timbunan SP.03 (m)	Vacuum Degree VG.01 (Kpa)
		Tip 1 (L= 20m)	Tip 2 (L= 15m)	Tip 3 (L= 10m)		
19 Jan 17	IR	-	-	-	1.856	-
20 Jan 17	1	199.8	149.3	78.1	1.862	
21 Jan 17	2	200.1	149.6	78.2	1.867	
22 Jan 17	3	199.8	149.0	78.1	1.871	
23 Jan 17	4	200.0	149.1	78.4	1.874	
24 Jan 17	5	200.3	149.3	78.7	1.869	
25 Jan 17	6	200.5	149.4	78.7	1.866	
26 Jan 17	7	200.5	149.1	78.5	1.859	
27 Jan 17	8	200.5	149.0	78.5	1.860	
28 Jan 17	9	200.6	149.0	78.4	1.855	
29 Jan 17	10	200.5	147.9	76.8	1.852	
30 Jan 17	11	199.5	143.7	70.3	1.841	
31 Jan 17	12	198.7	142.9	70.8	1.844	
1 Feb 17	13	198.8	141.7	69.9	1.839	-26
2 Feb 17	14	197.7	138.6	64.3	1.840	-34
3 Feb 17	15	195.8	135.8	61.2	1.838	-38
4 Feb 17	16	194.4	134.0	59.4	1.838	-39
5 Feb 17	17	193.8	133.2	59.1	1.838	-39
6 Feb 17	18	193.6	132.7	58.8	1.837	-39
7 Feb 17	19	192.4	130.5	54.7	1.838	-43
8 Feb 17	20	190.4	128.1	52.7	1.836	-46

9 Feb 17	21	189.7	127.0	51.5	1.837	-47
10 Feb 17	22	189.2	125.9	50.0	1.839	-48
11 Feb 17	23	188.9	125.2	48.1	1.837	-49
12 Feb 17	24	186.0	122.1	43.0	1.835	-58
13 Feb 17	25	187.4	125.1	45.4	1.833	-58
14 Feb 17	26	182.4	118.9	38.0	1.834	-63
15 Feb 17	27	181.9	118.7	38.8	1.833	-63
16 Feb 17	28	180.3	116.6	36.8	1.835	-63
17 Feb 17	29	179.6	115.5	36.1	1.833	-63
18 Feb 17	30	179.2	114.8	36.0	1.835	-63
19 Feb 17	31	180.0	115.1	37.0	1.832	-63
20 Feb 17	32	178.5	113.2	35.0	1.832	-63
21 Feb 17	33	177.5	112.0	33.2	1.837	-63
22 Feb 17	34	176.7	111.3	31.1	1.832	-65
23 Feb 17	35	176.3	110.7	32.4	1.837	-64
24 Feb 17	36	176.3	110.4	32.4	1.838	-63
25 Feb 17	37	176.1	109.9	32.4	1.838	-64
26 Feb 17	38	175.7	109.3	32.4	1.835	-64
27 Feb 17	39	175.7	109.1	33.1	1.837	-64
28 Feb 17	40	176.4	109.4	33.3	1.839	-64
1 Mar 17	41	176.2	108.4	32.9	1.839	-64
2 Mar 17	42	176.9	108.6	33.0	1.839	-64
3 Mar 17	43	177.2	108.3	33.0	1.839	-64
4 Mar 17	44	178.0	108.0	33.2	1.839	-64
5 Mar 17	45	177.5	107.6	33.0	1.840	-74
6 Mar 17	46	177.4	107.5	33.1	1.838	-72
7 Mar 17	47	177.3	107.3	33.1	1.839	-72

8 Mar 17	48	178.4	107.7	33.3	1.834	-72
9 Mar 17	49	178.7	107.3	33.4	1.840	-72
10 Mar 17	50	178.6	106.9	33.2	1.839	-72
11 Mar 17	51	178.7	106.7	33.4	1.827	-72
12 Mar 17	52	178.5	106.6	33.5	1.835	-72
13 Mar 17	53	178.1	105.8	32.3	1.837	-73
14 Mar 17	54	177.7	105.4	32.2	1.832	-74
15 Mar 17	55	177.0	104.2	31.8	1.833	-74
16 Mar 17	56	177.1	104.1	31.8	1.835	-74
17 Mar 17	57	177.8	104.6	33.2	1.839	-74
18 Mar 17	58	177.1	103.7	31.5	1.828	-74
19 Mar 17	59	177.2	103.5	31.7	1.835	-74
20 Mar 17	60	177.1	103.4	31.7	1.836	-74
21 Mar 17	61	176.8	103.0	31.9	1.838	-74
22 Mar 17	62	176.6	103.0	32.2	1.835	-74
23 Mar 17	63	177.4	104.4	32.6	1.836	-74
24 Mar 17	64	176.8	103.9	31.9	1.844	-74
25 Mar 17	65	176.3	103.7	32.1	1.848	-74
26 Mar 17	66	176.1	103.6	32.2	1.848	-74
27 Mar 17	67	175.9	103.4	32.2	1.838	-74





#### Lampiran 4. Data Inclinomoter

- Inclinomoter-02 arah A

Kedalaman (m)	29 Januari 2017	26 Maret 2017	27 Maret 2017	28 Maret 2017	29 Maret 2017
0.5	0	-311.14	-312.43	-313.1	-314.27
1	0	-277.63	-278.7	-279.37	-280.42
1.5	0	-244.08	-244.98	-245.62	-246.47
2	0	-210.48	-211.22	-211.77	-212.52
2.5	0	-176.34	-176.99	-177.44	-178.04
3	0	-142.76	-143.25	-143.57	-144.02
3.5	0	-113.06	-113.39	-113.57	-113.85
4	0	-89.93	-90.12	-90.14	-90.27
4.5	0	-75.39	-75.45	-75.36	-75.37
5	0	-72.52	-72.58	-72.42	-72.39
5.5	0	-87.73	-87.9	-87.85	-87.97
6	0	-94.46	-94.67	-94.73	-94.94
6.5	0	-91.74	-91.89	-91.93	-92.13
7	0	-85.6	-85.72	-85.73	-85.91
7.5	0	-76.17	-76.23	-76.24	-76.38
8	0	-63.35	-63.37	-63.32	-63.44
8.5	0	-48.7	-48.69	-48.59	-48.68
9	0	-34.75	-34.74	-34.63	-34.69
9.5	0	-24.67	-24.69	-24.59	-24.68
10	0	-18.42	-18.44	-18.35	-18.42
10.5	0	-15.26	-15.22	-15.11	-15.15
11	0	-15.01	-14.91	-14.75	-14.75
11.5	0	-17.94	-17.79	-17.62	-17.59
12	0	-24.14	-24.01	-23.86	-23.84
12.5	0	-35.24	-35.2	-35.12	-35.16
13	0	-47.68	-47.74	-47.81	-47.97
13.5	0	-51.56	-51.67	-51.85	-52.06
14	0	-48.52	-48.64	-48.81	-49.03
14.5	0	-42.35	-42.41	-42.55	-42.73
15	0	-35.77	-35.78	-35.88	-36.02
15.5	0	-30.24	-30.22	-30.29	-30.45
16	0	-25.87	-25.83	-25.88	-26.02
16.5	0	-22.31	-22.25	-22.27	-22.38
17	0	-19.46	-19.35	-19.34	-19.43
17.5	0	-17.4	-17.25	-17.2	-17.25
18	0	-16.27	-16.1	-16.03	-16.06
18.5	0	-16.02	-15.88	-15.84	-15.87

19	0	-16.35	-16.24	-16.25	-16.31
19.5	0	-16.39	-16.38	-16.35	-16.42
20	0	-15.78	-15.77	-15.73	-15.78
20.5	0	-14.74	-14.7	-14.66	-14.68
21	0	-13.76	-13.71	-13.66	-13.66
21.5	0	-13	-12.93	-12.9	-12.88
22	0	-12.21	-12.13	-12.11	-12.11
22.5	0	-11.23	-11.18	-11.17	-11.17
23	0	-11.54	-11.49	-11.48	-11.5
23.5	0	-12.49	-12.42	-12.41	-12.45
24	0	-13.07	-12.99	-12.98	-13.01
24.5	0	-13.51	-13.43	-13.41	-13.44
25	0	-14.3	-14.2	-14.18	-14.22
25.5	0	-15.15	-15.04	-15.03	-15.07
26	0	-14.78	-14.66	-14.66	-14.68
26.5	0	-13.66	-13.55	-13.53	-13.55
27	0	-12.47	-12.35	-12.31	-12.32
27.5	0	-11.73	-11.61	-11.56	-11.58
28	0	-11.91	-11.79	-11.73	-11.73
28.5	0	-12.44	-12.34	-12.28	-12.28
29	0	-12.83	-12.77	-12.72	-12.74
29.5	0	-11.66	-11.7	-11.68	-11.68
30	0	-7.31	-7.33	-7.33	-7.34
30.5	0	0	0	0	0

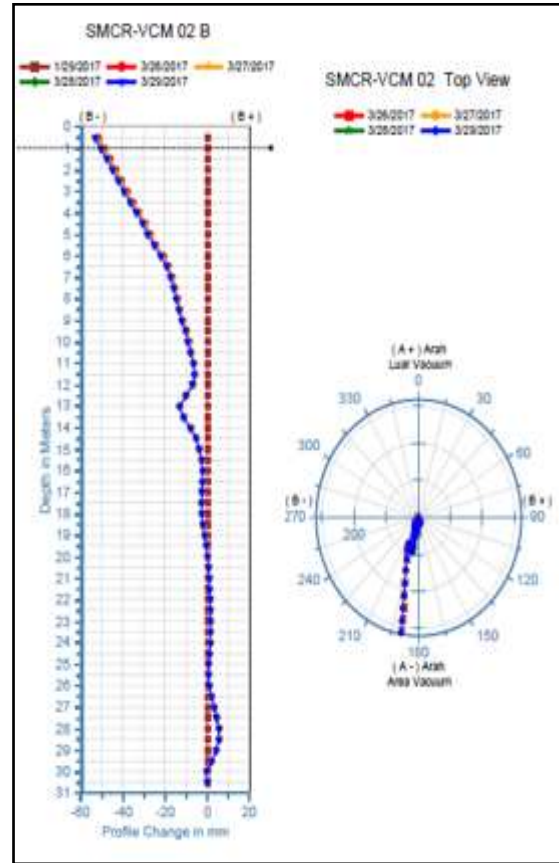
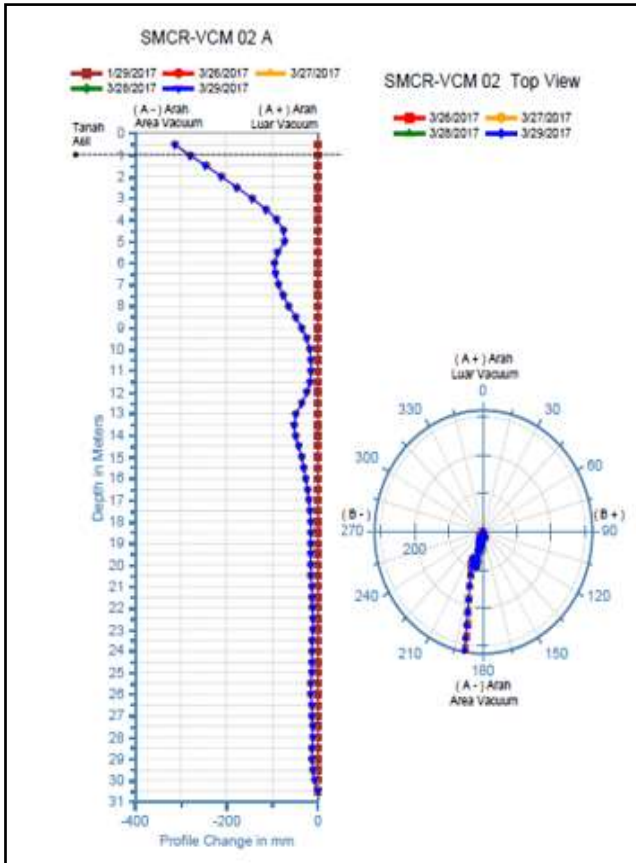
- Inclinator-02 arah B

<b>Kedalaman (m)</b>	<b>29 Januari 2017</b>	<b>26 Maret 2017</b>	<b>27 Maret 2017</b>	<b>28 Maret 2017</b>	<b>29 Maret 2017</b>
0.5	0	-51.22	-52.26	-52.99	-53.35
1	0	-48.63	-49.51	-50.25	-50.62
1.5	0	-46.01	-46.78	-47.48	-47.91
2	0	-43.35	-44.03	-44.65	-45.09
2.5	0	-40.62	-41.33	-41.98	-42.35
3	0	-37.89	-38.57	-39.19	-39.5
3.5	0	-35.18	-35.83	-36.42	-36.67
4	0	-32.28	-32.91	-33.48	-33.72
4.5	0	-29.32	-29.92	-30.52	-30.72
5	0	-27.12	-27.71	-28.28	-28.46
5.5	0	-24.07	-24.6	-25.11	-25.27
6	0	-20.9	-21.37	-21.86	-21.98
6.5	0	-18.43	-18.86	-19.31	-19.43
7	0	-16.5	-16.91	-17.33	-17.42



7.5	0	-15.03	-15.45	-15.85	-15.93
8	0	-13.9	-14.28	-14.71	-14.76
8.5	0	-12.77	-13.12	-13.56	-13.58
9	0	-11.46	-11.8	-12.23	-12.23
9.5	0	-9.78	-10.09	-10.5	-10.47
10	0	-8.53	-8.81	-9.19	-9.17
10.5	0	-7.45	-7.66	-8.04	-7.97
11	0	-6.22	-6.37	-6.72	-6.65
11.5	0	-5.69	-5.82	-6.14	-6.09
12	0	-6.51	-6.67	-7	-6.93
12.5	0	-9.78	-9.93	-10.25	-10.18
13	0	-12.85	-13	-13.26	-13.22
13.5	0	-11.05	-11.17	-11.38	-11.31
14	0	-7.76	-7.82	-8	-7.93
14.5	0	-5.26	-5.32	-5.48	-5.43
15	0	-3.68	-3.76	-3.89	-3.84
15.5	0	-2.59	-2.63	-2.74	-2.73
16	0	-2.16	-2.21	-2.31	-2.27
16.5	0	-2.27	-2.3	-2.43	-2.36
17	0	-2.49	-2.48	-2.66	-2.62
17.5	0	-2.65	-2.61	-2.83	-2.78
18	0	-2.57	-2.5	-2.73	-2.65
18.5	0	-2.13	-2.01	-2.22	-2.13
19	0	-1.38	-1.2	-1.43	-1.31
19.5	0	-0.54	-0.38	-0.59	-0.44
20	0	0.09	0.25	0.06	0.22
20.5	0	0.54	0.68	0.49	0.66
21	0	0.81	0.93	0.74	0.89
21.5	0	1.04	1.13	0.93	1.12
22	0	1.27	1.36	1.19	1.34
22.5	0	1.5	1.56	1.41	1.51
23	0	1.69	1.71	1.61	1.67
23.5	0	1.65	1.68	1.6	1.63
24	0	1.42	1.44	1.41	1.4
24.5	0	1.09	1.09	1.08	1.05
25	0	0.71	0.73	0.72	0.66
25.5	0	0.48	0.49	0.47	0.39
26	0	0.9	0.92	0.89	0.8
26.5	0	2.02	2.03	1.97	1.91
27	0	3.29	3.32	3.25	3.19
27.5	0	4.47	4.52	4.45	4.4
28	0	5.33	5.42	5.4	5.32
28.5	0	5.36	5.45	5.43	5.36
29	0	4.15	4.2	4.22	4.14
29.5	0	1.81	1.82	1.82	1.78

30	0	-0.33	-0.32	-0.3	-0.35
30.5	0	0	0	0	0



## Lampiran 5. Perhitungan Teoritis Penurunan akibat Preloading + Pompa Vakum

- Sp-01

Kedalaman	$\gamma_{\text{timb}}$	$\gamma_w$	$\gamma_{\text{sat}}$	e0	cc	cs
0 - 12	1.6	1	1.309	2.14	0.477357	0.079559
12 - 16	1.6	1	1.2115	2.35	0.485587	0.080931
16 - 20	1.6	1	1.2155	2.32	0.57736	0.096227

Tahap	Waktu Penimbunan		tingggi (m)	Vacuum Gauge (Kpa)	$\Delta\sigma$ (t/m)
	Dari hari ke-	Sampai hari ke-			
p1	1	33	1.480	0	2.368
p2	34	46	0	28	2.8
p3	47	64	0	30	3
p4	65	87	0	16	1.6

### 1. Preloading 1

No Layer	H (m)	z (m)	$\sigma'_o$	$\sigma'_c$	$\sigma'_o + \Delta\sigma$	$(\sigma'_o + \Delta\sigma)/\sigma'_c$	Sc (m)	$\sum Sc$ (m)
1	1	0.5	0.1545	2.1545	2.5225	1.170805291	0.039408	0.039408
2	1	1.5	0.4635	2.4635	2.8315	1.149380962	0.027574	0.066982
3	1	2.5	0.7725	2.7725	3.1405	1.132732191	0.02229	0.089273
4	1	3.5	1.0815	3.0815	3.4495	1.119422359	0.01897	0.108243
5	1	4.5	1.3905	3.3905	3.7585	1.108538564	0.016611	0.124854
6	1	5.5	1.6995	3.6995	4.0675	1.099472902	0.014821	0.139674
7	1	6.5	2.0085	4.0085	4.3765	1.091804915	0.013403	0.153077
8	1	7.5	2.3175	4.3175	4.6855	1.085234511	0.012247	0.165324
9	1	8.5	2.6265	4.6265	4.9945	1.07954177	0.011283	0.176607
10	1	9.5	2.9355	4.9355	5.3035	1.074561848	0.010465	0.187073

11	1	10.5	3.2445	5.2445	5.6125	1.070168748	0.009762	0.196834
12	1	11.5	3.5535	5.5535	5.9215	1.066264518	0.009149	0.205984
13	1	12.5	2.64375	4.64375	5.01175	1.079246299	0.010727	0.216711
14	1	13.5	2.85525	4.85525	5.22325	1.075794243	0.010185	0.226896
15	1	14.5	3.06675	5.06675	5.43475	1.072630384	0.009696	0.236592
16	1	15.5	3.27825	5.27825	5.64625	1.069720078	0.009254	0.245845
17	1	16.5	3.55575	5.55575	5.92375	1.066237682	0.010477	0.256322
18	1	17.5	3.77125	5.77125	6.13925	1.063764349	0.010039	0.266362
19	1	18.5	3.98675	5.98675	6.35475	1.061469078	0.009638	0.276
20	1	19.5	4.20225	6.20225	6.57025	1.059333306	0.009267	0.285267

## 2. Vacuum Gauge 1

No Layer	H (m)	z (m)	$\sigma'_o$	$\sigma'_c$	$\sigma'_o + \Delta\sigma$	$(\sigma'_o + \Delta\sigma)/\sigma'_c$	Sc (m)	$\sum Sc$ (m)
1	1	0.5	2.5225	2.1545	5.3225	2.269900209	0.049299	0.049299
2	1	1.5	2.8315	2.4635	5.6315	2.110614979	0.045396	0.094695
3	1	2.5	3.1405	2.7725	5.9405	1.986834986	0.042084	0.136779
4	1	3.5	3.4495	3.0815	6.2495	1.88787928	0.039236	0.176015
5	1	4.5	3.7585	3.3905	6.5585	1.806960625	0.036758	0.212773
6	1	5.5	4.0675	3.6995	6.8675	1.7395594	0.034581	0.247354
7	1	6.5	4.3765	4.0085	7.1765	1.682549582	0.032653	0.280007
8	1	7.5	4.6855	4.3175	7.4855	1.633700058	0.030932	0.310938
9	1	8.5	4.9945	4.6265	7.7945	1.59137577	0.029386	0.340324
10	1	9.5	5.3035	4.9355	8.1035	1.55435113	0.027989	0.368313
11	1	10.5	5.6125	5.2445	8.4125	1.521689389	0.026721	0.395034
12	1	11.5	5.9215	5.5535	8.7215	1.492662285	0.025564	0.420599
13	1	12.5	5.01175	4.64375	7.81175	1.589179004	0.027982	0.448581
14	1	13.5	5.22325	4.85525	8.02325	1.563513722	0.027061	0.475642
15	1	14.5	5.43475	5.06675	8.23475	1.539991119	0.026199	0.50184

16	1	15.5	5.64625	5.27825	8.44625	1.518353621	0.02539	0.527231
17	1	16.5	5.92375	5.55575	8.72375	1.492462764	0.029278	0.556509
18	1	17.5	6.13925	5.77125	8.93925	1.474074074	0.028421	0.584931
19	1	18.5	6.35475	5.98675	9.15475	1.457009229	0.027614	0.612544
20	1	19.5	6.57025	6.20225	9.37025	1.441130235	0.026851	0.639396

### 3. Vacuum Gauge 2

No Layer	H (m)	z (m)	$\sigma'_o$	$\sigma'_c$	$\sigma'_o + \Delta\sigma$	$(\sigma'_o + \Delta\sigma)/\sigma'_c$	Sc (m)	$\sum Sc$ (m)
1	1	0.5	5.3225	2.1545	8.1225	3.569505686	0.027908	0.027908
2	1	1.5	5.6315	2.4635	8.4315	3.247209255	0.026647	0.054555
3	1	2.5	5.9405	2.7725	8.7405	2.996753832	0.025497	0.080051
4	1	3.5	6.2495	3.0815	9.0495	2.796527665	0.024442	0.104494
5	1	4.5	6.5585	3.3905	9.3585	2.632797522	0.023473	0.127966
6	1	5.5	6.8675	3.6995	9.6675	2.496418435	0.022578	0.150544
7	1	6.5	7.1765	4.0085	9.9765	2.381065236	0.021749	0.172294
8	1	7.5	7.4855	4.3175	10.2855	2.282223509	0.02098	0.193274
9	1	8.5	7.7945	4.6265	10.5945	2.196584891	0.020264	0.213538
10	1	9.5	8.1035	4.9355	10.9035	2.121669537	0.019595	0.233133
11	1	10.5	8.4125	5.2445	11.2125	2.055582038	0.018969	0.252102
12	1	11.5	8.7215	5.5535	11.5215	1.996848834	0.018382	0.270484
13	1	12.5	7.81175	4.64375	10.61175	2.192139973	0.019313	0.289797
14	1	13.5	8.02325	4.85525	10.82325	2.140209052	0.018873	0.30867
15	1	14.5	8.23475	5.06675	11.03475	2.092613608	0.018453	0.327123
16	1	15.5	8.44625	5.27825	11.24625	2.048832473	0.018051	0.345174
17	1	16.5	8.72375	5.55575	11.52375	1.996445124	0.021055	0.366229
18	1	17.5	8.93925	5.77125	11.73925	1.9592376	0.020611	0.386839
19	1	18.5	9.15475	5.98675	11.95475	1.924708732	0.020185	0.407024
20	1	19.5	9.37025	6.20225	12.17025	1.892579306	0.019776	0.4268

## 4. Vacuum Gauge 3

No Layer	H (m)	z (m)	$\sigma'_o$	$\sigma'_c$	$\sigma'_o + \Delta\sigma$	$(\sigma'_o + \Delta\sigma)/\sigma'_c$	Sc (m)	$\sum Sc$ (m)
1	1	0.5	8.1225	2.1545	9.7225	4.869111163	0.001979	0.001979
2	1	1.5	8.4315	2.4635	10.0315	4.383803532	0.001912	0.003891
3	1	2.5	8.7405	2.7725	10.3405	4.006672678	0.00185	0.00574
4	1	3.5	9.0495	3.0815	10.6495	3.705176051	0.001791	0.007532
5	1	4.5	9.3585	3.3905	10.9585	3.45863442	0.001737	0.009269
6	1	5.5	9.6675	3.6995	11.2675	3.25327747	0.001685	0.010954
7	1	6.5	9.9765	4.0085	11.5765	3.079580891	0.001637	0.012591
8	1	7.5	10.2855	4.3175	11.8855	2.93074696	0.001591	0.014182
9	1	8.5	10.5945	4.6265	12.1945	2.801794013	0.001548	0.015729
10	1	9.5	10.9035	4.9355	12.5035	2.688987944	0.001507	0.017236
11	1	10.5	11.2125	5.2445	12.8125	2.589474688	0.001468	0.018704
12	1	11.5	11.5215	5.5535	13.1215	2.501035383	0.001431	0.020135
13	1	12.5	10.61175	4.64375	12.21175	2.795100942	0.001545	0.02168
14	1	13.5	10.82325	4.85525	12.42325	2.716904382	0.001517	0.023197
15	1	14.5	11.03475	5.06675	12.63475	2.645236098	0.00149	0.024687
16	1	15.5	11.24625	5.27825	12.84625	2.579311325	0.001464	0.026151
17	1	16.5	11.52375	5.55575	13.12375	2.500427485	0.001431	0.027582
18	1	17.5	11.73925	5.77125	13.33925	2.444401126	0.001406	0.028988
19	1	18.5	11.95475	5.98675	13.55475	2.392408235	0.001382	0.03037
20	1	19.5	12.17025	6.20225	13.77025	2.344028377	0.001359	0.031729

- Sp-02

Kedalaman	$\gamma_{\text{timb}}$	$\gamma_w$	$\gamma_{\text{sat}}$	e0	cc	cs
0 - 12	1.6	1	1.309	2.14	0.47735684	0.079559
12 - 16	1.6	1	1.2115	2.35	0.4855872	0.080931
16 - 20	1.6	1	1.2155	2.32	0.5773603	0.096227

Tahap	Waktu Penimbunan		tinggi (m)	Vacuum Gauge	$\Delta\sigma'$ (t/m)
	Dari hari ke-	Sampai hari ke-			
p1	1	33	1.386	0	2.2176
p2	34	46	0.003	23	2.3048
p3	47	67	0	27	2.7
p4	68	87	0	24	2.4

### 1. Preloading 1

No Layer	H (m)	z (m)	$\sigma'_o$	$\sigma'_c$	$\sigma'_o + \Delta\sigma$	$(\sigma'_o + \Delta\sigma)/\sigma'_c$	Sc (m)	$\sum Sc$ (m)
1	1	0.5	0.1545	2.1545	2.3721	1.100997911	0.035349	0.035349
2	1	1.5	0.4635	2.4635	2.6811	1.088329612	0.023971	0.05932
3	1	2.5	0.7725	2.7725	2.9901	1.078485122	0.01905	0.07837
4	1	3.5	1.0815	3.0815	3.2991	1.07061496	0.016027	0.094397
5	1	4.5	1.3905	3.3905	3.6081	1.064179325	0.013915	0.108312
6	1	5.5	1.6995	3.6995	3.9171	1.058818759	0.012333	0.120645
7	1	6.5	2.0085	4.0085	4.2261	1.054284645	0.011094	0.131739
8	1	7.5	2.3175	4.3175	4.5351	1.050399537	0.010093	0.141832
9	1	8.5	2.6265	4.6265	4.8441	1.047033395	0.009264	0.151096
10	1	9.5	2.9355	4.9355	5.1531	1.044088745	0.008566	0.159662
11	1	10.5	3.2445	5.2445	5.4621	1.041491086	0.007968	0.16763

12	1	11.5	3.5535	5.5535	5.7711	1.039182498	0.007451	0.175081
13	1	12.5	2.64375	4.64375	4.86135	1.046858681	0.008806	0.183888
14	1	13.5	2.85525	4.85525	5.07285	1.044817466	0.008343	0.19223
15	1	14.5	3.06675	5.06675	5.28435	1.042946662	0.007927	0.200157
16	1	15.5	3.27825	5.27825	5.49585	1.041225785	0.007552	0.207708
17	1	16.5	3.55575	5.55575	5.77335	1.039166629	0.008532	0.21624
18	1	17.5	3.77125	5.77125	5.98885	1.037704137	0.008163	0.224404
19	1	18.5	3.98675	5.98675	6.20435	1.036346933	0.007826	0.23223
20	1	19.5	4.20225	6.20225	6.41985	1.035084042	0.007516	0.239745

## 2. Vacuum Gauge 1

No Layer	H (m)	z (m)	$\sigma'_o$	$\sigma'_c$	$\sigma'_o + \Delta\sigma$	$(\sigma'_o + \Delta\sigma)/\sigma'_c$	Sc (m)	$\sum Sc$ (m)
1	1	0.5	2.3721	2.1545	4.6769	2.130285449	0.044821	0.044821
2	1	1.5	2.6811	2.4635	4.9859	1.988512279	0.04096	0.085781
3	1	2.5	2.9901	2.7725	5.2949	1.878340848	0.037728	0.123509
4	1	3.5	3.2991	3.0815	5.6039	1.790264482	0.03498	0.158489
5	1	4.5	3.6081	3.3905	5.9129	1.718242147	0.032613	0.191102
6	1	5.5	3.9171	3.6995	6.2219	1.658251115	0.030551	0.221652
7	1	6.5	4.2261	4.0085	6.5309	1.607509043	0.028738	0.25039
8	1	7.5	4.5351	4.3175	6.8399	1.56403011	0.027131	0.277521
9	1	8.5	4.8441	4.6265	7.1489	1.526359019	0.025696	0.303217
10	1	9.5	5.1531	4.9355	7.4579	1.493404924	0.024407	0.327624
11	1	10.5	5.4621	5.2445	7.7669	1.464334064	0.023243	0.350867
12	1	11.5	5.7711	5.5535	8.0759	1.438498244	0.022185	0.373052
13	1	12.5	4.86135	4.64375	7.16615	1.524403769	0.024465	0.397517
14	1	13.5	5.07285	4.85525	7.37765	1.501560167	0.023614	0.421131
15	1	14.5	5.28435	5.06675	7.58915	1.480623674	0.022821	0.443951
16	1	15.5	5.49585	5.27825	7.80065	1.461365036	0.022079	0.466031



17	1	16.5	5.77335	5.55575	8.07815	1.438320659	0.025408	0.491439
18	1	17.5	5.98885	5.77125	8.29365	1.42195365	0.024627	0.516066
19	1	18.5	6.20435	5.98675	8.50915	1.406764939	0.023894	0.53996
20	1	19.5	6.41985	6.20225	8.72465	1.392631706	0.023203	0.563163

### 3. Vacuum Gauge 2

No Layer	H (m)	z (m)	$\sigma'_o$	$\sigma'_c$	$\sigma'_o + \Delta\sigma$	$(\sigma'_o + \Delta\sigma)/\sigma'_c$	Sc (m)	$\sum Sc$ (m)
1	1	0.5	4.6769	2.1545	6.9817	3.200046414	0.026453	0.026453
2	1	1.5	4.9859	2.4635	7.2907	2.924091739	0.025088	0.051541
3	1	2.5	5.2949	2.7725	7.5997	2.709648332	0.023859	0.075399
4	1	3.5	5.6039	3.0815	7.9087	2.53821191	0.022745	0.098144
5	1	4.5	5.9129	3.3905	8.2177	2.39802389	0.021732	0.119876
6	1	5.5	6.2219	3.6995	8.5267	2.281254224	0.020806	0.140682
7	1	6.5	6.5309	4.0085	8.8357	2.182487215	0.019956	0.160638
8	1	7.5	6.8399	4.3175	9.1447	2.097857556	0.019173	0.179811
9	1	8.5	7.1489	4.6265	9.4537	2.024532584	0.01845	0.198261
10	1	9.5	7.4579	4.9355	9.7627	1.960389018	0.01778	0.216041
11	1	10.5	7.7669	5.2445	10.0717	1.903803985	0.017157	0.233198
12	1	11.5	8.0759	5.5535	10.3807	1.853515801	0.016576	0.249774
13	1	12.5	7.16615	4.64375	9.47095	2.020726783	0.017581	0.267355
14	1	13.5	7.37765	4.85525	9.68245	1.976262808	0.01714	0.284494
15	1	14.5	7.58915	5.06675	9.89395	1.935510929	0.01672	0.301214
16	1	15.5	7.80065	5.27825	10.10545	1.898024914	0.016321	0.317535
17	1	16.5	8.07815	5.55575	10.38295	1.853170139	0.018986	0.33652
18	1	17.5	8.29365	5.77125	10.59845	1.821312541	0.018548	0.355069
19	1	18.5	8.50915	5.98675	10.81395	1.791748444	0.01813	0.373199
20	1	19.5	8.72465	6.20225	11.02945	1.764238784	0.017731	0.39093

## 4. Vacuum Gauge 3

No Layer	H (m)	z (m)	$\sigma'_o$	$\sigma'_c$	$\sigma'_o + \Delta\sigma$	$(\sigma'_o + \Delta\sigma)/\sigma'_c$	Sc (m)	$\sum Sc$ (m)
1	1	0.5	6.9817	2.1545	9.3817	4.26980738	0.003251	0.003251
2	1	1.5	7.2907	2.4635	9.6907	3.8596712	0.003131	0.006383
3	1	2.5	7.5997	2.7725	9.9997	3.540955816	0.00302	0.009403
4	1	3.5	7.9087	3.0815	10.3087	3.286159338	0.002916	0.012319
5	1	4.5	8.2177	3.3905	10.6177	3.077805633	0.00282	0.015138
6	1	5.5	8.5267	3.6995	10.9267	2.904257332	0.002729	0.017868
7	1	6.5	8.8357	4.0085	11.2357	2.757465386	0.002644	0.020512
8	1	7.5	9.1447	4.3175	11.5447	2.631685003	0.002564	0.023076
9	1	8.5	9.4537	4.6265	11.8537	2.522706149	0.002489	0.025566
10	1	9.5	9.7627	4.9355	12.1627	2.427373113	0.002419	0.027984
11	1	10.5	10.0717	5.2445	12.4717	2.343273906	0.002352	0.030336
12	1	11.5	10.3807	5.5535	12.7807	2.268533357	0.002289	0.032625
13	1	12.5	9.47095	4.64375	11.87095	2.517049798	0.002485	0.03511
14	1	13.5	9.68245	4.85525	12.08245	2.45096545	0.002437	0.037547
15	1	14.5	9.89395	5.06675	12.29395	2.390398184	0.00239	0.039937
16	1	15.5	10.10545	5.27825	12.50545	2.334684791	0.002345	0.042282
17	1	16.5	10.38295	5.55575	12.78295	2.268019619	0.002288	0.04457
18	1	17.5	10.59845	5.77125	12.99845	2.220671432	0.002246	0.046816
19	1	18.5	10.81395	5.98675	13.21395	2.17673195	0.002206	0.049022
20	1	19.5	11.02945	6.20225	13.42945	2.135845862	0.002166	0.051188

- Sp-03

Kedalaman	$\gamma_{\text{timb}}$	$\gamma_w$	$\gamma_{\text{sat}}$	e0	cc	cs
0 - 12	1.6	1	1.309	2.14	0.47735684	0.079559
12 - 16	1.6	1	1.2115	2.35	0.4855872	0.080931
16 - 20	1.6	1	1.2155	2.32	0.5773603	0.096227

Tahap	Waktu Penimbunan		tinggi (m)	Vacuum Gauge	$\Delta\sigma'$ (t/m)
	Dari hari ke-	Sampai hari ke-			
p1	1	33	1.435	0	2.296
p2	34	46	0	26	2.6
p3	47	64	0	37	3.7
p4	65	87	0	11	1.1

### 1. Preloading 1

No Layer	H (m)	z (m)	$\sigma'_o$	$\sigma'_c$	$\sigma'_o + \Delta\sigma$	$(\sigma'_o + \Delta\sigma)/\sigma'_c$	Sc (m)	$\sum Sc$ (m)
1	1	0.5	0.1545	2.1545	2.4505	1.137386865	0.037496	0.037496
2	1	1.5	0.4635	2.4635	2.7595	1.120154252	0.025874	0.06337
3	1	2.5	0.7725	2.7725	3.0685	1.106762849	0.020759	0.084129
4	1	3.5	1.0815	3.0815	3.3775	1.096057115	0.017577	0.101706
5	1	4.5	1.3905	3.3905	3.6865	1.087302758	0.015334	0.11704
6	1	5.5	1.6995	3.6995	3.9955	1.080010812	0.013641	0.130682
7	1	6.5	2.0085	4.0085	4.3045	1.073843083	0.012308	0.142989
8	1	7.5	2.3175	4.3175	4.6135	1.068558193	0.011225	0.154214
9	1	8.5	2.6265	4.6265	4.9225	1.06397925	0.010324	0.164538
10	1	9.5	2.9355	4.9355	5.2315	1.05997366	0.009563	0.174101

11	1	10.5	3.2445	5.2445	5.5405	1.05644008	0.008909	0.18301
12	1	11.5	3.5535	5.5535	5.8495	1.053299721	0.008342	0.191352
13	1	12.5	2.64375	4.64375	4.93975	1.063741588	0.009815	0.201167
14	1	13.5	2.85525	4.85525	5.15125	1.060964935	0.009309	0.210477
15	1	14.5	3.06675	5.06675	5.36275	1.058420092	0.008855	0.219332
16	1	15.5	3.27825	5.27825	5.57425	1.056079193	0.008445	0.227776
17	1	16.5	3.55575	5.55575	5.85175	1.053278135	0.009552	0.237328
18	1	17.5	3.77125	5.77125	6.06725	1.051288716	0.009147	0.246476
19	1	18.5	3.98675	5.98675	6.28275	1.049442519	0.008776	0.255251
20	1	19.5	4.20225	6.20225	6.49825	1.047724616	0.008434	0.263685

## 2. Vacuum Gauge 1

No Layer	H (m)	z (m)	$\sigma'_o$	$\sigma'_c$	$\sigma'_o + \Delta\sigma$	$(\sigma'_o + \Delta\sigma)/\sigma'_c$	Sc (m)	$\sum Sc$ (m)
1	1	0.5	2.4505	2.1545	5.0505	2.203063356	0.047748	0.047748
2	1	1.5	2.7595	2.4635	5.3595	2.052161559	0.043828	0.091576
3	1	2.5	3.0685	2.7725	5.6685	1.934896303	0.040521	0.132096
4	1	3.5	3.3775	3.0815	5.9775	1.841148791	0.037691	0.169787
5	1	4.5	3.6865	3.3905	6.2865	1.764489013	0.035238	0.205025
6	1	5.5	3.9955	3.6995	6.5955	1.700635221	0.033092	0.238118
7	1	6.5	4.3045	4.0085	6.9045	1.64662592	0.031197	0.269314
8	1	7.5	4.6135	4.3175	7.2135	1.600347423	0.02951	0.298825
9	1	8.5	4.9225	4.6265	7.5225	1.560250729	0.027999	0.326824
10	1	9.5	5.2315	4.9355	7.8315	1.525174754	0.026638	0.353462
11	1	10.5	5.5405	5.2445	8.1405	1.494232053	0.025404	0.378865
12	1	11.5	5.8495	5.5535	8.4495	1.466732691	0.02428	0.403145
13	1	12.5	4.93975	4.64375	7.53975	1.558169583	0.02666	0.429806
14	1	13.5	5.15125	4.85525	7.75125	1.533855105	0.025761	0.455567
15	1	14.5	5.36275	5.06675	7.96275	1.511570533	0.024922	0.480489

16	1	15.5	5.57425	5.27825	8.17425	1.491071851	0.024136	0.504625
17	1	16.5	5.85175	5.55575	8.45175	1.466543671	0.027807	0.532432
18	1	17.5	6.06725	5.77125	8.66725	1.449122807	0.026976	0.559409
19	1	18.5	6.28275	5.98675	8.88275	1.432956111	0.026194	0.585603
20	1	19.5	6.49825	6.20225	9.09825	1.417912854	0.025456	0.611059

### 3. Vacuum Gauge 2

No Layer	H (m)	z (m)	$\sigma'_o$	$\sigma'_c$	$\sigma'_o + \Delta\sigma$	$(\sigma'_o + \Delta\sigma)/\sigma'_c$	Sc (m)	$\sum Sc$ (m)
1	1	0.5	5.0505	2.1545	7.6505	3.40983987	0.027418	0.027418
2	1	1.5	5.3595	2.4635	7.9595	3.10757053	0.026112	0.05353
3	1	2.5	5.6685	2.7725	8.2685	2.872678088	0.024926	0.078456
4	1	3.5	5.9775	3.0815	8.5775	2.684893721	0.023844	0.1023
5	1	4.5	6.2865	3.3905	8.8865	2.531337561	0.022853	0.125152
6	1	5.5	6.5955	3.6995	9.1955	2.403432896	0.021941	0.147094
7	1	6.5	6.9045	4.0085	9.5045	2.295247599	0.021101	0.168194
8	1	7.5	7.2135	4.3175	9.8135	2.202547771	0.020322	0.188517
9	1	8.5	7.5225	4.6265	10.1225	2.122230628	0.0196	0.208116
10	1	9.5	7.8315	4.9355	10.4315	2.051970418	0.018927	0.227044
11	1	10.5	8.1405	5.2445	10.7405	1.989989513	0.0183	0.245343
12	1	11.5	8.4495	5.5535	11.0495	1.934905915	0.017713	0.263056
13	1	12.5	7.53975	4.64375	10.13975	2.118061911	0.018679	0.281735
14	1	13.5	7.75125	4.85525	10.35125	2.069357912	0.018236	0.299971
15	1	14.5	7.96275	5.06675	10.56275	2.024719988	0.017814	0.317785
16	1	15.5	8.17425	5.27825	10.77425	1.983659357	0.017411	0.335197
17	1	16.5	8.45175	5.55575	11.05175	1.934527292	0.020288	0.355484
18	1	17.5	8.66725	5.77125	11.26725	1.899631796	0.019844	0.375328
19	1	18.5	8.88275	5.98675	11.48275	1.867248507	0.019419	0.394747
20	1	19.5	9.09825	6.20225	11.69825	1.837115563	0.019012	0.41376

## 4. Vacuum Gauge 3

No Layer	H (m)	z (m)	$\sigma'_o$	$\sigma'_c$	$\sigma'_o + \Delta\sigma$	$(\sigma'_o + \Delta\sigma)/\sigma'_c$	Sc (m)	$\sum Sc$ (m)
1	1	0.5	7.6505	2.1545	8.7505	4.616616384	0.001478	0.001478
2	1	1.5	7.9595	2.4635	9.0595	4.162979501	0.001424	0.002903
3	1	2.5	8.2685	2.7725	9.3685	3.810459874	0.001374	0.004277
4	1	3.5	8.5775	3.0815	9.6775	3.52863865	0.001328	0.005605
5	1	4.5	8.8865	3.3905	9.9865	3.298186108	0.001284	0.006889
6	1	5.5	9.1955	3.6995	10.2955	3.106230572	0.001243	0.008132
7	1	6.5	9.5045	4.0085	10.6045	2.943869278	0.001205	0.009337
8	1	7.5	9.8135	4.3175	10.9135	2.804748118	0.001169	0.010506
9	1	8.5	10.1225	4.6265	11.2225	2.684210526	0.001135	0.011642
10	1	9.5	10.4315	4.9355	11.5315	2.578766082	0.001103	0.012745
11	1	10.5	10.7405	5.2445	11.8405	2.485746973	0.001073	0.013818
12	1	11.5	11.0495	5.5535	12.1495	2.403079139	0.001044	0.014862
13	1	12.5	10.13975	4.64375	11.23975	2.67795424	0.001133	0.015995
14	1	13.5	10.35125	4.85525	11.45125	2.604860718	0.001111	0.017107
15	1	14.5	10.56275	5.06675	11.66275	2.537869443	0.00109	0.018197
16	1	15.5	10.77425	5.27825	11.87425	2.476246862	0.00107	0.019267
17	1	16.5	11.05175	5.55575	12.15175	2.402510912	0.001044	0.020311
18	1	17.5	11.26725	5.77125	12.36725	2.350140784	0.001025	0.021336
19	1	18.5	11.48275	5.98675	12.58275	2.301540903	0.001007	0.022342
20	1	19.5	11.69825	6.20225	12.79825	2.256318272	0.000989	0.023331

- SP-04

Kedalaman	$\gamma_{\text{timb}}$	$\gamma_w$	$\gamma_{\text{sat}}$	e0	cc	Cs
0 - 12	1.6	1	1.309	2.14	0.47735684	0.079559
12 - 16	1.6	1	1.2115	2.35	0.4855872	0.080931
16 - 20	1.6	1	1.2155	2.32	0.5773603	0.096227

Tahap	Waktu Penimbunan		tingggi (m)	Vacuum Gauge	$\Delta\sigma'$ (t/m)
	Dari hari ke-	Sampai hari ke-			
p1	1	33	1.435	0	2.296
p2	34	47	0	23	2.3
p3	48	78	0	31	3.1
p4	79	87	0	20	2

### 1. Preloading 1

No Layer	H (m)	z (m)	$\sigma'_o$	$\sigma'_c$	$\sigma'_o + \Delta\sigma$	$(\sigma'_o + \Delta\sigma)/\sigma'_c$	Sc (m)	$\sum Sc$ (m)
1	1	0.5	0.1545	2.1545	2.4505	1.137386865	0.037496	0.037496
2	1	1.5	0.4635	2.4635	2.7595	1.120154252	0.025874	0.06337
3	1	2.5	0.7725	2.7725	3.0685	1.106762849	0.020759	0.084129
4	1	3.5	1.0815	3.0815	3.3775	1.096057115	0.017577	0.101706
5	1	4.5	1.3905	3.3905	3.6865	1.087302758	0.015334	0.11704
6	1	5.5	1.6995	3.6995	3.9955	1.080010812	0.013641	0.130682
7	1	6.5	2.0085	4.0085	4.3045	1.073843083	0.012308	0.142989
8	1	7.5	2.3175	4.3175	4.6135	1.068558193	0.011225	0.154214
9	1	8.5	2.6265	4.6265	4.9225	1.06397925	0.010324	0.164538
10	1	9.5	2.9355	4.9355	5.2315	1.05997366	0.009563	0.174101
11	1	10.5	3.2445	5.2445	5.5405	1.05644008	0.008909	0.18301
12	1	11.5	3.5535	5.5535	5.8495	1.053299721	0.008342	0.191352

13	1	12.5	2.64375	4.64375	4.93975	1.063741588	0.009815	0.201167
14	1	13.5	2.85525	4.85525	5.15125	1.060964935	0.009309	0.210477
15	1	14.5	3.06675	5.06675	5.36275	1.058420092	0.008855	0.219332
16	1	15.5	3.27825	5.27825	5.57425	1.056079193	0.008445	0.227776
17	1	16.5	3.55575	5.55575	5.85175	1.053278135	0.009552	0.237328
18	1	17.5	3.77125	5.77125	6.06725	1.051288716	0.009147	0.246476
19	1	18.5	3.98675	5.98675	6.28275	1.049442519	0.008776	0.255251
20	1	19.5	4.20225	6.20225	6.49825	1.047724616	0.008434	0.263685

## 2. Vacuum Gauge 1

No Layer	H (m)	z (m)	$\sigma'_o$	$\sigma'_c$	$\sigma'_o + \Delta\sigma$	$(\sigma'_o + \Delta\sigma)/\sigma'_c$	Sc (m)	$\sum Sc$ (m)
1	1	0.5	2.4505	2.1545	4.7505	2.203063	0.043705	0.043705
2	1	1.5	2.7595	2.4635	5.0595	2.052162	0.040025	0.083729
3	1	2.5	3.0685	2.7725	5.3685	1.934896	0.036931	0.12066
4	1	3.5	3.3775	3.0815	5.6775	1.841149	0.034291	0.154951
5	1	4.5	3.6865	3.3905	5.9865	1.764489	0.03201	0.186961
6	1	5.5	3.9955	3.6995	6.2955	1.700635	0.030019	0.21698
7	1	6.5	4.3045	4.0085	6.6045	1.646626	0.028264	0.245244
8	1	7.5	4.6135	4.3175	6.9135	1.600347	0.026706	0.271949
9	1	8.5	4.9225	4.6265	7.2225	1.560251	0.025312	0.297262
10	1	9.5	5.2315	4.9355	7.5315	1.525175	0.024059	0.32132
11	1	10.5	5.5405	5.2445	7.8405	1.494232	0.022924	0.344245
12	1	11.5	5.8495	5.5535	8.1495	1.466733	0.021893	0.366138
13	1	12.5	4.93975	4.64375	7.23975	1.55817	0.024101	0.390239
14	1	13.5	5.15125	4.85525	7.45125	1.533855	0.023273	0.413512
15	1	14.5	5.36275	5.06675	7.66275	1.511571	0.022501	0.436012
16	1	15.5	5.57425	5.27825	7.87425	1.491072	0.021779	0.457791
17	1	16.5	5.85175	5.55575	8.15175	1.466544	0.025074	0.482865



18	1	17.5	6.06725	5.77125	8.36725	1.449123	0.024312	0.507177
19	1	18.5	6.28275	5.98675	8.58275	1.432956	0.023595	0.530772
20	1	19.5	6.49825	6.20225	8.79825	1.417913	0.02292	0.553692

### 3. Vacuum Gauge 2

No Layer	H (m)	z (m)	$\sigma'_o$	$\sigma'_c$	$\sigma'_o + \Delta\sigma$	$(\sigma'_o + \Delta\sigma)/\sigma'_c$	Sc (m)	$\sum Sc$ (m)
1	1	0.5	4.7505	2.1545	7.0505	3.270596426	0.026069	0.026069
2	1	1.5	5.0595	2.4635	7.3595	2.985792572	0.024741	0.05081
3	1	2.5	5.3685	2.7725	7.6685	2.764472498	0.023542	0.074352
4	1	3.5	5.6775	3.0815	7.9775	2.587538536	0.022455	0.096807
5	1	4.5	5.9865	3.3905	8.2865	2.442855036	0.021466	0.118273
6	1	5.5	6.2955	3.6995	8.5955	2.322340857	0.02056	0.138833
7	1	6.5	6.6045	4.0085	8.9045	2.220406636	0.019728	0.158561
8	1	7.5	6.9135	4.3175	9.2135	2.133063115	0.018962	0.177523
9	1	8.5	7.2225	4.6265	9.5225	2.057386793	0.018253	0.195775
10	1	9.5	7.5315	4.9355	9.8315	1.991186303	0.017595	0.21337
11	1	10.5	7.8405	5.2445	10.1405	1.932786729	0.016984	0.230354
12	1	11.5	8.1495	5.5535	10.4495	1.880885928	0.016413	0.246767
13	1	12.5	7.23975	4.64375	9.53975	2.05345895	0.017393	0.26416
14	1	13.5	7.45125	4.85525	9.75125	2.007569126	0.01696	0.28112
15	1	14.5	7.66275	5.06675	9.96275	1.965510436	0.016548	0.297669
16	1	15.5	7.87425	5.27825	10.17425	1.926822337	0.016156	0.313825
17	1	16.5	8.15175	5.55575	10.45175	1.880529181	0.018799	0.332624
18	1	17.5	8.36725	5.77125	10.66725	1.847649989	0.018369	0.350993
19	1	18.5	8.58275	5.98675	10.88275	1.817137846	0.017959	0.368952
20	1	19.5	8.79825	6.20225	11.09825	1.78874602	0.017566	0.386518

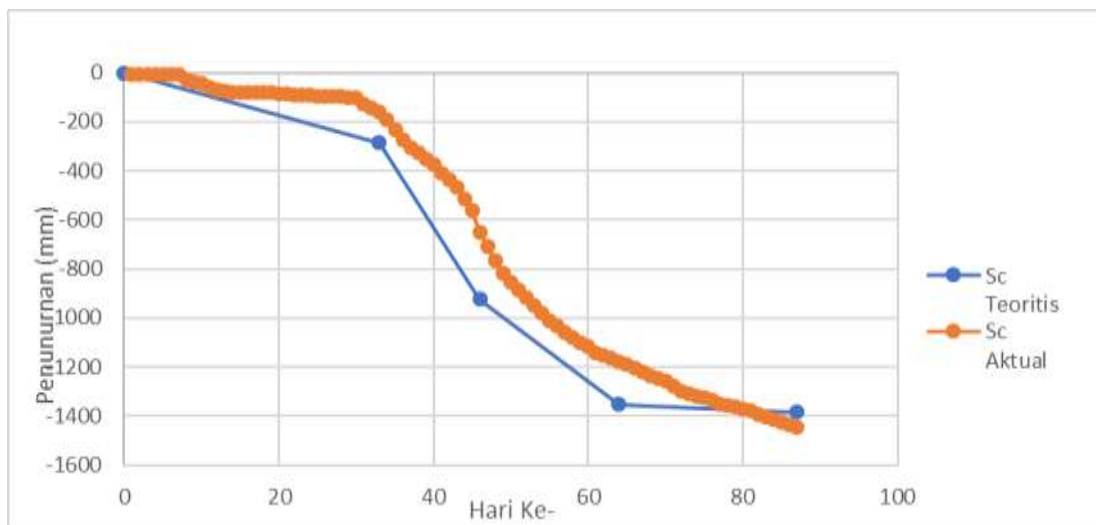
## 4. Vacuum Gauge 3

No Layer	H (m)	z (m)	$\sigma'_o$	$\sigma'_c$	$\sigma'_o + \Delta\sigma$	$(\sigma'_o + \Delta\sigma)/\sigma'_c$	Sc (m)	$\sum Sc$ (m)
1	1	0.5	7.0505	2.1545	9.0505	4.338129	0.002748	0.002748
2	1	1.5	7.3595	2.4635	9.3595	3.919424	0.002645	0.005393
3	1	2.5	7.6685	2.7725	9.6685	3.594049	0.00255	0.007943
4	1	3.5	7.9775	3.0815	9.9775	3.333928	0.002462	0.010405
5	1	4.5	8.2865	3.3905	10.2865	3.121221	0.002379	0.012784
6	1	5.5	8.5955	3.6995	10.5955	2.944046	0.002302	0.015086
7	1	6.5	8.9045	4.0085	10.9045	2.794187	0.00223	0.017316
8	1	7.5	9.2135	4.3175	11.2135	2.665779	0.002162	0.019477
9	1	8.5	9.5225	4.6265	11.5225	2.554523	0.002098	0.021575
10	1	9.5	9.8315	4.9355	11.8315	2.457198	0.002038	0.023613
11	1	10.5	10.1405	5.2445	12.1405	2.371341	0.001981	0.025594
12	1	11.5	10.4495	5.5535	12.4495	2.295039	0.001927	0.027521
13	1	12.5	9.53975	4.64375	11.53975	2.548748	0.002094	0.029615
14	1	13.5	9.75125	4.85525	11.75125	2.481283	0.002053	0.031668
15	1	14.5	9.96275	5.06675	11.96275	2.41945	0.002013	0.033681
16	1	15.5	10.17425	5.27825	12.17425	2.362573	0.001975	0.035656
17	1	16.5	10.45175	5.55575	12.45175	2.294515	0.001927	0.037583
18	1	17.5	10.66725	5.77125	12.66725	2.246177	0.001891	0.039474
19	1	18.5	10.88275	5.98675	12.88275	2.20132	0.001856	0.04133
20	1	19.5	11.09825	6.20225	13.09825	2.159579	0.001823	0.043153

## Lampiran 6. Perbandingan Penurunan Teoritis dan Penurunan Aktual

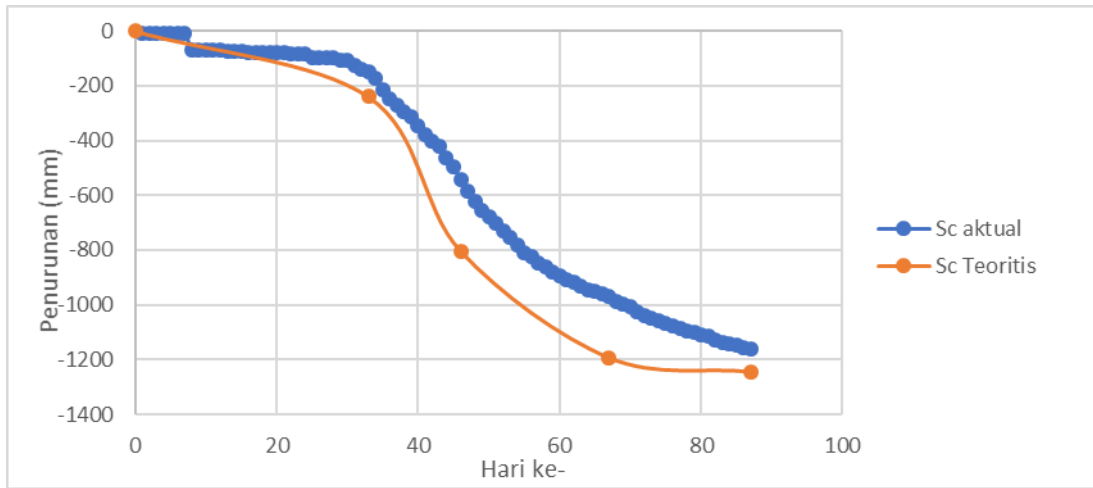
- Sp-01

Tahap	Hari Ke-	Penurunan (mm)	Total Penurunan
Tanah Awal	0	0	0
Preloading 1	33	-285.2670208	-285.2670208
Preloading 2	46	-639.3955154	-924.6625362
Preloading 3	64	-426.800307	-1351.462843
Preloading 4	87	-31.72885911	-1383.191702



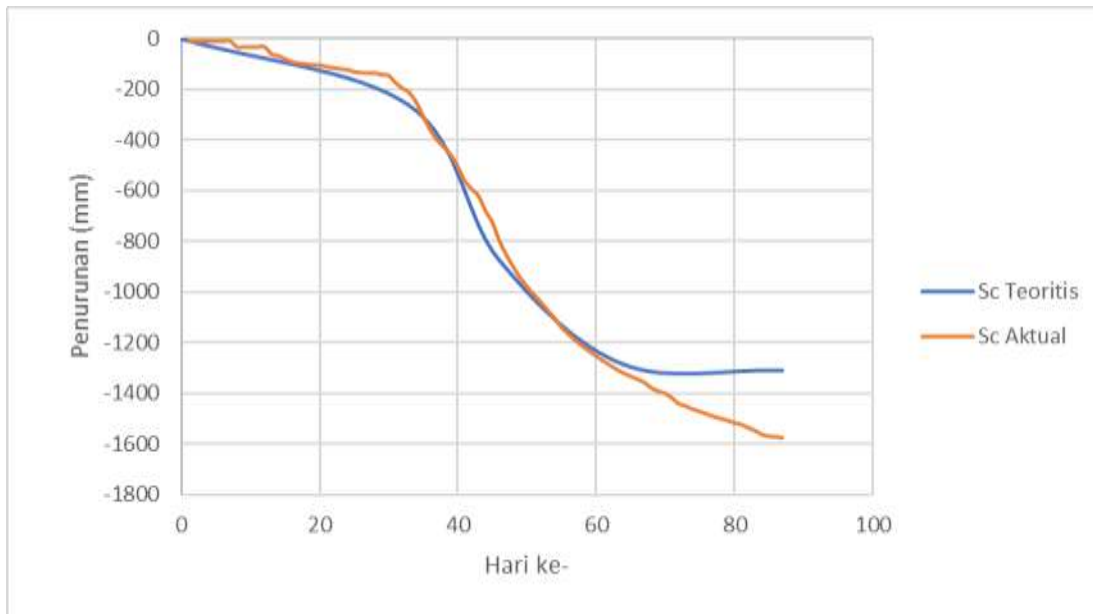
- Sp-02

Tahap	Hari Ke-	Penurunan (mm)	Total Penurunan
Tanah Awal	0	0	0
Preloading 1	33	-239.7454866	-239.7454866
Preloading 2	46	-563.1631989	-802.9086855
Preloading 3	67	-390.9300439	-1193.838729
Preloading 4	87	-51.18812157	-1245.026851



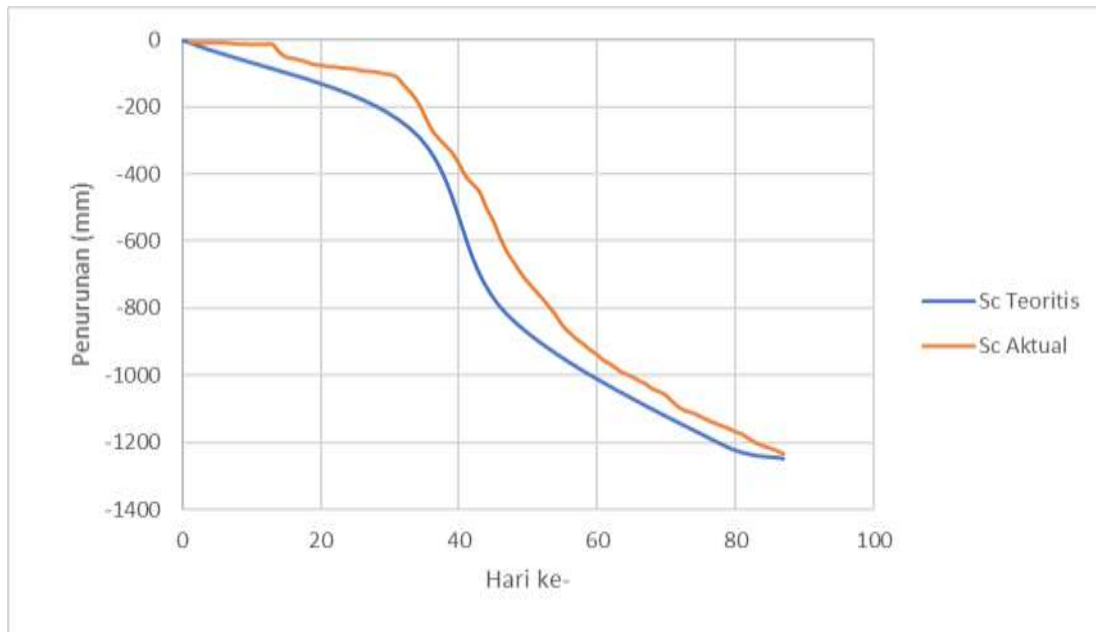
- Sp-03

Tahap	Hari Ke-	Penurunan (mm)	Total Penurunan (mm)
Tanah Awal	0	0	0
Preloading 1	33	-263.6853405	-263.6853405
VG 1	46	-611.0593874	-874.7447279
VG2	64	-413.7597758	-1288.504504
VG3	87	-23.33119841	-1311.835702



- Sp-04

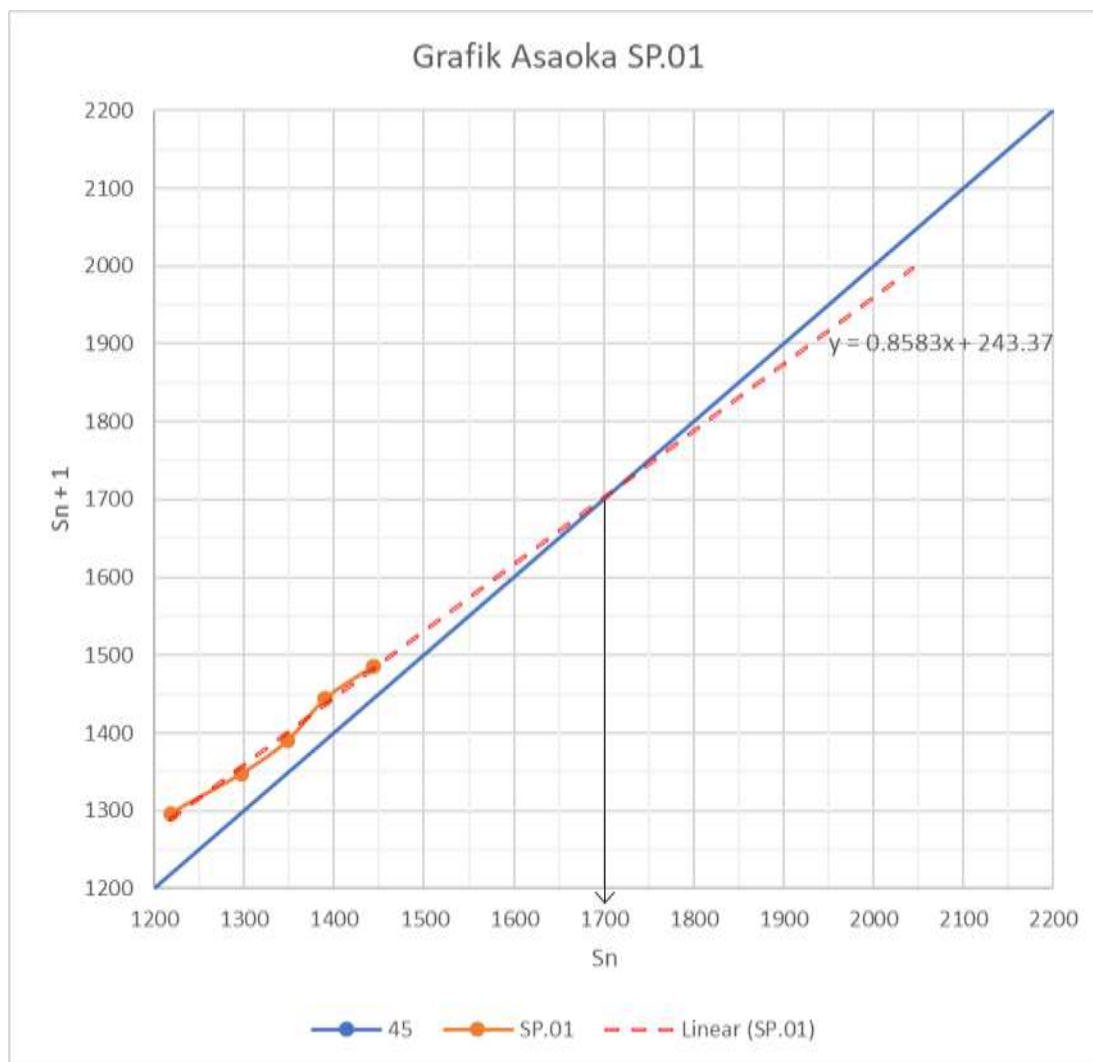
Tahap	Hari Ke-	Penurunan (mm)	Total Penurunan
Tanah Awal	0	0	0
Preloading 1	33	-263.6853405	-263.685
Preloading 2	47	-553.6923746	-817.378
Preloading 3	78	-386.5179201	-1203.9
Preloading 4	87	-43.15326779	-1247.05



### Lampiran 7. Estimasi Asaoka tiap settlement plate

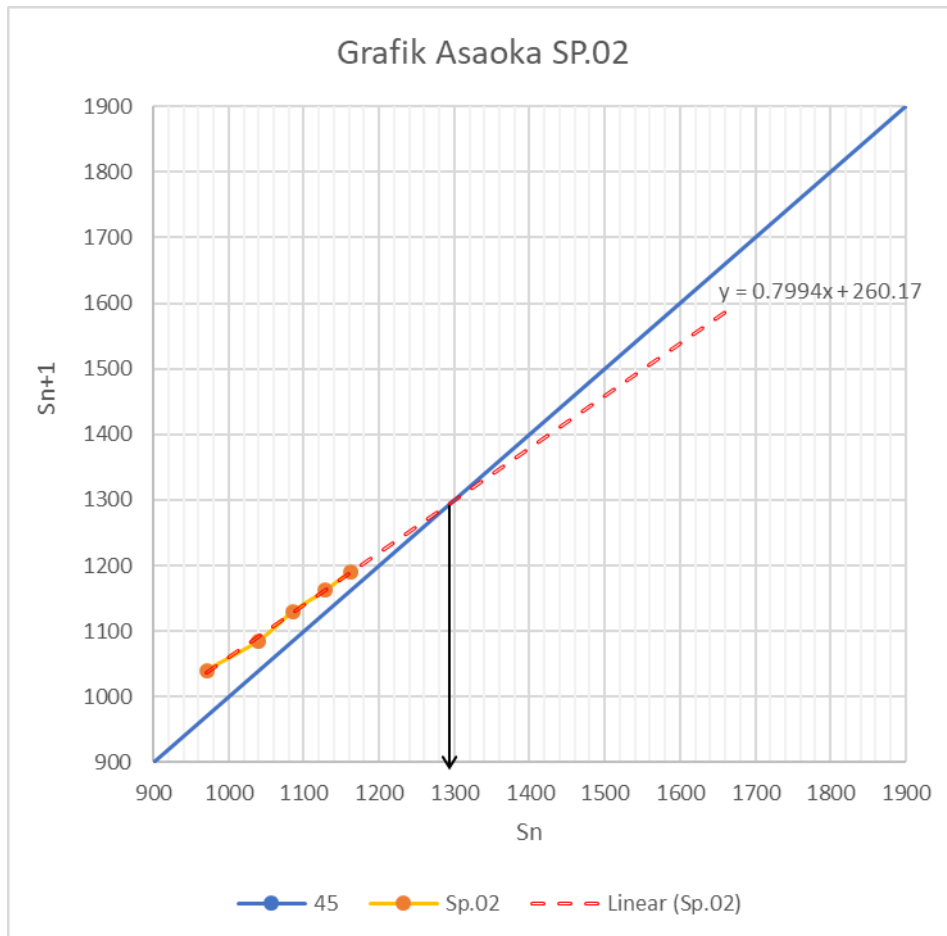
- Sp-01

Hari ke-n	Interval (hari)	$S_n$	$S_{n+1}$
67	5	1218	1297
72	5	1297	1348
77	5	1348	1390
82	5	1390	1444
87	5	1444	1486



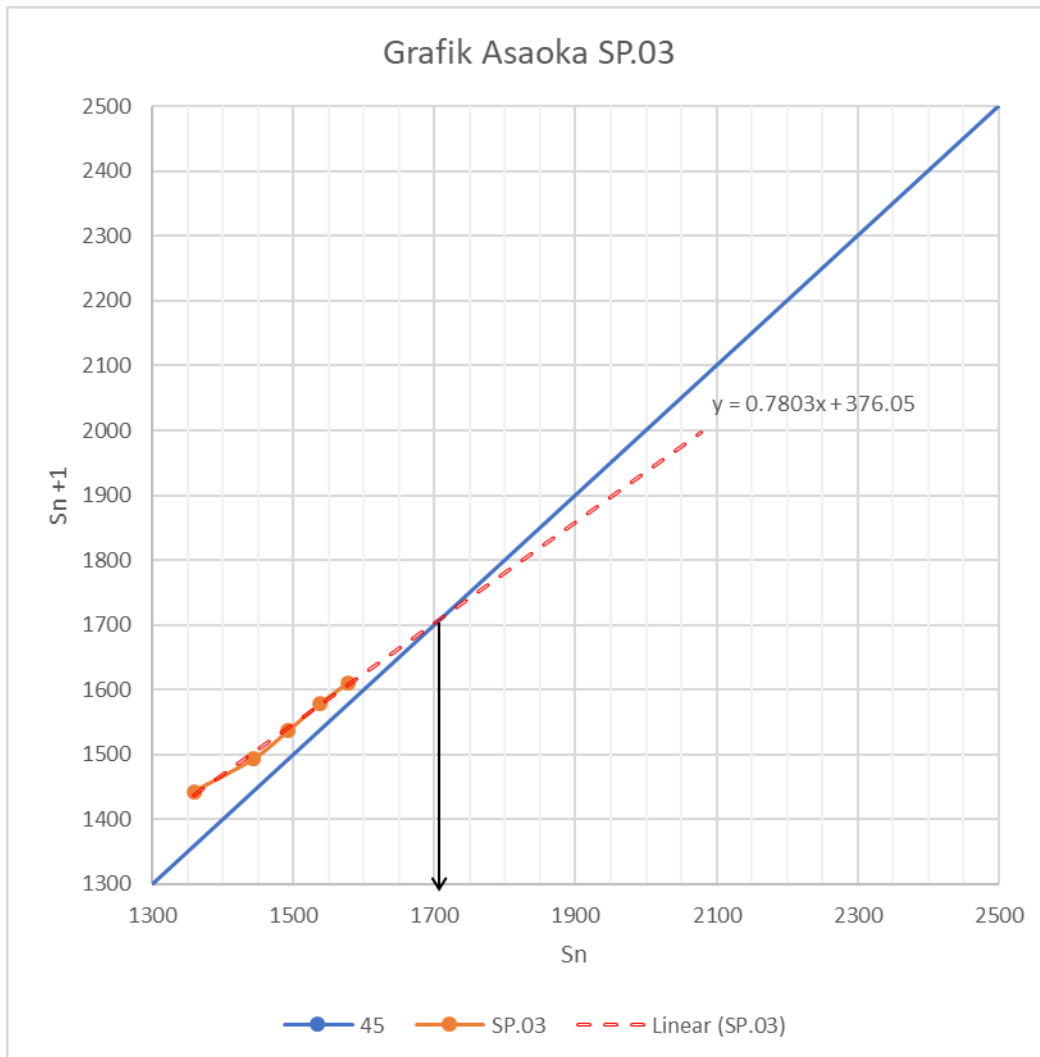
- Sp-02

Hari ke-n	Interval (hari)	Sn	Sn+1
67	5	971	1040
72	5	1040	1085
77	5	1085	1129
82	5	1129	1162
87	5	1162	1191



- Sp-03

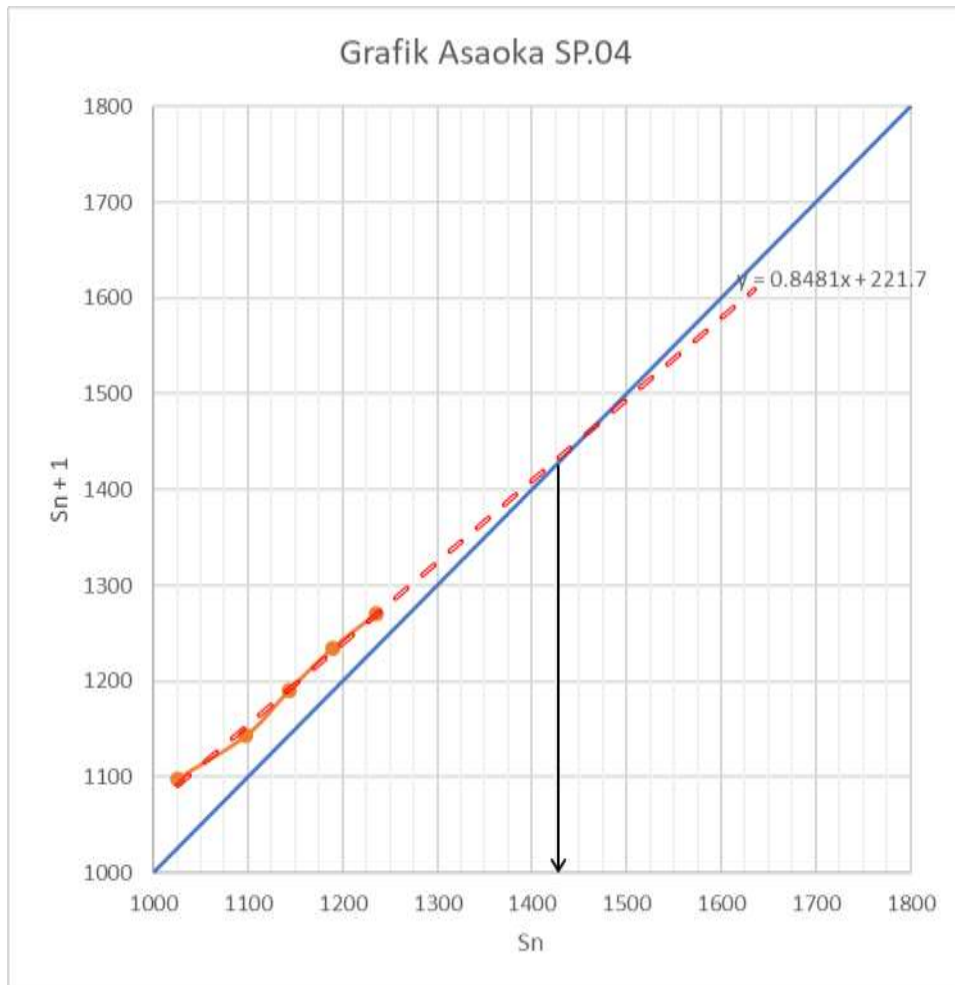
Hari ke-n	Interval (hari)	Sn	Sn+1
67	5	1359	1443
72	5	1443	1493
77	5	1493	1537
82	5	1537	1578
87	5	1578	1611





- Sp-04

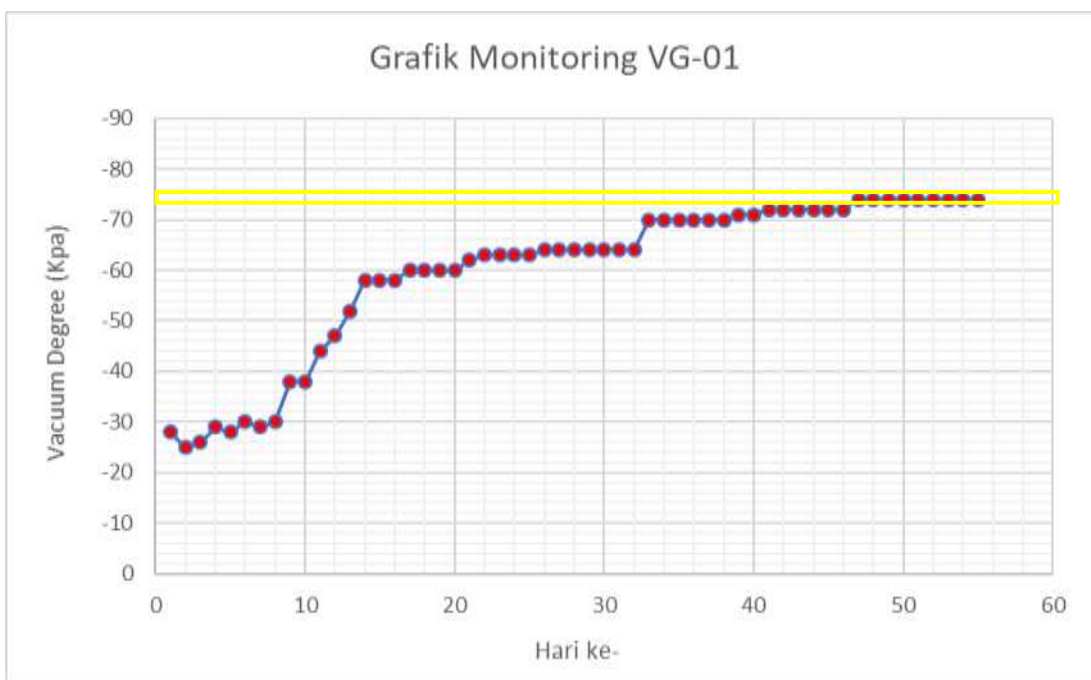
Hari ke-n	Interval (hari)	Sn	Sn+1
67	5	1026	1098
72	5	1098	1143
77	5	1143	1190
82	5	1190	1235
87	5	1235	1270

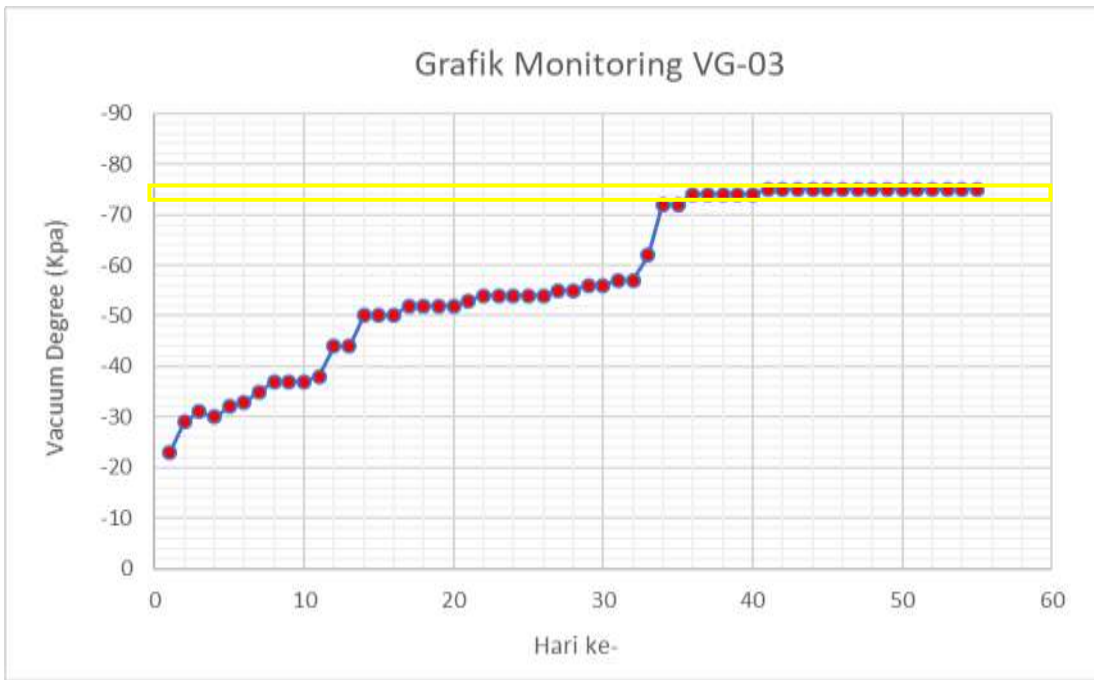
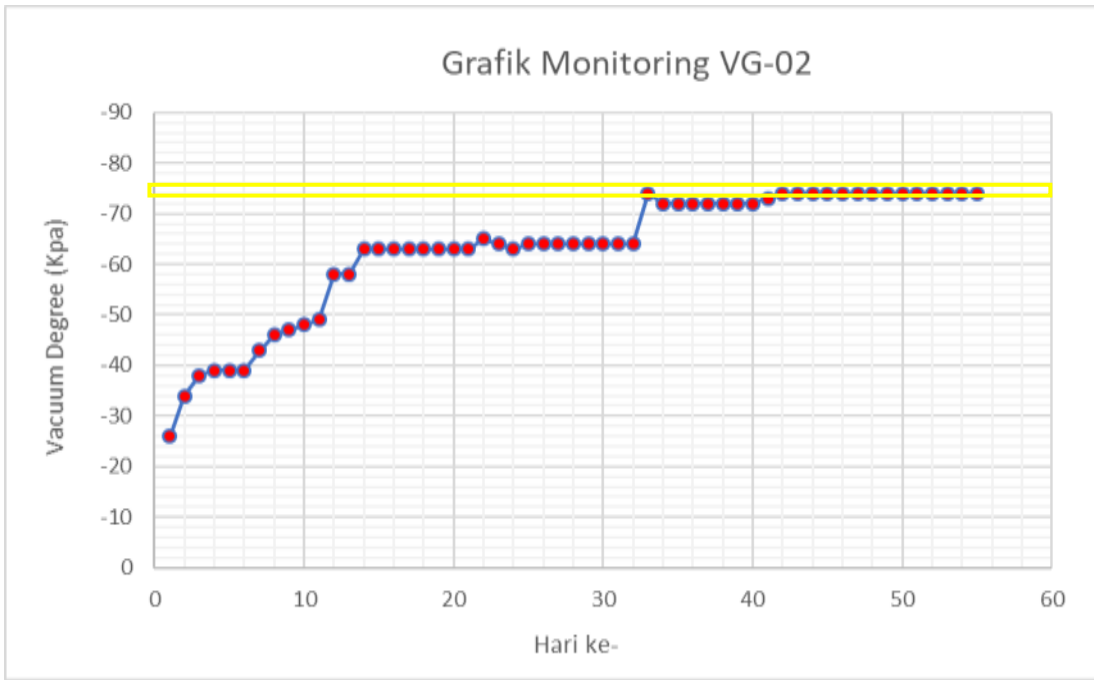


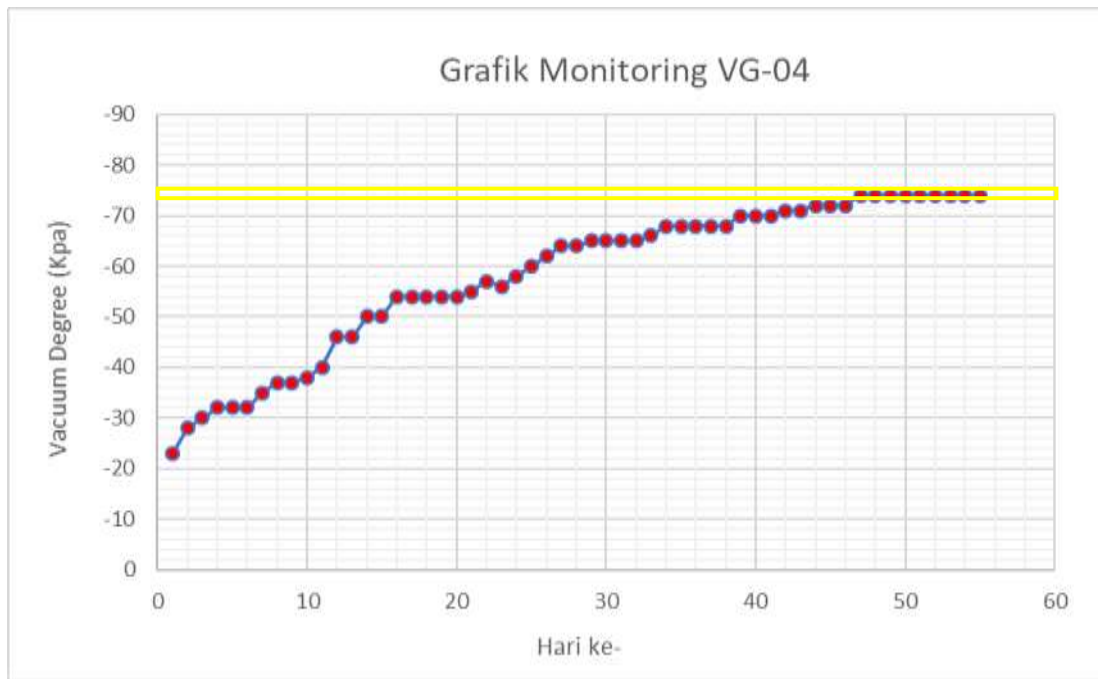
## Lampiran 8. Data monitoring Vacuum Gauge

Tanggal	Hari ke-	VG-01 dgn SP-01 (Kpa)	VG-02 dgn SP-03 (Kpa)	VG-03 dgn SP-02 (Kpa)	VG-04 dgn SP-04 (Kpa)
1 Feb 17	1	-28	-26	-23	-23
2 Feb 17	2	-25	-34	-29	-28
3 Feb 17	3	-26	-38	-31	-30
4 Feb 17	4	-29	-39	-30	-32
5 Feb 17	5	-28	-39	-32	-32
6 Feb 17	6	-30	-39	-33	-32
7 Feb 17	7	-29	-43	-35	-35
8 Feb 17	8	-30	-46	-37	-37
9 Feb 17	9	-38	-47	-37	-37
10 Feb 17	10	-38	-48	-37	-38
11 Feb 17	11	-44	-49	-38	-40
12 Feb 17	12	-47	-58	-44	-46
13 Feb 17	13	-52	-58	-44	-46
14 Feb 17	14	-58	-63	-50	-50
15 Feb 17	15	-58	-63	-50	-50
16 Feb 17	16	-58	-63	-50	-54
17 Feb 17	17	-60	-63	-52	-54
18 Feb 17	18	-60	-63	-52	-54
19 Feb 17	19	-60	-63	-52	-54
20 Feb 17	20	-60	-63	-52	-54
21 Feb 17	21	-62	-63	-53	-55
22 Feb 17	22	-63	-65	-54	-57
23 Feb 17	23	-63	-64	-54	-56
24 Feb 17	24	-63	-63	-54	-58
25 Feb 17	25	-63	-64	-54	-60
26 Feb 17	26	-64	-64	-54	-62
27 Feb 17	27	-64	-64	-55	-64
28 Feb 17	28	-64	-64	-55	-64
1 Mar 17	29	-64	-64	-56	-65
2 Mar 17	30	-64	-64	-56	-65
3 Mar 17	31	-64	-64	-57	-65
4 Mar 17	32	-64	-64	-57	-65
5 Mar 17	33	-70	-74	-62	-66
6 Mar 17	34	-70	-72	-72	-68
7 Mar 17	35	-70	-72	-72	-68
8 Mar 17	36	-70	-72	-74	-68
9 Mar 17	37	-70	-72	-74	-68
10 Mar 17	38	-70	-72	-74	-68
11 Mar 17	39	-71	-72	-74	-70

12 Mar 17	40	-71	-72	-74	-70
13 Mar 17	41	-72	-73	-75	-70
14 Mar 17	42	-72	-74	-75	-71
15 Mar 17	43	-72	-74	-75	-71
16 Mar 17	44	-72	-74	-75	-72
17 Mar 17	45	-72	-74	-75	-72
18 Mar 17	46	-72	-74	-75	-72
19 Mar 17	47	-74	-74	-75	-74
20 Mar 17	48	-74	-74	-75	-74
21 Mar 17	49	-74	-74	-75	-74
22 Mar 17	50	-74	-74	-75	-74
23 Mar 17	51	-74	-74	-75	-74
24 Mar 17	52	-74	-74	-75	-74
25 Mar 17	53	-74	-74	-75	-74
26 Mar 17	54	-74	-74	-75	-74
27 Mar 17	55	-74	-74	-75	-74

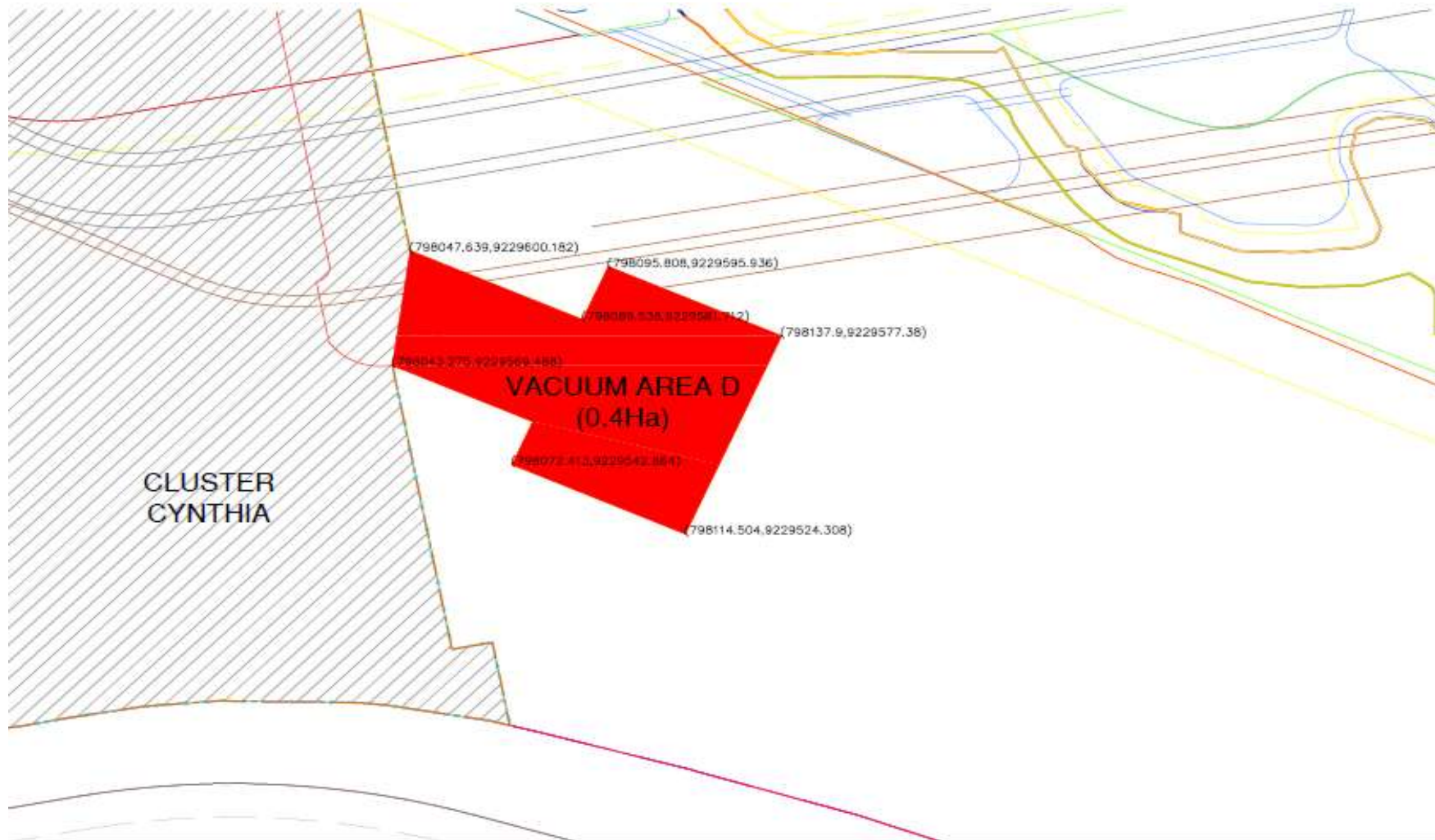




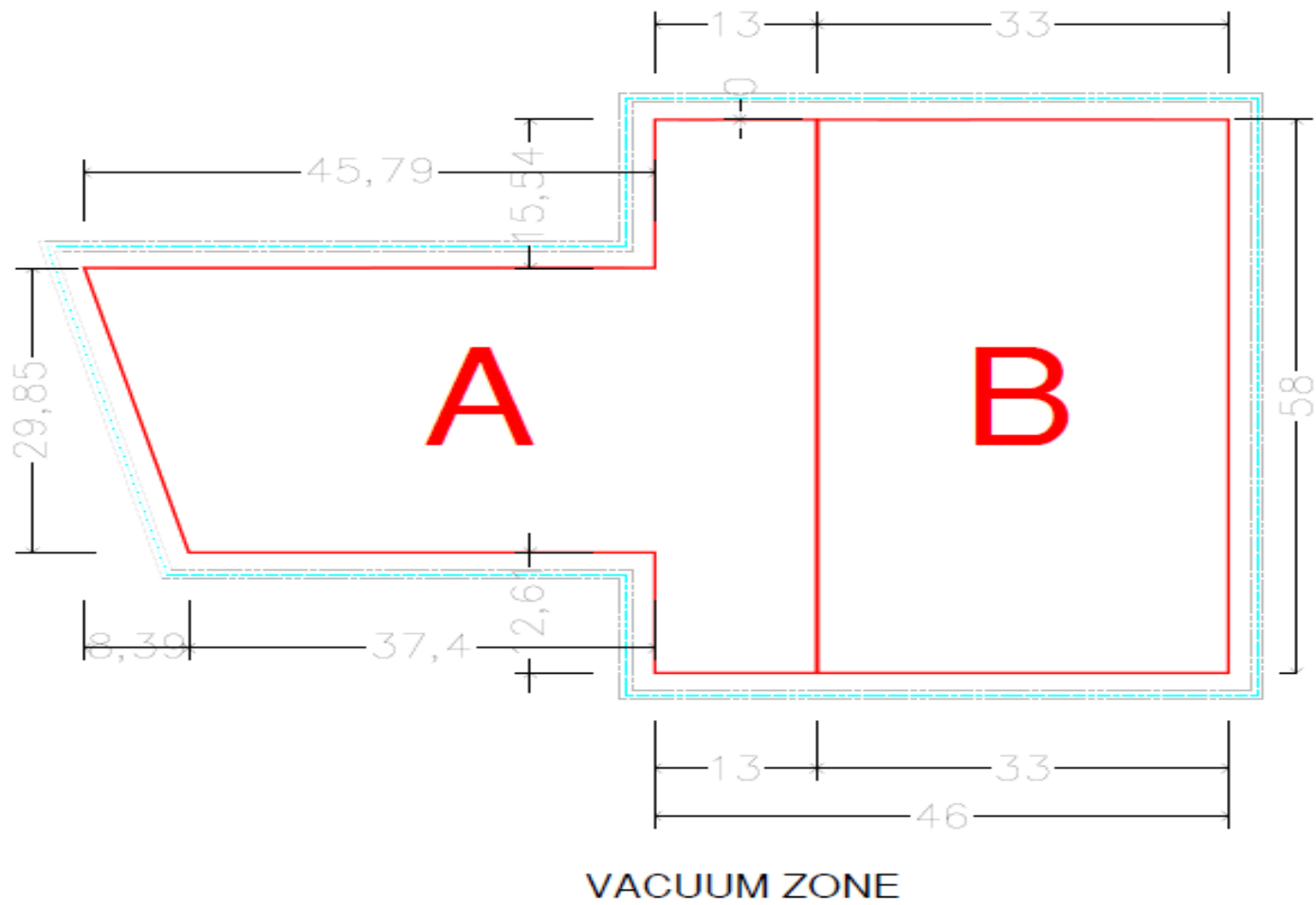


**Lampiran 8. Gambar pekerjaan area *Vacuum* (Cluster D)**

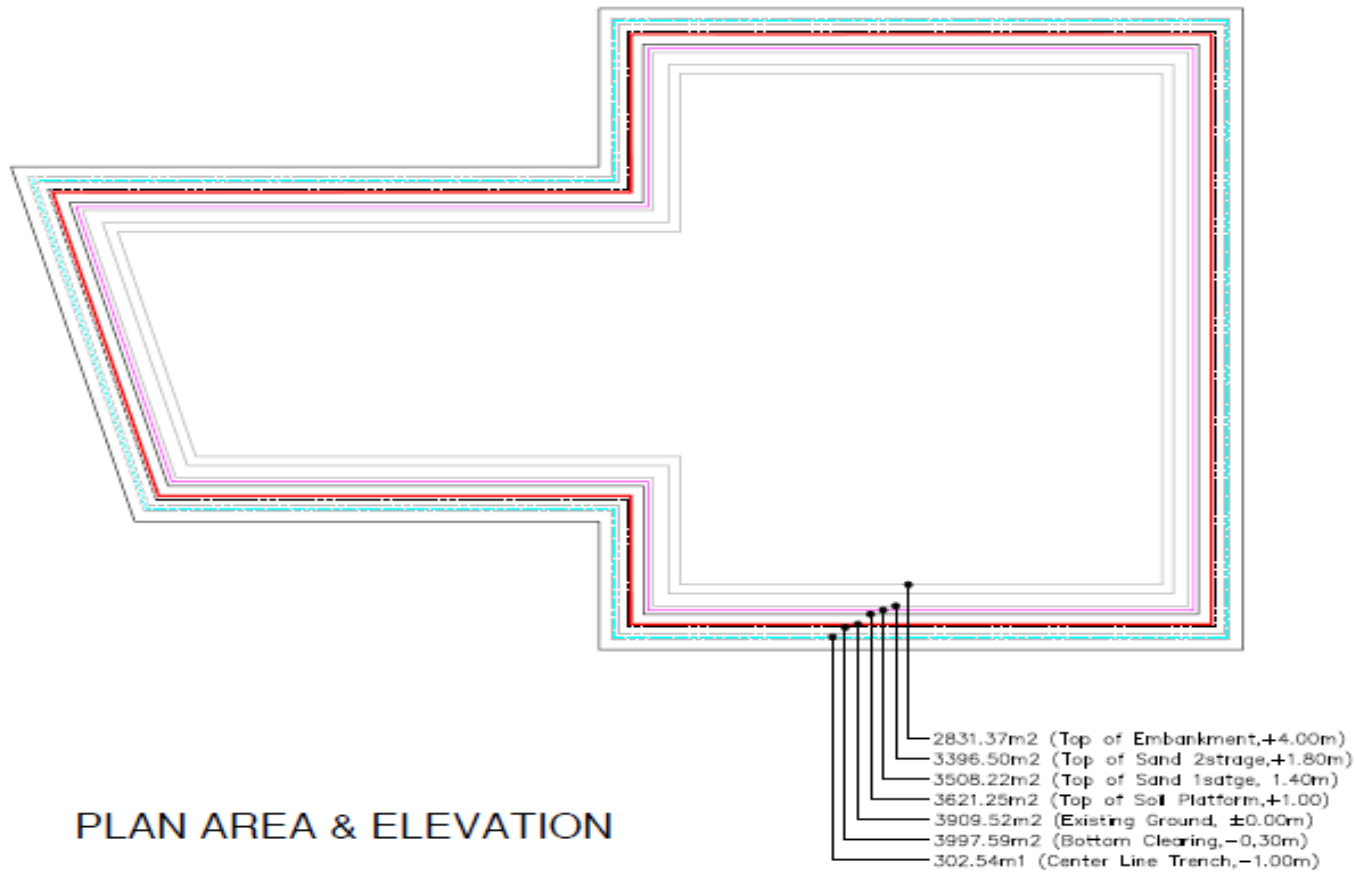
- *Vacuum Area*



- *Vacuum Zone*

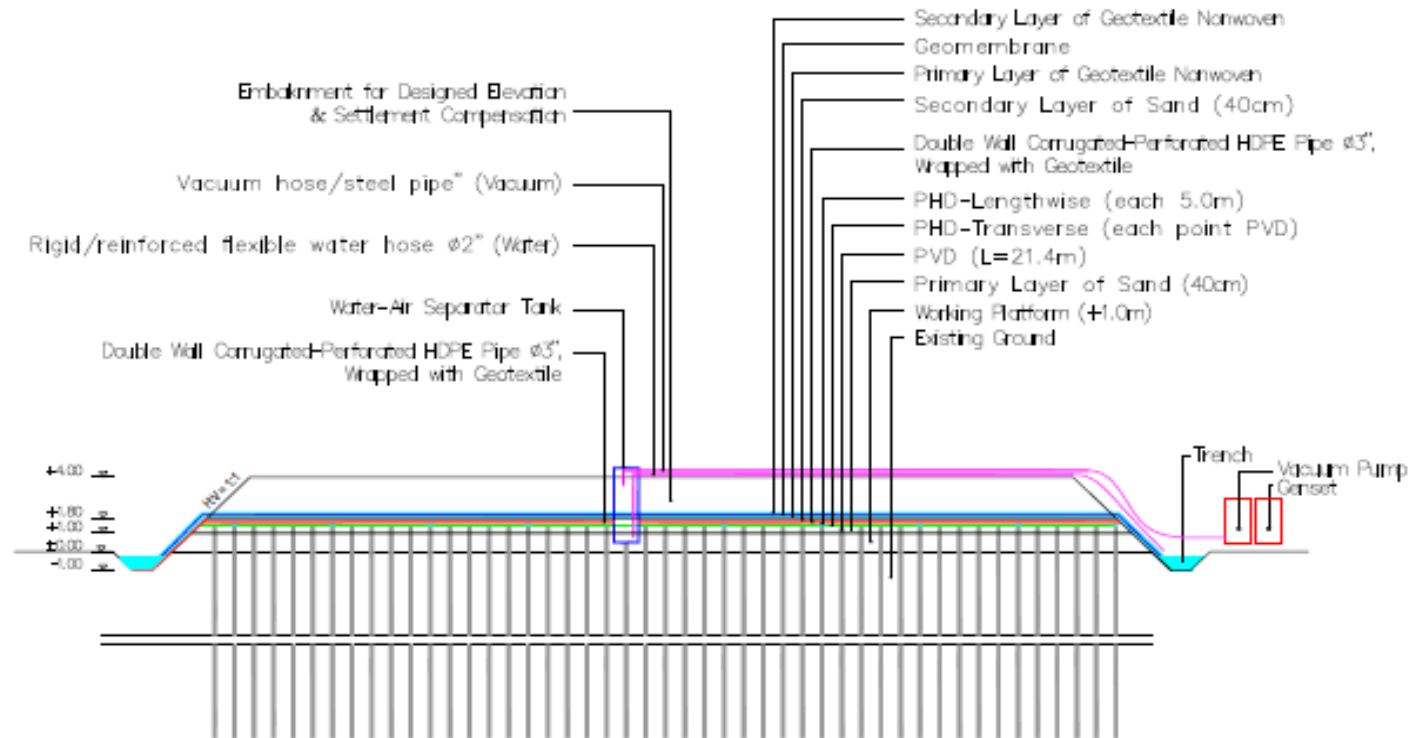


- Plan Area & Elevation



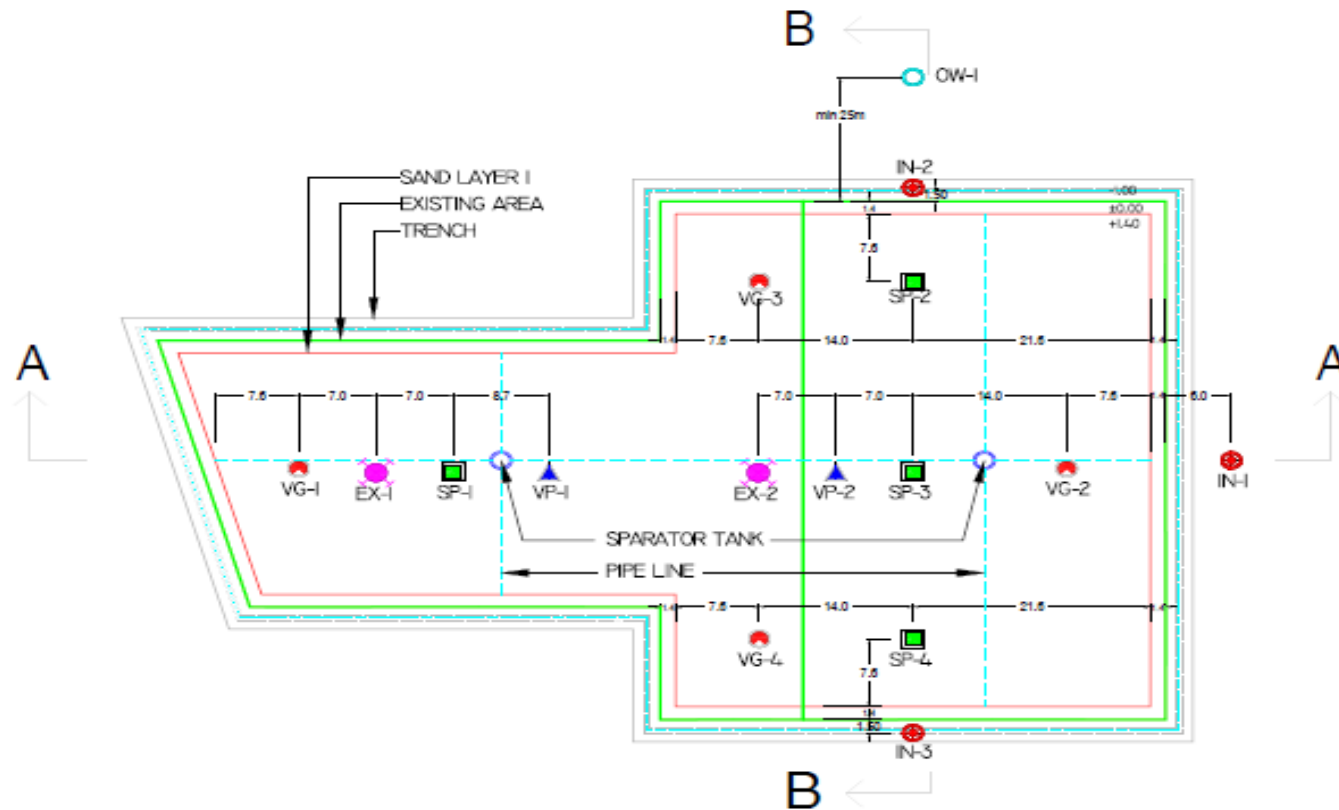


- *Vacuum cross section*



## CROSS SECTION

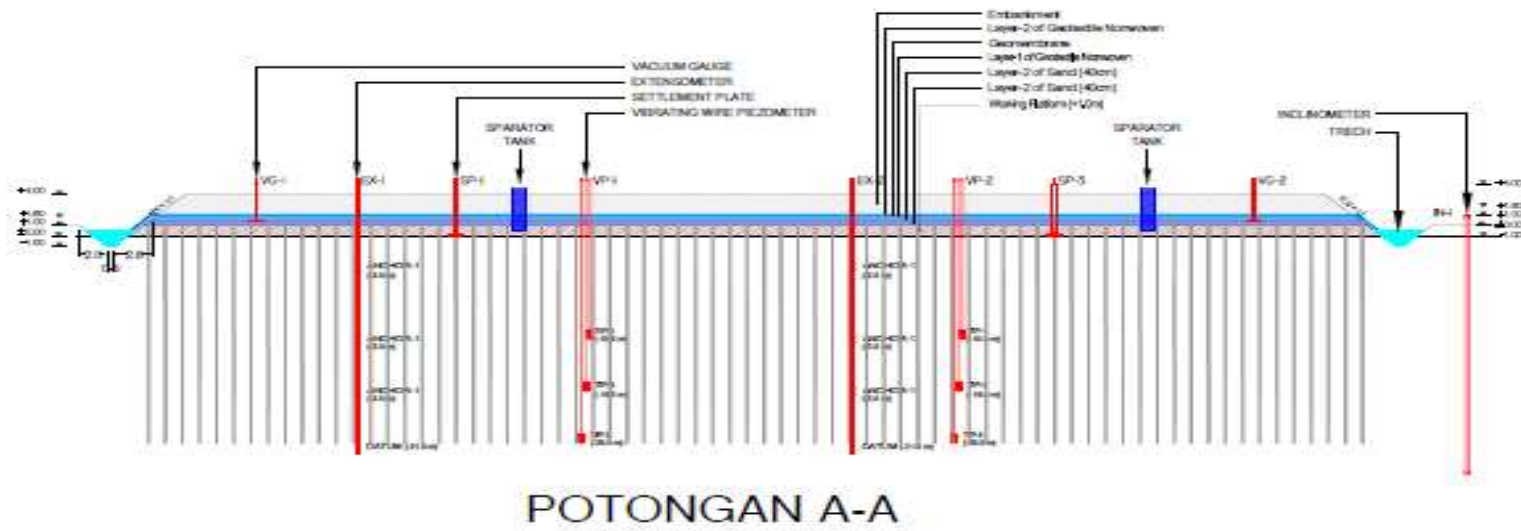
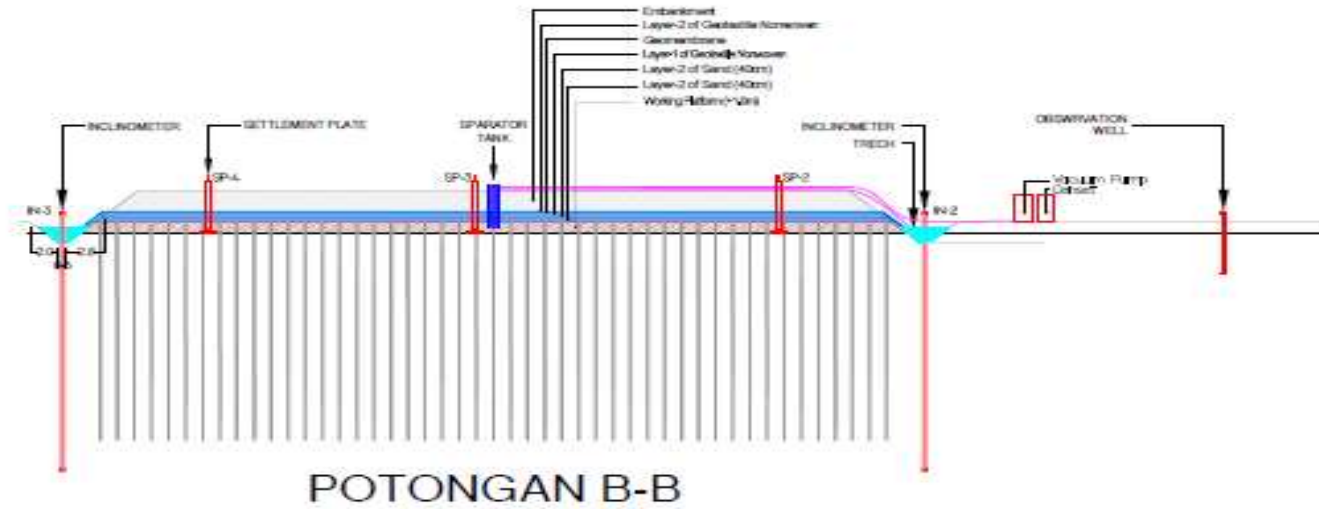
- *Geotechnical Instrument Plan*



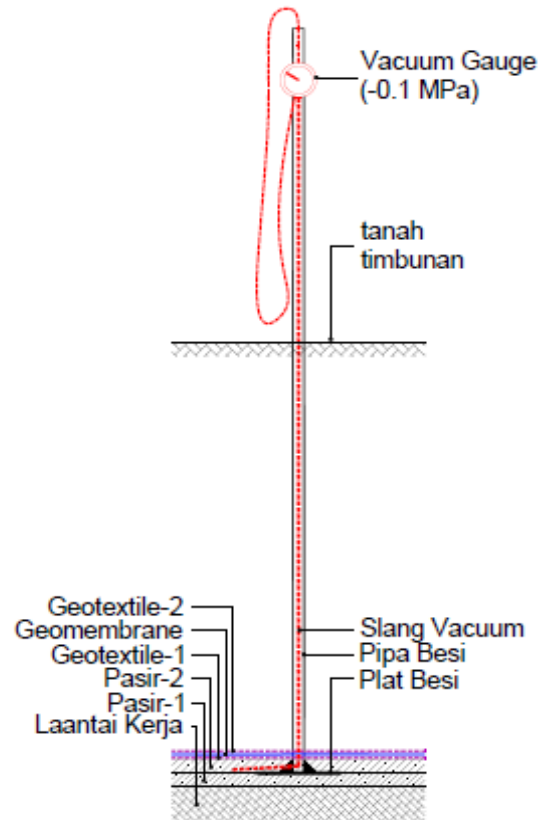
**GEOTECHNICAL INSTRUMENT PLAN**

●	VACUUM GAUGE	: 4 points
■	SETTLEMENT PLATE	: 4 points
▲	VIBRATING WIRE PIEZOMETER	: 2 point
⊗	INCLINOMETER	: 3 point
⊗	EXTENSOMETER	: 2 points
○	OBSERVATION WELL	: 1 points

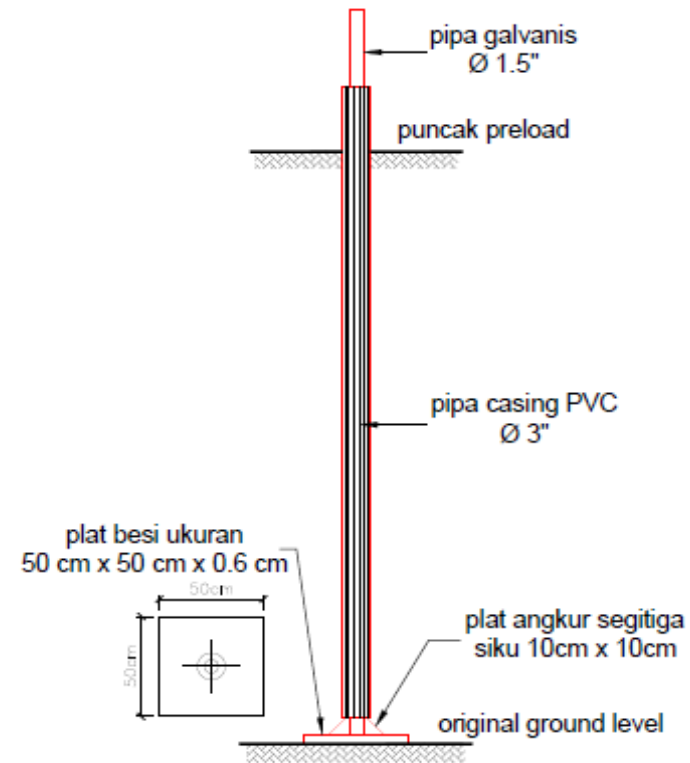
- *Geotechnical Instrument Plan cross section*



- *Detail Pemasangan Vacuum Gauge dan Settlement Plate*

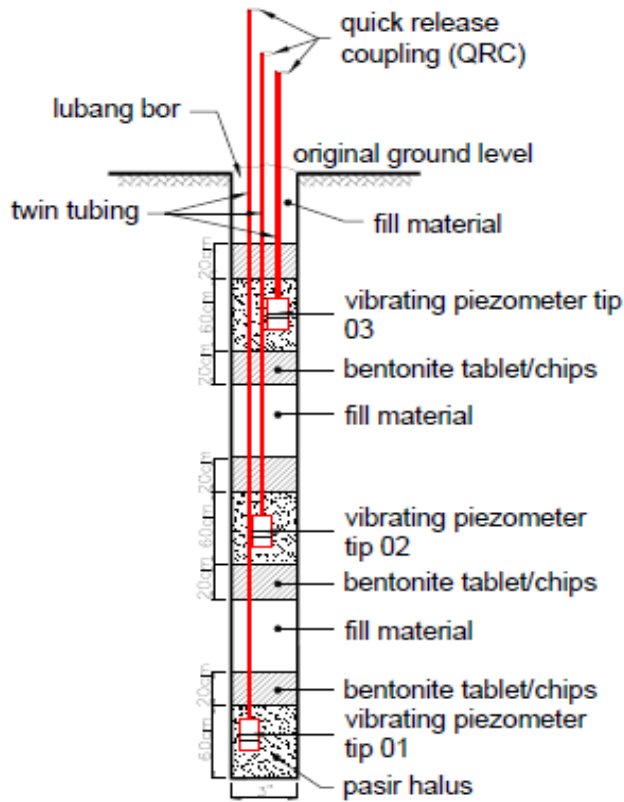


**DETAIL PEMASANGAN  
VACUUM GAUGE**

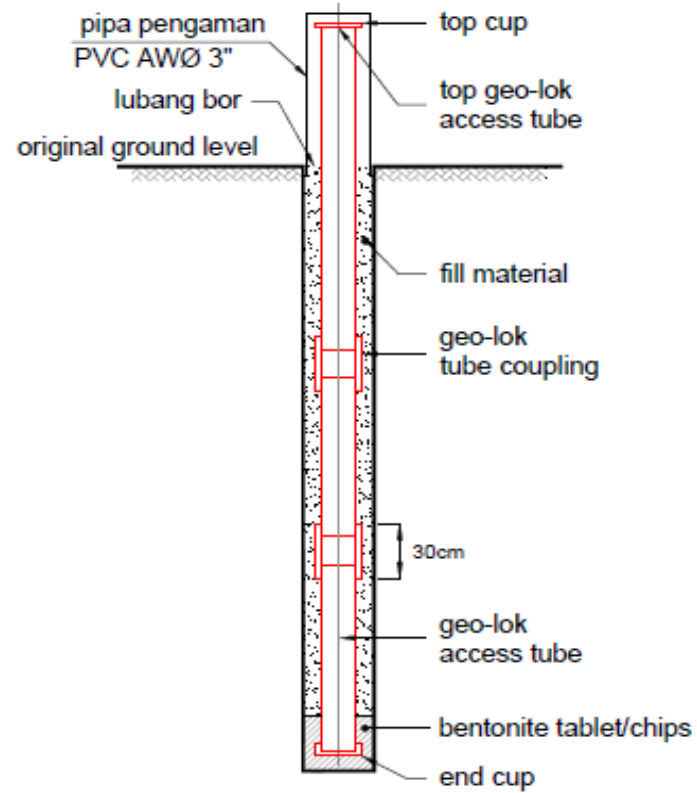


**DETAIL PEMASANGAN  
SETTLEMENT PLATE**

- *Detail Pemasangan Vibrating wire piezometer dan Inclinator*



DETAIL PEMASANGAN  
VIBRATING WIRE PIEZOMETER



DETAIL PEMASANGAN  
INCLINOMETER

(Halaman sengaja dikosongkan)