



**EVALUASI PENURUNAN AKHIR PADA PROYEK
SUMMARECON BANDUNG CLUSTER F MENGGUNAKAN
METODE ASAOKA DAN *SIMPLIFIED* CHUNLIN**

TUGAS AKHIR

Oleh:

SALSABILA THIFAL HASNA

NIM. 171910301111

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2021



**EVALUASI PENURUNAN AKHIR PADA PROYEK
SUMMARECON BANDUNG CLUSTER F MENGGUNAKAN
METODE ASAOKA DAN *SIMPLIFIED* CHUNLIN**

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

SALSABILA THIFAL HASNA

NIM. 171910301111

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2021

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Bapak Budi Setiyono,S.T.; Ibu Siti Nur Hidayati, S.Pd.; Okadino Iftinan,A.Md.; dan segenap keluarga yang selalu mendoakan dan memberi dukungan penuh kepada saya.
2. Ibu Dr. Ir. Indra Nurtjahjaningtyas,S.T.,M.T. dan Paksitya Purnama Putra S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing saya menyusun tugas akhir ini.
3. Bapak Ir.Willy Kriswardhana,S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing akademik dan segenap dosen yang telah membimbing saya hingga tahap akhir kuliah.
4. Teman-teman Baswara, khususnya sahabat-sahabat saya yang selalu memberikan semangat, dukungan, serta saran untuk menyelesaikan tugas akhir.
5. Azmi Lisani Wahyu,S.T.,M.T. yang telah memberi saran dalam penyusunan tugas akhir.
6. Luqman hakim dan Hadi Hamid Abdullah sebagai teman diskusi serta telah memberi masukan dalam tugas akhir ini.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

MOTO

Janganlah kamu bersikap lemah dan janganlah pula kamu bersedih hati, padahal kamulah orang-orang yang paling tinggi derajatnya jika kamu beriman.

(Terjemahan Surat *Ali Imron* ayat 139)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

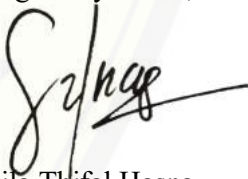
Nama : Salsabila Thifal Hasna

NIM : 171910301111

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Evaluasi Penurunan Akhir pada Proyek Summarecon Bandung Cluster F Menggunakan Metode Asaoka dan *Simplified* Chunlin” adalah benar-benar penelitian dan hasil tulisan karya sendiri, belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya hasil jiplakan dari manapun. Saya bertanggung jawab penuh keabsahan dan kebenaran isi pada karya tulis ini sesuai dengan sikap ilmiah yang selalu saya junjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun, serta bersedia mendapatkan sanksi akademik apabila ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 2021
Yang Menyatakan,



Salsabila Thifal Hasna
NIM. 171910301111

TUGAS AKHIR

**EVALUASI PENURUNAN AKHIR PADA PROYEK
SUMMARECON BANDUNG CLUSTER F MENGGUNAKAN
METODE ASAOKA DAN *SIMPLIFIED* CHUNLIN**

Oleh:

SALSABILA THIFAL HASNA

NIM 171910301111

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama	: Dr. Ir. Indra Nurtjahjaningtyas, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing Anggota	: Paksitya Purnama Putra, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Evaluasi Penurunan Akhir pada Proyek Summarecon Bandung Cluster F Menggunakan Metode Asaoka dan *Simplified Chunlin*” karya Salsabila Thifal Hasna telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Rabu, 13 Januari 2021

Tempat : Fakultas Teknik

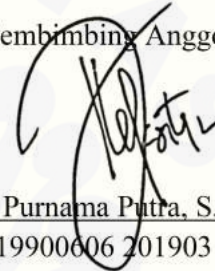
Tim Pembimbing:

Pembimbing Utama,



Dr. Ir. Indra Nurtjahjaningtyas, S.T., M.
NIP. 19701024 199803 2 001

Pembimbing Anggota,



Paksitya Purnama Putra, S.T., M.T.
NIP. 19900606 201903 1 022

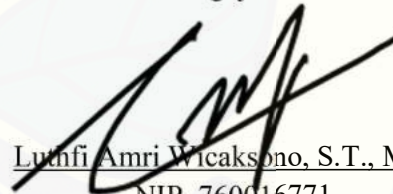
Tim Penguji:

Penguji I,



Dr. Ir. Gusfan Halik S.T., M.T.
NIP. 19710804 199803 1 002

Penguji II,




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

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Jember




Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP. 197008261997021001

RINGKASAN

Evaluasi Penurunan Akhir pada Proyek Summarecon Bandung Cluster F Menggunakan Metode Asaoka dan *Simplified Chunlin*, Salsabila Thifal Hasna, 17191030111, 2021; 79 Halaman; Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Summarecon Bandung Cluster F direncanakan dibangun di atas tanah lunak, sehingga diperbaiki dengan *preloading* dan *vertical drain*. Penurunan tanah akibat perbaikan dihitung menggunakan metode Terzaghi. Metode Terzaghi perlu dievaluasi setelah dilakukan monitoring lapangan dengan *Settlement Plate* (SP) untuk mendapatkan nilai prediksi yang lebih mendekati aktual. Evaluasi prediksi penurunan yang digunakan secara luas adalah metode Asaoka. Kelemahan metode ini harus menentukan *initial time point* dan interval waktu, dimana dalam penentuannya bisa berbeda-beda pada setiap perencanaan. Karena kekurangan dari metode ini, Li mengajukan metode yang tidak berhubungan dengan *initial time point*, sehingga diharapkan dapat diperoleh prediksi yang lebih tepat.

Penurunan pada proyek Summarecon Bandung Cluster F dihitung menggunakan tiga metode, yaitu Terzaghi, Asaoka, dan Chunlin. Metode Terzaghi dalam perhitungannya menggunakan data sekunder hasil uji lapangan dan uji laboratorium. Metode Asaoka menggunakan data hasil monitoring lapangan untuk memprediksi penurunan. Hasil perhitungan Asaoka dievaluasi menggunakan metode Chunlin. Metode Asaoka dan metode Chunlin kemudian dibandingkan dengan data aktual sehingga dapat diketahui apakah metode Chunlin dapat digunakan untuk menutup kekurangan Asaoka.

Hasil penelitian yang diperoleh bahwa prediksi penurunan tanah dengan Asaoka saja sudah cukup. Meskipun memiliki kekurangan, metode Asaoka lebih dapat diandalkan karena bisa lebih mendekati aktual dibanding Chunlin.

Kata Kunci : Penurunan, Asaoka, Chunlin

SUMMARY

Evaluation of Final Settlement in The Summarecon Bandung Cluster F Project Using Asaoka Method and Simplified Chunlin, Salsabila Thifal Hasna, 17191030111, 2021; 79 pages; Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Summarecon Bandung Cluster F is planned to be built on soft soil, so that it will be repaired with preloading and vertical drain. Land subsidence due to improvements is calculated using the Terzaghi method. The Terzaghi method needs to be evaluated after field monitoring with the Settlement Plate (SP) is carried out to obtain a predictive value that is close to actual. The most widely used settlement prediction evaluation is the Asaoka method. The weakness of this method is that it determines the starting point of time and time intervals which can be different for each planner. Due to the shortcomings of this method, Li proposed a method that is not related to the initial point in time, so that it is hoped that more precise predictions can be obtained.

The settlement of the Summarecon Bandung Cluster F project is calculated using three methods, namely Terzaghi, Asaoka, and Chunlin. The Terzaghi method in its calculations uses secondary data from the results of field tests and laboratory tests. The Asaoka method uses data from field monitoring to predict settlement. Asaoka's calculation results were evaluated using the Chunlin method. The Asaoka method and the Chunlin method are then compared with the actual data so that it can be seen whether the Chunlin method can be used to cover Asaoka's shortcomings.

The results showed that the prediction of subsidence with Asaoka alone was sufficient. Despite the drawbacks, Asaoka's method was more reliable because it was closer to the real thing than the Chunlin.

Keywords: Settlement, Asaoka, Chunlin

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Evaluasi Penurunan Akhir pada Proyek Summarecon Bandung Cluster F Menggunakan Metode Asaoka Dan *Simplified* Chunlin”. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan tugas akhir ini terdapat kendala-kendala yang dapat dilalui berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Dr.Ir.Indra Nurtjahjaningtyas, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama.
2. Paksitya Purnama Putra, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing anggota.
3. Dr.Ir.Gusfan Halik, S.T., M.T., selaku dosen penguji utama.
4. Luthfi Amri Wicaksono, S.T., M.T., selaku dosen penguji anggota.
5. Ir.Willy Kriswardhana,S.T.,M.T., selaku dosen pembimbing akademik.
6. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember.
7. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberi doa dan dukungan.
8. Luqman Hakim, Hadi Hamid Abdullah, dan teman teman Baswara yang memberi dukungan serta masukan dalam tugas akhir ini.

Penulis menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan tugas akhir ini serta memohon maaf atas segala kesalahan. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Jember, 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
PERSEMBAHAN.....	ii
MOTO.....	iii
PERNYATAAN	iv
PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
PRAKATA.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB 1	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Penelitian	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB 2.....	4
TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Tanah Lunak.....	4
2.2 Perbaikan Tanah.....	4
2.2.1 Metode <i>Preloading</i>	5

2.2.2 Prefabricated Vertical Drain (PVD)	6
2.3 Instrumen Geoteknik	7
2.3.1 Settlement Plate (SP).....	7
2.3.2 Piezometer	8
2.3.3 Inclinator	9
2.4 Metode untuk Meprediksi Settlement	9
2.4.1 Metode Terzaghi (1942).....	9
2.4.2 Metode Asaoka (1978).....	16
2.4.3 Metode Chunlin (2014)	19
2.5 Derajat Konsolidasi.....	20
2.5.1 Derajat Konsolidasi secara Teoritis	20
2.5.2 Derajat Konsolidasi Aktual berdasar Hasil Pengukuran <i>Settlement</i>	22
2.6 Penelitian-Penelitian Terdahulu.....	23
BAB 3	26
METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Lokasi Penelitian	26
3.2 Bagan Diagram Alir	28
3.2.1 Studi Literatur	30
3.2.2 Mengumpulkan dan Pengolahan Data	30
3.2.3 Menghitung Teoritis dengan Metode Terzaghi	31
3.2.4 Menghitung Penurunan Tanah Observasional dengan Metode Asaoka	31
3.2.5 Menghitung Penurunan Tanah dengan metode Chunlin	32
3.2.6 Output.....	32

3.2.7 Analisis Metode	32
3.2.8 Kesimpulan.....	33
BAB 4	34
HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Analisis Data.....	34
4.1.1 Data Tanah.....	34
4.1.2 Data Perencanaan Perbaikan Tanah.....	36
4.2 Perhitungan Penurunan dengan Metode Terzaghi.....	38
4.3 Perhitungan Penurunan dengan Metode Asaoka	43
4.4 Perhitungan Penurunan dengan Metode Chunlin	50
4.5 Derajat Konsolidasi.....	52
4.6 Pembahasan	54
BAB 5	62
KESIMPULAN DAN SARAN	62
5.1 Kesimpulan	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN.....	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Karakteristik Lempung Lunak (Toha, 1989)	4
Tabel 2. 2 Variasi Faktor Waktu terhadap Derajat Konsolidasi.....	21
Tabel 4. 1. Data Hasil Uji Laboratorium.....	35
Tabel 4. 2. Data Perencanaan Perbaikan Tanah	36
Tabel 4. 3. Rekapulasi Hasil Perhitungan Metode Terzaghi.....	41
Tabel 4. 4. Data Perencanaan PVD	42
Tabel 4. 5. Perhitungan Derajat Konsolidasi PVD Pola Segitiga dengan Jarak 130 cm	43
Tabel 4. 6. Rekapulasi Data yang Dipilih untuk Analisis Asaoka	44
Tabel 4. 7. Rekapulasi Hasil Perhitungan Metode Asaoka.....	48
Tabel 4. 8. Rekapulasi Nilai Koreksi Koefisien Ch	48
Tabel 4. 9. Prediksi Lamanya Waktu untuk Mencapai Sf	49
Tabel 4. 10. Perhitungan Metode Chunlin	50
Tabel 4. 11. Rekapulasi Perhitungan dengan Metode Chunlin.....	52
Tabel 4. 12. Tabel Rekapulasi Derajat Konsolidasi Menggunakan Grafik	53
Tabel 4. 13. Tabel Rekapulasi Derajat Konsolidasi Menggunakan Rumus	54
Tabel 4. 14. Rekapulasi Hasil Perhitungan.....	54
Tabel 4. 15. Selisih Prediksi Terzaghi dan Asaoka	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Penentuan Perbaikan Tanah Menurut Jenis Tanahnya (SNI8640:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik) 5

Gambar 2. 2 Ilustrasi Cara Kerja *Vertical Drain* dan *Preloading* (P.T. Teknindo Geosistem Unggul) 6

Gambar 2. 4 Diameter Ekuivalen PVD (P.T. Teknindo Geosistem Unggul) 7

Gambar 2. 5 Pola Pemasangan PVD (P.T. Teknindo Geosistem Unggul) 7

Gambar 2. 6 Contoh grafik *settlement* terhadap waktu (Efendi et al., 2019)..... 8

Gambar 2. 7 Potongan Melintang Setengah Timbunan 13

Gambar 2. 8 Grafik Influence Factor (NAFVAC DM-7,1970) 14

Gambar 2. 9 Prosedur Analisis Data Monitoring Penurunan dengan Interval Waktu yang Konstan (Magnan dan Deroy,1980)..... 17

Gambar 2. 10 Analisis Prediksi Penurunan Akhir Metode Asaoka (1978) 18

Gambar 2. 11 Contoh Grafik hasil Metode Asaoka (Efendi et al., 2019)..... 18

Gambar 2. 12 Penentuan parameter b pada metode Chunlin (Li, 2014) 20

Gambar 2. 13 Grafik untuk Mencari Derajat Konsolidasi Aktual..... 22

Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian Cluster F 26

Gambar 3. 2. Letak Pemasangan Settement Plate 27

Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian 29

Gambar 4. 1 Grafik NSPT vs. Kedalaman Titik Uji BH 06 34

Gambar 4. 2. Potongan Melintang Perbaikan Tanah pada Cluster F..... 36

Gambar 4. 3.Grafik Hubungan *Settlement* Total,Tebal Timbunan, dan Waktu Pada SP 01 37

Gambar 4. 4.Grafik Hubungan *Settlement* Total,Tebal Timbunan, dan Waktu Pada SP 02..... 38

Gambar 4. 5.Grafik Hubungan *Settlement* Total,Tebal Timbunan, dan Waktu Pada SP 03 38

Gambar 4. 6.Potongan Melintang Setengah Timbunan 39

Gambar 4. 7. Contoh Menentukan Titik Awal Perhitungan pada Grafik Monitoring SP 01 44

Gambar 4. 8. Diagram Asaoka	47
Gambar 4. 9. Grafik Hubungan $\ln S_{pt}^2/8S^\infty$ vs. t	51
Gambar 4. 10. Grafik untuk Mencari Derajat Konsolidasi Aktual.....	53
Gambar 4. 11. Grafik Hubungan Settlement vs. Waktu SP 01	56
Gambar 4. 12. Grafik Hubungan Settlement vs. Waktu SP 02	57
Gambar 4. 13. Grafik Hubungan Settlement vs. Waktu SP 03	57
Gambar 4. 14. Prediksi Settlement SP 01	58
Gambar 4. 15. Prediksi Settlement SP 02	58
Gambar 4. 16. Prediksi Settlement SP 03	58
Gambar 4. 17. Prediksi settlement dengan Asaoka sebelum modifikasi haussman60	

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Summarecon Bandung merupakan salah satu smart city di kawasan Gedebage, Bandung. Berdasarkan hasil penyelidikan tanah Cluster F pada Summarecon memiliki nilai NSPT rata-rata 2,4 pada kedalaman 0-60 meter dengan jenis tanah rata-rata *soft clay*. Pembangunan di atas tanah lunak akan menimbulkan permasalahan geoteknik, salah satunya penurunan tanah yang besar dengan kurun waktu yang lama (Bagawanta et al., 2018).

Penurunan konsolidasi terjadi karena keluarnya air yang berada pada pori-pori tanah (Oktavian et al., 2019). Penurunan konsolidasi menimbulkan permasalahan yang serius apabila tidak ditangani. Salah satu contoh dampak dari konsolidasi ialah kasus penurunan gedung yang terjadi pada Gedung KPP Samarinda. Nugroho (2001) menyebutkan bahwa Samarinda merupakan bekas rawa dan masalah penurunan seringkali tidak diperhitungkan dengan baik sehingga menyebabkan Gedung KPP samarinda mengalami konsolidasi penurunan yang cepat. Penurunan gedung yang terjadi dapat menimbulkan terjadinya kegagalan konstruksi.

Perencanaan bangunan diatas tanah lunak seperti Proyek Summarecon Bandung Cluster F harus mempertimbangkan bahaya konsolidasi, sehingga perlu dilakukan perbaikan tanah untuk menangani permasalahan konsolidasi. SNI 8640:2017 mengenai Persyaratan Perancangan Geoteknik menyebutkan bahwa pembangunan konstruksi dapat dilakukan apabila konsolidasi tanah dianggap selesai, yaitu telah mencapai 90%. Perbaikan tanah yang diterapkan pada proyek ini adalah *Preloading* yang dikombinasikan dengan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD). Kombinasi metode ini bertujuan untuk mempercepat proses konsolidasi yang terjadi. Untuk mengestimasi besar dan lamanya konsolidasi dari perbaikan tanah yang dilakukan digunakan teori satu dimensi Terzaghi.

Teori Terzaghi (1943) digunakan secara umum untuk memprediksi penurunan dan waktu konsolidasi. Menurut Nawir et al. (2012), banyak kasus prediksi penurunan yang dihasilkan dari teori Terzaghi kurang akurat karena beberapa faktor dalam metode penimbunan diabaikan. Faktor-faktor yang diabaikan seperti perkuatan tanah yang terjadi akibat penimbunan bertahap saat perbaikan tanah dan perubahan tingkat kejenuhan (Nawir et al., 2012). Berdasar latar belakang tersebut, dalam penelitian ini akan dilakukan evaluasi prediksi penurunan akhir untuk mendapatkan prediksi penurunan yang mendekati aktual.

Metode yang akan digunakan untuk mengevaluasi estimasi penurunan akhir adalah metode observasional Asaoka (1978). Perhitungan hubungan penurunan dengan waktu dihitung menggunakan Asaoka (1978) dan *Simplified Method* yang diajukan oleh seorang professor di teknik sipil Universitas Tongling, Dr.Chunlin Li dalam jurnalnya pada tahun 2014. Metode Asaoka memprediksi penurunan tanah dengan observasi setelah data penurunan didapatkan lalu dilakukan curve fitting. Li (2014) menyebutkan bahwa metode Asaoka untuk menentukan penurunan terhadap waktu harus menentukan *initial time point* dahulu. *Initial time point* dalam penentuannya bisa berbeda-beda pada setiap perencanaan. Karena kekurangan dari metode Asaoka tersebut, Li mengajukan metode dari penyederhanaan perhitungan konsolidasi Terzaghi 1D yang tidak berhubungan dengan *Initial time point*, sehingga diharapkan dapat diperkirakan penurunandengan lebih tepat.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil nilai dan lama waktu penurunan akhir pada tanah lunak di proyek Summarecon Bandung Cluster F dengan metode Asaoka dan Chunlin?
2. Bagaimana perbandingan analisis penurunan metode Asaoka dan Chunlin terhadap hasil aktual di lapangan?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis prediksi besar dan lama penurunan akhir tanah lunak di proyek Summarecon Bandung Cluster F.
2. Menganalisis perbandingan prediksi penurunan menggunakan metode Asaoka dan Chunlin terhadap hasil aktual di lapangan.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Nilai penurunan akhir yang didapat dalam penelitian ini dapat menjadi acuan dalam penentuan derajat konsolidasi dan tinggi bongkar *Preloading* di proyek Summarecon Bandung Cluster F.
2. Memberikan pertimbangan pemilihan metode dalam perhitungan penurunan pada proyek.

1.5 Batasan Masalah

1. Daerah studi di proyek Summarecon Bandung hanya pada Cluster F.
2. Settlement Plate yang ditinjau pada titik SP 01-03.
3. Penelitian ini hanya sampai pada perencanaan settlement pada proyek Summarecon Bandung Cluster F, tidak membahas metode pelaksanaan dan RAB.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Lunak

Tanah merupakan material yang terdiri atas butiran mineral-mineral padat yang tidak terikat satu sama lain maupun lapukan bahan-bahan organik, air dan pori yang diisi oleh gas (Das et al., 1995). Tanah memiliki keterkaitan yang erat dengan teknik sipil. Salah satu material bangunan adalah tanah, selain itu tanah sebagai dasar berdirinya sebuah bangunan. Kondisi tanah yang kuat sangat diperlukan untuk mendukung pondasi sebuah bangunan. Kondisi tanah yang lunak tidak akan kuat mendukung beban bangunan.

Terdapat dua jenis tanah lunak, yaitu lempung lunak dan lempung organik. Tanah lempung materialnya berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan, sedangkan tanah lempung organik materialnya berasal dari lempung dan gambut. Tanah lempung kohesif dapat diklasifikasikan sebagai tanah lunak jika daya dukungnya lebih kecil dari 0,5 kg/cm² serta nilai *Standart Penetration Test* (SPT) lebih kecil dari 4 (Terzaghi, 1987). Toha (1989) mengklasifikasikan tanah lunak dengan karakteristik yang terdapat pada tabel 2.1.

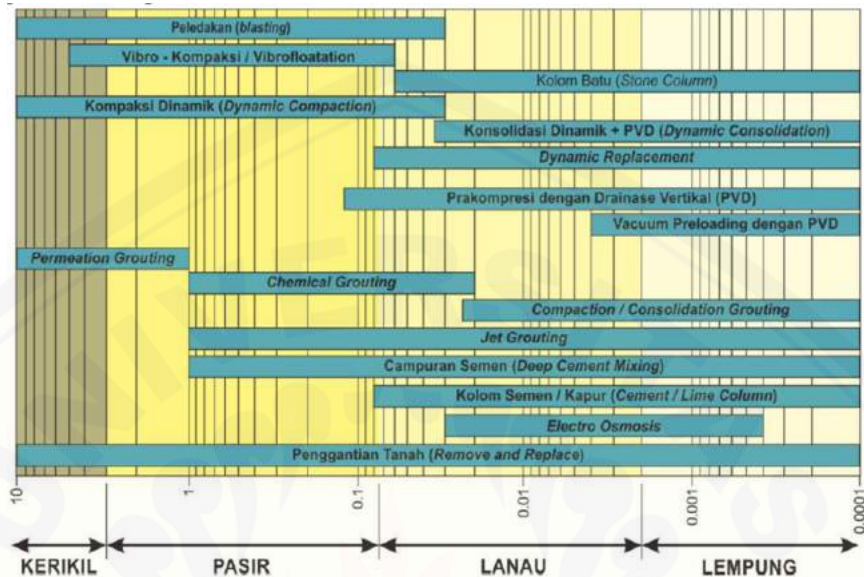
Tabel 2. 1 Karakteristik Lempung Lunak (Toha, 1989)

No.	Parameter	Nilai
1	Kadar Air	80-100%
2	Batas Cair	80-110%
3	Batas Plastik	30-45%
4	Lolos Saringan No. 200 (0.0075 mm)	>90%
5	Kuat Geser	20-40 kN/m ²

2.2 Perbaikan Tanah

Tanah yang tidak dapat mendukung bangunan di atasnya perlu dilakukan perbaikan tanah. Perbaikan tanah memiliki berbagai macam metode. Pemilihan

metode yang akan diterapkan di suatu proyek telah diatur dalam SNI 8640:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik.



Gambar 2. 1 Penentuan Perbaikan Tanah Menurut Jenis Tanahnya (SNI8640:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik)

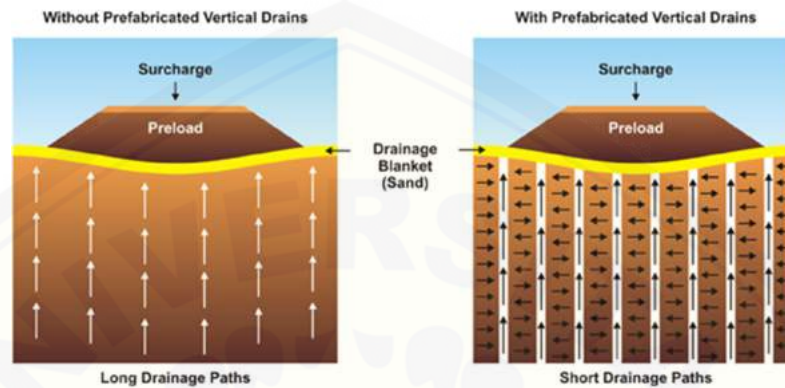
Metode yang diatur dalam SNI dapat digunakan untuk perbaikan tanah sesuai dengan jenis tanahnya. Metode – metode yang dapat dilakukan yaitu secara mekanis, hidrolis, fisik dan kimiawi, inklusi dan dengan penggunaan bahan ringan. Pemilihan metode perbaikan tanah harus dipilih dengan mempertimbangkan banyak faktor yang terdapat dalam proyek. Faktor- faktor tersebut antara lain jenis tanah, kualifikasi kontraktor, waktu penyelesaian, dampak lingkungan, dan juga biaya yang harus dikeluarkan.

Tanah lempung diperbaiki dengan beberapa metode perbaikan sesuai dengan SNI yaitu *Stone/Cement Column*, *PVD*, *Vacuum Preloading*, *Compaction*, *Deep Cement Mixing*, *Electro Osmosis*, dan pergantian tanah. Perbaikan tanah yang digunakan pada proyek Summarecon Bandung Cluster F adalah Vacuum yang dikombinasikan dengan Preloading.

2.2.1 Metode *Preloading*

Preloading merupakan prapembebanan yang diletakkan diatas tanah lunak. *Preloading* sebagai kombinasi *Vertical Drain* akan menurunkan tanah

karena beban preloading. Tegangan air pori akan naik setelah diberi beban timbunan dan *Vertical Drain* akan memperpendek jalan air pori keluar sehingga proses konsolidasi menjadi lebih cepat.



Gambar 2. 2 Ilustrasi Cara Kerja *Vertical Drain* dan *Preloading* (Data Proyek,2019)

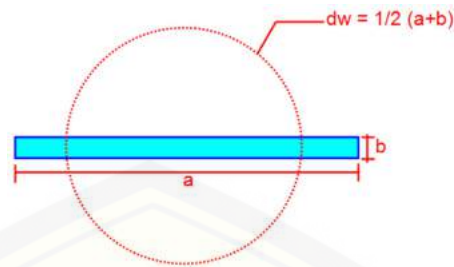
2.2.2 Prefabricated Vertical Drain (PVD)

Prefabricated Vertical Drain (PVD) diterapkan pada lahan tanah yang kompresibel seperti lempung (*clay*) dan lempung kelanauan (*clayey silt*). Karakteristik jenis tanah tersebut yaitu antar butirannya renggang dan jenuh air. PVD terbuat dari bahan geosintetik yang terdiri dari 2 bagian. Bagian pertama adalah *core*/inti yang berfungsi agar air dapat mengalir dengan mudah dari bawah ke atas. Pada bagian luar inti dilapisi *jacket*/filter sebagai pelindung serta penyaring agar material tanah tidak bercampur dengan air.

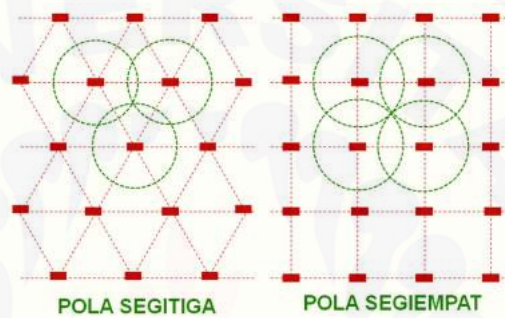
Perencanaan PVD dapat direncanakan dengan pola segitiga maupun bujur sangkar dengan menggunakan jarak tertentu. Kedua pola tersebut dibandingkan keefektifan dan keefisienannya. Laju konsolidasi dipercepat menggunakan PVD tidak hanya tergantung pada jarak antar *vertical drain*, tetapi juga diameter dari *vertical drain*.

Pola pemasangan PVD pada perhitungannya hanya berbeda pada nilai diameternya ekuivalennya (D). Diameter ini merupakan konversi bentuk pola PVD ke lingkaran dengan perhitungan sebagai berikut :

$$d_w = \frac{a+b}{2} \quad (2.1)$$



Gambar 2. 3 Diameter Ekuivalen PVD (Data Proyek,2019)



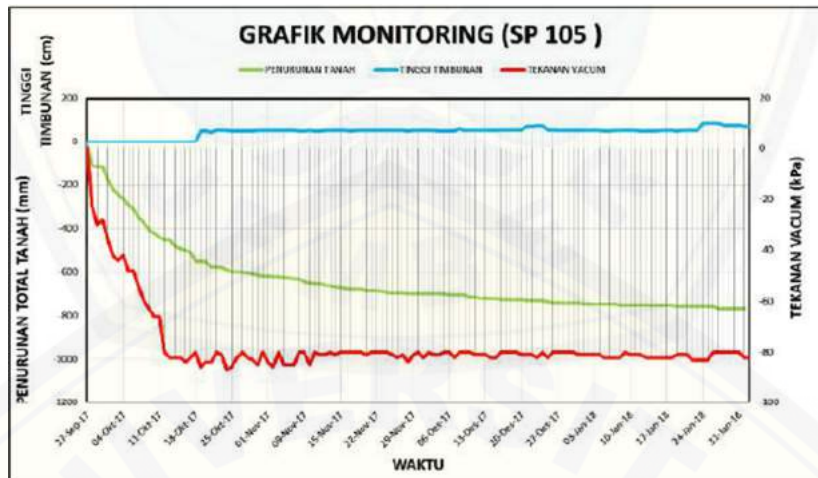
Gambar 2. 4 Pola Pemasangan PVD (Data Proyek, 2019)

2.3 Instrumen Geoteknik

Instrumentasi geoteknik digunakan sebagai dasar evaluasi perilaku tanah dan data evaluasi pemantauan dan pengawasan serta inspeksi keamanan tanah secara menyeluruh. Pengamatan perilaku dan kondisi ketika tahap konstruksi berlangsung merupakan hal yang penting. Keberhasilan pekerjaan perbaikan tanah, terlebih dengan teknik penimbunan yang dilakukan secara bertahap, bergantung pada data pengamatan perilaku dan kondisi tanah. Instrumen-instrumen monitoring geoteknik seperti *settlement plate*, *piezometer*, serta *inclinometer* diaplikasikan pada area konstruksi untuk memantau kondisi serta perilaku tanah ketika proses penimbunan berlangsung.

2.3.1 *Settlement Plate* (SP)

Settlement Plate (SP) berfungsi memantau pergerakan tanah secara vertikal, yaitu perubahan vertikal yang terjadi ke arah bawah maupun atas akibat perubahan tegangan dan regangan serta pemampatan di dalam lapisan tanah.



Gambar 2. 5 Contoh grafik *settlement* terhadap waktu (Efendi et al., 2019)

Secara umum, besarnya *settlement* dapat dikatakan hampir selesai untuk suatu kurun waktu tertentu apabila arah kurva *settlement* terhadap waktu cenderung horizontal setelah turun tajam hampir vertikal. Grafik *settlement* versus waktu hasil *soil monitoring* dapat dihitung besarnya *settlement final*, yaitu yang menunjukkan suatu bilangan besarnya *settlement* yang dapat kita katakan relatif selesai. Salah satu metode untuk menentukan besarnya *settlement final* tersebut adalah metode Asaoka (1978).

2.3.2 Piezometer

Piezometer berfungsi untuk memantau besarnya tekanan air pori tanah.

Untuk pembacaan Pneumatic Piezometer harus memenuhi syarat kestabilan:

$$\Delta u < I \times g \times \Delta H \quad (2.2)$$

Keterangan :

Δu = variasi tegangan air pori tanah (t/m^2),

dengan $1 \text{ mH}_2\text{O} = 1 \text{ t/m}^2$ dan $1 \text{ kPa} = 0.102 \text{ t/m}^2$

I = koefisien pengaruh = 1.0, bila timbunan reklamasi adalah sangat lebar bila dibandingkan dengan tebal lapisan kompresibel

G = berat volume tanah timbunan (t/m^3)

ΔH = variasi beban yang diterapkan di permukaan tanah (m)

2.3.3 Inclinometer

Evaluasi gejala longsor pada Inclinometer dapat dianalisa menggunakan data hasil monitoring Inclinometer berupa grafik deformasi horizontal. Inclinometer dipasang dengan material berupa pipa inclinometer (*casing*), Roctest Inclinometer Casing model GEO-LOK, dan penyambung yang memiliki empat alur yang saling berhadapan.

2.4 Metode untuk Meprediksi *Settlement*

Terdapat banyak metode yang digunakan untuk mengestimasi penurunan. Metode yang sering dipakai yaitu Metode Terzaghi, *Finite Element Method* (FEM), Asaoka, dan Hiperbolik. Metode Terzaghi dan FEM biasanya digunakan untuk menghitung penurunan rencana, sedang Asaoka dan Hiperbolik digunakan untuk mengevaluasi penurunan berdasar aktual. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan untuk menghitung penurunan rencana adalah Metode Terzaghi. Perhitungan evaluasi penurunan berdasar aktual dihitung menggunakan Asaoka, dan Chunlin.

2.4.1 Metode Terzaghi (1942)

Tanah jenuh yang diberi beban tambahan akan menyebabkan tekanan air pori naik secara mendadak. Air pori yang keluar menyebabkan volume tanah berkurang. Pada tanah lempung, peningkatan tekanan air pori yang diakibatkan oleh beban tambahan akan berkurang dalam jangka waktu yang lama karena kecilnya koefisien permeabilitas (Das, 1994).

Tiga komponen yang penurunan tanah ialah :

$$S_t = S_i + S_c + S_s \quad (2.3)$$

Dimana:

S_t = Penurunan tanah total

S_i = Penurunan tanah segera

S_c = Penurunan tanah primer

S_s = Penurunan tanah sekunder

Penurunan sekunder akan terjadi saat penurunan konsolidasi telah selesai atau tegangan air pori yanh berlebih saama dengan nol ($u = 0$).

a. Penurunan Segera (*Immidiate Settlement*)

Penurunan segera disebabkan oleh deformasi elastis tanah kering, basah serta jenuh air yang kadar airnya tetap, umumnya terjadi ketika proses konstruksi. Nilai penurunan segera yang kecil dapat diabaikan. Parameter tanah yang diperlukan untuk perhitungan yaitu *undrained modulus* dengan uji coba tanah yang dibutuhkan adalah SPT, Sondir (*dutch cone penetration test*), dan *Pressuremeter test*

$$S_i = \Delta\sigma B \frac{1-\mu_s^2}{E_s} I_p \quad (2.3)$$

Keterangan :

S_i = penurunan segera (m)

$\Delta\sigma$ = beban timbunan (kN/m^2)

E_s = modulus elastis tanah

μ_s = *poisson's ratio*

B = lebar timbunan (m)

I_p = *Non dimensional influence factor*

b. Penurunan primer

Terzaghi (1942) mengembangkan formula untuk mengitung besarnya konsolidasi (S_c) berdasarkan beberapa jenis sebagai berikut :

1) Tanah Normally Consolidated (NC Soil)

Tanah Normally Consolidated (NC Soil), yaitu tekanan maksimum yang pernah dialami tanah adalah tekanan efektif overburden saat dibebani.

$$S_{ci} = \left(\frac{C_c}{1+e_0} \log \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma}{\sigma'_o} \right) H_i \quad (2.4)$$

2) Tanah Over Consolidated (OC Soil)

Tanah over consolidated (OC Soil), yaitu tekanan efektif overburden ketika diberi beban memiliki nilai yang lebih kecil dibanding tekanan yang pernah dialami tanah sebelumnya (*prakonsolidasi*).

a) Bila $(\sigma'_o + \Delta\sigma) \leq \sigma'_c$

$$S_{ci} = \left(\frac{C_s}{1+e_0} \log \frac{\sigma'_{o+\Delta\sigma}}{\sigma'_o} \right) H_i \quad (2.5)$$

b) Bila $(\sigma'_{o} + \Delta\sigma) > \sigma_c'$

$$S_{ci} = \left(\frac{C_s}{1+e_0} \log \frac{\sigma'_{o+\Delta\sigma}}{\sigma'_o} + \frac{C_c}{1+e_0} \log \frac{\sigma'_{o+\Delta\sigma}}{\sigma'_o} \right) H_i \quad (2.6)$$

Keterangan :

S_{ci} = pemampatan konsol pada lapisan tanah yang ditinjau

H_i = tebal lapisan tanah ke-i

E_0 = angka pori awal lapisan tanah ke-i

C_c = Compression Index dari lapisan tanah ke-i

C_s = Swelling Index dari lapisan tanah ke-I

σ'_o = tegangan overburden efektif di suatu titik ditengah lapisan ke i akibat berat sendiri dari lapisan tanah di atas yang ditinjau di lapangan.

σ_c = tegangan prakonsolidasi efektif

c. Penurunan Sekunder

Setelah penurunan primer selesai, penurunan akan masih terus berjalan yang disebut dengan penurunan sekunder. Ketika tegangan air pori berlebih (u) = 0, maka penurunan sekunder akan terjadi. Penurunan ini memiliki nilai yang kecil serta berlansung dalam jangka waktu yang sangat lama.

$$S_s = H \cdot C_{ae} \cdot \log \frac{t_2}{t_1} \quad (2.7)$$

$$C_a = \frac{\Delta e}{\log \frac{t_2}{t_1}} \quad (2.8)$$

$$C_{ae} = \frac{C_a}{1+e_p} \quad (2.9)$$

Keterangan :

e_p = angka pori saat konsolidasi selesai

H = tebal lapisan tanah yang ditinjau

$t_2 = t_1 + \Delta t$

t_1 = waktu konsolidasi primer selesai

C_s = Swelling Index dari lapisan tanah ke-I

Parameter C_{ae} dapat diasumsikan 0,1 C_c sesuai dengan formula mesri.

Besar penurunan yang terjadi di lapangan dihitung dengan indeks pemampatan. Perhitungan indeks pemampatan oleh Terzaghi dan Peck (1967) menggunakan empiris berikut :

Untuk lempung yang struktur tanahnya tidak terganggu/belum rusak :

$$C_c = 0,009 (LL-10) \quad (2.10)$$

Untuk lempung yang struktur tanahnya tidak terganggu/belum rusak :

$$C_c = 0,007 (LL-10) \quad (2.11)$$

Indeks pengembang lebih kecil dibanding indeks pemampatan yang biasanya ditentukan di laboratorium

$$C_s = 1/5 \text{ s/d } 1/10 C_c \quad (2.12)$$

Pada tanah yang diperbaiki dengan Preloading dapat dihitung dengan langkah-langkah berikut :

- 1) Lapisan *compressible* dibagi menjadi lapisan dengan ketebalan tipis setiap satu meter atau dua meter tergantung perencanaan untuk memperoleh nilai *settlement* yang lebih teliti.
- 2) Mencari tegangan *overburden* pada lapisan ke-n

$$\sigma'_o = (h_{n-1} \times \gamma'_{n-1}) + (z_n \times \gamma'_n) \quad (2.13)$$

Keterangan :

σ'_o = tegangan *overburden* (t/m^2)

γ' = berat volume tanah efektif (t/m^3)

γ_w = berat jenis air = 1 (t/m^3)

z_i = setengah tebal lapisan tanah (m)

- 3) Mencari tegangan prakonsolidasi

$$\sigma'_c = \sigma'_o + \Delta p_f \quad (2.14)$$

Keterangan :

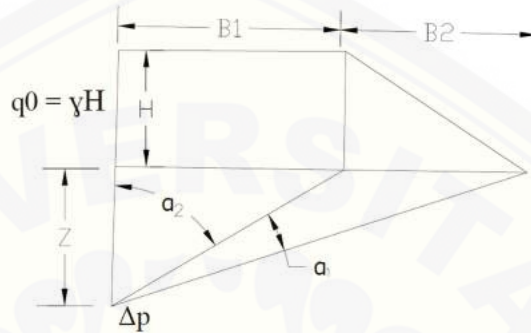
σ'_c = tegangan prakonsolidasi (t/m^2)

σ'_o = tegangan *overburden* (t/m^2)

Δp_f = tambahan tegangan pada tanah akibat beban di masa lampau atau akibat fluktuasi muka air tanah

$$\Delta p_f = h_{\text{fluktuasi}} \cdot \gamma_w \quad (2.15)$$

- 4) Mencari tambahan tegangan akibat dari beban timbunan ditengah-tengah lapisan ($\Delta\sigma$)



Gambar 2. 6 Potongan Melintang Setengah Timbunan

$$\Delta\sigma = \frac{q_0}{\pi} \left[\left\{ \frac{B_1 + B_2}{B_2} \right\} (\alpha_1 + \alpha_2) - \left\{ \frac{B_1}{B_2} \right\} (\alpha_2) \right] \quad (2.16)$$

atau

$$\Delta\sigma = 2 \times I \times q \quad (2.17)$$

Keterangan :

q_0 = beban timbunan (t/m^2)

I = *Influence Factor*, dapat dilihat pada **Gambar 2.8**

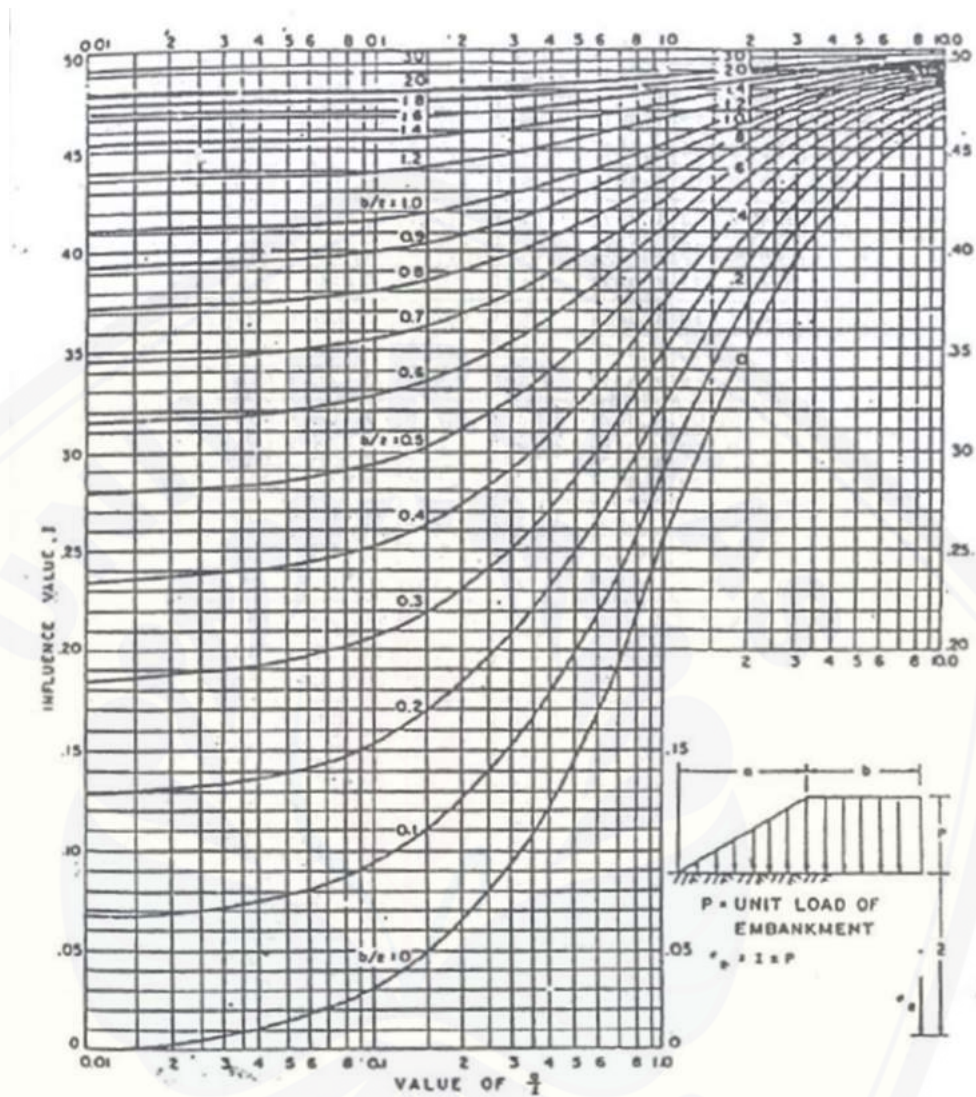
$\Delta\sigma$ = besar tegangan akibat dari beban timbunan ditengah-tengah lapisan (t/m^2)

α_1 = $\tan^{-1} \frac{B_1 + B_2}{z} - \tan^{-1} \frac{B_1}{z}$ (radian)

α_2 = $\tan^{-1} \frac{B_1}{z}$ (radian)

B_1 = 0.5 lebar timbunan

B_2 = panjang proyeksi horizontal kemiringan timbunan



Gambar 2. 7 Grafik Influence Factor (NAFVAC DM-7,1970)

Nilai yang dihasilkan merupakan akibat dari setengah timbunan pada timbunan yang simetris, jadi harus dikalikan 2 untuk nilai satu timbunan.

- 5) Mencari nilai *settlement* pada setiap lapisan tanah
Perhitungan ini menggunakan persamaan Terzaghi *overconsolidated*
- 6) Mencari total *settlement*
Penurunan yang terjadi pada seluruh tanah lunak dijumlahkan.

Perhitungan waktu konsolidasi pada tanah yang diberi bantuan PVD, menganggap koefisien air konsolidasi arah horizontal melalui PVD adalah C_h dan jarak titik PVD adalah S maka persamaan untuk waktu konsolidasi menggunakan PVD adalah :

$$t = \frac{T_x S^2}{C_h} \quad (2.18)$$

dengan nilai $C_h \approx 1-3 C_v$

Barron (1948) menetapkan hubungan antara waktu, diameter *drain*, jarak antara *drain*, koefisien konsolidasi dan rata-rata derajat konsolidasi. Penentuan waktu konsolidasi dari teori ini dapat dibuat persamaan sebagai berikut :

$$t = \frac{D^2}{8xCh} x F(n) x \ln \frac{1}{1-U_h} \quad (2.19)$$

$$U_h = [1 - \exp(-x)] x 100\% \quad (2.20)$$

$$X = \frac{8xChxt}{D^2 x F(n)} \quad (2.21)$$

Keterangan :

t = waktu untuk menyelesaikan konsolidasi primer

D = diameter ekivalen dari lingkaran tanah yang merupakan daerah pengaruh *drain* vertikal

C = koefisien konsolidasi tanah arah horisontal

U_h = derajat konsolidasi tanah arah horizontal

Hansbo (1979) mendefinisikan harga fungsi hambatan akibat jarak antara titik pusat PVD ($F(n)$) sebagai berikut :

$$F(n) = \ln(n) - \frac{3}{4} \quad (2.22)$$

atau

$$F(n) = \ln\left(\frac{D}{d_w}\right) - \frac{3}{4} \quad (2.23)$$

Dengan d_w = diameter ekivalen dari PVD

Selain konsolidasi arah horisontal, juga terjadi konsolidasi arah vertikal (U_v) yang dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut :

$$U_v = \left(2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}}\right) x 100\% \quad (2.24)$$

$$T_v = \frac{t \alpha C_v}{H d^2} \quad (2.25)$$

Derajat konsolidasi rata-rata dapat dicari dengan

$$U_r = [1 - (1 - U_h)(1 - U_v)] \times 100\% \quad (2.26)$$

2.4.2 Metode Asaoka (1978)

Metode Asaoka selain untuk untuk memprediksi penurunan akhir (*final settlement*), juga memungkinkan untuk diperoleh parameter-parameter konsolidasi yang lebih akurat. Analisis penurunan tanah dengan Asaoka menggunakan metode curve fitting sehingga kebutuhan akan data-data tanah seperti seperti data koefisien konsolidasi, regangan maksimum tanah, panjang aliran air, dan tekanan air pori tidak diperlukan dan hasil yang diperoleh pun cukup diandalkan.

Hubungan antara penurunan tanah dan waktu pada metode Asaoka diturunkan melalui persamaan diferensial berdasarkan persamaan dasar konsolidasi (Mikasa, 1963), yaitu

$$\varepsilon_v = C_v \varepsilon_{zz} \quad (2.27)$$

Keterangan :

$\varepsilon(t, z)$ = regangan vertikal (regangan volume),

$t (\geq 0)$ = waktu,

z = kedalaman dari bagian atas lempung, dan

C_v = koefisien konsolidasi

Mikasa (dalam Nawir, 2012) menjelaskan meskipun nilai permeabilitas dan koefisien kompresibilitas bervariasi terhadap waktu, persamaan tersebut tetap efektif ketika nilai c_v konstan.

Asaoka (1978) menurunkan persamaan konsolidasi dasar ini menjadi persamaan diferensial linier biasa untuk mendapatkan persamaan yang dapat menentukan nilai penurunan pada interval waktu ke- j , yang dituliskan sebagai berikut :

$$\rho_j = \frac{\beta_0}{1 - \beta_1} - \left\{ \frac{\beta_0}{1 - \beta_1} - \rho_0 \right\} (\beta_1)^j \quad (2.28)$$

dengan ρ_j adalah besarnya penurunan tanah pada waktu $t = t_j$, dan koefisien β_0 dan β ($s = 1, 2, \dots, n$) adalah parameter yang tidak diketahui.

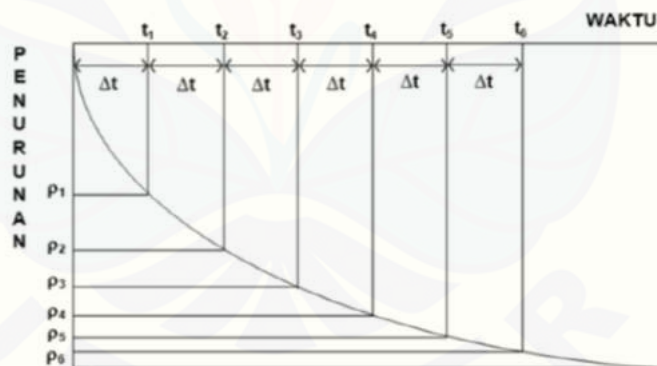
Langkah-langkah perhitungan prediksi penurunan tanah metode asaoka adalah :

- 1) Mengumpulkan data hasil monitoring sesuai dengan interval hari yang telah ditentukan.
- 2) Menyeleksi data yang akan digunakan untuk diplot. Dimulai dari data penurunan tanah stabil sampai penurunan akhir yang terjadi di lapangan.
- 3) Data hasil yang sudah diseleksi diplot pada grafik hubungan p_n vs p_{n-1}
- 4) Pada grafik yang sama ditarik garis yang membentuk 45°
- 5) Titik perpotongan antara plot data dengan garis 45° dicari. Titik perpotongan dicari menggunakan persamaan garis linier

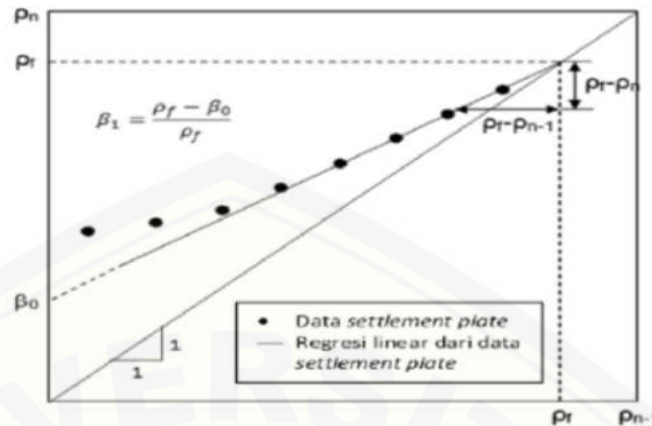
$$y = mx + c \quad (2.29)$$

$$x = \frac{c_2 - c_1}{y_2 - y_1} \quad (2.30)$$

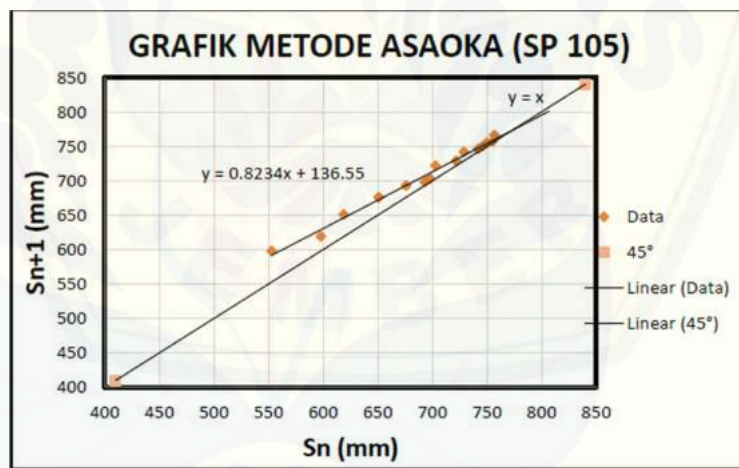
- 6) Nilai prediksi penurunan tanah dapat diketahui dari titik perpotongan kedua garis tersebut.



Gambar 2. 8 Prosedur Analisis Data Monitoring Penurunan dengan Interval Waktu yang Konstan (Magnan dan Deroy,1980)



Gambar 2. 9 Analisis Prediksi Penurunan Akhir Metode Asaoka (1978)



Gambar 2. 10 Contoh Grafik hasil Metode Asaoka (Efendi et al., 2019)

Metode Asaoka dapat menganalisa balik untuk mendapat koreksi koefisien konsolidasi aktual di lapangan. Koefisien konsolidasi digunakan untuk mencari lamanya waktu untuk mencapai konsolidasi $\pm 90\%$ yang dianggap penurunan tidak bertambah lagi. Koefisien β_1 dari hasil analisis penurunan digunakan untuk mencari koreksi koefisien konsolidasi menggunakan persamaan Hausmann. Koreksi koefisien konsolidasi hanya koefisien konsolidasi horizontal (C_h) karena penerapan vertikal drain mengakibatkan disipasi tekanan air pori dominan terjadi secara horizontal (Hausmann, 1990).

$$\frac{-\ln \beta_1}{\Delta t} = \left[\left(\frac{8C_h}{d_e^2 F(n)} + \frac{\pi^2 C_v}{4H^2} \right) \right] \quad (2.31)$$

Penurunan pada waktu t dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\frac{St}{S_f} = 1 - \frac{8}{\pi^2} \exp \left[- \left(\frac{8Ch}{d_e^2 F(n)} + \frac{\pi^2 C_v}{4H^2} \right) t \right] \quad (2.32)$$

- C_v = koefisien konsolidasi vertikal
 H = tebal lapisan tanah kompresibel
 β_1 = kemiringan kurva p_n vs p_{n-1}
 Δt = selang waktu pengamatan penurunan
 C_h = koefisien konsolidasi horizontal koreksi
 D_e = diameter daerah pengaruh PVD
 $F(n)$ = fungsi n terhadap waktu akibat PVD

2.4.3 Metode Chunlin (2014)

Li (2014) berpendapat bahwa Metode Asaoka dan Hiperbolik memerlukan parameter yang sulit untuk didapatkan secara akurat, khususnya pemilihan *initial time* yang bersifat subjektif. Chunlin kemudian menyederhanakan teori Terzaghi 1D yang tidak memiliki korelasi dengan *initial time*.

Settlement akibat beban tambahan dapat dihitung dengan teori Terzaghi 1D. *Settlement* pada waktu tertentu dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$S_t = S_\infty \left(1 - \frac{8}{\pi^2} e^{bt} \right) \quad (2.33)$$

Keterangan :

- S_t = *Settlement* ketika waktu t
 S_∞ = *Final Settlement*
 b = koefisien yang tidak diketahui

Li (2014) menyederhanakan persamaan tersebut menjadi *potential settlement* sebagai berikut :

$$S_p = S_\infty \frac{8}{\pi^2} e^{bt} = S_\infty - S_t \quad (2.34)$$

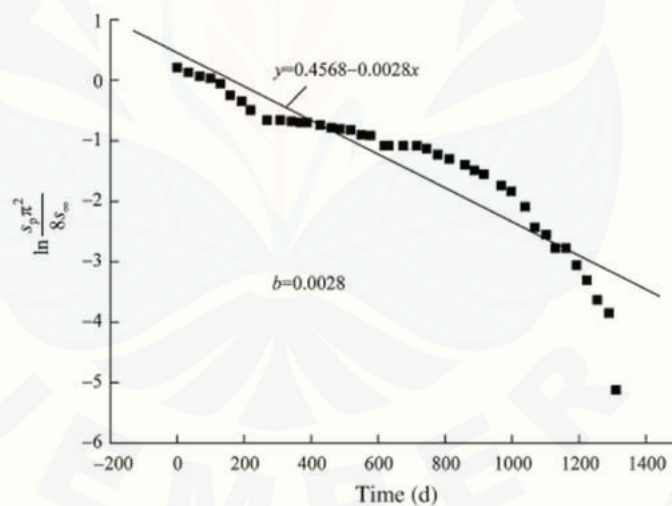
S_p merupakan *potential settlement* yang akan terjadi kedepannya. Pada persamaan tersebut, parameter b dan S_∞ dari teori Terzaghi harus ditentukan terlebih dahulu.

Pada persamaan (25) hubungan antara $\ln[sp\pi^2/(8S_\infty)]$ dan b adalah linear, jadi parameter b dapat ditentukan dari data observasi. Parameter b pada

persamaan tersebut dapat dihitung dari *final settlement* S_{∞} dan penurunan observasional pada waktu t . Parameter b merupakan *slope* dari garis lurus grafik hubungan antara $\ln[sp\pi^2/(8S_{\infty})]$ dan t . Dalam metode ini, nilai S_{∞} merupakan kunci untuk memprediksi penurunan. Nilai S_{∞} dapat diperoleh dari perhitungan Terzaghi maupun Asaoka.

Dari penjelasan diatas, prosedur metode ini adalah :

- 1) Mencari nilai *final settlement*
- 2) *Potential settlement* S_p diperoleh dengan menggunakan data observasi dan S_{∞}
- 3) Hubungan linear antara $\ln[S_p\pi^2/8S_{\infty}]$ dan t di plot dan kemiringan dari garis ini adalah b .
- 4) Setelah didapatkan nilai b , kemudian disubstitusikan pada persamaan Terzaghi 1D sebelum disederhanakan.



Gambar 2. 11 Penentuan parameter b pada metode Chunlin (Li, 2014)

2.5 Derajat Konsolidasi

2.5.1 Derajat Konsolidasi secara Teoritis

Perumusan derajat konsolidasi rata-rata ketika t menurut Terzaghi adalah :

$$U = \frac{St}{S} = 1 - \frac{\left(\frac{1}{2Hdr}\right) \int_0^{2Hdr} uz dz}{u_0} \quad (2.35)$$

Keterangan:

U = Derajat konsolidasi rata – rata

St = Penurunan lapisan lempung pada saat t

S = Penurunan maksimum lapisan lempung akibat konsolidasi primer

Derajat konsolidasi berhubungan dengan faktor waktu (T_v) yang berlaku apabila tegangan air pori homogen untuk seluruh kedalaman lapisan yang mengalami konsolidasi.

1) Apabila U 0-60%, maka

$$T_v = \frac{\pi}{4} \left(\frac{U\%}{100}\right)^2 \quad (2.36)$$

2) Apabila U > 60%, maka

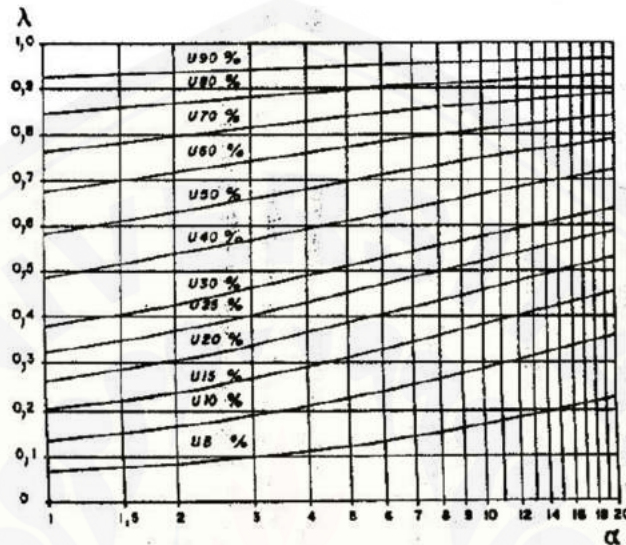
$$T_v = 1.781 - 0.933 \log(100-U\%) \quad (2.37)$$

Tabel 2. 2 Variasi Faktor Waktu terhadap Derajat Konsolidasi (Das, 1985)

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

2.5.2 Derajat Konsolidasi Aktual berdasar Hasil Pengukuran *Settlement*

Besarnya derajat konsolidasi aktual, U (%) dapat dicari dengan grafik dengan mempertemukan parameter λ dan α seperti pada gambar berikut :



Gambar 2. 12 Grafik untuk Mencari Derajat Konsolidasi Aktual (Sumber : Modul Aplikasi Instrumen Geoteknik Untuk Konstruksi Pada Tanah Lunak PT. Teknindo Geosistem Unggul)

Parameter tersebut dapat diperoleh dengan persamaan :

$$\lambda = \frac{Sct}{Sf} \quad (2.38)$$

$$\alpha = \frac{\Delta\sigma}{\sigma'v_0} \quad (2.39)$$

Keterangan :

Sct = besarnya *settlement* pada waktu t yang diperoleh dari pengukuran lapangan

$S\infty$ = besarnya *consolidation settlement final* yang diperoleh dari perhitungan teoritis atau metode Asaoka

$\Delta\sigma$ = besarnya *surcharge* γ timbunan x Htimbunan pada waktu t

γ timbunan = berat volume timbunan

Htimbunan = tinggi timbunan

$\sigma'v$ = *overburden pressure efective* = $\frac{1}{2}$ Htanah x γ tanah

Htanah = tebal lapisan tanah kompresibel

γ tanah = berat volume tanah kompresibel

2.6 Penelitian-Penelitian Terdahulu

Ibrahim et al. (2019) melakukan penelitian analisis perbandingan penurunan akibat timbunan dengan studi kasus di Tangerang, Banten. Peneliti menganalisis teknik data sekunder yang dikorelasikan untuk mendapat parameter tanah dengan teori Terzaghi, program *Finite Element Method*, dan metode Asaoka. Penelitian tersebut didapatkan bahwa metode Asaoka merupakan metode yang hasilnya paling mendekati penurunan aktual di lapangan. Pada metode FEM apabila terdapat parameter yang didapat dari hasil korelasi tidak akan memberikan hasil yang baik, sedangkan metode Terzaghi memiliki hasil yang paling besar dari ketiga metode dan jauh dari hasil data aktual di lapangan.

Efendi et al. (2019) membandingkan dua metode obeservasional, yaitu asaoka dan hiperbolik untuk ditarik kesimpulan metode yang lebih unggul sebagai pertimbangan apabila adanya perencanaan lanjutan Pada Proyek PPKA Seksi 2 Palembang Sumatera Selatan. Penurunan aktual dievaluasi menggunakan *settlement plate* kemudian penurunan akhir diprediksi menggunakan metode Asaoka dan Hiperbolik serta memprediksi derajat konsolidasi dari setiap metode. Penelitian tersebut menghasilkan bahwa Kedua metode observasional yang digunakan memiliki hasil yang tidak jauh berbeda dengan penurunan aktualnya, sehingga kedua metode tersebut dapat digunakan. Tetapi metode Hiperbolik memiliki prediksi yang lebih akurat dibandingkan Asaoka. Derajat konsolidasi dari metode Asaoka rata-rata adalah 98,68% sedangkan pada metode Hiperbolik sebesar 99,35%.

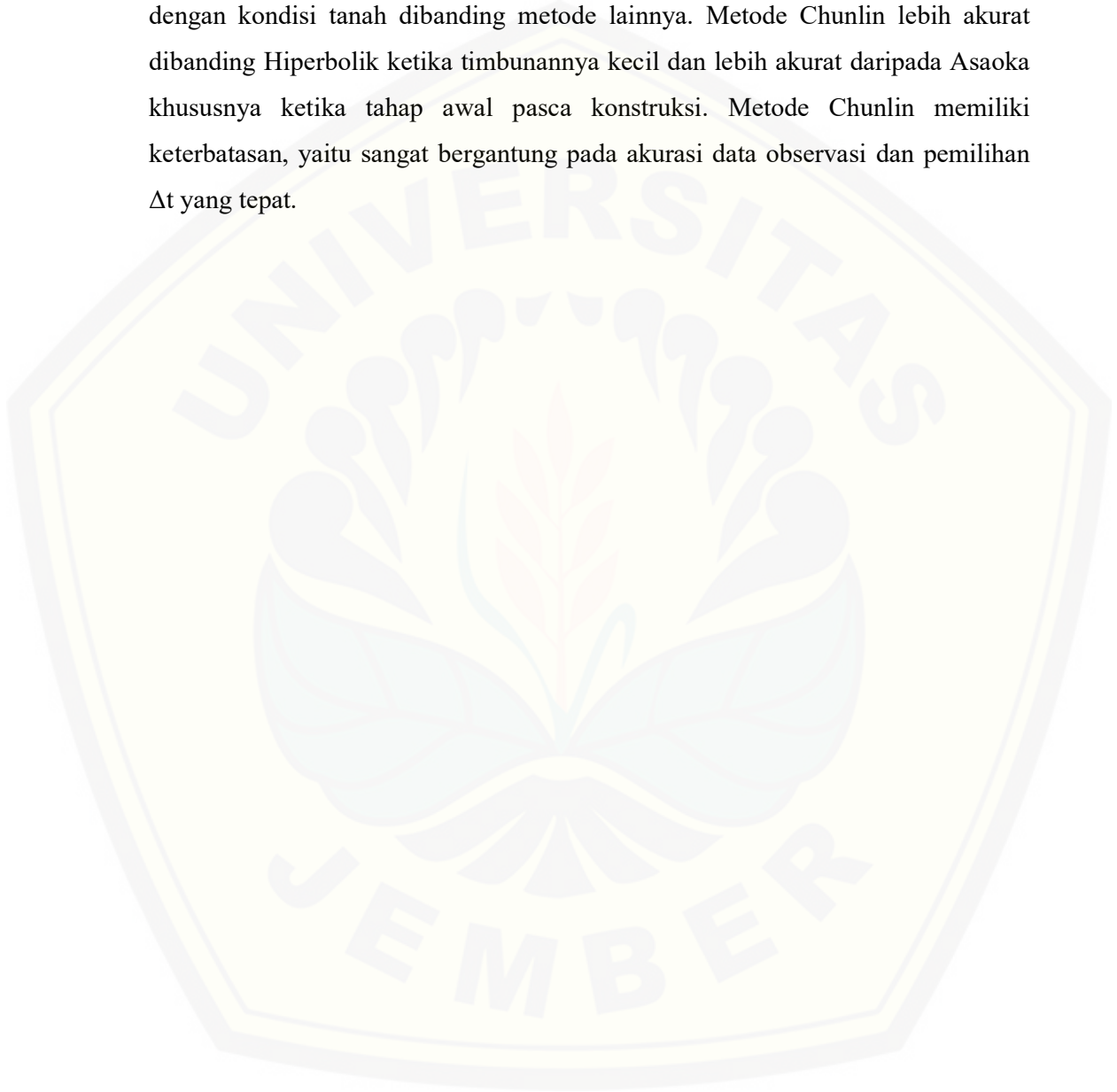
Saputro et al. (2018) membandingkan dua metode prediksi penurunan akhir pada tanah lunak yang telah diberi PVD kombinasi *Preloading*. Kedua metode tersebut ialah metode Asaoka dan *Finite Element Method* menggunakan Plaxis 2D. Plaxis 2D memerlukan beberapa parameter, salah satunya permeabilitas tanah. Proses pemasangan PVD dapat mempengaruhi permeabilitas tanah disekitar PVD, oleh karena itu hasil dari numerical dibandingkan dengan aktual *settlement* untuk mendapatkan parameter terbaik. Dari penelitian, didapatkan permeabilitas tanah (k) terbaik untuk numerical adalah sekitar 0.5 dari nilai k yang didapat dari tes lab. *Final settlement* yang didapat dengan *finite element* memiliki

eror 5% dari hasil lapangan, sedangkan prediksi Asaoka memiliki perbedaan dengan hasil lapangan kurang dari 1%. Koefisien permeabilitas memiliki peran yang krusial dalam estimasi derajat konsolidasi dan *settlement* tanah lunak pada analisis numerikal.

Benamghar dan Boudjellal (2017) membandingkan empat metode sekaligus untuk memprediksi *settlement* pada timbunan rel kereta api PK245+000 Boughezhoul-M'sila, Algeria dengan ketinggian timbunan 15m. Setelah dilakukan penelitian, semua metode menunjukkan hasil yang sangat mirip dengan perbedaan beberapa millimeter. Disimpulkan bahwa, untuk estimasi pada tahap menengah *settlement*, Metode Chunlin sangatlah baik karena keefektifan dan presisinya. Metode ini serempak dengan Asaoka bahkan lebih presisi untuk *intermediate settlement*. Semua metode yang diteliti pada penelitian ini dapat dibandingkan karena mengadopsi teori asumsi Terzaghi dan menggunakan nilai S_v yang sama. Metode Chunlin dan Asaoka lebih unggul karena kedua metode ini lebih berdasar pada eksperimental daripada empirical, berlawanan dengan dua metode lainnya.

Nawir et al. (2012) menyebutkan bahwa metode Terzaghi dan Finite Element Method memiliki kekurangan dan tidak lebih unggul dari metode Asaoka. Terzaghi merupakan metode yang umum digunakan, namun dalam banyak kasus metode ini memberi hasil prediksi yang lebih besar dari aktual. Hal ini disebabkan karena teori ini mengabaikan fenomena perkuatan tanah akibat dari timbunan bertahap. Metode FEM tidak memberikan hasil yang baik untuk prediksi penurunan terhadap waktu, terutama pada perbaikan tanah dengan *vertical drain*. Metode ini memerlukan beberapa parameter-parameter tanah yang memiliki ketidakpastian tinggi. Metode Asaoka diprediksi menggunakan data observasi penurunan akibat timbunan dengan menggunakan metode *curve fitting*. Penggunaan metode ini memiliki kelebihan, yaitu dapat diperoleh nilai penurunan akhir yang lebih mendekati penurunan aktual karena nilai penurunan diperoleh dari data pengamatan penurunan awal di lapangan.

Li (2014) membandingkan metode yang ia ajukan dengan metode Asaoka dan Hiperbolik dengan studi kasus timbunan pada jalan raya Anyang-XinXiang. Penelitiannya menghasilkan bahwa metodenya memiliki adaptasi yang lebih baik dengan kondisi tanah dibanding metode lainnya. Metode Chunlin lebih akurat dibanding Hiperbolik ketika timbunannya kecil dan lebih akurat daripada Asaoka khususnya ketika tahap awal pasca konstruksi. Metode Chunlin memiliki keterbatasan, yaitu sangat bergantung pada akurasi data observasi dan pemilihan Δt yang tepat.



BAB 3

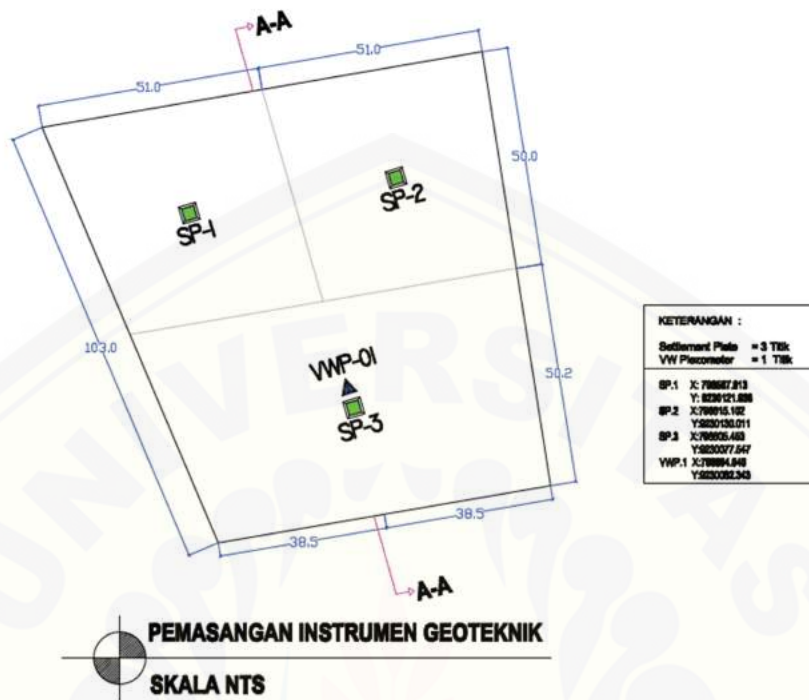
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terdapat pada proyek Summarecon Gedebage Cluster F yang berlokasi di Bandung. Pada proyek ini dilakukan perbaikan tanah dengan *preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* untuk mempercepat konsolidasi. Lokasi Cluster F dipersiapkan untuk menjadi kawasan perumahan elit.



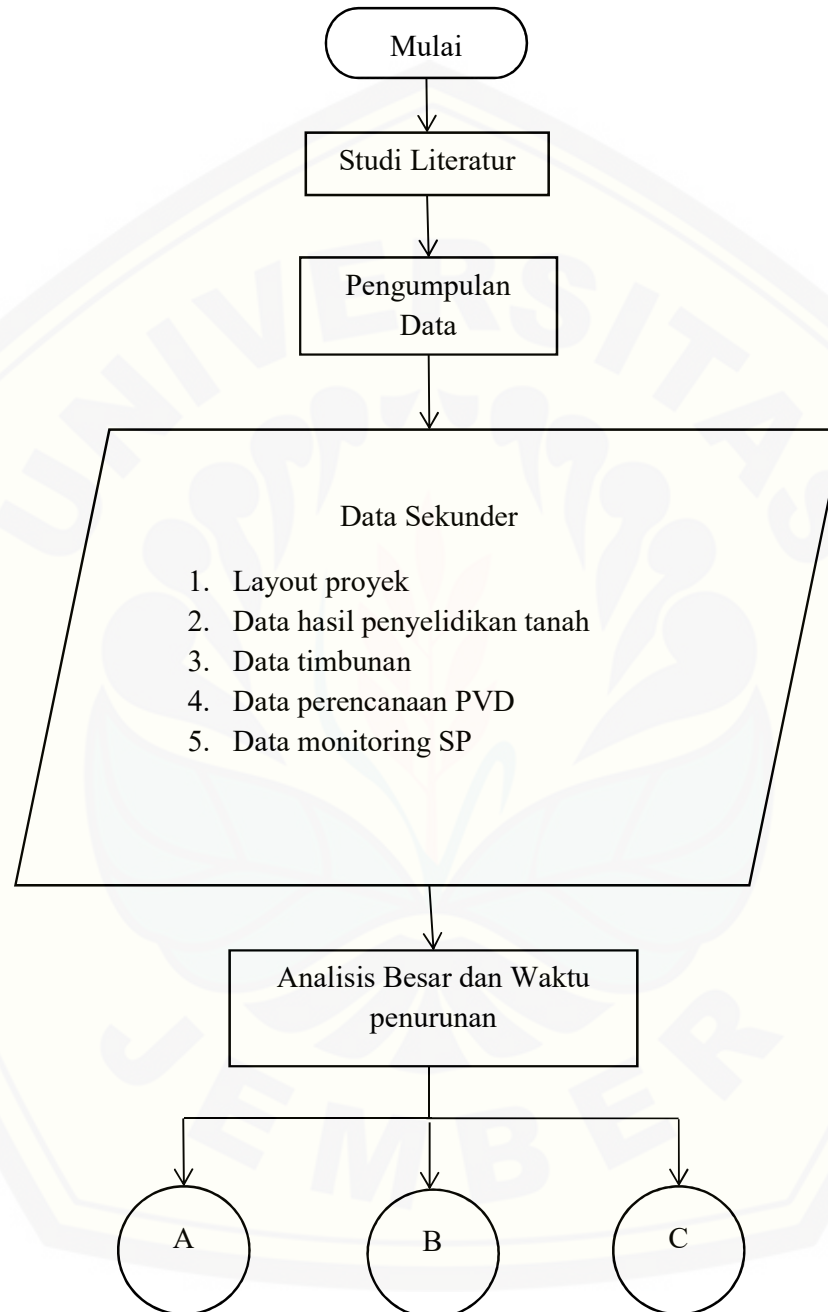
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian Cluster F (Data Proyek,2014)

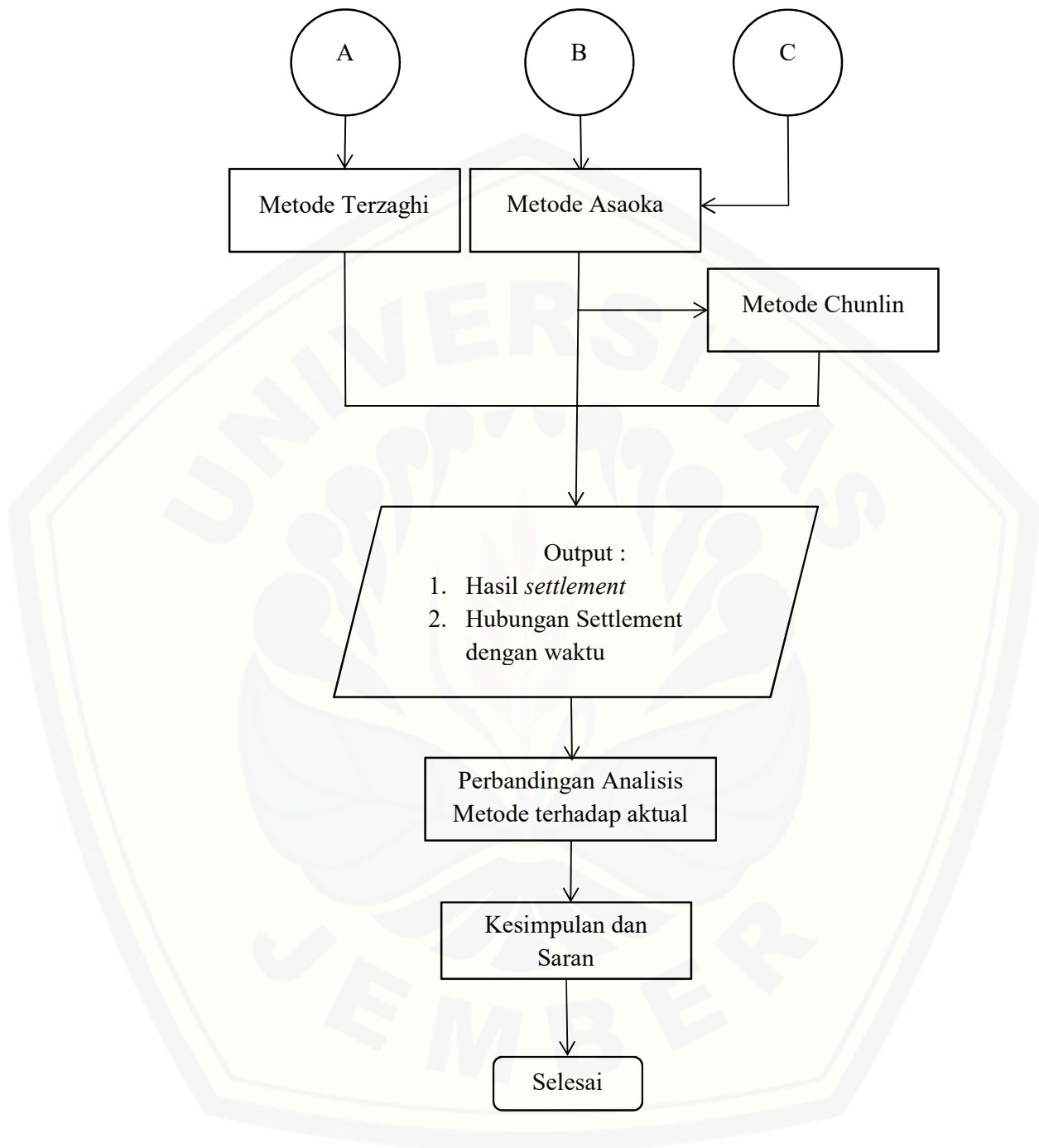


Gambar 3. 2. Letak Pemasangan Settement Plate (Data Proyek,2019)

Bagian Cluster F yang diteliti yaitu pada kawasan yang nantinya akan menjadi lahan untuk rumah contoh. Pada kawasan ini dipasang 3 titik *Settlement Plate* (SP), yaitu SP 01-03 seperti yang tertera pada gambar 3.2. Luas area pada proyek ini yaitu 8961,5 m².

3.2 Bagan Diagram Alir





Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan diagram alir pada gambar 3.3, alur penelitian yang dilakukan dijelaskan dibawah ini.

3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahap awal yang dilakukan untuk memperdalam ilmu penulis. Literatur yang dipelajari berupa jurnal ilmiah nasional maupun internasional, buku mengenai geoteknik, SNI persyaratan perencanaan geoteknik, dan tugas akhir terdahulu yang dijadikan acuan dalam melakukan analisis. Bahan studi yang digunakan dalam analisis adalah sebagai berikut :

- 1) Teori tanah dasar
- 2) Teori penurunan tanah
- 3) Monitoring pelaksanaan pekerjaan
- 4) Metode Terzaghi
- 5) Metode Asaoka
- 6) Metode Chunlin

3.2.2 Mengumpulkan dan Pengolahan Data

Data dikumpulkan dari PT.Teknindo Geosistem Unggul pada proyek Summarecon Gedebage Bandung Cluster F. Data-data yang dikumpulkan yaitu :

- 1) *Layout* proyek, digunakan sebagai pelaporan agar pembaca mengetahui lokasi proyek
- 2) Data hasil penyelidikan tanah yang berisi data tanah dasar berupa hasil uji sondir, SPT, hasil laboratorium yang nantinya menjadi parameter untuk perhitungan teori Terzaghi.
- 3) Data tanah timbunan diperoleh dengan penentuan tekanan atmosfer kemudian dikonversikan dengan nilai efektivitas vakum sehingga diperoleh beban yang akan digunakan.
- 4) Data PVD berupa kedalaman pemancangan PVD, jarak antar PVD, dan pola pemasangan PVD.

- 5) Data hasil monitoring SP, yaitu hasil pengamatan dari awal adanya timbunan hingga timbunan mencapai top of *preload*. Data ini akan digunakan untuk perhitungan metode Asaoka dan juga Chunlin.

3.2.3 Menghitung Teoritis dengan Metode Terzaghi

Tahap ini merupakan perencanaan perhitungan penurunan tanah dan lamanya waktu penurunan yang dilakukan sebelum perbaikan tanah pada area proyek dilaksanakan. Berikut merupakan langkah-langkah perhitungan :

- 1) Lapisan *compressible* dibagi menjadi lapisan dengan ketebalan tipis setiap satu meter atau dua meter tergantung perencanaan untuk memperoleh nilai *settlement* yang lebih teliti.
- 2) Mencari tegangan *overburden* pada lapisan ke-i
- 3) Mencari tegangan prakonsolidasi
- 4) Mencari tambahan tegangan akibat dari beban timbunan ditengah-tengah lapisan ($\Delta\sigma$)
- 5) Mencari nilai *settlement* pada setiap lapisan tanah. Perhitungan ini menggunakan persamaan Terzaghi *overconsolidated*
- 6) Mencari total *settlement* yang terjadi pada seluruh tanah lunak dijumlahkan.
- 7) Mencari lamanya waktu penurunan dengan persamaan (2.19)

3.2.4 Menghitung Penurunan Tanah Observasional dengan Metode Asaoka

Data monitoring dari instrument *settlement plate* digunakan sebagai parameter untuk mengevaluasi *final settlement* dilapangan dengan metode Asaoka. Langkah-langkah untuk memprediksi penurunan tanah dengan metode asaoka adalah :

- 1) Mengumpulkan data hasil monitoring sesuai dengan interval hari yang telah ditentukan. Interval minimal adalah 3 hari.
- 2) Menyeleksi data yang akan digunakan untuk diplot, mulai dari data penurunan tanah yang stabil hingga penurunan akhir.
- 3) Data yang telah diseleksi diplot pada grafik hubungan s_n vs s_{n+1}

- 4) Menarik garis yang membentuk 45° pada grafik yang sama
- 5) Titik perpotongan antara plot data dengan garis 45° dicari menggunakan persamaan garis linier.
- 6) Nilai prediksi penurunan tanah diketahui dari titik perpotongan kedua garis.
- 7) Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai penurunan akhir dapat dicari dengan persamaan (2.25)

3.2.5 Menghitung Penurunan Tanah dengan metode Chunlin

Evaluasi penurunan akhir tanah dihitung menggunakan metode yang berbeda sebagai pembanding. Prosedur metode ini adalah:

- 1) Mencari nilai *final settlement* secara teoritis atau observasional
- 2) *Potential settlement* S_p diperoleh dengan menggunakan data observasi dan S_∞
- 3) Hubungan linear antara $\ln[S_p \pi^2 / 8 S_\infty]$ dan t di plot dan kemiringan dari garis ini adalah b .
- 4) Setelah didapatkan nilai b , kemudian disubstitusikan pada persamaan Terzaghi 1D sebelum disederhanakan.

3.2.6 Output

Analisis yang telah digunakan dengan masing-masing metode akan menghasilkan nilai penurunan akhir dan lamanya waktu untuk mencapai penurunan akhir.

3.2.7 Analisis Metode

Hasil dan pembahasan dilakukan setelah selesai menghitung semua metode yang diajukan dalam tugas akhir ini, yaitu metode Terzaghi, metode Asaoka, dan metode Chunlin. Ketiga metode tersebut kemudian dibandingkan hasilnya dengan penurunan aktual yang didapat dari monitoring instrumen *settlement plate*.

Metode yang hasilnya paling mendekati penurunan aktual akan disarankan untuk digunakan pada Summarecon Bandung Cluster F.

Pembahasan selanjutnya adalah menganalisa faktor-faktor setiap metode yang menyebabkan metode tersebut lebih unggul atau tidak dari metode lainnya. Metode yang lebih unggul ialah metode yang hasilnya lebih mendekati penurunan aktual dibandingkan metode lainnya.

3.2.8 Kesimpulan

Pembahasan yang telah dilakukan pada tugas akhir ini disimpulkan hasilnya pada bab kesimpulan. Bahasan pada kesimpulan yaitu hasil perhitungan dari metode Asaoka dan Chunlin, serta kesimpulan dari perbandingan kedua metode terhadap aktual.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Hasil prediksi penurunan tanah akhir oleh metode Asaoka pada Settlement Plate (SP) 01=2384,65 mm; SP 02=2586,667 mm; SP 03=2538,208 mm. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *End of Primary* (EOP) pada SP 01=338 hari (11,2 bulan); SP 02=332 hari (11,06 bulan); SP 03=332 hari (11,06 bulan). Hasil prediksi penurunan tanah akhir oleh metode Chunlin adalah : SP 01=2382,152 mm; SP 02=2586,03 mm; SP 03=2466,184 mm.
2. Berdasarkan perbandingan kedua metode dengan data aktual, dapat disimpulkan bahwa prediksi Asaoka lebih mendekati aktual, sedangkan metode Chunlin hasilnya lebih kecil dibanding aktual.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan di atas peneliti memberikan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Dalam melakukan analisis penurunan rencana, perencana disarankan melengkapi data-data pengujian laboratorium untuk agar didapat analisis yang baik.
2. Pada penelitian selanjutnya untuk menguji keakuratan metode sebaiknya dibandingkan dengan SP yang dipasang sampai derajat konsolidasi mencapai 100% agar dapat diketahui perbandingan estimasi penurunan akhir dengan aktual.

DAFTAR PUSTAKA

- Asaoka, A. 1978. *Observational Procedure of Settlement Prediction*. Soils and Foundations 18: 88-101.
- Bagawanta, S.V. 2019. Evaluasi Penurunan Tanah Akibat Preloading di Manyar Gresik. *Skripsi*. Jember : Universitas Jember.
- Benamghar, A. dan Boudjellal, M. 2017. *Comparative Study of Four Consolidation Settlement Estimation Methods of A Railway Embankment*. MATEC Web of Conferences.
- Das, B. M. 1995. *Principles of Geotechnical Engineering*. The University of Texas of El Paso. Terjemahan oleh Mochtar, N. E. dan Mochtar, I. S., 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- Efendi, A. B. Nurtjahjaningtyas, I. dan Wicaksono, L. A. 2019. *Evaluasi Penurunan Akhir Tanah Di Lapangan Menggunakan Metode Observasional: Asaoka Dan Hiperbolik Pada Proyek PPKA Seksi 2 Palembang Sumatra Selatan*. Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan Universitas Jember 3: 82-92.
- Li, C. 2014. *A Simplified Method for Prediction of Embankment Settlement in Clays*. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering 6:61-66.
- Nawir, H. Apoji, D. Fatimatuzahro, R. dan Pamudji, M. D. 2012. *Prediksi Penurunan Tanah Menggunakan Prosedur Observasi Asaoka Studi Kasus : Timbunan di Bontang, Kalimantan Timur*. Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung 19: 133-147.
- Oktavian, E. P. 2019. *Perencanaan Perbaikan Tanah pada Pembangunan Jalan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung, Sumatera Selatan dengan Metode Preloading Kombinasi Prefabricated Vertical Drain dan Prefabricated Horizontal Drain*. *Skripsi*. Jember : Universitas Jember.
- Saputro, S. A., Muntohar, A. S. & Liao, H. J., 2018. *Ground Settlement Prediction of Embankment Treated with Prefabricated Vertical Drains in Soft Soil*. MATEC Web of Conference.
- SNI 8460:2017. *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional
- Terzaghi, K. dan Peck, r. B. 1987. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*. Jakarta: Erlangga.

Wardana, A.B. 2019. Evaluasi Perbaikan Tanah Lunak menggunakan Metode Observasional (Studi Kasus Metode Vacuum Consolidation System di Pembangunan Jalan Tol Pematang Panggang-Kayu Agung, Sumatera Selatan). *Skripsi*. Jember : Universitas Jember.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Perhitungan Terzaghi SP01

q1	9.6																
B1	50.559	B1+B2/B2	5.21325														
B2	12	B1/B2	4.21325														
SP 01																	
Kedalaman H lapisan (m)	z (m)	e	Cc	Cs	γ_{sat} (t/m ³)	γ' (t/m ³)	$\gamma' \times H$ (t/m ³)	σ_o (t/m ²)	σ_c (t/m ²)	α_1 (radians)	α_2 (radians)	$\Delta\sigma$ (t/m ²)	$2\Delta\sigma$ (t/m ²)	$\sigma_o + \Delta\sigma$ (t/m ²)	Sc (m)		
1	1	0.5	3.87	2.1425	0.4285	1.285	0.285	0.285	0.1425	2.1425	0.001896829	1.560907	4.799999	9.6	4.94249856	0.39294	
3	2	1.5	3.13	1.88	0.376	1.32	0.32	0.64	0.765	2.765	0.005686836	1.541137	4.799961	9.6	5.564961163	0.624067	
5	2	2.5	4.28	1.873	0.19	1.22	0.22	0.44	1.19	3.19	0.009465917	1.521389	4.79982	9.6	5.989820476	0.406284	
7	2	3.5	6.27	1.26	0.252	1.16	0.16	0.32	1	3	0.013226865	1.501681	4.799509	9.599	5.799508528	0.22308	
9	2	4.5	5.735	1.7695	0.3539	1.185	0.185	0.37	1.1525	3.1525	0.016962592	1.482025	4.798959	9.598	5.951458663	0.325879	
11	2	5.5	3.13	1.88	0.376	1.32	0.32	0.64	2.13	4.13	0.02066617	1.462439	4.798106	9.596	6.928106045	0.464967	
13	2	6.5	6.27	1.26	0.252	1.16	0.16	0.32	1.68	3.68	0.024330877	1.442935	4.796888	9.594	6.476888124	0.192147	
15	2	7.5	4.61	2.405	0.481	1.25	0.25	0.5	2.195	4.195	0.027950232	1.423529	4.795245	9.59	6.990245085	0.432879	
17	2	8.5	5.2	2.279	0.4558	1.21	0.21	0.42	2.285	4.285	0.031518037	1.404234	4.79312	9.586	7.078120247	0.365491	
19	2	9.5	3.87	2.1425	0.4285	1.285	0.285	0.57	3.1275	5.1275	0.035028404	1.385063	4.79046	9.581	7.917960423	0.384618	
																Σ Settlement	3.812352

Lampiran 2. Hasil Perhitungan Terzaghi SP02

q1	9.6															
B1	50.506	B1+B2/B2	5.20883													
B2	12	B1/B2	4.20883													
SP 02																
Kedalaman Hlapisan (m)	z (m)	e 0	Cc 0	Cs 0	ysat (t/m ³)	γ' (t/m ³)	γ' xH (t/m ³)	σ _o (t/m ²)	σ _c (t/m ²)	α1 (radians)	α2 (radians)	Δσ (t/m ²)	2Δσ (t/m ²)	σ _o + Δσ (t/m ²)	Sc (m)	
1	1	0.5	3.87	2.1425	0.4285	1.285	0.285	0.1425	2.1425	0.001900429	1.560897	4.799999	9.6	4.942498556	0.39294	
3	2	1.5	3.13	1.88	0.376	1.32	0.32	0.64	2.765	0.005697623	1.541106	4.799961	9.6	5.564961052	0.624067	
5	2	2.5	4.28	1.873	0.19	1.22	0.22	0.44	3.19	0.009483848	1.521338	4.79982	9.6	5.989819963	0.406283	
7	2	3.5	6.27	1.26	0.252	1.16	0.16	0.32	3	0.013251872	1.501608	4.799507	9.599	5.799507127	0.22308	
9	2	4.5	5.735	1.7695	0.3539	1.185	0.185	0.37	3.1525	0.016994578	1.481933	4.798956	9.598	5.951455702	0.325878	
11	2	5.5	3.13	1.88	0.376	1.32	0.32	0.64	4.13	0.020705015	1.462326	4.798101	9.596	6.928100672	0.464967	
13	2	6.5	6.27	1.26	0.252	1.16	0.16	0.32	3.68	0.024376433	1.442802	4.796879	9.594	6.476879324	0.192147	
15	2	7.5	4.61	2.405	0.481	1.25	0.25	0.5	4.195	0.028002331	1.423376	4.795232	9.59	6.990231688	0.432878	
17	2	8.5	5.2	2.279	0.4558	1.21	0.21	0.42	4.285	0.031576487	1.404062	4.793101	9.586	7.078100942	0.36549	
19	2	9.5	3.87	2.1425	0.4285	1.285	0.285	0.57	5.1275	0.035092994	1.384872	4.790434	9.581	7.917933778	0.384617	
ΣSettlement															3.812348	

Lampiran 3. Hasil Perhitungan Terzaghi SP03

q1		9.6		B1		50.102		B1+B2/B2		5.17517		B2		12		B1/B2		4.17517	
SP 02																			
Kedalaman H lapisan (m)	z (m)	e (m)	Cc 0	Cs 0	γ_{sat} (t/m ³)	γ' (t/m ³)	$\gamma' \times H$ (t/m ³)	σ_o (t/m ²)	σ_c (t/m ²)	α_1 (radians)	α_2 (radians)	$\Delta\sigma$ (t/m ²)	$2\Delta\sigma$ (t/m ²)	$\sigma_o + \Delta\sigma$ (t/m ²)	Sc (m)				
1	1	0.5	3.87	2.1425	0.4285	1.285	0.285	0.285	0.1425	2.1425	0.001928214	1.560817	4.799999	9.6	4.942498524	0.39294			
3	2	1.5	3.13	1.88	0.376	1.32	0.32	0.64	0.765	2.765	0.005780868	1.540866	4.79996	9.6	5.564960192	0.624067			
5	2	2.5	4.28	1.873	0.19	1.22	0.22	0.44	1.19	3.19	0.009622229	1.520939	4.799816	9.6	5.989815992	0.406283			
7	2	3.5	6.27	1.26	0.252	1.16	0.16	0.32	1	3	0.01344485	1.501052	4.799496	9.599	5.799496272	0.22308			
9	2	4.5	5.735	1.7695	0.3539	1.185	0.185	0.37	1.1525	3.1525	0.017241408	1.48122	4.798933	9.598	5.951432751	0.325878			
11	2	5.5	3.13	1.88	0.376	1.32	0.32	0.64	2.13	4.13	0.021004749	1.461458	4.798059	9.596	6.928059042	0.464964			
13	2	6.5	6.27	1.26	0.252	1.16	0.16	0.32	1.68	3.68	0.024727934	1.441782	4.796811	9.594	6.476811141	0.192145			
15	2	7.5	4.61	2.405	0.481	1.25	0.25	0.5	2.195	4.195	0.02840428	1.422205	4.795128	9.59	6.99012789	0.432871			
17	2	8.5	5.2	2.279	0.4558	1.21	0.21	0.42	2.285	4.285	0.032027396	1.402743	4.792951	9.586	7.077951392	0.365482			
19	2	9.5	3.87	2.1425	0.4285	1.285	0.285	0.57	3.1275	5.1275	0.035591222	1.383408	4.790227	9.58	7.917727383	0.384604			
Σ Settlement															3.812314				

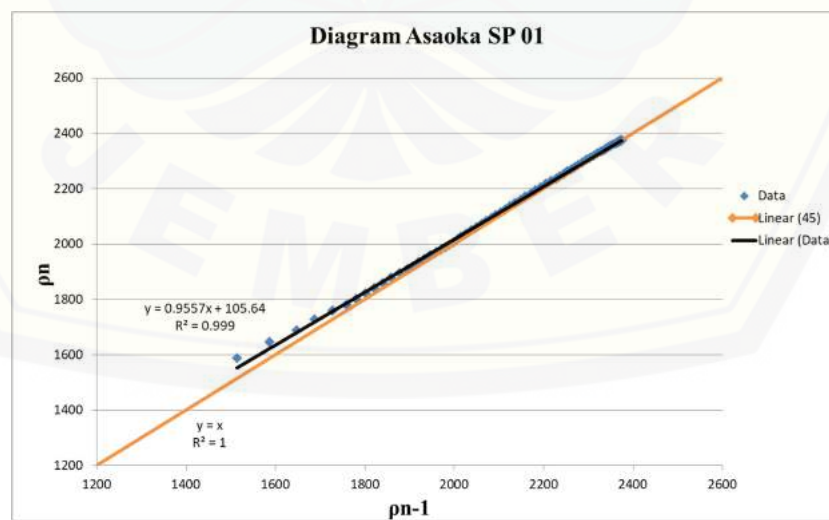
Lampiran 4. Data pn dan pn-1 dengan interval 3 hari pada SP 01


n ke-	Hari ke-	Interval	pn (mm)	pn-1 (mm)
1	36	3	-1587	-1514
2	39	3	-1647	-1587
3	42	3	-1688	-1647
4	45	3	-1728	-1688
5	48	3	-1759	-1728
6	51	3	-1781	-1759
7	54	3	-1801	-1781
8	57	3	-1821	-1801
9	60	3	-1840	-1821
10	63	3	-1859	-1840
11	66	3	-1878	-1859
12	69	3	-1895	-1878
13	72	3	-1908	-1895
14	75	3	-1921	-1908
15	78	3	-1934	-1921
16	81	3	-1946	-1934
17	84	3	-1959	-1946
18	87	3	-1971	-1959
19	90	3	-1981	-1971
20	93	3	-1989	-1981
21	96	3	-1998	-1989
22	99	3	-2006	-1998
23	102	3	-2015	-2006
24	105	3	-2026	-2015
25	108	3	-2038	-2026
26	111	3	-2050	-2038
27	114	3	-2061	-2050

n ke-	Hari ke-	Interval	ρ_n (mm)	ρ_{n-1} (mm)
28	117	3	-2072	-2061
29	120	3	-2084	-2072
30	123	3	-2093	-2084
31	126	3	-2104	-2093
32	129	3	-2115	-2104
33	132	3	-2125	-2115
34	135	3	-2137	-2125
35	138	3	-2148	-2137
36	141	3	-2159	-2148
37	144	3	-2171	-2159
38	147	3	-2182	-2171
39	150	3	-2194	-2182
40	153	3	-2205	-2194
41	156	3	-2217	-2205
42	159	3	-2228	-2217
43	162	3	-2236	-2228
44	165	3	-2245	-2236
45	168	3	-2253	-2245
46	171	3	-2262	-2253
47	174	3	-2270	-2262
48	177	3	-2278	-2270
49	180	3	-2287	-2278
50	183	3	-2295	-2287
51	186	3	-2304	-2295
52	189	3	-2312	-2304
53	192	3	-2320	-2312
54	195	3	-2328	-2320
55	198	3	-2334	-2328
56	201	3	-2339	-2334
57	204	3	-2345	-2339

n ke-	Hari ke-	Interval	ρ_n (mm)	ρ_{n-1} (mm)
58	207	3	-2350	-2345
59	210	3	-2356	-2350
60	213	3	-2361	-2356
61	216	3	-2363	-2361
62	219	3	-2366	-2363
63	222	3	-2368	-2366
64	225	3	-2369	-2368
65	228	3	-2370	-2369
66	231	3	-2371	-2370
67	234	3	-2372	-2371
68	237	3	-2373	-2372
69	240	3	-2373	-2373
70	243	3	-2374	-2373
71	246	3	-2374	-2374
72	249	3	-2374	-2374
73	252	3	-2374	-2374
74	255	3	-2376	-2374

Lampiran 5. Diagram Asaoka SP 01

Lampiran 6. Data ρ_n dan ρ_{n-1} dengan interval 3 hari pada SP 02

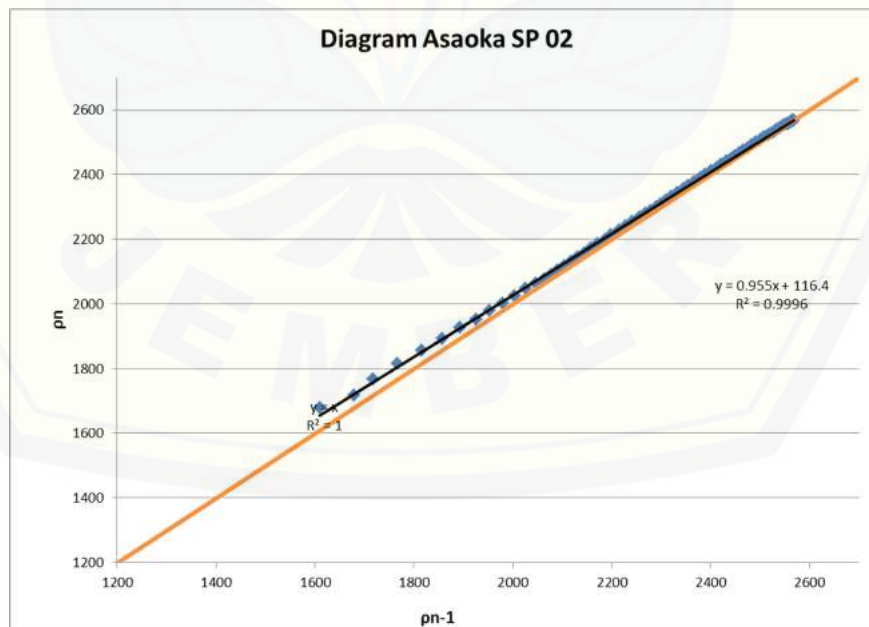


n ke	hari ke	interval	pn (mm)	pn-1 (mm)
1	35	3	1610	1532
2	38	3	1679	1610
3	41	3	1718	1679
4	44	3	1767	1718
5	47	3	1815	1767
6	50	3	1857	1815
7	53	3	1893	1857
8	56	3	1926	1893
9	59	3	1953	1926
10	62	3	1980	1953
11	65	3	2003	1980
12	68	3	2025	2003
13	71	3	2047	2025
14	74	3	2064	2047
15	77	3	2077	2064
16	80	3	2091	2077
17	83	3	2104	2091
18	86	3	2118	2104
19	89	3	2131	2118
20	92	3	2145	2131
21	95	3	2158	2145
22	98	3	2172	2158
23	101	3	2186	2172
24	104	3	2199	2186
25	107	3	2214	2199
26	110	3	2228	2214
27	113	3	2242	2228
28	116	3	2256	2242
29	119	3	2269	2256
30	122	3	2279	2269

n ke-	Hari ke-	Interval	ρ_n (mm)	ρ_{n-1} (mm)
31	125	3	2290	2279
32	128	3	2300	2290
33	131	3	2310	2300
34	134	3	2321	2310
35	137	3	2332	2321
36	140	3	2344	2332
37	143	3	2355	2344
38	146	3	2367	2355
39	149	3	2378	2367
40	152	3	2389	2378
41	155	3	2401	2389
42	158	3	2412	2401
43	161	3	2422	2412
44	164	3	2432	2422
45	167	3	2441	2432
46	170	3	2449	2441
47	173	3	2458	2449
48	176	3	2466	2458
49	179	3	2475	2466
50	182	3	2483	2475
51	185	3	2492	2483
52	188	3	2500	2492
53	191	3	2508	2500
54	194	3	2517	2508
55	197	3	2523	2517
56	200	3	2529	2523
57	203	3	2534	2529
58	206	3	2539	2534
59	209	3	2545	2539
60	212	3	2551	2545

n ke-	Hari ke-	Interval	ρ_n (mm)	ρ_{n-1} (mm)
61	215	3	2555	2551
62	218	3	2557	2555
63	221	3	2559	2557
64	224	3	2561	2559
65	227	3	2563	2561
66	230	3	2564	2563
67	233	3	2565	2564
68	236	3	2566	2565
69	239	3	2567	2566
70	242	3	2567	2567
71	245	3	2568	2567
72	248	3	2568	2568
73	251	3	2568	2568
74	254	3	2568	2568
75	257	3	2569	2568

Lampiran 7. Diagram Asaoka SP 02

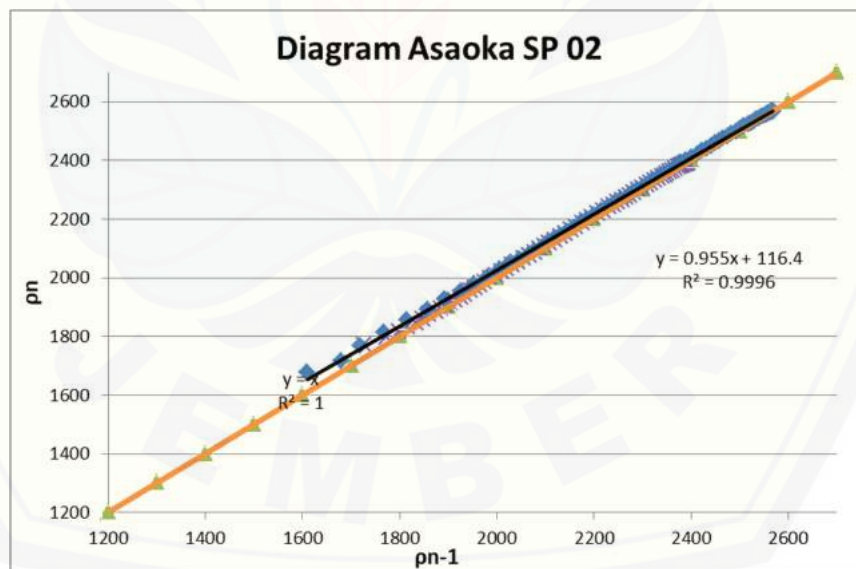
Lampiran 8. Data ρ_n dan ρ_{n-1} dengan interval 3 hari pada SP 03

n ke	hari ke	interval	pn (mm)	pn-1 (mm)
1	39	3	1773	1726
2	42	3	1799	1773
3	45	3	1816	1799
4	48	3	1833	1816
5	51	3	1847	1833
6	54	3	1860	1847
7	57	3	1874	1860
8	60	3	1884	1874
9	63	3	1894	1884
10	66	3	1904	1894
11	69	3	1914	1904
12	72	3	1925	1914
13	75	3	1934	1925
14	78	3	1945	1934
15	81	3	1955	1945
16	84	3	1965	1955
17	87	3	1975	1965
18	90	3	1986	1975
19	93	3	1998	1986
20	96	3	2009	1998
21	99	3	2020	2009
22	102	3	2032	2020
23	105	3	2043	2032
24	108	3	2055	2043
25	111	3	2066	2055
26	114	3	2078	2066
27	117	3	2087	2078
28	120	3	2098	2087
29	123	3	2108	2098
30	126	3	2119	2108

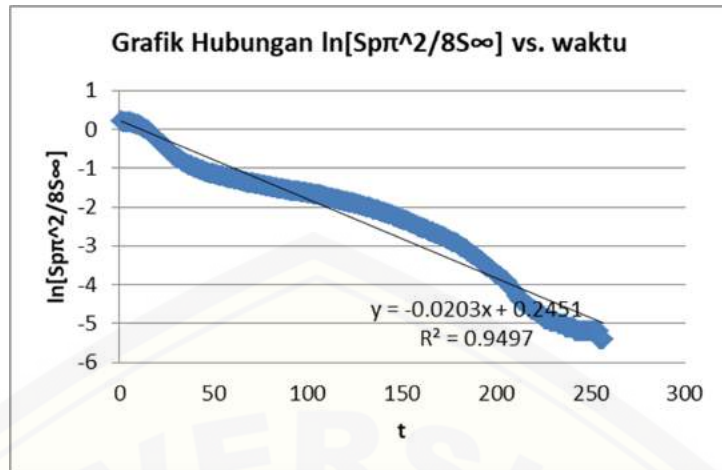
n ke-	Hari ke-	Interval	ρ_n (mm)	ρ_{n-1} (mm)
31	129	3	2130	2119
32	132	3	2140	2130
33	135	3	2152	2140
34	138	3	2163	2152
35	141	3	2175	2163
36	144	3	2186	2175
37	147	3	2196	2186
38	150	3	2208	2196
39	153	3	2219	2208
40	156	3	2230	2219
41	159	3	2241	2230
42	162	3	2249	2241
43	165	3	2257	2249
44	168	3	2266	2257
45	171	3	2274	2266
46	174	3	2282	2274
47	177	3	2291	2282
48	180	3	2299	2291
49	183	3	2308	2299
50	186	3	2316	2308
51	189	3	2324	2316
52	192	3	2333	2324
53	195	3	2340	2333
54	198	3	2345	2340
55	201	3	2350	2345
56	204	3	2356	2350
57	207	3	2361	2356
58	210	3	2367	2361
59	213	3	2373	2367
60	216	3	2377	2373

n ke-	Hari ke-	Interval	ρ_n (mm)	ρ_{n-1} (mm)
61	219	3	2380	2377
62	222	3	2382	2380
63	225	3	2384	2382
64	228	3	2386	2384
65	231	3	2388	2386
66	234	3	2389	2388
67	237	3	2390	2389
68	240	3	2391	2390
69	243	3	2391	2391
70	246	3	2392	2391
71	249	3	2392	2392
72	252	3	2392	2392
73	255	3	2393	2392

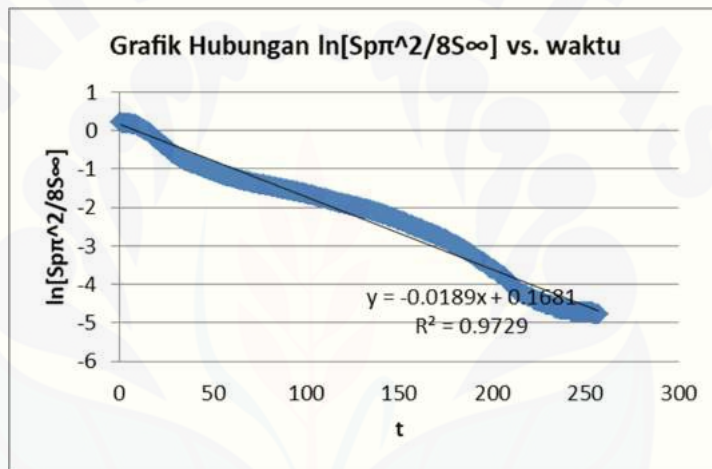
Lampiran 9. Diagram Asaoka SP 03



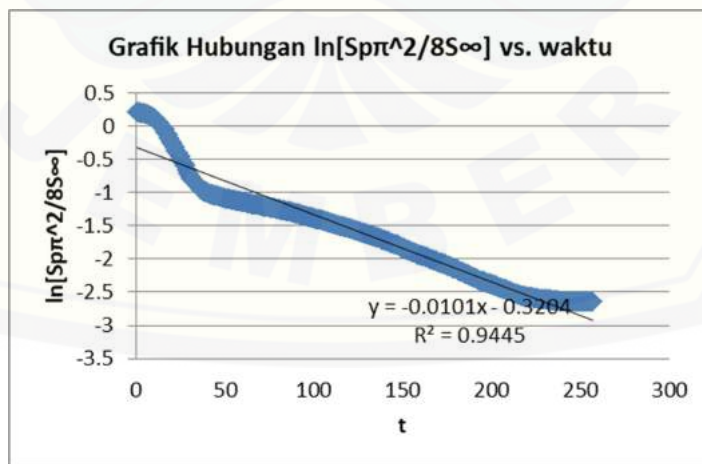
Lampiran 10. Diagram Chunlin SP 01



Lampiran 11. Diagram Chunlin SP 02

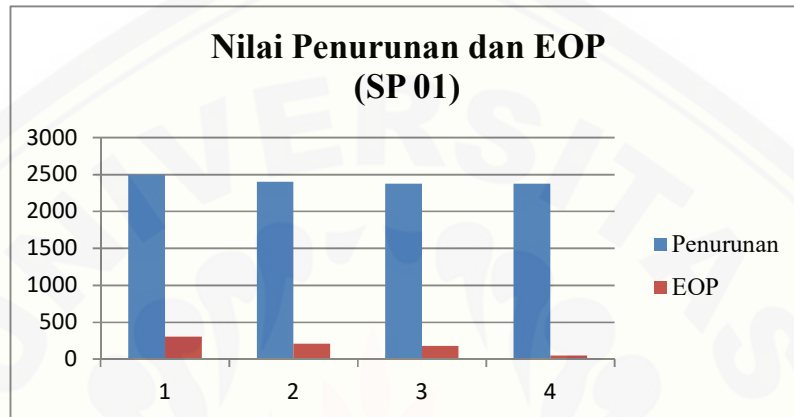


Lampiran 12. Diagram Chunlin SP03

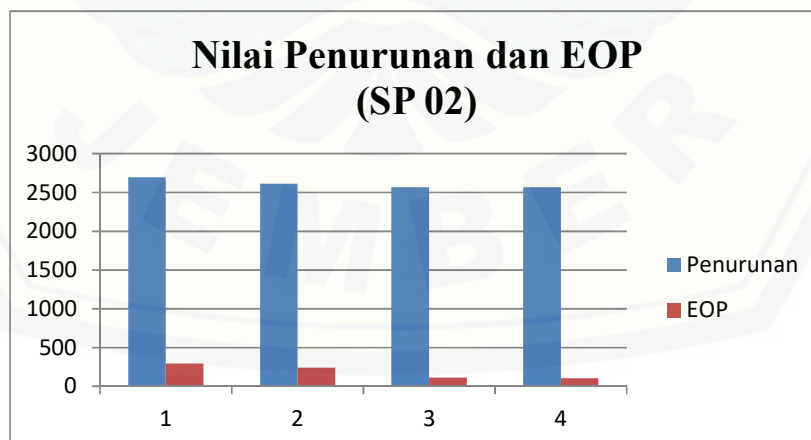


Lampiran 13. Nilai Penurunan dengan Perbedaan S_0 pada SP 01

S_0 Hari Ke-	Interval (Hari)	Nilai Sf (mm)	EOP (Hari)
48	3	2498.7778	307
159	3	2401.7742	210
213	3	2375.1061	180
243	3	2375	50

Lampiran 14. Nilai Penurunan dengan Perbedaan S_0 pada SP 02

S_0 Hari Ke-	Interval (Hari)	Nilai Sf (mm)	EOP (Hari)
59	3	2694.878	294
137	3	2612.448	237
215	3	2569.946	116
238	3	2568.313	101



Lampiran 15. Nilai Penurunan dengan Perbedaan S_0 pada SP 01

S_0 Hari Ke-	Interval (Hari)	Nilai Sf (mm)	EOP (Hari)
42	3	2602	352
60	3	2644.855	368
198	3	2399.559	142
237	3	2393.28	140

