



**EVALUASI PENURUNAN TANAH AKIBAT PRELOADING
DI MANYAR GRESIK**

TUGAS AKHIR

Oleh

**Stevianus Vinanta Bagawanta
NIM 141910301017**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**EVALUASI PENURUNAN TANAH AKIBAT PRELOADING
DI MANYAR GRESIK**

TUGAS AKHIR

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Sipil (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Stevianus Vinanta Bagawanta
NIM 141910301017

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

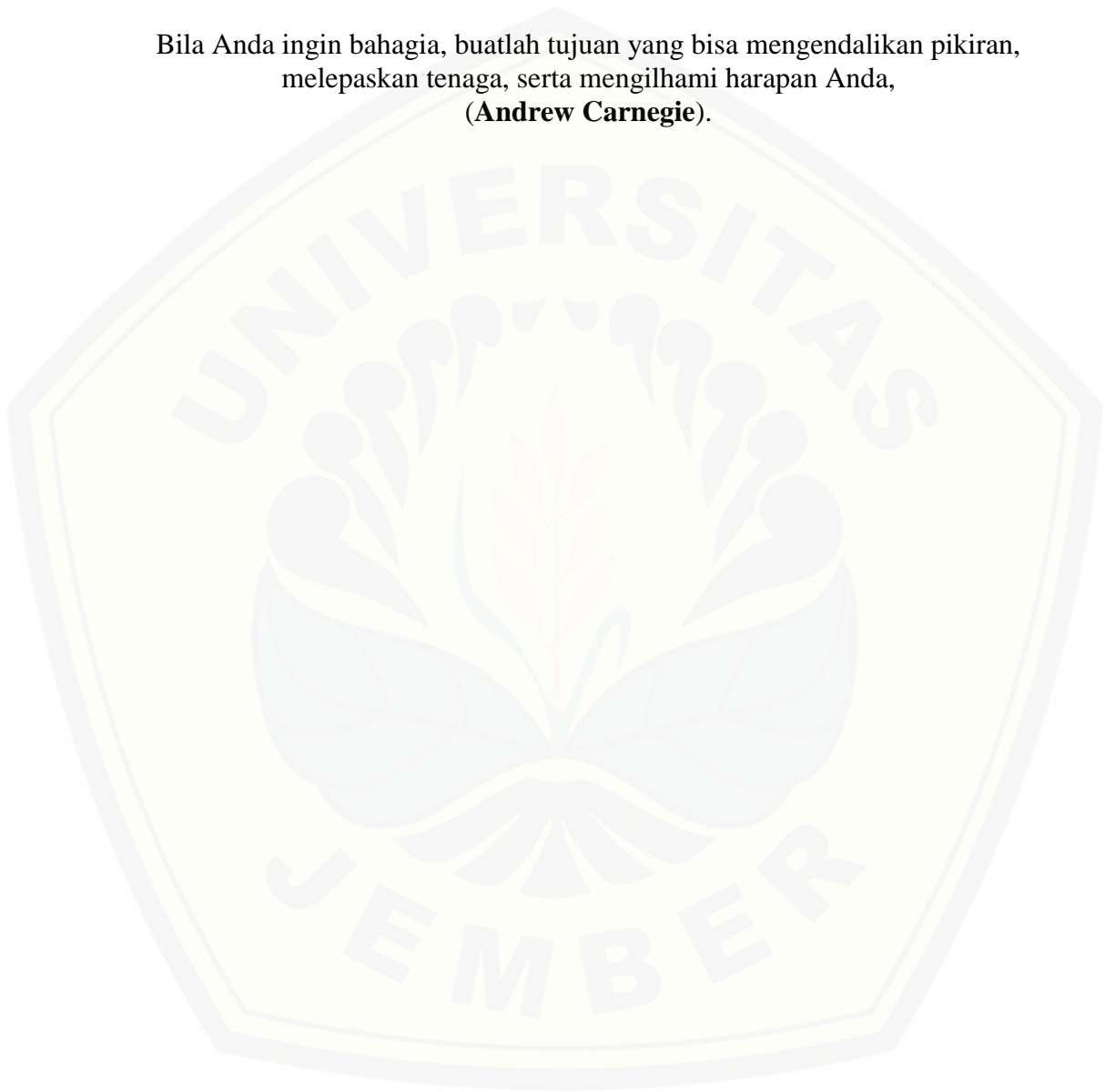
Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibunda Erlina dan Ayahanda Gianto yang selalu memberikan kasih sayang dan dukungan baik moril maupun materiil;
2. Kakakku Christian Danang Prihartanto, Mbakku Margareta Diya Prihartanto dan adikku Naftali Pinasti Putri tersayang yang selalu menjadi sumber cerita dan canda tawa saat sedang berkumpul bersama keluarga besar;
3. Guru – guruku sejak taman kanak – kanak sampai perguruan tinggi, yang sudah memberikan ilmu dan membimbing dengan penuh kesabaran dan ketegasan;
4. Teman – temanku yang sudah mendukung dari awal Ana, Fajar, Vega, Soso, Nono, Azizah, Romi, Ma'ruf, Trio, Satrio, Pujo, Oliv, Riska serta Ganas'14 yang selalu aku sayangi dan banggakan terimakasih atas kurang lebih empat tahun ini sudah memberikan warna dalam hidupku selama kuliah;
5. Pengurus BEM 2016-2017 dan BEM 2017 yang banyak memberikan motivasi, semangat serta saran untuk menyelesaikan skripsi ini.
6. Almamater Fakultas Teknik Jurusan Teknik Universitas Jember.
7. Semua pihak yang turut berperan serta dalam penyelesaian tugas akhir ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

MOTO

Segala perkara dapat kutanggung di dalam Dia yang memberi kekuatan kepadaku.
Filipi 4:13

Bila Anda ingin bahagia, buatlah tujuan yang bisa mengendalikan pikiran,
melepaskan tenaga, serta mengilhami harapan Anda,
(Andrew Carnegie).



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

nama : Stevianus Vinanta Bagawanta

NIM : 141910301017

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Evaluasi Penurunan Tanah Akibat Preloading di Manyar Gresik” adalah benar – benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Juli 2018

Yang menyatakan,

Stevianus Vinanta Bagawanta
NIM 141910301017

TUGAS AKHIR

**EVALUASI PENURUNAN TANAH AKIBAT PRELOADING
DI MANYAR GRESIK**

Oleh

Stevianus Vinanta Bagawanta
NIM 141910301017

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : M. Farid Maruf, S.T.,M.T.,Ph.D.

Dosen Pembimbing Anggota : Luthfi Amri Wicaksono, S.T.,M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Evaluasi Penurunan Tanah Akibat *Preloading* di Manyar Gresik” karya Stevianus Vinanta Bagawanta telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Senin, 2 Juli 2018

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji:

Pembimbing I,

Pembimbing II,

M. Farid Maruf, S.T.,M.T.,Ph.D.
NIP 197212231998031002

Luthfi Amri Wicaksono, S.T.,M.T.
NRP 760016771

Penguji I,

Penguji II,

Wiwik Yunarni Widiarti, S.T.,M.T.
NIP 1970061319980221

Paksitya Purnama Putra, S.T.,M.T.
NRP 760016798

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik,
Universitas Jember

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM
NIP 196612151995032002

RINGKASAN

Evaluasi Penurunan Tanah Akibat *Preloading* di Manyar Gresik; Stevianus Vinanta Bagawanta, 141910301017; 2018: 40 halaman; Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Wilayah kota Gresik dan sekitarnya mempunyai kondisi tanah dengan kandungan berupa tanah *alluvium*. Kondisi tanah dasar yang sangat lunak menyebabkan penurunan tanah dan muka air tanah menjadi lebih tinggi dari daratan. Sehingga perlu adanya reklamasi untuk lahan bangunan, pelabuhan dan lain sebagainya. Oleh karena itu penurunan tanah sangat penting untuk diperhitungkan dalam kondisi tanah lunak.

Tugas akhir ini membahas evaluasi penurunan tanah yang terjadi di Manyar Gresik. Evaluasi ini dilakukan untuk mengetahui kondisi konsolidasi tanah serta memprediksi penurunan tanah maksimal yang terjadi di lapangan.

Pada evaluasi penurunan tanah di titik CPTu akan menggunakan metode Schertmann untuk mengetahui konsolidasi tanah. Parameter yang digunakan untuk mengetahui kondisi tanah adalah memakai data tekanan air pori (Bq). Hasil analisa kondisi konsolidasi dari CPTu-01 sampai dengan CPTu-05 didapat sebagai berikut: CPTu-01 65%; CPTu-02 66,67%; CPTu-03 54,16%; CPTu-04 50,71%; CPTu-05 78,67%, sehingga masih mengalami konsolidasi. Selain itu pada prediksi penurunan tanah akan menggunakan data *settlement plate* yang sudah ada di lapangan lalu dianalisa dengan metode Asaoka. Analisa penilaian dari metode Asaoka dari SP-01 sampai dengan SP-16 sebagai berikut SP-01 84,08%; SP-02 99,44%; SP-03 97,32%; SP-04 92,38%; SP-05 86,83%; SP-06 78,34%; SP-07 88,49%; SP-08 89,01%; SP-09 68,92%; SP-10 74,29%; SP-11 88,47%; SP-12 78,16%; SP-13 92,40%; SP-14 96,16%; SP-15 95,77%; SP-16 98,47%. Menurut hasil analisa di atas masih mengalami penurunan, karena data monitoring lapangan nilainya lebih kecil dari pada nilai penurunan metode Asaoka.

SUMMARY

Evaluation of Soil Degradation caused by Preloading in Manyar Gresik; Stevianus Vinanta Bagawanta, 141910301017; 2018: 40 pages; Department of Civil Engineering Faculty of Engineering, University of Jember.

The city of Gresik and its surrounding areas have soil conditions with the content of alluvium soil. The ground conditions of very broad and low ground air become higher than land. Need improvement for building, harbor and so on. It is therefore very important to take into account in soft soil conditions.

This final project is a decision that occurs in Manyar Gresik. This evaluation is conducted to determine the condition of the calculated land and buildings that occurred in the field.

In the evaluation of land degradation at the CPTu point will use Schertmann method to know the consolidation of soil. The parameters used to determine the soil condition are using pore water pressure data (Bq). The analysis of the consolidation conditions from CPTu-01 to CPTu-05 is as follows: CPTu-01 65%; CPTu-02 66.67%; CPTu-03 54.16%; CPTu-04 50,71%; CPTu-05 78.67%, still projected. In addition to the prediction of the land will use data settlement of existing plates in the field and then analyzed by Asaoka method. Analysis of the Asaoka method from SP-01 to SP-16 as follows SP-01 84.08%; SP-02 99.44%; SP-03 97.32%; SP-04 92.38%; SP-05 86,83%; SP-06 78.34%; SP-07 88.49%; SP-08 89,01%; SP-09 68.92%; SP-10 74.29%; SP-11 88.47%; SP-12 78.16%; SP-13 92.40%; SP-14 96.16%; SP-15 95.77%; SP-16 98.47%. According to the results of the above analysis is still decreased, because the field monitoring data value is smaller than the value of Asaoka method decrease.

PRAKATA

Puji Syukur ke hadirat Tuhan YME atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Evaluasi Penurunan Tanah Akibat Preloading di Manyar Gresik”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. M. Farid Maruf, S.T.,M.T.,Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Luthfi Amri Wicaksono, S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. Ibu Ririn Endah Badriani, S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
3. Bapak Gianto dan Ibu Erlina sekeluarga yang telah memberikan dorongan dan doanya demi terselesaikannya tugas akhir ini;
4. semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, Juli 2018

Penulis

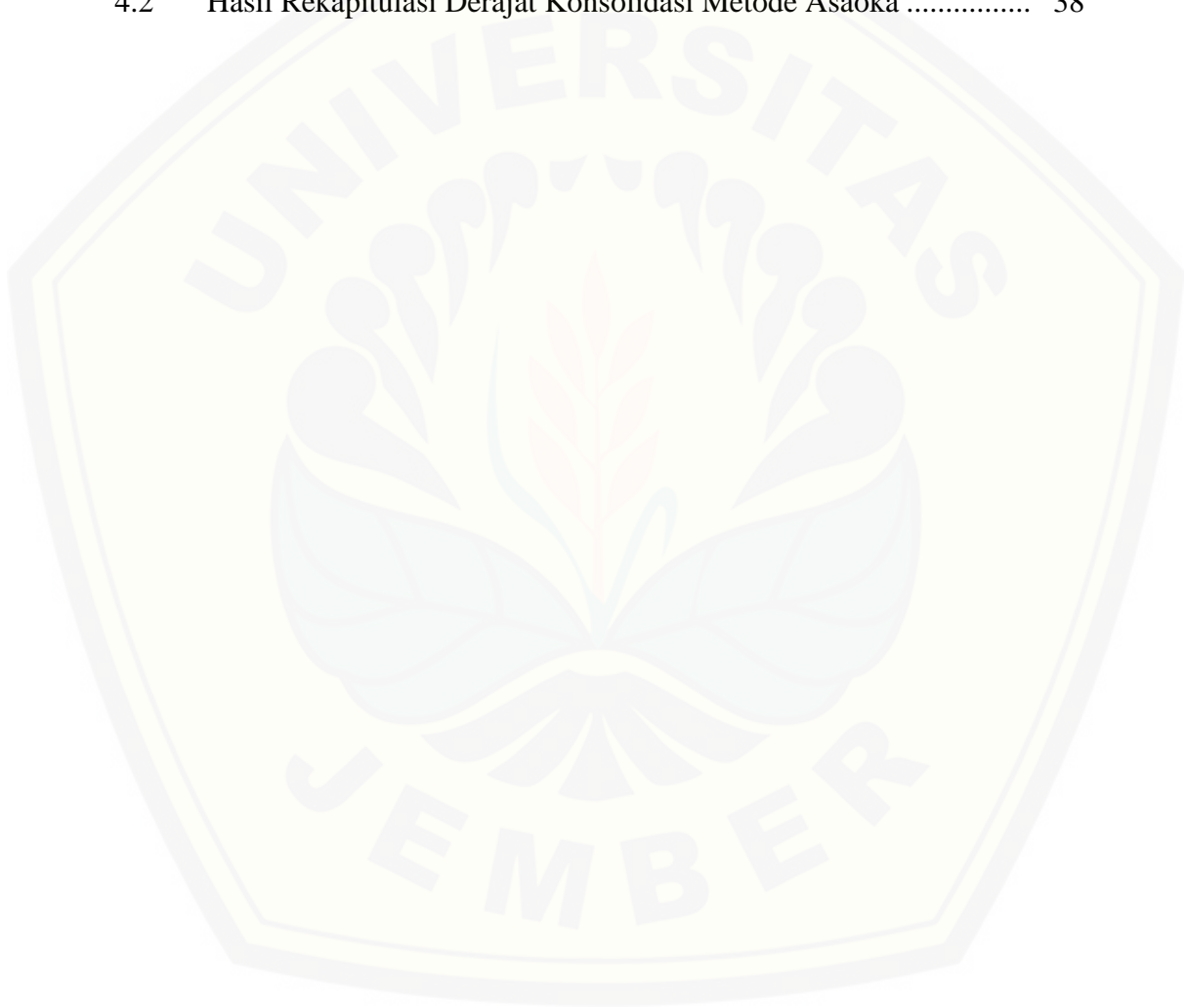
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN/SUMMARY	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB 2. LANDASAN TEORI	4
2.1 Tanah Lunak	4
2.2 Teori Konsolidasi	5
2.2.1 Penurunan Konsolidasi (<i>Consolidation Settlement</i>)	5
2.2.2 Derajat Konsolidasi (U%)	7
2.3 Deskripsi Umum dari CPT dan CPTu	8
2.4 Interpretasi Hasil Uji CPTu	12
2.4.1 Klasifikasi Tanah.....	12
2.5 Penentuan OCR berdasarkan Uji CPTu	15
2.5.1 Metode Schmertmann.....	15
2.5.2 Interpretasi berdasarkan Rasio Tahanan Ujung.....	16
2.5.3 Penentuan Nilai OCR berdasarkan Nilai Bq	17
2.6 Penentuan Besarnya Penurunan berdasarkan Data Settlement Plate	18
2.6.1 Metode Asaoka (1978)	18
2.6.2 Derajat Konsolidasi di Lapangan	19
BAB 3. METODOLOGI	20
3.1 Lokasi Penelitian	20
3.2 Waktu Penelitian	21
3.3 Kerangka Penelitian	21
3.4 Tahapan Penelitian	22
3.4.1 Studi Literatur.....	22

3.4.2 Pengumpulan dan Pengolahan Data	23
3.4.3 Evaluasi Derajat Konsolidasi (U%).....	23
BAB 4. HASIL DAN ANALISA DATA.....	24
4.1 Data Uji Lapangan	24
4.2 Evaluasi Derajat Konsolidasi menggunakan Data CPTu	24
4.2.1 Evaluasi Konsolidasi dengan Parameter Bq.....	25
4.2.2 Titik CPTu-01.....	26
4.2.3 Titik CPTu-02.....	28
4.2.4 Titik CPTu-03.....	30
4.2.5 Titik CPTu-04.....	32
4.2.6 Titik CPTu-05.....	34
4.3 Evaluasi Derajat Konsolidasi Berdasarkan Data Settlement Plate	35
4.3.1 Penurunan Derajat Konsolidasi dengan Metode Asaoka.....	36
BAB 5. KESIMPULAN	39
5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN.....	42

DAFTAR TABEL

	Halaman
1.1 Ringkasan Kondisi Konsolidasi	1
2.1 Sifat-sifat Umum Lempung Lunak.....	4
2.2 Variasi Faktor Waktu terhadap Derajat Konsolidasi menurut Terzaghi.....	7
2.3 Estimasi dari <i>Constrained Modulus</i> , M, Untuk Tanah Lempung ...	19
4.1 Besar Penurunan Hari ke-n (S_n) dan Hari ke- $n+1$ (S_{n+1}).....	36
4.2 Hasil Rekapitulasi Derajat Konsolidasi Metode Asaoka	38



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Bikonus Begemann	9
2.2 CPT Elektrik Fugro... ..	10
2.3 Piezocone	11
2.4 Beberapa Jenis Piezocone	11
2.5 Klasifikasi Tanah dengan CPTu menurut Jones dan Rust, 1982	13
2.6 Efek Tekanan Air Pori terhadap Tekanan Ujung Terukur	14
2.7 Klasifikasi Tanah Dengan CPTu.....	14
2.8 Klasifikasi Jenis Perilaku Tanah dengan CPTu	15
2.9 <i>Stress History</i> Pada Tanah Lempung berdasarkan Data Tahanan Ujung	16
2.10 Interpretasi Untuk Lempung Terkonsolidasi.....	16
2.11 Korelasi Bq vs OCR Nurindahsih	17
2.12 Korelasi Bq vs OCR Rahardjo	17
2.13 Analisis Prediksi Penurunan Akhir Metode Asaoka (1978)	19
3.1 Lokasi Penelitian	20
3.2 Titik Lokasi CPTu dan Settlement Plate Proyek.....	20
3.3 Kerangka Alir Penelitian	21
4.1 Lokasi Titik Uji CPT serta Monitoring <i>Settlement Plate</i>	24
4.2 Evaluasi konsolidasi dengan parameter Bq.....	25
4.3 Interpretasi CPTu-01	26
4.4 Grafik Derajat Konsolidasi CPTu-01	27
4.5 Interpretasi CPTu-02	28
4.6 Grafik Derajat Konsolidasi CPTu-02	29
4.7 Interpretasi CPTu-03	30
4.8 Grafik Derajat Konsolidasi CPTu-03	31
4.9 Interpretasi CPTu-04	32
4.10 Grafik Derajat Konsolidasi CPTu-04	33
4.11 Interpretasi CPTu-05	34
4.12 Grafik Derajat Konsolidasi CPTu-05	35
4.13 Grafik Prediksi Settlement Akhir – Metode Asoka SP 1	37

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
4.1 Penurunan Konsolidasi Metode Asaoka	42



Deskripsi	SP-09	SP-10	SP-11	SP-12	SP-13	SP-14	SP-15	SP-16
Target Penurunan (m)	1,14	1,14	1,21	0,58	1,14	1,14	1,14	1,21
Pengukuran Penurunan (m)	1,89	1,24	1,56	1,13	1,32	1,33	1,41	1,63
Estimasi Konsolidasi (m)	1,89	1,24	1,52	0,14	1,3	1,34	1,37	1,52
% Pencapaian	165%	109%	126%	197%	114%	118%	120%	126%
Sisa penurunan (m)	-	-	-	-	-	-	-	-
Waktu perkiraan pemindahan	sewaktu - waktu	sewaktu - waktu	sewaktu - waktu	sewaktu - waktu	sewaktu - waktu	sewaktu - waktu	sewaktu - waktu	sewaktu - waktu

Tabel di atas menunjukkan bahwa hasil pengukuran penurunan tanah menghasilkan nilai yang lebih besar dari target penurunan yang sudah di perhitungkan. Oleh karena itu akan dilakukan evaluasi penurunan tanah pada lokasi tersebut. Pada tugas akhir ini, akan dilakukan evaluasi terhadap penurunan tanah berlebih berdasarkan data CPTu dan data monitoring lapangan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas adalah mengevaluasi konsolidasi dengan menggunakan data CPTu dan data monitoring.

1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini, adalah untuk:

1. Mengevaluasi kondisi konsolidasi sebelum preloading dengan menggunakan data CPTu.
2. Memprediksi penurunan maksimum berdasarkan data monitoring di lapangan.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Melakukan analisis hasil CPTu dan data monitoring
2. Melakukan perhitungan penurunan maksimal
3. Lokasi penelitian dilakukan pada salah satu proyek di Manyar

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan adalah sebagai berikut:

- Bab I : Pendahuluan, berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, sistematika penulisan.
- Bab II : Landasan teori, berisi tentang tanah lunak, teori konsolidasi, deskripsi umum dari CPT dan CPTu, interpretasi hasil uji CPTu, penentuan OCR berdasarkan uji CPTu, penentuan besarnya penurunan berdasarkan data *settlement plate*.
- Bab III : Metodologi, berisi tentang lokasi penelitian, waktu penelitian, kerangka penelitian, tahapan penelitian dan kesimpulan.
- Bab IV : Hasil dan pembahasan berisi analisa data, evaluasi kondisi konsolidasi menggunakan data CPTu dan data *settlement plate* serta memprediksi penurunan tanah maksimal.
- Bab V : Kesimpulan, berisi kesimpulan dari hasil evaluasi kondisi konsolidasi menggunakan data CPTu dan data *settlement plate* serta memprediksi penurunan tanah maksimal.

BAB 2. LANDASAN TEORI

2.1 Tanah Lunak

Tanah dari pandangan ilmu teknik sipil merupakan himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relative lepas (*loose*) yang terletak di atas batu dasar (*bedrock*) (Hardiyatmo, 1992). Tanah didefinisikan secara umum adalah kumpulan dari bagian-bagian yang padat dan tidak terikat antara satu dengan yang lain (diantaranya mungkin material organik) rongga-rongga diantara material tersebut berisi udara dan air (Verhoef,1994).

Tanah lunak dibagi menjadi dua tipe, yaitu lempung lunak dan lempung organik. Lempung lunak merupakan tanah dengan ukuran mikrokonis sampai dengan sub – mikrokonis yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah ini sangat keras dalam keadaan kering, bersifat plastis pada kadar air sedang, sedangkan pada keadaan air yang lebih tinggi tanah lempung akan bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak. (Terzaghi, 1987). Toha (1989) menguraikan sifat umum lempung lunak seperti dalam Tabel 2.1

Tabel 2.1 Sifat-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	20-14 kN/m ²

Sumber: Toha, 1989

Sedangkan lempung organik merupakan material campuran antara lempung dan gambut tergantung pada jenis dan kuantitas sisa – sisa tumbuhan, tanah organik bisa berperilaku seperti lempung atau gambut. Jika di klasifikasikan berdasarkan kadar organiknya, tanah lempung adalah tanah yang memiliki kadar organik dibawah 25%, lempung organik antara 25% hingga 75%, sedangkan jika kadar organiknya lebih besar dari 75% maka tanah tersebut di klasifikasi sebagai tanah gambut.

2.2 Teori Konsolidasi

Penambahan beban diatas permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah dibawahnya mengalami pemampatan. Pemampatan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara dari dalam pori, dan sebab – sebab lainnya. Secara umum, penurunan (*settlement*) pada tanah yang disebabkan oleh pembebana dapat dibagi 2 kelompok, yaitu:

1. Penurunan segera (*immediate settlement*), merupakan akibat dari deformasi elastis tanah kering, basah, dan jenuh air tanpa ada perubahan kadar air. Perhitungan penurunan segera umumnya didasarkan oleh teori elastisitas.
2. Penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*), merupakan peristiwa keluarnya air yang berada di pori – pori tanah akibat pembebanan maupun tanah tanah sendiri. Penurunan ini dibagi menjadi dua yaitu penurunan konsolidasi primer dan penurunan konsolidasi sekunder.

2.2.1 Penurunan Konsolidasi (*Consolidation Settlement*)

Bila sebuah lapisan tanah jenuh air diberi penambahan beban, angka tekanan air pori akan mengalami peningkatan. Lapisan lempung jenuh air yang memiliki nilai permeabilitas yang kecil diberikan penambahan beban tegangan, maka penurunan segera akan terjadi namun porsinya lebih kecil dari pada penurunan konsolidasi. Nilai permeabilitas yang lebih kecil, akan menyebabkan kenaikan tekanan air pori yang tinggi dan akan terdisipasi secara perlahan. Penurunan konsolidasi dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Penurunan akibat konsolidasi primer/ *consolidation primer settlement* (S_{cp}), merupakan pemampatan akibat perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air dari pori-pori tanah.
2. Penurunan akibat konsolidasi sekunder/ *consolidation secondary settlement* (S_{cs}), merupakan pemampatan yang diakibatkan oleh adanya penyesuaian yang bersifat plastis dari butir-butir tanah.

Dalam Das (1985), *settlement* akibat konsolidasi tanah dasar dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

1. Untuk tanah terkonsolidasi normal (NC-*soil*)

$$S_{c\sim} = \frac{H}{1+e_o} \left[C_c \log \left(\frac{\sigma_o' + \Delta\sigma}{\sigma_o'} \right) \right] \quad (2.1)$$

2. Untuk tanah terkonsolidasi lebih (OC-*soil*)

Bila $(\sigma_o' + \Delta\sigma) \leq \sigma_c'$

$$S_{c\sim} = \frac{H}{1+e_o} \left[C_s \log \left(\frac{\sigma_o' + \Delta\sigma}{\sigma_o'} \right) \right] \quad (2.2)$$

Bila $(\sigma_o' + \Delta\sigma) > \sigma_c'$

$$S_{c\sim} = \left[\frac{H}{1+e_o} C_s \log \frac{\sigma_c'}{\sigma_o'} \right] + \left[\frac{H}{1+e_o} C_c \log \frac{\sigma_o' + \Delta\sigma}{\sigma_c'} \right] \quad (2.3)$$

Dimana:

S_c = Pemampatan konsolidasi pada lapisan tanah yang ditinjau

H = Tebal lapisan tanah *compressible*

e_o = Angka pori awal (*initial void ratio*)

C_c = Indeks kompresi

C_s = Indeks mengembang

$\Delta\sigma$ = Beban surcharge / penambahan tegangan vertikal di titik yang di tinjau (di tengah – tengah lapisan) akibat penambahan beban.

σ_o' = Tekanan tanah vertikal efektif dari suatu titik di tengah – tengah lapisan ke-i akibat beban tanah sendiri di atas titik tersebut di lapangan (*effective overburden pressure*).

σ_c' = Tegangan konsolidasi efektif dari suatu titik di masa lampau (*effective past overburden pressure*).

2.2.2 Derajat Konsolidasi (U%)

Derajat konsolidasi rata – rata untuk seluruh kedalaman lapisan lempung pada saat t dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$U = \frac{S_t}{S} = 1 - \frac{\left(\frac{1}{2H_{dr}}\right) \int_0^{2H_{dr}} u_z dz}{u_0} \quad (2.4)$$

Dimana:

U = Derajat konsolidasi rata – rata

S_t = Penurunan lapisan lempung pada saat t

S = Penurunan maksimum lapisan lempung akibat konsolidasi primer

Variasi derajat konsolidasi rata – rata terhadap faktor waktu T_v , seperti dapat dilihat pada Tabel 2.2, berlaku untuk tegangan air pori yang homogen untuk seluruh kedalaman lapisan yang mengalami konsolidasi.

Tabel 2.2 Variasi Faktor Waktu terhadap Derajat Konsolidasi menurut Terzaghi

Derajat Konsolidasi U%	Faktor Waktu (T_v)
0	0
10	0.008
20	0.031
30	0.071
40	0.126
50	0.197
60	0.287
70	0.403
80	0.567
90	0.848
100	∞

Sumber: Braja M. Das (1985)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung besarnya derajat konsolidasi rata – rata seperti pada Tabel 2.2 dapat dilihat pada persamaan di bawah ini:

Untuk $U = 0 - 60\%$;

$$T_v = \frac{\pi}{4} \left(\frac{U\%}{100} \right)^2 \quad (2.5)$$

Untuk $U > 60\%$;

$$T_v = 1.781 - 0.933 \log(100-U\%) \quad (2.6)$$

Hubungan antara nilai faktor waktu (T_v) dan waktu konsolidasi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T_v = \frac{t \times C_v}{H_{dr}^2} \quad (2.7)$$

Dimana :

T_v = Faktor waktu

C_v = Koefisien konsolidasi vertikal (cm^2/det)

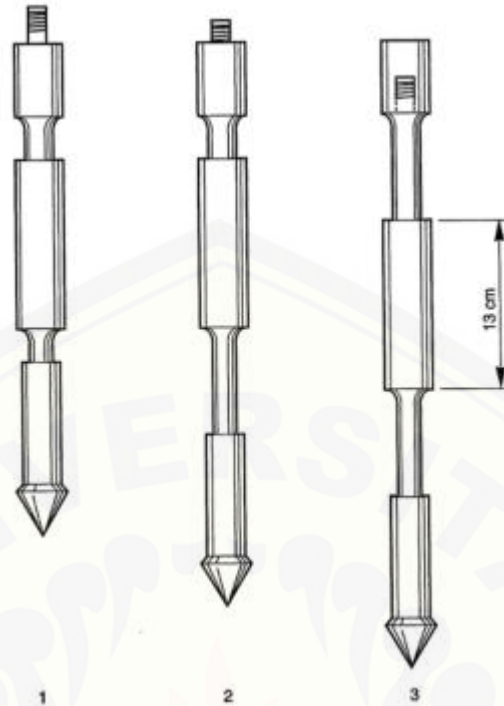
t = Waktu konsolidasi (det)

H_{dr} = Tebal lapisan tanah (cm)

2.3 Deskripsi Umum dari CPT dan CPTu

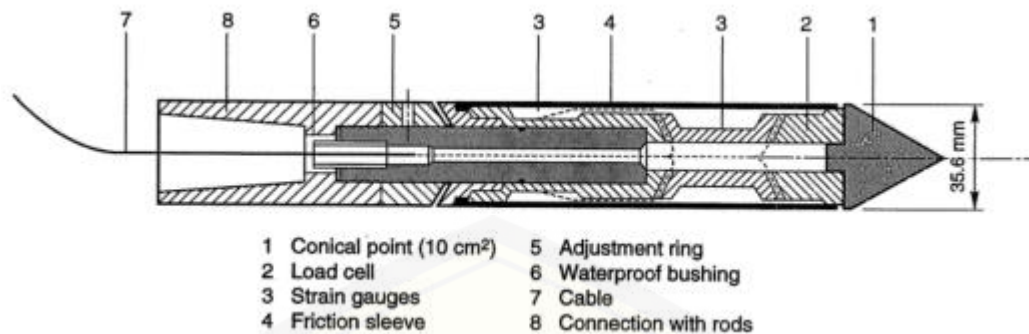
CPT (*Cone Penetration Test*) adalah pengujian in-situ untuk mengetahui besarnya resistansi dari ujung konus (q_c) dan tahanan selimut (f_s) dari sebuah konus yang dipenetrasikan kedalam tanah dengan menggunakan alat sondir. Pada mulanya uji ini hanya digunakan untuk merancang pondasi tiang pancang, namun seiring dengan perkembangannya berfungsi menjadi salah satu alat yang dapat digunakan untuk mengestimasi parameter – parameter geoteknik yang digunakan untuk desain geoteknik. Sistem CPT menurut perkembangannya dapat dibedakan kedalam 3 bagian, yaitu CPT Mekanis, CPT Elektrik, dan CPTu (Piezocone).

CPT mekanis merupakan sistem yang paling awal dikembangkan ke Belanda 1933 atau di Indonesia dikenal dengan istilah sondir. Disebut mekanis karena pembacaan tahanan ujung dan tahanan friksi dilakukan secara bergantian menggunakan manometer dengan mekanisme tekanan hidrolis. Bentuk CPT mekanis yang dikembangkan oleh Begemann (1953,1969) dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Bikonus Begemann (Sumber: Sanglerat, 1972)

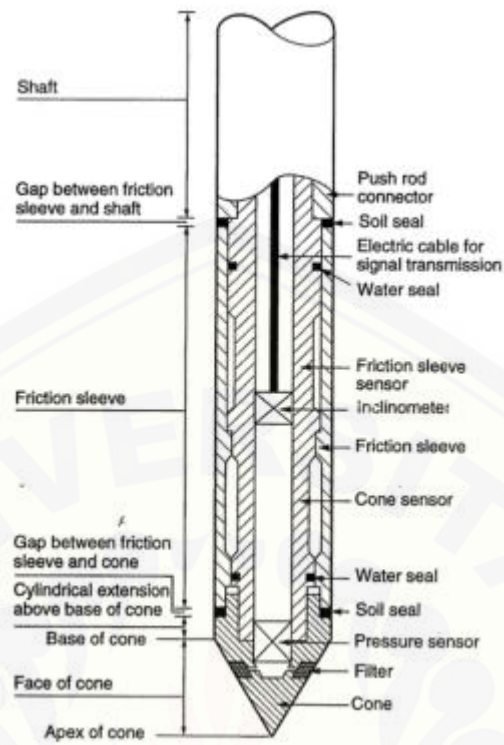
CPT elektrik pertama kali dipatenkan oleh Bakker (1948) dan dinamakan Rotterdam Cone. Pada prinsipnya sistem ini menggunakan *load cell* untuk mengukur besarnya tahanan ujung dan *strain gauges* untuk mengukur besarnya tahanan friksi pada saat penusukan. *Load cell* dan *strain gauges* ini menghasilkan output dalam bentuk beda potensial (*voltase*) yang kemudian dicatat oleh operator (*data logger*). Semakin keras tanah maka tahanan yang dihasilkan pada bagian *load cell* dan *strain gauges* juga semakin besar. Pada tahun 1971, De Ruyter mengaplikasikan accelerometer yang digunakan untuk mengukur besarnya inklinasi konus pada saat pengujian dilakukan.



Gambar 2.2 CPT Elektrik Fugro (Sumber: de Ruiter, 1971)

CPTu (Piezocone) bermula pada saat European Conference on Penetration Testing (ESOPT-1), 1974, Janbu dan Senneset (Norwegian Geotechnique Institute) serta Schmertmann mempresentasikan hasil pengujian *electric cone* yang disertai pembacaan tekanan air pori. Kedua penelitian ini menegaskan pentingnya pengukuran tekanan air pori pada saat penetrasi sehubungan dengan interpretasi data CPT. Sejak saat itu penelitian dan penyempurnaan piezocone mulai berkembang sampai kemudian di standarkan pada tahun 1989 dalam ISSMFE, 1989.

Interpretasi hasil uji piezocone mencakup prediksi jenis perilaku tanah, kuat geser *undrained* maupun *drained*, riwayat tegangan, kompresibilitas, permeabilitas tanah dan koefisien konsolidasi, uji CPTu dapat digunakan untuk memperkirakan derajat konsolidasi dan mengidentifikasi lapisan tanah yang sedang berkonsolidasi tersebut.



Gambar 2.3 Piezocone (Sumber: Zuidberg, 1988)



Gambar 2.4 Beberapa Jenis Piezocone

Beberapa keuntungan CPTu dibandingkan dengan CPT antara lain :

- a. Memperoleh tekanan air pori vs kedalaman yang merupakan faktor yang sensitif terhadap pelapisan tanah dibandingkan dengan q_c dan f_s .
- b. Mampu membedakan antara penetrasi *drained*, penetrasi *partially drained* dan penetrasi *undrained*.
- c. Dapat mengkoreksi nilai tahanan ujung terhadap nilai tekanan air pori.
- d. Mampu memprediksi karakteristik konsolidasi dan riwayat tegangan (OCR).
- e. Lebih baik dalam memprediksi jenis perilaku tanah dan parameter kuat geser tanah.
- f. Dapat digunakan untuk memprediksi derajat konsolidasi.

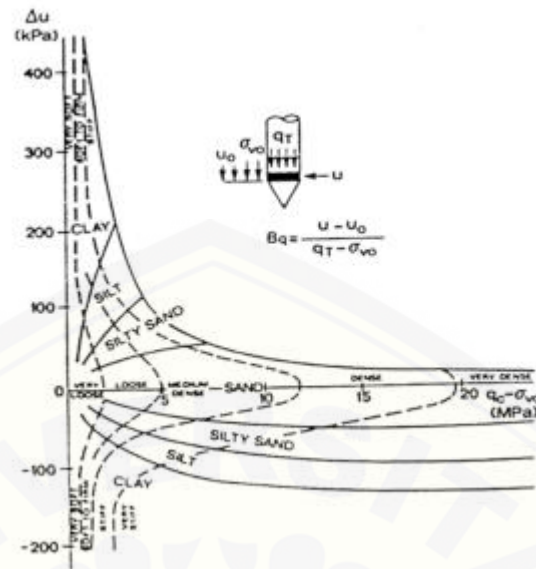
2.4 Interpretasi Hasil Uji CPTu

Aplikasi utama dari uji CPT dan CPTu meliputi interpretasi mengenai pelapisan dan kondisi tanah, serta interpretasi mengenai parameter-parameter untuk desain geoteknik secara langsung. Informasi yang dapat diperoleh dari uji CPTu adalah sebagai berikut:

2.4.1 Klasifikasi Tanah

Keunggulan utama dari pengujian CPTu adalah kemampuan alat untuk mengukur besarnya tekanan air pori akses yang terjadi selama penetrasi. Klasifikasi tanah berdasarkan uji CPTu diusulkan oleh beberapa peneliti antara lain Jones and Rust (1982), Sennehet dan Janbu (1984), dan Robertson et al (1986).

- a. Klasifikasi usulan chart dari Jones dan Rust (1982) mengusulkan chart yang menyatakan hubungan antara tekanan air pori (Δu) dengan selisih antara tahanan ujung (q_c) dan tegangan vertical total (σ_{vo}) dari pengujian CPTu seperti dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Klasifikasi Tanah dengan CPTu menurut Jones dan Rust, 1982

(Sumber: Fellenius dan Eslami, 1997)

- b. Klasifikasi yang diusulkan oleh Sennebet dan Janbu (1984) ditentukan oleh nilai q_t dan Bq . Parameter q_t merupakan koreksi tahanan ujung konus terhadap tekanan air pori (u_2) seperti ilustrasi pada Gambar 2.6 yang dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$q_t = q_c + (1 - a) u_2 \quad (2.8)$$

Dimana,

q_c : Tahanan ujung konus

a : Area ratio (0.3 – 0.85) 49

u_2 : Tekanan air pori dengan posisi filter di belakang konus

sedangkan Bq adalah perbandingan antara tekanan air pori eksese (Δu) dengan tahanan ujung konus yang telah dikoreksi seperti pada persamaan berikut ini:

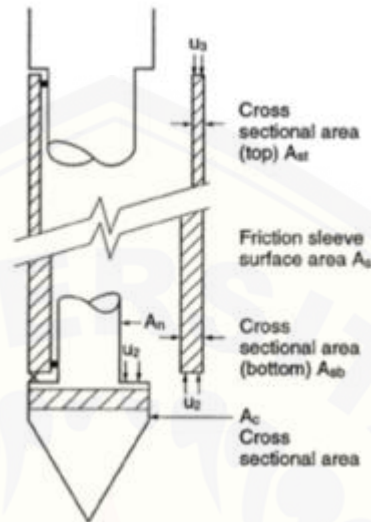
$$Bq = \frac{\Delta u}{q_t - \sigma_v} \quad (2.9)$$

Dimana,

Δu : Tekanan air pori eksese

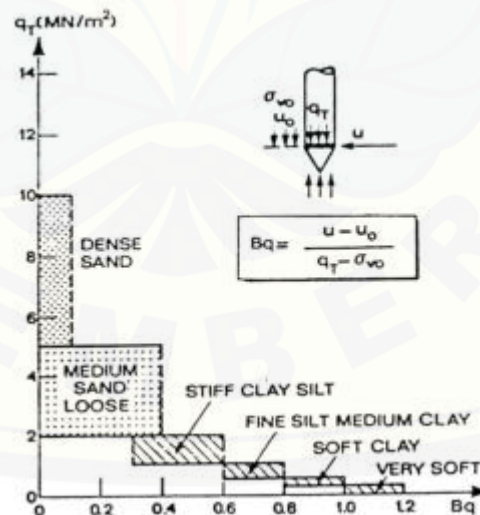
q_t : Tahanan ujung konus terkoreksi

σ_v : Tekanan overburden total



Gambar 2.6 Efek Tekanan Air Pori terhadap Tekanan Ujung Terukur

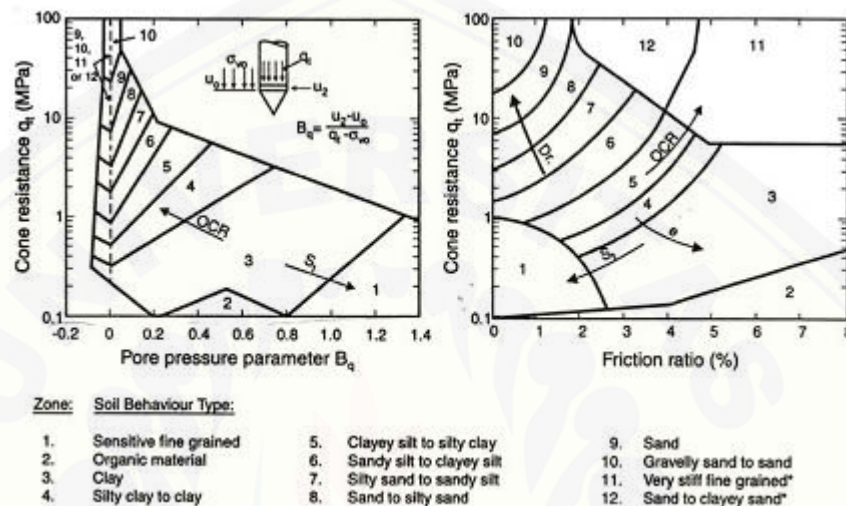
Klasifikasi jenis tanah oleh Senneset dan Janbu (1984) dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Klasifikasi Tanah Dengan CPTu (Sumber: Senneset & Janbu, 1984)

- c. Klasifikasi yang diusulkan Robertson et al (1984) membuat dua bagian yang digunakan untuk pengklasifikasi jenis tanah. Penentuan jenis tanah ada dua

macam, yang pertama berdasarkan nilai tahanan konus terkoreksi (q_t) dengan nilai *friction ratio*, % (R_f) yang merupakan perbandingan antara tahanan selimut konus (f_s) dengan tahanan ujung konus (q_c) sedangkan chart yang kedua berdasarkan q_t dan nilai B_q . Kedua chart tersebut dapat dilihat pada gambar 2.8



Gambar 2.8 Klasifikasi Jenis Perilaku Tanah dengan CPTu

(Sumber: Robertson et al, 1986)

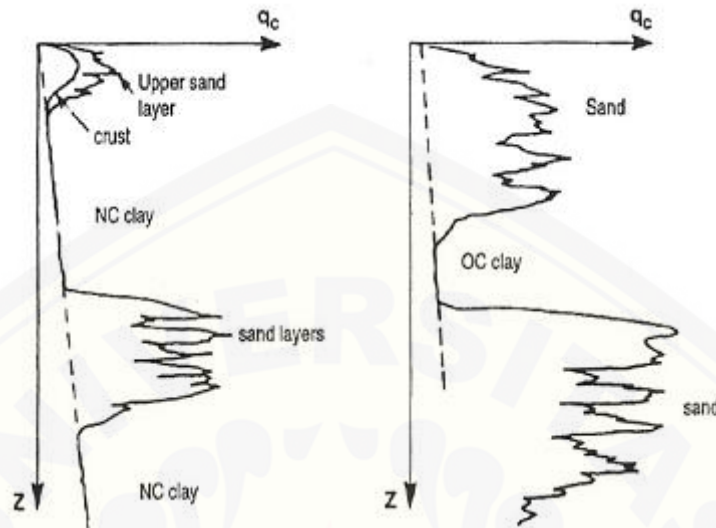
2.5 Penentuan OCR berdasarkan Uji CPTu

Uji CPTu dapat digunakan untuk menentukan nilai *stress history* dari tanah lempung. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk menentukan nilai *stress history* dari tanah lempung antara lain:

2.5.1 Metode Schmertmann (1978)

Schmertmann mengusulkan bahwa *stress history* suatu lapisan tanah lempung dapat ditentukan berdasarkan hasil interpretasi uji CPT mekanis. Hal ini didasarkan pada pendapat bahwa kuat geser tanah lempung sedimen akan meningkat seiring dengan kedalaman sehingga nilai tahanan ujung yang berkorelasi terhadap kuat geser tanah juga akan mengalami peningkatan seperti ditunjukkan pada Pada tanah lempung yang terkonsolidasi normal perpanjangan harga q_c akan memotong elevasi tanah dititik 0. Sedangkan bila memotong pada

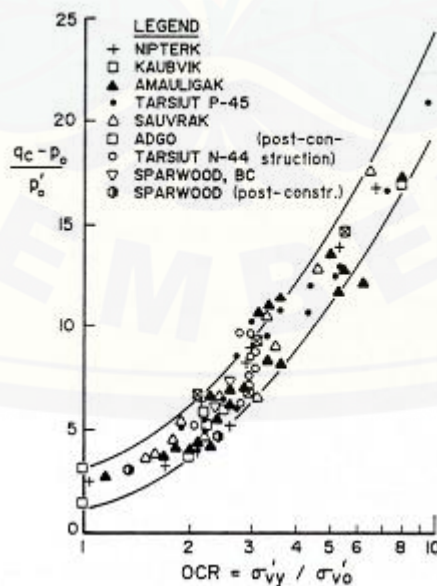
elevasi tanah dititik < 0 maka tanah tersebut tergolong *over consolidated* dan bila memotong pada elevasi tanah dititik > 0 maka tergolong *under consolidated*.



Gambar 2.9 *Stress History* Pada Tanah Lempung berdasarkan Data Tahanan Ujung (Sumber: Scmertmann, 1978)

2.5.2 Interpretasi berdasarkan Rasio Tahanan Ujung

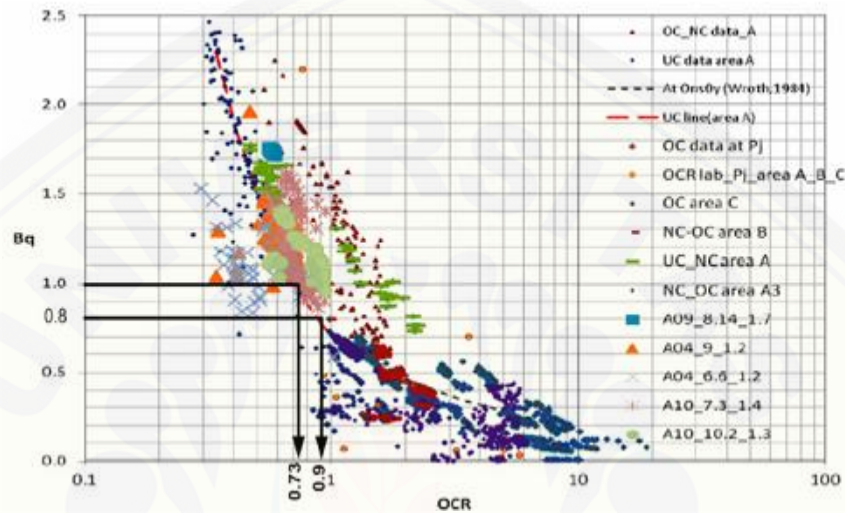
Rasio tahanan ujung terhadap tegangan efektif dapat digunakan untuk memperkirakan nilai tegangan prakonsolidasi tanah.



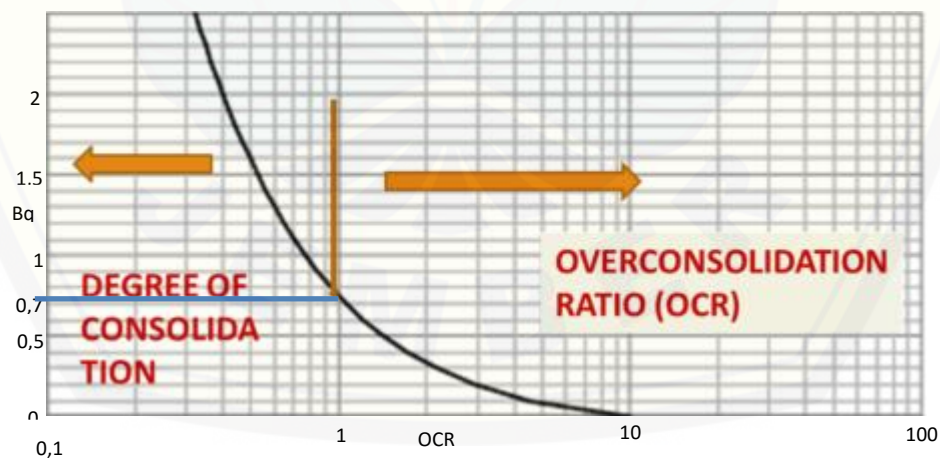
Gambar 2.10 Interpretasi Untuk Lempung Terkonsolidasi

2.5.3 Penentuan Nilai OCR berdasarkan Nilai Bq

Penentuan nilai OCR dapat diinterpretasi berdasarkan nilai Bq. Korelasi antara Bq vs OCR telah dipublikasikan oleh Nurindahsih (2013) dan Rahardjo et al. (2016). Grafik hubungan antara nilai Bq dan OCR dapat dilihat pada Gambar 2.11 dan Gambar 2.12.



Gambar 2.11 Korelasi Bq vs OCR (Sumber: Nurindahsih, 2013)



Gambar 2.12 Korelasi Bq vs OCR (Sumber: Rahardjo et al., 2016)

Dari grafik diatas dapat diperoleh persamaan hubungan antara Bq dan OCR seperti pada persamaan dibawah ini:

$$OCR = \frac{1}{(1,2xB_q) + 0,1} \quad (2.10)$$

Analisis korelasi OCR dan B_q menunjukkan bahwa jika $OCR = 1$ nilai $B_q = 0,7$, maka kondisi tanah mengalami konsolidasi normal, $B_q > 0,7$ kondisi tanah mengalami *over consolidation* dan jika $B_q < 0,7$ tanah mengalami *under consolidation*. Uji CPTu memiliki nilai B_q yang diperoleh dari setiap penetrasi 1 cm sehingga nilai OCR juga dapat diperoleh pada tiap kedalaman penetrasi.

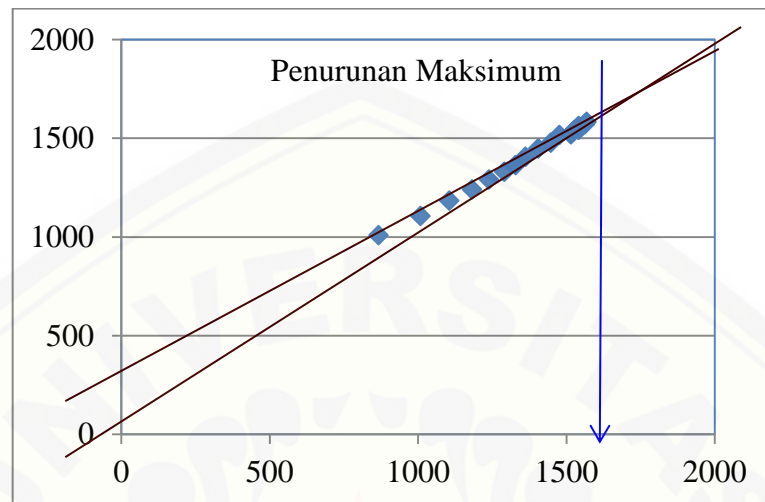
2.6 Penentuan Besarnya Penurunan berdasarkan Data *Settlement Plate*

2.6.1 Metode Asaoka (1978)

Metode observasi asaoka adalah salah satu metode yang digunakan untuk memprediksi besarnya penurunan akhir (*final settelment*). Dengan metode ini besarnya penurunan tanah aktual dapat diprediksi tanpa membutuhkan parameter – parameter lain 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 ini akan menghasilkan kurva linier, jika tanah memenuhi asumsi Terzaghi. Berikut adalah langkah-langkah prediksi penurunan menggunakan Metode Asaoka:

1. Gambar kurva waktu – penurunan, kemudian bagi bagian yang melengkung menjadi berupa jarak dengan besaran tegangan waktu yang sama (Δt), diperoleh waktu penurunan ($t_1, t_2, t_3, \dots, t_n, t_{n+1}$)
2. Tarik garis tegak lurus dari titik-titik waktu hingga berpotongan dengan kurva beban – penurunan yang ada sehingga diperoleh besarnya penurunan ($S_1, S_2, S_3, \dots, S_n, S_{n+1}$)
3. Penurunan yang diperoleh dalam S_n diplot terhadap S_{n+1} dalam satu grafik.
4. Tarik garis lurus yang mewakili titik-titik penurunan (S_n vs S_{n+1}) tersebut sehingga berpotongan dengan garis 45° . Maka akan diperoleh penurunan pada waktu tak terhingga. Sudut β adalah sudut yang terbentuk oleh garis horisontal, besarnya sudut digunakan untuk menentukan koefisien

konsolidasi arah vertikal (C_v). Analisis prediksi penurunan akhir dengan Metode Asaoka dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Analisis Prediksi Penurunan Akhir Metode Asaoka (1978)

2.6.2 Derajat Konsolidasi di Lapangan

Derajat konsolidasi yang terjadi di lapangan dapat diamati menggunakan hasil pengamatan *settlement plate* dan *piezometer* dari bacaan *settlement plate* dapat disajikan dalam grafik Penurunan – Waktu. Nilai derajat konsolidasi dari bacaan *settlement plate* (U_v-sp) dapat dihitung dengan menggunakan Metode Asaoka, yaitu dengan mencari penurunan akhir (S_c) kemudian di plot dalam grafik Penurunan – Waktu. Sehingga, derajat konsolidasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.11.

$$U_v - sp = \frac{s_t}{s_c} \times 100\% \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

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

S_c = penurunan konsolidasi pada waktu tak terhingga

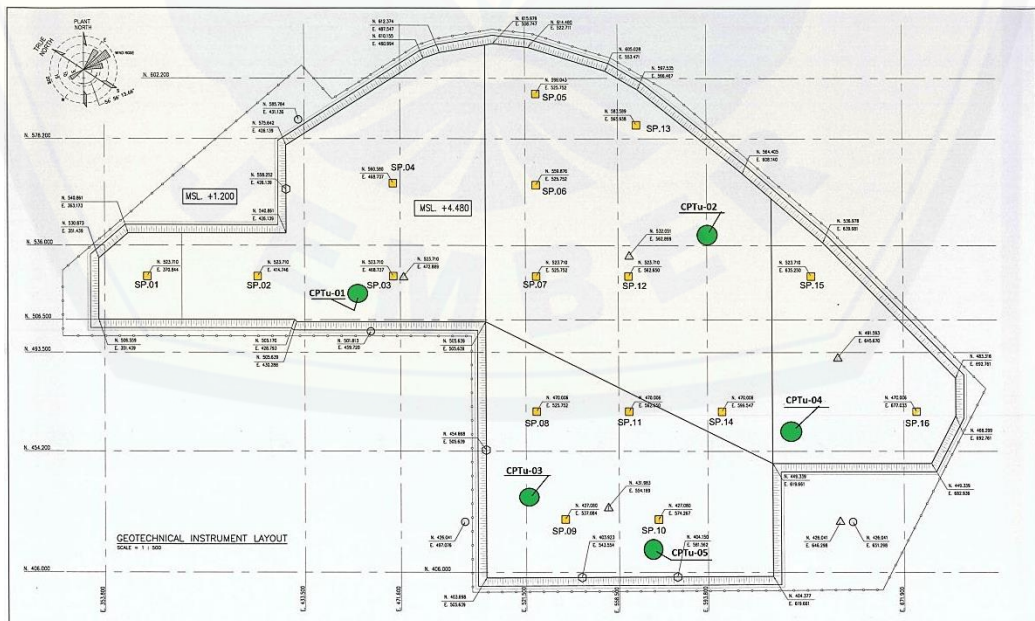
BAB 3. METODOLOGI

3.1 Lokasi Penelitian

Gambar 3.1 akan menunjukkan lokasi penelitian yang berada di kota Gresik, Jawa Timur.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian (Sumber: Google Map, 2017)

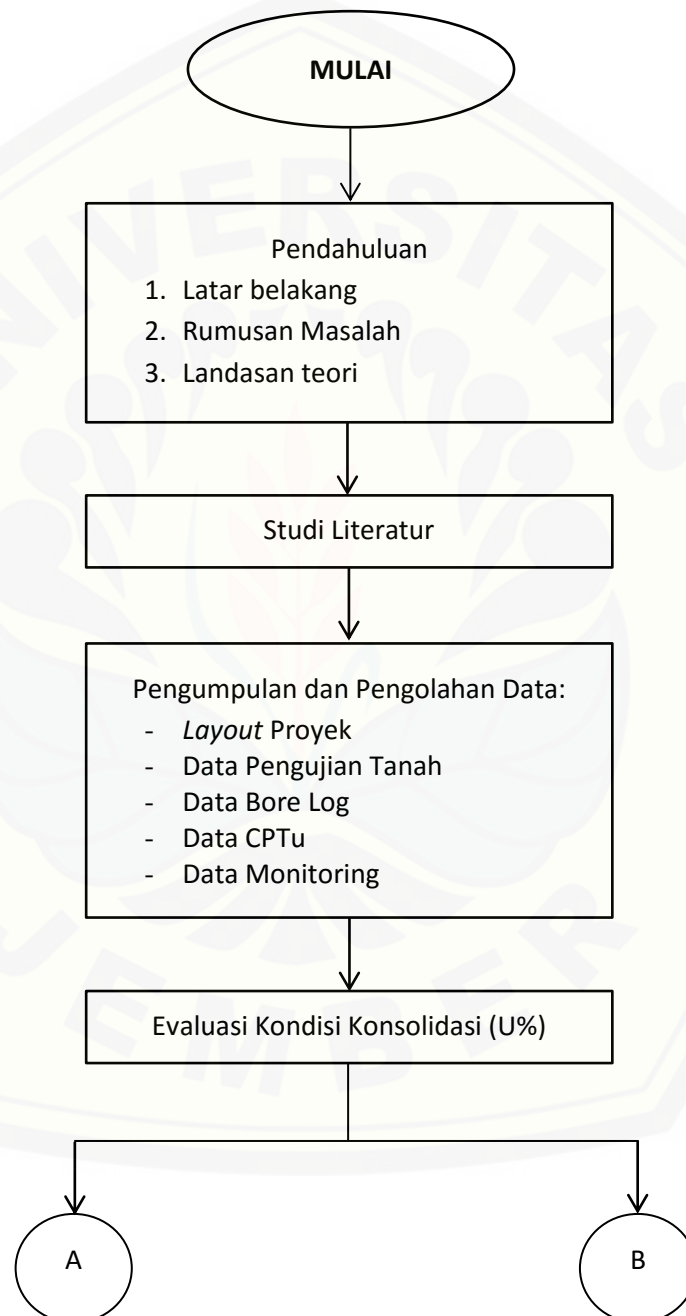


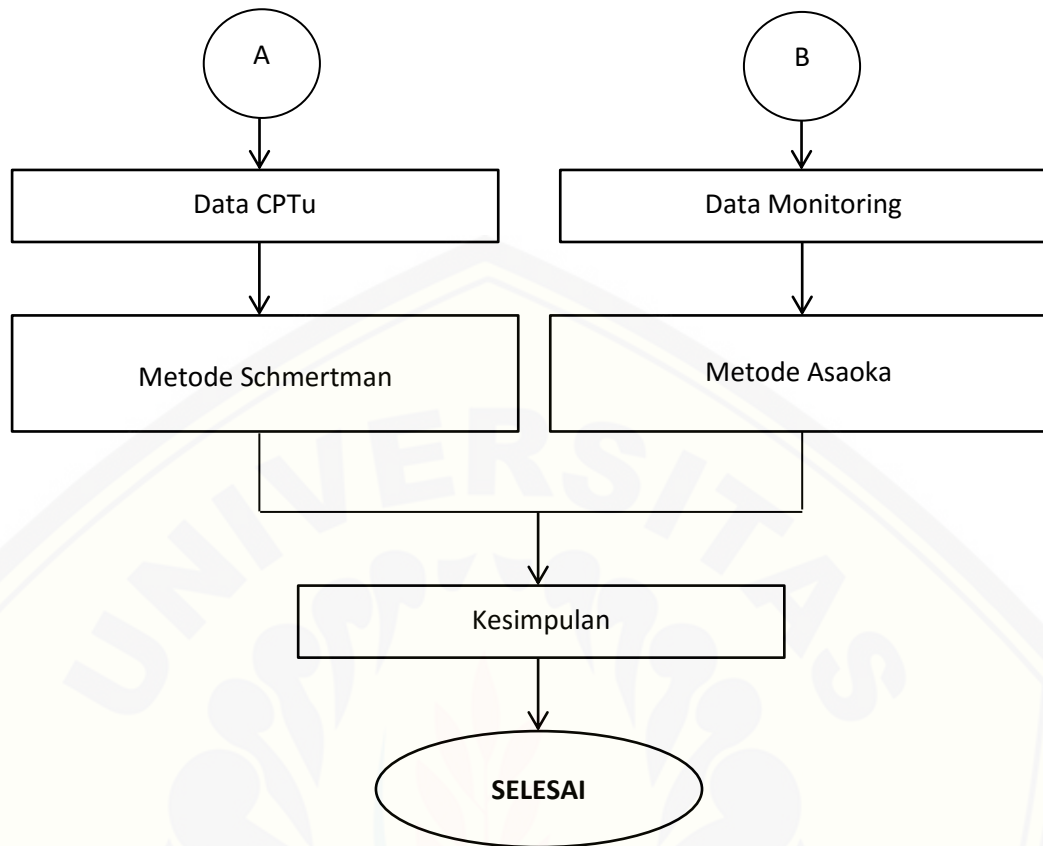
Gambar 3.2 Titik Lokasi CPTu dan Settlement Plate Proyek (Sumber: Data Perencanaan)

3.2 Waktu Penelitian

Proyek penelitian ini dilaksanakan mulai bulan November 2017 sampai dengan bulan Mei 2018.

3.3 Kerangka Penelitian





Gambar 3.3 Kerangka Alir Penelitian

3.4 Tahapan Penelitian

3.4.1 Studi Literatur

Studi literatur merupakan hal awal yang harus dilakukan untuk mencari dan mengumpulkan referensi-referensi tentang analisis data serta perhitungannya, terkhususnya adalah analisis penurunan tanah. Studi literatur ini antara lain seperti jurnal ilmiah, artikel, tugas akhir terdahulu yang bisa digunakan sebagai acuan dalam melakukan analisis. Adapun bahan studi yang nantinya digunakan dalam analisis adalah sebagai berikut:

1. Teori tanah dasar
2. Teori analisis karakteristik tanah
3. Teori penurunan tanah
4. Metode Asaoka
5. Monitoring pelaksanaan pekerjaan

3.4.2 Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pengumpulan data ini adalah berupa *Layout* proyek, data tanah, data pengujian Bor Log, data pengujian CPTu (*Cone Penetration Test with pore water pressure*) dan data pengujian tanah di laboratorium. Tersedia pula data penurunan akibat beban timbunan dan perencanaan PVD. Data perhitungan tersebut akan di evaluasi kembali dengan data lapangan. Data yang akan diolah adalah data CPTu, data ini berbentuk grafik, lalu dari grafik tersebut diplot untuk mendapatkan nilainya.

3.4.3 Evaluasi Kondisi Konsolidasi (U%)

1. Data CPTu (*Cone Penetration Test with pore water pressure*)

Tahap awal untuk Mengetahui kondisi konsolidasi dengan menggunakan parameter tekanan air pori (B_q). Setelah mengetahui kondisi tanah maka dilakukan evaluasi derajat konsolidasi dengan data CPTu menggunakan metode Schmertmann. Adapun langkah – langkah pengerjaan sebagai berikut:

1. Menentukan kedalaman *compressible layer* terhadap data q_c , U_2 , R_f , dan B_q
2. Menarik garis perpanjangan harga q_c untuk menentukan tanah tersebut tergolong *over* atau *under consolidated*
3. Menghitung derajat konsolidasi dari kedalaman *compressible layer* dan perpanjangan garis q_c .

2. Data Monitoring (*Settlement Plate*)

Evaluasi kondisi konsolidasi dengan *settlement plate* menggunakan metode asaoka.

1. Metode Asaoka

Pada prosedur observasi Asaoka, hubungan antara penurunan tanah dan waktu diturunkan melalui persamaan diferensial berdasarkan persamaan dasar konsolidasi (Mikasa, 1963), yaitu mengikuti langkah-langkah prediksi metode asaoka gambar 2.13.

BAB 5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dalam perencanaan Tugas Akhir ini didapatkan beberapa kesimpulan yaitu:

1. Hasil evaluasi kondisi konsolidasi dari data CPTu menggunakan metode Schmertmann dari CPTu-01 sampai dengan CPTu-05 didapat sebagai berikut: CPTu-01 65%; CPTu-02 66,67%; CPTu-03 54,16%; CPTu-04 50,71%; CPTu-05 78,67%, sehingga masih mengalami konsolidasi karena masih belum mencapai 90%.
2. Hasil analisa penilaian dari metode Asaoka dari SP-01 sampai dengan SP-16 sebagai berikut: SP-01 84,08%; SP-02 99,44%; SP-03 97,32%; SP-04 92,38%; SP-05 86,83%; SP-06 78,34%; SP-07 88,49%; SP-08 89,01%; SP-09 68,92%; SP-10 74,29%; SP-11 88,47%; SP-12 78,16%; SP-13 92,40%; SP-14 96,16%; SP-15 95,77%; SP-16 98,47%. Menurut hasil analisa diatas masih mengalami penurunan, karena data monitoring lapangan nilainya lebih kecil dari pada nilai penurunan metode Asaoka.

5.2 Saran

Hal yang dapat disarankan untuk penelitian ini adalah memprediksi penurunan tanah maksimum dengan menggunakan metode lain seperti menggunakan metode hiperbolik.

DAFTAR PUSTAKA

- Asaoka, A., 1978. *Observational Procedure of Settlement Prediction. Soils and Foundation*, 18(4), pp. 87-101.
- Barron, R. A. 1948. *Consolidation of fine-grained soils by drain wells. Transactions ASCE*, 113(2346): 718-724.
- Bowles, Joseph E. Johan K. Helnim. 1991. *Sifat – sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. PT. Erlangga. Jakarta.
- Craig, R.F. 1991. *Mekanika Tanah*. PT. Erlangga. Jakarta
- Das, B.M. 1985. *Mekanika Tanah 1 (Prinsip – prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Terjemahan oleh Noor Endah dan Indrasurya B. Mochtar. Jakarta :Erlangga.
- Das, B.M. 1985. *Mekanika Tanah 2 (Prinsip – prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Terjemahan oleh Noor Endah dan Indrasurya B. Mochtar. Jakarta :Erlangga.
- Das, Braja M., *Principle of Geotechnical Engineering 5th Edition*, 2002, PWS Publishing, Pacific Grove.
- Das, M Braja, Endah Noor, Mochtar B Indrasurya, 1985. *Mekanika Tanah (Prinsip – prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jilid 1. Jakarta : Erlangga.
- Fellenius, W. 1927. *Earl Static Calculation with Friction and Cohesion and use of Sircular Slidiery Surfoices*. Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin.
- Hardiatmo, H. C. 1992. *Mekanika Tanah*. Gramedia Pustaka Umum. Jilid I Jakarta
- Nawir, Hasbullah., Dayu Apoji, Rahmatyar F., M. Dwi P., 2012. *Prediksi Tanah menggunakan Prosedur Observasi Asaoka. Jurnal Teknik Sipil*. ISSN 0853-2982
- Rahardjo,P.P.,(2016).”*CPTu on Consolidating Soil*’, *5th International Conference on Sie Characterization (15C-5)*, Gold coast, Australia
- Rongsadi, Kirana, 2017. *Evaluasi Performa / Perilaku Setelah Vacuum Preloading dengan Menggunakan CPTu*. Bandung
- Sanglerat, G. 1972. *Penetrometer and Soil Exploration*. Elsevier Publishing Company.

Schmertmann, J. H., 1978. *Guidelines for cone penetration test, performance and design*. U.S.Department of Transportation, Washington, DC, Report No. FHWA-TS-78-209.

Terzaghi, K., Peck, r. B. 1987. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*. Jakarta: Erlangga.

Verhoef, PNW. 1994. *Geologi Untuk Teknik Sipil*. Erlangga. Jakarta.

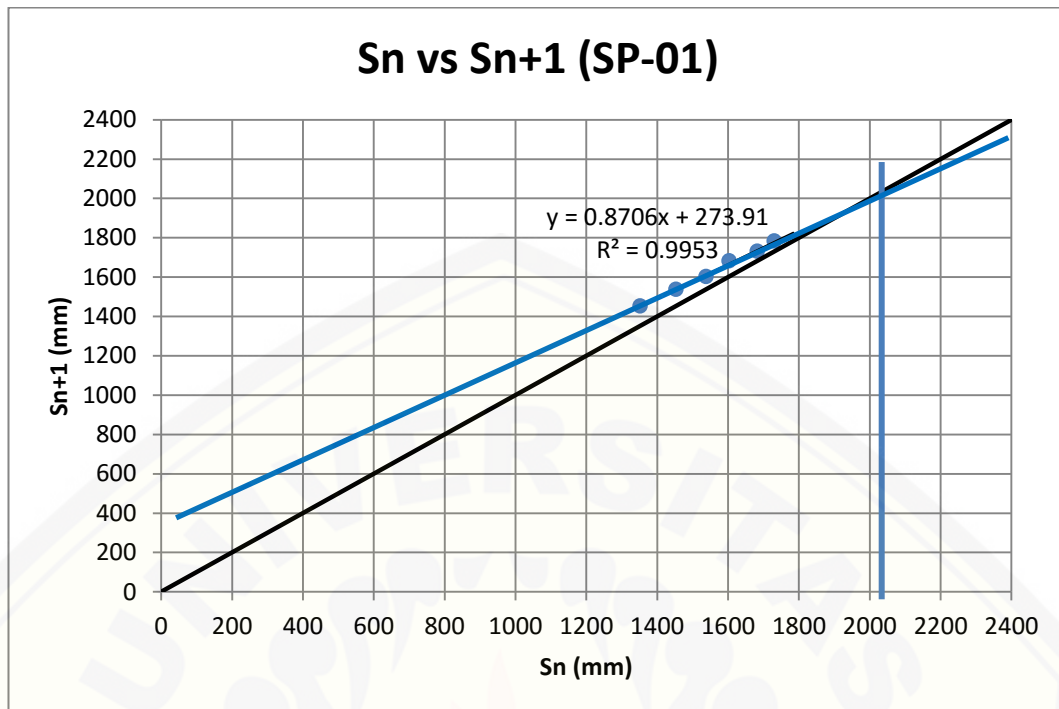
Universitas Jember, 2016. *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah*. Jember: UPT Penerbitan Universitas Jember.



Lampiran 4.1 Perhitungan Evaluasi U% Metode Asaoka

- SP-01

No.	Hari ke-	Sn (mm)	Sn+1 (mm)
1	10	51	99
2	20	99	137
3	30	137	194
4	40	194	239
5	50	239	312
6	60	312	373
7	71	373	415
8	80	415	453
9	90	453	532
10	100	532	748
11	110	748	834
12	120	834	932
13	130	932	1254
14	141	1254	1352
15	150	1352	1453
16	160	1453	1538
17	170	1538	1603
18	180	1603	1683
19	190	1683	1731
20	200	1731	1784
21	211	1784	



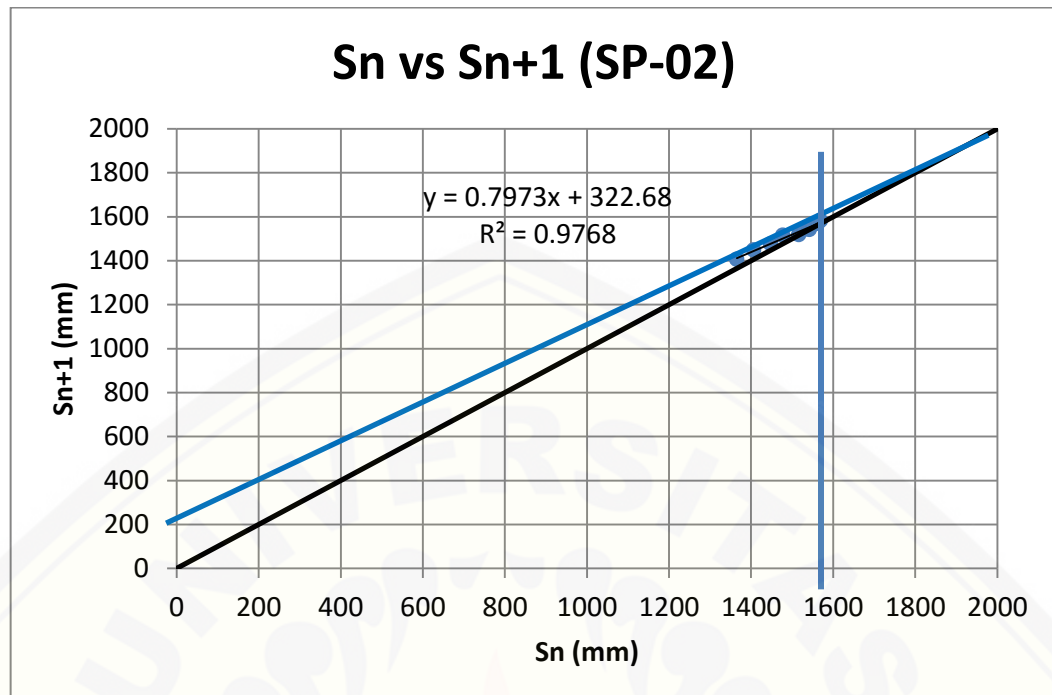
Dari grafik didapat persamaan $y = 0,8706x + 273,91$ dan $y = x$ (garis 45^0) sehingga prediksi penurunan akhirnya dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 3. \quad y_1 &= x \\
 4. \quad y_2 &= 0,8706x + 273,91 \\
 y_1 &= y_2 \\
 x &= 0,8706x + 273,91 \\
 x &= 2121,69 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Penurunan maksimum yang terjadi menggunakan metode Asaoka pada hari ke 212 adalah 2121,69 mm. Jadi, derajat konsolidasi yang masih terjadi saat ini dalam data monitoring adalah $\frac{1792}{2121,69} \times 100\% = 84,04\%$

- SP-02

No.	Hari ke-	Sn (mm)	Sn+1 (mm)
1	10	33	59
2	20	59	99
3	30	99	142
4	40	142	176
5	50	176	237
6	60	237	297
7	71	297	337
8	80	337	368
9	90	368	433
10	100	433	512
11	110	512	609
12	120	609	679
13	130	679	882
14	141	882	1009
15	150	1009	1106
16	160	1106	1183
17	170	1183	1240
18	180	1240	1291
19	190	1291	1329
20	200	1329	1365
21	211	1365	1406
22	220	1406	1448
23	230	1448	1477
24	240	1477	1516
25	250	1516	1519
26	260	1519	1528
27	270	1528	1542
28	281	1542	1542
29	290	1542	1549
30	298	1549	1562
30	310	1562	1569
31	320	1569	1583
32	330	1583	



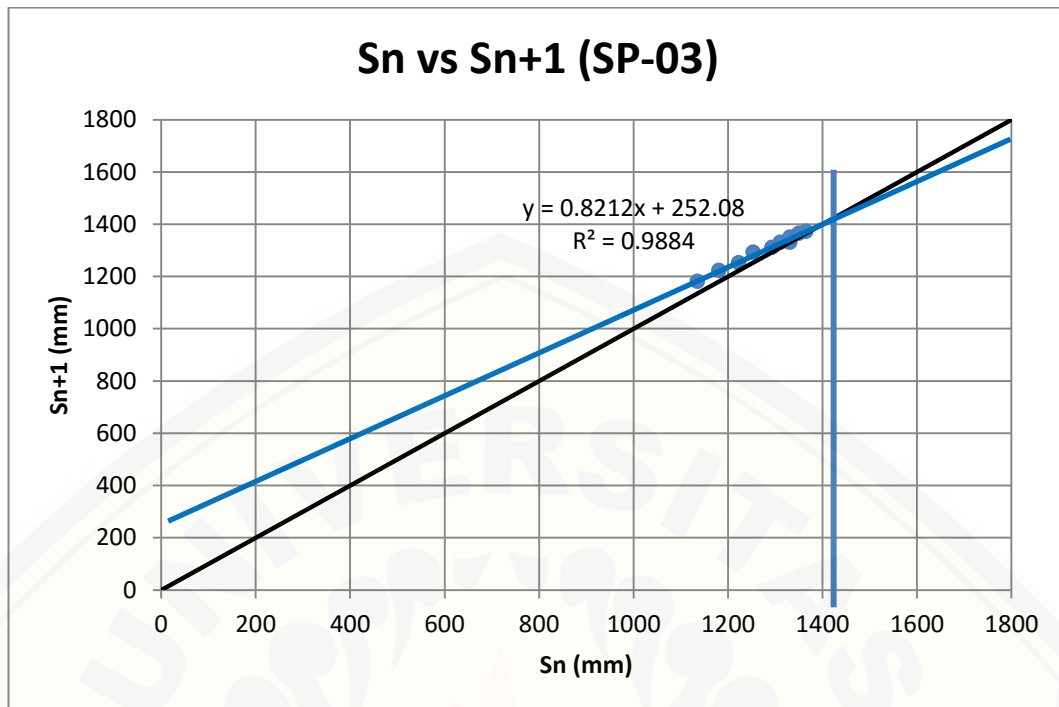
Dari grafik didapat persamaan $y = 0,7973x + 322,68$ dan $y = x$ (garis 45^0) sehingga prediksi penurunan akhirnya dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 1. \quad y_1 &= x \\
 2. \quad y_2 &= 0,7973x + 322,68 \\
 y_1 &= y_2 \\
 x &= 0,7973x + 322,68 \\
 x &= 1591,91 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Penurunan maksimum yang terjadi menggunakan metode Asaoka pada hari ke 330 adalah 1591,91 mm. Jadi, derajat konsolidasi yang masih terjadi saat ini dalam data monitoring adalah $\frac{1583}{1591,91} \times 100\% = 99,44\%$

- SP-03

No.	Hari ke-	Sn (mm)	Sn+1 (mm)
1	10	40	69
2	21	69	97
3	30	97	134
4	40	134	168
5	50	168	221
6	60	221	265
7	70	265	298
8	80	298	323
9	91	323	345
10	100	345	384
11	110	384	429
12	120	429	466
13	130	466	565
14	140	565	697
15	150	697	803
16	161	803	866
17	170	866	921
18	180	921	983
19	190	983	1031
20	200	1031	1083
21	210	1083	1135
22	220	1135	1181
23	231	1181	1223
24	240	1223	1253
25	250	1253	1293
26	260	1293	1311
27	270	1311	1331
28	280	1331	1331
29	290	1331	1350
30	310	1350	1365
31	320	1365	1372
32	330	1372	



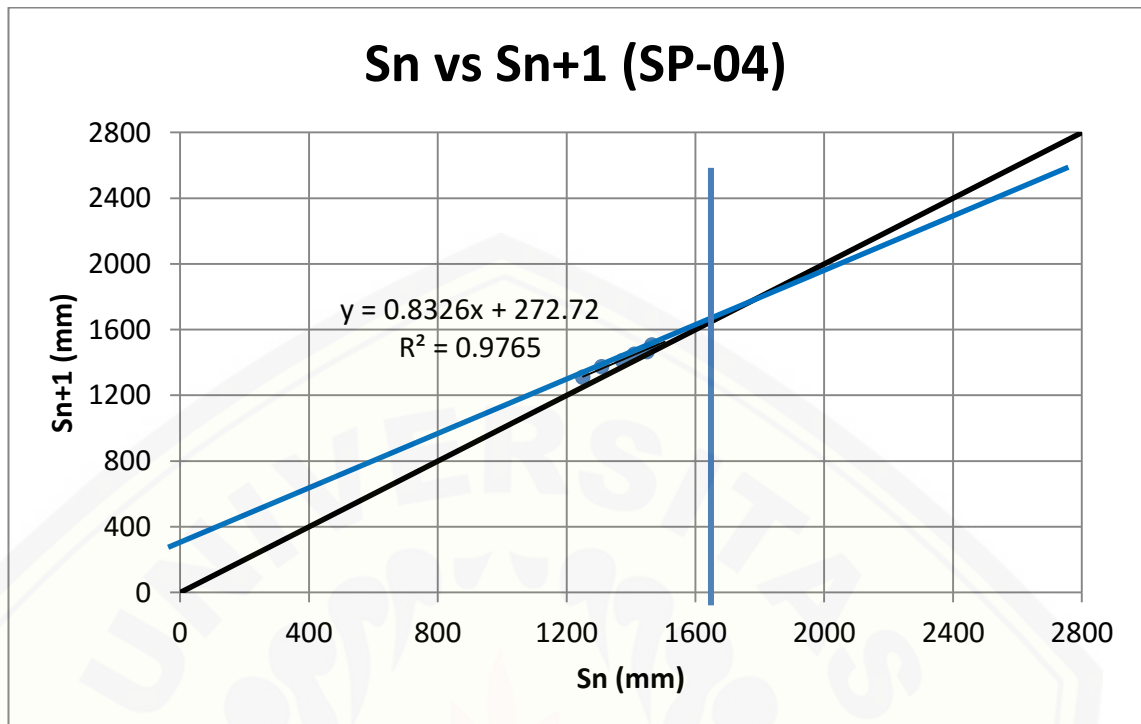
Dari grafik didapat persamaan $y = 0,8212x + 252,08$ dan $y = x$ (garis 45°) sehingga prediksi penurunan akhirnya dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 1. \quad y_1 &= x \\
 2. \quad y_2 &= 0,8212x + 252,08 \\
 y_1 &= y_2 \\
 x &= 0,8212x + 252,08 \\
 x &= 1409,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Penurunan maksimum yang terjadi menggunakan metode Asaoka pada hari ke 330 adalah 1409,84 mm. Jadi, derajat konsolidasi yang masih terjadi saat ini dalam data monitoring adalah $\frac{1377}{1409,84} \times 100\% = 97,32\%$

- SP-04

No.	Hari ke-	Sn (mm)	Sn+1 (mm)
1	10	19	48
2	21	48	71
3	30	71	101
4	40	101	135
5	50	135	168
6	60	168	198
7	70	198	224
8	80	224	245
9	91	245	266
10	100	266	298
11	110	298	322
12	120	322	337
13	130	337	400
14	140	400	479
15	150	479	855
16	170	855	879
17	180	879	912
18	190	912	948
19	200	948	998
20	210	998	1043
21	220	1043	1089
22	231	1089	1133
23	240	1133	1169
24	250	1169	1209
25	260	1209	1251
26	270	1251	1309
27	280	1309	1374
28	290	1374	1411
29	297	1411	1450
30	310	1450	1465
31	320	1465	1505
32	330	1505	



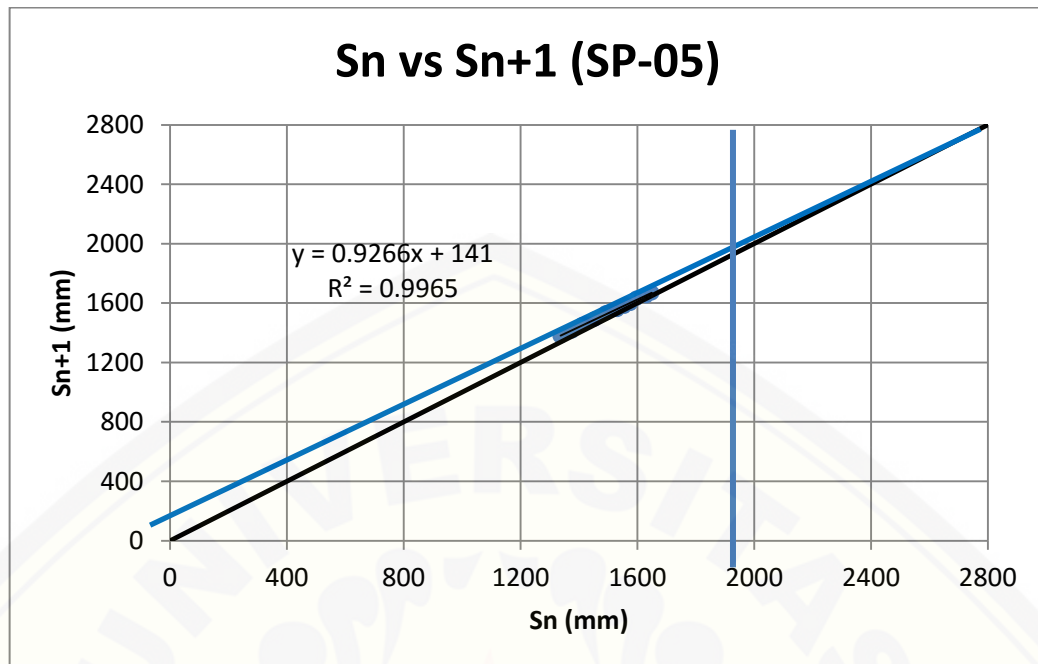
Dari grafik didapat persamaan $y = 0,8326x + 272,72$ dan $y = x$ (garis 45^0) sehingga prediksi penurunan akhirnya dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 1. \quad y_1 &= x \\
 2. \quad y_2 &= 0,8326x + 272,72 \\
 y_1 &= y_2 \\
 x &= 0,8326x + 272,72 \\
 x &= 1629,15 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Penurunan maksimum yang terjadi menggunakan metode Asaoka pada hari ke 330 adalah 1629,15 mm. Jadi, derajat konsolidasi yang masih terjadi saat ini dalam data monitoring adalah $\frac{1505}{1629,15} \times 100\% = 92,38\%$

- SP-05

No.	Hari ke-	Sn (mm)	Sn+1 (mm)
1	10	34	51
2	20	51	64
3	30	64	86
4	40	86	107
5	50	107	125
6	60	125	173
7	71	173	208
8	80	208	264
9	90	264	297
10	100	297	454
11	110	454	647
12	120	647	733
13	130	733	857
14	141	857	953
15	150	953	1025
16	160	1025	1089
17	170	1089	1146
18	180	1146	1206
19	190	1206	1252
20	200	1252	1297
21	211	1297	1337
22	220	1337	1377
23	230	1377	1411
24	240	1411	1454
25	250	1454	1492
26	260	1492	1532
27	270	1532	1556
28	281	1556	1577
29	290	1577	1598
30	298	1598	1631
31	310	1631	1650
32	320	1650	1668
33	330	1668	



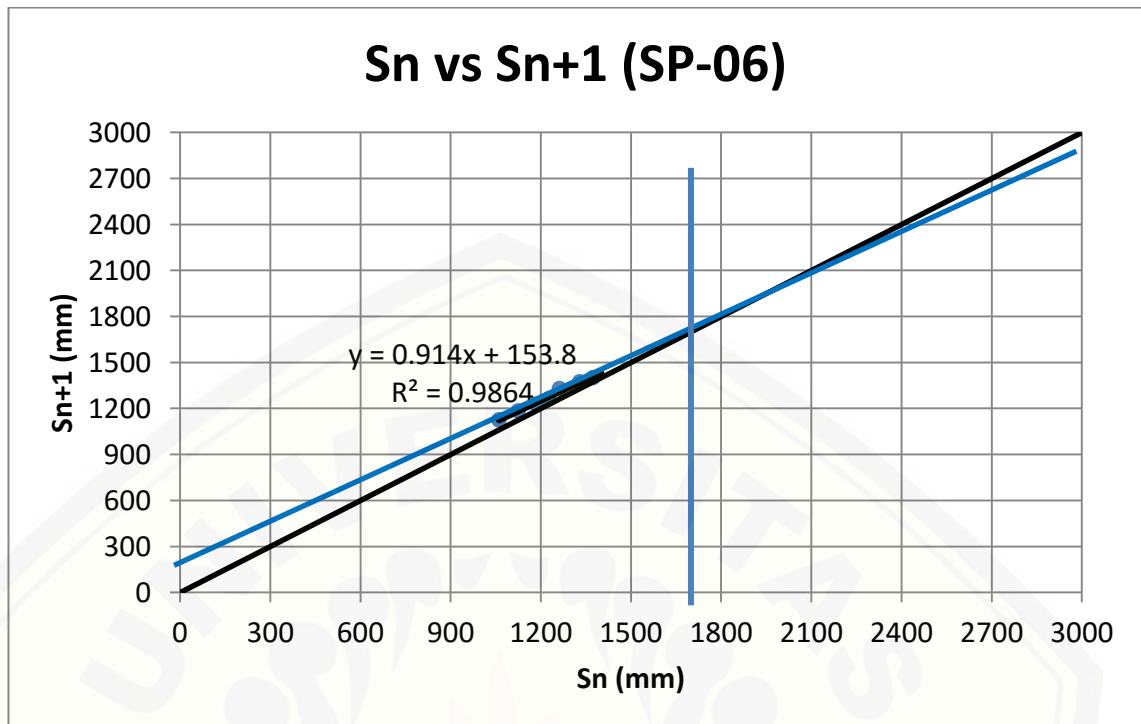
Dari grafik didapat persamaan $y = 0,9266x + 141$ dan $y = x$ (garis 45°) sehingga prediksi penurunan akhirnya dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 1. \quad y_1 &= x \\
 2. \quad y_2 &= 0,9266x + 141 \\
 y_1 &= y_2 \\
 x &= 0,9266x + 141 \\
 x &= 1920,98 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Penurunan maksimum yang terjadi menggunakan metode Asaoka pada hari ke 330 adalah 1920,98 mm. Jadi, derajat konsolidasi yang masih terjadi saat ini dalam data monitoring adalah $\frac{1668}{1920,98} \times 100\% = 86,83\%$

- SP-06

No.	Hari ke-	Sn (mm)	Sn+1 (mm)
1	10	32	47
2	20	47	54
3	30	54	71
4	40	71	90
5	50	90	104
6	60	104	109
7	71	109	119
8	80	119	159
9	90	159	173
10	100	173	202
11	110	202	218
12	120	218	280
13	130	280	381
14	141	381	444
15	150	444	494
16	160	494	540
17	170	540	588
18	180	588	635
19	190	635	674
20	200	674	711
21	211	711	747
22	220	747	800
23	230	800	905
24	240	905	1005
25	250	1005	1061
26	260	1061	1125
27	270	1125	1184
28	281	1184	1227
29	290	1227	1262
30	298	1262	1329
31	310	1329	1374
32	320	1374	1401
33	330	1401	



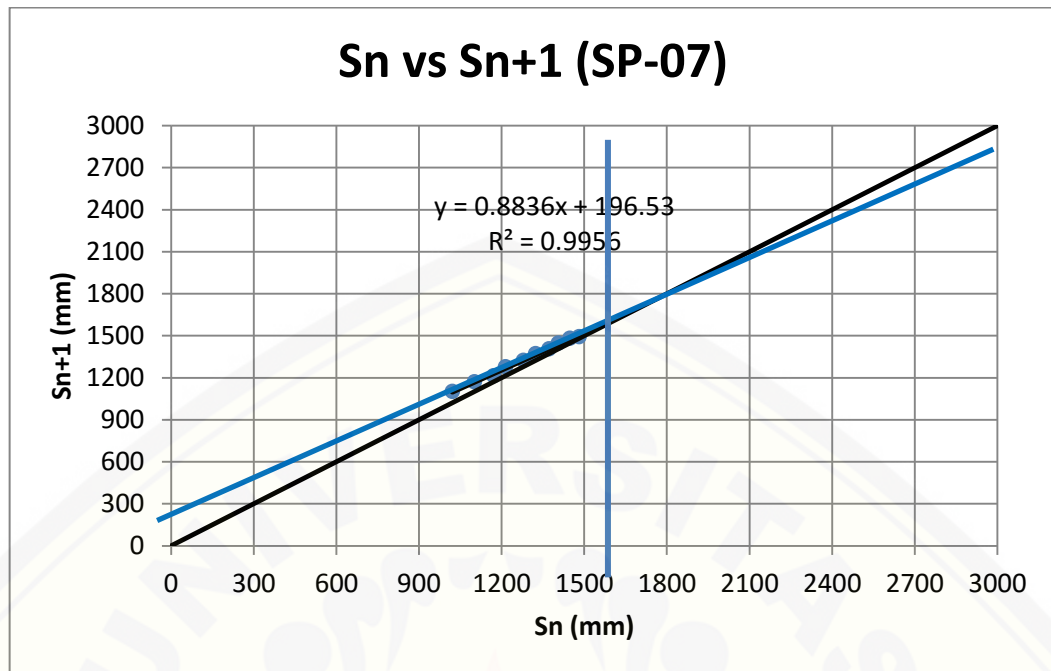
Dari grafik didapat persamaan $y = 0,914x + 153,8$ dan $y = x$ (garis 45^0) sehingga prediksi penurunan akhirnya dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 1. \quad y_1 &= x \\
 2. \quad y_2 &= 0,914x + 153,8 \\
 y_1 &= y_2 \\
 x &= 0,914x + 153,8 \\
 x &= 1788,37 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Penurunan maksimum yang terjadi menggunakan metode Asaoka pada hari ke 330 adalah 1788,37 mm. Jadi, derajat konsolidasi yang masih terjadi saat ini dalam data monitoring adalah $\frac{1401}{1788,37} \times 100\% = 78,34\%$

- SP-07

No.	Hari ke-	Sn (mm)	Sn+1 (mm)
1	10	52	78
2	20	78	88
3	30	88	126
4	40	126	148
5	50	148	166
6	60	166	171
7	71	171	181
8	80	181	214
9	90	214	236
10	100	236	265
11	110	265	312
12	120	312	410
13	130	410	575
14	141	575	661
15	150	661	728
16	160	728	784
17	170	784	831
18	180	831	892
19	190	892	918
20	200	918	950
21	211	950	983
22	220	983	1021
23	230	1021	1102
24	240	1102	1171
25	250	1171	1214
26	260	1214	1279
27	270	1279	1323
28	281	1323	1372
29	290	1372	1406
30	298	1406	1448
31	310	1448	1482
32	320	1482	1494
33	330	1494	



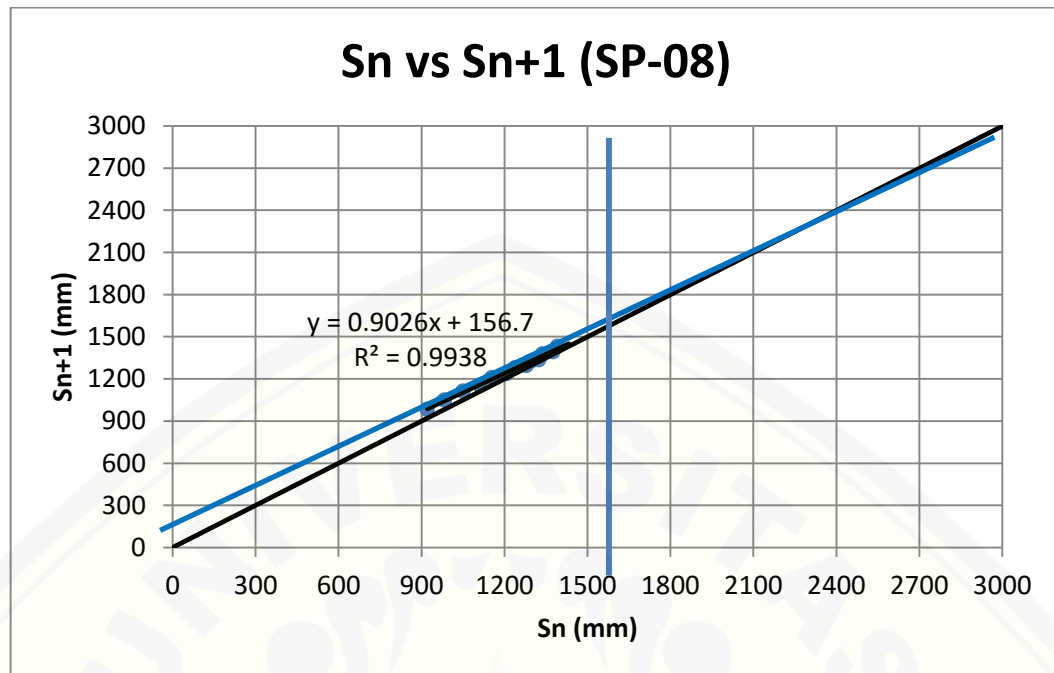
Dari grafik didapat persamaan $y = 0,8836x + 196,53$ dan $y = x$ (garis 45°) sehingga prediksi penurunan akhirnya dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 1. \quad y_1 &= x \\
 2. \quad y_2 &= 0,8836x + 196,53 \\
 y_1 &= y_2 \\
 x &= 0,8836x + 196,53 \\
 x &= 1688,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Penurunan maksimum yang terjadi menggunakan metode Asaoka pada hari ke 330 adalah 1688,4 mm. Jadi, derajat konsolidasi yang masih terjadi saat ini dalam data monitoring adalah $\frac{1494}{1688,4} \times 100\% = 88,94\%$

- SP-08

No.	Hari ke-	Sn (mm)	Sn+1 (mm)
1	10	38	63
2	21	63	81
3	30	81	101
4	40	101	133
5	50	133	154
6	60	154	168
7	70	168	182
8	80	182	215
9	91	215	229
10	100	229	243
11	110	243	266
12	120	266	308
13	130	308	334
14	140	334	423
15	150	423	533
16	161	533	646
17	171	646	755
18	180	755	843
19	190	843	921
20	200	921	983
21	210	983	1050
22	220	1050	1112
23	231	1112	1154
24	240	1154	1209
25	250	1209	1239
26	260	1239	1279
27	270	1279	1295
28	280	1295	1324
29	290	1324	1337
30	297	1337	1376
31	310	1376	1392
32	320	1392	1432
33	330	1432	



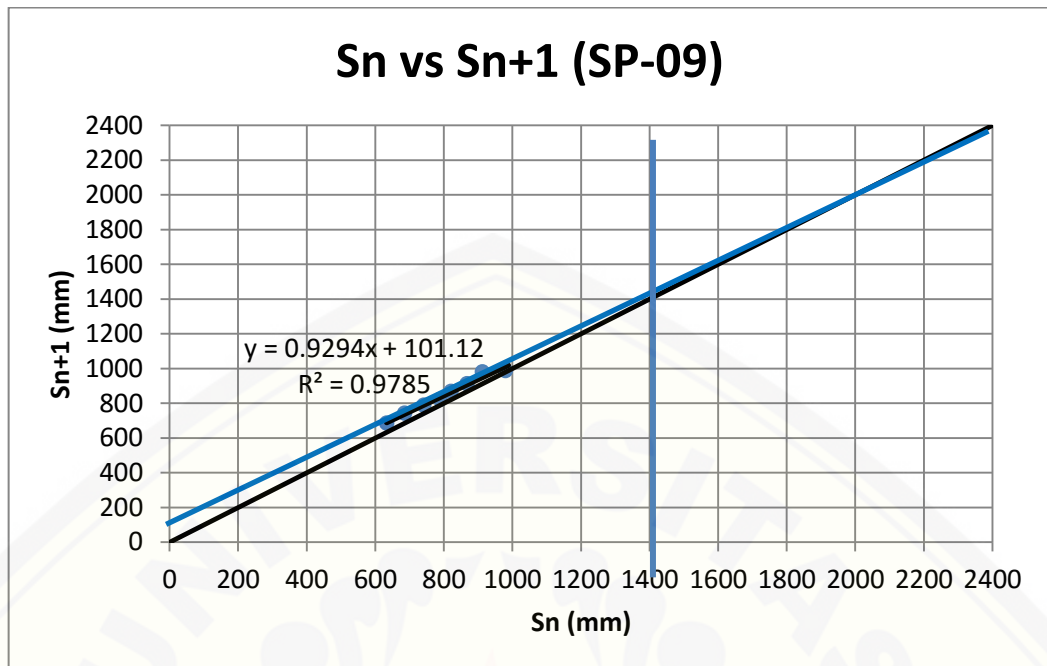
Dari grafik didapat persamaan $y = 0,9026x + 156,7$ dan $y = x$ (garis 45^0) sehingga prediksi penurunan akhirnya dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 1. \quad y_1 &= x \\
 2. \quad y_2 &= 0,9026x + 156,7 \\
 y_1 &= y_2 \\
 x &= 0,9026x + 156,7 \\
 x &= 1608,83 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Penurunan maksimum yang terjadi menggunakan metode Asaoka pada hari ke 330 adalah 1608,83 mm. Jadi, derajat konsolidasi yang masih terjadi saat ini dalam data monitoring adalah $\frac{1432}{1608,83} \times 100\% = 89,01\%$

- SP-09

No.	Hari ke-	Sn (mm)	Sn+1 (mm)
1	10	28	52
2	21	52	67
3	30	67	85
4	40	85	107
5	50	107	125
6	60	125	135
7	70	135	148
8	80	148	164
9	89	164	193
10	100	193	203
11	110	203	225
12	120	225	239
13	130	239	253
14	140	253	273
15	150	273	320
16	161	320	349
17	170	349	373
18	180	373	407
19	190	407	454
20	200	454	480
21	210	480	516
22	220	516	542
23	229	542	572
24	240	572	599
25	250	599	633
26	260	633	686
27	270	686	742
28	280	742	789
29	290	789	821
30	297	821	868
31	310	868	912
32	320	912	980
33	330	980	988
34	334	988	



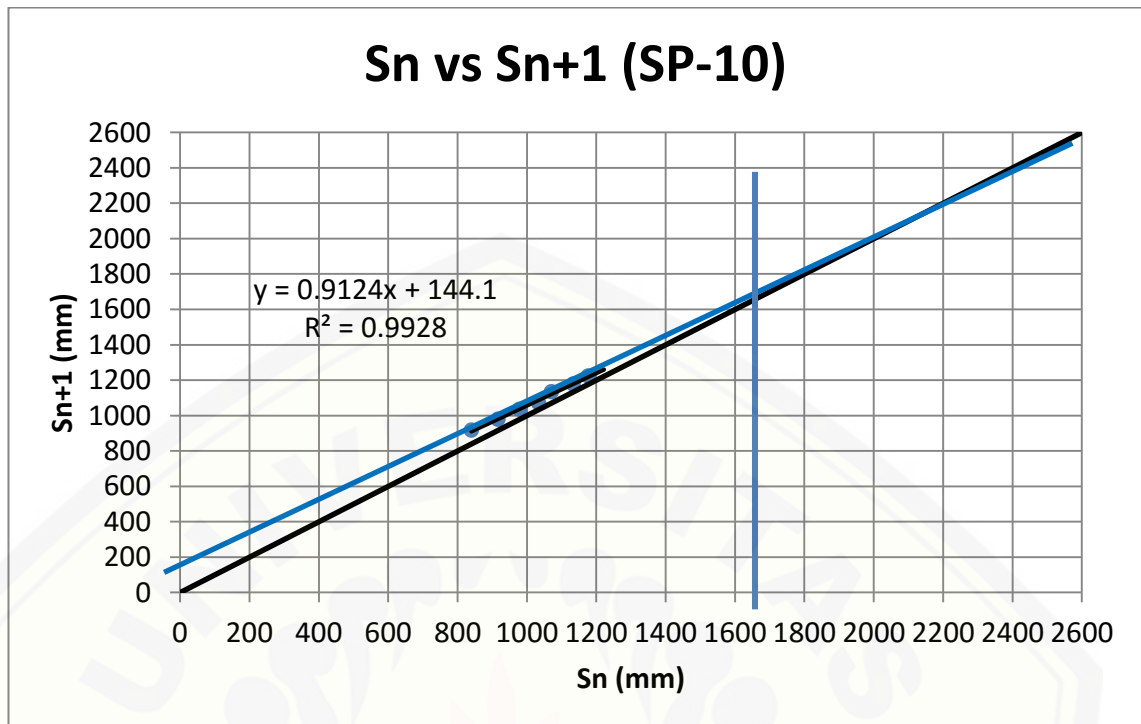
Dari grafik didapat persamaan $y = 0,9294x + 101,12$ dan $y = x$ (garis 45°) sehingga prediksi penurunan akhirnya dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 1. \quad y_1 &= x \\
 2. \quad y_2 &= 0,9294x + 101,12 \\
 y_1 &= y_2 \\
 x &= 0,9294x + 101,12 \\
 x &= 1433,58 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Penurunan maksimum yang terjadi menggunakan metode Asaoka pada hari ke 334 adalah 1433,58 mm. Jadi, derajat konsolidasi yang masih terjadi saat ini dalam data monitoring adalah $\frac{998}{1433,58} \times 100\% = 68,92\%$

SP-10

No.	Hari ke-	Sn (mm)	Sn+1 (mm)
1	10	35	67
2	21	67	88
3	30	88	112
4	40	112	140
5	50	140	155
6	60	155	165
7	70	165	179
8	80	179	200
9	91	200	223
10	100	223	234
11	110	234	266
12	120	266	286
13	130	286	302
14	140	302	319
15	150	319	352
16	161	352	419
17	170	419	459
18	180	459	532
19	190	532	588
20	200	588	635
21	210	635	683
22	220	683	721
23	231	721	752
24	240	752	788
25	250	788	840
26	260	840	917
27	270	917	979
28	280	979	1034
29	290	1034	1071
30	297	1071	1134
31	310	1134	1177
32	320	1177	1222
33	330	1222	



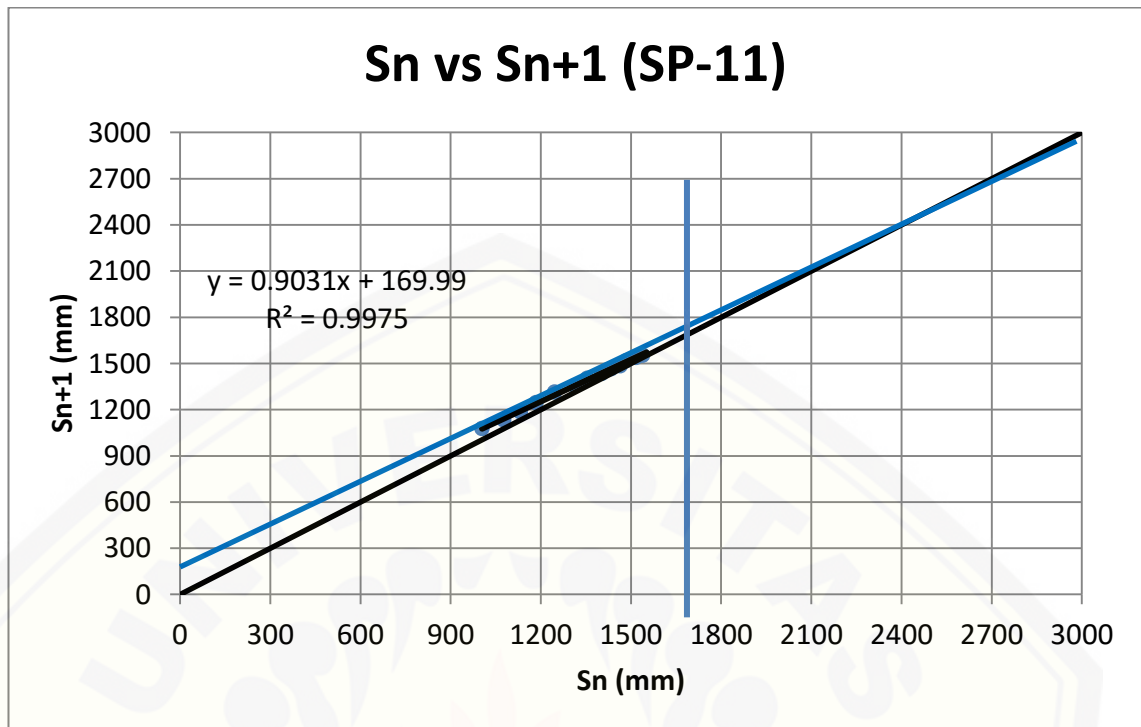
Dari grafik didapat persamaan $y = 0,9124x + 144,1$ dan $y = x$ (garis 45^0) sehingga prediksi penurunan akhirnya dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 1. \quad y_1 &= x \\
 2. \quad y_2 &= 0,9124x + 144,1 \\
 y_1 &= y_2 \\
 x &= 0,9124x + 144,1 \\
 x &= 1644,98 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Penurunan maksimum yang terjadi menggunakan metode Asaoka pada hari ke 330 adalah 1644,98 mm. Jadi, derajat konsolidasi yang masih terjadi saat ini dalam data monitoring adalah $\frac{1222}{1644,98} \times 100\% = 74,29\%$

- SP-11

No.	Hari ke-	Sn (mm)	Sn+1 (mm)
1	10	39	61
2	20	61	71
3	30	71	91
4	40	91	113
5	50	113	130
6	60	130	147
7	71	147	167
8	80	167	193
9	90	193	219
10	100	219	248
11	110	248	304
12	120	304	361
13	130	361	504
14	141	504	588
15	150	588	687
16	160	687	781
17	170	781	850
18	180	850	912
19	190	912	1005
20	200	1005	1077
21	211	1077	1132
22	220	1132	1185
23	230	1185	1246
24	240	1246	1313
25	250	1313	1355
26	260	1355	1403
27	270	1403	1435
28	281	1435	1465
29	290	1465	1485
30	298	1485	1517
31	310	1517	1539
32	320	1539	1552
33	330	1552	



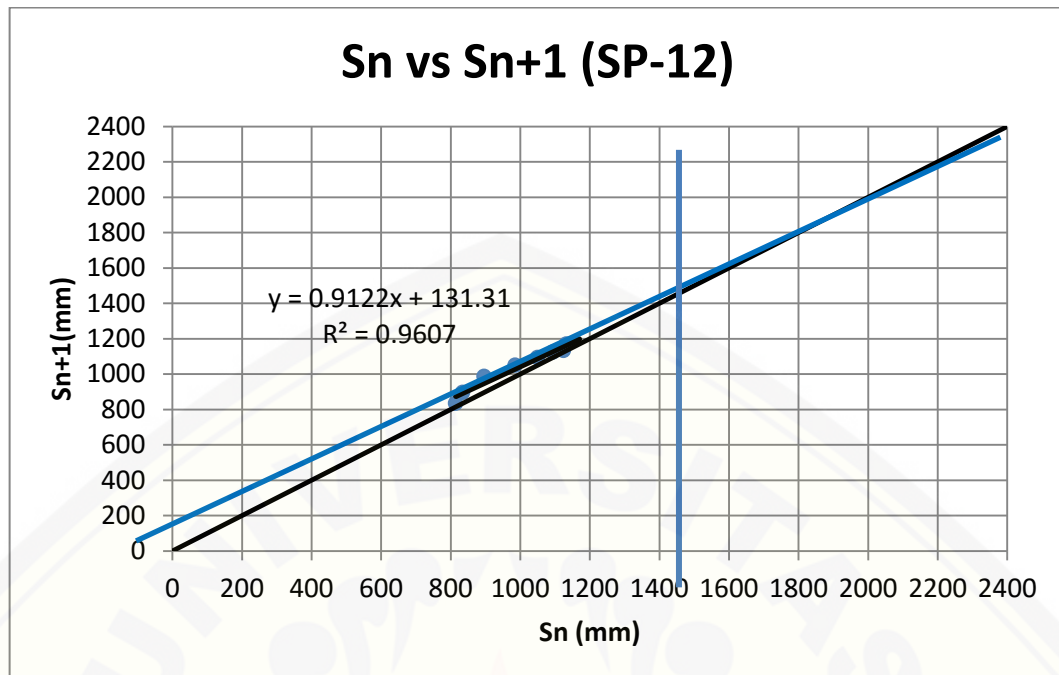
Dari grafik didapat persamaan $y = 0,9031x + 169,99$ dan $y = x$ (garis 45^0) sehingga prediksi penurunan akhirnya dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 1. \quad y_1 &= x \\
 2. \quad y_2 &= 0,9031x + 169,99 \\
 y_1 &= y_2 \\
 x &= 0,9031x + 169,99 \\
 x &= 1754,28 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Penurunan maksimum yang terjadi menggunakan metode Asaoka pada hari ke 330 adalah 1754,28 mm. Jadi, derajat konsolidasi yang masih terjadi saat ini dalam data monitoring adalah $\frac{1552}{1754,28} \times 100\% = 88,47\%$

SP-12

No.	Hari ke-	Sn (mm)	Sn+1 (mm)
1	10	39	58
2	20	58	65
3	30	65	92
4	40	92	113
5	50	113	130
6	60	130	158
7	71	158	186
8	80	186	231
9	90	231	250
10	100	250	284
11	110	284	301
12	120	301	338
13	130	338	367
14	141	367	414
15	150	414	466
16	160	466	569
17	170	569	623
18	180	623	675
19	190	675	710
20	200	710	734
21	211	734	762
22	220	762	815
23	230	815	835
24	240	835	897
25	250	897	986
26	260	986	1050
27	270	1050	1094
28	281	1094	1125
29	290	1125	1133
30	298	1133	1169
31	310	1169	



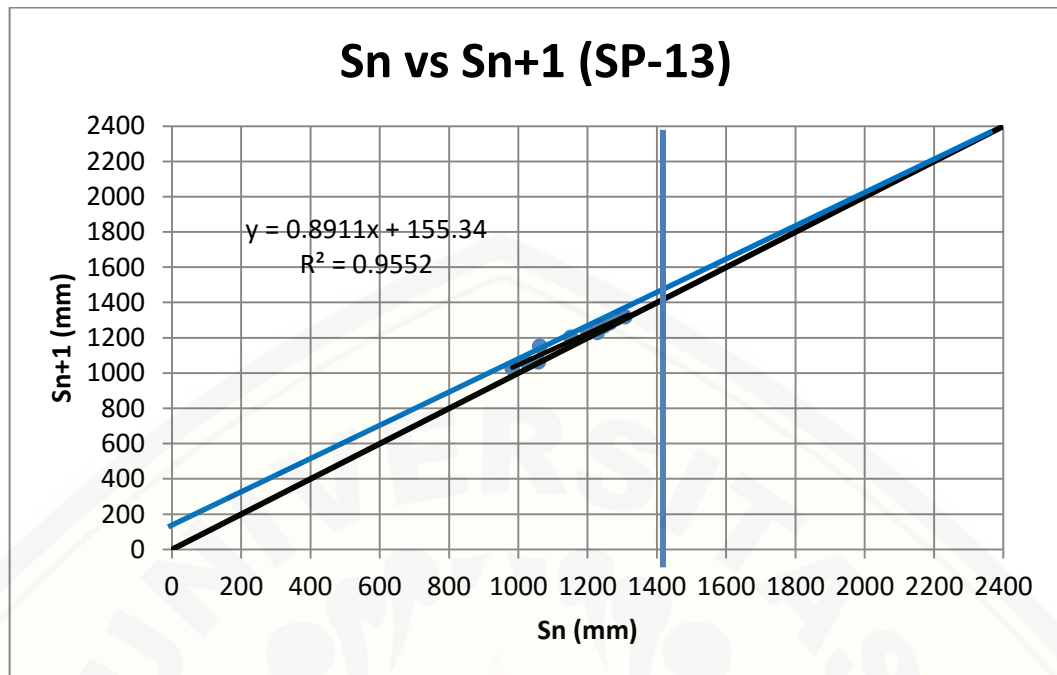
Dari grafik didapat persamaan $y = 0,9122x + 131,31$ dan $y = x$ (garis 45^0) sehingga prediksi penurunan akhirnya dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 1. \quad y_1 &= x \\
 2. \quad y_2 &= 0,9122x + 131,31 \\
 y_1 &= y_2 \\
 x &= 0,9122x + 131,31 \\
 x &= 1495,56 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Penurunan maksimum yang terjadi menggunakan metode Asaoka pada hari ke 310 adalah 1495,56 mm. Jadi, derajat konsolidasi yang masih terjadi saat ini dalam data monitoring adalah $\frac{1169}{1495,56} \times 100\% = 78,16\%$

- SP-13

No.	Hari ke-	Sn (mm)	Sn+1 (mm)
1	10	30	50
2	20	50	67
3	30	67	108
4	40	108	140
5	50	140	157
6	60	157	180
7	71	180	215
8	80	215	239
9	89	239	285
10	100	285	325
11	110	325	344
12	120	344	372
13	130	372	433
14	139	433	516
15	149	516	613
16	159	613	749
17	170	749	814
18	179	814	885
19	190	885	940
20	201	940	983
21	211	983	1026
22	220	1026	1059
23	230	1059	1062
24	240	1062	1152
25	250	1152	1202
26	260	1202	1229
27	270	1229	1229
28	279	1229	1248
29	290	1248	1265
30	297	1265	1283
31	310	1283	1308
32	320	1308	1318
33	330	1318	



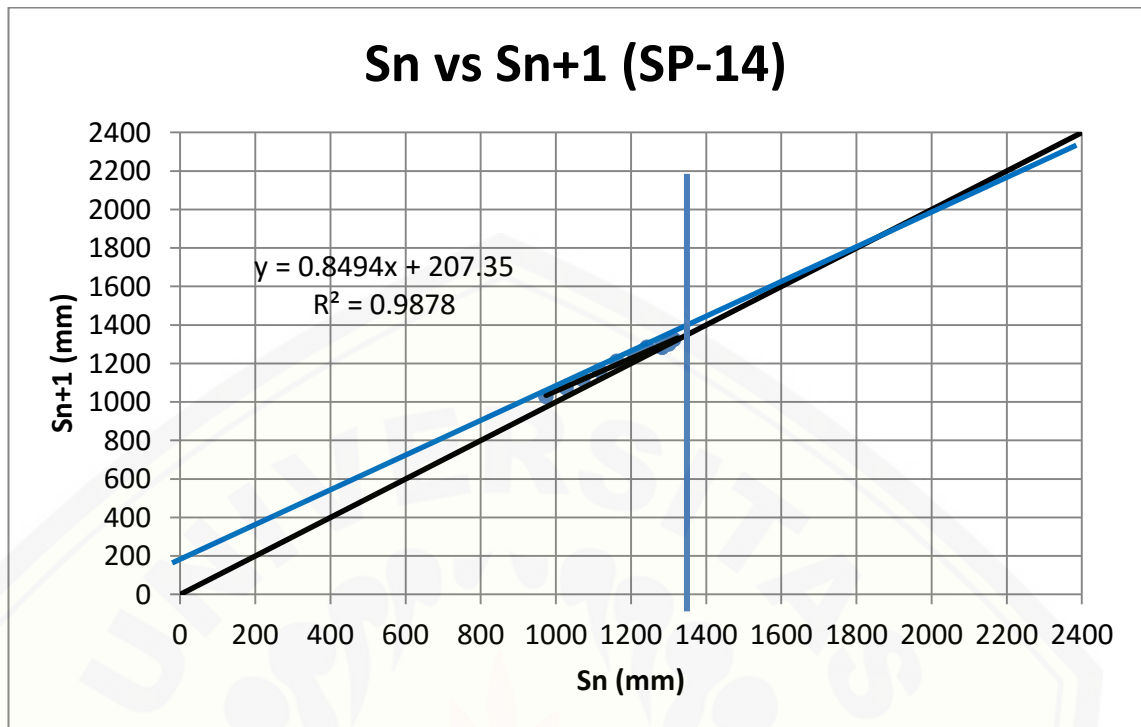
Dari grafik didapat persamaan $y = 0,8911x + 155,34$ dan $y = x$ (garis 45°) sehingga prediksi penurunan akhirnya dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 1. \quad y_1 &= x \\
 2. \quad y_2 &= 0,8911x + 155,34 \\
 y_1 &= y_2 \\
 x &= 0,8911x + 155,34 \\
 x &= 1426,45 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Penurunan maksimum yang terjadi menggunakan metode Asaoka pada hari ke 330 adalah 1426,45 mm. Jadi, derajat konsolidasi yang masih terjadi saat ini dalam data monitoring adalah $\frac{1318}{1426,45} \times 100\% = 92,40\%$

- SP-14

No.	Hari ke-	Sn (mm)	Sn+1 (mm)
1	10	45	69
2	20	69	87
3	30	87	106
4	40	106	130
5	50	130	149
6	60	149	172
7	69	172	204
8	80	204	223
9	90	223	255
10	100	255	287
11	110	287	345
12	120	345	409
13	130	409	475
14	139	475	561
15	150	561	638
16	160	638	752
17	170	752	850
18	180	850	918
19	190	918	974
20	200	974	1028
21	211	1028	1072
22	220	1072	1116
23	230	1116	1162
24	240	1162	1211
25	250	1211	1243
26	258	1243	1283
27	270	1283	1283
28	281	1283	1283
29	291	1283	1301
30	309	1301	1301
31	310	1301	1314
32	320	1314	1324
33	330	1324	



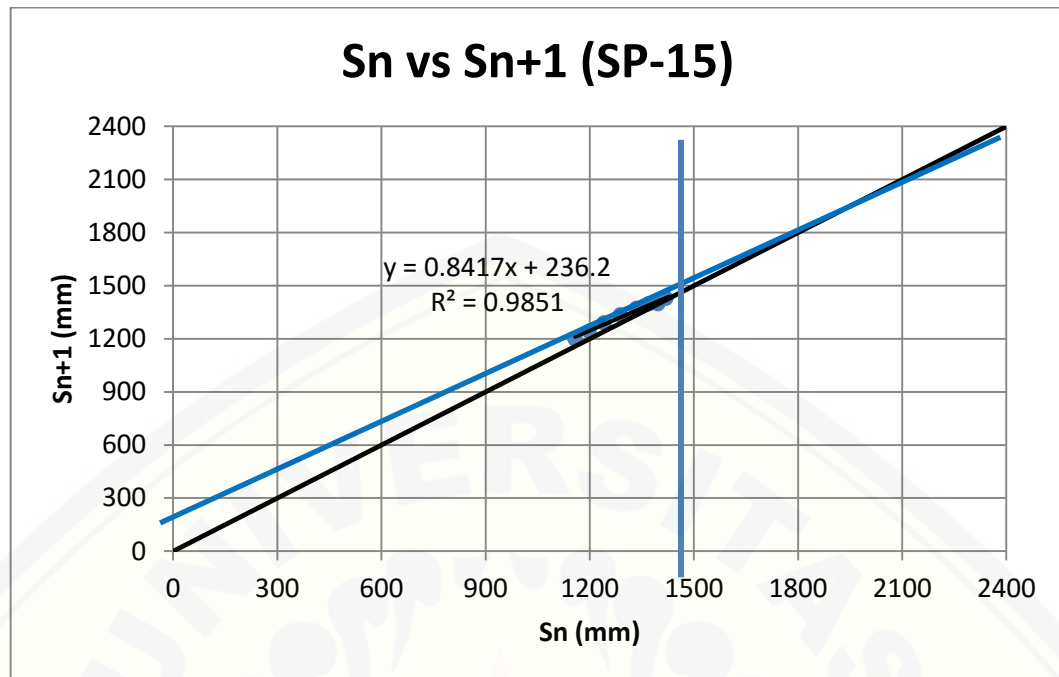
Dari grafik didapat persamaan $y = 0,494x + 207,35$ dan $y = x$ (garis 45^0) sehingga prediksi penurunan akhirnya dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} 1. \quad y_1 &= x \\ 2. \quad y_2 &= 0,494x + 207,35 \\ y_1 &= y_2 \\ x &= 0,494x + 207,35 \\ x &= 1376,83 \text{ mm} \end{aligned}$$

Penurunan maksimum yang terjadi menggunakan metode Asaoka pada hari ke 330 adalah 1376,83 mm. Jadi, derajat konsolidasi yang masih terjadi saat ini dalam data monitoring adalah $\frac{1324}{1376,83} \times 100\% = 96,16\%$

SP-15

No.	Hari ke-	Sn (mm)	Sn+1 (mm)
1	10	32	51
2	20	51	72
3	30	72	103
4	40	103	115
5	50	115	144
6	60	144	166
7	69	166	193
8	80	193	227
9	90	227	260
10	100	260	347
11	110	347	530
12	120	530	577
13	130	577	673
14	139	673	748
15	150	748	798
16	160	798	882
17	170	882	975
18	180	975	1047
19	190	1047	1107
20	200	1107	1158
21	211	1158	1199
22	220	1199	1242
23	230	1242	1289
24	240	1289	1335
25	250	1335	1371
26	258	1371	1397
27	270	1397	1397
28	281	1397	1405
29	291	1405	1420
30	310	1420	1429
31	320	1429	



Dari grafik didapat persamaan $y = 0,8417x + 237,2$ dan $y = x$ (garis 45^0) sehingga prediksi penurunan akhirnya dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

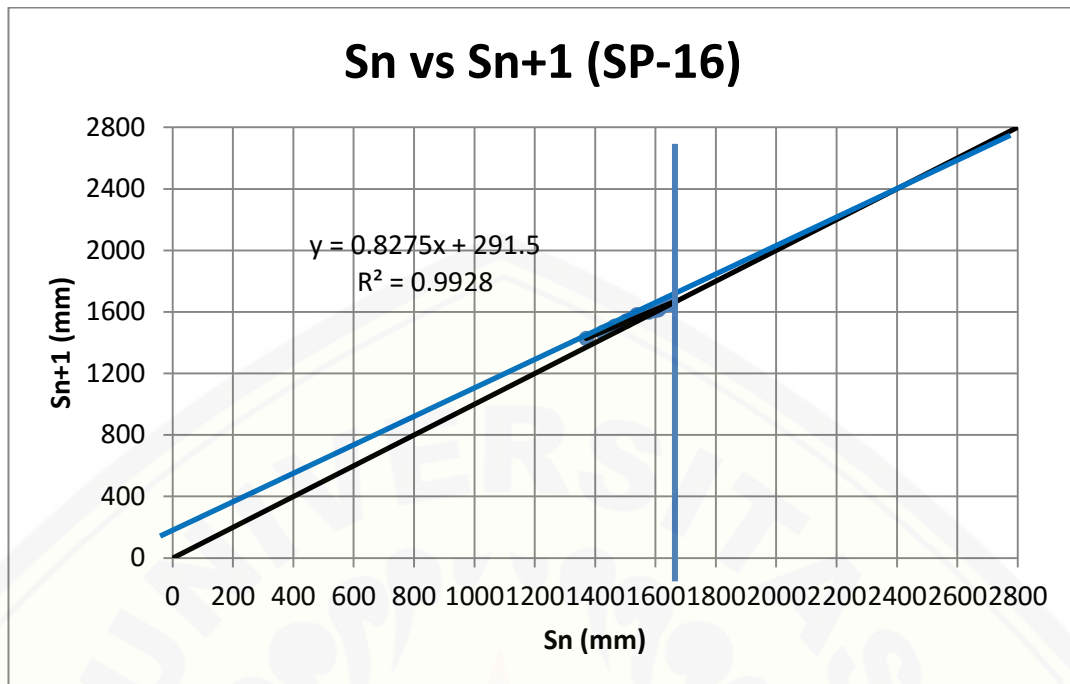
$$\begin{aligned}
 1. \quad y_1 &= x \\
 2. \quad y_2 &= 0,8417x + 237,2 \\
 y_1 &= y_2 \\
 x &= 0,8417x + 237,2 \\
 x &= 1492,1 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Penurunan maksimum yang terjadi menggunakan metode Asaoka pada hari ke 320 adalah 1492,1 mm. Jadi, derajat konsolidasi yang masih terjadi saat ini dalam

data monitoring adalah $\frac{1429}{1492,1} \times 100\% = 95,77\%$

- SP-16

No.	Hari ke-	Sn (mm)	Sn+1 (mm)
1	10	63	103
2	21	103	137
3	30	137	168
4	40	168	190
5	50	190	224
6	60	224	262
7	70	262	293
8	80	293	335
9	91	335	367
10	100	367	414
11	110	414	569
12	120	569	761
13	130	761	929
14	140	929	1028
15	150	1028	1122
16	161	1122	1188
17	170	1188	1263
18	180	1263	1320
19	190	1320	1371
20	200	1371	1426
21	211	1426	1465
22	220	1465	1504
23	231	1504	1539
24	240	1539	1579
25	252	1579	1598
26	260	1598	1610
27	271	1610	1613
28	280	1613	1627
29	290	1627	1638
30	297	1638	1649
31	309	1649	1649
32	310	1649	1664
33	320	1664	



Dari grafik didapat persamaan $y = 0,8275x + 291,5$ dan $y = x$ (garis 45^0) sehingga prediksi penurunan akhirnya dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 3. \quad y_1 &= x \\
 4. \quad y_2 &= 0,8275x + 291,5 \\
 y_1 &= y_2 \\
 x &= 0,8275x + 291,5 \\
 x &= 1689,86 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Penurunan maksimum yang terjadi menggunakan metode Asaoka pada hari ke 330 adalah 1689,86 mm. Jadi, derajat konsolidasi yang masih terjadi saat ini dalam data monitoring adalah $\frac{1664}{1689,86} \times 100\% = 98,47\%$